Copyright 2017. IPNT All rights reserved

www.ipnt.or.kr
ISSN 2092-920X

2017 IPNT Conference

2017년 항법시스템학회 정기학술대회

PNT as the essential guiding star to the 4th industrial revolution

Proceedings

November 1~3, 2017

RAMADA PLAZA JEJU HOTEL

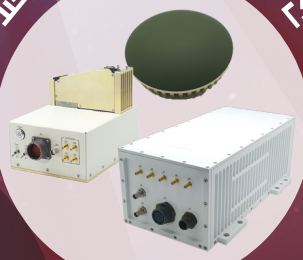
주최 : 사단법인 항법시스템학회
THE INSTITUTE OF POSITIONING NAVIGATION, AND TIMING

후원 : KOFST 한국과학기술단체총연합회

navcours
넵코어스㈜

대한민국을 지키는 항법전,
넵코어스가 책임지겠습니다.

교란/기만 대응 솔루션



항법 교란/기만 솔루션



시각동기/M&S



34014 대전 유성구 테크노2로 66-6 TEL. 042-363-9000 sales@navcours.com
www.navcours.com

초정밀 GPS 보정 시스템(SBAS) 개발·구축

목표

- 하늘 길(항공로 · 공항접근 및 착륙) 정보 제공시설로 활용하기 위한 APV*-I급 SBAS 개발 · 구축
  ※ APV : 수직유도 접근(APproach and Vertical guidance)

사업개요

- 사업명 : 초정밀 GPS 보정시스템 (SBAS) 개발 · 구축
- 주관부처 : 국토교통부/국토교통과학기술진흥원
- 연구기관 : 한국항공우주연구원, 한국전자통신연구원, 항공안전기술원
- 사업기간/사업비 : 2014. 10. 30 ~ 2022. 10. 29 (8년)/1,212 억원

추진체계 및 과제 구성



기대효과 ('22~'28)

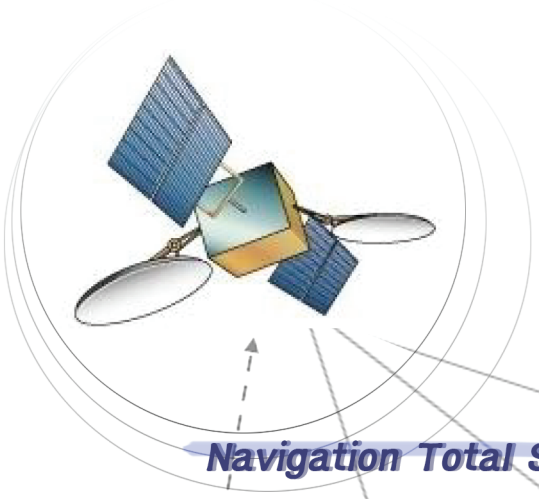
- 항공기 사고, 지연 · 결항 감소 등 1,744억원 편익 발생
  항공기 사고 감소 (84 억원), 지연 · 결항감소 편익 (1,207 억원),
  탄소배출량/연료절감 (23억원/367 억원), 시설대체비 절감 (63 억원)
- 위치기반 산업 1,326억원 편익 발생
- 자동차, 철도, 선박 등의 교통수단과 정보통신, 물류분야 등에 활용 가능

KARI 한국항공우주연구원 Korea Aerospace Research Institute

위성기반 보정항법으로 시작되는
위치기반 서비스 KT가 앞장서겠습니다!

공공서비스를 선도하는 KT

위치정보를 활용한 위치기반 생활정보
무인이동체와 결합한 첨단 지능형 위치서비스
물류 유통산업 혁신 비용절감 위치정보 시스템
개인 차량 위치파악 및 긴급 구조 재난안전 서비스



Navigation Total Solution KT!

위성지구국



드론



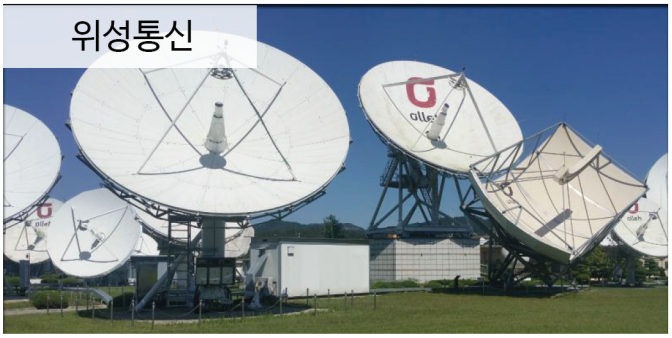
PS-LTE







위성통신



위성관제



광케이블



SBAS를 통해서 세계 7번째 정밀항법 위성서비스 국가!
국가 창조경제 발전은 KT가 전문 중소기업과 함께 하겠습니다.

www.ktsat.net



KOREASAT 7 @116°E

"2" New Satellite Launch in 2017

<kt sat's new coverage>

South East Asia : Indonesia, Malaysia, Thailand, Myanmar, Vietnam, Cambodia, Laos

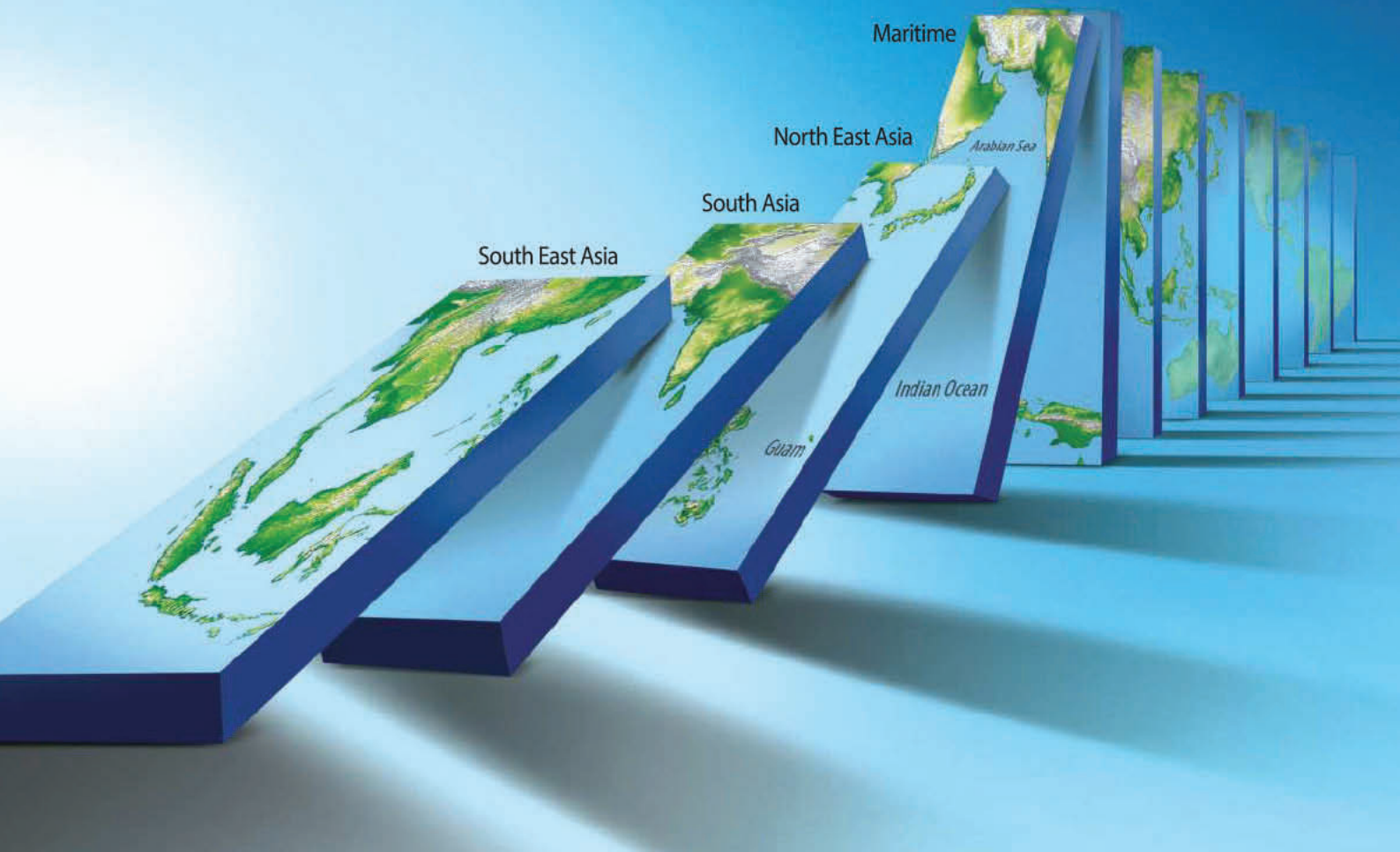
South Asia : India, Pakistan, Nepal, Bangladesh **North East Asia :** Philippines, Japan, Guam, Korea

Maritime : East Sea, East China Sea, South China Sea, Arabian Sea

kt sat



KOREASAT 5A @113°E



㈜한화/방산



일등 한화의 힘은 혁신입니다.

자체기술로 10년이 걸리는 개발기간을
4년 6개월로 단축해 세상을 놀라게 한 천무!
㈜한화는 도전과 혁신의 힘을 믿습니다.

혁신적인 Defense Solution을 제공하는 신뢰받는 글로벌 파트너로 자주국방과 인류평화에 기여합니다.

㈜한화/방산

1st

Satellite with

LIG Nex1

대한민국을 지키는 힘!



획득한 SAR 영상

전천후 주야간 영상정보 획득
밀집지역 고해상도 영상정보 획득
표준모드, 고해상모드, 광역모드 지원



첨단무기체계 분야의 강자 **LIG넥스원**

땅과 바다, 하늘에서 우주로 뻗어 나갑니다.

www.lignex1.com

LIG Nex1

www.kriso.re.kr

바다에 희망을 더하다

Safe Ship
Clean Ocean
Deep Sea

세계 최고 선박해양기술로 바다의 새로운 가치창출과 해양산업발전을 실현합니다.

미래 해상수송과 해양개발을 선도하는 선박해양플랜트연구소



[중점 연구분야]

친환경 미래선박 / 해양플랜트 / 해양에너지 / 해양안전 / 해양시스템

KRISO 선박해양플랜트연구소

record • replay • simulate



LabSat 3 WIDEBAND

The most powerful LabSat yet, the new LabSat 3 WIDEBAND captures and replays more GNSS signals at a much higher resolution than before.

Small, battery powered and with a removable solid state disk, **LabSat 3 WIDEBAND** allows you to quickly gather detailed, real world satellite data and replay these signals on your bench.

With three channels, a bandwidth of up to 56MHz and 6 bit sampling, **LabSat 3 WIDEBAND** can handle almost any combination of constellation and signal that exists today, with plenty of spare capacity for future planned signals.

LabSat 3 WIDEBAND can record and replay the following signals:

- GPS: L1 / L2 / L5
- GLONASS: L1 / L2 / L3
- BeiDou: B1 / B2 / B3
- QZSS: L1 / L2 / L5
- Galileo: E1 / E1a / E5a / E5b / E6
- SBAS: WAAS, EGNOS , GAGAN, MSAS, SDCM
- IRNSS



www.labsat.co.uk

"Advance your GNSS research & development with Tools for industry-leading performance"

SPIRENT Communications



GSS7000 SERIES

MULTI-GNSS CONSTELLATION SIMULATOR SYSTEMS

Low price , High performance GNSS시뮬레이터입니다. controller 내장형으로 별도의 PC가 필요치않으며, 옵션에따라 생산라인에서 개발에 이르기까지 목적에 맞게 다양한 기능을 선택할 수 있습니다. 최대 256채널을 지원하며 L1/L2/L5 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS 모든 GNSS신호를 하나의 장비에서 지원합니다.

GSS6450

RF Record & Playback System



세계에서 가장 작은 사이즈의 16bit RF 수집/재방사 시스템으로 4bit, 8bit, 16bit (I&Q) bit depths와 L1, L2, L5, B3, B6 주파수를 지원하며 최대 50MHz의 대역폭과 OCXO 사용으로 정밀하게 신호를 수집 및 재생합니다.

Honeywell
THE POWER OF CONNECTED

ITAR-FREE MEMS IMUS

AEROSPACE PERFORMANCE in INDUSTRIAL PRICING

HG1120



High performance
Gyro Bias Stability
10°/hr

HG4930



Very High performance
Gyro Bias Stability
0.25°/hr

GNSS Repeater, Receiver and Antenna Products

GPS SOURCE
GPS LIVE INSIDE



septentrio

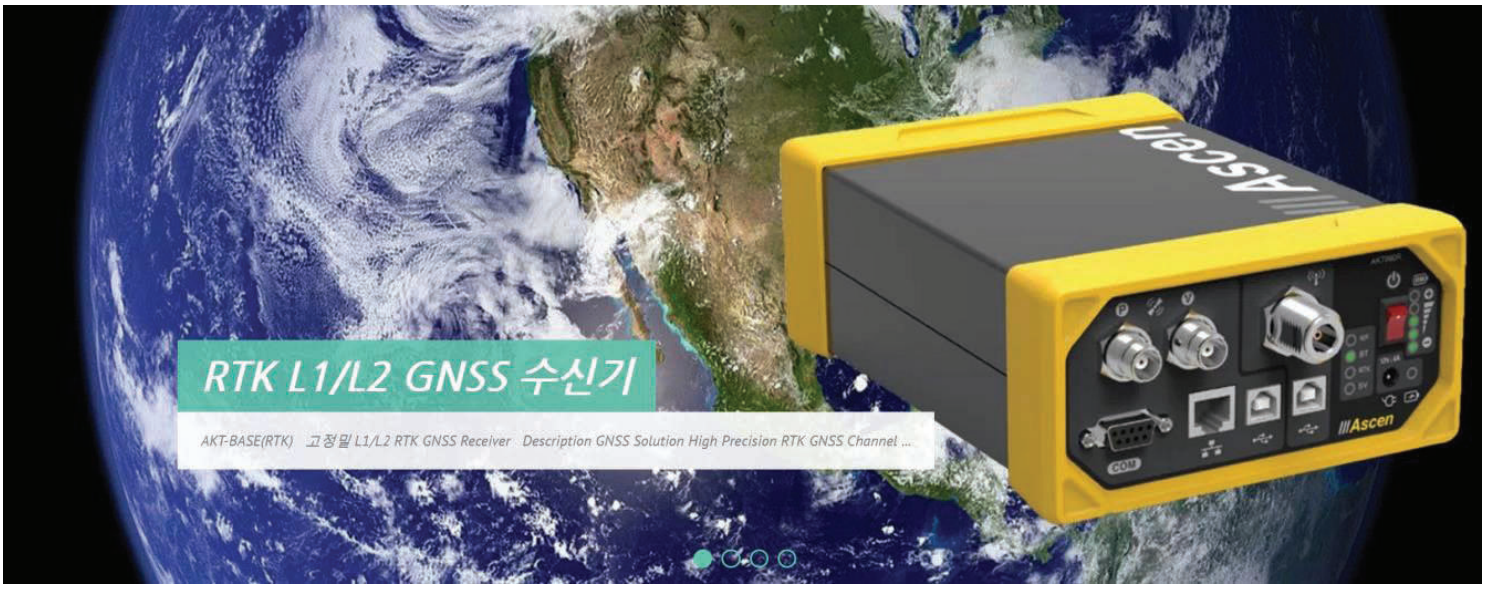


ANTCOM



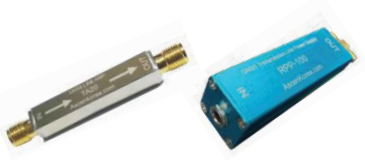
와이즈시스템(주)
WISE SYSTEM Co., Ltd
T.070-7010-0440 E-mail. sales@wisesystem.co.kr www.wisesystem.co.kr

GNSS Receiver, Designed by ㈜아센코리아



1 GNSS Re-Radiation, RF Amp/Divider, Antenna Design

- GNSS Signal Re-Radiation System 10m to 10Km
- RF Amp, 18dB, 36dB, Jamming detection, alarm, Controller



<GNSS RF Amplifier>

2 RTK, VRS, FKP GNSS Receiver Development

- Accuracy mm Level RTK, L1/L2, VRS, FKP GNSS Receiver
- Raw Data, RTCM, 특수 환경, 조건 정밀 LBS Device, System



<L1/L2 RTK GNSS>

3 Indoor, CDR/PDR, UWB, ICT Device Technology

- Car, Pedestrian DR, UWB based LBS Module, Device, System
- DR/GNSS Combined LBS Products Design, Development



<RF RTK GNSS>

㈜아센코리아는

2006년 GPS 모듈 개발을 시작으로 2016년 첨단 잠수함 용 GNSS 시스템, 전투기용 GNSS 수신기와 고 정밀 mm급 수신 장치, 무인 로봇을 위한 UWB LBS 그리고 실내 위치 Sensing 등의 기술과 제품을 확보 하고 있습니다. 실내, 실외, 음영 지역 등을 망라한 위치 관련 대한민국의 Total Solution Provider 로서 고객님께 최상의 기술과 제품, 서비스를 제공 해 드리겠습니다.

서울특별시 금천구 가산디지털1로 83. 파트너스타워 14층 / wwwAscenKorea.com / sales@ascen.co.kr / 1544-3818

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com









Frequency References

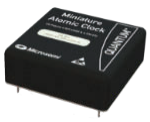
- Cesium clocks
- Active Hydrogen Masers
- Rubidium
- Quantum™ chip scale and miniaturized atomic clocks
- Quartz: spectral purity
- Ruggedized High reliability
- 10 MHz CSAC-based GPS Disciplined Oscillator











Time & Frequency Distribution and Timescale Systems

- 1U Distribution Systems
- Commercial Timescale Systems
- Integration services and custom systems





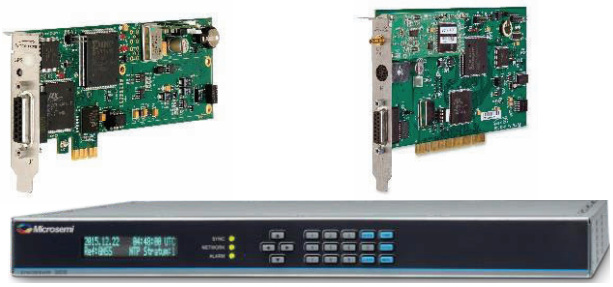
PTP IEEE1588 Grand Master

- Up to 1000 IEEE1588 Unicast Clients@128 messages/sec
- Single or Dual GNSS Receiver
- Redundant Power supplies
- 1x10-11 daily Holdover



High Performance NTP Servers and Bus Level Timing

- NTP Network Appliances
- Modular NTP Solutions
- PCI, PCIe, PMC, SDKs



GTSsolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

SAMYOUNG
Positioning/Navigation/Timing

(주)삼영피엔티
SAMYOUNG-PNT CO., LTD

쉽고, 간단하고, 빠르고, 정확하게... World No.1 Trimble OEM GNSS

Trimble Intech KOREA SAMYOUNG-PNT



Antennas





BX982:
DUAL ANTENNA PRECISE POSITION AND HEADING



BX935-INS:
TRIPLE FREQUENCY GNSS RECEIVER WITH INTEGRATED INERTIAL NAVIGATION SYSTEM



ABX-TWO:
HIGH PERFORMANCE RTK, HEADING AND RTX THREE ANTENNA INPUTS FOR FULL ATTITUDE

SAMYOUNG PNT Co., Ltd

RM 1502, Daerung TechnoTown 17Th, 25 GaSandigital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul, Korea #08594

Phone : +82 2-6081-0088 **FAX** : +82 2-6003-0089 **Mobile** : +82 10-8941-0964

E-mail : ygkim@samyoungpnt.com **Home-Page** : www.samyoungpnt.com



Software Defined GNSS Simulator

SKYDEL





sdx SOFTWARE-DEFINED GNSS SIMULATOR

Multi-constellation, multi-frequency
- GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, SBAS
- Hundred+ of satellites generated in real time

Powerful & simple automation
- Complete, documented API (Python, C#, C++)
- Innovative automation features get users started with scripting

Advanced interference simulation
- Integrated into the GNSS simulation – no additional H/W required
- Full jammers dynamics: resulting power level computed in real time

User-defined waveforms
- Chirp, CW, BOC, AWGN, BPSK and Pulse modulation
- Combine dozens of signals and see the results on the spectrum

Real time GNSS simulator
- GNSS simulation is entirely generated by GPU-accelerated computing
- Most parameters can be modified while the simulation is running

Trimble

- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou)
- Assisted GPS (A-GPS)
- 12-Channel GPS receiver with T-RAIM algorithm
- Holdover 8us over 24hours
- 1PPS & 10Mhz outputs
- Within 15 nanoseconds (One sigma) of GNSS/UTC
- NTPv4 Time Server (Supports 2,500 Clients)
- IEEE 1588 PTP Grandmaster Clock (Supports 64 Simultaneous PTP clients)

OEM GNSS Receivers

RES SMT360 ™
ICM SMT360 ™
Mini-TTM GG
Thunderbolt® E
NTP Grandmaster TS100
PTP Grandmaster GM100
Acutime™ 360 Smart Antenna





Time Server & Measurement

tfs Time & Frequency Solutions
brandywine communications






MMC
- Industry-first GPS integrity checking (1PPS, 10Mhz, IRIG_B, HaveQuick,)
- Supporting a Shock and Vibration with MIL-STD 810/167/740

Time Spy
- Measuring a wide variety of classic and network time signal inputs
- Timing resolution of better than 1 ns
- Developed in conjunction with the UK's National Physical Laboratory

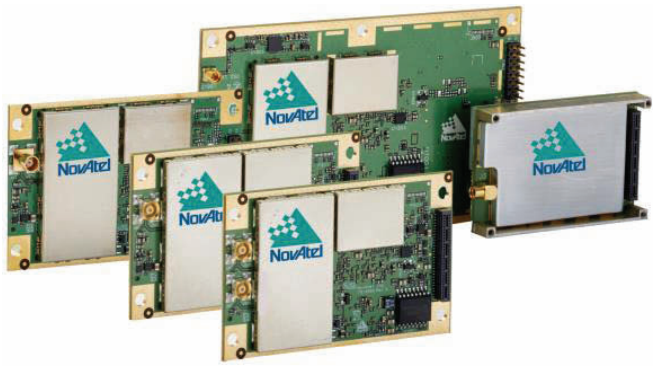
Time Trace
- Implements BIPM directives and generates CGGTTS format files
- Utilizes GPS data in common-view mode

이투비 (www.etoob.co.kr)
서울 금천구 두산로 28, 삼양 솔리브 201호 (08583)
TEL : 02-6677-3409 FAX : 02-6499-3409 E-mail : jaydon.lee@etoob.co.kr

New Products

OEM7™ GNSS Series

- Number of Channels**: 555**
- Positioning: **Single, SBAS, DGPS, TerraStar-L&C, RTK**
- Solutions: **SALIGN, GLIDE, RAIM, SPAN**
- Interfaces: **Serial, USB, CAN, Ethernet, Memory**



OEM7600™

Compact, dual-frequency GNSS receiver

Size / weight: 35 x 55 x 11 mm, 20 g

OEM7700™

Mutil-frequency GNSS receiver delivers precise positioning and simplifies integration

Size / Weight: 46 x 71 x 11 mm, 31 g

OEM7720™

Dual-Antenna, Multi-frequency GNSS receiver delivers robust heading and positioning

Size/Weight: 46 x 71 x 11 mm, 35 g



PwrPak7™

Rugged, compact enclosure delivers scalable GNSS resolutions with internal storage and GNSS+INS options

Size Weight: 147 x 145 x 53 mm, 500 g

VEXXIS™ Antenna

- Cutting Edge Antenna Technology with Superior Tracking performance
- High Performance Antenna for Terrestrial Applications



GNSS-800 Series

Size/Weight: 3179 x 55 mm, 500 g

GNSS-500 Series

Size/Weight: 3179 x 55 mm, 450 g

INSUNG International Co., Ltd.

08594 The Rubens Valley RM 1202/3, Gasandigital 1Ro 1, Geumcheon-gu, Seoul, Korea

Website: www.iinsungsys.kr . TEL: (02) 579-5031 . e-mail: insung@insungsys.kr



Multi-Channel, Multi-Frequency, Advanced GPS/GNSS Signal Simulators

Features

- 1 유닛 64 채널
- 멀티유닛 128, 256.... 채널
- 4-frequencies 동시모의
- GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, upgradable to future constellations and signals
- L1, L2, L2C, L5, E1, E5, E6
- P-code, pseudo P(Y) in L1 and L2
- SBAS simulation: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS
- White noise generation SNR testing
- Fully operational via front-panel, web-based remote control, or SCPI protocol
- Multiple interfaces for remote control: Ethernet, USB, GPIB
- Purchase only the signals you need - upgrade later

DONGJIN COMMUNICATION SYSTEMS
(주)동진커뮤니케이션시스템
02)722-1748
sales@dongjin-microwave.co.kr

DusiTech
Dual System Integration Technology

차세대 중 · 소형 위성용 복합항법장치

소형 위성(2호) · 중형 위성(CAS500) 탑재 예정 !

GPS L1, L5 / Galileo E1, E5a 복합 수신기용
Baseband 신호처리 Board 구현

GPS L1, L5와 Galileo E1, E5a 선택적 적용 가능

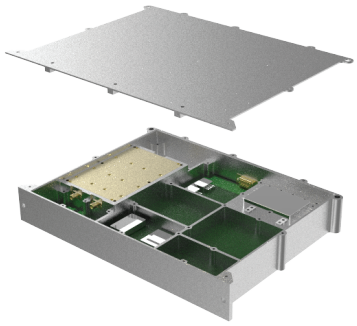
Galileo 신호의 코드 변경에 따른 적용의 용이성 제공

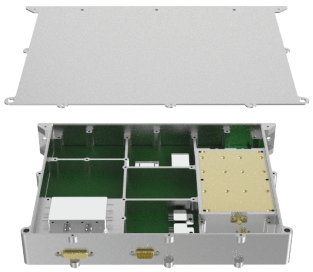
위성 운영에 따른 수신기의 필터와 대역폭 재구성 가능

다양한 외부 인터페이스 제공 (1553B, UART)

OBC Backplane 인터페이스 지원과 Stand alone 동작 지원

Onboard Navigater, OD, EGSE 지원







GPS L1,L5 / Galileo E1,E5a Integrated Receiver

Item	Specification
Receiver Performance	
Number of antenna	1
RF Characteristics	GPS L1/L5, Galileo E1/E5a
Data Output rate	1Hz
Positioning Accuracy	< 10m (1σ, 복합 항법) < 20m (1σ, OD 항법)
Velocity Accuracy	< 5mm/s (1σ)
Time Accuracy	< 1 us (3σ)
RAW Data	pseudo-range < 1m (1σ) carrier-phase < 1mm (1σ)
1PPS Accuracy	< ± 1.5 us
Warmup time	< 2 min
TTFF	< 20 min (cold start) < 10 min (warm start)
Signal Sensibility Threshold	
Acquisition	> 40 dB/Hz (cold start)
Tracking	> 45.5 dB/Hz
Data Interface	
Interface	MIL-STD-1553B, RS-422
Mission Dynamics	
Spacecraft velocity	< 12 km/s
Acceleration	< 25 m/s
Jerk (in orbital phase)	0.01 m/s
Jerk (trusted phase)	5.0 m/s
Electrical Specification	
Input voltage	DC 28V or 5V
Power consumption	12 W
Mechanical Specification	
Size	280(L) x 200(W) x 44.7(H)
Weight	2.2 kg

전화 042-280-1400 홈페이지 www.dusi.co.kr 이메일 dst@dusi.co.kr 주소 대전광역시 유성구 테크노 10로 44-15(탑립동) [34027]

전혀 새로운 내비게이션의 시작.

FINE DRIVE T

DESIGN AWARD 2017

iF 디자인 어워드 본상 수상

브랜드뉴 내비게이션 Finedrive T

- 최신 트랜드의 내비게이션
- iF 디자인 어워드 수상에 빛나는 디자인
- 사용이 손쉬운 무선충전 거치대
- 아틀란도 KT내비도 내 맘대로
- 달리면서 즐기는 스트리밍 음악과 동영상
- 내비게이션 전용모드, 파인드라이브앱
- 주차사고와 강제견인은 실시간주차감시로
- 아틀란3D 기본 탑재
- 내비게이션 명가의 빠르고 정확한 GPS
- 민첩한 후방카메라 연동
- 최신 안드로이드로 누리는 매끈한 멀티태스킹
- 내비게이션 최초! 원하는 앱을 마음대로 다운로드~
- LTE와 Wi-Fi, 블루투스로 누리는 무선 라이프
- 주머니에 쏙~들어가는 막강 휴대성

www.fine-drive.com



GXR 1000

FINE Vu

SUPER FULL HD 블랙박스 파인뷰

SUPER FULL HD	생생한 화질로 디테일까지 완벽 표현
돋보이는 라이	어디서나 잘 보이는 신소재 시큐리티 라이팅으로 존재감 어필
IPS 4인치 LCD	최고급 TV에 사용되는 IPS 패널 채용
듀얼 화각	번호판 중심 '표준 화각' VS 상황 중심 '와이드 화각'
AUTO 나이트비전	어두운 밤은 밝게, 낮은 더욱 선명하게!
ADAS 플러스	안전을 위한 첨단 도우미 ADAS 기능 탑재
배터리 안심 보호	뛰어난 전력효율로 배터리 부담 최소화

M 300

FINECADDIE

빠르고 정확한 파인캐디 골프거리측정기

스마트폰 연동을 통한 골프장 코스 정보 실시간 업데이트
그 날의 패션에 따라 다양하게 바꾸는 손목밴드
TurboGPS로 GPS 수신 속도 4배 이상 UP!
이제 핀까지의 거리다 원터치 핀 위치 설정
그린 기울기를 한눈에! 세계 최초 다이나믹 그린 언듈레이션 뷰
상황에 따른 화면 자동 전환 (도그렉뷰 ▶ 그린뷰 ▶ 언듈레이션뷰)
국내 유일의 해저드/벙커 앞, 뒤 오토 슬로프 거리 정보 제공
오래가는 배터리! 초절전 설계로 36홀 완벽 소화



(주)넷커스터마이즈

www.netcus.com

시스템 분석 설계 구현 시험 전계층 기술 보유

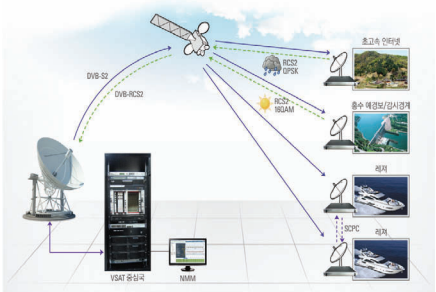
국방 ICT 통합 솔루션 제공



주요사업분야

GPS 신호처리 및 위성통신 시스템

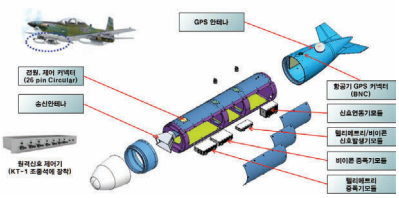
- GPS 신호처리 및 교란/기만신호 검출 및 방탐 시스템
- HW기반 실시간 GPS 신호 생성 시뮬레이터
- DVB-S2/RCS2 표준을 지원하는 양방향 광대역 위성통신 지상시스템 : 중심국 HUB 및 VSAT 단말 시스템 상용화



전자전 방탐 및 교란신호 생성

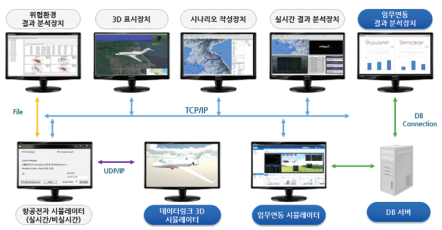
- 고속 신호처리 기반의 전자전 방탐 시스템
- 재밍 신호 생성 및 제어 시현 시스템
- SILS/HILS 기반의 전자전 시험 시스템
- 전파 영향, Radar 모의 분석 기술





이산사건/공학급 연동 M&S 솔루션

- 이산사건/공학급 연동 복합 시뮬레이터 원천 기술 보유
- 항공전자전/통합교전/무인수상정 등 다양한 무기체계 시뮬레이터 구현
- HLA/RTI, DDS 연동을 활용한 분산 시뮬레이터 구현 기술
- Monte-Carlo 대규모 분산 시뮬레이션 및 최적화 기술
- GIS/3D Visualization 기술



Tel 042.863.7080 Fax 042.863.6777
대전광역시 유성구 유성대로 1184번길 29, (34109)

NET (주)넷커스터마이즈
Network Customizing Technologies Inc

NCS TITAN GNSS Simulator

ALL* in ONE



32 channels assigned to 4 RF-blocks with 8 signals each

Up to 8 modules	|1 - 16|	|1 - 16|	|1 - 16|	|1 - 16|
Module 1	GPS L1		Galileo E1	
Module 2	GPS L2		Galileo E6	
Module 3	GPS L5		Galileo E5ab	
Module 4	GLONASS L1		BeiDou B1	
Module 5	GLONASS L2		BeiDou B2	
Module 6	GLONASS L3		BeiDou B3	
Module 7	QZSS L1	QZSS L2	QZSS L5	QZSS LEX
Module 8	IRNSS L5	IRNSS S	SBAS L1	SBAS L5
	|1 - 8|	|1 - 8|	|1 - 8|	|1 - 8|

www.ifen.com

* Sample configuration with all GNSS systems in one TITAN

In co-operation with WORK MICROWAVE

IFEN

For Americas
IFEN Inc.
+1 951 739 7331
M.Wilson@ifen.com

For EMEA & APAC
IFEN GmbH
+49 8121 2238 20
sales@ifen.com

Copyright 2017. IPNT All rights reserved

www.ipnt.or.kr
ISSN 2092-920X

2017 IPNT Conference

2017년 항법시스템학회 정기학술대회

PNT as the essential guiding star to the 4th industrial revolution

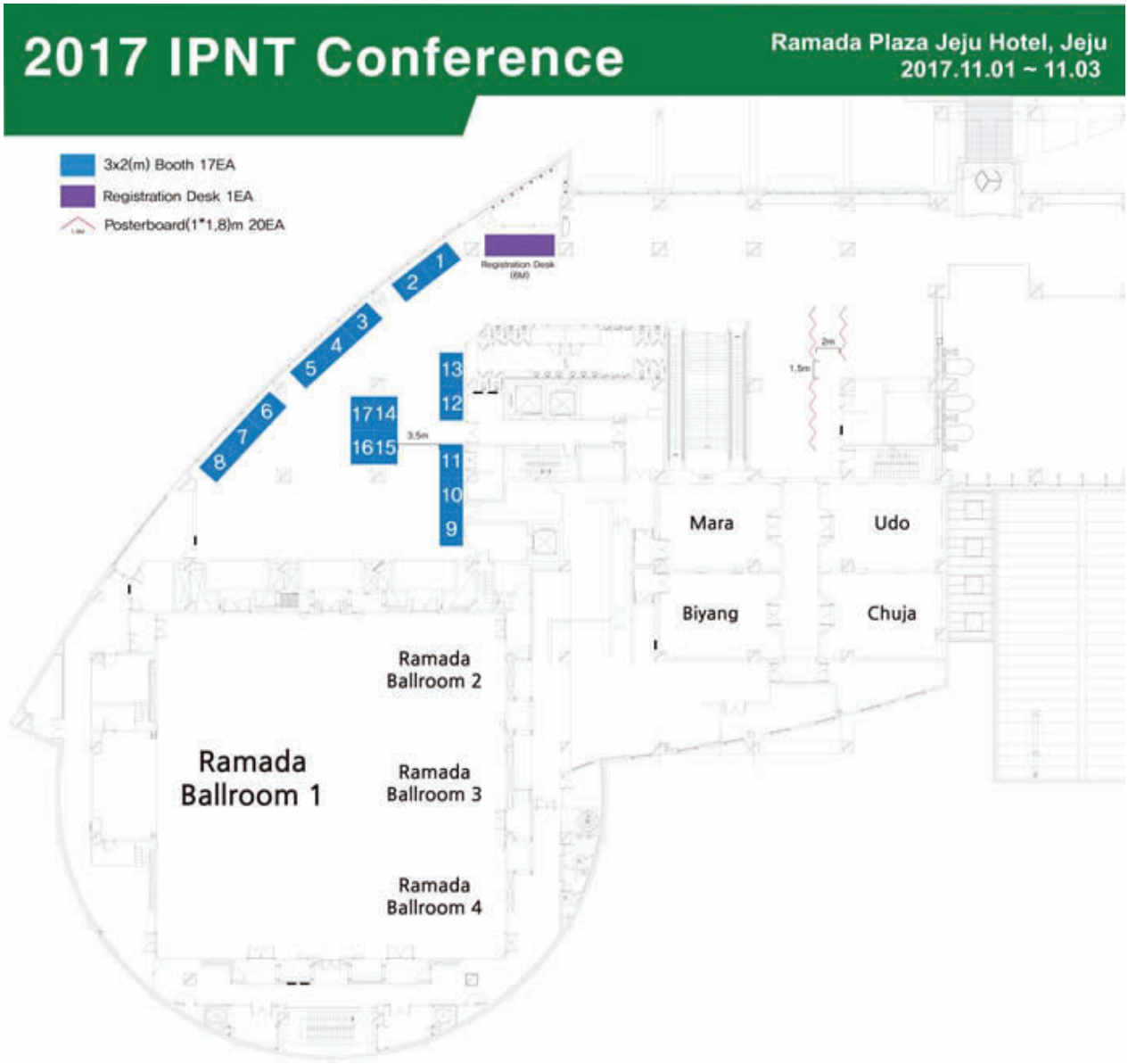
Proceedings

November 1~3, 2017

RAMADA PLAZA JEJU HOTEL

주최 : 사단법인 항법시스템학회
THE INSTITUTE OF POSITIONING NAVIGATION, AND TIMING

후원 : KOFST 한국과학기술단체총연합회



번호	상호	번호	상호
1	㈜아센코리아	10	GNSS Solution Corp.
2	인성인터내쇼날㈜	11	지티에스솔루션즈㈜
3	㈜두시텍	12	㈜동진커뮤니케이션시스템
4	㈜케이티	13	와이즈시스템㈜
5	㈜케이티샛	14	이투비 / SKYDEL
6-7	한국항공우주연구원 SBAS 사업단	15	㈜삼영피엔티
8	Thales Alenia Space	16	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소
9	넵코어스㈜	17	국립해양측위정보원

2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 01

회사명	㈜아센코리아 AscenKorea The Special Group in GNSS www.AscenKorea.com
대표자	황국연
주 소	서울특별시 금천구 가산디지털1로 83, 14층 1401호(가산동, 파트너스타워)
전 화	1544-3818
팩 스	02-6499-2940
홈페이지	www.ascenkorea.com/www.ascen.co.kr
E-mail	sales@ascen.co.kr
회사 및 전시품 소개	㈜아센코리아는 지난 2007년 GPS 제품 개발을 시작으로 현재까지 위치정보 관련 제품과 서비스를 제공하고 있는 위치정보 전문기업입니다. 현재 GPS 모듈, 안테나 정밀 GPS, GNSS 모듈, GNSS 수신기, 위치 정보 시스템 등과 관련한 다양한 기술을 선보이고 있습니다. 고정밀 **모델명: AKT** 개발한 1cm급 정밀 수신기는 1cm 이내의 위치 정확도와 정밀도를 자랑한다. 또한 위치 정확도가 높아 차량, 산업용 시스템 등에 적용 가능하며 안테나 분리형으로 높은 신호 안전성을 구현합니다. **모델명: AKTA** GNSS 재밍 알람 기능, 카메라, 배터리 내장, 고정밀 FKP, VRS 보정 신호 처리 기능 등이 모두 내장된 일체형 수신기입니다. **모델명: AKNB(T), AKNB** 50cm, 70cm급 정밀 수신기는 고성능 패치안테나를 내장한 제품으로 합리적인 가격에 높은 신뢰성과 높은 정밀도를 자랑하는 제품이다. 사용자 친화적인 인터페이스와 소형 디자인, 대용량 충전 배터리(사용시간 약 8시간 이상) 장착 등이 장점이다. 또한 무선 통신지원(BT) 기능을 갖추고 있으며 사용자 요구에 맞는 펌웨어 제작과 프로그램 지원 가능합니다. **재방사** 옥외의 GNSS 안테나로부터 수신된 RF신호를 실내 안테나로 재방사하며 신호증폭과 옥외안테나 및 실내안테나 전원 공급 시스템입니다. **RP2-L1(GNSS Repeater 2 Channer Coltroller)** RF 신호 증폭과 옥외안테나 및 실내안테나에 전원공급을 하는 장치입니다. **TA20, TA10(GNSS Transmission Line Amplifier)** 재방사 안테나 시스템의 전송선로에 장착하여 사용하며, 전송선로의 손실을 보상하는 사용되는 장치입니다. **RPP-100** 안테나 재방사 시스템에서 전송선로에 직류전원을 직접 공급할 때 사용하는 것으로, 재방사 시스템에 최적의 상태가 되도록 설계한 장치입니다.

2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 02

회사명	인성인터내쇼날(주)
대표자	최규주
주 소	서울시 금천구 가산디지털1로 1, 더루벤스밸리 1202~3호
전 화	02-579-5031
팩 스	02-578-6167
홈페이지	www.insungsys.kr
E-mail	insung@insungsys.kr or sales@insungsys.kr

회사 및 전시품 소개

1. NovAtel
Products: GNSS, INS, Antenna,
New products OEM7 Introduce

2. Solution
- Relative INS for UAV landing on Vessel
- Relative GNSS (Align Relative Positioning)
- Precise Heading & Pitching in one receiver
- High Vibration Application for tough environment
- Technology for Anti-jamming and Anti-spoofing
- PPP (Precise Point Positioning) Correction Service
- Post-Processing Software
- GAJT(Anti-Jamming) + RTK
- High Accuracy IMU
- SPAN solution (GNSS and INS combination)









2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 03

회사명	㈜두시텍
대표자	정진호
주 소	대전광역시 유성구 테크노10로 44-15 (탑립동)
전 화	042-280-1400
팩 스	042-280-1459
홈페이지	www.dusi.co.kr
E-mail	jjh@dusi.co.kr
회사 및 전시품 소개	KnDrone (소형무인기 시스템)



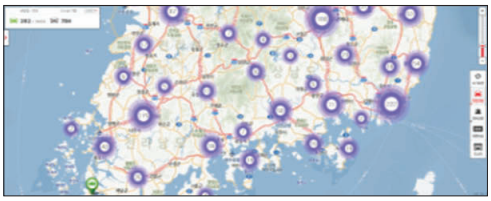
2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 04

회사명	KT
대표자	황창규
주 소	경기도 성남시 분당구 불정로 90
전 화	010-4269-3242
팩 스	0303-0990-9264
홈페이지	www.kt.com
E-mail	sungbum.key@kt.com

회사 및 전시품 소개

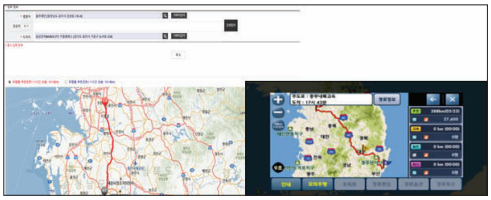
[위험물/화물차 안전운송]
위험물/화물의 안전운송을 위한 특화된 내비게이션 기반의 운송관제 서비스



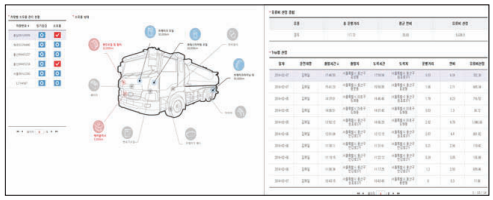
■ **차량 위치 관제**
- 실시간 차량 위치 관제 및 운행 이력 관리
- 다양한 경보설정과 위험물 운송 정보 관제 서비스 제공



■ **운송 경로 관리**
- 실시간 차량 위치 관제 및 운행 이력 관리
- 다양한 경보설정과 위험물 운송 정보 관제 서비스 제공



■ **운송계획서 관리**
- 위험물/화물 차량의 운송 계획 관리
- 운송담당자가 입력한 경로를 단말 내비게이션에서 자동 길안내
- 위험물 운송계획서 작성/다운로드



■ **화물차 운영 편의 제공**
- 화물차 운송에 필요한 편의 기능 제공
- 다양한 운송 리포트 제공

2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 05

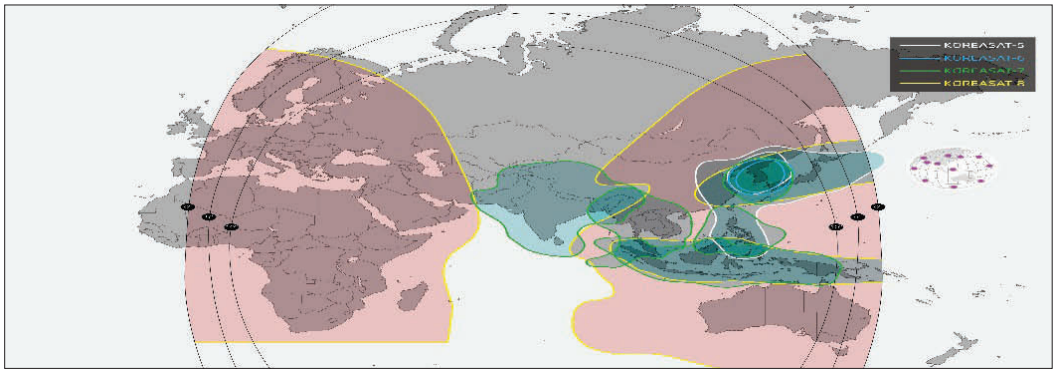
회사명	㈜ 케이티샛 (kt sat Co. Ltd)
대표자	한원식
주 소	서울특별시 강남구 테헤란로 422, 14층
전 화	02-1577-7726
팩 스	02-360-3999
홈페이지	https://www.ktsat.net
E-mail	ktsat@kt.com

회사 및 전시품 소개

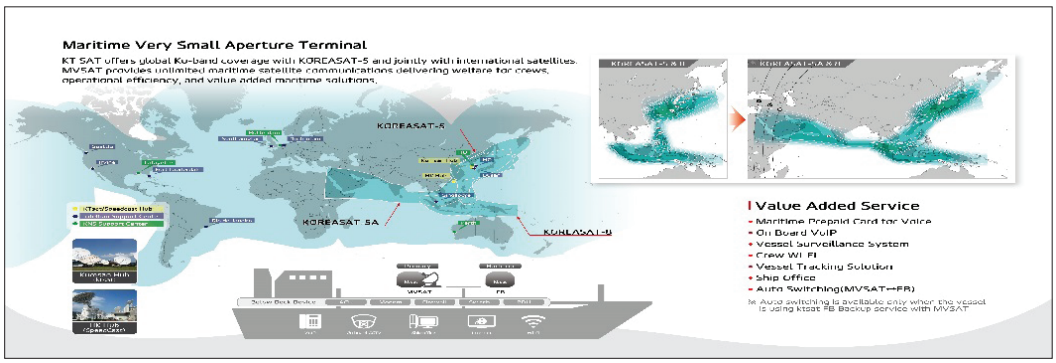
㈜케이티샛은 국내 유일 통신위성 보유 및 풍부한 IT 인프라, 위성 전문가들을 집약하여 차별화된 위성/ICT서비스와 솔루션을 제공하는 Total Service Provider 입니다. 현재 자체 발사 위성인 무궁화위성 6호 (동경 116도), 컨소시엄 형태의 콘도샛 (동경 75도), 무궁화위성 5호 (동경113도), 무궁화위성 7호 (동경116도) 등 총 위성 4기를 보유하고 있습니다.

전시 소개

- 보유 위성 빔 커버리지



- 제공 서비스/사업



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 06/07

회사명	한국항공우주연구원 SBAS 사업단
대표자	남기욱
주 소	대전광역시 유성구 과학로 169-84
전 화	042-870-3503
팩 스	042-870-3595
홈페이지	www.kass.re.kr
E-mail	youjeong@kari.re.kr

회사 및 전시품 소개

1. 사업단 소개

한국항공우주연구원은 2014년 10월 국토교통부 주관 연구개발사업인 “초정밀 GPS 보정시스템(SBAS : Satellite Based Augmentation System)개발 · 구축” 사업 주관연구기관으로 선정되어 2014년 12월 SBAS 사업단을 출범하였다.

SBAS 개발 · 구축 사업은 2019년까지 연구개발을 거친 후 2020년 공개서비스를 시작으로 시스템 성능 인증을 거쳐 2022년 정식 운영 서비스를 제공할 계획이다.

본 사업이 완료되면 항공, 자동차, 선박 등 교통수단뿐만 아니라 정보통신, 물류, 응급 구조 등 다양한 분야에 활용이 가능하여 국민의 삶의 질과 안전을 향상시키는데 크게 기여하게 될 전망이다.

2. 전시품 소개

- SBAS 운영 개념도
- 세부과제별 사업개요(SBAS 체계 및 지상시스템 개발, SBAS 위성통신시스템 개발), 주요 연구 수행 내용, 기대효과 등 과제소개 패널

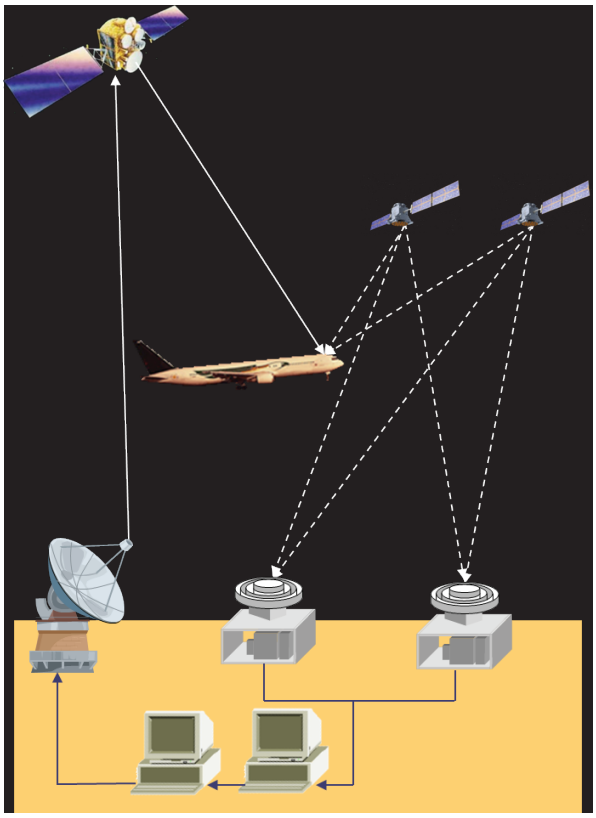




2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 08

회사명	Thales Alenia Space
대표자	26, avenue Jean-François CHAMPOLLION
주 소	31100 TOULOUSE - FRANCE
전 화	+33 5 34 35 36 37
팩 스	+33 5 34 35 47 91
홈페이지	http://www.thalesaleniaspace.com
E-mail	Mathias.van-den-bossche@thalesaleniaspace.com
회사 및 전시품 소개	The products that TAS develop are systems including satellites and ground segments. For this reason, the TAS exhibition booth will display mainly posters, videos and/or models so as to show the range of activities covered by our company. We will be happy to discuss with the interested participants about the possible uses that can be made of our systems, in particular about the applications that can be derived from the signals that our systems broadcast.



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 09

회 사 명	넵코어스주식회사 / NAVCOURS Co., Ltd.
대 표 자	이경재
주 소	대전광역시 유성구 테크노2로 66-6 (관평동 713)
전 화	042-363-9000
팩 스	042-363-9001
홈페이지	www.navcours.com
E-mail	sales@navcours.com

회사 및 전시품 소개

넵코어스㈜는 PNT(Position, Navigation & Timing) 전문 개발 및 제조 능력을 갖춘 방산업체로서 국가안보의 일익을 담당한다는 자부심을 최우선 가치로 삼고 있습니다. 주요 제품군으로 지상무기체계, 정밀유도무기, 항공무기시스템과 나로호 우주발사체 등 다양한 군 무기체계 및 우주 환경에서 그 성능 및 신뢰성과 안정성이 검증된 PNT 기술과 생산 경험을 기반으로 각종 무기체계에 최적화된 GNSS 위성항법, GNSS/INS 통합항법 및 다양한 형태의 전파 위협에 대응할 수 있는 재밍/기만 대응 솔루션들을 망라하고 있습니다.

■ 주요 사업 분야



GNSS & 통합항법



항재밍/항기만



항공우주



PNT 인프라

■ GNSS 항재밍/항기만 솔루션



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 10

회사명	GNSS Solution Corp
대표자	김홍만
주 소	서울시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호
전 화	02-6737-7617
팩 스	050-7085-5031
홈페이지	www.gnss-solution.co.kr
E-mail	steven@gnss-solution.co.kr

회사 및 전시품 소개



LabSat 3 WIDEBAND

The most powerful LabSat yet, the new LabSat 3 WIDEBAND captures and replays more GNSS signals at a much higher resolution than before.

Small, battery powered and with a removable solid state disk, **LabSat 3 WIDEBAND** allows you to quickly gather detailed, real world satellite data and replay these signals on your bench.

With three channels, a bandwidth of up to 56MHz and 6 bit sampling, **LabSat 3 WIDEBAND** can handle almost any combination of constellation and signal that exists today, with plenty of spare capacity for future planned signals.

LabSat 3 WIDEBAND can record and replay the following signals:

- GPS: L1 / L2 / L5
- GLONASS: L1 / L2 / L3
- BeiDou: B1 / B2 / B3
- QZSS: L1 / L2 / L5
- Galileo: E1 / E1a / E5a / E5b / E6
- SBAS: WAAS, EGNOS , GAGAN, MSAS, SDCM
- IRNSS



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 11

회사명	지티에스솔루션즈 주식회사 GTSsolutions
대표자	김민수
주 소	서울특별시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동,아이티미래타워)
전 화	02-2027-6010
팩 스	02-2027-6013
홈페이지	www.gtssolutions.co.kr
E-mail	info@gtssolutions.co.kr, sales@gtssolutions.co.kr

회사 및 전시품 소개

■ 회사 소개

저희 지티에스솔루션즈(주)는 미국 Microsemi사의 국내 솔루션 공급자로서 시간 및 주파수 분야의 오랜 경험 및 축적된 실무 노하우와 고객 신뢰를 바탕으로 초 정밀 Timing 시스템 및 초 정밀 Oscillator 솔루션을 제공하고 있는 전문 업체로서 최고의 제품과 서비스 제공을 약속드리며, 항상 최선을 다하는 기업이 되겠습니다.

■ 전시제품

Frequency References
- Cesium clocks
- Active Hydrogen Masers
- Rubidium
- Quantum™ chip scale and miniaturized atomic clocks
- Quartz: spectral purity
- Ruggedized High reliability







Time & Frequency Distribution and Timescale Systems
- 1U Distribution Systems
- Commercial Timescale Systems
- Integration services and custom systems




PTP IEEE1588 Grand Master
- Up to 1000 IEEE1588 Unicast Clients@128 messages/sec
- Single or Dual GNSS Receiver
- Redundant Power supplies
- 1x10-11 daily Holdover



High Performance NTP Servers and Bus Level Timing
- NTP Network Appliances
- Modular NTP Solutions
- PCI, PCIe, PMC, SDKs





2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

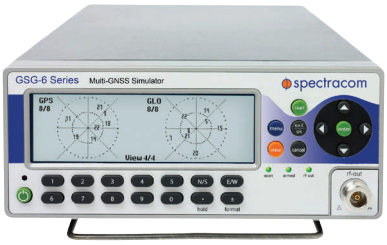
Booth No. 12

회사명	(주)동진커뮤니케이션시스템
대표자	김영남
주 소	서울시 종로구 사직로8길 경희궁의아침3단지오피스텔 1510호
전 화	02-722-1748
팩 스	02-723-1750
홈페이지	www.dongjin-microwave.co.kr
E-mail	shkim@dongjin-microwave.co.kr

회사 및 전시품 소개

저희 동진커뮤니케이션시스템은 지난 27년간 고객님들의 배려로 위성통신관련 솔루션을 제공해 드리고 있습니다.

■ **GNSS 시뮬레이션**



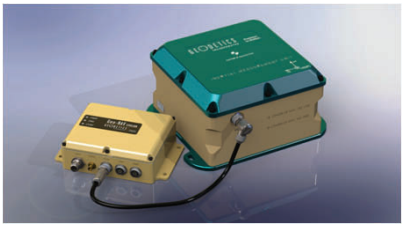


- 1~64 채널
- GPS L1, L2, L2C, L5, L6
- GLONASS L1, L5
- Galileo E1, E5(a,b)
- BeiDou B1, B2
- QZSS, IRNSS - SBAS

- Scenario Builder
- Jamming simulation
- Real time scenario generator
- Record and playback
- RTK Data generation
- A-GNSS input & output

■ **GNSS & IMU Positioning**





■ **GNSS Timing**



■ **Antenna & Accessories**



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

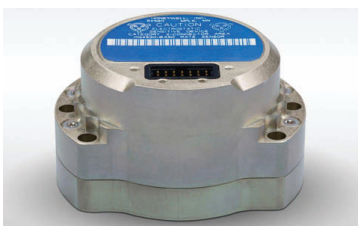
Booth No. 13

회사명	와이즈시스템(주) WISE SYSTEM Co., Ltd
대표자	윤희홍
주 소	(05855) 서울시 송파구 법원로 6길, 7 607호 (송파유탑테크밸리)
전 화	070-7010-0440
팩 스	070-4325-2161
홈페이지	http://wisesystem.co.kr
E-mail	sales@wisesystem.co.kr
회사 및 전시품 소개	저희 와이즈시스템은 GNSS 연구 및 개발에 적합한 최고의 솔루션을 제공하고 있습니다. GNSS 시뮬레이터 분야에서 독보적인 기술력을 갖고 있는 Spirent, GNSS 수신기로 세계 최고의 정밀도와 직관적인 GUI를 갖고 있는 Septentrio, 높은 품질과 다양한 라인을 보유한 GNSS 안테나 전문업체인 Antcom, 증폭기와 분배기 같은 GNSS 악세서리를 전문적으로 생산하는 GPS Source, 그리고, Honeywell 사의 IMU 제품 까지 다양한 제품으로 여러분들의 든든한 동반자가 될 것입니다.









2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 14

회사명	이투비
대표자	이정호
주 소	서울시 금천구 두산로 28, 삼양솔리브 201호
전 화	02-6677-3409
팩 스	02-6499-3409
홈페이지	www.etoob.co.kr
E-mail	jaydon.lee@etoob.co.kr
회사 및 전시품 소개	이투비는 GNSS의 Application이 필요한 곳이면 항상 곁에 있습니다. 특히, 연구 개발 및 시험이 필요한 시뮬레이션분야에는 소프트웨어를 기반으로 한 솔루션을 제공하여 사용자에게 다양한 해법을 제공합니다. 또한 GNSS receiver분야에는 독보적 기술을 보유한 Trimble사와 손잡고 다양한 솔루션을 제공 하고 있습니다.



2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 15

회사명	주식회사 삼영피엔티
대표자	김영균
주 소	서울시 금천구 가산디지털 1로 25, 대륭테크노타운 17차 1502호
전 화	02-6081-0088
팩 스	02-6003-0089
홈페이지	http://www.samyoungpnt.com
E-mail	sales@samyoungpnt.com

회사 및 전시품 소개

㈜삼영피엔티 - Trimble Intech OEM GNSS No.1
쉽고, 간단하고, 빠르고, 정밀한 Trimble Intech Total solutions Provider.

Trimble OEM GNSS SOULTION

- Dual-antenna inputs for precise heading calculation
- Multi-Constellation GNSS Support
- Centimeter level position accuracy
- Onboard high accuracy inertial sensor package integrated with GNSS for precise position and orientation
- Proven Trimble Maxwell technology

OEM GNSS Receiver Enclosure



OEM GNSS Receiver Module





2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 16

회 사 명	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 KRISO 선박해양플랜트연구소 KOREA RESEARCH INSTITUTE OF SHIPS & OCEAN ENGINEERING
대 표 자	서상현
주 소	대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 32(장동)
전 화	042-866-3114
팩 스	042-866-3689
홈페이지	http://www.kriso.re.kr
E-mail	

회사 및 전시품 소개

1. 연구소 소개

선박해양플랜트연구소는 1973년에 설립되어 선박해양공학기술 연구개발을 통해 우리나라를 조선강국으로 이끈 정부출연 연구기관으로 국가 신성장 산업으로 주목받고 있는 친환경 선박 및 해양플랜트와 더불어 해양안전, 해양시스템 분야의 원천기술개발, 응용 및 실용화 연구 등 종합 연구역량 수월성 확보를 통하여 국가 현안문제를 해결하고 국제표준을 선도하는 창조적 연구를 수행하고 있다.

□ **주요연구분야 Major Research**
- Environment-friendly Advanced Ship Technology
- Offshore Plant Engineering Technology
- Maritime Traffic Safety and Marine Accident Response Technology - Underwater Vehicles and Marine Equipment Technology

2. 전시품 소개

□ **해양 정밀 임무수행용 멀티소스 복합항법 기반기술 개발**
- 실시간 현장 시험 플랫폼 구축
- 초정밀항법(PPP/AR) 보정정보 생성 및 수렴시간 단축기술
- 이로란항법(eLoran) 자율 무결성 감시 기술
- 멀티소스 PPP-AR/INS/eLoran 융합필터 기술

□ **첨단 지상파항법시스템(eLoran) 기술개발**
- eLoran 기술개발 과제 소개
- eLoran 시스템 아키텍처 설계
- eLoran 테스트베드 구축(안) 소개

□ **DGNSS 서비스 성능강화 및 항만 PNT 모니터링 기술개발(추후 생략가능)**
- 신규 RTCM 표준 대응의 차세대 DGNSS RSIM (K-RSIM 2.0) 기술
- 항만 전파항법신호(PNT) 감시 기술

2017 IPNT Conference 업체 및 전시품 소개서

Booth No. 17

회사명	국립해양측위정보원 (책임운영기관 국립해양측위정보원 National Maritime PNT Office)
대표자	공현동
주 소	대전광역시 유성구 갑동로 25번길 28-17(갑동387-55)
전 화	042-820-5900
팩 스	042-824-0944
홈페이지	www.nmpnt.go.kr
E-mail	ndgps@korea.kr
회사 및 전시품 소개	• 국립해양측위정보원 (National PNT Office) 국립해양측위정보원은 우리나라 해역의 해상교통안전과 선박 운항능률 증진을 위하여 위성항법시스템(GPS)의 위치오차를 1m 이내로 보정한 위성항법보정시스템(DGPS, Differential GPS)과 지상파항법시스템인 LORAN-C(LOng RAnge Navigation)를 운영하고 있습니다. 특히 전 세계적으로 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 중국의 Beidou 및 유럽의 Galileo 등 GNSS(Global Navigation Satellite System)로 다변화되는 측위정보 제공을 위하여 노력하고 있으며, GPS 교란 시스템의 신호 감시 및 이에 대응하기 위한 차세대 지상파항법시스템인 eLORAN으로 발전해가는 기술동향에 적극 발맞추어 나가고 있습니다. 또한, DGPS 측위정보를 해양에서 뿐만 아니라 육상에서도 국민들이 쉽게 이용할 수 있도록 인터넷, DMB 방송, 스마트폰을 이용하여 측량, 산림관리, 레저 활동 등 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 제공하고 있습니다. 국립해양측위정보원은 '16년 3월부터 책임운영기관을 지정되어 행정운영의 효율성 향상 및 맞춤형 대국민 서비스에 최선을 다하고 있습니다. • 해로드 어플리케이션 (海Road Application) 소형선박 및 레저보트 등 항법장비를 갖추지 못한 이용자를 위한 '해로드(海Road)' 앱은 전자해도와 네이버지도를 탑재하여 빠르고 정확한 바닷길 안내를 돕는 모바일 어플리케이션입니다. 주요 기능으로는 위치정보 · 이동경로 · 해양기상정보 제공 등이 있으며, 위급상황 발생시 클릭 한 번으로 해경, 119 상황실에 자신의 위치좌표가 포함된 구조요청(SOS) 문자를 실시간으로 전송하여 신속한 구조를 받는 데 도움을 줍니다. 특히, 해난구조 골든타임을 사수하여 조난자들이 안전하게 구조될 수 있다는 점을 높게 평가 받아 '15년 생활불편 개선 우수사례 경진대회(행자부 주관)에서 대통령상을 수상하기도 하였습니다. 또한, 해로드 앱은 유관기관과 협업을 통한 해양정보 통합 제공으로 정부 3.0의 대표적인 우수사례로도 손꼽히고 있습니다.

PROGRAM

2017년 항법시스템학회 정기학술대회

2017 IPNT Conference

주제 : 4차 산업혁명의 길잡이 PNT

(PNT as the essential guiding star to the 4th industrial revolution)

2017. 11. 1.(수) - 3.(금)

라마다프라자 제주호텔 라마다볼룸



사단법인 항법시스템학회
THE INSTITUTE OF POSITIONING NAVIGATION, AND TIMING



최근 과학기술분야의 뜨거운 화두는 단연 “4차 산업혁명”입니다. 4차 산업혁명의 핵심은 ‘지능’과 ‘정보’의 결합이며, 다보스 세계경제포럼에서는 인공지능, 로봇기술, 생명과학이 주도하는 차세대 산업혁명으로 정의했습니다. 4차 산업혁명에서는 인공지능, 빅데이터, 클라우드의 지능정보기술을 기반으로 하는 로봇, 자율주행차, 드론, IOT, 보안 등의 응용 분야가 주목 받고 있습니다. 이러한 응용분야에서 PNT (Position, Navigation and Timing) 정보의 중요성은 점점 커져가고 있습니다. 이미 GNSS가 제공하는 정확한 3차원 위치정보는 자율주행을 위해서 반드시 필요한 핵심 정보 중의 하나이며, GNSS가 제공하는 정밀한 시각정보가 없다면 통신 시스템이 제대로 동작하지 않을 것입니다.

이러한 배경에서 2017년 학술대회의 주제를 “4차 산업혁명의 길잡이 PNT”로 정했습니다. 이번 학술대회에서는 4차 산업혁명이 완성되기 위하여 필요한 PNT 정보를 제공하는 “guiding star”로서의 역할을 좀 더 효과적으로 수행하고, 필요한 기반 시스템을 체계적으로 구축하고 보완하기 위한 기술뿐 아니라 제도 및 정책에 대해서도 활발한 논의가 이루어질 것으로 기대합니다.

2017년 항법시스템학회 정기학술대회에 산학연 전문가 여러분을 초청합니다. 많은 분들께서 제주의 늦가을을 즐기면서 심도 있는 토론의 장에 참여하시길 기원합니다.

감사합니다.

2017년 11월

사단법인 항법시스템학회장 박찬식



대회장 : 박찬식 (충북대학교)

학술대회조직위원장 : 박상현 (선박해양플랜트연구소)

프로그램위원장 : 박관동 (인하대학교)	
김선우	한양대학교
서기열	선박해양플랜트연구소
소형민	국방과학연구소
한진희	㈜텔에이스

정부포럼위원장 : 이지윤 (한국과학기술원)	
박병운	세종대학교
서지원	연세대학교
최병규	한국천문연구원

튜토리얼위원장 : 조성윤 (경일대학교)	
김병두	MTG
박영범	국방과학연구소
이소연	한국전자통신연구원
조정호	순천향대학교

국제협력위원장 : 기창돈 (서울대학교)	
김의호	홍익대학교
박상현	선박해양플랜트연구소
송기원	국방과학연구소
신천식	한국전자통신연구원
이택진	한국과학기술연구원
허문범	한국항공우주연구원

전시/홍보위원장 : 허문범(한국항공우주연구원)	
신동호	국방과학연구소
윤상준	넵코어스㈜
이상욱	한국전자통신연구원
황태현	선박해양플랜트연구소

01 등록

학술대회 참가등록은 http://www.ipnt.or.kr -〉학술대회 -〉온라인등록에서 하여 주시기 바랍니다. 사전등록비는 정회원 및 비회원은 350,000원, 학생회원 및 정회원 중 석.박사과정 학생, 군인, 경찰은 150,000원입니다. 사전등록 회원은 사전등록 데스크에서 등록자 명부에 서명 후 Abstract Book, Tutorial Book, 명찰, 등록비영수증, 기념품을 수령하시기 바랍니다.

부득이 사전등록을 하지 못하신 회원은 현장등록 데스크에서 등록을 하여 주시기 바랍니다. 현장등록비는 일반 450,000원, 학생회원 및 정회원 중 석.박사과정 학생, 군인, 경찰은 200,000원입니다. 현장등록을 마친 후 관련 자료를 수령하시고 입장하여 주시기 바랍니다.

02 발표자료 준비

구두발표 발표자료는 파워포인트 파일로 준비하여 주시기 바라며 연구발표는 20분입니다. 포스터발표는 A0사이즈 1장으로 준비하여 주시기 바랍니다.

포스터는 11월 2일(목) 10시까지 배정된 자리에 부착하여 주시고, 11월 2일(목) 17:00에 수거하여 주시기 바랍니다. 11월 2일(목) 14:40 -15:40 포스터집중발표시간에는 포스터 앞에서 회원들의 질문에 답할 수 있도록 준비하여 주시기 바랍니다.

03 회원가입

학회 회원가입을 원하시는 분은 웹 회원가입을 하신 후 입회원서[게시판 33번 다운로드]를 작성하여 추천인 2인의 서명을 받아 사무국에 제출하여 이사회의 승인절차를 거쳐 회원으로 승인 됩니다. 회원승인 통지를 받은 후 입회비와 연회비를 납부하시므로 회원자격을 얻게 됩니다. 입회비와 연회비는 학회 홈페이지 "온라인등록/연회비납부"메뉴를 통해 납부합니다.

입회비 10,000원

연회비 학생회원 10,000원, 정회원 50,000원, 이사/감사 100,000, 부회장 300,000, 회장 500,000원

학회계좌 국민 827901-04-078599 / 예금주 사단법인 항법시스템학회

04 교통

가. 행사장소

제주특별자치도 제주시 탑동로 66

라마다프라자 제주호텔

TEL 064-729-8100

URL http://www.ramadajeju.co.kr/about/location.asp



나. 셔틀버스 운행

호텔 셔틀버스를 아래와 같이 운행하오니 많은 이용바랍니다. 예약 없이 이용 가능합니다.

탑승장소 : 제주공항 → 제주 라마다프라자 호텔(제주공항 C10주차장)

운행시간

운행일자	행선지	운행시간		차량종류
11월 1일(수)	공항 → 호텔	09:00 출발	09:10 도착	대형버스(45인승)
11월 1일(수)	공항 → 호텔	11:00 출발	11:10 도착	대형버스(45인승)
11월 2일(목)	공항 → 호텔	09:00 출발	09:10 도착	대형버스(45인승)
11월 2일(목)	공항 → 호텔	11:00 출발	11:10도착	대형버스(45인승)
11월 3일(금)	호텔 → 공항	14:50 출발	15:00 도착	대형버스(45인승)

다. 승용차 / 택시

- 소요시간 10분소요
- 용문로타리 방면 → 한천교 → 서문시장 → 서문사거리에서 좌회전 → 탑동로 방향으로 직진
- 택시비 약 5,000원 (총거리 3.8킬로미터)

05 숙박

가. 예약방법

객실 예약 신청서를 작성하여 예약 담당자 이메일로 보내주시고 유선으로 확인하여 주시기 바랍니다.

이메일 : ramadajeju1004@naver.com

예약담당자 : 김수영

예약처 : 전화 02-3672-8700 Fax 02-3672-0066

객실은 학회에서 확보한 수량에서 선착순으로 마감합니다.

신청서 다운로드 : www.ipnt.or.kr → 학술대회 → 숙박

나. 예약기간

1차 예약 기간 : 2017. 07. 24(월) ~ 09. 29(금)

2차 예약 기간 : 2017. 09. 30(토) ~ 10. 20(금)

※1차 예약마감 후 잔여객실이 있는 경우에만 2차 예약 가능

다. 단체할인 가격

트윈, 한라산 전망 : 160,000(부가세 포함)

트윈, 바다 전망 : 180,000(부가세 포함)

2017 IPNT Conference 프로그램 요약

2017년 11월 1일(수) / 첫째날

08:00-09:00	**Registration**	
[TS] Tutorial Session (라마다볼룸 1)		
좌장 : 조성윤 교수 (경일대학교)		
09:00-10:00	[TS-1]	강창호 박사 (서울대학교)
10:00-11:00	[TS-2]	이형근 교수 (항공대학교)
11:00-12:00	[TS-3]	이승익 박사 (한국전자통신연구원)
12:00-13:10	Lunch (1층 탐모라)	
개회식 (라마다볼룸 1)		
사회 : 박관동 교수 (인하대학교)		
13:10-13:20	- 개회사 : 박찬식 회장 (항법시스템학회) - 축 사 : 공현동 원장 (해양수산부 국립해양측위정보원)	
[IS] Invited Session (라마다볼룸 1)		
좌장 : 기창돈 교수 (서울대학교)		
13:20-13:50	[IS-1]	Prof. Guenter Hein (FAF Munich University, Germany)
13:50-14:20	[IS-2]	Prof. Chris Rizos (University of New South Wales, Australia)
14:20-14:50	[IS-3]	Dr. Mathias Van Den Bossche (Thales Alenia Space, France)
14:50-15:20	[IS-4]	Mr. Alberto Fernández Wyttenbach (GSA)
14:50-15:20	Coffee Break	
[FS] 국가 GNSS 정책포럼 Session (라마다볼룸 2)		
좌장 : 최병규 박사 (한국천문연구원)		
15:40-15:55	[FS-1]	공현동 원장 (국립해양측위정보원)
15:55-16:10	[FS-2]	김진우 과장 (과학기술정보통신부 우주기술과)
16:10-16:25	[FS-3]	성윤모 과장 (국토지리정보원 국토측량과)
16:25-16:40	[FS-4]	양창생 사무관 (국토교통부)
16:40-17:00	질의응답	최병규 박사 (한국천문연구원)
17:00-17:20	Coffee Break	
Welcome Reception (라마다볼룸)		
사회 : 허문범 박사 (한국항공우주연구원)		
17:20 - 17:40	식전행사 (공연)	
17:40-20:00	기업체 홍보	
	감사패 증정	
	학술상 시상	
	만찬	

2017년 11월 2일(목) / 둘째날 / 구두발표

시간	제1발표장			제2발표장			제3발표장			제4발표장		
	(라마다볼룸 1)			(라마다볼룸 2)			(라마다볼룸 3)			(라마다볼룸 4)		
	[A1] 보강시스템 1			[B1] 기타GNSS관련기술 1			[C1] 항공과 우주 응용			[D1] 수신기와 안테나		
	좌장: 박상현 박사 (KRISO)			좌장: 장재규 박사 (ADD)			좌장: 최병규 박사 (천문연)			좌장: 한진희 대표 (텔에이스)		
09:00-09:20	A1-1	최용권	측위정보원	B1-1	구상훈	건국대	C1-1	조성룡	항우연	D1-1	김형필	인하대
09:20-09:40	A1-2	김상현	인하대	B1-2	오형직	연세대	C1-2	권병문	항우연	D1-2	박귀우	충북대
09:40-10:00	A1-3	한덕화	서울대	B1-3	최문석	건국대	C1-3	박요한	인하대	D1-3	조광희	충남대
10:00-10:20	A1-4	노재희	충남대	B1-4	정인철	ETRI	C1-4	박정민	서울대	D1-4	한진수	인하대
10:20-10:40	Coffee Break											
	[A2] 보강시스템 2			[B2] 기타GNSS관련기술 2			[C2] 재밍과 교란 1			[D2] 육상과 해상 응응		
	좌장: 주정민 박사 (항우연)			좌장: 박관동 교수 (인하대)			좌장: 신동호 박사 (국과연)			좌장: 서기열 박사 (KRISO)		
10:40-11:00	A2-1	최필훈	과기원	B2-1	한가희	인하대	C2-1	박준후	충남대	D2-1	이정훈	인하대
11:00-11:20	A2-2	송준솔	서울대	B2-2	임덕원	항우연	C2-2	천왕성	인하대	D2-2	박상현	KRISO
11:20-11:40	A2-3	유선경	서울대	B2-3	강창호	서울대	C2-3	서성훈	건국대	D2-3	손표웅	연세대
11:40-12:00	A2-4	임철순2-2	세종대	B2-4	전태현	넵코어스	C2-4	박관식	연세대	D2-4	이준효	연세대
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)											
	[A3] 무인자율항법 1			[[B3] 실내항법 1			[C3] 재밍과 교란 2					
	좌장: 황태현 박사 (KRISO)			좌장: 이택진 박사 (KIST)			좌장: 원종훈 교수 (인하대)					
13:00-13:20	A3-1	심영보	과기원	B3-1	정재훈	충남대	C3-1	강준구	건국대			
13:20-13:40	A3-2	김규원	건국대	B3-2	박소영	서울대	C3-2	강규식	한양대			
13:40-14:00	A3-3	정태기	건국대	B3-3	장희재	UST	C3-3	최정애	한양대			
14:00-14:20	A3-4	임준혁	건국대	B3-4	서재희	항우연	C3-4	김선영	서울대			
14:20-14:40	Coffee Break											
14:40-15:40	Poster Session / 좌장 : 임덕원 박사 (항우연)											
	[A4] 무인자율항법 2			[B4] 실내항법 2			[C4] 재밍과 교란 3					
	좌장: 김의호 교수 (홍익대)			좌장: 천세범 박사 (항우연)			좌장: 서지원 교수 (연세대)					
15:40-16:00	A4-1	임지웅	인하대	B4-1	이재홍	서울대	C4-1	신범주2-1	서울대/KIST			
16:00-16:20	A4-2	김태홍	현대오트론	B4-2	이석원	충북대	C4-2	조성한	넵코어스			
16:20-16:40	A4-3	김민	충북대	B4-3	김태선	과기원	C4-3	장재규	국과연			
16:40-17:00	A4-4	정진호2-1	두시택	B4-4	신범주2-2	서울대/KIST	C4-4	소형민	국과연			
17:00-17:20	휴식											
17:20-18:20	정기총회 (라마다볼룸 1)											

2017년 11월 3일(금) / 셋째날 / 구두발표

시간	제1발표장 (라마다볼룸 1)			제2발표장 (라마다볼룸 2)			제3발표장 (라마다볼룸 3)			제4발표장 (라마다볼룸 4)		
	[A5] 다중항법			[B5] 무선측위			[C5] 국방응용			[D5] NGRC SP 1		
	좌장: 김혜인 박사 (피피솔)			좌장: 신천식 박사 (ETRI)			좌장: 소형민 박사 (국과연)					
09:00-09:20	A5-1	이선용	충남대	B5-1	김효원	한양대	C5-1	강정완	한양대			
09:20-09:40	A5-2	최병규	천문연	B5-2	정민수	한양대	C5-2	신영훈	연세대			
09:40-10:00	A5-3	김라우	항공대	B5-3	이충훈	한양대	C5-3	이준학	충남대			
10:00-10:20	A5-4	이종혁	충남대	B5-4	천세범	항우연	C5-4	이철수	LIG넥스원			
10:20-10:40	Coffee Break											
	[A6] 보강시스템 3			[B6] 복합측위 1			[C6] 과학응용			[D6] NGRC SP 2		
	좌장: 이형근 교수 (항공대)			좌장: 이상우 박사 (항우연)			좌장: 박필호 박사 (천문연)					
10:40-11:00	A6-1	김민규	항공대	B6-1	김현기	한화	C6-1	임무택	지자연			
11:00-11:20	A6-2	임철순2-1	세종대	B6-2	조성윤	경일대	C6-2	손동효	기상청			
11:20-11:40	A6-3	윤문석	과기원	B6-3	최영권	서울대	C6-3	정종균	천문연			
11:40-12:00	A6-4	선기영	과기원	B6-4	노희권	서울대	C6-4	강선호	서울대			
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)											
	[A7] 보강시스템 4			[B7] 복합측위 2			[C7] 측량과 공간정보 응용			[D7] NGRC SP 3		
	좌장: 정종균 박사 (천문연)			좌장: 조성윤 교수 (경일대)			좌장: 손동효 박사 (기상청)					
13:00-13:20	A7-1	신동현2-2	세종대	B7-1	이유담	항공대	C7-1	정진호2-2	두시텍			
13:20-13:40	A7-2	조민규	충북대	B7-2	황태현	KRISO	C7-2	윤효중	세종대			
13:40-14:00	A7-3	장혜연	과기원	B7-3	김혜원	충남대	C7-3	윤웅준	인하대			
14:00-14:20	A7-4	장진혁	건국대	B7-4	임성훈	ES산전	C7-4	신동현2-1	세종대			
14:20-14:40	IPNT 우수논문상 시상식 / 폐회식 (라마다볼룸 1)											

※ 구두발표자료는 20분 분량의 PPT로 준비하여 주시기 바랍니다.

[PS] 포스터발표 : 집중발표시간 2017년 11월 2일(목) 14:40-15:40

번호	성명	소속	분야
PS-01	장석원	국과연	국방응용
PS-02	김준형	㈜한화	국방응용
PS-03	정철주	국과연	국방응용
PS-04	배정태	㈜한화종연	기타GNSS관련기술
PS-05	임형수	전자통신연	무선측위
PS-06	전종화	충남대	무선측위
PS-07	박지호	대구경북과기원	무인자율항법
PS-08	최진욱	대구경북과기원	무인자율항법
PS-09	손민혁	항우연	보강시스템
PS-10	안종선	항우연	보강시스템
PS-11	유문희	전자통신연	보강시스템
PS-12	윤영민	UST	보강시스템
PS-13	이상우	항우연	보강시스템
PS-14	이재은	항우연	보강시스템
PS-15	한중희	대구경북과기원	복합측위
PS-16	류경돈	UST	수신기와 안테나
PS-17	박성현	두시텍	수신기와 안테나

번호	성명	소속	분야
PS-18	박진모	두시텍	수신기와 안테나
PS-19	최종원	충북대	수신기와 안테나
PS-20	김경수	넵코어스	시각동기 응용
PS-21	김영기	KRISO	육상과 해상 응용
PS-22	신미리	항우연	육상과 해상 응용
PS-23	한영훈	KRISO	육상과 해상 응용
PS-24	김두원	넷커스터마이즈	재밍과 교란
PS-25	김태희	ETRI	재밍과 교란
PS-26	채정근	넵코어스	재밍과 교란
PS-27	신천식	ETRI	재밍과 교란
PS-28	조종철	넵코어스	재밍과 교란
PS-29	이치헌	국과연	재밍과 교란
PS-30	조성한	국과연	재밍과 교란
PS-31	조지행	국과연	재밍과 교란
PS-32	주인원	ETRI	재밍과 교란
PS-33	채정근	넵코어스	재밍과 교란
PS-34	최채택	국과연	재밍과 교란

※ 포스터발표 자료는 A0사이즈 한 장으로 11월 2일(목) 10시까지 배정된 자리에 부착하여 주시기 바랍니다.

2017 IPNT Conference 구두발표 논문제목 및 시간표

2017년 11월 1일(수)/ 제1발표장 라마다볼룸 1 / 제2발표장 라마다볼룸 2

08:00-09:00	**Registration**		
[TS] Tutorial Session (라마다볼룸 2)			
좌장 : 조성윤 교수 (경일대학교)			
09:00-10:00	[TS-1]	다중 GNSS 전파간섭	강창호 박사 (서울대학교)
10:00-11:00	[TS-2]	다중센서 융합 항법	이형근 교수 (항공대학교)
11:00-12:00	[TS-3]	강화학습(RL)과 항법응용	이승익 박사 (한국전자통신연구원)
12:00-13:10	Lunch (1층 탐모라)		
개회식 (라마다볼룸 1)			
사회 : 박관동 교수 (인하대학교)			
13:10-13:20	- 개회사 : 박찬식 회장 (항법시스템학회) - 축 사 : 공현동 원장 (해양수산부 국립해양측위정보원)		
[IS] Invited Session (라마다볼룸 1)			
좌장 : 기창돈 교수 (서울대학교)			
13:20-13:50	[IS-1]	Authentication – Threats, Needs, Solutions	Prof. Guenter Hein (FAF Munich University, Germany)
13:50-14:20	[IS-2]	Do We Have PNT Capability for the 4th Industrial Revolution?	Prof. Chris Rizos (University of New South Wales, Australia)
14:20-14:50	[IS-3]	The Future of SBASs	Dr. Mathias Van Den Bossche (Thales Alenia Space, France)
14:50-15:20	[IS-4]	New Opportunities in 4th Industrial Revolution Driving the Challenges for PNT	Mr. Alberto Fernández Wyttenbach (GSA)
14:50-15:20	Coffee Break		
[FS] 국가 GNSS 정책포럼 Session (라마다볼룸 2)			
좌장 : 최병규 박사 (한국천문연구원)			
15:40-15:55	[FS-1]	국가 해양 PNT 현황과 발전방향	공현동 원장 (국립해양측위정보원)
15:55-16:10	[FS-2]	우리나라 인공위성 개발 현황 및 계획	김진우 과장 (과학기술정보통신부 우주기술과)
16:10-16:25	[FS-3]	국토지리정보원의 위성항법 서비스 현황 및 정책 방향	성윤모 과장 (국토지리정보원 국토측량과)
16:25-16:40	[FS-4]	SBAS 개발 구축 현황과 활용계획	양창생 사무관 (국토교통부)
16:40-17:00	질의응답	최병규 박사 (한국천문연구원)	
17:00-17:20	Coffee Break		
Welcome Reception (라마다볼룸)			
사회 : 허문범 박사 (한국항공우주연구원)			
17:20 - 17:40		식전행사 (3인조 전자현악 팝페라 : 라피네)	
17:40-20:00	기업체 홍보 : ㈜동진커뮤니케이션, ㈜두시텍, ㈜삼영피엔티, ㈜아센코리아, 와이즈시스템㈜, 이투비, 인성인터내쇼날㈜, ㈜지엔에스에스솔루션, 지티에스솔루션㈜, ㈜케이티		
	감사패 증정 : 넵코어스㈜, ㈜넷커스터마이즈, ㈜두시텍, 엘아이지넥스원, 와이즈시스템㈜, 인성인터내쇼날㈜, 한화종합연구소		
	학술상 시상 : 이상정 교수 (충남대학교) (후원 : 한화종합연구소)		
	만찬		

2017년 11월 2일(목)/ 제1발표장 라마다볼룸 1

[A1] 보강시스템 1		좌장 : 박상현 박사 (KRISO)
09:00-09:20	A1-1	대한민국 DGNSS 설치 및 서비스 현황 최용권(해양측위정보원)*, 손석보(넵코어스), 공현동(해양측위정보원), 이상정(충남대)
09:20-09:40	A1-2	위성 고도각 기반 의사거리 보정치 개선 기법을 적용한 다중 위성항법 보정시스템 측위 성능 평가 김상현*, 이해창, 박관동(인하대)
09:40~10:00	A1-3	한반도 기준국을 활용한 방송 궤도력 오차 추정 한덕화, 김동욱, 기창돈(서울대)*
10:00-10:20	A1-4	BDSBAS 이온층 보정정보 분석 노재희(충남대), 이주현(넵코어스), 이진혁, 조광희, 이상정(충남대)*
10:20-10:40	Coffee Break	
[A2] 보강시스템 2		좌장 : 주정민 박사 (항우연)
10:40-11:00	A2-1	한반도 지역에서의 Expanded Kriging 기반 전리층 추정 기법을 위한 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델 파라미터 디자인 최필훈, 이지윤(과기원)*
11:00-11:20	A2-2	GPS/GLONASS Compact Network RTK 성능 검증 및 시간지연 오차 보상 연구 송준솔(서울대), 박병운(세종대), 기창돈(서울대)*
11:20-11:40	A2-3	전국 단위 다중 클러스터 확장에 적합한 미지정수 수준 조정 알고리즘 연구 유선경, 송준솔, 기창돈(서울대)*, 이상우, 허문범(항우연)
11:40-12:00	A2-4	저가형 RTK 모듈에 적용 가능한 FKP 보정정보 변환 알고리즘 설계 및 적용 임철순, 신동현, 윤효중, 박병운(세종대)*, 김종원, 강석연(SK 텔레콤)
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	
[A3] 무인자율항법 1		좌장 : 황태현 박사 (KRISO)
13:00-13:20	A3-1	도심환경을 위한 MLP 기반 센서 융합 기법 심영보, 운봉영, 공승현(과기원)*
13:20-13:40	A3-2	3차원 NDT 스캔 매칭을 이용한 실시간 SLAM 김규원*, 지규인(건국대)
13:40-14:00	A3-3	다 시점 영상과 도로 반사도지도 정합을 이용한 차량 정밀측위기법 정태기, 지규인(건국대)*
14:00-14:20	A3-4	터널 내 방재시설을 이용한 3D LIDAR 기반 차량 측위 임준혁, 지규인(건국대)*
14:20-14:40	Coffee Break	
14:40-15:40	포스터 집중발표 (라마다볼룸 로비)	좌장 : 임덕원 박사 (항우연)
[A4] 무인자율항법 2		좌장 : 김의호 교수 (홍익대)
15:40-16:00	A4-1	상용 드라이빙 시뮬레이션 엔진을 이용한 자율주행자동차 알고리듬 개발용 초저가 SILS 환경 개발 임지웅*, 안상훈, 원종훈(인하대)
16:00-16:20	A4-2	저가 GNSS 수신기를 이용한 차량 정밀 위치 추정 및 성능 분석 김태홍, 이종윤, 김현우(현대오트론)*
16:20-16:40	A4-3	저가형 RTK와 IMU를 사용한 차량 위치 및 방위각 추정 시스템 김민(충북대), 김태호(ATT), 박찬식(충북대)*
16:40-17:00	A4-4	무인기 정밀위치 데이터획득 위한 동기화된 복합항법장치 제어연구 정진호*, 박진모, 하준, 오용록, 김영목(두시텍)
17:00-17:20	휴식/자리이동	
17:20-18:20	정기총회 (라마다볼룸 1)	

2017년 11월 2일(목)/ 제2발표장 라마다볼룸 2

[B1] 기타 GNSS 관련기술 1		좌장 : 장재규 박사 (국과연)
09:00-09:20	B1-1	액티브 스페어를 고려한 한국형 위성항법 시스템 설계 및 항법 성능 분석 구상훈, 최문석, 장진혁, 송충원(건국대), 장재규(국과연), 성상경, 이영재(건국대)*
09:20-09:40	B1-2	한국형 위성항법시스템의 Multi-GNSS Space Service Volume 가시성 분석 최다솜(연세대, 국과연), 오형직, 박찬덕(연세대)*, 서승모(국과연)
09:40~10:00	B1-3	궤도력 보정 정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 정확도 분석 최문석, 성상경, 이영재(건국대)*
10:00-10:20	B1-4	동역학 모델 적용 LTE를 이용한 RF신호 기반 COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에 관한 연구 정인철*, 이상욱, 신천식(전자통신연), 안우근(국과연)
10:20-10:40	Coffee Break	
[B2] 기타 GNSS 관련기술 2		좌장 : 박관동 교수 (인하대)
10:40-11:00	B2-1	GNSS 신호 설계 기법: GNSS 항법성능지수 및 설계 파라미터 간의 관계 중심으로 한가희*, 원종훈(인하대)
11:00-11:20	B2-2	확산 코드 종류에 따른 신호 획득 성능 분석 임덕원*, 천세범, 허문범(항우연)
11:20-11:40	B2-3	GPS 정밀 위치 추정을 위한 적응 칼만필터 기반의 GPS 도플러 바이어스 보정 기법 강창호, 김선영, 최영권, 박찬국(서울대)*
11:40-12:00	B2-4	MEMS 원자셀을 이용한 초소형 Chip-Scale 원자시계 개발 전태현, 윤상준*, 김태균(넵코어스), 홍현규, 권택용(표준연), 박종철, 김희현(나노종합기술원)
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	
[B3] 실내항법 1		좌장 : 이택진 박사 (KIST)
13:00-13:20	B3-1	OWR 위치 추적 시스템을 위한 다중 홉 무선 시각 동기 오차 요인 분석 정재훈(충남대), 임정민(와이파이브), 이광억(국과연), 성태경(충남대)
13:20-13:40	B3-2	랜드마크를 이용한 스마트폰 관성 센서 기반 위치 추정 알고리즘 박소영, 주호진, 이재홍, 박찬국(서울대)*
13:40-14:00	B3-3	UWB-WiFi 결합 기반 실내 위치 결정 방법 연구 장희재(UST, 항우연)*, 서재희, 천세범(항우연), 허문범(UST, 항우연)
14:00-14:20	B3-4	UWB 기반 배열 안테나에서 TDOA 측정을 위한 Calibration 방법 연구 서재희*, 천세범, 허문범(항우연)
14:20-14:40	Coffee Break	
14:40-15:40	포스터 집중발표 (라마다볼룸 로비)	좌장 : 임덕원 박사 (항우연)
[B4] 실내항법 2		좌장 : 천세범 박사 (항우연)
15:40-16:00	B4-1	실내 항법을 위한 스마트 폰 기압계 기반 층간 식별 방법 이재홍, 주호진, 박소영, 박찬국(서울대)*
16:00-16:20	B4-2	스마트폰을 이용한 보행자 걸음 대칭 검사 기법 이석원* 박찬식(충북대)
16:20-16:40	B4-3	실내 극 미약 GNSS 신호탐색 알고리즘 구현 및 성능분석 김태선, 김보성, 공승현(과기원)*
16:40-17:00	B4-4	WiFi 신호 미약 환경에서의 실내 항법 시스템 개발 신범주(서울대, 과기연), 유보선(과기연), 기창돈(서울대), 이택진(과기연)*
17:00-17:20	휴식/자리이동	
17:20-18:20	정기총회 (라마다볼룸 1)	

2017년 11월 2일(목)/ 제3발표장 라마다볼룸 3

[C1] 항공과 우주 응용		좌장 : 최병규 박사 (천문연)
09:00-09:20	C1-1	KASS 기준국 인프라 시설의 다중경로 영향 분석 조성룡*, 장현진, 손민혁, 이재은, 박열, 최종연, 남기욱(항우연)
09:20-09:40	C1-2	시험발사체에서 위성항법수신기의 신호간섭 권병문*, 신용설, 마근수(항우연)
09:40~10:00	C1-3	심우주 탐사에서의 GNSS 신호 가용성 분석을 위한 시뮬레이터 구현 박요한(인하대)*, 권기호(항우연), 원종훈(인하대)
10:00-10:20	C1-4	PMF 기반 지형참조항법의 성능 향상을 위한 측정치 갱신 여부 판단 기법 박정민, 전현철, 박용곤종, 박찬국(서울대)*
10:20-10:40	Coffee Break	
[C2] 재밍과 교란 1		좌장 : 신동호 박사 (국과연)
10:40-11:00	C2-1	항법메시지 인증 기반의 위성항법신호 연구 동향 박준후(충남대), 이장용(국과연)*, 류재철(충남대)
11:00-11:20	C2-2	동적 환경에서 GPS 재밍효과 감쇄를 위한 벡터추적루프 기반 수신기 성능 평가 천왕성*, 원종훈(인하대)
11:20-11:40	C2-3	관성 도움 정보를 이용한 확장 칼만 필터 신호 추적 루프 기반 재밍 대응 기법 서성훈*, 지규인(건국대), 김관성(국과연)
11:40-12:00	C2-4	비정렬된 안테나 소자로 구성된 배열안테나를 위한 MVDR 빔포밍 기법 박관식, 서지원(연세대)*
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	
[C3] 재밍과 교란 2		좌장 : 원종훈 교수 (인하대)
13:00-13:20	C3-1	WDOP을 통한 GPS 비가용 상황 기준 선정 강준구, 최문석, 장진혁(건국대), 안종선, 허문범(항우연), 성상경, 이영재(건국대)*
13:20-13:40	C3-2	협대역 재밍 신호 검출을 위한 다중대역 협력 스펙트럼 센싱 기법 강규식(한양대), 박찬식(충북대), 이민준(국과연), 김선우(한양대)
13:40-14:00	C3-3	CUSUM 알고리즘 기반 Time Delay 추정을 이용한 재밍 신호 측위 최정애, 김선우(한양대)*
14:00-14:20	C3-4	상호작용 다중 모델 확장 칼만필터를 이용한 이동하는 단일 전파교란 신호원 추적 기법 김선영, 강창호, 박찬국(서울대)*, 주정민(항우연), 이기훈(국과연)
14:20-14:40	Coffee Break	
14:40-15:40	[PS] 포스터 집중발표 (라마다볼룸 로비)	좌장 : 임덕원 박사 (항우연)
[C4] 재밍과 교란 3		좌장 : 서지원 교수 (연세대)
15:40-16:00	C4-1	소프트웨어 기반 기만 시뮬레이터 개발 및 기만 시나리오 생성 신범주, 박민혁, 전상훈(서울대), 소형민, 장재규, 이기훈(국과연), 강태원, 서지원(연세대), 기창돈(서울대)*
16:00-16:20	C4-2	동적 GPS 기만신호에 대한 수신기 영향분석 조성한(넵코어스)*, 이치헌(국과연), 이상정(충남대)
16:20-16:40	C4-3	GPS C/A신호를 사용한 기만공격 검출기 성능분석 장재규*, 소형민, 이기훈, 박준표(국과연)
16:40-17:00	C4-4	다중 수신기를 이용한 GPS P(Y) 코드 교차상관 방식의 GPS 기만검출 기법 성능 분석 소형민*, 장재규, 이기훈, 송기원, 박준표 (국과연)
17:00-17:20	휴식/자리이동	
17:20-18:20	정기총회 (라마다볼룸 1)	

2017년 11월 2일(목)/ 제4발표장 라마다볼룸 4

[D1] 수신기와 안테나		좌장 : 한진희 대표 (텔에이스)
09:00-09:20	D1-1	GPS L2 신호추적 시뮬레이터 개발 및 결과 분석 김형필(인하대)*, 정진호(두시텍), 원종훈(인하대)
09:20-09:40	D1-2	GNSS RF 신호 기록 및 재생시스템 설계 박귀우(충북대)*, 이민준(국과연), 박찬식(충북대)
09:40-10:00	D1-3	배열안테나 소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘 성능 분석 조광희, 최윤섭(충남대), 김준오(충남대, 국과연), 이상정(충남대)*
10:00-10:20	D1-4	상용 API를 이용한 개방형 Multi-GNSS 수신기 항법부 구현 한진수*, 원종훈(인하대)
10:20-10:40	Coffee Break	
[D2] 육상과 해상 응용		좌장 : 서기열 박사 (KRISO)
10:40-11:00	D2-1	MEOSAR COSPAS-SARSAT를 위한 모델링 및 시뮬레이션 툴 구현 이정훈(인하대), 이상욱, 정인철(전자통신연), 안우근(국과연), 원종훈(인하대)
11:00-11:20	D2-2	해양 정밀측위 서비스를 위한 국제 표준화 동향 분석 박상현*, 서기열, 황태현(선박해양플랜트연)
11:20-11:40	D2-3	한국 Loran-C 주국의 송출 시각 조정으로 인한 수신기 영향 분석 손표웅, 서지원(연세대)*
11:40-12:00	D2-4	Loran-C 신호 실측값을 바탕으로 개선된 한국 eLoran 시스템 정확도 시뮬레이션 이준효, 손표웅, 서지원(연세대)*
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	

2017년 11월 3일(금)/ 제1발표장 라마다볼룸 1

[A5] 다중항법		좌장 : 김혜인 박사 (피피솔)
09:00-09:20	A5-1	GPS/GLONASS 정밀 위치 추정을 위한 단일 차분한 수신기 클럭 오차 추정 연구 이선용, 노재희, 이진혁(충남대), 박찬식(충북대), 이상정(충남대)*
09:20-09:40	A5-2	ISBs를 이용한 Multi-GNSS kinematic PPP의 측위성능 향상 최병규*, 윤하수, 조정호(천문연)
09:40-10:00	A5-3	GPS/GLONASS/BeiDou 결합을 위한 위치영역 Hatch 필터 설계 김라우, 최광호, 임준후, 유원재, 이형근(항공대)*
10:00-10:20	A5-4	Multi GNSS 측정치를 이용한 Carrier-Smoothed GNSS/DR 측위 성능 분석 이종혁, 전종화(충남대), 유상훈, 임정민(와이파이브), 이광억(국과연), 성태경(충남대)*
10:20-10:40	Coffee Break	
[A6] 보강시스템 3		좌장 : 이형근 교수 (항공대)
10:40-11:00	A6-1	SBAS 보정정보의 저궤도위성 적용 기법 김민규, 명재욱, 김정래(항공대)*
11:00-11:20	A6-2	L1 SBAS Message Type 2~5 제거에 따른 SBAS 측위 성능 및 메시지 Bandwidth 측면에서의 영향 분석 임철순, 박병운(세종대)*
11:20-11:40	A6-3	GAST D GBAS의 시스템 안전성 검증을 위한 확률적 전리층 위협 평가 윤문석, 김동우, 이지윤(과기원)*
11:40-12:00	A6-4	전리층 신틸레이션에 의한 GBAS 지상시스템 오차 분석 선기영, 이지윤(과기원)*
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	

[A7] 보강시스템 4		좌장 : 정종균 박사 (천문연)
13:00-13:20	A7-1	안드로이드 N 기반 스마트기기에서 의사거리 보정정보 적용과 원시 측정치 스무딩을 통한 위치 정확도 향상 연구 신동현*, 박병운(세종대), 이종민, 강상구, 차득기(LX국토정보공사)
13:20-13:40	A7-2	한국에서의 MSAS 보정 정보를 이용한 GPS 측위 성능 평가 조민규(충북대)*, 김재길(단암시스템즈), 박찬식(충북대)
13:40-14:00	A7-3	지자기 적도 지역의 GBAS 운용을 위한 주간 정상상태 전리층 기울기 통계치 추정 결과 장혜연*, 이지윤(과기원)
14:00-14:20	A7-4	ISL과 삼각형 조건을 이용한 위성 고장원인 구별 기법 장진혁, 구상훈, 성상경(건국대), 주정민, 허문범(항우연), 이영재(건국대)
14:20-14:40	학술대회 우수논문상 시상식 (후원: LIG넥스원) / 폐회식 (라마다볼룸 1)	

2017년 11월 3일(금)/ 제2발표장 라마다볼룸 2

[B5] 무선측위		좌장 : 신천식 박사 (ETRI)
09:00-09:20	B5-1	Alternating Direction Method of Multiplier 기반 협력 차량 측위 알고리즘 김효원, 서현덕(한양대), 이상현(고려대), 김선우(한양대)
09:20-09:40	B5-2	3GPP LTE를 이용한 OTDOA 기반 IoT 단말 측위 정민수(한양대), 문정모(전자통신연), 김선우(한양대)
09:40-10:00	B5-3	OFDM 신호 분석을 통한 TDOA 기반 측위 이충훈, 김선우(한양대)
10:00-10:20	B5-4	제한된 수의 UWB Anchor를 이용한 다중 모델 파티클 필터 기반 실내 위치 추적 방법 연구 천세범*, 서재희, 허문범(항우연)
10:20-10:40	Coffee Break	
[B6] 복합측위 1		좌장 : 이상우 박사 (항우연)
10:40-11:00	B6-1	국산 MEMS-IMU기반의 GPS/INS 통합항법 성능분석 김현기*, 김상식, 김정원, 남창우(한화), 윤성진(국과연)
11:00-11:20	B6-2	간략화된 CKF 기반 INS/GPS 복합항법시스템 조성윤(경일대)*
11:20-11:40	B6-3	신호간섭을 고려한 적응 칼만필터 기반 INS/GPS 초강결합 최영권, 강창호, 김선영, 박찬국(서울대)*, 허문범(항우연), 유명종(국과연)
11:40-12:00	B6-4	3차원 지자기 벡터 결합을 통한 UAV GPS/INS 항법 시스템의 성능 향상 및 GPS 고장 대응 노희권, 송준솔, 기창돈(서울대)*
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	
[B7] 복합측위 2		좌장 : 조성윤 교수 (경일대)
13:00-13:20	B7-1	GPS/IMU/스테레오 카메라를 활용한 물체의 포인트 클라우드 절대 위치 추정 이유담, 최광호, 임준후, 유원재, 김라우, 이형근(항공대)*
13:20-13:40	B7-2	증대된 선형 측정방정식을 이용하는 GNSS/eLoran 중앙집중식 융합필터 설계 황태현*, 김영기, 김동현, 서기열, 박상현(선박해양플랜트연)
13:40-14:00	B7-3	Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 항법환경생성모듈 김혜원, 이준학(충남대), 오상헌(넵코어스), 소형민(국과연), 황동환(충남대)*
14:00-14:20	B7-4	CSS 기술기반의 센서융합기술을 활용한 웨어러블 타입의 축구선수 위치 측위 시스템 개발 임성훈*, 이원로(이에스산전), 남도원 ,이정수(전자통신연)
14:20-14:40	학술대회 우수논문상 시상식 (후원: LIG넥스원) / 폐회식 (라마다볼룸 1)	

2017년 11월 3일(금)/ 제3발표장 라마다볼룸 3

[C5] 국방응용		좌장 : 소형민 박사 (국과연)
09:00-09:20	C5-1	무인 항공기 통신을 위한 빔 폭 적응형 기반 추적 알고리즘 강정완, 김선우(한양대)
09:20-09:40	C5-2	RUAV 안전 착륙을 위한 단일 IR-UWB 레이더 기반 지형 평탄도 측정 방법 신영훈, 서지원(연세대)*
09:40-10:00	C5-3	회전 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는 관성항법 알고리즘 이준학, 김혜원(충남대), 오상헌(넵코어스), 도재철, 남창우(한화), 황동환*, 이상정(충남대)
10:00-10:20	C5-4	개인병사를 위한 IR-UWB 기반의 실내 위치 인식 이철수*, 설동민(LIG넥스원), 조영호, 정성문(방위산업기술지원센터)
10:20-10:40	Coffee Break	
[C6] 과학응용		좌장 : 박필호 박사 (천문연)
10:40-11:00	C6-1	두 개의 GNSS 안테나를 써서 지질 구조면의 주향과 경사를 측정하기 임무택*, 박영수, 이윤수, 신영홍, 임형래, 지강현(지자연), 전태환(서울대)
11:00-11:20	C6-2	2011년 도호쿠 지진 이후의 한반도 지역별 이동속도 변동추이 손동효*, 박순천, 이원진, 이덕기(기상청)
11:20-11:40	C6-3	The High- and Low-latitudes Ionospheric Irregularities during the 2015 St. Patrick's Day Storm from GNSS Measurements Jong-Kyun Chung(KASI)*, Junseok Hong(KASI, CNU) Sung-Moon Yoo(KASI), Jeonghan Kim, Geonhwa Jee(KOPRI)
11:40-12:00	C6-4	위도별/계절별/태양 활동기별 전리층 경향 분석 및 지진에 의한 전리층 교란 검출 기법 연구 강선호, 송준솔, 김오종, 기창돈(서울대)*
12:00-13:00	Lunch (1층 탐모라)	
[C7] 측량과 공간정보 응용		좌장 : 손동효 박사 (기상청)
13:00-13:20	C7-1	소형무인기 기반 2D정사배치를 위한 영상데이터 획득 기법연구 정진호, 박용희, 박성현, 손형준(두시텍)
13:20-13:40	C7-2	SBAS 차폐지역에서의 드론 운용을 위한 서버 및 사용자 시스템 개발 윤효중, 박병운, 임철순(세종대), 윤동환(정보통신기술협회), 석효정(항우연)
13:40-14:00	C7-3	3차원 도시 모델과 그림자 맞춤 기법을 이용한 도심환경에서의 GNSS 측위 정확도 향상에 관한 연구 윤웅준(인하대)*, 김혜인(피피솔), 박관동(인하대)
14:00-14:20	C7-4	안드로이드 N 기반 스마트기기에서 제공하는 원시 측정치를 이용한 RINEX 관측 데이터 변환 어플리케이션 개발 신동현*, 박병운(세종대), 이종민, 강상구, 차득기(LX국토정보공사), 윤동환(정보통신기술협회)
14:20-14:40	학술대회 우수논문상 시상식 (후원: LIG넥스원) / 폐회식 (라마다볼룸 1)	

2017 IPNT Conference 포스터발표 논문제목 및 시간표

2017 IPNT 11월 2일(목) 라마다볼룸 로비

집중발표 : 2017. 11. 2(목) 14:40-15:40	포스터게시 : 2017.11. 2(목) 10:00-17:00	좌장 : 임덕원 박사 (항우연)
PS-01	GPS와 Theodolite를 결합한 시스템의 측지 기법 연구	장석원(국과연)
PS-02	고충격 MEMS-IMU 개발 및 가스건 시험	김준형*, 김현기, 배정태, 홍정근, 김정원, 남창우(한화)
PS-03	장기저장을 고려한 항공 장착물 GPS/INS 통합항법장치 설계방안	정철주, 서병일(국과연)
PS-04	MEMS-IMU의 성능 비교 분석	배정태*, 홍정근, 김정원, 남창우(한화)
PS-05	선형 배열 센서망을 이용한 도달각 기반 송신기 위치 추정 연구	임형수*, 최상혁, 이상욱, 신천식(전자통신연)
PS-06	이중 주파수 측정치를 이용한 단일/이중 차분 측위 GPS 오차 분석	전종화(충남대), 임정민, 유상훈(와이파이브), 이종혁, 성태경(충남대)*
PS-07	도심환경 모델링을 이용한 GNSS와 Vision 융합 위치 오차	박지호*, 한중희, 최진옥(대구경북과기원)
PS-08	모바일 매핑 시스템으로 측정한 도로시설물의 정확도 평가	최진옥*, 박지호, 한중희(대구경북과기원)
PS-09	KASS 기준국 후보지 GPS 전파환경 조사 방법	손민혁*, 이재은, 장현진, 조성룡, 최종연, 남기욱(항우연)
PS-10	다중 기준국 기반 전리층 수직 지연량 모니터링 기법	안종선*, 이상우, 임성혁, 손은성, 허문범(항우연)
PS-11	KASS 위성통신시스템 RF 성능 분석	유문희*, 신천식(전자통신연)
PS-12	SBAS 이온층 추정 방법에 관한 조사	윤영민, 이백준, 이병석, 허윤정, 최종연, 남기욱(항우연)
PS-13	DMB TPEG 채널을 위한 다중 네트워크 RTK 보정정보 전송 프로토콜	이상우*, 안종선, 허문범(항우연)
PS-14	KASS 기준국 선정을 위한 사이트 후보지 조사	이재은, 손민혁, 장현진, 조성룡, 최종연, 남기욱(항우연)
PS-15	강결합 기반 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘 개발	한중희*, 박지호, 최진옥(대구경북과기원)
PS-16	MATLAB 기반의 소프트웨어 수신기를 이용한 GPS 신호 추적 성능 분석	류경돈(과기연합대학원대학교), 소형민, 박흥원(국과연)*
PS-17	MIL-STD-1553B의 TM/CM을 이용한 EGSE(Electrical Ground Support Equipment) 수신기 성능 분석 시스템 구현	박성현*, 박용희 , 하준(두시텍), 권기호(항우연)
PS-18	다층구조의 삼중대역 GPS 안테나 설계	박진모*, 이근희(두시텍), 권기호(항우연), 박주호(GT전자), 김동호(세종대)
PS-19	재밍 신호가 직접 RF 표본화 GNSS 수신기의 성능에 미치는 영향	최종원*, 홍석준(충북대), 이민준(국과연), 박찬식, 서보석(충북대)
PS-20	GPS 동시관측을 이용한 실시간 시각전송 동기기법 개발	김경수, 윤상준(넵코어스)* , 김산해, 송규하(국과연)
PS-21	구면좌표계와 직교좌표계 상 eLoran 측위방법의 시뮬레이션 기반 성능 비교	김영기*, 황태현, 서기열, 김동현(선박해양플랜트연)
PS-22	육상 교통 환경의 네트워크 RTK를 위한 지역수신국 간 공간이격 오차 경향성 분석	신미리, 이정훈, 안종선, 허문범(항우연)
PS-23	해상 (D)GPS 사용자의 측정치 품질 검사 기법 설계	한영훈*, 김영기 , 서기열, 황태현(선박해양플랜트연)
PS-24	FPGA 기반 GPS 기만/재밍신호 발생기에 대한 연구	김두원, 엄용섭, 안명수(넷커스터마이즈), 최채택(국과연)*
PS-25	GPS 수신기 전파혼신 실험환경 구축	김태희, 신천식(전자통신연)
PS-26	GNSS 소프트웨어 수신기를 이용한 재밍 영향 분석	채정근*, 송세필, 손석보(넵코어스), 최승호(국과연)
PS-27	태양활동이 SBAS 시스템 성능에 미치는 영향 분석	신천식*, 염인복(전자통신연)
PS-28	5소자 기반 다중 빔조향 기능을 구비한 항재밍 GNSS 수신기 개발	조종철*, 김병균, 서흥석, 윤상준(넵코어스)
PS-29	비동기 위성항법 기만신호의 영향성 분석	이치헌(국과연)*, 이상정(충남대)
PS-30	배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기 위한 실내 기반의 점검장비 설계방안 제안	조성한(넵코어스), 황남웅, 김준오, 배준성(국과연), 윤상준(넵코어스)*
PS-31	L대역 송신장치 송수신 안테나 격리도 분석	조지행*, 최승호, 신욱현(국과연)
PS-32	GPS/Glonass L1 및 BDS B1 대역의 CW 재밍에 의한 C/No 영향 분석	주인원, 신천식(전자통신연)
PS-33	GPS/GLONASS/BDS 기만 신호에 대한 수신기 신호 추적부 오차 분석	채정근*, 이동선, 손석보, 윤상준(넵코어스), 이치헌, 최승호(국과연)
PS-34	무인비행체 재밍을 위한 국내외 장비 기술수준 분석	최채택*, 신욱현, 최승호(국과연)

Copyright 2017. IPNT All rights reserved

www.ipnt.or.kr
ISSN 2092-920X

2017 IPNT Conference

2017년 항법시스템학회 정기학술대회

PNT as the essential guiding star to the 4th industrial revolution

Proceedings

November 1~3, 2017

RAMADA PLAZA JEJU HOTEL

주최 : 사단법인 항법시스템학회
THE INSTITUTE OF POSITIONING NAVIGATION, AND TIMING

후원 : KOFST 한국과학기술단체총연합회

목 차

1. 구두발표

[A1] 보강시스템 1 **69**

[A1-1] 대한민국 DGNSS 설치 및 서비스 현황 71

[A1-2] 위성 고도각 기반 의사거리 보정치 개선 기법을 적용한 다중 위성항법 보정시스템 측위 성능 평가 75

[A1-3] 한반도 기준국을 활용한 방송 궤도력 오차 추정 79

[A1-4] BDSBAS 이온층 보정정보 분석 83

[A2] 보강시스템 2 **87**

[A2-1] 한반도 지역에서의 Expanded Kriging 기반 전리층 추정 기법을 위한 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델 파라미터 디자인 89

[A2-2] GPS/GLONASS Compact Network RTK 성능 검증 및 시간지연 오차 보상 연구 93

[A2-3] 전국 단위 다중 클러스터 확장에 적합한 미지정수 수준 조정 알고리즘 연구 97

[A2-4] 저가형 RTK 모듈에 적용 가능한 FKP 보정정보 변환 알고리즘 설계 및 적용 101

[A3] 무인자율항법 1 **105**

[A3-1] 도심환경을 위한 MLP 기반 센서 융합 기법 107

[A3-2] 3차원 NDT 스캔 매칭을 이용한 실시간 SLAM 111

[A3-3] 다 시점 영상과 도로 반사도지도 정합을 이용한 차량 정밀측위기법 115

[A3-4] 터널 내 방재시설을 이용한 3D LIDAR 기반 차량 측위 119

[A4] 무인자율항법 2 **123**

[A4-1] 상용 드라이빙 시뮬레이션 엔진을 이용한 자율 주행 자동차 알고리듬 개발용 초저가 SILS 환경 개발 125

[A4-2] 저가 GNSS 수신기를 이용한 차량 정밀 위치 추정 및 성능 분석 129

[A4-3] 저가형 RTK와 IMU를 사용한 차량 위치 및 방위각 추정 시스템 133

[A4-4] 무인기 정밀위치 데이터획득 위한 동기화된 복합항법장치 제어연구 137

[A5] 다중항법 **141**

[A5-1] GPS/GLONASS 정밀 위치 추정을 위한 단일 차분한 수신기 클럭 오차 추정 연구 143

[A5-2] ISBs를 이용한 Multi-GNSS kinematic PPP의 측위성능 향상 147

[A5-3] GPS/GLONASS/BeiDou 결합을 위한 위치영역 Hatch 필터 설계 151

[A5-4] Multi GNSS 측정치를 이용한 Carrier-Smoothed GNSS/DR 측위 성능 분석 155

[A6] 보강시스템 3 **159**

[A6-1] SBAS 보정정보의 저궤도위성 적용 기법 161

[A6-2] L1 SBAS Message Type 2~5 제거에 따른 SBAS 측위 성능 및 메시지 Bandwidth 측면에서의 영향 분석 163

[A6-3] GAST D GBAS의 시스템 안전성 검증을 위한 확률적 전리층 위협 평가 167

[A6-4] 전리층 신틸레이션에 의한 GBAS 지상시스템 오차 분석 170

[A7] 보강시스템 4 **173**

[A7-1] 안드로이드 N 기반 스마트기기에서 제공하는 원시 측정치를 이용한 RINEX 관측 데이터 변환 어플리케이션 개발 175

[A7-2] 한국에서의 MSAS 보정 정보를 이용한 GPS 측위 성능 평가 179

[A7-3] 지자기 적도 지역의 GBAS 운용을 위한 주간 정상상태 전리층 기울기 통계치 추정 결과 185

[A7-4] ISL과 삼각형 조건을 이용한 위성 고장원인 구별 기법 189

[B1] 기타GNSS관련기술 1 **193**

[B1-1] 액티브 스페어를 고려한 한국형 위성항법 시스템 설계 및 항법 성능 분석 195

[B1-2] 한국형 위성항법시스템의 Multi-GNSS Space Service Volume 가시성 분석 199

[B1-3] 궤도력 보정 정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 정확도 분석 203

[B1-4] 동역학 모델 적용 LTE를 이용한 RF신호 기반 COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에 관한 연구 206

[B2] 기타GNSS관련기술 2 **211**

[B2-1] GNSS 신호 설계 기법: GNSS 항법성능지수 및 설계 파라미터 간의 관계 중심으로 213

[B2-2] 확산 코드 종류에 따른 신호 획득 성능 분석 217

[B2-3] GPS 정밀 위치 추정을 위한 적응 칼만필터 기반의 GPS 도플러 바이어스 보정 기법 221

[B2-4] MEMS 원자셀을 이용한 초소형 Chip-Scale 원자시계 개발 225

[B3] 실내항법 1 **229**

[B3-1] OWR 위치 추적 시스템을 위한 다중 홉 무선 시각 동기 오차 요인 분석 231

[B3-2] 랜드마크를 이용한 스마트폰 관성 센서 기반 위치 추정 알고리즘 235

[B3-3] UWB-WiFi 결합 기반 실내 위치 결정 방법 연구 237

[B3-4] UWB 기반 배열 안테나에서 TDOA 측정을 위한 Calibration 방법 연구 241

[B4] 실내항법 2 **245**

[B4-1] 실내 항법을 위한 스마트 폰 기압계 기반 층간 식별 방법 247

[B4-2] 스마트폰을 이용한 보행자 걸음 대칭 검사 기법 249

[B4-3] 실내 극 미약 GNSS 신호탐색 알고리즘 구현 및 성능분석 253

[B4-4] WiFi 신호 미약 환경에서의 실내 항법 시스템 개발 257

[B5] 무선측위 **261**

[B5-1] Alternating Direction Method of Multiplier 기반 협력 차량 측위 알고리즘 263

[B5-2] 3GPP LTE를 이용한 OTDOA 기반 IoT 단말 측위 267

[B5-3] OFDM 신호의 시간지연을 이용한 TDOA 측위 연구 270

[B5-4] 제한된 수의 UWB Anchor를 이용한 다중 모델 파티클 필터 기반 실내 위치 추적 방법 연구 273

[B6] 복합측위 1 **277**

[B6-1] 국산 MEMS-IMU기반의 GPS/INS 통합항법 성능분석 279

[B6-2] 간략화된 CKF 기반 INS/GPS 복합항법시스템 283

[B6-3] 신호간섭을 고려한 적응 칼만필터 기반 INS/GPS 초강결합 287

[B6-4] 3차원 지자기 벡터 결합을 통한 UAV GPS/INS 항법 시스템의 성능 향상 및 GPS 고장 대응 291

[B7] 복합측위 2 **297**

[B7-1] GPS/IMU/스테레오 카메라를 활용한 물체의 포인트 클라우드 절대 위치 추정 299

[B7-2] 증대된 선형 측정방정식을 이용하는 GNSS/eLoran 중앙집중식 융합필터 설계 303

[B7-3] Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 항법환경생성모듈 308

[B7-4] CSS 기술기반의 센서융합기술을 활용한 웨어러블 타입의 축구선수 위치 측위 시스템 개발 312

[C1] 항공과 우주 항공 **319**

[C1-1] KASS 기준국 인프라 시설의 다중경로 영향 분석 321

[C1-2] 시험발사체에서 위성항법수신기의 신호간섭 325

[C1-3] 심우주 탐사에서의 GNSS 신호 가용성 분석을 위한 시뮬레이터 구현 329

[C1-4] PMF 기반 지형참조항법의 성능 향상을 위한 측정치 갱신 여부 판단 기법 333

[C2] 재밍과 교란 1 **337**

[C2-1] 항법메시지 인증 기반의 위성항법신호 연구 동향 339

[C2-2] 동적 환경에서 GPS 재밍효과 감쇄를 위한 벡터추적루프 기반 수신기 성능 평가 343

[C2-3] 관성 도움 정보를 이용한 확장 칼만 필터 신호 추적 루프 기반 재밍 대응 기법 347

[C2-4] 비정렬된 안테나 소자로 구성된 배열안테나를 위한 MVDR 빔포밍 기법 351

[C3] 재밍과 교란 2 **355**

[C3-1] WDOP을 통한 GPS 비가용 상황 기준 선정 357

[C3-2] 협대역 재밍 신호 검출을 위한 360

[C3-3] CUSUM 알고리즘 기반 Time Delay 추정을 이용한 재밍 신호 측위 364

[C3-4] 상호작용 다중 모델 확장 칼만필터를 이용한 이동하는 단일 전파교란 신호원 추적 기법 368

[C4] 재밍과 교란 3 **373**

[C4-1] 소프트웨어 기반 기만 시뮬레이터 개발 및 기만 시나리오 생성 375

[C4-2] 동적 GPS 기만신호에 대한 수신기 영향분석 378

[C4-3] GPS C/A신호를 사용한 기만공격 검출기 성능분석 382

[C4-4] 다중 수신기를 이용한 GPS P(Y) 코드 교차상관 방식의 GPS 기만검출 기법 성능 분석 386

[C5] 국방응용 **391**

[C5-1] 무인 항공기 환경에서 추적 성능 향상을 위한 빔 폭 제어 알고리즘 393

[C5-2] RUAV 안전 착륙을 위한 단일 IR-UWB 레이더 기반 지형 평탄도 측정 방법 397

[C5-3] 회전 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는 관성항법 알고리즘 400

[C5-4] 개인병사를 위한 IR-UWB 기반의 실내 위치 인식 404

[C6] 과학응용 **409**

[C6-1] 두 개의 GNSS 안테나를 써서 지질 구조면의 주향과 경사를 측정하기 411

[C6-2] 2011년 도호쿠 지진 이후의 한반도 지역별 이동속도 변동추이 418

[C6-3] The High- and Low-latitudes Ionospheric Irregularities during the 2015 St. Patrick's Day Storm from GNSS Measurements 422

[C6-4] 위도별/계절별/태양 활동기별 전리층 경향 분석 및 지진에 의한 전리층 교란 검출 기법 연구 426

[C7] 측량과 공간정보 응용 **431**

[C7-1] 소형무인기 기반 2D정사배치를 위한 영상데이터 획득 기법연구 433

[C7-2] SBAS 차폐지역에서의 드론 운용을 위한 서버 및 사용자 시스템 개발 437

[C7-3] 3차원 도시 모델과 그림자 맞춤 기법을 이용한 도심환경에서의 GNSS 측위 정확도 향상에 관한 연구 443

[C7-4] 안드로이드 N 기반 스마트기기에서 의사거리 보정정보 적용과 원시 측정치 스무딩을 통한 위치 정확도 향상 연구 447

[D1] 수신기와 안테나 **451**

[D1-1] GPS L2 신호추적 시뮬레이터 개발 및 결과 분석 453

[D1-2] GNSS RF 신호 기록 및 재생시스템 설계 457

[D1-3] 배열안테나 소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘 성능 분석 461

[D1-4] 상용 API를 이용한 개방형 Multi-GNSS 수신기 항법부 구현 465

[D2] 육상과 해상 응용 **471**

[D2-1] MEOSAR COSPAS-SARSAT를 위한 모델링 및 시뮬레이션 툴 구현 473

[D2-2] 해양 정밀측위 서비스를 위한 국제 표준화 동향 분석 477

[D2-3] 한국 Loran-C 주국의 송출 시각 조정으로 인한 수신기 영향 분석 481

[D2-4] Loran-C 신호 실측값을 바탕으로 개선된 한국 eLoran 시스템 정확도 시뮬레이션 484

2. 포스터발표

[PS-01] GPS와 Theodolite를 결합한 시스템의 측지 기법 연구 491
[PS-02] 고충격 MEMS-IMU 개발 및 가스건 시험 495
[PS-03] 장기저장을 고려한 항공 장착물 GPS/INS 통합항법장치 설계방안 498
[PS-04] MEMS-IMU의 성능 비교 분석 501
[PS-05] 선형 배열 센서망을 이용한 도달각 기반 송신기 위치 추정 연구 505
[PS-06] 이중 주파수 측정치를 이용한 단일/이중 차분 측위 GPS 오차 분석 509
[PS-07] 도심환경 모델링을 이용한 GNSS와 Vision 융합 위치 오차 513
[PS-08] 모바일 매핑 시스템으로 측정한 도로시설물의 정확도 평가 518
[PS-09] KASS 기준국 후보지 GPS 전파환경 조사 방법 522
[PS-10] 다중 기준국 기반 전리층 수직 지연량 모니터링 기법 526
[PS-11] KASS 위성통신시스템 RF 성능 분석 530
[PS-12] SBAS 이온층 추정 방법에 관한 조사 534
[PS-13] DMB TPEG 채널을 위한 다중 네트워크 RTK 보정정보 전송 프로토콜 538
[PS-14] KASS 기준국 선정을 위한 사이트 후보지 조사 542
[PS-15] 강결합 기반 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘 개발 546
[PS-16] MATLAB 기반의 소프트웨어 수신기를 이용한 GPS 신호 추적 성능 분석 550
[PS-17] MIL-STD-1553B의 TM/CM을 이용한 EGSE(Electrical Ground Support Equipment) 수신기 성능 분석 시스템 구현 554
[PS-18] 다층구조의 삼중대역 GPS 안테나 설계 558
[PS-19] 재밍 신호가 직접 RF 표본화 GNSS 수신기의 성능에 미치는 영향 562
[PS-20] GPS 동시관측을 이용한 실시간 시각전송 동기기법 개발 566
[PS-21] 구면좌표계와 직교좌표계 상 eLoran 측위방법의 시뮬레이션 기반 성능 비교 570
[PS-22] 육상 교통 환경의 네트워크 RTK를 위한 지역수신국 간 공간이격 오차 경향성 분석 574
[PS-23] 해상 (D)GPS 사용자의 측정치 품질 검사 기법 설계 578
[PS-24] FPGA 기반 GPS 기만/재밍신호 발생기에 대한 연구 582
[PS-25] GPS 수신기 전파혼신 실험환경 구축 586
[PS-26] GNSS 소프트웨어 수신기를 이용한 재밍 영향 분석 590
[PS-27] 태양활동이 SBAS 시스템 성능에 미치는 영향 분석 594
[PS-28] 5소자 기반 다중 빔조향 기능을 구비한 항재밍 GNSS 수신기 개발 598
[PS-29] 비동기 위성항법 기만신호의 영향성 분석 602
[PS-30] 배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기 위한 실내 기반의 점검장비 설계방안 제안 606
[PS-31] L대역 송신장치 송수신 안테나 격리도 분석 610
[PS-32] GPS/Glonass L1 및 BDS B1 대역의 CW 재밍에 의한 C/No 영향 분석 614
[PS-33] GPS/GLONASS/BDS 기만 신호에 대한 수신기 신호 추적부 오차 분석 618
[PS-34] 무인비행체 재밍을 위한 국내외 장비 기술수준 분석 622

3. 기업홍보

국립해양측위정보원	629
넵코어스(주)	635
(주)넷커스터마이즈	641
(주)동진커뮤니케이션	647
(주)두시텍	653
(주)삼영피엔티	659
(주)아센코리아	669
엘아이지넥스원	677
와이즈시스템(주)	683
이투비	691
인성인터내쇼날(주)	697
지티에스솔루션즈(주)	703
(주)케이티	713
(주)케이티샛	719
GNSS Solution Corp.	725

Contents

1. Oral

[A1] Augmentation Systems 1 69

[A1-1] Korea DGNSS Installation and Service Status 71

[A1-2] Performance Evaluation of Multi-Differential GNSS Positioning Algorithm with Method of Improving Pseudo-Range Correction Using Satellite Elevation Angle 75

[A1-3] Estimation of ephemeris error using Korean Reference Station 79

[A1-4] A Study of BDSBAS Ionospheric Correction 83

[A2] Augmentation Systems 2 87

[A2-1] Designing Parameters of 1st Order Gauss-Markov Process Model for Iono Spheric Estimation Based on Expanded Kriging in the Korean Region 89

[A2-2] Performance Evaluation of GPS/GLONASS Compact Network RTK and Compensation of Latency Errors 93

[A2-3] A Study on Ambiguity Level Adjustment Algorithm for Multiple Clusters in the Korean Peninsula 97

[A2-4] Design and Application of Algorithm for Converting FKP Corrections Applicable to Low-Cost RTK Module 101

[A3] Unmanned Autonomous Navigation 1 105

[A3-1] MLP Based Sensor Fusion Method for Urban Environment 107

[A3-2] Real Time Indoor/Outdoor SLAM Using 3D NDT Scan Matching 111

[A3-3] Vehicle Localization using Map Matching of Multi-viewpoint Image and Intensity Map 115

[A3-4] 3D LIDAR based Vehicle Localization Using Prevention Facilities in Tunnel 119

[A4] Unmanned Autonomous Navigation 2 123

[A4-1] Development of Cost-Effective SILS Environment for Self-Driving Cars Using Commercial Off-The-Shelf Driving Simulation Engine 125

[A4-2] Performance Analysis and Precise Positioning for Automotive System Using Low-Cost GNSS Receiver 129

[A4-3] Integrated Vehicle Position and Heading Estimation System Using Low-Price RTK and IMU 133

[A4-4] A Study on Synchronized Complex Navigation Unit Control for UAV High Accuracy Data Acquisition 137

[A5] Multi-GNSS 141

[A5-1] A Study of Single-Differenced Receiver Clock Error Estimation for GPS/GLONASS Precise Positioning 143

[A5-2] The Positioning Performance Improvement of Multi-GNSS kinematic PPP Using ISBs 147

[A5-3] Design of Position-Domain Hatch Filter for Integrated GPS/GLONASS/BeiDou 151

[A5-4] Performance Analysis of CSGNSS/DR System Using Muti-GNSS Measurements 155

[A6] Augmentation Systems 3 **159**

[A6-1] Using SBAS Corrections for Low Earth Orbiting Satellites 161

[A6-2] Analysis of the Effect of Removal of L1 SBAS Message Type 2~5 on SBAS Positioning Performance and Message Bandwidth 163

[A6-3] Probabilistic Risk Assessment of Ionospheric Gradient Threats for GAST D GBAS System Safety Validation 167

[A6-4] Analysis of Ionospheric Scintillation Effects on GBAS Ground System Error 170

[A7] Augmentation Systems 4 **173**

[A7-1] Development of RINEX Observation Converting Application based on Raw Measurement of Android N Smart Devices 175

[A7-2] Performance Evaluation of GPS Positioning Using MSAS Correction Information 179

[A7-3] Results from Estimating Daytime Nominal Ionospheric Gradient Statistics for GBAS Operations in Geomagnetic Equatorial Regions 185

[A7-4] Identification of Satellite Fault Causes Using ISL and Triangle Condition 189

[B1] Other GNSS-related Technology 1 **193**

[B1-1] Design of Korean Navigation Satellite System Considering Active Spare and Navigation Performance Analysis 195

[B1-2] Visibility Analysis of Multi-GNSS Space Service Volume for Korea Navigation Satellite System 199

[B1-3] Navigation Accuracy Analysis Based on Inter-Satellite Ephemeris Information Using Ephemeris Correction 203

[B1-4] A Study of COSPAS-SARSAT Search and Rescue System with Dynamic Model by RF Signal Based LTE 206

[B2] Other GNSS-related Technology 2 **211**

[B2-1] GNSS Signal Design Strategy: Focusing on the Relationship Between GNSS Navigation FoMs and Design Parameters 213

[B2-2] Analysis on Performance of Signal Acquisition according to Spreading Code 217

[B2-3] Adaptive Kalman Filter Based Doppler Bias Correction Algorithm for GPS Precise Positioning 221

[B2-4] Development of Atomic Clock Using MEMS Atomic Vapor Cells 225

[B3] Indoor Positioning 1 **229**

[B3-1] Analysis of Multi-hop Wireless Time Synchronization Error Factor for OWR Location Tracking System 231

[B3-2] Landmark Based Position Estimation Algorithm Using Built-in Inertial Sensors 235

[B3-3] Study of Indoor Localization Technique Using UWB - WiFi Combination 237

[B3-4] A Study of the Calibration Method for TDOA Measuring of UWB Based Array-Antenna 241

[B4] Indoor Positioning 2 **245**

[B4-1] Floor Detection Algorithm Using Barometer in Smartphone for Indoor Navigation 247

[B4-2] A Step Balance Inspection Technique Using a Smartphone 249

[B4-3] Implementation and Performance Analysis of GNSS Signal Search Algorithm 253

[B4-4] Development of Indoor Navigation System in Weak WiFi Signal Environment 257

[B5] Wireless Navigation 261

[B5-1] Alternating Direction Method of Multiplier-based Cooperative Vehicle Localization 263

[B5-2] OTDOA-based IoT Device Localization with 3GPP LTE 267

[B5-3] TDOA-based Localization Using ODFM Signal Time-delay 270

[B5-4] A Study of Multiple Model Particle Filter Based Indoor Tracking Method with Limited Number of UWB Anchor 273

[B6] Fusion Navigation 1 277

[B6-1] Performance Analysis of MEMS-IMU Based GPS/INS Integrated Navigation 279

[B6-2] Simplified CKF-based INS/GPS Integrated Navigation System 283

[B6-3] Deeply Integrated INS/GPS Based on Adaptive Kalman Filter Considering Signal Interference 287

[B6-4] Performance Enhancement and Countermeasure for GPS Failure of GPS/INS Navigation System of UAV Through Integration of 3D Magnetic Vector 291

[B7] Fusion Navigation 2 297

[B7-1] Estimation of Absolute Coordinates of Point Clouds utilizing GPS/IMU/Stereo Camera 299

[B7-2] Centralized Fusion Filter for GNSS/eLoran Using Augmented Liner Measurement Equations 303

[B7-3] Design of the Navigation Environment Generation Module of a Manager-based Integrated Navigation M&S Software 308

[B7-4] Development of a Wearable Type Positioning System for Soccer Players Using Sensor Fusion Technology Based on CSS Technology 312

[C1] Aerospace Applications 319

[C1-1] A Study on the Multipath Effect of Infrastructure for KASS Reference Station 321

[C1-2] Signal Interference of a GNSS Receiver for the Test Launch Vehicle 325

[C1-3] Implementation of a Simulator for GNSS Signal Availability in Deep Space Exploration 329

[C1-4] A Measurement Update Decision Criterion for Performance Improvement of PMF Based TRN 333

[C2] Jamming and Interference 1 337

[C2-1] Navigation Message Authentication Based GNSS Research Trends 339

[C2-2] Performance Evaluation of a Vector-Tracking-Loop for GPS Jamming Effect Mitigation under Dynamic Environments 343

[C2-3] Anti-Jamming Technique using INS-Aided Extended Kalman Filter Signal Tracking loop 347

[C2-4] An MVDR Beamforming Method for an Aarray of Misaligned Antenna Elements 351

[C3] Jamming and Interference 2 355

[C3-1] Selection of GPS Non-Availability Situation using WDOP 357

[C3-2] Multiband Cooperative Spectrum Sensing for Narrowband Jamming Signal Detection 360
[C3-3] CUSUM-based Time Delay Estimation for Jammer Geolocation 364
[C3-4] Interacting Multiple Model - Extended Kalman Filter for Moving Single Interference Source Tracking 368

[C4] Jamming and Interference 3 373

[C4-1] Software-Based Spoofing Simulator Development and Spoofing Scenario Generation 375
[C4-2] Analysis of the Effect of Dynamic Spoofing Signals on GPS Receiver 378
[C4-3] Performance Analysis of a Spoofing Attack Detector with GPS C/A Signals 382
[C4-4] Performance Analysis of GPS Spoofing Detection Method Based on GPS P(Y) Codeless Correlation Using Multiple GPS Receivers 386

[C5] Military Applications 391

[C5-1] Beamwidth Adaptation for Improving Tracking Performance in UAV 393
[C5-2] A terrain Roughness Estimation Method Using a Single IR-UWB Radar for Safe Landing of RUAVs 397
[C5-3] A Gyro-free Inertial Navigation Algorithm for Roll Angle Estimation of Spinning Artillery Projectile 400
[C5-4] IR-UWB based Indoor Positioning for a Private Soldier 404

[C6] Science Applications 409

[C6-1] Measurement of Strike and Dip of a Geological Structural Plane Using Two GNSS Antennas 411
[C6-2] Trend of Crustal Deformation Velocities Before and After the 2011 Tohoku Earthquake 418
[C6-3] The High- and Low-latitudes Ionospheric Irregularities during the 2015 St. Patrick's Day Storm from GNSS Measurements 422
[C6-4] Analysis on Ionospheric Trend by Latitude/Season/Solar activity and Ionospheric Disturbances Detection Method 426

[C7] Survey and Geospatial Information 431

[C7-1] A Study on Image Data Acquisition Method for sUAV Base 2D Mapper Layout 433
[C7-2] Development of a Server and Drone System to be Operated in the SBAS-denied Area 437
[C7-3] A Study on the Improvement of GNSS Positioning Accuracy in Urban Environment Using 3D City Model and Shadow Matching 443
[C7-4] Study on Position Accuracy Improvement by Applying Pseudo Range Correction and Raw Measurement Smoothing Based on Android N Smart Devices 447

[D1] Receiver and ANT 451

[D1-1] Development of GPS L2 Signal Tracking Simulator and Analysis 453
[D1-2] Design of a GNSS RF Record and Playback System 457
[D1-3] Performance Analysis of MVDR Algorithm According to Spacing of Array Antenna 461
[D1-4] Implementation of Open Source Navigation Unit for a Multi-GNSS Receiver Using Commercial Off-the-Shelf API 465

[D2] Land and Maritime Applications **471**

[D2-1] Implementation of a Modeling and Simulation Tool for MEOSAR COSPAS-SARSAT 473

[D2-2] Trend Analysis on International Standardization of Services for Marine High Accuracy Positioning 477

[D2-3] Sudden Transmission Timing Transition of the Master Station of the Korean Loran-C Chain and its Effect on a Loran Receiver 481

[D2-4] Improved Accuracy Simulation of Korean eLoran System Based on Actual Loran-C Measurements 484

2. Poster

[PS-01] Study on the Survey Method of GPS and Theodolite Integrated System 491

[PS-02] Development of High-g MEMS-IMU and Gas-gun Test 495

[PS-03] GPS/INS Integrated Navigation System Design Considering Long-Term Storage 498

[PS-04] Comparative Performance Analysis of MEMS Based IMU 501

[PS-05] A Study on Localization of a Transmitter Based on Angles of Arrival Using a Linear Array Sensor Network 505

[PS-06] Analysis of Dual Frequency GPS Measurements Error in Single/Double Differencing Positioning 509

[PS-07] GNSS and Vision System Integration Positioning Error Using Urban Environment Modeling 513

[PS-08] Accuracy Evaluation of Road Facilities Measured by Mobile Mapping System 518

[PS-09] Method of GPS Radio Environment Survey for KASS Reference Station Site Selection 522

[PS-10] Monitoring of Vertical Ionosphere Delay based on Multiple Reference Stations 526

[PS-11] RF Performance Analysis on the KASS Satellite Communication System 530

[PS-12] A Survey of SBAS Ionospheric Estimation 534

[PS-13] A Messaging Protocol for Simultaneous Transmission of Multiple Network RTK Corrections over a DMB TPEG Channel 538

[PS-14] Survey of Site Candidates for KASS Reference Station Selection 542

[PS-15] Development of Tightly-Coupled GPS/On-board Vehicle Sensors Integration Positioning Algorithm 546

[PS-16] Tracking Performance Analysis of GPS Signal Using MATLAB-based SDR 550

[PS-17] Sung-Hyun Park1*, Yong-Hee Park1,JunHa1,Ki-HoKwon2 554

[PS-18] Design of Multi-Layer Triple-Band GPS Antenna 558

[PS-19] Effects of Jamming Signal on the Performance of a Direct RF Sampling GNSS Receiver 562

[PS-20] Development of Real-time Time Transfer and Synchronization Method Using GPS Common-View 566

[PS-21] Simulation based Performance Comparison of eLoran Positioning Method in Spherical Coordinate System and Cartesian Coordinate System 570

[PS-22] Analysis of Spatial Residual Between Receiver Stations for Network RTK on Land Transportation 574

[PS-23] Design a Measurement Quality Monitoring Technique for Maritime (D)GPS User 578

[PS-24] A Study on the GPS Spoofing and Jamming Signals Generator Based on FPGA 582

[PS-25] Establishment of Experimental Environment for GPS Receiver Interference 586

[PS-26] Analysis of Jamming Effect using GNSS Software Receiver 590

[PS-27] An Impact Analysis on SBAS Performance Due to Solar Event 594
[PS-28] Development of Multi-Beam Forming Anti-Jam GNSS Receiver Based on 5-elements CRPA 598
[PS-29] Influence Analysis of Satellite Unsynchronized Spoofing 602
[PS-30] Proposal and Design of Indoor Test Equipment for GNSS Anti-Jamming Based on Array Antenna 606
[PS-31] Analysis of Isolation Between Tx/Rx Antennas to L-band Transmitter 610
[PS-32] Analysis of C/No by CW Jamming in GPS/Glonass L1 or BDS B1 614
[PS-33] Receiver Tracking Loop Error Analysis for GPS/GLONASS/BDS Spoofing Signal 618
[PS-34] Analysis of Technology levels in Domestic and Foreign Equipment for Jamming against UAV 622



Proceedings

– Oral –



[A1] 보강시스템 1

대한민국 DGNSS 설치 및 서비스 현황

최용권[1*], 손석보[2], 공현동[1], 이상정[3]
[1]국립해양측위정보원, [2]넵코어스㈜, [3]충남대학교

Korea DGNSS Installation and Service Status

Yong Kwon Choi[1*], Seok Bo Son [2], Kong Hyeon Dong[2] , Sang Jeong Lee[3]
[1]National Maritme PNT Office, [2]Navcours Co., Ltd, [3]Department of Electronics Engeering Chungnam National Uniuersity

주소 : (우)34150 대전광역시 유성구 갑동로 25 번길 28-17 (갑동)
연락처 : 042-820-5900 이메일 : chldydrnjs@korea.kr

Abstract: 대한민국의 DGNSS 기본 구성은 항만 입출항 및 협수로 통항선박의 안전운항과 내륙, 해양 측위 서비스 제공을 위해 국립해양측위정보원(중앙통제센터)와 기준국 17개소, 감시국 17개소이며, 기준국 및 감시국 위치는 국가위성 기준점으로도 사용되고 있다. 국립해양측위정보원(중앙통제센터)는 전국의 DGNSS 기준국과 감시국의 운영상태를 실시간 감시 및 제어하고 이용상황을 실시간 모니터링하고 분석하여 이용자에게 경보메시지를 방송하는 역할을 수행한다. 기준국은 이미 알고 있는 정확한 위치에서 GNSS 위성신호를 수신 후 측정된 거리와 알고 있는 거리를 비교하여 그 오차 값을 국제 표준 포맷(RTCM SC-104)에 따라 중파방송(283.5~325kHz)을 통해 사용자에게 실시간으로 방송한다. 감시국은 기준국으로부터 일정한 거리가 떨어진 지점에서 기준국 신호를 상시 감시하여 위성오차 보정신호가 한계치를 벗어나거나 위성신호 이상 시 경보메시지를 국립해양측위정보원 (중앙통제센터)에 전달한다. 대한민국의 DGNSS 서비스는 중파 기반뿐만 아니라 인터넷 기반, 스마트폰 기반, DMB 방송 기반 서비스를 추가하여 사용자의 편리성을 높이고 있다. 또한, 항법 위성의 종류가 다양해 짐에 따라 표준 프로토콜 갱신이 논의 중이며, 최근 몇 년 동안 임시 표준으로 되어 있는 것을 활용하여 DGLONASS 서비스를 시행 중이다. 본 논문에서는 DGNSS 설치 및 서비스 현황을 소개하여 사용자의 관심을 키우고 이로부터 새로운 서비스를 보급하는 기회로 삼고자 한다.

Keywords: dgnss, rsim, glonass, ntrip

1. 서 론

GNSS 위성신호는 지상의 수신기까지 도달하는 과정에서 여러 가지 요인으로 인해 다양한 오차 성분을 포함하게 되는데, 이러한 오차를 제거하기 위한 방법으로 DGNSS 시스템을 활용하고 있다. DGNSS 시스템은 전국에 분포된 기준국에서 GNSS 위성 신호의 오차성분을 관측하여 보정정보를 생성하고 사용자에게 방송하는 기능을 수행한다. 날씨에 관계없이 위치, 속도, 시간측정에 활용할 수 있으며, 항법시스템과 교통, 재난, 지리, 측량, 농업, 임업관리 등 다양한 분야에서 이용되고 있다.

DGNSS 시스템은 항만 입출항 및 협수로 통항선박의 안전운항과 내륙, 해양 측위 서비스 제공을 위해 국립해양측위정보원(중앙통제센터)와 기준국 17개소, 감시국 17개소를 구축. 운영하고 있으며, 기준국. 감시국 위치는 국가위성 기준점으로도 사용되고 있다. 국립해양측위정보원(중앙통제센터)는 전국의 DGNSS 기준국과 감시국의 운영상태를 실시간 감시 및 제어하고 DGNSS 이용상황을 실시간 모니터링하고 분석하여 이용자에게 경보메시지를 방송하는 역할을 수행한다. 기준국은 이미 알고 있는 정확한 위치에서 GNSS 위성신호를 수신 후 측정된 거리와 알고 있는 거리를 비교하여 그 오차 값을 국제 표준 포맷(RTCM SC-104)에 따라 중파방송(283.5~325kHz)을 통해 사용자에게 실시간으로 방송한다. 감시국은 기준국으로부터 일정한 거리가 떨어진 지점에서 기준국 신호를 상시 감시하여 위성오차 보정신호가 한계치를 벗어나거나 위성신호 이상 시 경보메시지를 중앙통제센터에 전달한다(National Maritime PNT Office 2017).

DGNSS 보정 서비스는 중파기반서비스를 기본으로하여 이용자 확대를 위하여 인터넷기반, 스마트폰 기반, DMB 방송 기반 서비스를 포함하고 있다.

본 논문에서는 DGNSS 설치 및 서비스 현황을 소개하여 사용자의 관심을 키우고 이로부터 새로운 서비스를 보급하는 기회로 삼고자 한다.

2. DGNSS 설치 및 서비스 현황

해양수산부는 국제해사기구(IMO)의 권고에 따라 해양기준국 11개소, 내륙기준국 6개소, 내륙기준국과 해양기준국을 모니터링하기 위한 감시국 17개소를 Table 1 및 Fig. 1과 같이 구축하여 국립해양측위

정보원에서 운영 중에 있다(National Maritime PNT Office 2017). 현재 운영 중인 DGNSS 기준국을 기능별로 살펴보면, 위성신호를 받기 위한 기준국 수신기, 기준국 운영을 위한 RSIM 운영부, 중파(MF)를 이용한 보정정보 송신부, 중파 비컨 수신부로 구분할 수 있다.

Table 2 및 Fig. 2에 내륙 및 해양 기준국 2017년 1월부터 8월까지의 운영률 현황을 나타내었으며, 운영률이 평균 99.80% 이상으로 권고 기준을 만족한다.

Table 1. DGNSS 기준국 및 감시국 현황.

중앙통제센서(1개소)	해안기준국(11개소)	내륙기준국(6개소)	감시국(17개소)
국립해양 측위정보원	팔미도, 어청도, 마라도, 거문도, 호미곶, 주문진, 울릉도, 소청도, 소흑산도, 영도, 저진	무주, 영주, 평창, 성주, 충주, 춘천,	해양기준국, 내륙기준국



Fig. 1. DGNSS 기준국 및 감시국 현황.

Table 2. 기준국 운영률 현황(2017년 1월~8월, %)

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	평균(기준국)
소청도	100	100	99.96	100	100	100	99.87	100	99.98
팔미도	100	99.95	100	100	100	100	99.93	100	99.99
어청도	100	100	99.93	100	100	100	100	100	99.99
가거도	100	100	100	100	100	100	100	100	100
거문도	100	100	100	100	99.87	100	100	100	99.98
마라도	100	100	100	99.95	100	100	100	100	99.99
영도	100	100	100	100	100	100	99.97	100	100
호미곶	100	100	100	100	100	100	100	100	100
울릉도	100	100	100	100	100	100	100	100	100
주문진	100	100	100	100	100	100	100	100	100
저진	99.89	100	100	100	100	100	100	100	99.99
무주	100	99.54	100	100	100	100	100	99.98	99.94
영주	100	100	100	100	100	100	100	100	100
평창	100	100	100	100	100	100	100	100	100
충주	100	100	100	100	100	100	100	100	100
성주	100	100	100	100	100	100	100	100	100
춘천	100	100	100	100	100	100	100	100	100
평균(월)	99.99	99.97	99.99	100	99.99	100	99.99	100	

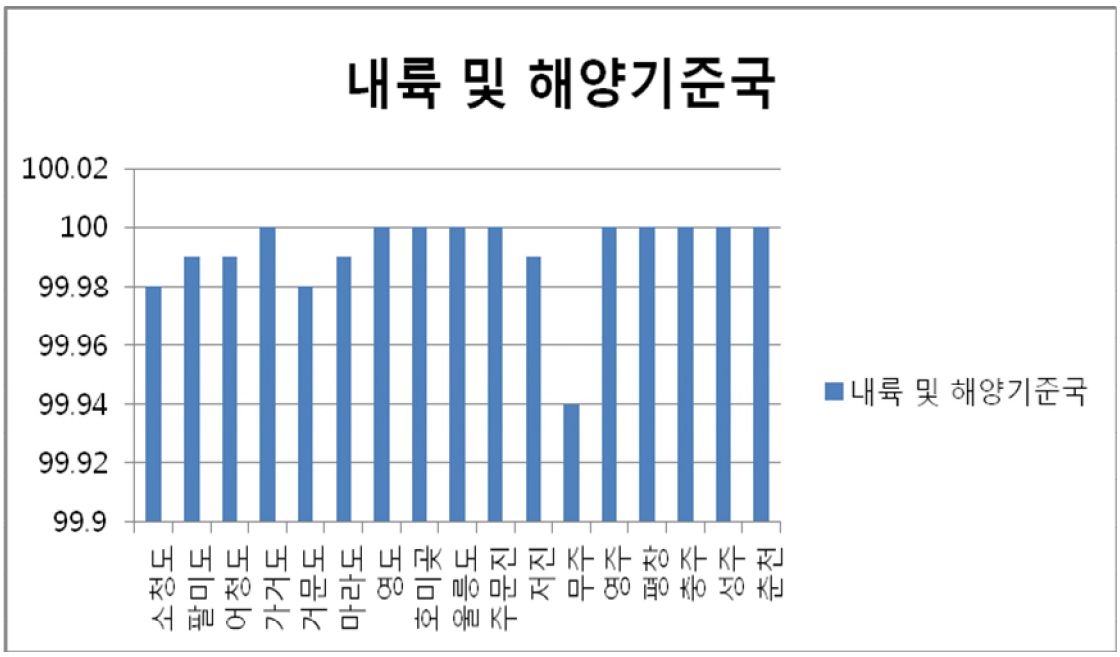


Fig. 2. 기준국 운영률 현황(1017년 1월~8월)그래프.

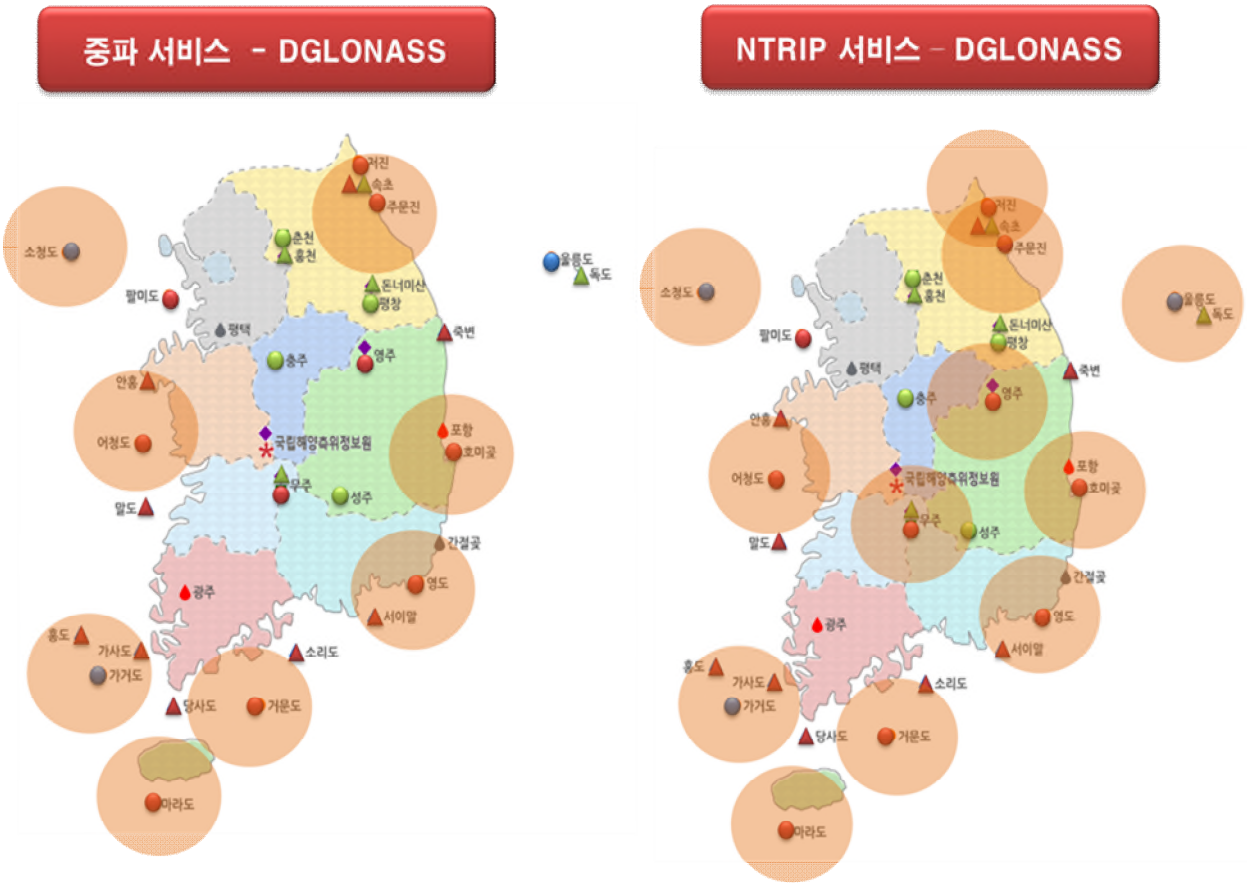


Fig. 3. GLONASS 서비스 현황(중파 vs NTRIP).

서비스 확대를 위하여 최근에는 중파 방송 서비스뿐만 아니라 인터넷 기반 서비스(NTRIP, Network Transport of RTCM via Internet Protocol), 스마트폰 기반, DMB 방송 기반 서비스도 운영 중이며 서비스 고도화를 위하여 GPS 뿐만 아니라 GLONASS 에 대한 보정 서비스도 수행 중이다.

2016년 기준으로 중파 기반의 경우 영도를 비롯한 8곳, 인터넷 기반의 경우 영도를 비롯한 12곳에서 서비스 중이며 이를 Fig. 3으로 나타내었다.

3. 결론

본 논문에서는 DGNSS 설치 및 서비스 현황을 소개하였다. 국제해사기구(IMO)의 권고에 따라 해양기준국 11개소, 내륙기준국 6개소, 내륙기준국과 해양기준국을 모니터링하기 위한 감시국 17개소를 운영하고 있으며 권고 기준 이상의 운영률을 보임을 확인하였다. 중파 기반 서비스를 기본으로 하여 인터넷 기반, 모바일 기반, DMB 방송 기반 서비스까지 확대하여 운영하고 있으며 최근에는 GPS 뿐만 아니라 GLONASS 보정 서비스도 운영 중이다. 본 논문에서는 이러한 다양한 서비스를 소개하여 사용자의 관심을 키우고 이로부터 새로운 서비스를 보급하는 기회로 삼고자 한다

REFERENCES

National Maritime PNT Office 2017, [Internet], cited 2017 Sep. 15, available from: http://www.nmpnt.go.kr/html/en/dgnss/ dgnss_0302.html

위성 고도각 기반 의사거리 보정치 개선 기법을 적용한 다중 위성항법 보정시스템 측위 성능 평가

김상현*, 이해창, 박관동
인하대학교 공간정보공학과

Performance Evaluation of Multi-Differential GNSS Positioning Algorithm with Method of Improving Pseudo-Range Correction Using Satellite Elevation Angle

Sang-Hyeon Kim*, Hae-Chang Lee, Kwan-Dong Park
Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 4호관 310호
연락처 : 032-873-4310 이메일 : solip6732@nate.com

Abstract: 지상 기반 보강 시스템(GBAS; Ground-Based Augmentation System)의 하나인 Differential GNSS (DGNSS)는 기준국으로부터 수신한 보정정보를 이용해 사용자의 코드 기반 측위 정확도를 개선하는 기법이다. DGNSS 측위 시 보정정보로 사용되는 의사거리 보정치(PRC; Pseudo-Range Correction)는 사용자의 위치가 기준국으로부터 멀어질수록 그 정확도가 감소한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Kim & Park (2017)은 위성의 고도각을 기반으로 사용자 위치에서의 의사거리 보정치 재산출 모델을 제안하였다. 이에 본 연구에서는 해당 모델을 Global Positioning System (GPS)/BeiDou System (BDS) 통합 DGNSS 알고리즘에 적용하고 그 결과를 제시하였다. 그리고 다양한 기선 조합을 이용하여, 해당 모델 적용 시 DGNSS 측위 성능 개선 효과를 평가하였다. 이때 국토지리정보원에서 운영하는 상시관측소 중 5개소를 임의의 사용자 위치로 가정하였고, ㈜피피솔에서 운영하는 DGNSS 기준국 중 2개국으로부터 수신한 보정정보를 DGNSS 측위에 적용하였다. Kim & Park (2017)이 제안한 모델이 적용된 DGNSS 측위 성능을 검증하기 위해 데이터 처리를 수행한 결과, 기선 거리 약 120-570Km 범위에서 해당 모델을 적용했을 때의 측위 정확도가 기존 단일기준국 기반 DGNSS 방식과 비교하여 약 7-46% 향상되었다. 이를 통해 Kim & Park (2017)이 제안한 모델을 GPS/BDS 통합 DGNSS 측위에 적용할 경우, 기선 거리가 증가하더라도 약 0.8-1.7m 수준의 3차원 위치 정확도 확보가 가능한 것을 확인하였다.

Keywords: ground-based augmentation system, differential GNSS, pseudo-range correction, satellite elevation angle

1. 서론

위성 항법 시스템을 기반으로 측위를 수행하는 경우 가까운 거리에 위치한 서로 다른 장소에서 GNSS 신호를 수신할 때, 측위 시 수반하는 오차의 크기가 유사하게 나타난다. 이러한 특성을 이용하여 해당 오차를 제거하는 방식으로 측위 정확도를 향상시킬 수 있는데, 대표적인 방법으로 DGNSS가 있다. DGNSS는 GBAS의 종류 중 하나로, 가까운 기준국으로부터 수신된 보정정보를 이용하여 사용자의 코드 기반 측위 정확도를 향상시키는 기술이다. 이때 사용자는 기준국으로부터 수신한 의사거리 보정치(PRC)를 이용해 코드 의사거리 관측치를 보정하여 측위 정확도를 개선한다. 이와 같이 DGNSS 기술은 비교적 간단하게 코드 기반 측위 정확도를 향상시킬 수 있지만, 사용자와 기준국 간의 기선 거리가 증가할수록 의사거리 보정치 적용 효과가 감소하는 단점이 있다(Monteiro et al. 2005). 이를 보완하기 위해 Kim & Park (2017)은 위성의 고도각을 이용하여 사용자 위치에서의 의사거리 보정치를 개선하는 방법을 제안하고, Differential GPS (DGPS) 측위에 적용하여 그 효과를 검증하였다. 이에 본 연구에서는 Kim & Park (2017)이 제안한 모델을 KP로 표기하고, 해당 모델의 적용 범위를 확장하여 GPS와 BDS를 통합한 DGNSS 측위 알고리즘에 적용하였다. 그리고 기존의 DGNSS 측위 정확도와 비교하여, 다중 위성 항법 시스템에서의 KP 모델의 성능을 평가하였다.

2. 위성 고도각 기반 PRC 개선 모델

DGNSS 기법은 기본적으로 코드 의사거리 관측치에 의사거리 보정치를 적용하는 측위 기술이다. 사용자는 기준국으로부터 의사거리 보정치를 수신하고, 이를 사용자 위치에서 위성으로부터 수신한 코드 의사거리 관측치에 가감하여 측위에 적용한다. 이때 PRC는 고도각이 90°에 가까워질수록 완만하게 변하고, 그 크기가 0°에 가까워질수록 급격하게 변하는 특징이 있다(Kim & Park 2017). Kim & Park

(2017)이 제안한 위성 고도각 기반의 PRC 개선 모델(KP)은 식 (1)과 같으며, 앞서 언급한 PRC의 특징을 고려하여 사인함수를 이용한다. 또한 Fig. 1과 같이 기준국 및 사용자 위치에 따라 달라지는 각 GNSS 위성에 대한 고도각 차이를 고려하여 반영한다. 식 (1)에서 θ_u 와 θ_r 은 각각 사용자 및 기준국에 대한 단일 위성의 고도각을 나타낸다. 그리고 PRC_r 은 기준국으로부터 수신한 의사거리 보정치, PRC_u 는 해당 모델을 통해 새롭게 산출된 사용자 위치에서의 의사거리 보정치를 의미한다.

$$PRC_u = \frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_u} PRC_r \quad (1)$$

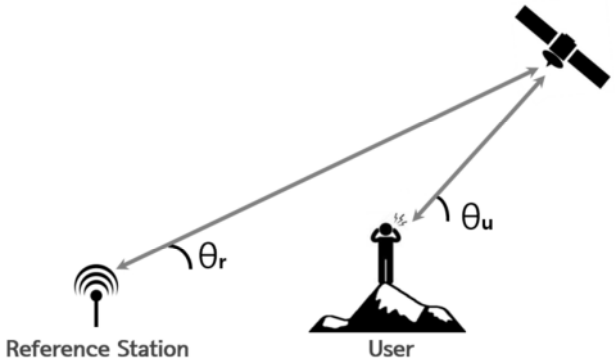


Fig. 1. Concept of satellite elevation angle with respect to reference station and user location (Kim & Park 2017).

3. DGNSS 측위 정확도 평가

본 연구에서는 위성고도각 기반 PRC 개선 모델을 GPS/BDS 통합 DGNSS 측위에 적용하고 그 정확도를 평가하기 위해, ㈜피피솔에서 운영하는 PPS1(강화), PPS2(고성) 기준국으로부터 수신한 보정정보를 사용하였다. 그리고 국토지리정보원에서 운영하는 원주(WNJU), 세종(SEJN), 군산(KUSN), 광주(KWNJ), 제주(CHJU), 이상 5개 상시관측소를 임의의 사용자 위치로 가정하여, 해당 관측소의 30초 단위 관측 데이터를 이용한 DGNSS 측위를 수행하고 그 정확도를 평가하였다. 본 연구에서 사용한 DGNSS 기준국 및 상시관측소의 위치는 Fig. 2와 같으며, 이는 해당 기업 및 기관에서 제공하는 고시 좌표의 위치를 표시한 것이다.

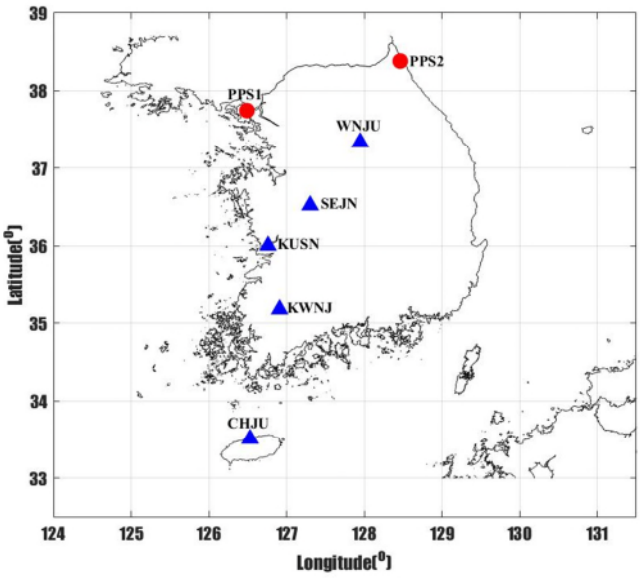


Fig. 2. DGNSS reference stations (circles) operated by PPSoln Inc. and permanent GNSS sites (triangles) designated for user locations.

DGNSS 측위 수행을 위해 본 연구에서는 2017년 8월 30일(DOY 242) 협정세계시(UTC) 기준 05시 30분부터 07시 30분까지 2시간 동안의 30초 단위 상시관측소 관측데이터와 기준국 보정정보를 사용하였다. 그리고 해당 데이터 각각을 이용하여 단독 측위(Stand-Alone), 기존 방식의 DGNSS 측위(Trad.), KP 모델을 적용한 DGNSS 측위(KP)를 수행하고 그 결과를 Table 1에 제시하였다. 이때 사용된 위성의 위치정보는 방송궤도력을 기반으로 산출하였다. 또한 단독 측위의 경우 Klobuchar 모델과 Saastamoinen 모델을 적용하여 전리층 및 대류권 지연량을 보정하였다.

Table 1에서 제시한 결과와 같이 DGNSS 측위 시 대부분의 기선 조합에서 기존의 방식과 비교하여 KP 모델을 적용하였을 경우 정확도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다. PPS1 기준국의 보정정보를 적용한 경우 기선거리 약 140-470km에서 20-46%의 3차원 측위 정확도 향상률 을 나타내었고, PPS2 기준국으로부터 수신한 보정정보 적용 시 기선 거리 약 120-570km에서 3차원 측위 정확도가 7-30% 향상되었다. 이때 KP 모델을 적용한 DGNSS 측위 수행 결과로 산출된 3차원 위치 좌표는 약 0.8-1.7m 수준의 정확도를 나타냈다. 특히 기선 거리가 길어질수록, 즉 사용자가 기준국으로부터 멀어질수록 KP 모델을 적용하였을 때의 DGNSS 정확도 향상 효과도 증가하였다. Fig. 3은 제주(CHJU) 관측소 데이터를 처리하였을 때 KP 모델 적용 전후의 수평 정확도를 비교한 것으로, 기준국으로부터 약 400-500km 떨어진 사용자 위치에서도 비교적 높은 정확도의 측위가 가능함을 확인할 수 있다.

Table 1. Three-Dimentional RMSE of Stand-Alone, the traditional DGNSS (Trad.) and Kim & Park method (KP) at 5 user locations.

Base	Rover	WNJU	SEJN	KUSN	KWNJ	CHJU
	Stand-Alone (m)	1.85	2.09	1.82	2.15	2.31
PPS1	Baseline length (km)	136.50	153.71	194.51	287.23	469.32
	Trad. (m)	1.21	1.16	1.28	1.55	1.98
	KP (m)	0.97	0.81	0.82	1.06	1.07
PPS2	Baseline length (km)	124.35	230.33	303.74	381.33	567.20
	Trad. (m)	1.34	1.42	1.57	1.82	2.33
	KP (m)	1.24	1.26	1.39	1.51	1.64

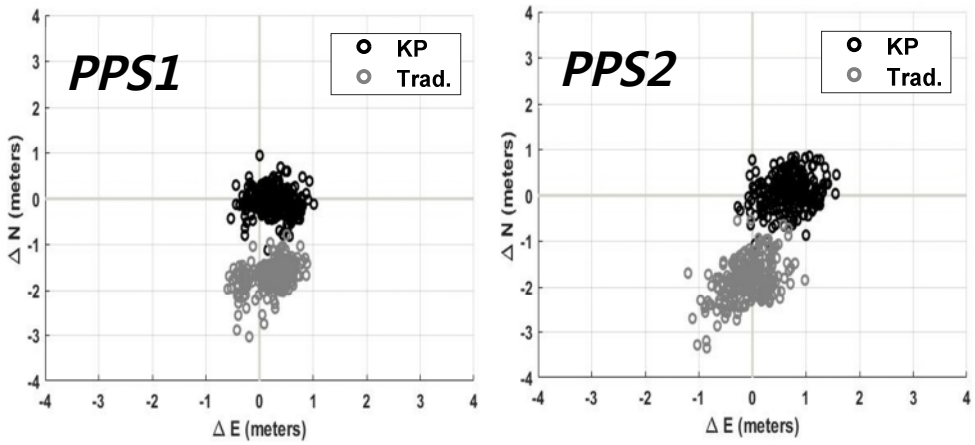


Fig. 3. Horizontal position estimates obtained from the traditional DGNSS (Trad.) and Kim & Park method (KP) at the user location CHJU.

4. 결론

본 연구에서는 Kim & Park (2017)이 제안한 위성 고도각 기반 PRC 개선 모델(KP)을 GPS와 BDS를 통합한 DGNSS 측위에 적용하고, 그 정확도를 평가하였다. 그 과정에서 기선 거리에 따른 DGNSS 측위 성능 분석을 위해 ㈜피피솔의 PPS1(강화), PPS2(고성) 기준국 보정정보와 국토지리정보원의 원주(WNJU), 세종(SEJN), 군산(KUSN), 광주(KWNJ), 제주(CHJU) GNSS 상시관측소의 관측 데이터를 사용하였다. 그 결과 KP 모델을 적용했을 때의 측위 정확도가 기존 단일기준국 기반 DGNSS 방식과 비교하여 기선 거리 120-570Km 범위에서 약 7-46% 향상되었다. 이때의 3차원 위치 정확도는 약 0.8-1.7m로 나타났다. 이를 통해 KP 모델의 GPS/BDS 통합 DGNSS 측위 적용 효과를 검증함으로써 그 활용 범위 확대 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 인하대학교 WCSL(World Class Smart Lab) 연구지원 사업에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

Kim, S.-H. & Park, K.-D. 2017, Improving DGPS Accuracy by Considering the Correlation of Pseudorange Correction and Satellite Elevation Angle, Journal of Navigation, 70, 1267-1275. https://doi.org/10.1017/S0373463317000297

Monteiro, L., Moore, T., & Hill, C. 2005, What is the accuracy of DGPS?, Journal of Navigation, 58, 207-225. https://doi.org/10.1017/S037346330500322X

한반도 기준국을 활용한 방송 궤도력 오차 추정

한덕화, 김동욱, 기창돈*
서울대학교 기계항공공학부 정밀기계설계공동연구소

Estimation of ephemeris error using Korean Reference Station

Deokhwa Han, Donguk Kim, Changdon Kee*
Department of Mechanical and Aerospace Engineering and SNU-IAMD, Seoul National University

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 정밀기계설계공동연구소
연락처 : 02-880-7395 이메일 : kee@snu.ac.kr

Abstract: GPS위성에서 방송되는 방송 궤도력은 수 m 수준의 오차를 지니고 있으며 사용자의 항법 결과에 오차를 유발한다. SBAS는 방송 궤도력이 가지는 위성 궤도, 시계 오차를 추정하고 보정정보를 방송하여 정밀한 항법을 가능하게 한다. 방송 궤도력 오차 추정은 측정치의 품질, 기준국의 배치 등에 영향을 받는다. 본 논문에서는 한반도의 기준국을 활용하여 방송 궤도력 오차를 추정하고 성능을 분석하였다. 5개의 국토지리정보원 기준국에서 측정치를 수집하였으며 minimum variance 추정 기법으로 각 위성의 궤도 오차, 시계 오차를 추정하였다. 추정 결과는 정밀 궤도력 데이터를 활용해 검증하였다. 정밀 궤도력 데이터와 보정 전, 후의 방송 궤도력 데이터를 비교하여 오차 추정 성능을 확인하였다. 또한 한국에서 수신 가능한 MSAS의 위성 보정정보도 함께 활용하여 성능을 비교하였다.

Keywords: SBAS, satellite correction, precise ephemeris, SP3

1. 서 론

Satellite Based Augmentation System (SBAS)는 방송 궤도력의 오차 및 전리층 오차에 대한 보정정보와 무결성 정보를 제공함으로써 사용자 항법 성능을 높이는 시스템이다. 미국, 일본, 유럽, 인도에서는 각자 SBAS 시스템을 개발하여 운영 중이며 우리나라도 2022년까지 APV-I 서비스 제공을 목표로 한국형 SBAS인 KASS (Korea Augmentation Satellite System)를 개발하고 있다.

본 논문에서는 우리나라 기준국을 활용하여 방송 궤도력 오차를 추정하고 성능을 평가하였다. 추정된 결과는 International GNSS Service (IGS) 정밀 궤도력 데이터를 활용하여 성능을 평가하였다. 방송 궤도력의 오차와 SBAS 위성 보정정보를 적용한 후의 잔여 오차를 비교함으로써 보정정보의 유효성을 확인하였다. 또한 우리나라에서 수신 가능한 MSAS의 위성 보정정보도 정밀 궤도력 데이터를 기반으로 성능을 평가하여 성능 비교를 수행하였다.

2. 방송 궤도력 오차 추정 알고리즘

SBAS는 서비스 지역에 분포한 기준국들로부터 측정치를 수집하여 보정정보를 생성한다. 수집된 의사거리 측정치에는 전리층, 대류층, 잡음 등 여러 가지 오차 요인들이 포함되어있다. 식 (1)은 의사거리 측정치를 나타낸 것이다.

$$\rho_i^j = \left[\left(\mathbf{R}^j + \delta\mathbf{R}^j\right) - S_i\right]\cdot\mathbf{e}_i^j - \left(b^j + \delta b^j\right) + I_i^j + T_i^j + B_i \quad (1)$$

ρ_i^j : i 기준국에서 측정된 j 위성의 의사거리 측정치
$\mathbf{R}^j$: 방송 궤도력으로부터 계산되는 GPS 위성 궤도 벡터
b^j : 방송 궤도력으로부터 계산되는 GPS 위성 시계 보정치
S_i : 기준국 위치 벡터
I_i^j : 전리층 지연 오차
T_i^j : 대류층 지연 오차
B_i : 기준국 수신기 시계오차
$\delta\mathbf{R}^j$: 방송 궤도력 궤도 오차 벡터
δb^j : 방송 궤도력 시계 보정치의 오차

방송 궤도력의 오차 추정을 위해서는 먼저 수집된 의사거리에서 다른 요인들을 정확히 제거해주는 과정이 필요하다. 의사거리 잡음 및 다중경로 오차는 보정을 하지 않는 경우 수 m의 오차를 발생시킬 수 있다. 반송파 위상 측정치는 잡음 및 다중경로 오차가 훨씬 더 작은 특성을 가지고 있으며 이를 활용한 Hatch 필터를 이용하면 의사거리에 존재하는 잡음 및 다중경로 오차를 완화시킬 수 있다. 본 논문에서는 이중 주파수 측정치를 사용하는 divergence free hatch 필터를 사용하였다(Kee et al. 1997). 전리층 지연 오차의 크기는 해당 신호의 주파수의 제곱에 반비례하는 특성을 가지고 있으므로 이중주파수 의사거리 측정치를 활용하여 제거할 수 있다. 이 과정에서 주파수간 바이어스 차이 값이 IFB (Inter-Frequency Bias) 값을 제거해주는 것이 필요하다. 대류층 지연은 보정 모델이 높은 정확도를 가지고 있으므로 이를 활용하여 제거가 가능하다. 기상정보를 활용하는 경우 더 정확히 보정이 가능하며, 본 논문에서는 기상정보를 활용한 Saastamoinen 모델을 활용하여 제거를 하였다(Kim et al. 2016). 마지막으로 방송 궤도력으로 계산되는 궤도 및 시계, 기준국 위치는 알고 있는 값이므로 바로 제거가 가능하다. 위 요인들이 모두 제거된 의사거리 잔차는 방송 궤도력의 오차와 기준국의 수신기 시계오차를 포함한다. 식 (2)은 의사거리 잔차를 나타낸 식이다.

$$\delta\rho_i^j = \delta\mathbf{R}^j \cdot \mathbf{e}_i^j - \delta b^j + B_i \tag{2}$$

위 의사거리 잔차를 측정치로 하고, 위성 궤도 및 시계 오차를 추정하는 관측식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta\boldsymbol{\rho}_1 \\ \Delta\boldsymbol{\rho}_2 \\ \mathrm{M} \\ \Delta\boldsymbol{\rho}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & -\mathbf{I} & \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{H}_2 & -\mathbf{I} & \mathbf{I}_2 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ \mathbf{H}_m & -\mathbf{I} & \mathbf{I}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\mathbf{R} \\ \Delta\mathbf{b} \\ \Delta\mathbf{B} \end{bmatrix} + \boldsymbol{\varepsilon} \tag{3}$$

$$\mathbf{H}_i = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{e}}_i^{1T} & \mathbf{0} & \mathrm{L} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{e}}_i^{2T} & \mathrm{L} & \mathbf{0} \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{O} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \hat{\mathbf{e}}_i^{nT} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_j = \begin{bmatrix} 0 & \mathrm{L} & 0 & 1 & 0 & \mathrm{L} & 0 \\ 0 & \mathrm{L} & 0 & 1 & 0 & \mathrm{L} & 0 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ 0 & \mathrm{L} & 0 & 1 & 0 & \mathrm{L} & 0 \end{bmatrix}$$

위와 같이 구성된 관측식을 바탕으로 여러 기준국, 위성의 측정치를 활용하여 방송 궤도력 오차가 추정된다. SBAS 기준국은 기준국과 위성간 거리에 비하여 훨씬 작은 거리로 배치되어 있다. 따라서 DOP (Dilution of Precision) 가 상당히 크며 단순 최소 자승법을 적용하는 경우 추정되는 오차의 크기가 너무 크며 해의 연속성에도 문제가 발생한다. 이를 극복하기 위하여 방송 궤도력 오차를 추정을 할 때에는 prior information을 활용한 최소분산 불편이 추정 기법이 활용되었다 (Kim 2007). 식 (4)는 식 (3)을 간단히 나타낸 식이고, (5)는 관측 식으로부터 방송궤도력 오차를 추정하는 식을 나타낸 것이다.

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{v} \tag{4}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{MV} = \left(\boldsymbol{\Lambda}^{-1} + \mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{W}^{-1}\mathbf{H}\right)^{-1}\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{W}^{-1}\mathbf{z} \tag{5}$$

추정된 오차는 SBAS 표준 메시지로 인코딩하여 실제 메시지로 적용했을 때의 성능을 확인할 수 있도록 하였다(RTCA 2006).

3. 방송 궤도력 오차 추정 성능 테스트

본 논문에서는 2014년 9월 1일 15시간 동안 수집된 5개의 기준국 측정치를 활용하여 방송 궤도력

오차를 추정하였다. 국토지리정보원의 세종, 강화, 제주, 진주, 강릉 기준국이 사용되었으며 Fig. 1은 기준국 배치도이다.

추정 성능은 IGS 정밀 궤도력 데이터를 활용하여 평가되었다 (Gao et al. 2009, Rho & Langley 2007). IGS에서 후처리로 제공하는 final 정밀 궤도력 데이터는 수 cm 수준의 오차를 보인다고 알려져 있으며 SBAS 위성 보정정보의 성능을 테스트하기에 충분한 정확도를 가진다. IGS의 경우 GPS 위치를 질량 중심으로 제공해주고 있으며 정확한 분석을 위해서는 질량 중심과 안테나 위상 중심 사이의 좌표 차이를 보상해주어야 한다. 오차 분석은 보정 정보를 적용하기 전의 방송 궤도력의 오차와 SBAS 보정 정보를 적용한 후의 오차를 비교하여 수행하였다. Fig. 2는 SBAS 보정 정보 분석 흐름도를 나타낸 그림이다. 정밀 궤도력으로부터 기준으로 사용할 궤도, 시계 정보를 얻고, 방송 궤도력으로부터 궤도, 시계 정보를 계산한다. 두 값을 비교하여 방송 궤도력의 오차를 계산할 수 있으며 여기에 SBAS 보정 정보를 적용하면 보정 후 남는 잔여 오차를 계산할 수 있다. 계산된 오차는 사용자의 LOS로 투영하여 분석이 되는데, 그 이유는 SBAS에서 궤도 오차 벡터 및 시계 오차를 정확히 구분하여 추정하기 어렵기 때문이다 (Kim 2007). 계산된 오차에는 SBAS 네트워크 시각에 의한 바이어스가 포함된다. SBAS 보정정보는 SBAS 네트워크 시각 기준으로 생성되는데, GPS 시각과는 수 ns 차이가 존재한다. 이러한 바이어스는 모든 위성에 공통으로 들어있는 바이어스이므로 실제 사용자 항법해에는 영향을 주지 않는다. 따라서 본 논문에서는 실제 사용자 성능에 영향을 미칠 수 있는 오차만을 분석하기 위하여 네트워크 시각과 GPS 시각 차이에 의한 바이어스를 보상하였다. 각 위성의 잔여 오차는 크기가 작고 평균을 취할 때 0에 가깝다는 가정하에 모든 위성 오차를 평균을 취하여 SBAS 네트워크 시각과 GPS 시각 차이를 계산하였다.

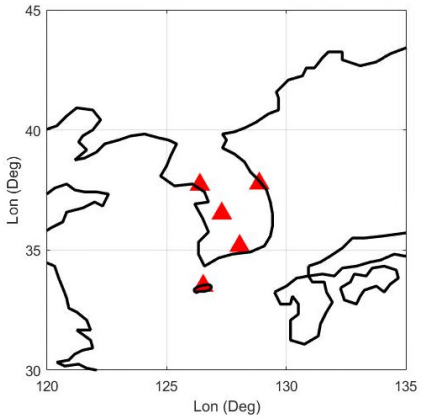


Fig. 1. Reference station configuration.

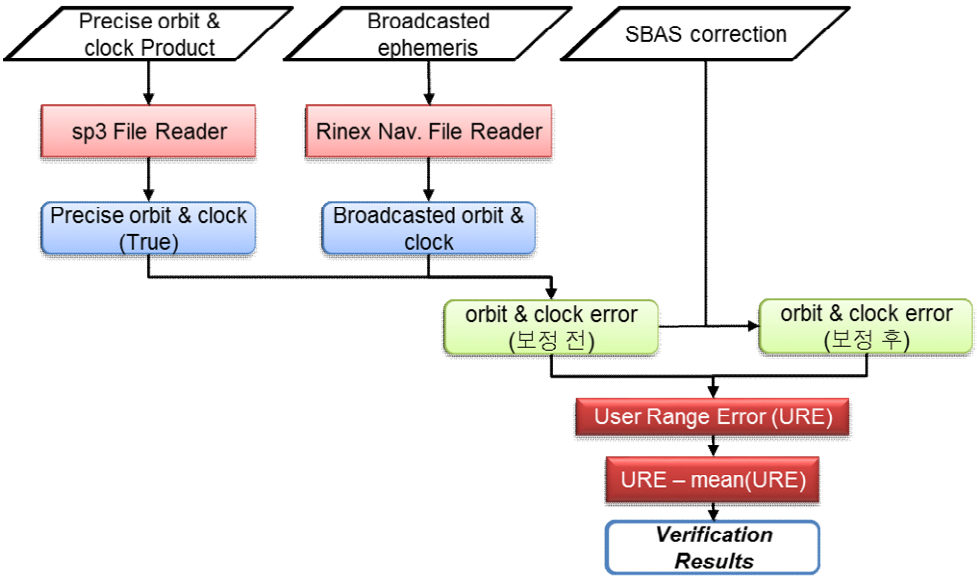


Fig. 2. Block diagram of satellite error analysis.

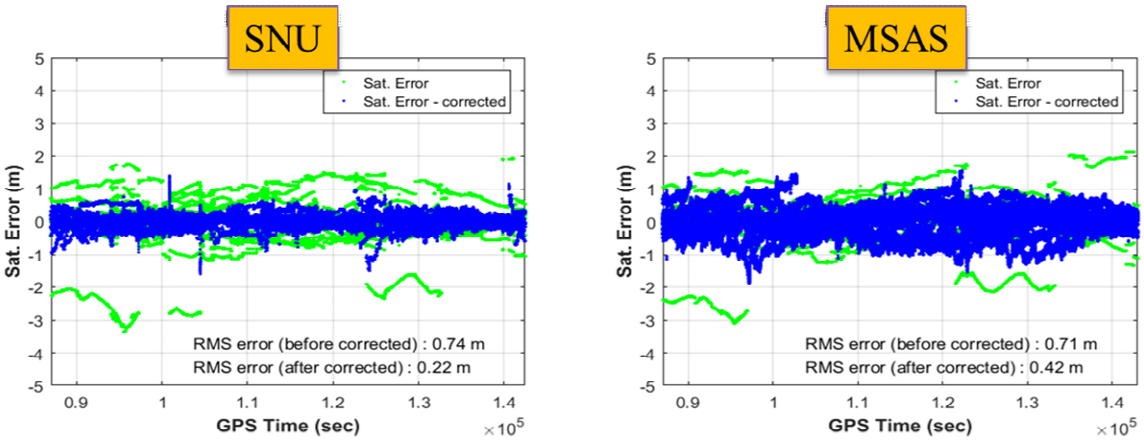


Fig. 3. Satellite error in pseudorange domain (before/after corrected).

Fig. 3은 계산된 위 과정을 거쳐 계산된 결과를 나타낸 그림이다. 우리나라의 경우 세종 기준국을 사용자 위치로 두고 의사거리 영역의 오차를 계산하였으며, MSAS의 경우 140° E, 40° N 위치를 테스트 사용자 위치로 두었다.

테스트기간 동안 우리나라, 일본 지역에서 방송 궤도력 오차는 의사거리 영역에서 RMS 오차 70cm 수준으로 나타났다. 추정한 오차를 바탕으로 생성한 보정 정보를 적용한 경우에는 RMS 오차 22cm 수준으로 오차가 감소하였다. 위성이 처음 뜨고 초반에는 약간 오차가 큰 구간이 존재하지만 점차 수렴하여 작은 오차 수준을 보이는 것을 확인하였다. MSAS의 보정정보를 적용한 경우에는 이보다 안 좋은 42cm 수준의 잔여 오차를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 한반도 기준국을 활용하여 방송 궤도력의 궤도 및 시계 오차를 추정하고, 성능을 분석하였다. 성능 분석은 정밀 궤도력 데이터를 바탕으로 수행되었으며 오차 벡터가 아닌 의사거리로 투영된 오차를 분석하였다. 추정된 오차정보를 SBAS 보정정보로 생성하여 사용자에게 적용한 결과 RMS 70cm 수준의 방송 궤도력 오차는 20cm 수준으로 감소함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 서울대학교 항공우주신기술연구소를 통해 계약된 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(17ATRP-A087579-04)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Gao, G. X., Tang, H., Blanch, J., Lee, J., Walter, T., et al. 2009, Methodology and case studies of signal-in-space error calculation: Top-down meets bottom-up, Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), Savannah, GA, pp.2824-2831

Kee, C. D., Walter, T., Enge, P., & Parkinson, B. 1997, Quality control algorithms on WAAS wide-area reference stations, Navigation, 44, 53-62

Kim, D. U., Han, D. H., Kee, C. D., & Lee, C. H., 2016, Accuracy verification of the SBAS Tropospheric delay Correction Model for the Korean Region, The Journal of Advanced Navigation Technology, 20, 23-28

Kim, D. Y. 2007, A Study on correction generation algorithms for wide area differential GNSS, Ph.D. thesis, Seoul National University

Rho, H. & Langley, R. B. 2007, The usefulness of WADGPS satellite orbit and clock corrections for dual-frequency precise point positioning. In Proc ION GNSS, pp. 939-949

RTCA SC-159, 2006, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D.

BDSBAS 이온층 보정정보 분석

노재희[1], 이주현[2], 이진혁[1], 조광희[1], 이상정[1*]
[1]충남대학교 전자공학과, [2]넵코어스

A Study of BDSBAS Ionospheric Correction

Jae Hee Noh[1], Ju Hyun Lee[2], Jin Hyuk Lee[1], Gwang Hee Jo[1], Sang Jeong Lee[1*]
[1]Department of Electronics, Chungnam National University, [2]Department of Radio Navigation, Navcours

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 제 2 공과대학 477 호
연락처 : 042-825-3991 이메일 : jhnoh3555@cnu.ac.kr

Abstract: 중국의 Beidou 시스템은 2012년 12월부터 중국 및 인근지역에 위성항법 서비스를 제공하고 있고(Phase II), 2020년까지 전 지구 서비스를 목표(Phase III)로 개발을 진행 중에 있다. 또한 BDSBAS 개발 및 시험, 검증을 위해 B1I 신호에 시험용 신호를 송출하고 있다. BDSBAS의 시험, 검증용 신호는 중국 상공의 이온층 수직 지연 오차와 의사거리 측정치 보정을 위한 UDRE뿐만 아니라 각 보정값에 대한 무결성 정보를 송출하고 있다. BDSBAS는 2016년 까지 Single Frequency (SF)에 대한 시험을 완료하였으며, 국내에서는 BDSBAS 보정정보에 대한 연구가 미비한 상태이다. 본 논문에서는 중국 Beidou 시스템의 BDSBAS 시험용 신호로부터 이온층 보정정보를 수신하여 이온층 지연값 보정에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 USRP 기반의 위성 신호를 수집 환경을 구성하고, 소프트웨어 기반의 Beidou 수신기를 설계하였다. 설계한 수신기를 이용해 Beidou 위성신호로부터 중국 상공의 위도 약 10°~55°, 경도 약 70°~145° 범위에 대한 격자기반 이온층 수직 지연 오차와 GIVEI를 포함한 항법보정정보를 추출했다. 이 정보들을 통해 본 논문에서는 BDSBAS의 격자기반 이온층 모델 적용 알고리즘과 Klobuchar 모델의 이온층 지연 오차를 비교하고 분석하였다. 논문 수정은 학회에서 보내는 마지막 수정본에 수정해야 합니다.

Keywords: Beidou, ionospheric correction, BDSABS

1. 서 론

중국의 Beidou 시스템은 2012년 2월부터 중국을 중심으로 주변 지역에 위성항법서비스(Phase II)를 시작하였고, 2020년까지 전 지구 서비스를 제공할 목표(Phase III)로 개발을 진행 중이다. Beidou 시스템은 위성항법서비스 뿐만 아니라 위성 기반 보강시스템(SBAS)가 동시에 제공되도록 개발되고 있다. 이러한 Beidou 시스템의 SBAS는 Beidou Satellite Augmentation System (BDSBAS)이라 부르며, 개발 및 시험,검증을 위해 B1I 신호에 시험용 신호를 송출하고 있다. 중국은 2020년까지 3기의 정지궤도 위성을 발사하여 BDSBAS 공개 서비스를 시작할 예정이다.

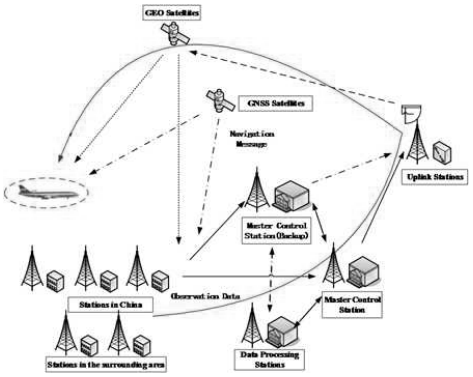


Fig. 1. BDSBAS 운용 개념도.

Fig. 1은 BDSBAS의 운용 개념도이다. 그림에서 보듯이 BDSBAS는 3기의 정지궤도 위성, 중앙 제어국, 데이터 처리국, 위성통신국, 기준국들로 구성된다. 중국은 BDSBAS를 CAT-I급의 서비스로 제공하기 위해 단일 주파수(Single Frequency; SF)에 대한 시험을 완료하고, Dual Frequency Multi Constellation (DFMC) 서비스 개발에 전념하고 있다. 현재 BDSBAS의 시험,검증용 신호는 중국 상공의 이온층 수직 지연 오차와 의사거리 측정치 보정을 위한 UDRE뿐만 아니라 각 보정값에 대한 무결성 정보를 송출하고 있다 (Park 2015).

따라서, 본 논문에서는 중국 Beidou 시스템의 BDSBAS 시험용 신호로부터 이온층 보정정보를 수신하여 이온층 지연값 보정에 대한 분석을 수행하였다. Beidou 신호를 수집하기 위해 신호 수집 환경을 구성하고 USRP를 이용해 위성 신호를 수집했다. 그리고 소프트웨어 기반의 Beidou 수신기를 설계하여 수집한 Beidou 위성 신호로부터 중국 상공의 위도 약 10°~55°, 경도 약 70°~145° 범위에 대한 격자 기반 이온층 수직 지연 오차와 GIVEI를 포함한 항법보정정보를 추출했다. 또한, BDSBAS의 가용성을 분석하기 위해 하나의 Ionospheric Grid Point (IGP)에서 BDSBAS의 이온층 지연 값을 도출하고, 비교 대상으로 Klobuchar 모델에서 구한 이온층 지연 값과 MSAS 이온층 지연 값을 사용하였다.

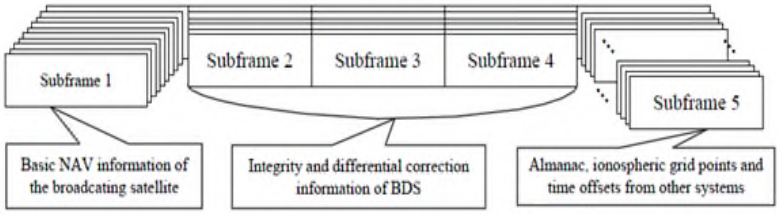


Fig. 2. Beidou B1 신호의 D2 항법 메시지 프레임 구조.

2. BDSBAS 이온층 보정 정보

2.1 BDSBAS 데이터 형식 및 내용

Beidou B1 신호의 항법 메시지는 D1, D2로 나누어 구성된다. 이들 중 D2 항법 메시지는 GEO 위성에서 신호를 송신하며 항법에 필요한 정보와 Augmentation 서비스 정보(Beidou 시스템의 이온층 수직 지연 오차와 의사거리 측정치 보정을 위한 UDRE뿐만 아니라 각 보정값에 대한 무결성 정보)를 6분 길이의 메시지 프레임에 담아 지상으로 전송한다.

Fig. 2는 Beidou B1 신호의 D2 항법 메시지의 Subframe 구조를 나타낸다. D2 항법 메시지의 Subframe 1과 Subframe 5는 다시 Page로 나눠지고 각 Page마다 데이터 형식이 다르다. 이온층 보정 정보는 Subframe 5에서 Page 별로 데이터를 제공하며, 본 논문에서 필요한 정보인 이온층 격자 정보(Ion)는 격자점에서의 수직 지연 값(Vertical delay, $d\tau$)과 지연 값의 오차(GIVEI)로 구성되어있고, Page 1~13은 이온층 격자 정보(Ion) 1~160에 해당하는 데이터를 제공하고 Page 61~73은 이온층 격자 정보(Ion) 161~320에 해당하는 데이터를 제공한다. 이 외에도 Subframe 2에서 Beidou 각 위성에 대한 무결성과 차등적 보정 정보 전송 유무를 나타내주는 데이터(BDID)과 BDSBAS 시각 보정 정보에 대한 오차(UDREI)를 전송하고, Subframe 3에서 시각 보정 정보(Δt) 및 Beidou 위성 신호의 무결성 정보를 제공한다 (China Satellite Navigation Office 2016).

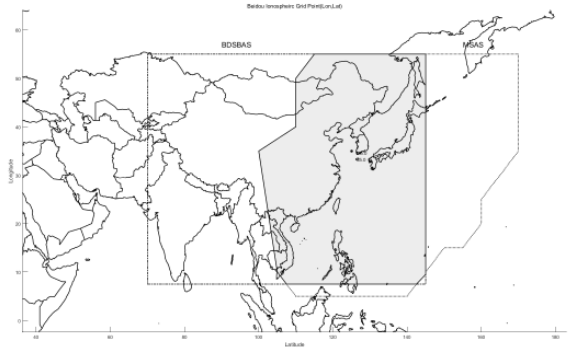


Fig. 3. BDSBAS와 MSAS의 IGP.

2.2 BDSBAS 현황 및 보정정보

BDSBAS는 이온층 기준 고도를 375km로 가정하고, 위도 약 10°~55°를 2.5° 간격으로, 경도 약 70°~145°를 5°로 나누어 IGP에 대한 이온층 정보를 제공한다. Fig. 3은 BDSBAS IGP를 나타내고 있는데 BDSBAS는 각 IGP에서의 이온층 수직 지연값(Ionospheric Vertical Delay)과 지연 값의 오차(GIVEI)를

제공한다. 이온층 수직 지연값은 0에서 63.875m까지 0.125m 단위로 표현되고, GIVEI는 지연 값의 오차에 대한 Index를 0에서 15까지 전송한다. 수직 지연 값이 63.750m인 경우 해당 IGP는 'Not monitored' 상태이고, 63.875m인 경우에는 수직 지연 값을 사용할 수 없는 상태이다. 현재 Beidou B1 신호가 제공하는 이온층 보정 정보로 이온층 IGP 지도를 그리면 실질적으로 보정 정보를 이용할 수 있는 지역은 주로 중국과 한국으로 국한되어 있다 (China Satellite Navigation Office 2016).

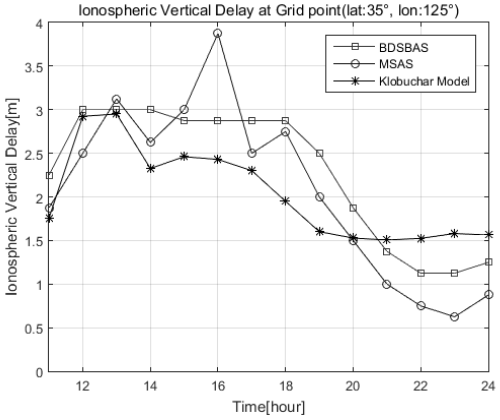


Fig. 4. BDSBAS 이온층 수직 지연값 비교.

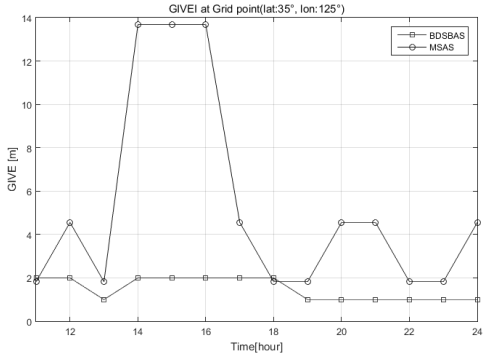


Fig. 5. BDSBAS와 MSAS GIVE 값 변화.

3. BDSBAS 이온층 보정 정보 분석

Fig. 4는 2017년 9월 11일 Beidou B1 위성 신호로부터 추출한 이온층 보정 정보를 이용하여 하나의 격자 지점에 대한 약 14시간 동안의 이온층 수직 지연값 및 GIVEI 값 변화를 나타낸 것이다. 기준의 되는 지점은 BDSBAS의 IGP와 MSAS의 IGP가 겹치는 구간 중에서 한국과 가까운 위도 35도, 경도 125도 인 격자점을 대상으로 이온층 비교를 실행했다. BDSBAS의 가용성을 분석하기 위해서 MSAS에서 제공한 지연값과 klobuchar 모델을 이용해 자체 추정한 지연값을 BDSBAS의 지연값과 비교해 보았다. 그림을 보면 지연값이 부분적으로 0.5m 이내의 차이를 보이지만 전체적인 경향은 비슷한 것을 알 수 있다 (Jung & Kim 2008).

Fig. 5는 Fig. 4와 동일한 지점에서의 BDSBAS와 MSAS의 GIVE 값의 변화를 나타낸 그림이다. GIVE 값은 전송된 이온층 수직 지연값의 정확도 및 신뢰도를 의미하는데 MSAS의 경우 5m 이내의 값을 가지다가 오후 2시경부터 5시경까지 GIVE 값이 급증한다. 그에 비해, BDSBAS의 GIVE 값 변화를 살펴보면 전반적으로 1m 이내의 안정적인 값이 나타난다 (Geng & Mo 2016).

4. 결 론

본 논문에서는 BDSBAS의 이온층 보정 정보를 이용하여 이온층 수직 지연값 정보에 대한 기본적인 분석을 수행하였다. Beidou 위성 신호를 수집하여 소프웨어 기반의 수신기로부터 이온층 보정 정보를 추출하여 특정 위치와 시간에서의 이온층 수직 지연값을 얻어 동일한 위치와 시간에 대한 MSAS의 이온층 수직 지연값 및 Klobuchar 모델로부터 자체 추정한 이온층 지연값을 비교하였다. 그 결과, 0.5m 이내의

차이를 보이지만 전체적인 변화는 일치함을 알 수 있었고 GIVE 값이 1m 이내의 값으로 나타남으로써 전송된 이온층 수직 지연값을 신뢰할 수 있다고 판단했다. BDSBAS는 현재 시험 및 검증 단계이기 때문에 국내에서 연구가 많이 진행되고 있지 않은 상태이지만, 향후 BDSBAS에 대한 이온층 보정 정보의 적용 방법을 연구함에 있어서 좋은 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

China Satellite Navigation Office 2016, Beidou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document, BDS-SIS-ICD-2.1-2016-11

Geng, Y. & Mo, P. 2016, The research on grid ionospheric delay algorithm of BDSBAS, Advances in Computer Science Research, vol. 63, pp.128-134. https://doi.org/ 10.2991/aiea-16.2016.23

Jung, M.-S. & Kim, J.-R. 2008, Effect of Equatorial Anomaly on MSAS Ionosphere Correction Error, The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences Program, pp.1168-1171. http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE01110405

Park, S.-H. 2015, [Internet], Trend and Implication of China Navigation Satellite System BDS, available from: http://www.kass.re.kr/sub04/sub04_04_view.php?b_idx=48&b_board_id=main08&page=2&Block=&category=



[A2] 보강시스템 2

한반도 지역에서의 Expanded Kriging 기반 전리층 추정 기법을 위한 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델 파라미터 디자인

최필훈, 이지윤*
한국과학기술원 항공우주공학과

Designing Parameters of 1st Order Gauss-Markov Process Model for Iono Spheric Estimation Based on Expanded Kriging in the Korean Region

Pil Hun Choi, Jiyun Lee*
Aerospace Engineering Department, KAIST

주소 : 대전 유성구 대학로 291 한국과학기술원 기계공학동 4314 호
연락처 : 010-5488-7221 이메일 : phchoi@kaist.ac.kr, jiyunlee@kaist.ac.kr

Abstract: Satellite Based Augmentation System (SBAS)에서는 등간격으로 분포된 Ionospheric Grid Point (IGP)에서의 수직 전리층 지연 추정치 및 해당 추정치에 대한 무결성 정보인, Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE)를 이용하여, 사용자는 사용자의 GNSS 신호에 대한 전리층 지연 오차를 상쇄하고, 상쇄한 전리층 지연 오차에 대한 무결성 정보를 획득한다. 미국의 SBAS인 Wide Area Augmentation System (WAAS)에서는 IGP에서의 수직 전리층 지연 추정치 및 GIVE를 공간적 통계정보 기반 추정 방법인 kriging 기법을 이용해 산출한다. 하지만, kriging 기법은 측정치 다수가 넓고 고르게 분포된 WAAS를 기반으로 개발되었기 때문에, 측정치가 적고 좁게 분포한 한국과 같은 환경에서는 WAAS와 동일한 성능을 기대하기 어렵다. 이를 보완하기 위하여, Expanded Kriging (EK) 기법이 제안되었다. EK 기법은 전리층 지연 오차의 시간적 변화를 반영한 1차 Gauss-Markov 프로세스가 적용된 칼만필터를 통해, 전 epoch의 전리층 지연 오차 측정치를 현 epoch의 추정치를 반영한다. 이를 통하여, 기존 kriging 기법에 사용되는 추정치의 수를 늘리고 기하학적 분포를 개선한다. 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델은 Auto-correlation 분석을 통하여, 수직 전리층 지연 측정치의 시간적 상관관계를 표현하는 시간 상수와 하루 동안의 시간에 따른 수직 전리층 지연 측정치들의 분산으로 표현된다. EK 기법에서 산출되는 GIVE가 SBAS 성능 조건을 만족하기 위해서는 이 파라미터들이 어떤 전리층 상태에서도 적용 가능하게 디자인 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 한반도 지역의 전리층 정상상태의 날(Nominal Day)와 전리층 이상상태의 날(Disturbed Day)에 대한 이 파라미터들의 디자인 방법론을 제시하고, 이를 검증한다.

Keywords: SBAS, GIVE, kriging estimation

1. 서 론

Satellite Based Augmentation System (SBAS)은 광역적으로 분포되어 있는 기준국으로부터 Global Navigation Satellite System (GNSS) 신호의 오차에 대한 보정정보와 무결성 정보를 계산하여, 사용자에게 제공한다. SBAS 메시지로 보정하는 포함된 GNSS 신호에 대한 오차에는 위성 궤도력 및 시계 오차와 전리층 지연 오차 등이 있다. 이중 전리층 지연 오차는 GNSS 신호의 오차 중 가장 큰 오차 요인이기 때문에, 전리층 지연 오차 추정성능에 따라, SBAS 서비스의 요구성능 만족 여부가 결정될 수 있다.

SBAS에서 제공하는 전리층 지연 오차 보정정보는 격자기반 전리층 지연오차 추정기법으로 산출된다. 격자기반 전리층 지연 오차 추정기법은 위경도 5°도 마다 배치된 격자점인 Ionospheric Gird Point (IGP)에서의 수직 전리층 지연 추정치 및 해당 추정치에 대한 무결성 정보인 Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE)를 계산하는 방식이다. 계산된 IGP에서의 수직 전리층 지연 추정치 및 무결성 정보는 SBAS 메시지를 통해 사용자에게 방송되며, 사용자는 방송된 IGP에서의 수직 전리층 지연 추정치 및 무결성 정보를 보간법으로 사용자 Ionospheric Pierce Point (IPP)에서의 전리층 지연 오차를 보정하고 해당 보정에 대한 무결성 정보를 계산한다. 현재 미국의 GNSS 광역보강시스템인 Wide Area Augmentation System (WAAS)에서는 IGP에서의 수직 전리층 지연 추정 방법으로 kriging 추정기법을 이용한다. kriging 추정기법은 지구통계학에서 사용하는 공간적 구조를 통계적인 방법으로 추정하는 기법이다. Sparks et al. (2011)에서 설명하고 있는 WAAS에서의 kriging 추정기법은 전리층 공간적 구조를 단일 모델의 베리오그램을 통하여 모델링하고, 이를 기반으로 최량선형불편추정법으로 IGP에서의 수직 전리층 지연 오차를 추정한다. kriging 추정기법에서의 추정에 대한 신뢰성은 추정에 이용되는 측정치들의 수와 분포에 의존한다. 따라서 기존의 kriging 추정기법은 다수의 측정치가 넓고 고르게 분포된 WAAS를 기준으로 개발이 되었기 때문에, 측정치가 적고 좁게 분포한 한국과 같은 환경에서는 동일한 성능을 기대하기 어렵다. 이를 보완하기 위해서, Bang (2016)

은 측정치 추가 확보 및 기하학적 분포를 개선하기 위한 Expanded kriging (EK) 기법을 제안하였다. EK 기법은 기존의 kriging 추정기법에 칼만필터를 이용한 전 epoch에서의 측정치를 현 epoch에서의 측정치로 가정하는 과정이 추가된다. EK 기법은 전 epoch에서의 측정치를 현재 epoch의 측정치로 가정함으로서, 추정에 이용하는 추정치를 획기적으로 늘리면서, 기하학적분포도 개선한다. 전 epoch의 측정치를 현 epoch의 측정치를 가져오기 방법으로 사용되는 칼만필터에는 전리층 지연 오차의 시간적 변화를 반영한 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델이 적용되며, 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델에 필요한 파라미터는 Auto-correlation 분석을 통해서 디자인 된다. 해당 파라미터들은 수직 전리층 지연 측정치의 시간적 상관관계를 표현하는 시간 상수(τ)와 하루 동안의 시간에 따른 수직 전리층 지연 측정치들의 분산(σ)이 있다. 해당 파라미터들은 전 epoch의 측정치를 현 epoch의 측정치로 가정하는 과정에서 계산되는 측정치에 대한 신뢰성을 계산하는데 중요하며, 이는 EK 기법에서 산출되는 GIVE에 반영됨으로, 해당 GIVE가 SBAS 성능 조건을 만족하기 위해서는 이 파라미터들이 어떤 전리층 상태에서도 적용 가능하게 디자인 되어야한다. 따라서 본 논문에서는 한반도 지역에 대한 해당 파라미터들의 디자인 방법론을 제시하였다.

2. Expanded Kriging 추정기법 알고리즘

2.1 Expanded Kriging 추정기법 개요

Bang (2016)이 제안한 EK 추정기법은 Choi et al. (2016)에서 다음의 Fig. 1과 같이 설명한다. 첫번째 과정은 전 epoch (k-1번째 epoch)에서의 측정치를 칼만필터를 통해서 전 epoch의 위치에 대한 현 epoch (k 번째 epoch)의 필터 예측치를 구한다. 두 번째 과정은 칼만필터 측정치 업데이트를 위하여 현 epoch의 측정치를 생성하는 것이다. 전 epoch의 IPP 위치에 대한 현 epoch의 측정치는 IPP가 시간에 따라 이동함으로 없기 때문에, 현 epoch의 측정치들을 이용하여 Kriging 추정기법으로 해당 위치에 대한 Kriging 추정치로 대체한다. 마지막 과정은 첫번째 단계에서 구한 칼만필터 예측치에 두번째 단계에서 구한 Kriging 추정치를 반영하여 보정하여, 현 epoch에 대한 새로운 측정치를 생성한다.

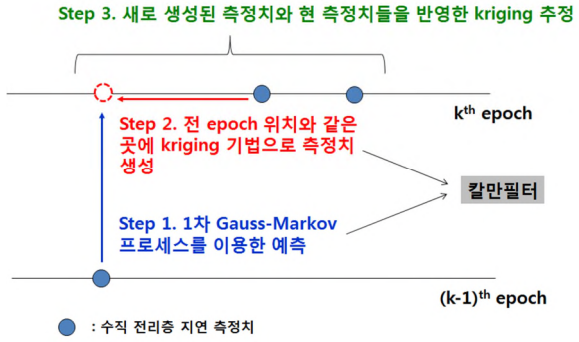


Fig. 1. Concept of expanded kriging estimation using Kalman Filter (Choi et al. 2016).

시간 업데이트 (예측)

- Project the state ahead

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}$$

- Project error covariance ahead

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$$

측정치 업데이트(보정)

- Compute the Kalman gain

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$$

- Update estimate with meas.

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(\mathrm{z_k} - \mathrm{H}\hat{x}_k^-)$$

- Update the error covariance

$$P_k = (I - K_k H)P_k^-$$

Fig. 2. Process of Kalman filter (Choi et al. 2016).

2.2 칼만필터

EK 추정기법에서의 칼만필터는 Choi et al. (2016)에서 Fig. 2와 같이 구성된다. $\hat{x}_k$, P_k는 각각 k epoch에서의 전리층 수직 지연 측정치 및 상태 공분산이며, A는 1차 Gauss-Markov 프로세스 기반의 상태전이행렬, Q는 1차 Gauss-Markov 프로세스 잡음을 나타낸다. 측정치 업데이트에서 사용한 측정치는 Kriging 추정치를 사용하기 때문에, 해당 측정치(z_k) 및 측정치 공분산(R)은 Kriging 추정기법으로 산출된다.

3. 1차 Gauss-Markov 프로세스 파라미터 디자인

3.1 1차 Gauss-Markov 프로세스

칼만필터의 상태전이행렬(A)은 1차 Gauss-Markov 프로세스기반으로 식 (1)과 같이, 1차 Gauss-Markov 프로세스 잡음(Q)은 식 (2)와 같이 각각 모델링 된다. Δt 는 epoch과 epoch 사이의 시간차이를 의미하며, I는 $N \times N$ 단위행렬(N은 측정치 업데이트에 사용되는 칼만필터 예측치 수를 의미)를 나타낸다. τ 와 σ^2 는 각각 수직 전리층 지연 오차의 시간적 변화에 따른 시간적 상관관계를 나타내는 시간상수와 1차 Gauss-Markov 프로세스 잡음을 의미하며, 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델링의 설계 파라미터이다.

$$A = \exp\left(\frac{-\Delta t}{\tau}\right) I \qquad (1)$$

$$Q = \sigma^2\left(1 - \exp\left(\frac{-2\Delta t}{\tau}\right)\right) I \qquad (2)$$

3.2 Auto-Correlation 분석을 통한 1차 Gauss-Markov 프로세스 파라미터 디자인 방법론

1차 Gauss-Markov 프로세스 모델 파라미터들은 어떠한 전리층 거동 상태에서도 SBAS 성능 조건을 만족시켜야 한다. 특히, EK 추정기법으로 추정한 전리층 보정정보에 대한 무결성 보장이 필수적이기 때문에. 이 파라미터들을 설정하는 데에는 보수적인 접근법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 SBAS 무결성 조건을 만족시키기 위한 해당 파라미터들을 설계하기 위한 방법론을 제시한다.

다음 Fig. 3은 1차 Gauss-Markov 프로세스 모델의 파라미터를 설계하기 위한 과정을 나타낸다. 우선 하루치 전리층 데이터를 입력 받아, Sparks et al. (2011)에서 실시하는 전리층 불균질 검출(Ionospheric Irregularity Detector)을 수행한다. 이는 기본적으로 실시되는 SBAS 전리층 모니터를 통과하지 못하는 날들을 제외시키는 역할을 한다. 다음으로 이 과정을 통과한 날에 대한 Auto-correlation 분석을 진행하며, 데이터를 축적한 뒤, 최대 τ와 σ^2을 산출해낸다. 최대값을 선정하는 이유는 전리층 불균질 검출을 통과한 모든 전리층 상태에 대하여, 무결성을 보정하기 위함이다. 산출된 τ와 σ^2를 이용하여 EK 추정기법을 이용하여 전리층을 추정 및 무결성 정보를 획득한다. 이때, 칼만필터의 Innovation 테스트 통과비율 및 기존 Kriging 추정기법의 무결성 정보 등을 종합하여, EK 추정기법의 성능을 평가한다. 최종적으로 SBAS 가용성 평가를 진행한다.

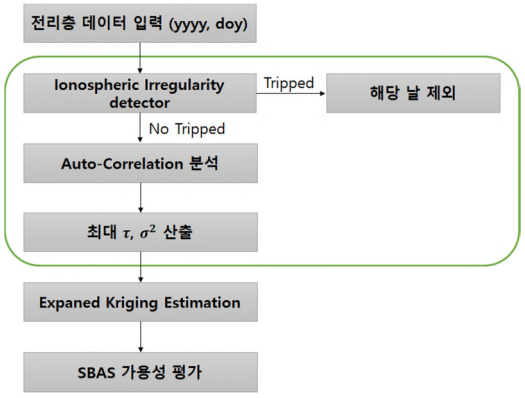


Fig. 3. Process of designing parameters for 1st order Gauss-Markov process model.

4. 결 론

본 논문에서는 측정치가 좁고 부족한 전리층 측정치를 가지는 환경에서 SBAS 성능을 향상시키기 위한 Expanded Kriging 추정기법에 대해서 소개하고, Expanded Kriging 추정기법에 적용되는 칼만필터의 1차 Gauss-Markov 프로세스 파라미터 설계 방법론에 대하여 제시하였다. 추후, 이 방법을 이용한 국내 지역에 대한 파라미터 값 산출하여, 국내 지역 SBAS 가용성 평가를 수행 및 검증할 계획이다.

REFERENCES

Bang, E. G. 2016, Expanded Ionospheric Estimation and Threat Model Algorithms for SBAS, Proceedings of the 29th Internationa; Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+), September 12-16, 2016, Portland, Oregon, pp.1338-1349

Choi, P. H., Bang, E. G., & Lee, J. Y. 2016, Modeling of Ionospheric Delay for SBAS using Expanded Kriging Estimation., The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Fall Conference, pp.990-991

Sparks, L., Blanch J., & Pandya N. 2011, Estimating ionospheric delay using kriging: 1. Methodology, Radio Sci., 46, RS0D21. https://doi.org/10.1029/2011RS004667

GPS/GLONASS Compact Network RTK 성능 검증 및 시간지연 오차 보상 연구

송준솔[1], 박병운[2], 기창돈[1*]
[1]서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술 연구소, [2]세종대학교 우주항공공학부

Performance Evaluation of GPS/GLONASS Compact Network RTK and Compensation of Latency Errors

Junesol Song[1*], Byungwoon Park[2], Changdon Kee[1*]
[1]Mechanical and Aerospace Engineering and Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University
[2]Aerospace Engineering, Sejong University

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 301 동 1321 호
연락처 : 02-880-1912 이메일 : kee@snu.ac.kr

Abstract: Network Real-Time Kinematic (RTK)는 2000년대부터 단일 기준국 기반 RTK의 한계점을 극복하기 위해 개발된 방식으로, 기준국당 커버리지를 넓히는 동시에 기존 RTK와 동일한 수준의 정확도를 제공하는 장점이 있다. Network RTK는 주로 정적 사용자에 적용되었으나, 최근 자율주행차량에 대한 연구가 활발히 이루어지면서 차량과 같은 동적 사용자에 적용되어 차선 구분이 가능한 정확도 제공이 가능한 방법으로 주목 받은 바 있다. 고속도로 환경은 도심에 비해 가시성이 좋으나, 고속도로 주변의 지형지물에 의해 신호가 차단되어 항법 오차가 증가하거나, 미지정수 결정이 어려운 상황이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 GLONASS와 같은 추가적인 위성항법 신호를 활용하는 연구가 널리 진행되고 있다. 한편, 육상교통과 같이 다수의 사용자가 존재하는 환경에서는 통신 단락이 빈번히 발생할 수 있어, 연속적인 항법을 위해서는 시간지연 오차 보상을 필수로 고려해주어야 한다. 이는 Compact RTK와 같이 시간지연에 강건한 보정정보 생성 방식을 적용함으로써 해결할 수 있다. 본 연구에서는 기존 시간지연에 강건한 보정정보 생성 기법인 GPS 기반 Compact Network RTK에 GLONASS 신호를 통합하여 성능 검증을 수행한다. GPS/GLONASS Compact Network RTK 알고리즘 검증을 목적으로 Frequency Division Multiple Access (FDMA)방식을 활용하는 GLONASS 측정치 사용에 의한 추가적인 오차를 최소화하기 위해 동일한 기종의 수신기를 활용하여 성능 검증을 수행하였다. 통신 지연 또는 단락과 같은 실제의 상황을 고려하기 위하여 다양한 크기의 시간지연에 대해 Compact RTK방식과 기존 RTK방식을 활용한 경우에 대해 사용자 잔여오차를 비교하였다. 또한 GPS신호만을 사용한 경우와 GPS/GLONASS 신호를 모두 사용한 경우에 대하여 미지정수 결정 성능을 미지정수 결정 소요시간과 미지정수 결정 성공률로 평가하였다. 그 결과, Compact RTK방식이 기존 RTK 방식에 비하여 약 50% 정도 향상된 시간지연 오차 감소 효과가 있는 것을 확인하였다. 미지정수 결정 성능 관련하여서는, GPS/GLONASS 신호를 모두 사용한 경우, 미지정수 결정을 더 빠르게, 그리고 더 정확하게 수행할 수 있음을 확인하였다.

Keywords: compact RTK, network RTK, correction scheduling, broadcast latency

1. 서 론

Network RTK는 반송파 위상 측정치를 활용하여 미지정수 결정을 통해 수 cm 수준의 고 정확도 항법을 제공하는 기술로, 개발 초기에는 주로 측량, 측지 등의 정적 사용자에 대해 주로 사용되어 왔으나 서비스의 전국 확대 시 기준국 구축 비용 감소 효과 및 지상의 차량 사용자로의 고 정확도 항법 요구 증가 등으로 차량과 같은 동적 사용자에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 차량 사용자의 경우에는 차량이 주행하는 동안 항법 결과를 안정적으로, 또한 연속적으로 제공해주는 것이 중요하다. 이를 위해서는, 항상 충분한 가시성이 보장되어야 하며, Network RTK 또는 RTK 보정정보를 보정정보의 갱신 주기마다 연속적으로 수신해 주어야 수 cm 수준의 RTK fix 상태를 유지할 수 있다. 충분한 가시성 확보를 위해서는 GPS 외에 추가적인 GNSS 신호를 활용할 수 있다. 한편, 보정정보의 원활한 수신을 위해서는 안정적인 통신망 확보가 중요하다. 그러나 이동통신 망의 경우, 인구에 비례하여 구축되기 때문에 사용자 위치 이동에 따라 사용자가 데이터 통신이 원활하지 않은 환경 하에 있을 수 있으며 또한, 통신 기준국 변경에 의하여 수 초 동안 통신이 불가능한 상황(handover)이 발생할 수 있다. 이러한 경우, 사용자는 보정정보를 원활히 수신할 수 없게 되며, 그에 따라 RTK fix 상태를 유지할 수 없게 되어 위치 정확도가 급격히 저하될 수 있다. 기존에 Network RTK 및 RTK등 보강항법 보정정보를 전달하는 형식으로 국제표준인

Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) 프로토콜을 널리 사용하고 있으며, Network RTK 및 RTK 구현에 필수적인 1003번 또는 1004번 메시지의 경우 약 0.5Hz에서 2Hz의 갱신주기를 권고하고 있다(RTCM 2011).

본 연구에서는 차량 사용자의 연속적이고 안정된 RTK fix 위치 계산을 위하여, 첫 번째, 가시성 확보를 위한 GPS/GLONASS Compact Network RTK를 개발하고 그 성능 검증을 수행하였다. 두 번째로는, 2002년 개발된 시간지연 오차 보상에 유용한 Compact RTK 기술(Kim & Kee 2004)을 활용한 GPS/GLONASS Carrier Phase Correction (CPC)의 시간지연 오차 보상 성능을 검증하였다.

2. GPS/GLONASS Compact Network RTK 개발

본 연구에서는 기존 GPS신호에 대해 개발된 Compact Network RTK 알고리즘 (Park & Kee 2010, Song 2016)을 GLONASS 신호에 대해 확장하였다. 개발된 GPS/GLONASS Compact Network RTK 알고리즘 순서도는 Fig. 1과 같다. Compact Network RTK는 기준국 측정치 수집, 기준국간 미지정수 결정, Network RTK 보정정보 생성 및 보정정보 방송의 기능을 수행한다. 네트워크를 구성하는 기준국간 거리는 약 30~70km의 중기선으로 기존의 단일 기준국 RTK 방식으로는 정확한 미지정수 추정이 불가능하다. 따라서 Medium-baseline RTK 기능을 추가하여 Melbourne-Wübbena 및 Ionosphere-free 측정치 조합을 이용하여 L1/L2 미지정수를 추정해주었다(Song 2016).

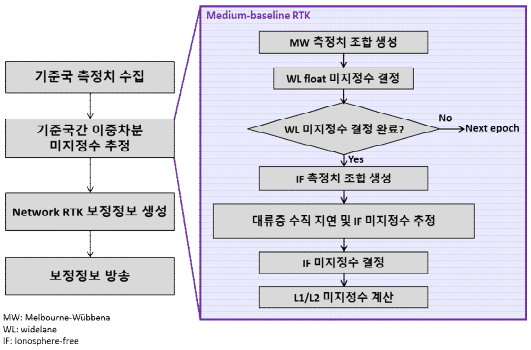


Fig. 1. Flow chart of compact network RTK.

한편, GLONASS 신호의 경우 GPS와 달리 Frequency Division Multiple Access (FDMA)방식으로 암호화 되어 있어, 각 위성의 방송 주파수 및 그에 해당하는 파장 길이가 서로 다른 차이점이 있다. 따라서 GLONASS의 의사거리 및 반송파 위상은 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}\phi^i_{r,GLO} &\equiv d^i_r + B_r - b^i + \delta R^i_r - I^i_r + T^i_r + N^i_r\lambda^i + \varepsilon^i_\phi \\ \rho^i_{r,GLO} &\equiv d^i_r + B_r - b^i + \delta R^i_r + I^i_r + T^i_r + \varepsilon^i_\rho\end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에서 d, B, b, δ R, I, T, N, ε 은 각각 거리, 수신기 시계오차, 위성시계오차, 위성궤도 오차, 전리층 지연, 대류층 지연, 미지정수, 잡음을 나타낸다. 또한, λ 는 파장을 의미하며 위성에 따라 다른 값을 갖는다. 첨자 i, r은 각각 위성 및 기준국 인덱스이다. 본 연구에서는 GPS/GLONASS Compact Network RTK 가능성 분석을 위하여, 동일한 기종의 수신기만을 고려대상으로 하며, 이종 수신기에 대한 고려는 하지 않도록 한다. GLONASS 반송파 위상의 이중차분 값은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$${}_{r1}\Delta_{r2}{}^i\nabla^j\phi_{GLO} \equiv {}_{r1}\Delta_{r2}{}^i\nabla^j\left(d + \delta R - I + T + \varepsilon_\phi\right) + {}_{r1}\Delta_{r2}{}^i\nabla^j N\lambda^i + {}_{r1}\Delta_{r2}N^i\cdot\left(\lambda^j - \lambda^i\right) \tag{2}$$

GLONASS 파장은 위성 별로 다른 값을 갖기 때문에 GPS의 이중차분 값과 달리 식 (2)에서 마지막 항이 추가된다. GLONASS 정수성 유지를 위하여 식 (2)에서 표현된 단일 차분된 미지정수 추정이 필요하다. 단일 차분된 미지정수는 위성간 차분된 파장과 곱해지며, 차분된 파장의 최대값은 약 0.85mm으로 상당히 작기 때문에 스무딩 된 의사거리를 활용하여 단일 차분된 미지정수를 추정할 수 있다. 또는, 기존에 제안된 단일 차분된 미지정수 추정 방법(Ong et al. 2009)을 활용하여 식 (2)의 마지막 항을 제거할 수 있다.

3. COMPACT RTK 시간지연 오차 보상 성능 확인

Compact RTK 보정정보는 다음과 같이 표현되는 CPC와 그 변화율로 구성된다.

$$\delta\phi \equiv \delta B - \delta b - I + T + \delta R + \delta N\lambda + \varepsilon$$
$$\delta\dot{\phi} \equiv d\delta\phi / dt = \delta\dot{B} - \delta\dot{b} - \dot{I} + \dot{T} + \delta\dot{R} + \dot{\varepsilon} \quad (3)$$

시간지연 변화율 보상은 식 (3)에서 나타낸 CPC와 그 변화율을 활용하여 간단한 1차식으로 구현할 수 있다. RTCM 보정정보의 경우, 보정 메시지에서 제안하는 시간지연 오차 보상 방안은 표준화 문서에 정의되어 있지 않으나, 기존에 연구된 논문을 참조하여 반송파 위상 측정치, 그 변화율 및 가속도를 state로 하는 Kalman filter를 구성하여 시간지연 오차를 보상한다고 가정하였다(Neumann et al. 1996).

4. 실험 결과

2017년 2월 9일 오후 1시에서 4시(KST)까지 국토지리정보원 파주, 인천, 수원, 동두천 기준국에 대해 1초간격으로 총 3시간 데이터를 수집하였다. 위 기준국으로 구성된 네트워크 내부에 위치하는 서울시 금천 기준국을 사용자로 하여 성능검증을 수행하였다.

4.1 GPS/GLONASS Compact Network RTK 성능 검증

본 연구에서 개발된 알고리즘을 활용하여 GPS/GLONASS Network RTK 사용자 위치 정확도를 도시한 결과는 Fig. 2와 같다. 테스트 수행기간 동안 가시 위성수는 8개에서 12개였으며, 수평 및 수직 95% 정확도는 각각 2.5cm, 3.6cm로 계산되었다.

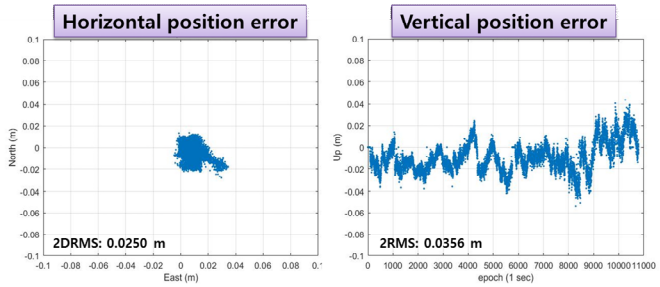


Fig. 2. GPS/GLONASS network RTK user positioning results.

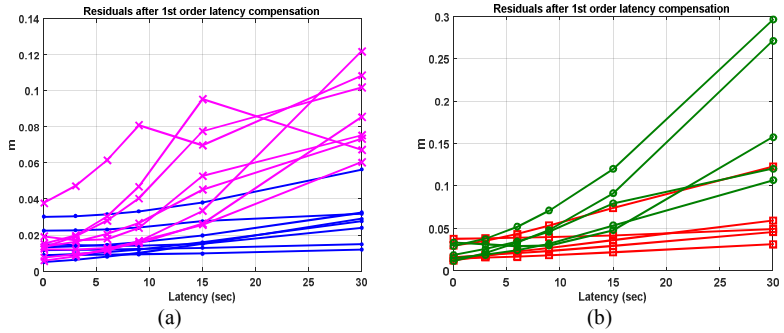


Fig. 3. (a) Residual of proposed GPS CPC (blue) and GPS RTCM corrections (magenta), (b) Residual of proposed GLONASS CPC (red) and GLONASS RTCM corrections (green).

4.2 Compact RTK 보정정보와 RTCM 보정정보 시간지연 보상 성능 비교

3장에서 소개된 방법을 활용하여 GPS/GLONASS CPC 보정정보(proposed)와 RTCM 보정정보에 1~30초의 일괄적인 시간지연을 발생시켜 시간지연 오차 보상 후 잔여오차의 Root Mean Square (RMS) 오차를 각 위성에 대해 도시한 결과는 Fig. 3과 같다. 시간지연이 크지 않을 때는 제안된 방식과 RTCM 보정정보의 시간지연 오차 보상 성능이 유사하나, 시간지연이 점점 커질수록 RTCM 보정정보의 성능이

떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 RTCM 보정정보의 변화율이 크기 때문에 시간지연 값이 큰 경우에는 보정정보의 가속도까지 고려하여도 정확도가 부족하기 때문이다.

4.3 GPS only, GPS/GLONASS에 대한 사용자 미지정수 결정 성능 분석

Table 1은 GPS 신호만 활용한 경우와 GPS/GLONASS 신호 모두 활용한 경우에 대해, 3~30초의 시간지연 발생을 인위적으로 주입한 경우, 미지정수 결정 시간 및 결정 성공률을 나타낸 것이다. 아침, 오후, 저녁 시간대에 각각 500번의 미지정수 결정을 시도해보았을 때에 대한 통계값을 계산하였다. GLONASS 신호를 추가로 활용하는 경우, 가시성 향상에 의해 미지정수 결정 시간과 성공률이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Ambiguity resolution performance for GPS only and GPS/GLONASS.

		GPS only						GPS/GLONASS					
Latency (sec)		0	3	6	9	15	30	0	3	6	9	15	30
Correct fix (%)		97.6	91.9	87.3	74.4	42.2	13.6	100	98.6	95.9	85.6	56.7	24.4
Wrong fix (%)		2.4	8.2	12.7	25.6	57.8	86.4	0	1.4	4.1	14.4	43.3	75.6
Time-to-fix (sec)	Mean	4.1	4.5	4.6	4.00	3.4	8.7	1.1	1.8	1.8	1.8	1.7	3.1
	Std	7.7	7.8	8.0	6.7	7.7	12.2	0.4	2.1	2.2	2.2	1.9	3.4

5. 결론

본 연구에서는 GPS/GLONASS Compact Network RTK 보정정보 생성 기술을 개발하고, 생성된 보정정보를 활용한 사용자 위치 정확도 분석, 보정정보의 시간지연 보상 성능 분석을 수행하였다. GPS/GLONASS Compact Network RTK 보정정보를 활용하는 경우, 사용자는 2.5cm, 3.6cm의 수평 및 수직 95% 정확도를 달성할 수 있다. Compact RTK 방식으로 보정정보 시간지연 오차를 보상하는 경우, RTCM에 비하여 30~50% 감소된 시간지연 잔여오차가 발생하였으며, 미지정수 결정 성능을 확인해 보았다. 본 연구에서는 GLONASS 신호 적용 가능성을 파악하기 위해 동일 기종 수신기만을 고려하였다. 그러나 보다 일반적으로 적용되기 위해서는 이종 수신기를 활용한 경우 추가되는 오차 추정에 대한 연구가 필수적이다. 추후, 이종 수신기 활용에 의한 phase bias 추정 및 감소 연구를 추가적으로 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 정밀기계설계공동연구소를 통해 계약된 국토교통부 교통물류연구사업 차로구분 정밀위치 결정 교통인프라기술 실용화 연구(16TLRP-C113269-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Kim, J. & Kee, C. 2004, RTK-GPS correction generation technique for low-rate data-link, Journal of Navigation, 57, 465-477. https://doi.org/10.1017/S0373463304002887

Neumann, J. B., Manz, A., Ford, T. J., & Mulyk, O. 1996, Test result from a new 2cm real time kinematic GPS positioning system, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1996), September 1996, Kansas City, MO, pp.873-882

Ong, R. B., Petovello, M. G. & Lachapelle, G. 2009, Assessment of GPS/GLONASS RTK Under Various Operational Conditions, Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), September 22-25, 2009, Savannah, GA, 3297-3308

Park, B. & Kee, C. 2010, The Compact Network RTK Method: An Effective Solution to Reduce GNSS Temporal and Spatial Decorrelation Error, Journal of Navigation, 63, 343-362. https://doi.org/10.1017/S0373463309990440

RTCM Special Committee No.104, 2011, RTCM Standard 10403.1 Differential GNSS (Global navigation satellite systems) Services - Version 3, Radio Technical Commission for Maritime Services

Song, J. 2016, A study on Improving Performance of Network RTK through Tropospheric Modeling for Land Vehicle Applications, Ph.D., Seoul National University, South Korea

전국 단위 다중 클러스터 확장에 적합한 미지정수 수준 조정 알고리즘 연구

유선경[1], 송준솔[1], 기창돈[1*], 이상우[2], 허문범[2]
[1]서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술연구소 [2]한국항공우주연구원

A Study on Ambiguity Level Adjustment Algorithm for Multiple Clusters in the Korean Peninsula

Sunkyoung Yu[1], Junesol Song[1], Changdon Kee[1*], Sang Woo Lee[2], Moon Beom Heo[2]
[1]School of Mechanical and Aerospace Engineering and the Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University, [2]Korea Aerospace Research Institute

주소 : 서울특별시 관악구 관악로 1 서울대학교 312 동 501 호
연락처 : 02-880-8052 이메일 : kee@snu.ac.kr

Abstract: 최근 차로 구분을 위한 동적 사용자의 정밀위치가 요구되면서 Network RTK 연구가 활발히 진행되고 있다. Network RTK는 다수의 기준국으로 구성된 클러스터 내 동적 사용자에게 정밀 위치를 제공할 수 있으며, 다수의 클러스터를 전국에 배치하여 전국 사용자에게 정밀한 위치를 제공할 수 있다. 그런데 사용자가 이동하면서 서로 다른 클러스터로부터 보정정보를 수신하면, 주 기준국 보정정보에 포함된 미지정수 오차 값이 달라지기 때문에, 보정정보의 불연속성이 발생한다. 이에 따라 m급 사용자 위치오차가 발생할 수 있으며, 사용자에게 연속적으로 정밀위치를 제공하기 위해서는 클러스터 간 미지정수 수준을 조정할 필요가 있다. 본 연구는 전국에 다중 클러스터를 배치하여 미지정수 수준을 조정하기 위한 알고리즘 및 시스템을 제안한다. 클러스터 간 주 기준국이 다른 경우뿐 만 아니라 클러스터 내 주 기준국 변경 등 전국 단위 인프라에서 보정정보 불연속성이 발생할 수 있는 상황에서의 미지정수 조정 기법을 연구한다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 보정정보 불연속성의 해소와 사용자 오차 감소를 검증했다.

Keywords: network RTK, ambiguity difference, reference station cell, ambiguity level adjustment

1. 서 론

최근 GPS 반송파 위상을 활용한 정밀위치 제공이 가능해지면서, 지능형 자동차, 위험물 차량 경보 등의 정밀위치를 활용한 동적 사용자 항법 응용 연구가 활발히 진행되고 있다. 전국 동적 사용자에게 정밀위치를 제공하기 위한 시스템의 필요성이 대두되면서, 정밀위치를 제공하는 Network RTK(Real Time Kinematics)를 활용하는 방안이 연구되고 있다.

Network RTK는 여러 기준국으로 구성된 하나의 클러스터로부터 반송파 위상 측정치를 수집하여 보정정보를 생성하는 시스템으로, 기존 RTK 보다 넓은 영역에 정밀 위치를 제공할 수 있는 장점을 가진다. 또한 동적사용자의 시간에 따른 변화량이 큰 시계오차를 제거한 Compact RTK와의 결합으로 시간에 강건한 Compact Network RTK를 제안했다(Park & Kee 2010). 그러나 기존 시스템들은 클러스터 내의 정적 사용자에 대한 연구가 진행되었기 때문에, 동적 사용자의 경우는 클러스터 간 이동하는 경우에 대한 연구가 필요했다.

Park et al. (2012) 은 이종 클러스터 간 이동 시 보정정보에 발생하는 불연속성을 시뮬레이션을 통해 확인하고, 다중 클러스터로의 확장을 위해 해결 방안으로 미지정수 수준을 조정하는 방안을 제시 및 검증했다. 제안된 미지정수 수준 조정 방안은 레벨링 보정치를 사용자가 추가적으로 수신해 적용하는 방안으로, Song et al. (2013a)이 실측데이터를 활용해 사용자 보정정보 불연속성이 해소됨을 확인했다. 그러나 전 국토로 다중 클러스터를 확장하는 경우, 사용자가 수신해야 할 레벨링 보정치가 증가하기 때문에, Song et al. (2013b)은 클러스터에서 레벨링 보정치가 적용된 보정정보를 방송하는 방안에 대해 추가적으로 제안하고 시뮬레이션으로 검증했다.

본 논문은 기존 클러스터간 미지정수 수준 조정 연구를 바탕으로 전 국토에 다중 클러스터를 확장을 실현하기 위한 시스템 및 알고리즘을 제안한다. Compact Network RTK를 기반으로 전국 단위 다중 클러스터 시스템을 구축하기 위해 보정정보 전송량과 알고리즘 효율화를 고려사항으로 선정하였다. 알고리즘은 기존 클러스터 간 주 기준국이 다른 상황뿐 만 아니라 기준위성이 다른 경우, 주 기준국을 변경 상황 등이 발생 상황을 추가하였다. 또한, 제안한 시스템의 알고리즘 별 계산량을 분석하여 인프라 운용 효율화 분석을 수행하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

2. 클러스터 간 보정정보 불연속성 발생 원인 및 leveling 기법

Network RTK의 보정정보를 생성하는 방식은 Master-Auxiliary Correction (MAC), Virtual Reference Station, Flächenkorrekturparameter 등이 있으며, 상호 호완 가능하기 때문에, 본 논문은 MAC 방식에 대해서만 설명한다(Takac 2008).

Fig. 1은 서로 다른 두 개의 클러스터를 이동하는 동적 사용자를 나타낸 그림이다. 동적 사용자는 클러스터 1에서 클러스터 2로 이동하면서, 두 클러스터의 보정정보를 제공받는다. 각각의 클러스터로부터 제공되는 사용자의 보정정보($\delta\hat{\phi}^i_{user}$)는 Song et al. (2013b)에 따라 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

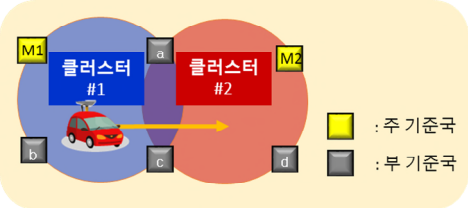


Fig. 1. A dynamic user moving from cluseter 1 to cluster 2.

$$\delta\hat{\phi}^i_{user,clu1} = \delta\phi^i_{cpc,M1} + \sum_{k=1}^{3} w_k \cdot MAC^i_{k,clu1} = -\delta\phi^i_{user} - \lambda\delta N^i_{M1} + \Theta - \delta B_{M1} \quad (1)$$

$$\delta\hat{\phi}^i_{c,user,clu2} = -\delta\phi^i_{user} - \lambda\delta N^i_{M2} + \Theta - \delta B_{M2}$$

Cluster 1의 주 기준국(master)인 M1 기준국으로부터 주 기준국의 CPC($\delta\phi^i_{cpc,M1}$)와 부 기준국 a, b, c 기준국으로부터 MAC 보정정보($MAC^i_{k,clu1}$)를 수신한다. 사용자는 weighting(w_k)을 주어 사용자가 적용할 보정정보를 생성하는데, 모든 위성 공통으로 포함되는 오차 Θ 와 주 기준국 시계오차(δB_{M1})성분, 주 기준국의 미지정수 오차(δN^i_{M1})가 포함되게 된다. $(\Theta - \delta B_{M1})$ 성분은 이중 차분 시 제거되지만, 주 기준국 미지정수 오차 성분은 남아있게 된다. 따라서, Cluster 2의 보정정보에도 M2 기준국의 주 기준국 미지정수 오차(δN^i_{M2})가 포함되는데, 이 값이 서로 달라지면서 불연속 성이 발생한다.

즉, 주 기준국이 서로 다른 경우, 미지정수 수준이 달라진다. 따라서, 수식 (2)와 같이 클러스터 간 공유 기준국의 이중차분 미지정수를 활용하여 레벨링 보정치(x)를 적용해주어야 한다(Park et al. 2012).

$$x = \left(\nabla_a \Delta_{M1} N + \nabla \hat{N}_{M1}\right) - \left(\nabla_a \Delta_{M2} N + \nabla \hat{N}_{M2}\right) = \nabla\delta N_{M1} - \nabla\delta N_{M2} \quad (2)$$

3. 전국 단위 확장 시 고려사항

레벨링 보정치를 적용하는 방안은 인프라에서 보정정보에 적용해 방송하는 방안과 사용자에게 레벨링 보정치를 방송해 사용자가 직접 적용하는 방안이 있다. 그런데 사용자가 레벨링 보정치를 추가적으로 수신하는 경우, 사용자는 모든 인접한 클러스터 간 레벨 보정치를 수신해야 하기 때문에 추가적인 통신비용이 발생한다. 따라서 다중 클러스터에 적합한 보정정보 생성이 필요하다.

또한 전체 인프라 구축 시, 전체 알고리즘 별 계산량을 분석해 효율화를 수행할 필요가 있다. 분석된 알고리즘 별 계산량은 시스템 구성에 적용될 수 있다. 그 외에도 클러스터 간 거리가 멀어지기 때문에, 기준 위성이 달라질 수 있으며, 인프라 유지를 위해 주 기준국 변경 상황에 대한 고려가 필요하다.

4. 전국 단위 확장 시 레벨링 보정치 생성 알고리즘

4.1 다중 클러스터 시스템 알고리즘 개요 및 계산량

다중 클러스터 시스템은 각 기준국 측정치를 수신하여 사용자에게 보정정보를 전송하는 데 총 5 단계가 필요하다. 먼저 클러스터 별로 측정치를 수집해 이상 여부를 판단한 뒤, CPC 생성을 위해 주 기준국 미지정수를 추정한다. 또한 이중차분 측정치를 생성해 이중 차분 미지정수를 추정하는데 해당 단계에서 가장 많은 연산량을 필요로 한다. 추정된 미지정수는 MAC 보정정보를 생성하는데 활용한다. 전체 시스템 단

위에서는 각 클러스터 별 이중차분 미지정수와 주 기준국 미지정수 추정 값을 활용해 레벨링 보정치를 생성하고, 이를 보정정보에 적용한다.

Table 1은 한반도 전역에 N개의 기준국이 M개의 가시위성을 관측하고 있다고 가정하여 필요 연산량을 계산한 결과이다. 총 L개의 클러스터와 bl개의 baseline, MM개의 주 기준국을 가지며, 각 클러스터는 3개의 기준국을 가지는 경우에 대해 필요 연산량을 계산하였다.

Table 1. Analysis of necessary computation for each item.

	내용	필요 계산량
Step 1	이상 측정치 제거	N x M
Step 2	CPC 데이터 생성	MM x M
Step 3	이중차분 측정치 생성	bl XM
	미지정수 측정	(N-1) X (M-1)
Step 4	MAC 보정정보 생성	L x M x 2
Step 5	레벨링 보정치 생성 및 적용	(L-1) x (M-1)

4.2 전국 단위 확장을 위한 레벨링 보정치 알고리즘

전국의 클러스터 간 미지정수 수준을 조정하는 경우는 클러스터 별 서로 다른 위성이 최고 앙각을 가질 수 있기 때문에, 기준 위성과 기준이 되는 클러스터를 먼저 선정해 주어야 한다. 그리고, 순차적으로 클러스터 별 레벨링이 필요한데, 기준이 되는 클러스터와 주 기준국의 동일 여부 판단, 주 기준국 변경상황 고려, 클러스터 간 기준위성 동일 여부를 판단해, 레벨링 보정치를 생성한다.

Fig. 2의 왼쪽 그림과 같이 주 기준국 변경 상황은 수식 (3), 오른쪽 그림의 위성 변경 상황은 수식 (4)로 레벨링 보정치를 계산한다.

$$x = (\nabla_a \Delta_{M1} N + \nabla \hat{N}_{M1}) - \left(\nabla_a \Delta_{M1} N - \nabla_{M2} \Delta_{M1} N + \nabla \hat{N}_{M2}\right) = \nabla \delta N_{M1} - \nabla \delta N_{M2} \quad (3)$$

$$x = \left({}^{i}\nabla^{ref_1}{}_a \Delta_{M1} N + {}^{i}\nabla^{ref_1} \hat{N}_{M1}\right) - \left({}^{i}\nabla^{ref_2}{}_a \Delta_{M2} N - {}^{ref_1}\nabla^{ref_2}{}_a \Delta_{M2} N + {}^{i}\nabla^{ref_1} \hat{N}_{M2}\right) = \nabla \delta N_{M1} - \nabla \delta N_{M2} \quad (4)$$

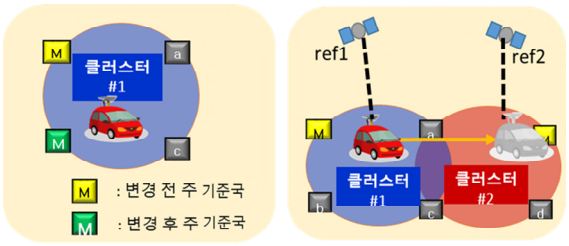
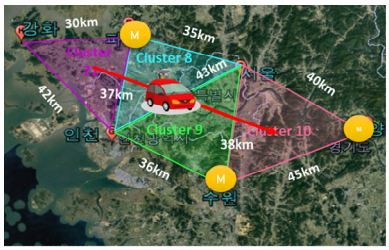


Fig. 2. Master station change (Left) and reference satellite change (Right).



<클러스터 별 정보>

클러스터	주 수신국	부 수신국		기준위성
71	파주	인천	강화	15
8	파주	인천	서울	15
9	수원	인천	서울	15
10	양평	서울	수원	13

Fig. 3. Simulation environment.

5. 시뮬레이션

Fig. 3은 일부 다중 클러스터 보정정보 및 사용자 위치오차 분석을 위해, 4개의 클러스터를 이동하는 동적 사용자의 경로를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에서는 일부 클러스터의 이동경로에 대해서만 분석하지만, 전국 단위로 다중클러스터가 확장되면 경험할 수 있는 다양한 상황을 시나리오에 포함시켰다.

시뮬레이션 시나리오는 사용자가 클러스터 71번부터 8, 9, 10번을 통과한다. 먼저 클러스터 71번, 8번의 주 기준국은 파주 기준국으로 동일하기 때문에, 사용자 보정정보의 불연속을 경험하지 않는다. 다음으로는 수원 기준국을 주 기준국으로 하는 클러스터 9번을 이동하고, 마지막으로 기준위성과 주 기준국 모두 달라지는 클러스터 10번으로 이동하게 된다. 이에 따라 보정정보 균일화를 위해 미지정수 레벨링이 필요하게 된다.

Fig. 4는 레벨링 전, 후 사용자의 위치 오차로, 보정 정보의 불연속으로 인한 사용자 위치 오차 수준을 확인할 수 있다. 클러스터 8번에서 9번으로 이동하는 경우는 1m 이상의 오차가 발생함을 확인할 수 있었다. 그러나 레벨링을 수행해주면, 클러스터 간 주 기준국 미지정수 오차의 불연속성이 제거되어 cm급 사용자 정밀위치를 제공할 수 있다.

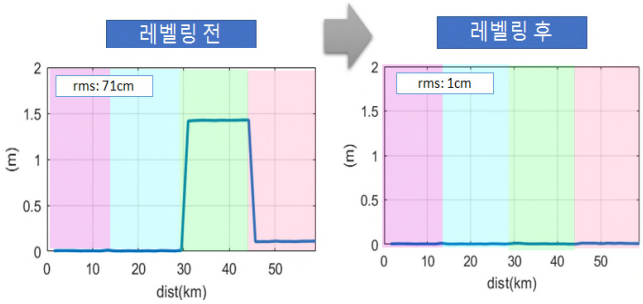


Fig. 4. User position error between before leveling and after leveling.

6. 결 론

전국 동적 사용자에게 정밀위치 제공의 필요에 따라 전국 클러스터를 확장하기 위한 보정정보 생성 및 인프라 운용을 효율화를 고려사항으로 도출하였다. 레벨링 보정치는 기준위성 변경 상황, 주 기준국 변경 상황에서 생성하는 방안도 제안해 알고리즘에 포함시켜 시뮬레이션으로 검증하였다. 또한, 제안한 시스템의 알고리즘 별 계산량을 분석하여, 인프라 운용 효율화 분석을 수행하기 위한 기초 연구를 수행하였다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 정밀기계설계공동연구소를 통해 계약된 국토교통부 교통물류연구사업 차로구분 정밀위치결정 교통인프라기술 실용화 연구(16TLRP-C113269-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Park, B. & Kee, C. 2010, The Compact Network RTK Method: An Effective Solution to Reduce GNSS Temporal and Spatial Decorrelation Error, Journal of Navigation, 63, 343-362

Park, B., Song, J., & Kee, C. 2012, Study on the Ambiguity Difference Adjustment between Reference Station Cells for the Improvement in Rover's Continuous Network-RTK Positioning, Journal of Navigation, 16, 619-626

Song, J., Park, B., & Kee, C. 2013a, Study on Generating Compact Network Rtk Corrections Considering Ambiguity Level Adjustment among Reference Station Networks for Constructing Infrastructure of Land Vehicle, JKONI, 17, 404-412

Song, J., Park, B., & Kee, C. 2013b, Generation of Ambiguity Leveled Corrections from Compact Network RTK for Land Vehicle Users, Korean Society for Aeronautical and Space Science 2013, pp.663-666

Takac , F. 2008, The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MA, ION GNSS 2008, pp.348-355

저가형 RTK 모듈에 적용 가능한 FKP 보정정보 변환 알고리즘 설계 및 적용

임철순[1], 신동현[1], 윤효중[1], 박병운[1*], 김종원[2], 강석연[2]
[1]세종대학교 항공우주공학과, [2]SK텔레콤 Network기술원

Design and Application of Algorithm for Converting FKP Corrections Applicable to Low-Cost RTK Module

Cheolsoon Lim[1], Donghyun Shin[1], Hyojung Yoon[1], Byungwoon Park[1*], Chongwon Kim[2], Sukyon Kang[2]
[1]Department of Aerospace Engineering, Sejong University, [2]SK Telecom Network Technology R&D Center

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 1001B 호 항법시스템연구실
연락처 : 02-3408-4385 이메일 : byungwoon@sejong.ac.kr

Abstract: Real-Time Kinematic(RTK)은 Global Navigation Satellite System(GNSS) 측정치를 활용하여 cm수준의 실시간 사용자 위치를 산출할 수 있는 위성항법 보강시스템이다. RTK 시스템은 정확한 위치를 알고 있는 기준국, 기준국에서 획득한 관측데이터와 보정정보를 전송할 수 있는 데이터 링크, 기준국으로부터 전송된 데이터를 활용하여 이중 차분 된 반송파의 미지정수 결정을 통해 현재 위치를 추정하는 사용자로 구성된다. 단일 기준국 RTK는 사용자가 기준국으로부터 멀어질수록 측위 성능이 감소하는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 사용자 주변에 위치한 다수의 기준국 Network를 활용하는 Network RTK 방식이 제안되었다. Network RTK 방식의 대표적인 예로 Virtual Reference Station(VRS), Flachen-Korrektur-Parameter(FKP), Master-Auxiliary Concept(MAC) 등이 있다. 예전에는 고가의 GNSS 수신기만이 RTK 측위가 가능하였지만, 최근에는 U-blox 사의 M8과 같은 저가형 RTK 측위 모듈이 등장하고 있다. 다만 U-blox M8 수신기는 VRS 방식에 활용되는 Radio Technical Commission for Maritime Services(RTCM) V3.2의 MT 1004/1005/1007/1012 등은 지원하지만, FKP 보정정보가 포함된 MT 1034는 지원하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 FKP 방식을 지원하지 않는 저가형 RTK 모듈에서도 FKP 보정정보를 적용할 수 있는 알고리즘을 제시하였고, 이를 적용한 네트워크 RTK 측위 결과와 기존 VRS 방식의 네트워크 RTK 측위 결과를 비교분석 하였다.

Keywords: network RTK, RTCM, VRS, FKP

1. 서 론

최근 자율 주행을 비롯하여 교통, 측지, 긴급구조, 정보통신, 물류 등 다양한 분야에서 신속, 정확한 측위 기술에 대한 요구가 높아지고 있는 가운데(Choi 2009), 해당 분야에서 보편적으로 사용되고 있는 위성항법의 보강시스템에 대한 관심이 증대되고 있다. 차량의 위치 결정의 경우, 현재 위성항법에 대한 의존도가 매우 높으므로, 기존의 Satellite Based Augmentation System나 National Differential Global Positioning System 등과 같은 코드 기반의 보강 시스템뿐만 아니라(Kim et al. 2017) Real Time Kinematics (RTK)와 같은 반송파 기반의 보강 시스템에 대한 관심도 점차 높아지고 있다 (Kim & Bae 2013, 2015). 특히 최근 RTK 기능을 지원하는 10$ 수준의 저가형 위성항법 모듈이 출시됨에 따라 자율 주행 차량, Internet of Things 등 다양한 분야에서 해당 모듈의 활용 가능성에 대한 기대와 관심이 높다. 이에 본 논문에서는 저가형 RTK 모듈을 지원할 수 있는 국내 인프라를 조사하고, 이를 효율적인 방법으로 사용할 수 있는 모듈을 개발하여 그 성능을 분석하도록 한다.

2. 국내 RTK 인프라 및 FKP 서비스

GPS 측정치 중 반송파 위상을 활용하는 방식에는 RTK 방식이 대표적이고 수 cm 수준의 위치 정확도 달성이 가능하다. Network RTK는 단일 기준국 기반 RTK의 좁은 커버리지를 극복하기 위해 개발된 방식으로(Song et al. 2013), 그 동안 주로 측지, 측량 등 정적인 사용자를 위한 용도로 사용되어 동적 사용자 특성에 대해 많은 고려가 되어 있지 않다. 현재 국토지리정보원에서는 제공하고 있는 네트워크 RTK 서비스는 Trimble에서 개발한 Virtual Reference Station (VRS) 방식과 Geo++에서 개발한 Flächen Korrektur Parameter (FKP)의 두 가지가 있다. VRS는 이동국을 둘러 싸고 있는 3점 이상의 고정 기준점을 이용하여 이동국 인근에 실제로 존재하지 않지만 기준점과 같이 사용자에게 보정정보를 제공할 수 있는 가상의 기준점 보정정보를 생성한 후, 이를 사용자에게 전달해주는 시스템이다. 단일 기준국 RTK 방식과 동일한 형

태의 보정정보를 제공하므로, 측위정확도나 초기화 시간이 기준국(GPS 상시관측소)간 거리에 좌우되지 않고 추가적인 업그레이드도 불필요하여 고정밀 측위 분야에서 보편적으로 사용되는 기술이다. FKP는 독일어 Flaechenkorrekturparameter의 약자로 면보정 방식을 의미하고, 위도와 경도에 따라 오차 성분을 Fig. 1과 같이 평면으로 산출하여 공간이격 오차를 줄인다. FKP 방식에서는 오차 성분을 전리층과 비전리층 항으로 나누고, 각각의 위도와 경도에 대한 구배를 산출하여 사용자에게 적용한다. 이를 위한 보정정보는 2013년에 개정된 RTCM v3.2부터 MT1034와 MT1035에 할당되고 표준으로 채택되어 아직 보편적으로 통용되고 있지 않으므로, FKP를 지원하는 수신기가 보편화되어 있지 않다.

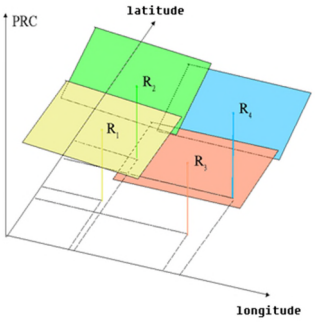


Fig. 1. Concept of FKP correction.

VRS와 FKP 시스템은 다수의 기준국에서 모델링한 보정정보를 사용자에게 제공한다는 점에서 유사하지만, 네트워크 구성이나 구현방식, 알고리즘 등에 상당한 차이가 있다 (Kim & Bae 2013). VRS 방식은 사용자의 위치에 기반하여 가상의 기준국을 사용하므로 양방향 통신으로 사용자의 위치를 제공하여야 하고 기설정된 사용자의 위치에서 멀리 떨어지면 공간이격 오차가 발생하므로 이동형 사용자에 적합하지 않다 (Park 2008). 반면, FKP의 경우 단방향 통신으로도 Network RTK 적용이 가능하고, 이론적으로는 사용자 수의 제한이 없을 뿐 아니라 사용자가 직접 보정정보를 적용하므로 동적 사용자에 적합한 시스템이다. 현재 국토지리정보원에서는 양방향 통신방식을 활용하여 이동국에 가장 근접한 상시관측소를 자동 선별하고 기준국의 원 관측 자료와 산출된 면 보정계수를 이동국 사용자에게 실시간 제공하고 있으나 (Lee 2014, Lee & Kim 2014), 향후 기술적인 수정을 통해 동적 사용자에 대한 지원도 가능할 것으로 예상된다.

3. FKP 사용자 알고리즘

RTK 서비스를 지원하는 U-blox M8 단말의 경우 RTK 구현을 위하여 GPS/GLONASS RTK Observation, Stationary RTK reference station ARP를 비롯하여 MT1001~1007, MT1009~1012, MT1074~1077, MT1084~1087, MT1124~27, MT1230, MT4072 등을 지원하고 있으나, 본 연구에서 고려하는 FKP 정보, 즉 MT1034와 1035는 지원하지 않는다. 따라서 국내 구축되어있는 FKP 인프라를 저가형 RTK 모듈에서 적절하게 사용하기 위해서는 FKP 서버에서 제공하는 MT1004와 MT1034을 조합하여 RTK Observation을 적절히 보상한 후 이를 해당 모듈이 처리할 수 있는 MT1004로 인코딩 하여야 한다.

앞서 언급한 바와 같이 FKP는 위성항법 공간이격오차를 비전리층과 전리층으로 나누고, 위도, 경도별로 모델링된 평면의 구배를 활용하여 비전리층 오차의 공간이격 보정치 (δr_0[m])와 전리층 오차의 공간이격 보정치 (δr_{i0n}[[m]]를 구한다. 상세 식은 아래와 같다 (RTCM 2011).

$$\delta r_0 = 6.37(N_0(\Phi - \Phi_R) + E_0(\Lambda - \Lambda_R)\cos(\Phi_R)) \qquad (1)$$

$$\delta r_{Ion} = 6.37H(N_{Ion}(\Phi - \Phi_R) + E_{Ion}(\Lambda - \Lambda_R)\cos(\Phi_R)) \qquad (2)$$

N_0 : 남북 방향으로의 비전리층 오차의 FKP [ppm], E_0 : 동서 방향으로의 비전리층 오차의 FKP [ppm]
N_{Ion} : 남북 방향으로의 전리층 오차의 FKP [ppm], E_{Ion} : 동서 방향으로의 전리층 오차의 FKP [ppm]
Φ_R, Λ_R : 기준국의 위도와 경도 [rad], H : $H = 1 + 16(0.53 - El/\pi)^3$, El : 위성 앙각 [rad]

모델링한 공간이격 오차항 중 전리층 항의 경우는 사용 주파수에 따라 그 크기가 달라지므로, 다음 식

과 같이 L1, L2의 공간이격 오차량을 각각 구할 수 있다.

$$\delta r_{L1} = \delta r_0 + \frac{120}{154}\delta r_{Ion}, \quad \delta r_{L2} = \delta r_0 + \frac{154}{120}\delta r_{Ion} \tag{3}$$

RTCM 표준문서에 따르면 이상의 공간이격 오차량는 사용자 측정치에 반영하도록 기술되어 있으나, 단말의 측정치에 접근하여 처리할 경우 해당 수신기를 customize해야 하므로, 본 연구에서는 수신기로 입력되는 RTCM MT1004에 이를 반영하여 처리한다.

4. 측정치 이중차분을 이용한 FKP 보정 효과 검증

4.1 측정치 이중차분을 이용한 검증 방법

앞서 제시한 알고리즘의 적절성 검증을 위하여 공간이격오차가 보상된 RTCM 측정치와 사용자 측정치간 이중차분을 수행한다. 최종 사용자의 위치에는 정확하게 추정된 미지정수의 결정이 전제되어야 하므로, 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 이중차분된 반송파 측정치와 기하학적 거리를 뺀 값을 이용하여 미지정수를 추정하고 이를 다시 적용하여 잔차를 산출하여 분석하였다.

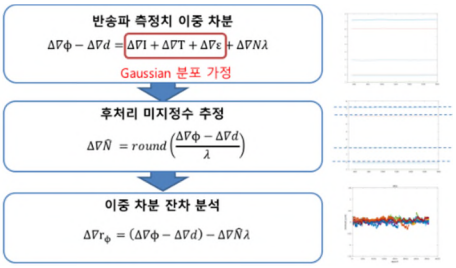


Fig. 2. Process for analysis of residual of double difference.

4.2 이중차분 측정치 검증

상기의 과정을 통해 FKP 보정정보의 공간이격 오차 보상 가능성을 확인하기 위하여 세종대 충무관에서 수집된 1시간 데이터를 활용하였다. 기존 방식과의 비교를 위하여 국토지리정보원의 VRS 서버로부터 수신한 VRS 보정정보의 MT1004 데이터를 수집하였고, 동시간대에 FKP 서버에서 수신한 MT1004와 MT1034를 함께 저장하였다. FKP의 Master station은 사용자의 위치로부터 약 37km 떨어진 곳에 위치하였고, Fig. 3(center)과 같이 MT1034에 의해서 보상되지 않은 보정정보를 적용한 이중차분 측정치는 그 RMS가 6.9cm로 1 파장에 해당하는 약 20cm 수준까지 달하였으나, FKP 보상을 통하여 RMS가 3.5cm로 줄고 최대 오차도 반파장 수준으로 전반적으로 모든 잔차가 줄어듬을 확인할 수 있다. 1.5cm 수준의 VRS 잔차와 비교하면 여전히 큰 수치이므로 정확도는 VRS 수준에 미치지는 못하나, FKP 생성용 기준국의 수가 VRS 기준국 수의 절반 수준임을 감안할 때 효과적인 시스템으로 활용 가능성이 높을 것으로 기대된다.



Fig. 1. Result of zero-baseline double difference (left: VRS, center: MT1004 right: MT1004+1034).

5. 결 론

본 논문은 측지, 측량용으로 주로 활용되었던 고정밀 반송파 측위 기법을 저가의 이동형 모듈에 적용 가능성을 검토하기 위하여 단방향 구현 가능한 FKP 기법의 적용 가능성을 검토하고 이를 사용자

단말기에 적용하기 위한 알고리즘을 구현하여 그 가능성을 평가하였다. 약 37km 떨어진 기준국으로부터 수신된 반송파 측정치를 FKP 구배 정보로 적절히 보상하여 그 잔차가 약 50% 수준으로 감소함을 확인하였고, 이를 통해 FKP 보정정보의 저가형 모듈 적용 가능성을 타진하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 sk telecom의 연구사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Choi, B.-G. 2009, GNSS Measurement Processing and Analysis, KASI report.

Kim, J.-B., Song, J.-S., No, H.-K., Han, D.-H., Kim, D.-U., et al. 2017, Accuracy Improvement of DGPS for Low-Cost Single-Frequency Receiver Using Modified Flächen Korrektur Parameter Correction, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6(7), 222. https://doi.org/10.3390/ijgi6070222

Kim, M.-H. & Bae, T.-S. 2013, Stability Assessment of FKP System by NGII using Long-term Analysis of NTRIP Correction Signal, 2013, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 31, 321-329. https://doi.org/10.7848/ksgpc.2013.31.4.321

Kim, M.-H. & Bae, T.-S. 2015, Preliminary Analysis of Network-RTK for Navigation, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 33, 343-351. https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.343

Lee, Y.-C. 2014, Comparison of Network - RTK Surveying Methods at Unified Control Stations in Incheon Area, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 32, 469-479. https://doi.org/10.7848/ksgpc.2014.32.5.469

Lee, Y.-C. & Kim, S.-D. 2014, Investigation of precise positioning by using VRS and FKP Network-RTK corrections: with Unified Control Stations covering Incheon area during Solar Cycle 24, The Korean Society for Geospatial Information Science, Nov. 2014, pp.165-168

Park, B.-W. 2008, (A) Study on reducing temporal and spatial decorrelation effect in GNSS augmentation system : consideration of the correction message standardization, phD Thesis, Seoul National University

RTCM Special Committee No. 104. 2011, RTCM Standard 10403.1. Radio Technical Commission for Maritime Services; RTCM Special Committee: Arlington, VA, USA, July 2011; pp.3:78–3:83.

Song, J.-S., Park, B.-W., & Kee, C.-D. 2013, Generation of Ambiguity Leveled Corrections from Compact Network RTK for Land Vehicle Users, Proceedings of The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences Conference, April 2013, pp.663-666.



[A3] 무인자율항법 1

도심환경을 위한 MLP 기반 센서 융합 기법

심영보[1], 운봉영[2], 공승현[2*]
[1]한국과학기술원 기계기술연구소, [2]한국과학기술원 조천식녹색교통대학원

MLP Based Sensor Fusion Method for Urban Environment

YoungBo Shim[1], BongyYoung Woon[2], Seung-Hyun Kong[2*]
[1]Mechanical Engineering Research Institute, KAIST, [2] The CCS Graduate School of Green Transportation, KAIST

주소 : 34141 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원 조천식녹색교통대학원(N7-5)
연락처 : 042-350-1285 이메일 : {shim36145, owefsn, skong}@kaist.ac.kr

Abstract: 자율주행을 위해서는 차량 측위 기술이 필수적이다. Global Navigation Satellite System(GNSS)는 가장 잘 알려져 있는 측위 시스템으로 다양한 어플리케이션에 적용되어왔다. 하지만 도심환경이나 터널에서는 위치 측정이 불가하거나 다중 경로와 같이 신호가 반사되며 발생하는 문제로 측정 성능이 저하된다. 그래서 GNSS는 관성항법장치, 라이다(Lidar), 카메라 등의 센서들과 융합을 통해 상호 보완하여 성능을 개선하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 대부분의 항법시스템은 관성항법장치와 GNSS를 융합한 형태를 가지고 있었으나 최근 자율주행 분야에서 대두되고 있는 도심환경, 터널과 같은 위성 신호를 받기에 열악한 환경을 극복하기 위해 도로의 차선, 표지판, 도로 노면 표시 등의 정보를 포함한 디지털 지도를 활용하기 시작하였다. 지도상에 카메라 또는 라이다로 인식된 객체의 특징들을 차량 측위 정보로 변환하고 GNSS와 관성항법장치와 융합하면 측위 정확도가 개선되고 위성 신호 차단 또는 반사 여부에 강인한 항법 시스템을 구성할 수 있다. 칼만 필터는 센서 융합 분야에서 가장 오랫동안 연구되어왔으며 현재까지도 사용되고 있는 방법이다. 모델을 정확히 알고 있는 선형시스템에 대해 최적의 추정치를 얻어낼 수 있다는 것은 이미 수학적으로 증명되었고 널리 알려져 있는 사실이다. 하지만, 이를 다시 말하자면 모델을 정확히 알지 못하면 최적의 추정치를 얻을 수 없다는 것과도 동일하다. 이때, 카메라로 인식된 정보를 칼만필터 측청치로 활용하려면, 카메라와 GNSS 간의 좌표계 캘리브레이션과 정확한 오차 모델 정의가 필요하다. 하지만, 카메라 물체 인식 알고리즘으로 얻는 측위 정보는 오차 모델을 정확히 정의할 수 없는 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 좌표계 캘리브레이션과 오차 모델 정의가 필요 없는 Multi-Layer Perceptron (MLP) 기반 센서 융합 방법을 제안하고 실제 환경에서의 실험을 통해 성능을 검증한다.

Keywords: GNSS, artificial intelligence, sensor fusion, digital map

1. 서 론

자율주행자동차는 자신의 위치를 추정하는 측위 기술, 차량 제어, 센서를 통한 주변 환경인식 등의 많은 기술들이 필요하다. 그 중에서도 측위 기술은 자율주행 자동차와 첨단 운전자 보조 시스템에 반드시 필요한 핵심 기술이다. 자신의 위치를 정확하게 측정할 수 있다면 사전에 얻어진 지도를 통해 현재 위치 주변 환경은 인식하기에 수월하고 주변 환경에 따른 최적의 차량 제어가 가능하다. 이로 인해 가장 기본적이면서도 가장 중요한 기술이 항법 기술이라고 할 수 있다.

가장 널리 알려져 있는 측위 시스템은 Global Navigation Satellite System (GNSS)으로 위성 정보를 활용하는 시스템이다. GNSS는 현재까지 다양한 어플리케이션에 적용되어왔으며 절대 위치를 제공하여 위치 오차가 누적되지 않는다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 도심환경이나 터널과 같이 전파 수신이 불가능하거나 다중 경로와 같은 문제가 발생하는 환경에서 위치 정밀도가 저하된다는 한계를 가지고 있다. 따라서, 이를 보완하기 위해 관성항법장치와 주로 융합되어 사용되어왔다 Caron et al. (2006).

관성항법장치는 관성을 이용하여 가속도계와 각속도계를 이용하여 물체의 자세를 측정한다. 이는 자세를 추정하기 위해 가속도를 누적하여 속도 또는 거리를 계산하는데 이로 인해 짧은 주행 거리에서 정밀한 상대 위치를 제공하지만, 오차도 함께 누적되는 위치 추정 방법 자체의 한계로 시간이 지속됨에 따라 오차가 지속적으로 증가하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점은 GNSS와 융합되어 오차가 누적되는 단점을 보완할 수 있으며 이와 더불어 GNSS는 전파 신호가 수신되지 않는 환경에서 관성항법장치의 측정치를 활용하여 위치 인식을 이어갈 수 있다.

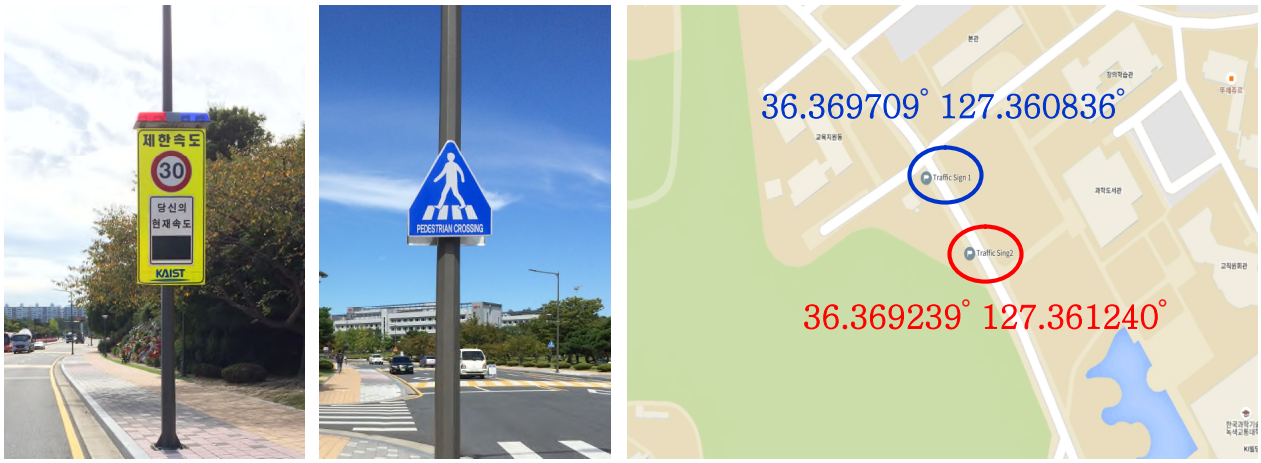
대한민국의 경우 전국의 도로 중에서 고속도로의 비율은 약 4%이며 일반도로가 나머지를 차지한다. 이와 같이 자동차는 고속도로보다 일반도로를 주행하는 경우가 상대적으로 많으며 도심환경과 같이 GNSS의 신호를 수신하기에 열악한 환경이다. GNSS의 신호를 수신하기 어려운 경우 관성항법장치와

융합을 하였다고 하더라도 지속적으로 잘못된 신호를 수신하는 GNSS로 인해 자차의 위치 인식이 어려울 수 있다. 따라서, 최근에는 관성항법장치 뿐만 아니라 라이다(Lidar), 카메라 등의 다양한 센서 정보를 활용하여 항법의 정확도를 높이기 위한 연구들이 지속되고 있다 (Wolcott & Eustice 2014, Mur-Artal et al. 2015).

라이다 또는 카메라를 이용한 항법은 각 센서의 정보를 활용하여 주변 환경을 분석하고 점유 격자, 특징점, 선분 이나 도형의 형태 등으로 기술한다. 이러한 기술된 정보들은 상대 위치를 알 수 있는데 만약 정확한 기준 좌표계(GNSS 좌표계 등)에서의 좌표 또한 정의할 수 이다면 위치 인식을 할 수 있다. 하지만, 라이다나 카메라가 인식하는 주변 환경 정보가 매 시간마다 존재하지 않는다면 위치를 측정할 수 없기 때문에 센서 융합 시 주 입력이 아닌 보조 입력으로 주 입력을 보정하는데 사용된다.

기존에 도로노면표시나 도로의 차선을 항법 보정치로 이용한 연구가 있었다 (Suhr et al. 2017). 이 연구는 저가의 GNSS와 관성항법장치를 탑재한 Micro Control Unit (MCU)을 하드웨어로 구성하고 차선으로 차량 전방 기준으로 수직한 방향의 위치 오차를 보정하고 도로노면표시로 2차원 위치 오차를 보정하였다. 위 소개된 논문에서, 차선이나 도로노면표시가 인식되지 않는 경우나 오인식 되는 경우에 오차가 증가한다고 서술했다. 2차원 영상 내에서 인식된 결과를 항법 보정치로 이용하기위해 3차원 좌표로 변환하기 어려울 뿐만 아니라 변환 오차가 존재한다. 또한, 카메라 캘리브레이션에 따른 오차가 존재하는 등의 다수의 오차 요인으로 인해 항법 보정치로써의 역할이 감쇄하고 오히려 오차를 증가시키는 요인이 되기도 한다.

본 논문에서는 카메라와 라이다를 융합하여 도로에 표지판을 인식하고 인식된 표지판의 정밀한 위치를 사전 지식을 통해 얻어 도심 환경에서 차량의 측위 정밀도를 개선한다. 또한, 기존에 잘못된 카메라 캘리브레이션으로 인한 영상 인식 오차와 GNSS와 카메라 사이의 좌표계 변환을 위해 직접 GNSS와 카메라 사이의 거리를 직접 측정하며 생기는 오차에 강인한 Multi Layer Perceptron(MLP) 기반의 센서 융합을 통한 측위 방법을 제안하고 실제 환경에서의 실험을 통해 타당성을 검증한다.



(a) (b) (c)

Fig. 1. (a) Speed sign (b) Crosswalk sign (c) The position of each sign acquired by HD map (Blue: crosswalk sign, Red: speed sign).

2. 표지판 인식

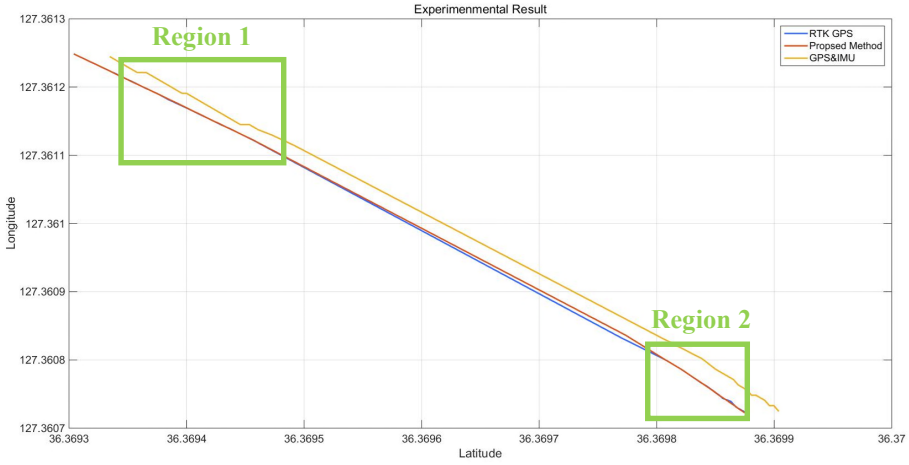
표지판 인식은 고전적인 영상처리 방법부터 머신러닝의 일종인 SVM(Support Vector Machine)을 이용한 방법 (De La Escalera et al. 1997, Maldonado-Bascon et al. 2007)이 연구되어왔다. 최근 딥러닝의 비약적인 발전으로 인해 영상 처리 분야에서 인식률도 사람을 뛰어 넘는 성과를 내고 있다. 본 논문에서는 YOLO (Redmon & Farhadi 2016)를 활용하여 표지판 인식을 한다.

Fig 1a,b는 본 논문에서 위치를 보정하는데 사용된 두 표지판이며 각각 정밀지도로 얻은 정밀한 위치는 Fig. 1c에 표시된 것과 같다. 다수의 표지판을 학습시켜 표지판을 인식하였으며 인식된 결과는 Fig 2와 같다. Fig. 2a,b에서와 같이 각각 횡단보도 표지판과 속도 표지판을 정확하게 인식하였다. 또한, 각각 그림 하단에는 각각 카메라 좌표에서의 표지판 상대 좌표가 표시되어있다. 각 x, y, z 축에서의 좌표는 미터(m) 단위로 나타나 있으며 카메라에서 정면 방향이 z축이다. 3차원 좌표는 YOLO를 통해 얻은 인식 결과와 라이다 데이터를 융합하여 도출하였으며 z축으로 약 25m까지 측정할 수 있다.

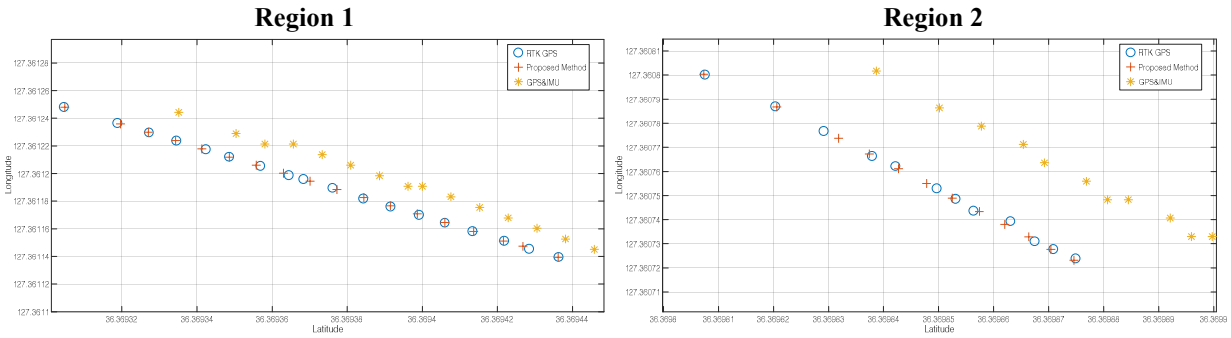


(a) (b)

Fig 2. The traffic sign recognition results from YOLO. (a) Crosswalk sign (b) Speed sign



(a)



(b) (c)

Fig 3. Experimental Results (a) The trajectory of the vehicle / (b), (c) Comparison RTK GPS, Proposed Method and GPS+IMU in the region 1 and the region 2 respectively.

3. MLP 기반 센서 융합을 통한 측위

기존에 센서 융합 방법으로는 칼만 필터나 파티클 필터와 같은 필터링 기술이 많이 적용되어왔다. 하지만 최근 카메라나 라이다와 같은 센서 정보를 항법시스템과 융합하여 측위 정밀도를 높이기 위해서는 각 센서들의 위치를 차량 무게 중심 또는 기준 센서 위치로 맞춰주는 것이 필요하다. 하지만 이러한 센서 간 좌표계를 정확하게 맞췄다고 하더라도 카메라로 인식된 결과를 칼만 필터에 적용하기 위해서는 센서 에러 모델이 필요하다. 하지만 카메라로 딥러닝 또는 고전적인 영상처리 알고리즘으로 인식한 결과의 정확도는 정확하게 모델링하기 어려우며 임의로 가우시안으로 가정하여 정의한 모델은 필터링 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 일련의 과정을 생략하고 원시 카메라와 라이다로 인식된 주변 환경 정보의 원시 데이터만으로 GNSS 측위 정밀도를 개선한다.

4. 실험 결과

3장과 4장에서 제안한 MLP 기반 센서 융합 방법을 통해 실제 환경에서 실험한 결과가 Fig 3에 보였다. GNSS와 관성항법장치를 칼만 필터로 융합한 결과와 본 논문에서 제안하는 방법을 비교하는데 기준 데이터는 RTK GPS의 데이터를 사용하였다. Fig 3의 결과와 같이 GNSS와 관성항법장치를 융합한 것보다 기준값에 가까운 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 GNSS와 카메라를 융합하기위해 좌표계를 맞추는 과정 중 발생할 수 있는 오차를 감소시키고 측위 정밀도를 개선하는 MLP 기반의 센서 융합 방법은 제안하였다. 또한, 실험을 통해 제안하는 방법의 타당성을 입증하였으며 기존 센서들을 융합하는 것보다 우수한 성능을 가진다는 것을 보였다. 비록 주변 환경 정보의 사전 지식이 필요하여 국부적으로 사용 가능한 단점을 가지고 있지만 많은 사전 지식 데이터를 학습을 시킨다면 보다 넓은 영역에서 사용할 수 있고 정밀한 측위 결과를 얻을 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2017R1A2B2010635).

REFERENCES

Caron, F., Duflos, E., Pomorski, D., & Vanheeghe, P. 2006, GPS/IMU data fusion using multisensor Kalman filtering: introduction of contextual aspects, Information fusion, 7, 221-230. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2004.07.002

De La Escalera, A., Moreno, L. E., Salichs, M. A., & Armingol, J. M. 1997, Road traffic sign detection and classification. IEEE transactions on industrial electronics, 44, 848-859. https://doi.org/10.1109/41.649946

Maldonado-Bascon, S., Lafuente-Arroyo, S., Gil-Jimenez, P., Gomez-Moreno, H., & López-Ferreras, F. 2007, Road-sign detection and recognition based on support vector machines. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 8, 264-278. https://doi.org/10.1109/tits.2007.895311

Mur-Artal, R., Montiel, J. M., & Tardos, J. D. 2015, ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system. IEEE Transactions on Robotics, 31, 1147-1163. https://doi.org/10.1109/tro.2015.2463671

Redmon, J. & Farhadi, A. 2016, YOLO9000: better, faster, stronger. arXiv preprint arXiv, 1612.08242.

Suhr, J. K., Jang, J., Min, D., & Jung, H. G. 2017, Sensor Fusion-Based Low-Cost Vehicle Localization System for Complex Urban Environments. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 18, 1078-1086. https://doi.org/10.1109/tits.2016.2595618

Wolcott, R. W. & Eustice, R. M. 2014, Visual localization within LIDAR maps for automated urban driving. Intelligent Robots and Systems (IROS 2014),176-183. IEEE. https://doi.org/10.1109/iros.2014.6942558

3차원 NDT 스캔 매칭을 이용한 실시간 SLAM

김규원*, 지규인
건국대학교 전자공학부

Real Time Indoor/Outdoor SLAM Using 3D NDT Scan Matching

Kyu-Won Kim*, Gyu-In Jee
Electrical Engineering, Konkuk University

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 120 건국대학교 신공학관 1118 호
연락처 : 010-3805-2611 이메일 : kkw1125@konkuk.ac.kr

Abstract: 최근 Unmanned Ground Vehicle (UGV)나 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)와 같은 무인이동체가 크게 주목받고 있다. 또한 무인 이동체가 자율 동작을 하기 위해서는 위치 추정과 같은 항법 기술이 필요하다. 이를 위한 항법 기술로 Global Positioning System (GPS)와 같은 전파 항법이 주로 사용되지만, 전파 수신이 불안정한 지역이나 실내 같은 경우는 위치 추정 결과가 부정확한 문제가 발생한다. 따라서 이를 해결하기 위해 LIDAR와 같은 센서를 이용하여 자신의 위치를 추정하면서 동시에 지도를 만드는 Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) 기술이 발전해 왔다. 최근에는 3D LIDAR를 이용하여 3차원 지도를 생성하고 위치를 추정하는 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 3D Normal Distribution Transform (NDT) 스캔 매칭 기법을 이용하여 이동체의 위치를 추정하고 3차원 지도를 생성하는 SLAM에 대해 설명하고 실내외 공간에서의 실험을 통해 지도 생성 결과를 확인하였다. 또한 실시간 지도 생성을 위해 모든 결과는 현재 로봇 연구 개발에 많이 쓰이는 로봇 개발용 미들 웨어인 Robot Operating System (ROS)를 통해 구현하였다.

Keywords: 3d LIDAR, 3d NDT scan matching, real time SLAM

1. 서 론

로봇이 자율적인 동작을 하기 위해서는 먼저 자신의 위치를 추정해야 한다. 이를 위한 항법 기술로 GPS와 같은 전파 항법 기술이 주로 사용되지만, 전파 수신이 불안정한 지역이나 실내 같은 경우는 위치 추정 결과가 부정확한 문제가 발생한다. 따라서 이를 해결하기 위해 LIDAR와 같은 센서를 이용하여 자신의 위치를 추정하고 지도를 만드는 SLAM같은 기술이 발전해 왔다. 최근에는 3D LIDAR를 이용하여 3차원 지도를 생성하고 위치를 추정하는 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 3D NDT 스캔 매칭(Takeuchi & Tsubouchi 2006, Magnusson 2009, Saarinen et al. 2013)을 이용하여 로봇의 위치를 추정하고 3차원 지도를 실시간으로 생성하는 SLAM에 대해 설명하고 실험을 통해 지도 생성 결과를 확인하였다.

2. NDT 스캔 매칭을 이용한 실시간 SLAM

NDT 스캔 매칭(Biber & Straßer 2003)은 LIDAR로 스캔된 점 군들의 통계적 특성을 이용하여 Reference가 되는 점 군들과 매칭하는 기법이다. 여기서는 SLAM 과정 중에 생성된 점 군 지도를 Reference 점 군으로 하였다. 매칭 방법은 다음과 같다. 우선 지도의 각 격자 안의 점 군들의 평균과 분산을 구하고 현재 스캔된 LIDAR 점 군들을 이용하여 정규분포화 한다. 이에 대한 식 (1)과 같다.

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} m_k \quad P = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(m_k-\mu)(m_k-\mu)^T \qquad (1)$$

$$p(x) = \frac{1}{2\pi^{D/2}\sqrt{P}}\exp\left(-\frac{(x-\mu)^T P^{-1}(x-\mu)}{2}\right)$$

식 (1)에서 μ 와 P 는 각각 지도 격자 내의 평균과 분산이며 $p(x)$ 는 현재 스캔 데이터 x 와 지도 격자 내의 평균과 분산을 이용하여 정규분포화한 PDF이다. 여기서 D는 x 벡터의 Dimension값이다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

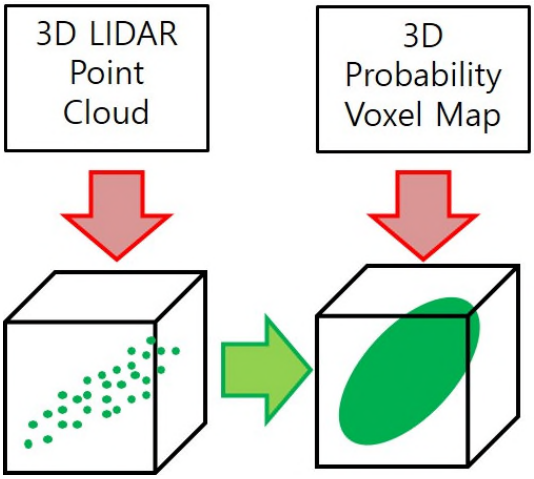


Fig. 1. Point cloud to 3D PDF.

Fig. 1과 같이 LIDAR 점 군들은 격자 별로 3D PDF 형태로 나타낼 수 있다. 이렇게 구한 각 격자의 PDF를 전부 곱하여 likelihood 함수를 만드는데 이에 관한 식은 다음과 같다.

$$s(t) = -\prod_{k=1}^{n} p(f(t, x_k)) \qquad (2)$$
$$f(t, x_k) = Rx_k + T$$
$$t = (t_x, t_y, t_z, \alpha, \beta, \gamma)^T$$

여기서 t 는 Navigation Frame에서의 로봇의 위치와 자세 Vector로서 로봇의 Odometry나 GPS 정보를 이용하여 구할 수 있다. R 과 T 는 각각 Rotation Matrix와 Translation Vector로서 $f(t, x_k)$ 를 통해 각각의 스캔 포인트들을 Local Frame에서 Navigation Frame으로 변환한다. 또한 $s(t)$ 는 t 에 대한 score fuction으로 likelihood 함수의 Negative 값으로 설정된다. 이는 비선형 함수의 최소값을 찾는 방법인 Newton Method를 적용하기 위함이다. Newton Method 적용 식은 다음과 같다.

$$t_{opt} = t - H^{-1} g \qquad (3)$$
$$g_i = \frac{\delta s}{\delta t_i}, \qquad H_{ij} = \frac{\delta^2 s}{\delta t_i \delta t_j}$$

식 (3)의 g 와 H 는 $s(t)$ 에 대한 gradient Vector 및 Hessian Matrix이다. 또한 t_{opt} 는 보정된 위치와 자세 Vector이다.

NDT 스캔 매칭은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 먼저 NDT 스캔 매칭은 LIDAR의 점 군들을 평균과 분산을 이용하여 평면으로 표현한 방법이다. 따라서 격자의 Resolution이 커지더라도 평면의 모양이 크게 바뀌지 않는 한 매칭 성능의 열화가 적은 편이다. 따라서 정밀한 Resolution으로 지도를 생성하지 않아도 기존 점유 격자 지도를 이용한 매칭보다 성능이 크게 떨어지지 않는다. 또한 LIDAR 점 군의 스캔 매칭으로 주로 사용되는 Iterative Closest Point (ICP)의 경우 스캔 포인트와 Reference 포인트를 일대일로 매칭하므로 Reference 포인트의 개수 즉, 지도의 크기가 커질수록 매칭 속도가 느려지는 반면, NDT 스캔 매칭은 지도에 평균과 분산이 저장되기만 하면 스캔 포인트만 이용하여 계산하기 때문에 지도가 커지더라도 매칭 속도에 영향을 받지 않는다. 따라서 다른 매칭 방법을 이용한 것보다 실시간 SLAM에 더 적합한 방법이라 할 수 있다.

3. 실험 결과

실험은 Fig. 2와 같은 로봇에 3D LIDAR인 Velodyne HDL-32E를 장착하여 진행하였다. 또한 기본적인 위치 정보는 로봇에서 제공하는 Odometry를 이용하였으며 GPS 수신이 안되는 실내 및 GPS 위치 추정 결과가 부정확한 실외 환경을 포함하여 실험을 진행하였다.



Fig. 2. Experimental robot.

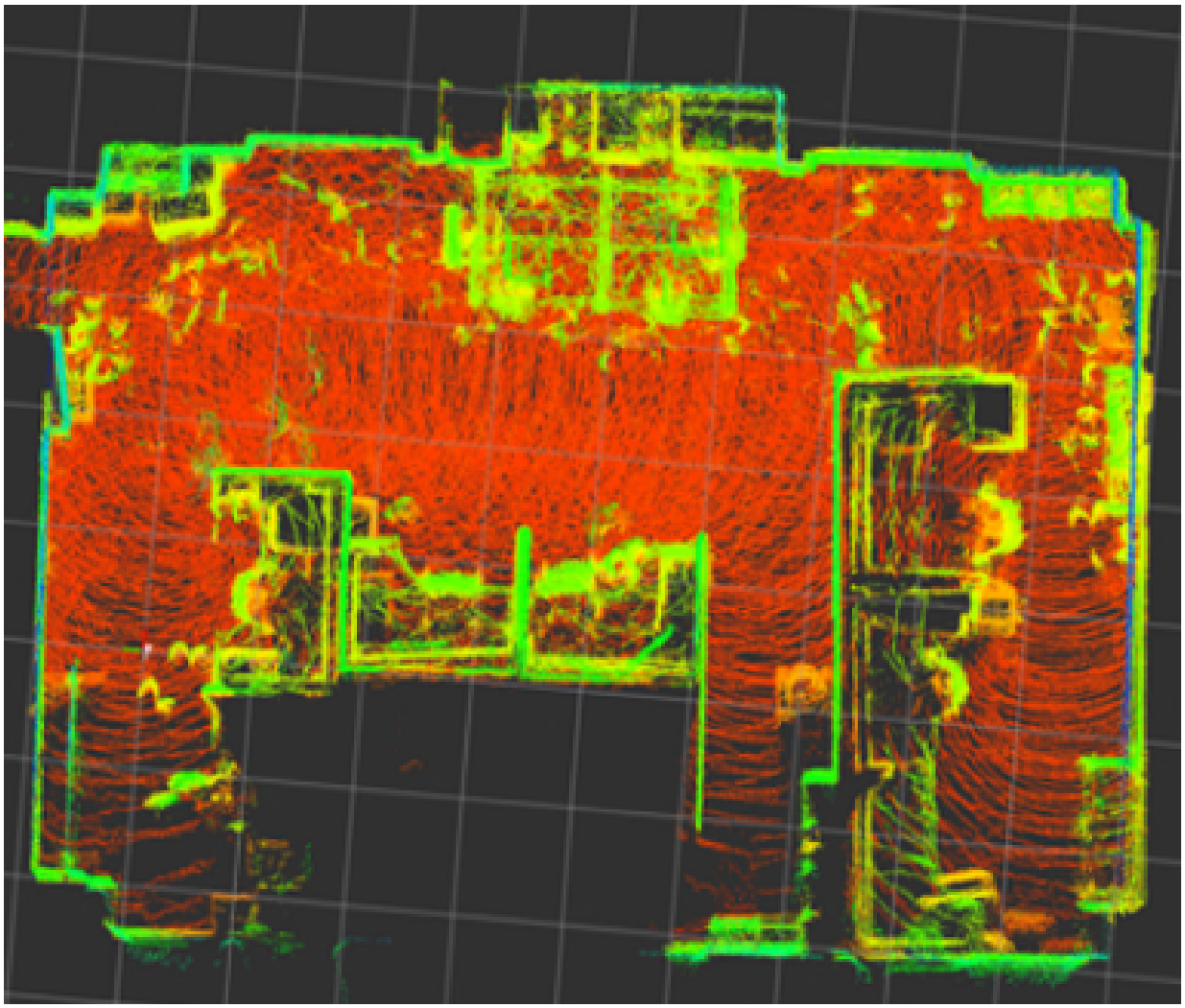


Fig. 3. SLAM result.

실험 결과는 Fig. 3과 같으며, 1회 스캔 매칭 할 때 처리 시간은 평균 39ms정도로 Velodyne 3D LIDAR가 10Hz로 동작함을 감안할 때 충분히 실시간으로 SLAM이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 NDT 스캔 매칭을 이용하여 3차원 공간 지도를 실시간 SLAM으로 생성하고 실험을 통해 실시간으로 지도가 생성됨을 확인하였다. 하지만 본 논문의 결과는 지상 로봇으로만 확인하였기 때문에 추후 드론을 이용하여 실시간 SLAM을 수행하고 그 결과를 확인할 계획이다.

REFERENCES

Biber, P. & Straßer, W. 2003, The normal distributions transform: A new approach to laser scan matching. Intelligent Robots and Systems, 2003 (IROS 2003) Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on, vol. 3. IEEE, pp.2743-2748

Magnusson, M. 2009, The three-dimensional normal-distributions transform: an efficient representation for registration, surface analysis, and loop detection. Diss. Örebro universitet.

Saarinen, J., Andreasson, H., Stoyanov, T., Ala-Luhtala, J., & Lilienthal, A. J. 2013, Normal distributions transform occupancy maps: Application to large-scale online 3D mapping. Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on IEEE, pp.2233-2238

Takeuchi, E. & Tsubouchi, T. 2006, A 3-D scan matching using improved 3-D normal distributions transform for mobile robotic mapping. Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on IEEE, pp.3068-3073

다 시점 영상과 도로 반사도지도 정합을 이용한 차량 정밀측위기법

정태기, 지규인*
건국대학교

Vehicle Localization using Map Matching of Multi-viewpoint Image and Intensity Map

Tae-Ki Jung, Gyu-In Jee*
Konkuk University

주소 : 서울시 광진구 화양동 건국대학교
연락처 : 02-452-7407 이메일 : taeki222@konkuk.ac.kr

Abstract: 자율주행차량은 주변환경 및 정밀측위를 통해 운전자에게 안전과 편의성을 제공한다. 자율주행의 핵심기술인 정밀측위는 연구소 및 기업들이 관심을 가지고 연구하는 분야 중 하나이다. 정밀측위의 성능을 높이기 위해 Global Positioning System (GPS), Light Detection and Ranging (LIDAR), Inertial Navigation System (INS), Camera등 단일 센서만을 이용하지 않고, 센서 융합을 통하여 정밀측위를 수행한다. 본 논문에서는 차량 전방 Camera와 LIDAR를 이용해 기존에 작성된 정밀지도와 정합하여 정밀측위를 수행하는 측위기법을 제안한다. 정밀지도는 LIDAR의 반사도를 가지는 2D Grid Map으로 구성되어있으며, LIDAR는 지도 작성과정에서만 사용된다. 정밀지도와 Camera를 이용한 정밀측위 과정은 총 2단계로 구성되어있으며, 카메라 영상을 지도시점으로 변환하여 정합하는 측위기법과 지도를 카메라시점으로 변환하여 정합하는 측위기법을 결합하였다. Camera로부터 입력 받은 영상을 Bird's eye view형태로 변환하여 지도와 Normalized Mutual Information (NMI) 을 통해 1차적인 정합을 수행하고, OPENGL을 통해 정밀지도를 Pinhole Image형태로 변환하여 입력 받은 카메라 영상과 2차적인 정합을 통해 보다 정밀한 측위를 수행한다. 두 측위기법의 장점은 서로의 단점을 보완해주기 때문에 각 측위기법의 횡/종방향 측위 성능 및 계산량에 대한 문제점이 해결된다.

Keywords: autonomous vehicle, vision based localization, vehicle localization, map-based localization

1. 서 론

자율주행차량은 운전자에게 안전성과 편리성을 제공하며, 현재 연구소 및 기업들이 많은 관심을 가지고 연구를 수행하고 있다. 자율주행차량의 핵심기술인 자율주행을 위해서는 차량의 위치가 중요하다. 주로 사용되는 센서인 Global Positioning System (GPS)은 차량의 위치를 제공하지만 자율주행을 위한 위치정밀도를 제공하지 못한다. 특히 도심에서는 다중경로 오차로 위치오차가 크게 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Light Detection and Ranging (LIDAR), Camera 등을 이용하여 차량의 정밀한 위치를 제공할 수 있는 연구들이 진행되고 있다. LIDAR를 이용하는 경우 측위정밀도가 높지만 외형적인 조건과 가격적인 측면에서 실제 사용에 어려움을 가진다. Camera는 센서의 가격이 저렴하며, 상용차에 기장착되어 있지만 측위정밀도가 낮다는 문제점을 가지고 있다. 최근 LIDAR를 이용하여 정밀지도를 생성하고 정밀지도와 Camera를 이용한 측위방법들이 연구되고 있다. LIDAR는 정밀지도를 작성하는 경우에만 사용되며, 자율주행차량에는 Camera를 장착하여 정밀측위를 수행한다. Wolcott & Eustice (2014)에서는 LIDAR를 이용해 작성된 정밀지도를 카메라시점의 영상으로 변환하여 Camera로부터 입력된 영상과 정합을 수행한다. Jung et al. (2016)에서는 Camera로부터 입력된 영상을 Inverse Perspective Mapping (IPM)을 이용하여 LIDAR로 생성된 정밀지도와 정합을 수행한다. Jung et al. (2016)의 측위기법은 종방향에 대한 측위정밀도가 높으며, Wolcott & Eustice 2014의 측위기법에서는 횡방향에 대한 측위정밀도가 높다. 본 논문에서는 Jung et al. (2016)과 Wolcott & Eustice (2014)의 측위기법의 장점을 결합한 측위기법을 제안한다. 두 측위기법을 결합하는 경우 각 측위기법의 단점을 보안해주며, Wolcott & Eustice (2014)만을 이용하는 경우보다 측위 정밀도와 처리시간이 향상된다.

2. 다 시점 영상과 도로 반사도지도 정합을 통한 차량 위치추정

본 연구에서는 카메라 영상을 지도시점으로 변환하여 정합하는 측위기법과 지도를 카메라시점의 영상으로 변환하여 정합하는 측위기법을 결합하였으며, Fig. 1은 두 측위기법을 결합한 알고리즘 순서도를

나타낸다. 카메라로부터 입력 받은 영상을 IPM을 통해 Bird's eye view 형태로 변환한 IPM영상을 반사도 지도와 정합을 통해 1차적인 위치를 파악한다. IPM영상을 정합하여 얻은 위치를 기준으로 지도를 카메라시점의 핀홀영상으로 변환하여 2차적인 정합을 수행하여 보다 정밀한 측위를 수행한다.

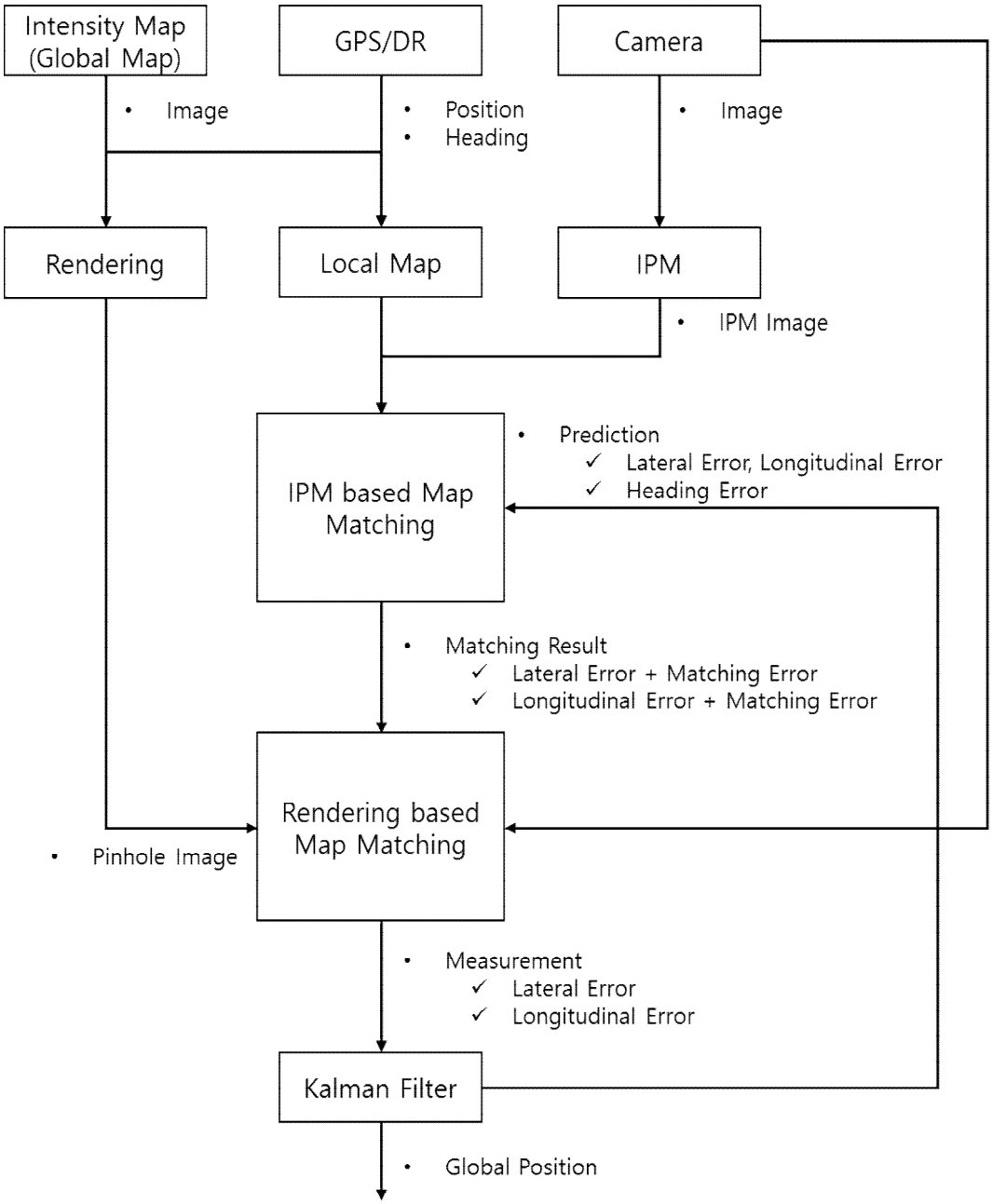


Fig. 1. 다 시점 영상과 정밀지도를 이용한 차량 정밀 측위기법 알고리즘 순서도.

Fig. 2는 IPM영상과 다 시점 영상을 이용한 측위과정을 그림으로 나타낸 것이다. 반사도 지도는 카메라 시점의 핀홀영상으로 변환하는 경우와 IPM영상과 정합을 위한 지역지도 생성과정에서 사용된다. IPM영상과 반사도 지도의 정합을 통해 GPS/DR의 위치오차를 보상하고 보정된 위치를 기준으로 핀홀영상과 카메라 영상을 이용하여 정밀한 위치를 찾는다. Fig. 3은 카메라 영상과 반사도 지도의 정합범위를 나타낸다. IPM영상을 반사도 지도와 정합을 수행하는 경우 정합에 필요한 계산량이 작으므로 넓은 범위에서 차량의 위치를 추정하고 계산량이 상대적으로 많은 핀홀영상을 이용하는 측위기법은 추정된 위치를 기준으로 작은 범위에서 검색한다. 두 측위기법을 결합하는 경우 IPM영상만을 이용하는 경우보다 계산량 증가하지만 핀홀영상만을 이용하는 경우보다 계산량이 감소하게 된다.

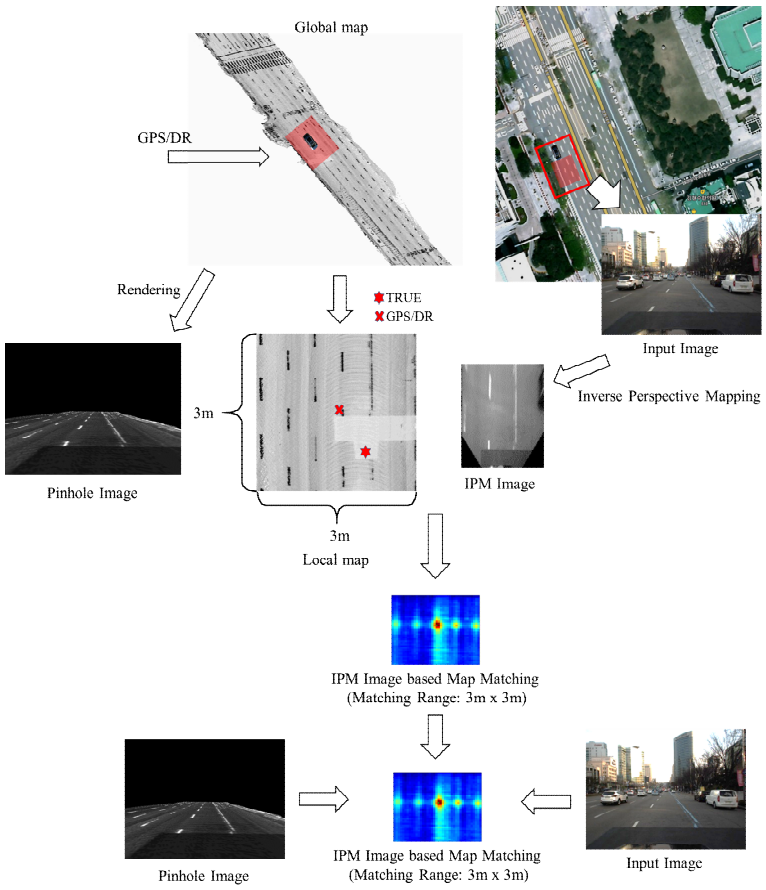


Fig. 2. 다 시점 영상을 이용한 측위과정.

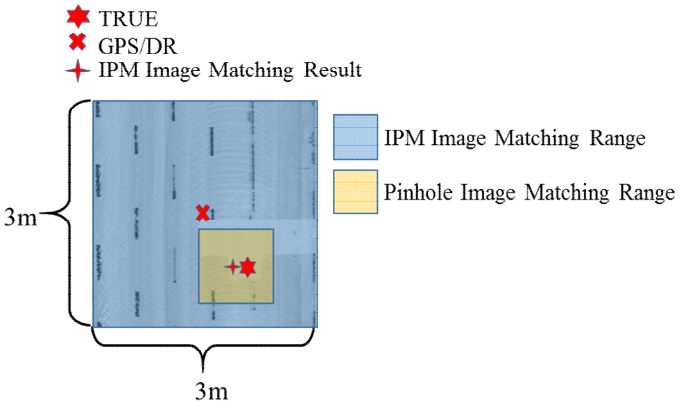


Fig. 3. 다 시점 영상을 이용한 측위기법의 정합범위.

3. 실험결과

본 논문에서 제안하는 측위기법을 검증하기 위해 도심에서 실험을 수행하였다. Fig. 4는 각 측위기법에 대한 실험오차를 나타내며, Table 1은 위치 추정 결과의 Root Mean Square (RMSE)를 나타낸다. Table 2는 각 측위기법 별로 계산량을 비교한 것이다.

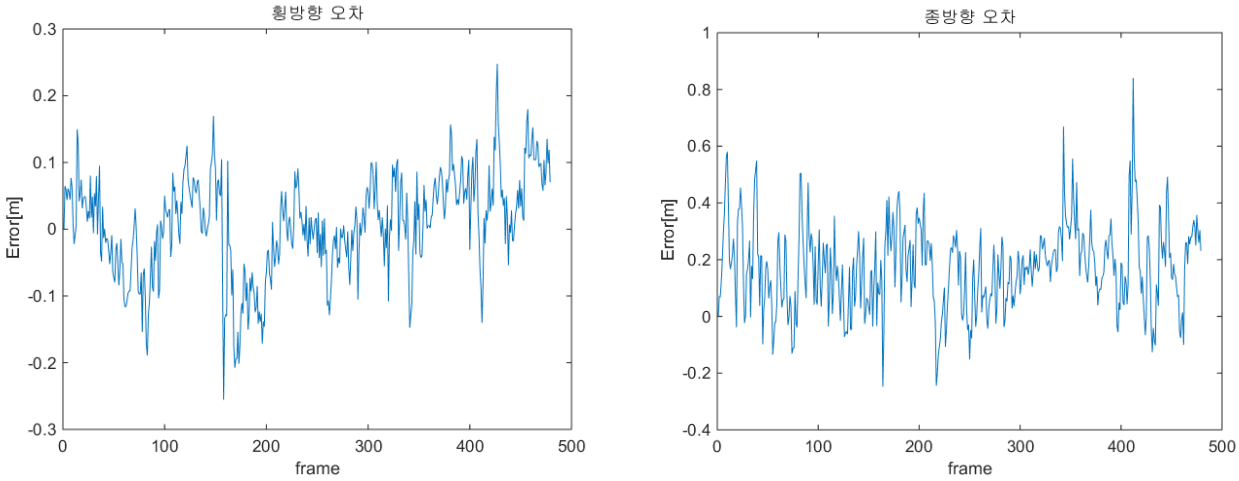


Fig. 4. 다 시점 영상을 이용한 측위기법의 횡/종방향 오차.

Table 1. 각 측위기법의 RMSE 비교.

	RMSE (Lateral) (m)	RMSE (Longitudinal) (m)
Pinhole Image	0.065	0.469
IPM Image	0.157	0.231
Multi- viewpoint Image	0.075	0.228

Table 2. 계산량 및 처리시간 비교.

	Pinhole Image	IPM Image	Multi-viewpoint Image
영상 변환	900	1	101
변환 시간 (ms)	7200	15	815
정합 계산량	640*240*900	140*110*900	140*110*900 +640*240*100
정합시간 (ms)	13500	6300	7800
합계 (s)	20.7	6.3	8.6

4. 결론

두 측위기법은 서로 반대되는 특성을 보이므로 두 측위 기법을 결합함으로써 서로의 단점을 보완해주는 측위기법을 제안하였다. IPM영상을 이용하여 초기 넓은 정합범위에 대하여 정합을 수행하고 보정된 위치를 기준으로 작은 정합범위에서 핀홀영상을 이용하여 정밀측위를 수행한다. 기존 핀홀영상만을 이용하는 측위기법보다 영상변환 및 정합수행에 필요한 처리시간이 59%감소하였으며, 종방향 RMSE가 0.241m 만큼 감소하였으며, IPM영상만을 이용하는 측위기법보다 횡방향 RMSE가 0.082m 만큼 감소하였다.

REFERENCES

Jung, T. K., Song, J. H., Im, J. H., Lee, B. H., & Jee, G. I. 2016, Localization Using 3D-Lidar Based Road Reflectivity Map and IPM Image, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 22, 1061-1067.

Wolcott, R. W. & Eustice, R. M. 2014, Visual localization within LIDAR maps for automated urban driving. In Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 2014 IEEE/RSJ International Conference on IEEE, pp. 176-18

터널 내 방재시설을 이용한 3D LIDAR 기반 차량 측위

임준혁, 지규인*
건국대학교 전자공학과

3D LIDAR based Vehicle Localization Using Prevention Facilities in Tunnel

Jun-Hyuck Im, Gyu-In Jee*
Electronic Engineering, Konkuk University

주소 : 서울시 광진구 능동로 120 건국대학교 공과대학 A 동 313 호
연락처 : 02-452-7407 이메일 : junhyuck@konkuk.ac.kr

Abstract: 차량 측위는 자율주행을 위해 반드시 필요한 핵심 기술이다. 기본적으로 차량의 위치정보는 Global Positioning System (GPS)로부터 획득한다. 그리고 자율주행차량에 장착된 여러 센서들과 지도를 이용해 보다 정확한 측위를 수행한다. 터널에서는 GPS 신호를 수신할 수 없기 때문에, 일반적으로 Dead Reckoning (DR)을 기준으로 차량장착센서들을 이용해 측위를 수행한다. 그러나 터널 내에는 측위를 위해 사용될 수 있는 구조물이나 특징점이 매우 적다. 차선은 차량 측위에 매우 유용한 정보이지만, 터널 내에서는 모두 실선이기 때문에, DR 시스템의 종방향 위치오차를 보정할 수 없다. 그러므로 터널에서 이러한 종방향 위치오차를 보정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 모든 터널에는 소화전, 피난유도등, 표지판, 제트 팬과 같은 방재시설이 반드시 설치되어 있다. 이러한 시설물들은 종방향에 대한 위치 정보를 포함하고 있다. 그러므로 특정 방재시설을 검출할 수 있다면, 터널 내에서 DR의 종방향 위치오차를 보정하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 3D Light Detection and Ranging (LIDAR)를 이용해 터널 내 방재시설을 검출하고, 이를 측위에 적용하였다. 실험은 영동 고속도로 구간의 마성 터널(약 1.5km)에서 수행하였고, 측위 결과에 대해 분석하였다.

Keywords: vehicle localization, tunnel, 3D LIDAR, prevention facility

1. 서 론

차량정밀측위는 자율주행자동차의 안전한 주행을 위해 반드시 필요하다. 일반적으로, 자율주행자동차의 위치 정보는 Global Positioning System (GPS)를 통해 획득한다. 그러나 터널에서는 GPS 신호를 수신할 수 없다. 짧은 구간은 Dead Reckoning (DR)을 통해 어느 정도 위치 추정이 가능하지만, 주행거리가 길어질수록 위치오차는 크게 누적된다. 그렇기 때문에, 자율주행자동차에서 사용되는 여러 센서들을 이용해 DR의 누적 위치오차를 보정해야 한다. 카메라를 이용할 경우, 차선을 이용해 횡방향 위치오차는 보정할 수 있지만, 터널의 특성 상 추출 가능한 특징점이 매우 적기 때문에 종방향 위치오차를 보정하기는 어렵다. 반면 LIDAR는 표지판이나 제트팬과 같이 터널 벽면으로부터 분리된 구조물들까지의 거리를 정확하게 측정 가능하기 때문에, 카메라보다 종방향 위치오차 보정에 훨씬 효과적이다.

현재 자율주행자동차가 주행하는 도로터널에서의 측위 연구는 매우 큰 이슈가 되고 있다. 이전에는 Duff at al. (2003)의 논문과 같이, 주로 광산에서의 측위 연구가 많이 수행되었다. 그리고 터널과 비슷한 환경에서 측위를 수행한 논문이 발표되었지만 (Tardioli & Villarroel 2014), 이것은 실제 자율주행자동차의 주행환경과는 매우 다르다. 최근에는 지하철이 운행하는 터널에서의 측위 논문이 발표되었다 (Daoust at al. 2016). 그러나 이러한 유사 연구 외에 실제 육상의 터널 내 측위 연구는 거의 수행되지 않았다. 그러므로 본 논문에서는 3D Light Detection and Ranging (LIDAR)를 이용한 터널 내에서의 차량 측위를 수행하였다.

터널 내 측위는 기본적으로 터널 벽면으로부터 분리되거나 돌출된 구조물을 검출하는 것이 필요하다. 모든 터널에는 소화전, 피난유도등, 표지판, 제트 팬과 같은 방재시설이 반드시 설치되어 있다. 이러한 방재시설은 3D LIDAR를 이용해 추출할 수 있고, 사전에 제작된 지도와 매칭을 통해 차량 측위를 수행할 수 있다. 본 논문에서는 터널 내에서 3D LIDAR를 이용한 방재시설 추출 기법을 제안하고, 이를 기반으로 차량 측위 결과를 분석한다.

2. 터널 벽면 점군 제거 기법

터널 내에서 3D LIDAR 점군의 대부분은 터널 벽면에 반사된 포인트들이다. 터널 내 시설물을 효과적으로 추출하기 위해 터널 벽면에 반사된 포인트들을 제거할 필요가 있다. Fig. 1은 Velodyne

HDL-32E 센서의 차량 장착 위치와 좌표를 보여준다. 라이다 센서는 Fig. 1과 같이, 차량의 상부에 장착되어 있고, 차량의 주행 방향이 y축, 오른쪽 방향이 x축, 위쪽 방향이 z축이다. 이러한 장착 위치에서 라이다의 1회전 스캔 데이터를 y축 방향에서 바라보면 Fig. 2와 같이 나타난다.



Fig. 1. LIDAR sensor mounting position.

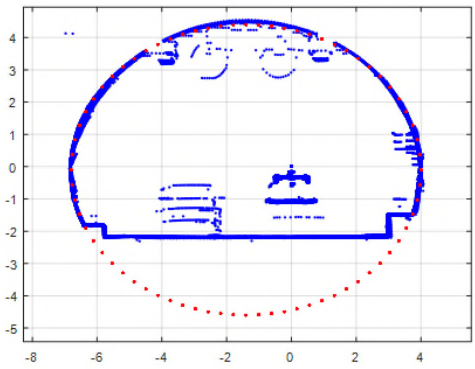
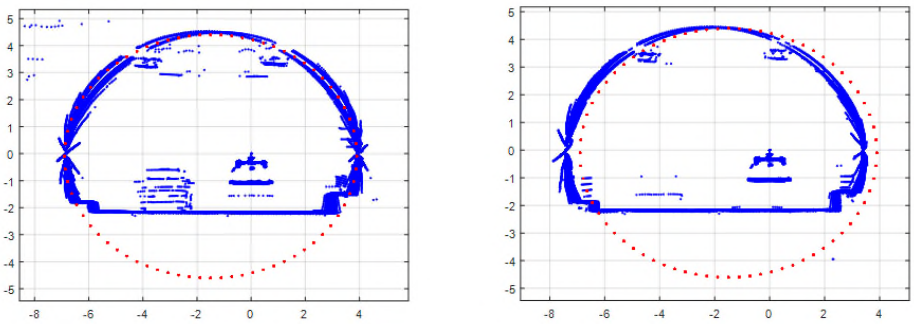


Fig. 2. LIDAR point cloud viewed from the y-axis direction.

Fig. 2에서와 같이, y축 방향에서 바라본 라이다 포인트 클라우드는 타원의 형태 안에 각종 시설물들이 나타난다. 그림의 빨간 점들은 장축 10.8m, 단축 9.0m로 모델링된 타원을 나타낸다. 그림에서와 같이, 터널의 벽면은 정확하게 빨간 점들과 일치하는 것을 볼 수 있다. 그리고 이러한 벽면 포인트 클라우드들은 차량의 횡방향 위치와 방위각을 추정하는데 사용할 수 있지만, 이를 이용한 종방향 위치 추정은 불가능하다. 차량의 종방향 측위는 벽면으로부터 돌출된 각종 시설물들을 추출하여 이용해야 한다. 이를 효과적으로 수행하기 위해 벽면 포인트 클라우드를 제거해야 한다. 우선 차량 좌표계에서의 포인트 클라우드를 터널의 지역 좌표계로 변환이 필요하다. Fig. 3은 각각 차량 좌표계에서의 포인트 클라우드와 터널 지역 좌표계의 불일치를 보여준다.



(a) Azimuth (b) Lateral position

Fig. 3. Inconsistency between vehicle and tunnel coordinate.

Fig. 3에서와 같이, 방위각 및 횡방향 위치에 불일치가 발생할 수 있다. 이것은 차량이 주행할 때 차선 내에서 약간씩 움직이기 때문에 발생한다. 이러한 오차 요인을 보상해야 벽면 포인트 클라우드를 제거할 수 있다. 이를 위해 타원 파라미터를 이용해 생성된 타원 기둥의 포인트 클라우드와 차량 좌표계 상의 라이다 포인트 클라우드를 ICP 매칭한다. Fig. 4는 생성된 타원 기둥의 포인트 클라우드를 보여준다.

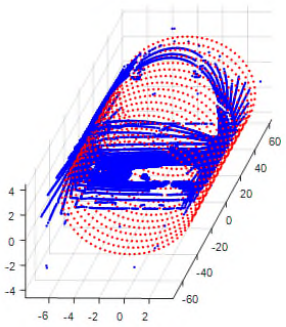


Fig. 4. Point cloud of generated elliptical cylinder

Fig. 4에서 타원을 차량의 종방향에 대해 일정 간격으로 생성하면 빨간 점들과 같이 나타난다. 그러나 ICP는 포인트 클라우드가 많을수록 계산 시간이 기하급수적으로 증가한다. 그렇기 때문에, 매칭에 사용되는 포인트 수를 감소시킬 필요가 있다. Fig. 5는 위 과정을 거쳐 Fig. 4의 포인트 클라우드를 터널 좌표계로 변환한 결과를 보여준다.

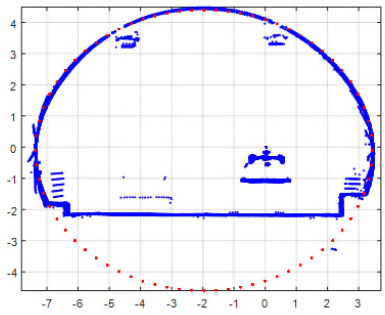


Fig. 5. Point cloud represented in the tunnel coordinate system.

Fig. 5와 같이, 터널 벽면 포인트 클라우드가 빨간색 점들과 정확하게 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때, 빨간색 점들을 나타내는 타원 파라미터를 이용하여 터널 내부의 점들만 추출한다. 또한 차량 및 도로노면에 반사된 스캔 포인트들을 제거하기 위해 횡방향 위치 및 높이 정보를 이용한다. Fig. 6은 터널 벽면 포인트 클라우드를 제거한 결과를 보여준다.

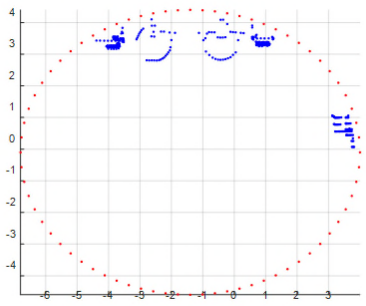
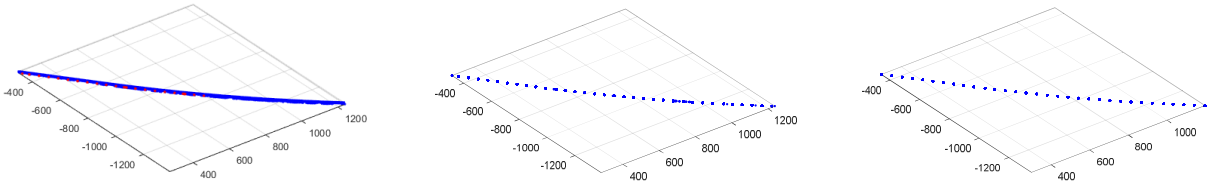


Fig. 6. The result of removing the tunnel wall point cloud.

Fig. 6에서와 같이, 터널 벽면 포인트 클라우드가 제거된 것을 볼 수 있다. 이와 같은 과정을 거친 후 남은 포인트들로부터 시설물의 위치를 추출한 후, 이를 이용해 차량의 종방향 측위를 수행한다.

3. 방재시설 지도 생성



(a) Wall point cloud removal (b) Filtering for height. (c) K-mean clustering

Fig. 7. The result of generating the map.

Fig. 7은 방재시설 지도 생성 과정을 보여준다. Fig. 7에서와 같이, 방재시설을 추출할 수 있고 이를 3차원 포인트 좌표로 저장한다. 이렇게 생성된 지도와 매 순간 추출되는 시설물과 매칭을 통해 차량 측위를 수행한다.

4. 실험 결과

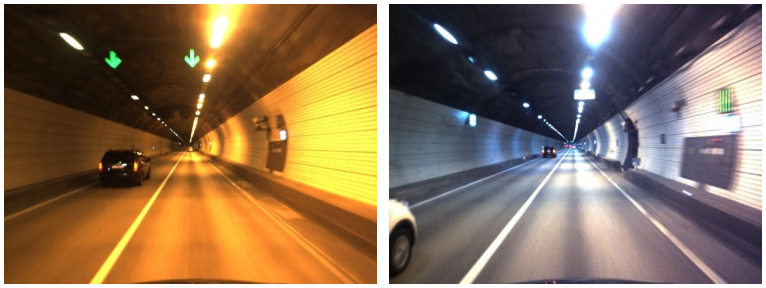


Fig. 8. Example of the prevention facilities.

Fig. 8과 같은 방재시설들은 2장의 과정을 거쳐 쉽게 추출할 수 있다. 이를 이용해 측위를 수행한다.

5. 결 론

본 논문에서는 터널 내에서 3D LIDAR를 이용한 방재시설 추출 기반 차량측위기법을 제안하였다. 측위 결과, 횡방향과 종방향 RMS 위치오차가 각각 약 20cm와 50cm 이내일 것으로 예상된다. 본 논문에서 사용한 지도 정보는 각 방재시설을 하나의 포인트로 나타내기 때문에, 지도 데이터 크기가 매우 작은 장점을 가진다.

REFERENCES

Daoust, T., Pomerleau, F., & Barfoot, T. D. 2016, Light at the end of the tunnel: high-speed lidar-based train localization in challenging underground environments, Conference on Computer and Robot Vision, 1-3, June 2016, Victoria, British Columbia, Canada. https://doi.org/10.1109/CRV.2016.54

Duff, E. S., Roberts, J. M., & Corke, P. I. 2003, Automation of an underground mining vehicle using reactive navigation and opportunistic localization, In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 27-31, October 2013, Las Vegas, Nevada, USA. https://doi.org/10.1109/IROS.2003.1249742

Tardioli, D. & Villarroel, J. L. 2014, Odometry-less localization in tunnel-like environments, 2014 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, 14-15, May 2014, Espinho, Portugal. https://doi.org/10.1109/ICARSC.2014.6849764



[A4] 무인자율항법 2

상용 드라이빙 시뮬레이션 엔진을 이용한 자율 주행 자동차 알고리듬 개발용 초저가 SILS 환경 개발

임지웅*, 안상훈, 원종훈
인하대학교 WCSL(World Class Smart Lab) 자율항법연구실

Development of Cost-Effective SILS Environment for Self-Driving Cars Using Commercial Off-The-Shelf Driving Simulation Engine

Ji-Ung Im*, Sang Hun Ahn, Jong-Hoon Won
World Class Smart Lab. of AutoNavLab, Inha University

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : mircom2002@gmail.com

Abstract: 자율 주행 자동차 개발을 위한 필수 알고리즘인 Advanced Driver Assistance System(ADAS) 제어 알고리즘의 신뢰도 향상을 꾀하려면 주행 환경 인식 및 자율 주행 기술을 바탕으로 차량을 안정적으로 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 차량동역학 특성을 반영한 제어 알고리즘 설계와 자율주행을 위한 네트워크 기반 구동, 제동, 조향 전자 제어 시스템의 도입이 필요하다(Jang et al. 2009, Yoon et al. 2010). 이 중 주행 환경 인식에 사용되는 모델링 자료와 해석툴은 상용 주행 모사 시뮬레이터를 이용하면 쉽게 취득이 가능하고 기반 연구 환경을 조성하는 것이 가능하나 상용 시뮬레이터의 이용 가격은 고가에다 조작이 난해하고 실제 차량 개발에 기능이 집중된 경우가 많아 연구용으로 부적합한 측면이 있다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 범용 물리 엔진 중 하나인 Rockstar Advanced Game Engine 를 드라이빙 시뮬레이터 환경에 맞게 개조하여 Software-In-the-Loop System(SILS) 환경 구현을 수행한다. 물리엔진 내 환경 모델링 값 취득으로 DLL Injection 을 이용하며, 이를 통해 게임 내부 위치, 방향, 속도 정보와 Ray Casting 을 통해 Object 정보를 획득한다. 획득한 정보와 함께 OpenCV 를 이용하여 주변 환경에 대한 모델링 취득 환경을 생성한다. 생성된 환경을 기반으로 ADAS 제어 알고리즘 연구 개발 플랫폼을 구성한다.

Keywords: advanced driver assistance system, software-in-the-loop system

초안

1. INTRODUCTION

시간이 흐를수록 자율 주행 기술에 관한 사람들의 관심은 더욱 커져갔고, 이를 구현하기 위한 많은 노력들이 있어왔다. 이러한 기술들을 구현하고, 테스트 하기 위한 가장 효율적인 방법은 주행 모사 시뮬레이터를 이용하는 것이다. 하지만 개인이 접근하기에는 시중에 존재하는 주행 모사 시뮬레이터의 가격이 연 1 천만원에 이르는 문제가 존재했고, 이로 인해 개인으로 접근하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Filipowicz et al. (2016)와 Johnson-Roberson et al. (2017) 모델의 복잡성의 증가에 따른 필요 데이터량 증가와, 데이터 수집과정에서 발생하는 여러 에로사항 및 소요비용을 대폭 감소한 방법인 비디오 게임 엔진상에서 주행 환경 데이터 취득 기반 환경 조성 시뮬레이터를 구현한다.

2. PROBLEM SETUP

2.1 DLL Injection

GTA V 를 이용한 주행 모사 시뮬레이터를 구현하는 것에 있어 처음으로 부딪히는 문제는 데이터 취득에 관한 문제이다. 이를 해결하기 위한 방법으로 크게 Memory Hacking 과 DLL Injection 을 들 수 있을 것이다. 우선 각 방법의 장단점으로는 Memory Hacking 의 경우 보다 직관적으로 Object 데이터를 확인 가능하다는 장점이 있지만, GTA V 내에 구현되어 있는 함수를 사용하기 어렵다는 단점이 있다. DLL Injection 의 경우 Memory Hacking 와 반대로 GTA V 내에 구현되어 있는 함수에 쉽게 접근할 수 있다는 장점이 있지만, 주변 Object 의 데이터를 취득하는데 직관적이지 않다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 게임 내에 존재하는 Native Function 을 사용할 수 있는, 보다 확장성이 좋은 DLL Injection 기법을 사용하였다. DLL Injection 의 도구로는 Script Hook V 를 이용하였다.

2.2 Ray Casting

주변 Object 데이터의 취득 방법으로 게임 내 구현된 Ray Cast 관련 Native Function 를 이용한다. Ray Cast 란 Fig. 1 과 같이 임의의 두 점을 인자로 주었을 때, 두 점을 잇는 보이지 않는 레이져를 발사하는 것을 말한다. 이렇게 발사된 레이져에 Detect 된 Object 의 ID 를 가져올 수 있고, 해당 ID 를 통해 Object 의 여러 정보를 얻을 수 있다.

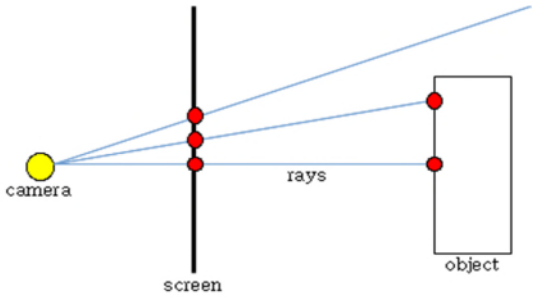


Fig. 1. Ray casting 의 원리.

2.3 Open CV

Ray Casting 을 통해 주변 Object 에 대한 Truth Value 를 획득 할 수 있었다면, Open CV 를 통해 게임 화면 속 가상 현실에 대한 Vision Data 를 획득 할 수 있다. 게임 화면을 캡쳐하는 방법으로 MFC Programming, Python Package 혹은 외부 PC 에서 Web Cam 을 이용한 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Python 의 Python Imaging Library(PIL)를 이용하여 GTA V 의 화면을 캡쳐하여 사용하였다.

2.4 Inter-process communication (IPC)

데이터를 처리하는 방법으로 게임 내에 Thread 를 추가로 생성하여 데이터를 처리하는 방법과 Multi Processing 을 이용하여 데이터를 처리하는 방법 두 가지가 있다. 본 연구에서는 Multi Processing 을 이용하였는데, Thread 를 이용할 경우 안정성의 위험과, 게임 내에 연산량이 많아져 원활한 게임 진행이 어렵다는 문제가 있었기 때문이다. Multi Processing 을 이용할 경우 Process 간 데이터 공유에 관한 문제가 발생하는데 이는 IPC 를 이용하여 해결이 가능하다. IPC 의 종류로는 Shared Memory, PIPE, FIFO, Socket 등이 있고 본 연구에서는 PIPE 를 통한 IPC 를 구현하였다.

2.5 Key event

PIPE 를 통해 전송 받은 데이터 및 Vision 처리를 통해 얻은 여러 데이터를 종합하고, 처리한 결과는 게임에 Key Value 로 전송되어진다. 이때 게임에 Key Event 를 발생시키기 위해 WINAPI 에서 제공해주는 SendInput Method 를 사용하였다.

3. ARCHITECTURE

Fig. 2 은 본 연구의 전체적인 흐름을 보여준다. 시뮬레이터를 실행하면 2 가지 프로세스가 실행된다. 하나는 GTA V 이고, 다른 하나는 데이터를 가공 및 처리하는 프로세스이다. Script Hook V 를 통해 GTA V 게임 내 여러 정보를 추출하며, 추출 된 정보는 파이프를 이용하여 외부의 처리 프로세스로 전송된다. 외부 처리 프로세스에서는 파이프를 통해 전송된 정보를 가공하며, 추가적으로 Vision 정보를 획득하고 처리한다. 처리된 결과는 다시 GTA V 에 Key Event 로 전송된다.

본 연구는 2 가지 프로세스를 사용함으로 GTA V 게임 내에서의 작업량을 줄일 수 있었고, 외부 프로세서를 모듈 형식으로 접근하여 유지보수를 용이하게 하였다.

4. EVALUATION

4.1 Implementation

본 연구는 Intel® Core™ i7-6700 Processor CPU, GEFORCE GTX 950M, 8GB RAM 의 개발환경에서

Draft

진행되었다. C++와 Python 을 사용하였으며 Script Hook V 를 통해 DLL Injection 을 진행하였다. 프로그램 실행 화면은 Figs. 3-5 와 같다.

4.2 Performance

실행 결과 파이프를 통해 초당 2~3 번의 데이터를 주고 받는 것을 확인 할 수 있으며, 이는 Ray Casting 방식에 영향을 받는 것을 확인하였다. 게임의 Frame 을 측정한 결과 29~31fps 의 준수한 Frame 를 나타내는 것을 확인하였다.

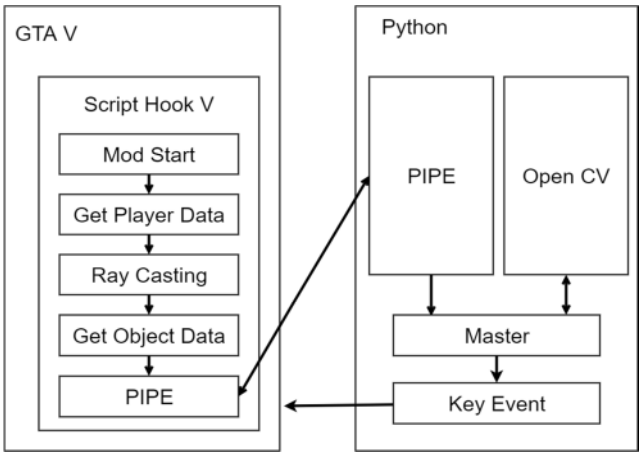


Fig. 2. 프로그램 흐름.



Fig. 3. 원본 게임 출력 화면.



Fig. 4. OpenCV 필터 적용 화면.

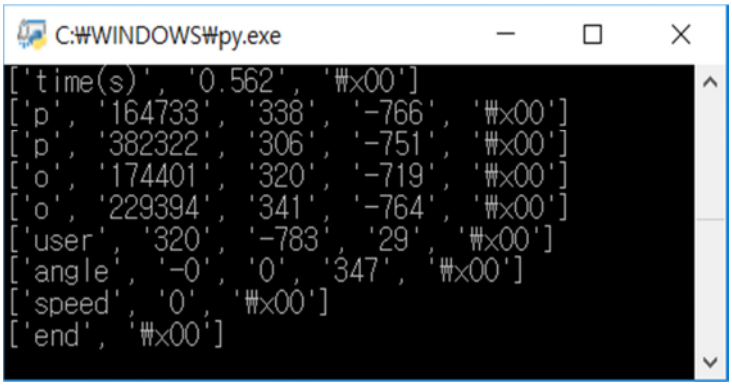


Fig. 5. Ray casting 으로 얻어낸 주변 오브젝트 truth data.

Ray Casting 으로 얻어낸 주변 오브젝트에 대한 Truth Data 는 Fig. 5 에서 보이는 것과 같이 크게 3 가지로 나눌 수 있으며, 'P'는 Pedestrian, 'O'는 위치 이동 및 간섭이 가능한 Object, 'V'는 인식된 Vehicle 을 나타낸다. 또한 카메라가 장착된 좌표, 각도, 카메라가 장착된 물체의 현재 Velocity 를 추출해 낼 수 있다.

5. CONCLUSION

본 시뮬레이션은 Rockstar Advanced Game Engine 를 기반으로 DLL Injection 및 Ray Casting 으로 주변 사물에 대한 Truth Value 취득과 OpenCV 를 이용해 화면에 대한 Vision Data 를 취득하기 위해 제작되었다. 이 자료는 앞으로 제작할 ADAS 알고리즘 제작을 위한 SIL-System 의 주변 환경 모델링 데이터로 사용할 것이다.

현재 시뮬레이션 속도 향상과 도로 및 건물을 모델링하기 위한 데이터 취득을 진행중에 있으며, Rockstar Advanced Game Engine 과 현실세계의 오차 보정을 위한 임의의 Random Noise 추가 및 Map Editor 을 이용한 다양한 시뮬레이션 환경 조성을 통해 ADAS 알고리즘 연구 기반 환경을 조성해 나가야한다. 또한 단계적으로 Software, Hardware, Vehicle 을 통합하여 자율주행차 전체 시스템 개발에 단계적/통합적으로 적용 가능한 Software-In-the-Loop System(SILS), Hardware-In-the-Loop System(HILS), Vehicle-In-the-Loop System(VILS) 개발 환경을 구현 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교 WCSL(World Class Smart Lab) 연구지원 사업에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

Filipowicz, A., Liu, J., & Kornhauser, A. 2016, Using Virtual Worlds, Specifically GTA5, to Learn Distance to Stop Signs, Princeton University, State of New Jersey. http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/DeepLearning/GTAV_TRB_Final.pdf

Jang, K., Park, I. S., Han, J. H., Lee, K. Y., & Sunwoo, M. H., 2009, A Design Framework of FlexRay Network Parameter Optimization, Annual Conference Proceedings, KSAE, KSAE09-A0018

Johnson-Roberson, M., Barto, C., Mehta, R., Sridhar, S. N., Rosaen, K., et al. 2017, Driving in the Matrix: Can Virtual Worlds Replace Human-Generated Annotations for Real World Tasks?, Robotics and Automation (ICRA), 2017 IEEE International Conference on. https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989092

Yoon, E. N., Han, J. H., Lee, K. Y., & Sunwoo, M. H. 2010, Synchronization between Control Algorithm and FlexRay in FlexRay-based LKS and Its Effect on Control Performance, Annual Conference Proceedings, KSAE, SAE10-A0023

초안

저가 GNSS 수신기를 이용한 차량 정밀 위치 추정 및 성능 분석

김태홍, 이종윤, 김현우*
현대오트론 ADAS선행신기술팀

Performance Analysis and Precise Positioning for Automotive System Using Low-Cost GNSS Receiver

Taehong Kim, Jongyoon Yee, Hyunwoo Kim*
ADAS & New Technology Team, Hyundai-Autron

주소 : 경기도 성남시 분당구 삼평동 판교로 344 현대오트론
연락처 : 031-627-8705 이메일 : Hyunwoo.Kim@hyundai-autron.com

Abstract: 차량의 자율주행 제어와 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS)과 같은 지능형 자동차 기술에서 차량의 안정적인 제어는 필수이며 이를 위해 차량의 지표상의 절대 위치를 인식하기 위한 정밀 측위가 선행되어야 한다. 이러한 차량의 정확한 위치를 실시간으로 산출하기 위해 GNSS, 카메라, 레이더, 라이다 등 다양한 센서들을 여러 관점에서 융합하는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 센서 수 증가에 따른 비용 증가, 날씨 및 도로 상태의 변화로 야기된 주행조건의 악화로 인한 센서의 한계상황이 발생할 수 있기 때문에 이에 대비하기 위해 GNSS 수신기 단독으로 측정하는 위치 정밀도 역시 향상 시킬 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 저가 GNSS 수신기와 Inertial Measurement Unit (IMU) 및 일부 차량 정보만을 활용하는 차량용 측위 모듈을 개발하였다. 이를 위해 실시간 이동 측위 방식인 Real Time Kinematic(RTK)와 추측항법인 Dead-Reckoning(DR) 기술을 실시간 차량 주행 상황에 맞게 적용한 알고리즘을 구현하였다. 또한, 실제 성능을 평가하기 위해 테스트 도로 구간을 선정하여 고가의 고정밀 GNSS/INS로 이루어진 상용 측위 장비와 비교 테스트를 진행하였다. 반복 주행 시험을 통한 성능 검증 결과 차선 크기 내 수준의 오차를 보여 안정적인 측위 결과가 나타났음을 확인하였으며, 더 다양한 도로 상황에서의 주행 테스트 및 결과를 반영한 위치 보정 알고리즘의 추가 개선이 이루어진다면 기존 자율주행 차량에 사용되는 고가의 GNSS 모듈을 대체할 수 있는 효과가 있을 것으로 보인다.

Keywords: automotive system, precise positioning, GNSS, dead-reckoning, RTK

초안

1. 서 론

최근 자동차 제어 기술은 센서와 실시간 정보 연산 기술의 진화를 바탕으로 점차 진화하고 있으며, 이러한 흐름은 자율주행과 같은 지능형 자동차 시스템 개발로 이어지고 있다. 이러한 자율주행 및 첨단 운전자 보조 시스템인 Advanced Driver Assistance System(ADAS)에 대한 관심이 증대되면서 다양한 도로 환경 및 주행 상황에 대한 정보를 인식하여 안정적인 주행 환경을 형성하기 위한 차량 제어는 필수이다.

다양한 주행 상황에 대한 인지를 위해 Global Navigation Satellite System(GNSS), 관성 센서 Inertial Navigation System(INS)뿐 아니라 레이더(Radar), 라이다(LiDAR), 카메라 및 적외선 등의 비전 센서(Vision Sensor) 등을 활용하는 다중 센서의 융합을 통해 신뢰성 있는 차량 위치 인식 기술이 개발되고 있다. 특히, 지능형 자율주행 시스템은 차량 위치를 기반으로 동작하기 때문에 지표면 위 차량의 절대 위치를 정밀하게 판별하는 기술이 중요한 요소로 부각되고 있다(Song & Seo 2013, Choi et al. 2015).

현재 GNSS 위성을 이용하여 측정하는 방법은 일반적인 기술이 되었으며 GNSS는 시간에 따른 오차의 누적이 없고 가격이 비교적 저렴하다는 장점이 있지만, 환경에 매우 민감한 단점이 있다. 따라서 고속도로와 같이 주변에 전파 장애물이 없을 경우 위치 오차가 작지만 도시와 같이 주변에 전파 장애물이 많아질수록 위치 오차가 커지며, 터널이나 지하 주차장 등 위치 추정이 불가능한 지역도 존재한다. 이 때문에 차량 내 센서 등을 이용한 센서 기반 위치 추정 기술이 연구되고 있으며, 두 개 이상의 시스템을 융합하는 기술 개발도 활발히 이루어지고 있다. 이러한 센서 융합 측위 기술은 GNSS 수신기와 관성측정장치 Inertial Measurement Unit (IMU)를 융합하는 형태가 가장 일반적이다(Woon et al. 2017).

IMU를 활용하면 물리적으로 다양한 잡음과 누적 오차가 발생하지만 GNSS 수신기 단독 측위에 비해 단기간의 정확도가 높고 100Hz 단위의 빠른 추정이 가능하며 위성신호의 음영지역인 터널이나 지하 주차장에서도 연속적인 측위 결과를 출력할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 정밀 측위 시스템의 상용화를 위해서는 차로 수준 이상의 정밀도를 가지도록 하는 기술 개발과 측위를 위한 임베디드 모듈의 저가화 개발이 반드시 해결되어야 하기 때문에 본 연구에서는 이에 초점을 맞추어 저가 GNSS 수신기, 상용 패치 안테나와 저가 IMU만으로 제어기를 구성하고 자체 개발한 추측항법 Dead Recognition(DR) 알고리즘을 탑재하여

실차 주행 환경에서도 고가의 INS에 준하는 성능을 보일 수 있음을 확인하였다(Won et al. 2015).

따라서, 본 논문에서는 2종의 저가 GNSS 수신기와 저가 IMU가 탑재된 HW 모듈과 자체적으로 고안한 DR 기술 및 위성 신호처리 소프트웨어 모듈이 탑재된 실시간 차량용 정밀 위치 추정 모듈을 설명하고, 실제 차량 주행 시험을 통해 고가의 GNSS/INS 장비와 정밀지도를 비교하여 현재 개발된 위치 보정 알고리즘을 통해 실제 차량에서 활용 될 수 있다는 점을 보인다. 그리고 결론에서 연구 결과에 따른 고찰과 향후 연구 진행 방향을 제시한다.

2. 차량 정밀 위치 추정 모듈

2.1 정밀 위치 추정 모듈 HW구성

Fig. 1은 개발한 HW 모듈 구성 및 HW 실물을 보여주고 있다. HW는 크게 GNSS 수신기와 차량용 MCU로 구성되어 있다. GNSS 모듈에는 GPS, GLONASS, Beidou 등 여러 위성 신호를 수신하기 위해 서로 다른 두 종류의 GNSS 수신기를 채택하였다. CAN 통신 인터페이스를 통해 차량 내 정보를 입력 받으며, X/Y축의 가속도 값 및 Z방향 자이로 값은 내장된 IMU를 통해 입력된다. 또한, Network-RTK(VRS) 방식을 사용하기 위한 보정 정보는 시리얼 통신을 통해 송/수신된다.

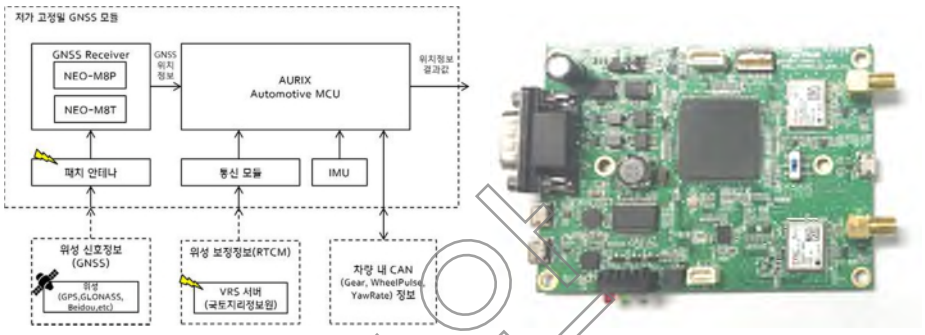


Fig. 1. HW block diagram and HW module.

2.2 정밀 위치 추정 모듈 SW 구성

정밀 위치 추정 SW는 차량용 MCU에 국제 차량 소프트웨어 플랫폼 규격인 AUTOSAR 기반에 맞추어 어플리케이션 Application Software(ASW) 형태로 탑재되었다. 이 SW플랫폼은 주변 기기 및 센서들의 입출력 제어 및 Realtime OS(RTOS) 동작을 위한 기반 소프트웨어 Basic Software(BSW)로 구성되어 있다.

어플리케이션에서는 GNSS 모듈 및 센서 정보를 처리하고, RTK 위치 기반 DR 위치 산출 및 보정값을 적용하여 최종 위치를 산출하는 연산을 수행한다. 100Hz 주기로 연산되어 현재 차량 위치, 방위각, 위치 오차 및 보정 상태 값 등이 출력된다. Fig. 2에서는 SW 구성요소를 보여주고 있다.

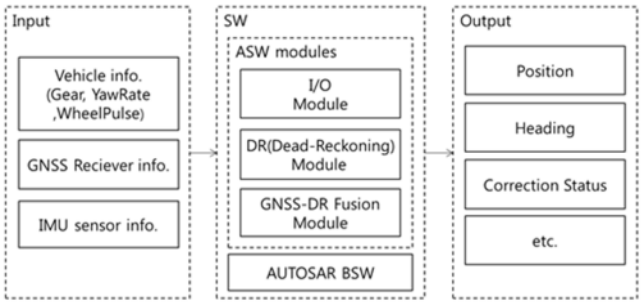


Fig. 2. SW component block diagram.

3. 측위 성능 분석

3.1. 시뮬레이션 도구

효율적인 개발 및 검증을 위한 알고리즘 시뮬레이션 도구를 개발하였다. 차량 주행을 통해 테스트

경로 구간마다 취득한 차량정보와 GNSS 데이터 정보를 이용하여 알고리즘 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 2D Viewer를 통해 모니터링할 수 있으며, 파라미터 변수 설정 및 코드 실시간 디버깅이 가능하다. Fig. 3은 시뮬레이션 환경의 수행 프로세스와 시뮬레이션 도구 및 2D Viewer 화면 UI를 나타낸다.

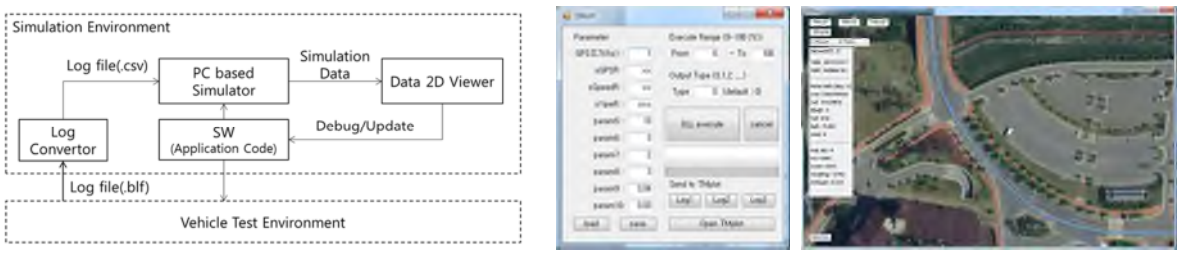


Fig. 3. Simulation environment & implemented 2D viewer UI.

3.2. 성능 비교

개발 모듈의 성능을 비교하기 위해 NovAtel사의 고정밀 GNSS/INS 장비인 SPAN-CPT를 레퍼런스 장비로 사용하였다. 개발 모듈과 레퍼런스 장비 모두 네트워크 RTK(VRS) 보정정보를 사용하여 RTK를 수행하였다. 테스트 구간은 위성 신호가 양호하나 터널이 포함된 고속도로 구간과 고가 도로, 터널 및 상가 건물이 일부 포함된 시내 구간을 선정하였다. 주행 상황에서의 절대 위치를 파악하기 위해 정밀지도를 활용하였다. 데이터 취득은 차량 주행 시 실시간으로 개발 모듈과 레퍼런스 장비의 위치 데이터와 주행 영상을 동시에 기록하였다.

3.2.1 고속도로 성능 평가

Fig. 4는 고속도로 테스트 구간의 경로로 경부고속도로 서울TG, 영동고속도로 신갈JC 및 호법JC까지의 구간(총 42km)을 나타내고 있다. 이 구간에는 마성터널(1.5km)과 양지터널(0.8km)이 포함되어 있다. 우측은 레퍼런스 장비와 개발 모듈을 정밀지도에 맵핑한 결과와 해당 시점의 영상을 보여주고 있다.

Table 1에서는 고속도로 구간에서의 레퍼런스 장비 대비 개발 모듈의 위치 오차를 나타내고 있다. 총 4회 테스트 운행을 실시하였으며, 터널 구간을 제외하고 RMS(65%) 기준으로 평균 횡방향 0.48m, 종방향 1.50m(터널 포함), 횡방향 0.44m, 종방향 1.45m(터널 미포함)의 위치 오차를 보였다.

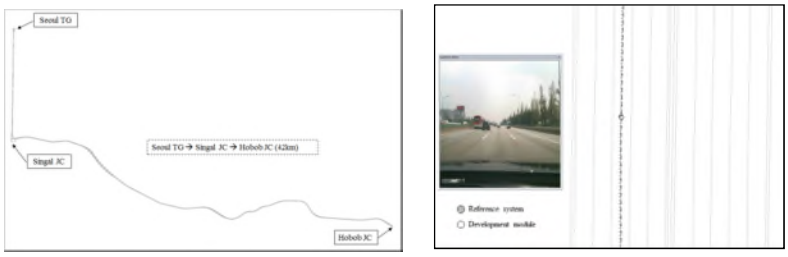


Fig. 4. Highway test area(HD map) and test view.

Table 1. Average position error against reference GNSS/INS system (highway area).

Times	With tunnel (m)		Without tunnel (m)	
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.
1	0.41	1.42	0.38	1.38
2	0.36	1.90	0.33	1.86
3	0.67	1.19	0.62	1.10
Avg.	0.48	1.50	0.44	1.45

3.2.2 일반도로 성능 평가

Fig. 5는 판교 주변 4.2km 시내 도로 구간의 경로를 나타낸다. 이 구간에는 성내미 터널 (왕복 2km)의 터널 구간, 고가도로 및 상가 건물이 일부 포함되어 있다. 또한, 자체적으로 구축하여 활용한

정밀지도를 보여주고 있으며, 시내 구간에서의 맵핑 결과와 해당 시점의 영상을 보여주고 있다.

Table 2는 시내 구간에서의 레퍼런스 장비 대비 개발 모듈의 위치 오차를 나타내고 있다. 총 5회 테스트 운행을 실시하였으며, 터널 구간을 제외하고 RMS(65%) 기준 평균 횡방향 0.68m, 종방향 1.27m(터널 포함), 횡방향 0.62m, 종방향 1.17m(터널 미포함)의 위치 오차를 보였다.



Fig. 5. Urban test area, HD map and test view.

Table 2. Average position error against reference GNSS/INS system (urban area).

Times	With Tunnel (m)		Without Tunnel (m)	
	Lat.	Lon.	Lat.	Lon.
1	0.55	1.50	0.52	1.37
2	0.92	1.26	0.89	1.10
3	0.54	1.47	0.49	1.47
4	0.54	0.60	0.50	0.60
5	0.85	1.51	0.70	1.30
Avg.	0.68	1.27	0.62	1.17

4. 결 론

본 연구에서는 저가 GNSS 수신기를 사용하여 차량의 위치를 추정하는 모듈을 개발하였다. 위치 정확도를 높이기 위하여 RTK와 추측항법을 결합한 알고리즘을 고안하였고 실차 데이터 기반의 시뮬레이션 도구를 활용하여 개발 효율성 증대 및 기간 단축의 효과를 얻을 수 있었다. 성능 검증 및 확인을 위해 차량 환경에서 고정밀 GNSS/INS 장비와 동시간 데이터 취득 결과를 비교 분석하였으며, 그 결과 종/횡 방향 오차 모두 차선 크기 이내로 안정적인 측위 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

실험 중 정밀지도와의 비교를 통해 레퍼런스 장비 또한 오차가 있음을 발견하였으며, 이를 감안하면 실제 오차값은 더 작아질 것으로 판단된다. 향후 다양한 도로 환경과 위성 수신이 불안정하고 멀티패스가 심한 주행구간들에서의 위치 정확도를 확보할 수 있도록 후속 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

REFERENCES

Choi, J. J., Choi, H. Y., Do, S. B., & Kim, H. S. 2015, Absolute altitude determination for 3-D indoor and outdoor positioning using reference station, J-KICS, 40, 165-170

Song, J. H. & Seo, D. H. 2013, Sensor-Fusioned Precised Positioning for Automotive System, Information and Communications Magazine, 30(11), 43-50

Won, J., Park, K. D., & Choi, H. C. 2015, Performance analysis of Real-Time Absolute Positioning (RTAP) using a low-cost single frequency GPS receiver for high-speed vehicles, 2015 KGS Conferrence 4-6 Nov. 2015, Ramada Hotel, Jeju, Korea, pp.120-123

Woon, B. Y., Lee, D. J., & Lee, S. 2017, Network-RTK GNSS for Land Vehicle Navigation Application, J-KICS, 42, 424-431. https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.2.424

저가형 RTK와 IMU를 사용한 차량 위치 및 방위각 추정 시스템

김민[1], 김태호[2], 박찬식[1*]
[1]충북대학교 제어로봇공학과, [2]ATT

Integrated Vehicle Position and Heading Estimation System Using Low-Price RTK and IMU

Min Kim[1], Taeho Kim[2], Chansik Park[1*]
[1]Department of Control and Robotics Engineering, Chungbuk National University, [2]ATT

주소 : 충북 청주시 서원구 충대로 1, E10-304 호(충북대학교)
연락처 : 043-261-3259 이메일 : ybryan90@hotmail.com

Abstract: 본 논문에서는 Real Time Kinematics(RTK) 기능을 제공하는 저가형 Ublox 위성항법수신기와 VectorNav의 내장된 Inertial Measurement Unit (IMU)를 사용하여 정밀 위치 및 방위각 추정 시스템을 구현하였다. IMU를 사용하여 관성항법시스템(Inertial Navigation System)을 구현하였으며, RTK 기능을 사용한 위성항법 시스템과 간접 앞먹임(Indirect Feed forward) 방식으로 융합하였다. 구현 된 시스템은 실제 차량에 설치하여 동작과 성능을 확인하였다.

Keywords: RTK, IMU, INS, integrated system, autonomous vehicle

1. 서 론

본 논문에서는 자율주행차량을 위한 정밀 위치 및 방위각을 제공하기 위한 저가형 시스템을 제안하였다. 자율주행차량에서는 최소한의 차선 인식을 위해 1.5m 이내의 정밀한 위치를 요구한다. 또한, 고속 주행 시의 정밀 위치 제공을 위해 빠른 출력 속도가 요구된다. 하지만 일반적으로 전역위치를 제공하는 단일 위성항법 시스템을 사용하면 자율주행차량에서 요구하는 조건을 충족하지 못한다. 또한, 고가의 장비를 사용하면 보급에 어려움이 있다. 본 논문에서는 저가의 장비를 사용하여 정밀한 위치를 제공하기 위해 RTK 기능을 제공하는 저가형 수신기인 Ublox사의 C94-M8P 수신기를 채택하였고, 느린 출력 속도를 보완하기 위해 IMU 원시 측정치(Raw Measurement)를 제공하는 INS인 VectorNav사의 VN-300을 사용하여 관성항법시스템을 구현하였다.

위 두 가지 시스템은 각각 장단점을 갖고 있다. 위성항법 시스템은 시간에 따라 누적오차가 생기지 않는다는 장점과, 출력 주기가 느리다는 단점이 있다. 반면, 관성항법 시스템은 출력 주기가 빠르다는 장점과, 시간에 따라 누적오차가 발생한다는 단점이 있다. 이 두 시스템을 융합하게 된다면 서로의 장단점을 상호 보완할 수 있다. 본 논문에서는 두 시스템을 융합하기 위해 확장 칼만 필터를 사용하였으며, 위성항법에서의 전역 위치와 관성항법에서의 위치, 속력 및 방위각을 입력으로 받았다.

2. 융합 항법 시스템의 설계

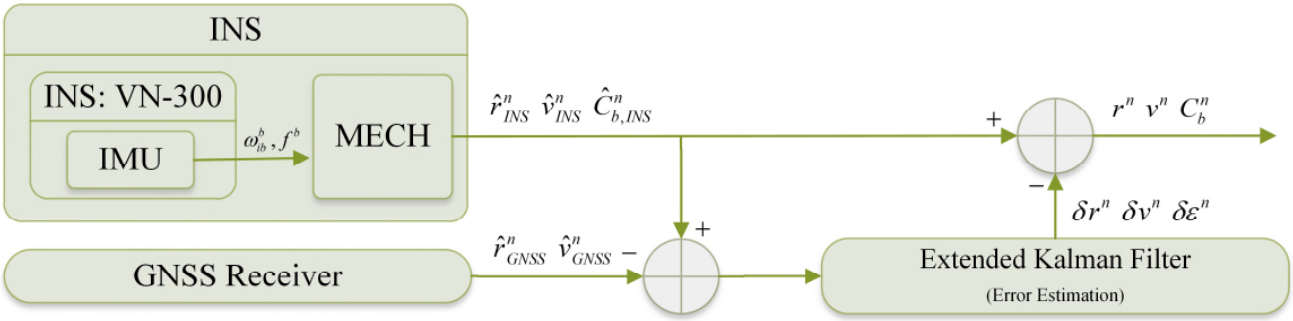


Fig. 1. Indirect feed-forward method.

융합 시스템은 Fig. 1과 같은 시스템 구성으로 설계되었다. 관성항법 구현을 위해 VN-300의 IMU 원시 측정치에서 각속도(ω_{ib}^b) 및 가속도(f^b)를 입력으로 받아 관성항법 시스템을 구현하며, 식 (1)과 같이

오차가 포함 된 위치($\hat{r}_{INS}^{n}$), 속력($\hat{v}_{INS}^{n}$) 및 자세($\hat{C}_{b,INS}^{n}$)를 얻는다. 관성항법 시스템에서 누적되는 오차를 제거하기 위해 확장 칼만 필터를 사용해 위성항법 시스템과 융합하였으며, 위성항법시스템의 위치(r_{GNSS}^{n}) 및 속력(v_{GNSS}^{n})과 관성항법 시스템의 위치($\hat{r}_{INS}^{n}$) 및 속력($\hat{v}_{INS}^{n}$)의 차를 입력으로 받는다. Agnar (2012)과 Groves (2013)에서 기술한 바와 같이 관성항법 시스템을 구성하였으며, 관성항법 시스템은 식 (2)에 나타나 있다. 또한, Shin (2005)과, Park (2015)이 기술한 바와 같이 확장 칼만 필터를 구성하였으며, 그 내용은 식 (3)에 나타나 있다.

$$\begin{aligned} \hat{r}_{INS}^{n} &= r_{INS}^{n} + \delta r^{n} \\ \hat{v}_{INS}^{n} &= v_{INS}^{n} + \delta v^{n} \\ \hat{C}_{b,INS}^{n} &= \left(I - E^{n}\right) C_{b}^{n} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \dot{r}_{INS} &= \begin{bmatrix} \dfrac{v_N}{R_M + h} & \dfrac{v_E}{\left(R_t + h\right)\cos\varphi} & -v_D \end{bmatrix}^{T} \\ \dot{v}_{INS} &= C_b^n f^b - \left(2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n\right) \times v^n + g^n\left(\varphi, h\right) \\ \dot{C}_b^n &= C_b^n \left(\omega_{nb}^b \times\right) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \delta\dot{\varphi} &= \frac{R_{mm}\rho_E}{R_m + h}\delta\varphi + \frac{\rho_E}{R_m + h}\delta h + \frac{1}{R_m + h}\delta v_N \\ \delta\dot{\lambda} &= \frac{\rho_N}{\cos\varphi}\left(\tan\varphi - \frac{R_{tt}}{R_t + h}\right)\delta\varphi - \frac{\rho_N \sec\varphi}{R_t + h}\delta h + \frac{\sec\varphi}{R_m + h}\delta v_E \\ \delta\dot{h} &= -\delta v_D \\ \delta\dot{v} &= \left\langle C_b^n f^b \right\rangle \varepsilon^n - \left\langle 2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n \right\rangle \delta v^n + \left\langle v^n \right\rangle \left(2\delta\omega_{ie}^n + \delta\omega_{en}^n\right) + C_b^n \delta f^b + \delta g^n \\ \dot{\varepsilon} &= -\left\langle \omega_{in}^n \right\rangle \varepsilon^n - C_b^n \delta\omega_{ib}^b + \delta\omega_{in}^n \end{aligned} \tag{3}$$

3. 실험 및 성능 평가

3.1 실험 환경

본 논문에서는 융합항법시스템을 실제 차량에 설치 및 구현하여 테스트 하였다. 관성항법을 위한 VN-300 모듈과 위성항법을 위한 C94-M8P 차량용 모듈을 차량에 설치하였다. VN-300 모듈은 차량의 무게중심에 가깝게 설치하였으며, C94-M8P에서 출력하는 위치는 IMU 좌표계의 중심으로 평행이동 하였다. 또한, 위성항법시스템의 RTK 기능을 위해 교내 옥상에 C94-M8P 기지국(Base Station) 모듈을 설치하여 차량용 모듈에 보정정보(RTCM)를 보낼 수 있게 하였다. 융합항법시스템이 설치 된 실제 차량을 주행하며 두 모듈에서 제공하는 원시 측정치를 받았으며, 원활한 실험을 위해 저장한 데이터와 시뮬레이션 도구인 매트랩(Matlab)을 사용하여 실험하였다.

3.2 실험 방법

본 논문에서는 출력 주기를 1Hz로 설정 한 C94-M8P의 원시 측정치 및 출력 주기를 100Hz로 설정 한 VN-300의 원시 측정치를 사용하여 융합항법 시스템을 구현하고 성능을 확인하였다. 위성항법과 관성항법의 결합 시스템은 IMU의 출력 주기에 맞춰 관성항법 시스템의 항법 해가 출력 되며, 위성항법의 출력주기에 맞춰 확장 칼만 필터의 추정 오차 항(Estimated Error State; $\delta r^n, \delta v^n, \varepsilon^n$)이 초기화된다. 또한, 확장 칼만 필터는 입력이 없더라도 전파(Propagation)가 가능한 필터이기 때문에, 위성항법의 항법 해가 없을 때는 IMU의 출력 주기에 맞춰 추정 오차 항을 누적하게 된다. 누적 된 추정 오차 항은 관성항법

시스템의 최종 출력 단에서 빼주게 되어 누적 오차를 제거하게 된다. 실험은 교내의 일정한 도로를 연속으로 13바퀴 주행하였으며, VN-300에서 출력하는 자세($\phi_{REF}, \theta_{REF}, \psi_{REF}$), 속력(v^n_{REF})과 구현 된 융합항법시스템의 자세($\phi_{SDINS}, \theta_{SDINS}, \psi_{SDINS}$), 속력(v^n_{SDINS})을 비교하여 동작과 성능을 확인하였다.

3.3 실험 결과

Fig. 2와 Table 1에서 실험의 결과를 확인할 수 있다. Fig. 2는 주행 후 취득한 결과를 NED 좌표계에 맞춰 도시한 그림이다. C94-M8P에서 출력하는 1Hz의 데이터와 구현 된 시스템에서 출력하는 100Hz의 데이터를 각각 도시하였다. 그림을 보면 위성항법의 위치를 융합항법시스템의 위치가 잘 따라가고 있는 것을 확인할 수 있다. 위성항법시스템과 융합항법시스템의 출력주기가 같지 않기 때문에 두 시스템간의 오차가 분산을 확인하긴 어렵지만, 13바퀴를 도는 동안 최대 고도 오차는 약 0.7m인 것을 확인할 수 있다. 다만, 위성항법에 의존적으로 고도가 변화하는 것을 확인할 수 있다.

Table 1을 보면 융합항법시스템의 항법해와 VN-300에서의 기준 항법해를 비교한 것을 확인할 수 있다. 2차원 평면에서의 속력(v_N , v_E)은 전체 구간에서 평균 0.4m/s가량 차이가 나는 것을 확인할 수 있으며, 분산은 약 0.15m/s 정도로 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 수직면 속력(v_D)의 평균 오차는 전체 구간에서 0.04m/s로 매우 작으며, 분산은 0.002m/s로 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 3차원에서의 자세는 전체 구간에서 롤(ϕ)과 피치(θ)가 평균 0.18deg 정도의 차이가 발생하였으며, 그 분산은 약 0.0006deg로 매우 작다. 다만, 요(ψ)는 전체 구간의 평균 오차가 5.99deg, 분산이 0.63deg로 롤, 피치에 비해 다소 높은 것을 확인할 수 있다.

Table 1. RMSE and variance of velocity and attitude.

Result	Velocity [m/s]			Attitude [deg]		
	v_N	v_E	v_D	$Roll(\phi)$	$Pitch(\theta)$	$Yaw(\psi)$
RMSE	0.394	0.388	0.043	0.174	0.186	5.995
Variance	0.152	0.146	0.002	0.5e-4	6.1e-4	6.3e-1

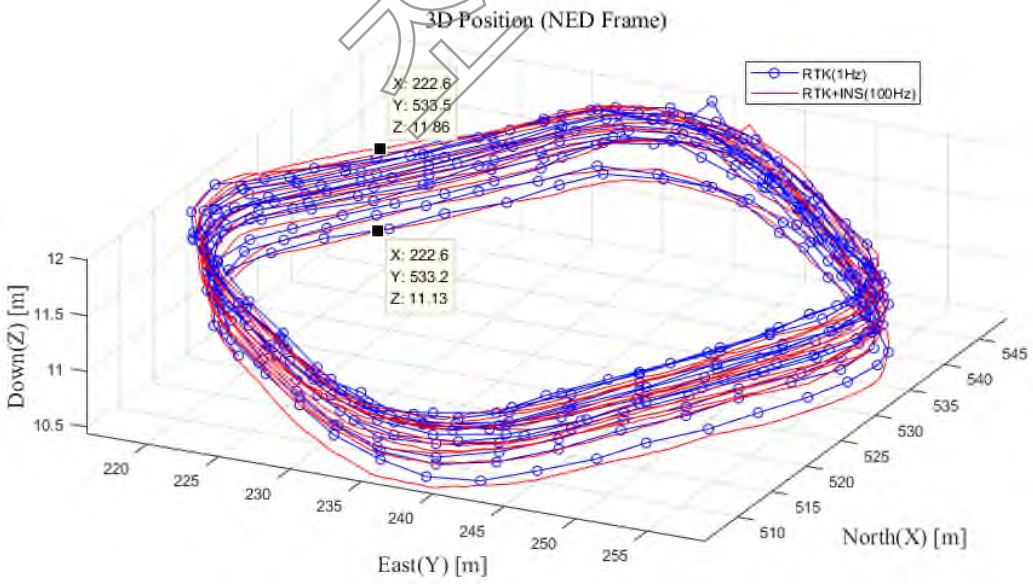


Fig. 2. Trajectory of driving around.

4. 결론

본 논문에서는 자율주행차량을 위한 정밀 위치 및 방위각을 제공하기 위한 저가형 시스템을 제안하였다. 정밀위성항법을 위해 C94-M8P라는 저가형 모듈을 사용하였고, 기준 항법해와 IMU의 원시측정치를 위해 VN-300을 사용하였다. 위 결과에서 확인할 수 있듯이 저가형 모듈을 사용하여도 고가

모듈과 유사한 성능을 보여주고 있다.

다만, 본 연구에서 사용한 VN-300 모듈은 저가형이라고 말하기에는 다소 무리가 있는 높은 가격을 형성하고 있다. 또한, C94-M8P의 한계도 명확하다. 이 모듈은 기지국과의 거리가 멀어질수록 위치 정확도가 떨어지며, 기지국과 차량용 모듈간 통신가능거리의 한계가 성능에 미치는 영향이 크다. 저가형 모듈을 사용하여 수준급의 성능을 가진 융합항법시스템을 만들기 위한 본 연구는 아직 진행 중이며, 현재는 VN-300보다 저가형 센서를 사용하여 연구를 진행하고 있다.

감사의글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No R7117-16-0164, 차량 통신 기반의 광역 주행환경인지 및 협조 주행기술 개발).

REFERENCES

Agnar, S. 2012, INS/GPS ERROR ANALYSIS AND INTEGRATION, M.S. Thesis, Department of Science in Electrical Engineering, Reykjavik University, Iceland

Groves, P. D. 2013, Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition (Boston: Artech House)

Park, J.-K. 2015, Vehicle Navigation System Design and Implementation using Integrated GNSS/INS/Odometer/ Barometer Navigation System, M.S. Thesis, Department of Control and Robotics Engineering, Chungbuk National University, Korea

Shin, E.-H. 2005, Estimation techniques for low-cost inertial navigation, Ph.D Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada

초안

무인기 정밀위치 데이터획득 위한 동기화된 복합항법장치 제어연구

정진호*, 박진모, 하준, 오용록, 김영목
두시텍

A Study on Synchronized Complex Navigation Unit Control for UAV High Accuracy Data Acquisition

Ji-Ho Jeong*, Jin-Mo Park, Jun Ha, Yong-Rok Oh, Young-Mok Kim
DUSITECH Co., Ltd.

주소 : 대전 유성구 테크노 10 로 44-15(탑립동)
연락처 : 042-280-1400 이메일 jjh@dusi.co.kr

Abstract: 최근 소형무인기 시장의 급성장으로 무인기를 이용한 공간정보 데이터 획득과 응용분야가 점차 확대 되고 있다. 특히 공간정보산업은 도심, 산림, 해양등 다양한 환경에서 정밀위치기반 영상 및 센서데이터 획득운용이 많이 요구되고 있으며 현재 무인기운용 복합항법장치의 부정확한 위치정보, 데이터 획득장치의 자세와 획득결정 동기화가 처리되지 못해 많은 오차를 유발하고 있다. 공간정보산업에서 무인기를 이용한 영상정보는 대부분 부정확한 GPS/IMU정보를 가지고 PhotoScan, Pix4Dmapper, APS, Virtual Surveyor, StereoCAD와 같은 전문 후처리 소프트웨어에 의존하고 있다. 또한 정밀도가 높은 영상 획득은 항공표적 기준점과 중첩도 높은 고해상도 사진촬영을 기반으로 GIS 구축 실무자는 실시간 처리를 요구하고 있으나 현실적으로 무인기의 물리적 정밀도 환경이 지원되지 않아 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 전문 소프트웨어에 의존하여도 영상결합이 어려운 해양, 산림, 농업, 수자원 등에서 무인기를 이용한 정밀한 위치 데이터 획득과 분석요구가 점차 증가하고 있다. 지금까지 무인기는 GPS좌표와 짐벌자세 정보로 데이터 위치를 결정 하고 있으나 고도가 높아지거나 풍향풍속이 심할 경우 수십m이상 오차가 발생하는 문제는 꾸준히 제기되고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 무인기 항법장비와 임무장비의 동기화가 우선 필요하고 무인기 임무장비의 데이터획득 위치동기 결정에서 발생하는 비행체 가속도, 위치, 자세, 고도, 지자기, 임무장비, 영상셔터 타이밍 결정이 매우 중요하다. 본 연구는 공간정보 데이터 획득에 필요한 소형무인기 임무장비의 영상, 센서데이터 위치획득 결정 알고리즘을 위해 복합항법장치 시각동기 비행제어 방안을 연구하고 해양환경의 비정형화된 위치 데이터 획득 실험을 통해 정밀위치 데이터 획득 최적화에 대해 고찰하고자 한다.

Keywords: time synchronization, UAV, complex navigation

1. 서 론

자연적, 인공적인 물체에 대한 위치정보 및 속성정보 서비스를 위해 소형무인기가 주목 받고 있으며 대부분 단순 비행제어에 의한 영상획득이 가능할 것으로 이해하고 있는 것이 일반적이다. 그러나 2D/3D 공간정보 획득을 위한 기술사업화는 무인비행 플랫폼과 비행제어, 센서제어, 자동비행, 정밀데이터 획득(data logger), 위치보정 알고리즘, 공간정보 획득기법에 필요한 기술융합 전반을 갖추어야 해결이 가능하다(Jeong 2017).

현재 항공기, 인공위성 및 차량 등을 이용하여 지형 정보를 취득하는 매핑 센서들이 다양하게 개발되고 있다. 직접 지상 좌표화란 지형 공간정보를 취득하는 매핑 센서는 여섯 개의 외부 표정 요소(X,Y,Z), 짐벌자세, 헤딩각도, 항공식별 측지점 즉, 촬영이나 탑재된 센서의 위치와 회전각을 현지에서 직접 결정하여 모든 영상점을 지상의 대응점에 매칭 시키는 작업을 말하며 GeoCoding이라고도 한다(Kim 2013). 이렇듯 공간정보 대한 위치정보 및 속성정보를 디지털 데이터 구축을 위해 소형무인기를 이용한 공간정보 Data Logger 플랫폼은 다양한 기술요소와 운용 솔루션 콘텐츠 소프트웨어를 함께 갖추어야 운용이 가능 하다.

본 연구는 무인기의 물리적 센서오류 최적화 문제 해결을 위해 무인기 항법장비와 임무장비의 동기화를 위한 비행체 위치, 자세, 가속도, 고도, 지자기, 임무장비 자세, 영상셔터 타이밍의 동기화 결정에 필요한 시스템 설계와 공간정보 데이터 획득 소형무인기 임무장비의 복합항법장치 시각동기 비행제어 방안을 제시하였고 해양환경의 비정형화된 위치 데이터 획득 실험을 통해 정밀위치 데이터 획득 최적화에 대한 검증 연구를 수행하였다.

2. 2D 동기화된 복합항법장치 제어 연구

2.1 2D 무인기 복합항법장치 동기화 필요성

해양, 산림, 농업과 같은 비정형 획득정보의 데이터 분석을 위해 무인기 복합항법장치 위치, 자세정보 이외 오차요인이 발생하고 있는 환경에서 정밀 위치데이터 획득이 가능한 무인기 플랫폼 개발이 필요하다. 기존 무인기를 이용하여 영상 및 센서정보 데이터수집은 실시간 정밀데이터 획득이 어려운 상황이다.

최근 국토관리, 도로관리, 해안선, 산림, 농업등 수시로 변화하는 공간정보 시장은 변화과정을 DB화 하기 위해 한번 비행으로 준실시간 정사배치 데이터를 빠르게 구축할 수 있도록 요구하고 있다. 그러나 실시간 정밀데이터 획득은 고해상도 데이터 용량를 무선통신기로 전송하는데 어려움이 있어 준실시간 데이터 처리는 가능하다. 또한 무인기의 GPS/IMU/지자기 및 영상 및 센서 임무장비는 많은 오차요인으로 정밀위치 데이터를 확보하는데 한계가 있어 동기화된 복합항법장치 최적화 연구는 반드시 필요하다.

2.2 2D 정사배치 소프트웨어 설계조건

본 연구는 무인기 비행체 위치, 자세, 가속도, 고도, 지자기, 임무장비 자세, 영상셔터 최적화를 통해 1ms(0.001초) 동기화를 구현하고 1m급 준실시간 영상확보가 가능한 시각동기 구조를 설계 하였다.

우선 무인기 통합 운용 비행제어컴퓨터(FCC)의 체적화는 전용 운영체계(OS)를 Fig. 1과 같이 설계 개발하여 무인기 시스템 신호처리 계통도와 같이 구성하였다.

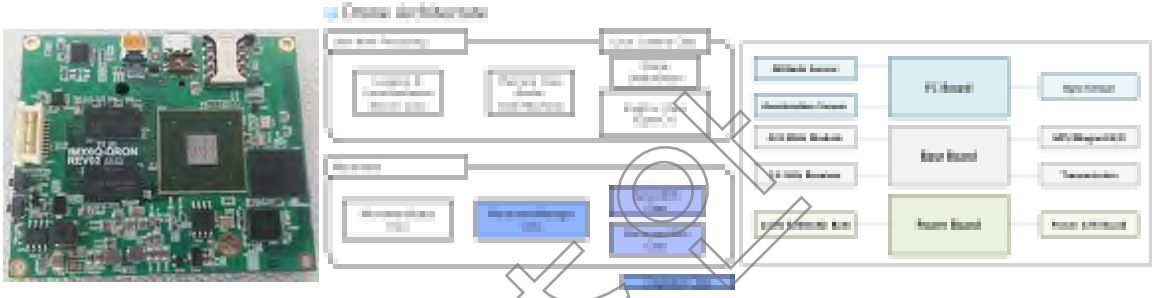


Fig. 1. Drone 운영체계 Architecture 및 무인기 시스템 신호처리 계통도.

무인기 오차요인을 검증하기 위해 비행체 위치, 자세, 가속도, 고도, 지자기, 임무장비 자세, 영상셔터 타이밍의 동기화 구조는 Fig. 2와 같이 GPS 1pps 시각동기로 신호계통도로 상세설계 하였다.

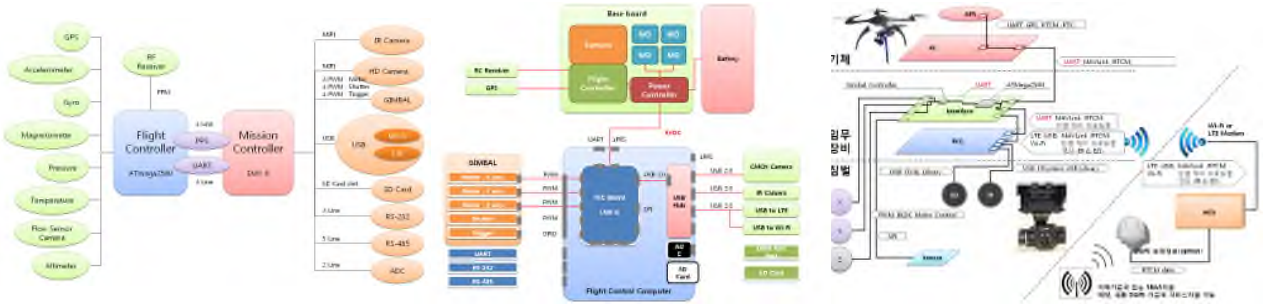


Fig. 2. 비행제어와 비행제어컴퓨터 통합운용구조.

2.3 비행제어 영상처리 및 데이터 획득 짐벌제어 아키텍처

Fig. 3의 비행제어(FC)와 비행제어컴퓨터(FCC)구조는 Dual CPU로 구성하여 GPS 1PPS를 기반으로 각각 시각동기가 가능하도록 설계하였다. 무인기 비행제어는 비행 안전성을 위한 알고리즘을 담당하고 비행제어 컴퓨터는 임무장비의 데이터인식 영상분석과 저장, 각종통신 임무를 담당하도록 설계되었고 임무장비의 카메라(EO), 열화상(IR)장비의 데이터 획득 결정은 FCC의 운영체제가 동기에 따라 촬영을

결정한다. 특히 GPS는 5Hz이상 위치정보 출력으로 FCC 운영체제 Main 기준 클럭을 제공하며 고속 비행중 가속도, 자세, 헤딩 결정에 따라 임무장비는 EO/IR 동기구조로 영상을 획득하는 구성이다.

또한 GPS는 SBAS와 DGPS를 지원하도록 설계되었고 FCC는 전용 운영체계로 1ms Real Time 아키텍처를 갖고 있으며 Embedded 기반 운영체제는 영상인식등 높은 CPU 처리가 요구될 경우 운영체제(OS) 동기를 보장할 수 없는 문제가 있어 본 실험은 안전한 범위의 영상획득 저장처리로 실험하였다.

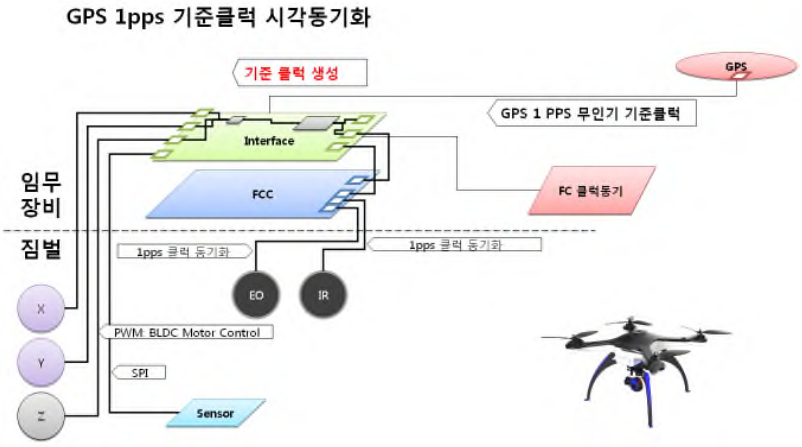


Fig. 3. GPS 1PPS 기준 클락 시각동기 아키텍처.

3. 동기화된 복합항법장치 비행시험

3.1 무인기 탑재 장비 제작

해양환경의 시험용 무인기시스템 제작은 48cm급 기체크기에 이륙중량 2kg(본체 1kg, 비행제어컴퓨터 0.2kg, 배터리 0.5kg, 짐벌임무장비 0.3kg) 실험장비를 제작하였다. 임무탑재 카메라(EO)를 탑재하여 지상 비행을 통한 성능을 검증하였고 해양환경에서 자동비행에 의한 열화상(IR)임무장비로 바다수온 데이터를 획득하는 실험 장비(Fig. 4)로 수행 하였다.



Fig. 4. EO/IR 카메라 및 지상관제 실험용 무인기.



Fig. 5. 시각동기 무인기의 GPS/DGPS 정밀측지 보정연구 환경.

3.2 2D 지상 측지점 영상획득 복합항법장치 제어 보정연구

Fig. 5는 시각동기 무인기 운용시스템의 영상/센서데이터 획득 실험환경으로 GPS와 DGPS를 기반으로 정밀측위 영상정보를 결정 획득하였다. 시각동기 무인기는 고도에 따라 GPS/DGPS 오차증가율도 실험하였고 지상기준점을 중심으로 Latitude(위도), Longitude(경도), Altitude(고도) 비행 Logging정보를 기반으로 위치결정 알고리즘에 대한 데이터 획득 위치결정에 대한 문제를 도출하여 보완 하였다. 주로 발생되는 문제는 풍향, 풍속, 가속도의 비행제어에서 불규칙한 오차가 증가되는 것으로 대기상태가 안정적인 비행환경에서는 매주 정밀한 데이터 확보가 가능한 것으로 실험되었다.

3.3 2D 해상환경에서 획득된 센서데이터 위치 결정실험

해양환경의 실험용 무인기는 고속비행중 바다수온 획득이 가능하도록 준비하였고 실험은 경북 월성원자력 발전소 앞바다 에서 17.04.20~21일 2일간 실험을 진행하였다. 비행 목적은 월성원전의 발전온수 해양 온도 분포를 측정하는 목적으로 3km구간을 해양온수 배출구간 3각형 형태로 비행을 통해 정밀 온도위치 데이터 획득이 목적이다.

4월20일 비행은 안정적인 비행으로 정밀한 위치 온도데이터가 획득 되었고 4월21일 비행은 바람 영향으로 센서 위치가 불규칙한 배치로 촬영되었지만 열화상 데이터의 정밀위치 결정 실험은 무사히 확보되었다. Fig. 6의 해상환경 2D정사배치는 해안, 산림, 농사등의 빠른GIS구축에서 유용하게 활용될 있도록 임무장비 정밀위치 데이터 기반을 확보 하였으며 Fig. 6의 2D정사배치 결과와 지상영상 실험은 보정전 약1~3m의 오차가 발생되고 DGPS와 풍향/풍속 지자기센서 헤딩보정 보정이 추가로 이루어지면 1m미만의 준실시간 2D정사처리가 가능할 것으로 확인된다.



Fig. 6. 월성원자력 발전소 해수온도 열화상 데이터 획득과 영상 2D정사배치.

4. 결론

본 연구는 공간정보 데이터 획득을 위한 소형무인기 임무장비의 영상 및 센서데이터 획득과 정밀도 향상을 위한 복합항법장치 시각동기 비행제어 방안에 대해 연구하였다. 해양환경과 같이 비정형화된 정밀위치 데이터 획득을 위해 무인기 시스템의 시각동기와 정밀위치 데이터 획득결정 알고리즘 최적화는 앞으로 실시간 정보처리 구축을 위한 추가연구 실험으로 제시하였다

현재 정밀지도와 같이 고해상도의 위치정밀도를 요구하는 시장 이외 해상, 산림, 농사등 1m급 GIS 정보 구축을 빠르게 준실시간 구축이 가능한 시장이 확대될 것으로 예상되고 있으며 무인기 자체의 정밀도 향상을 위한 물리적 기술고도화와 2D정사배치와 2D정사처리가 가능한 소프트웨어 개발을 위해 꾸준한 추가연구를 진행하고자 한다.

참고 문헌

Jeong, J.-H. 2017, A Study on the Success Strategies for Commercial sUAV Technology Commercialization, PhD Dissertation, Pai Chai University, Korea.

Kim, S.-K. 2013, A Study on Construction and Application of Spatial Information Utilizing Unmanned Aerial vehicle System, PhD Dissertation, Mokpo University, Korea.



[A5] 다중항법

GPS/GLONASS 정밀 위치 추정을 위한 단일 차분한 수신기 클럭 오차 추정 연구

이선용[1], 노재희[1], 이진혁[1], 박찬식[2], 이상정[1*]
[1]충남대학교 전자공학과, [2]충북대학교 제어로봇공학과

A Study of Single-Differenced Receiver Clock Error Estimation for GPS/GLONASS Precise Positioning

Sunyong Lee[1], Jae Hee Noh[1], Jin Hyuk Lee[1], Chansik Park[2], Sang Jeong Lee[1*]
[1]Deparment of Electronics Engineering, Chungnam National University
[2]Deparment of Control and Robotics Engineering, Chungbuk National University

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 공학 2 호관(E2) 477 호
연락처 : 042-825-3991 이메일 : eesjl@cnu.ac.kr

Abstract: 육상 교통 시스템은 정밀 육상 교통 서비스를 제공하기 위해서 반송파 위상 측정치를 활용한 정밀 위치 추정 기법을 사용한다. 육상 교통 환경에서는 고층 건물과 같은 구조물에 의해서 위성 신호 단절 문제가 발생하여 가용 가시위성 수를 떨어뜨리고 위치 추정 성능을 하락 시킨다. 이를 보완하기 위해서 단일 위성항법 시스템을 사용하는 것 대신에 두 종류 이상의 위성항법 시스템을 통합하여 사용하는 방식을 이용한다. 대표적으로 GPS와 GLONASS를 통합하는 방식이 있다. 그러나 GLONASS는 채널 별로 반송파 주파수가 다르기 때문에 정밀 위치 추정을 수행하기 위해서 GPS를 이용한 방식에서 추가적으로 고려해야 할 점이 존재하고, GLONASS 측정치 모델의 단위(미터, 사이클)에 따라서 달라진다. 본 논문에서는 사이클 단위의 GLONASS 측정치 모델을 사용할 때 고려할 점을 정리한다. 그리고 사이클 단위의 이중차분 측정치 모델에서는 단일 차분한 수신기 클럭 오차가 남아있기 때문에 단일 차분한 수신기 클럭 오차 보정에 따른 정밀 위치 추정 성능을 실측치를 이용하여 분석하였다.

Keywords: GPS, GLONASS, precise positioning, single-differenced receiver clock error

1. 서 론

위성항법 시스템은 위치, 속도, 시각(PVT, Position, velocity, and time) 솔루션을 제공하는 대표적인 시스템이다. 정확하고 정밀한 PVT 솔루션을 얻기 위해서 반송파 위상 측정치를 이용한 상대항법(CDGPS, Carrier-phase differential GPS)을 사용한다. 충분한 수의 가시위성을 확보하게 되면 더욱 정확하고 정밀한 PVT 솔루션을 얻는데 용이하게 된다. 그러나 도시에서는 높은 건물로 인해 항법 신호가 단절되어 충분한 수의 측정치를 확보할 수 없게 된다. 여러 종류의 항법 시스템을 결합하여 충분한 수의 측정치를 확보하기 위한 통합 항법 시스템에 대한 연구가 수행되어왔다. 대표적인 연구 사례로 GPS와 GLONASS를 통합하는 연구가 있다 (Mader et al. 1995, Walsh & Daly 1996, Habrich et al. 1999).

GPS/GLONASS 통합 기법은 주로 측지분야에서 반송파 위상 측정치를 이용한 상대항법(CDGPS)에서 연구되어왔다. GPS에서 동일한 대역을 사용하는 신호는 하나의 반송파 주파수를 사용하지만 GLONASS 신호는 GPS 신호와 달리 위성 채널별로 다른 반송파 주파수를 사용한다. 채널에 따라서 반송파 주파수가 다르면 상대항법에서 반송파 위상 측정치에 대한 이중차분 수행 시 미지정수 또는 수신기 클럭 오차 항에 대하여 추가적인 고려사항이 발생한다. 측정치 모델을 거리 단위로 이중차분하면 미지정수를 정수라는 조건을 유지할 수 없게 되고, 사이클 단위로 이중차분하면 수신기 클럭 오차가 남게 된다 (Al-Shaery et al. 2013). 이에 대하여 이중차분한 GLONASS 반송파 위상 측정치를 거리 단위에서 미지정수를 결정하는 방안이 연구되었지만 결국에 정수해를 추정할 수 없었다 (Rossbach & Hein 1996, Rossbach 2000). L1/L2 이중 주파수를 사용한 환경에서 GLONASS 미지정수를 추정하는 방법도 제안되었다 (Mader et al. 1995). 사이클 단위의 GLONASS 반송파 위상 측정치를 이용한 상대 측위에서는 수신기 클럭 오차를 추정하는 연구도 진행되었다 (Landau & Vollath 1996).

본 논문에서는 GPS/GLONASS 통합 측위 기법을 항법에 적용하기 위해서 사이클 단위의 GLONASS 측정치 모델에서 고려해야할 단일 차분한 수신기 클럭 오차 보정에 따른 정밀 위치 추정 성능을 분석하였다. 이를 위해서 측정치 모델을 정리하였고, 단일 차분한 수신기 클럭 오차 추정 방법에 대하여 서술하였으며 실험을 통해서 GPS/GLONASS 통합 항법 추정 성능을 분석하였다.

2. 이중차분 측정치 모델

GPS/GLONASS 통합 항법에 사용되는 각 항법 시스템에 대한 코드 측정치 모델과 반송파 위상 측정치 모델을 정리하였다 (Misra & Enge 2011). 식 (1)은 원시 코드 측정치 모델이고, 식 (2)는 원시 반송파 위상 측정치 모델이다.

$$P_u^{S,i} = r_u^{S,i} + \left(c\delta t_u - c\delta t^{S,i}\right) + T_u^{S,i} + I_u^{S,i} + \varepsilon_{P,u}^{S,i} \tag{1}$$

$$\phi_u^{S,i} = \frac{1}{\lambda^{S,i}} r_u^{S,i} + \frac{1}{\lambda^{S,i}}\left(c\delta t_u - c\delta t^{S,i}\right) + N_u^{S,i} + \frac{1}{\lambda^{S,i}} T_u^{S,i} - \frac{1}{\lambda^{S,i}} I_u^{S,i} + \varepsilon_{\lambda,u}^{S,i} \tag{2}$$

여기서 P는 코드 측정치, ϕ는 사이클 단위의 반송파 위상 측정치, r은 위성과 수신기 사이의 기하거리, δt_{W}는 수신기 클럭 오차, δt^{W}는 위성 클럭 오차, c는 빛의 속도, λ는 반송파 파장, T는 대류층에 의한 지연 성분, I는 전리층에 의한 지연 성분, N은 미지정수, ε는 잔여오차이다. 위첨자에서 S는 항법 시스템, i와 j는 위성 번호를 나타내고, 아래 첨자 u와 r은 수신기를 나타낸다.

식 (1)과 식 (2)을 이용하여 GPS 이중차분 측정치 모델을 구하면 식 (3), (4)와 같다.

$$P_{ur}^{G,kl} = r_{ur}^{G,kl} + \varepsilon_{P,ur}^{G,kl} \tag{3}$$

$$\phi_{ur}^{G,kl} = \frac{1}{\lambda^{G,k}} r_{ur}^{G,k} - \frac{1}{\lambda^{G,l}} r_{ur}^{G,l} + N_{ur}^{G,kl} + \varepsilon_{\lambda,ur}^{G,kl} \tag{4}$$

GLONASS 이중차분 측정치 모델을 구하면 식 (5), (6)과 같다.

$$P_{ur}^{R,ij} = r_{ur}^{R,ij} + \varepsilon_{P,ur}^{R,ij} \tag{5}$$

$$\phi_{ur}^{R,ij} = \frac{1}{\lambda^{R,i}} r_{ur}^{R,i} - \frac{1}{\lambda^{R,j}} r_{ur}^{R,j} + \left(\frac{1}{\lambda^{R,i}} - \frac{1}{\lambda^{R,j}}\right) c\delta t_{ur} + N_{ur}^{R,ij} + \varepsilon_{\lambda,ur}^{R,ij} \tag{6}$$

이중차분 반송파 위상 측정치 모델에서 GPS는 위성에 따른 반송파 파장이 동일하기 때문에 수신기 클럭 오차가 상쇄된 반면, GLONASS는 위성 채널에 따라서 반송파 파장이 다르기 때문에 식 (6)에서와 같이 수신기 클럭 오차가 남아있는 것을 확인할 수 있다. 식 (6)에서 수신기 클럭 오차를 보상하지 않으면 상대항법에서 항법 성능에 나쁜 영향을 미치는 요인이 되기 때문에 보상해주어야 한다.

3. 수신기 클럭 오차 추정

GLONASS는 반송파 주파수가 다르기 때문에 주파수간 편이(IFB, Inter-frequency bias)에 의한 영향을 고려해야 한다. IFB는 주파수에 선형적인 관계를 보이기 때문에(Al-Shaery et al. 2013) 식 (6)에서 단일 차분한 수신기 클럭 오차와 결합 가능한 것으로 볼 수 있다. 이는 수신기 클럭 오차 추정 시 IFB가 반영된 수신기 클럭 오차를 추정하게 되는 것이다. 본 논문에서 단일 차분한 수신기 클럭 오차를 추정하기 위해서 절대 위치 추정 기법 방식을 사용하였다.

4. 정밀 위치 추정 플랫폼

정밀 위치 추정 플랫폼은 코드 측정치와 반송파 위상 측정치를 함께 사용하여 기준국을 기준으로 사용자의 상대위치를 정밀하게 추정한다. 정밀 위치 추정 플랫폼은 epoch-by-epoch으로 데이터를 처리한다. 이중차분 코드 측정치와 이중차분 반송파 위상 측정치의 선형모델을 사용하여 가중 최소자승법 (WLSE, Weighted least-squares estimation)으로 실수해를 추정한고, 정밀하게 위치를 추정하기 위해서 LAMBDA(Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) 기법을 사용하여 이중차분 반송파 위상

측정치에 미지정수를 결정한다. 기존 정밀 위치 추정 플랫폼에서 GPS/GLONASS 통합 정밀 위치 추정을 위해서 GLONASS 측정치도 함께 처리할 수 있도록 플랫폼을 수정하였다.

5. 실험

GLONASS 이중차분 반송파 위상 측정치에서 단일 차분한 수신기 클럭 오차 보상 여부에 따른 항법 성능을 분석하기 위해서 실측치를 이용하여 미지정수 결정 성공률과 항법 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해서 GPS 단독, GLONASS 단독, GPS/GLONASS 통합으로 구분하여 분석하였다.

5.1 실험 환경

신호 수집을 위해서 개활지에서 영기저선의 정적환경을 구축하였고, 측지급 수신기(NovAtel DL-V3) 2대와 측지급 안테나(NovAtel GPS-703-GGG) 1개를 사용하였다. 측정치는 1Hz 샘플 주기의 측정치 600epoch을 사용하였고, 측정치 수에 따른 성능 차이를 제한하기 위해서 GPS 가시위성 수와 GLONASS 가시위성 수를 7개로 제한하였다. 항법 데이터는 epoch-by-epoch으로 처리하였다. Fig. 1은 항법 시스템별 위성 배치 차이를 보이기 위해서 가시위성에 대한 PDOP을 나타낸다.

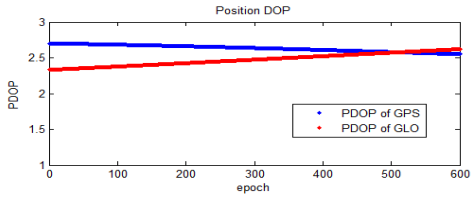


Fig. 1. PDOP of visible satellites.

5.2 결과

항법 성능 분석을 위해서 항법 시스템 조합과 단일 차분한 수신기 클럭 오차 보정 유무에 따라서 미지정수 성공률과 항법 수평오차(2DRMS)를 분석하였다. Table 1은 미지정수 결정 성공률을 나타낸다. GPS 단독으로 항법한 경우에 미지정수 결정 성공률이 100%를 보였고, GLONASS 단독으로 항법한 경우에 91%의 성공률을 보였다. GPS/GLONASS 통합 항법 시스템인 경우에 성공률이 모두 100%를 보였다. 이 결과에서 유의하여 보아야할 부분은 GLONASS 단독인 경우에 단일 차분한 수신기 클럭 오차를 보정한 후 약 0.3% 낮아진 점이다.

Table 1. Ambiguity resolution success rates (%).

Relative receiver clock bias	GPS only	GLONASS only	GPS/GLONASS
Correction	100	91.03	100
Non-correction		91.31	100

Table 2. Horizontal position error (2DRMS).

Relative receiver clock bias	GPS only (float/fixed) (m)	GLONASS only (float/fixed) (m)	GPS/GLONASS (float/fixed) (m)
Correction	0.130/0.003	0.593/0.281	0.388/0.003
Non-correction		0.593/0.275	0.545/0.003

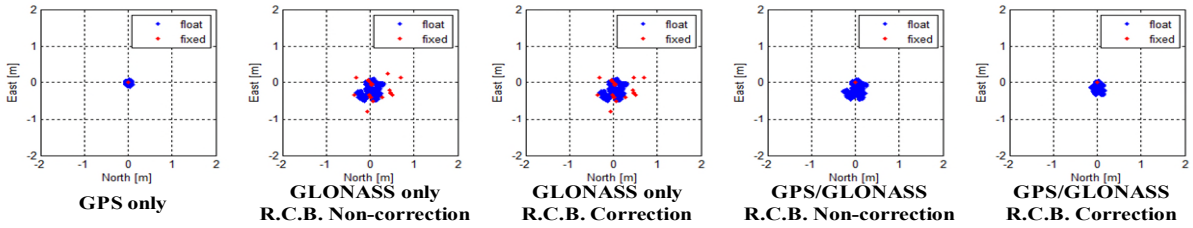


Fig. 2. Horizontal position error.

Table 2와 Fig. 2는 실수해와 정수해의 수평오차를 나타낸 것이다. 실수해 측면에 있어서 GPS 단독으로 항법을 수행한 경우에 수평오차가 0.13m(2DRMS)로 가장 높은 항법 성능을 보였으며, GLONASS 단독으로 항법을 수행한 경우에 가장 낮은 항법 성능을 보였다. 정수해 측면에서는 GPS 단독 항법과 GPS/GLONASS 통합 항법의 경우에 가장 높은 0.003m(2DRMS) 성능을 보였다. 또한 GLONASS 단독에서 단일 차분한 수신기 클럭 오차를 보정한 경우에 성능이 낮아졌다.

6. 결론

GPS/GLONASS 통합 정밀 위치 추정을 위해서 이중차분 GLONASS 반송파 위상 측정치에 남아있는 단일 차분된 수신기 클럭 오차 추정 연구를 수행하였다. 이를 위해서 기존 GPS 정밀 위치 추정 플랫폼에서 GLONASS 데이터도 함께 처리할 수 있도록 플랫폼을 수정하였고, 실측치를 사용하여 단일 차분한 수신기 클럭 오차 보정 여부에 따라서 항법 성능을 분석하였다. 항법 성능을 분석한 결과, GLONASS 단일 항법 결과를 통해서 알 수 있듯이 단일 차분한 수신기 클럭 오차를 보정하면 미지정수 결정 성공률이 낮아지는 것을 확인할 수 있었고 이에 영향을 받은 정수해 항법 성능도 낮은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 실수해 측면에 있어서 GPS/GLONASS 통합 항법 시 실수해 항법 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 측지급 수신기를 사용하여 실험을 수행하였지만 추후 연구에서는 항법용 수신기를 사용하여 추가 실험을 진행할 계획이다. 그리고 IFB는 수신기 클럭 오차와 원인이 다름에도 불구하고 하나의 상태변수로 두고 추정하였는데 추후 연구에서는 IFB를 수신기 클럭 오차와 상태변수를 구분하여 IFB에 의한 영향을 해결하기 위한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업(과제번호: 17TLRP-C113269-02) 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Al-Shaery, A., Zhang, S., & Rizos, C. 2013, An enhanced calibration method of GLONASS inter-channel bias for GNSS RTK, GPS Solutions, 17, 165-173.

Habrich, H., Beutler, G., Gurtner, W., & Rothacher, M. 1999, Double Difference Ambiguity Resolution for GLONASS/GPS Carrier Phase, Proceedings of the 12th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1999), pp.1609-1618.

Landau, H. & Vollath, U. 1996, Carrier Phase Ambiguity Resolution Using GPS and GLONASS signals, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1996), pp.917-823.

Mader, G., Beser, J., Leick, A., & Li, J. 1995, Processins GLONASS Carrier Phase Observations - Theory and First Experience, Proceedings of the 8th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1995), pp.1041-1047.

Misra, P. & Enge, P. 2011, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance Revised, Second Edition (MA: Ganga-Jamuna Press)

Rossbach, U. 2000, GLONASS Double Difference Ambiguity Resolution in Real-Time, Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2000), pp.163-171.

Rossbach, U. & Hein, G. W. 1996, Treatment of Integer Ambiguities in DGPS/DGLONASS Double Difference Carrier Phase Solutions, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1996), pp.909-916.

Walsh, D. & Daly, P. 1996, GPS and GLONASS Carrier Phase Ambiguity Resolution, Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1996), 899-907.

ISBs를 이용한 Multi-GNSS kinematic PPP의 측위성능 향상

최병규*, 윤하수, 조정호
한국천문연구원 우주측지그룹

The Positioning Performance Improvement of Multi-GNSS kinematic PPP Using ISBs

Byung-Kyu Choi*, Ha Su Yoon, and Jung Ho Cho
Space Geodesy Group, KASI

주소 : 대전광역시 유성구 대덕대로 776
연락처 : 042-865-3237 이메일 : bkchoi@kasi.re.kr

Abstract: 본 연구는 다중위성항법시스템 (multi-Global Navigation Satellite System, multi-GNSS)으로부터 관측정보를 수신하여 고정밀 단독측위 (Precise Point Positioning, PPP)의 위치안정성을 분석한다. 서로 다른 항법시스템을 이용하여 통합 자료처리를 할 경우에 시스템 사이에는 바이어스가 존재하게 된다. 즉, GNSS 자료처리에는 GPS를 기준으로 GPS-GLONASS, GPS-Galileo, 그리고 GPS-BeiDou와 같은 Inter-system Biases (ISB)를 고려해야한다. 실제 이러한 ISB는 multi-GNSS PPP 자료처리에서 핵심변수로서 추정될 수 있다. 본 연구에서는 multi-GNSS PPP를 위한 단일화된 통합측위(Unified model) 방법을 고안했다. 기존에 추정되던 IBS가 특정시점에 추정변수가 아닌 일반상수로써 고려된다. 본 연구에서 제안한 방법의 검증을 위해 GNSS 위성의 고도각 제한(30도와 50도)을 두어 실험을 수행했고, 기존의 방법과 비교한 결과 새롭게 고안된 방법이 높은 고도각 제한조건에서 안정적인 측위결과를 보였다.

Keywords: multi-GNSS, PPP, ISB, unified model, positioning accuracy

1. 서 론

GPS precise point positioning (PPP) using dual-frequency measurements는 수 mm에서 수 cm의 위치정확도를 얻을 수 있다. PPP는 매우 정밀한 정보를 산출하기 때문에 높은 수준의 측지, 측량, 항법, 그리고 지구과학 연구 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 서로 다른 전지구 위성항법시스템(different Global Navigation Satellite System (GNSS))의 조합으로 위치정확도 및 초기수렴 속도를 향상시킨 연구가 보고 되었다. Cai & Gao (2007)은 GPS와 GLONASS의 관측자료를 통합하여 PPP의 성능을 분석하였고, 위치정확도와 초기수렴시간이 GPS-only PPP와 비교하여 향상됨을 보였다.

최근 GPS와 GLONASS의 안정적인 운영에 추가적으로 Galileo와 BeiDou 위성이 증가함에 따라 Multi-GNSS를 활용한 PPP의 연구결과가 보고되고 있다(Cai & Gao 2013, Chen et al. 2015, Li et al. 2015). Multi-GNSS PPP를 위해서는 각 위성의 정밀 위성궤도와 위성시각 산출물(products)이 필요하다. 현재 이러한 정보는 International GNSS Service (IGS)에 의해 설립된 Multi-GNSS Experiment (MGEX)에서 이용할 수 있다 (Montenbruck et al. 2005).

본 연구는 4개의 서로다른 위성항법시스템의 관측자료를 이용한 Multi-GNSS kinematic PPP의 측위안정성을 향상시키는데 초점을 맞추고 있다. 우리는 GNSS 위성의 cut-off angle에 서로 다른 변화(30도와 50도)를 주었고, 측위정확도와 안정성을 분석한다.

2. MULTI-GNSS PPP MODELS AND STRATEGY

Multi-GNSS constellation PPP를 위한 관측방정식은 다음 Eqs. (1), (2)와 같이 표현될 수 있다. 먼저 이중주파수의 의사거리(Pseudorange)와 반송파 위상 (Carrier-phase)관측값의 Ionospheric-free linear combination을 통해서 전리층의 오차를 대부분 제거한다.

$$P_{IF}^{gnss} = \rho^{gnss} + cdt - cdT^{gnss} + d_{trop}^{gnss} + ISB^{gnss} + \varepsilon_{P_{IF}}^{gnss} \quad (1)$$

$$\Phi_{IF}^{gnss} = \rho^{gnss} + cdt - cdT^{gnss} + d_{trop}^{gnss} + ISB^{gnss} + N_{IF}^{gnss} + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^{gnss} \quad (2)$$

여기에서 P_{IF}와 Φ_{IF}는 각각 ionospheric-free code observable and ionospheric-free phase observables, the superscript $gnss$는 GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou 위성을 포함한다. ρ는 위성과 수신기간의 기

하학적인 거리(The geometric range), $\mathbf{c}$는 빛의 속도, $\mathbf{dt}$는 수신기 시계오차, $\mathbf{dT}$는 위성시계오차, d_{trop}는 대류층 지연오차 (tropospheric delay), ISB는 각각 GPS-GLONASS, GPS-Galileo, and GPS-BeiDou system time differences, N_{IF}는 ionospheric-free phase ambiguity term, 그리고 $\varepsilon_{P_{IF}}$와 $\varepsilon_{\Phi_{IF}}$는 각각 코드와 반송파 위상의 관측잡음(measurement noise) 이다.

개발된 PPP 방법은 GPS L1/L2, GLONASS G1/G2, Galileo E1/E5a, 그리고 BeiDou B1/B2 이중주파수 신호를 사용한다. MGEX analysis centers는 GNSS위성의 정밀궤도와 정밀시각을 산출해서 제공하고 있다. 본 연구에서는 GFZ에 의해 제공되는 정밀궤도와 시각정보를 이용한다.

3. RESULTS

본 연구에서는 위성의 앙각에 순간 큰 변화주어 실험을 수행한다. 임의로 설정한 2개의 구간 (05:00~07:00 UT and 15:00~17:00 UT)에서 위성의 앙각은 각각 30도와 50도로 순간 바뀌게 되고 나머지 시간에서는 정상적으로 7도를 유지한다. 이렇게 설정한 구간에서 기존의 PPP 방법과 ISB가 일정한 값으로 적용된 Unifed PPP 방법과의 측위안정성을 비교한다.

3.1 위성 앙각 30도 설정

Fig. 1은 DAEJ 기준국에서 31일동안 이용가능한 가시위성의 평균변화를 시계열로 나타낸 것이다. DAEJ 기준국에서 수신된 4개 항법시스템의 전체 평균 위성수는 약 25~30기 이다. 측위안정성 테스트를 위해 설정한 두 개의 구간 A와 B에서는 위성의 Cutoff angle이 30도로 증가해서 위성 수가 감소한 것을 볼 수 있다.

Fig. 2는 Conventional PPP와 Unified PPP에 의해 각각 계산된 평균 위치오차 이다. 검은색 실선은 Conventional PPP에 의해 산출된 결과이고, 붉은색 실선은 Unified PPP에 의해 산출된 결과이다. 위성의 고도각이 30도로 설정된 두 개의 구간 A와 B에서 두 방법에 의한 위치정확도의 차이는 거의 없는 것 처럼 보인다. 이것은 구간 A와 B 모두에서 GPS 위성은 평균 5.6개가 수신되고, 4개의 서로다른 위성까지 포함하면 평균 17개 이상의 신호가 수신되었기 때문에 두 개의 방법 모두에서 안정적인 측위결과가 산출된 것으로 분석된다.

3.2 위성 앙각 50도 설정

더 작은 표제는 들여쓰기 없이 이탤릭체로 작성하고 10포인트 크기로 진하게 작성하되, 작은 표제에서와는 달리 위 여백만 둔다.

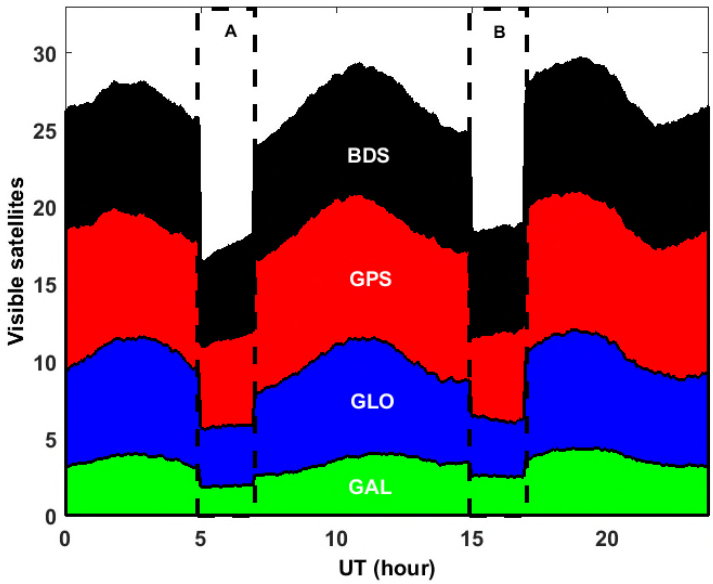


Fig. 1. DAEJ 기준국에서 2017년 1월 1일부터 1월 31일가지 평균 가시 위성 수 변화. 여기에서 구간 A와 B는 위성의 앙각이 30도로 설정.

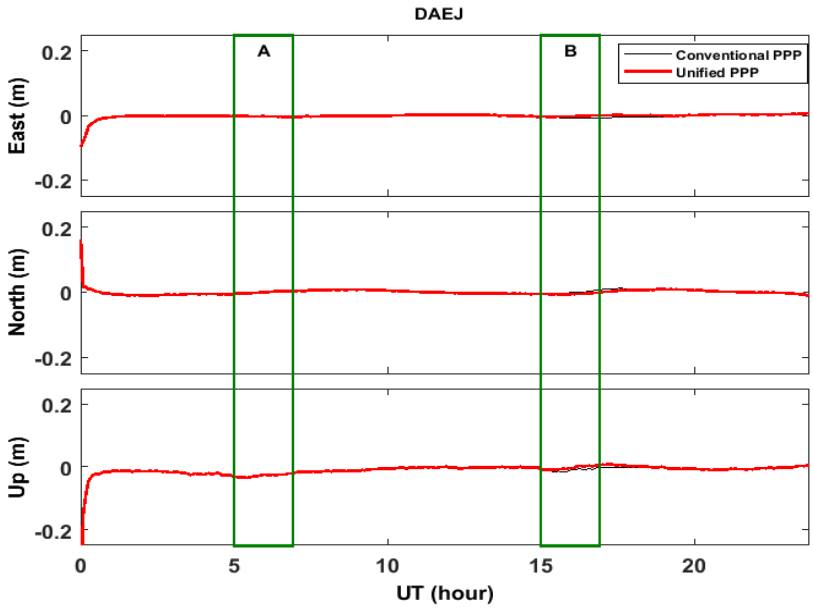


Fig. 2. Multi-GNSS kinematic PPP에 의해 처리된 평균 위치오차.

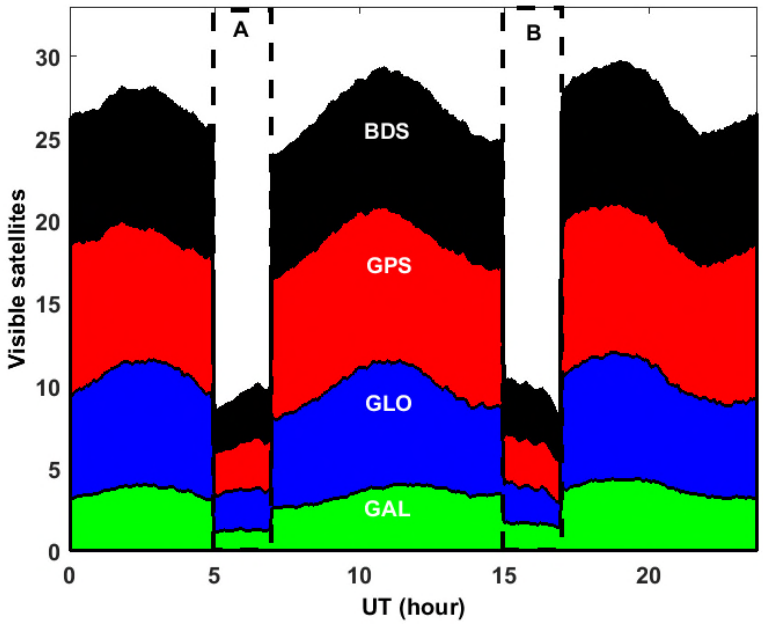


Fig. 3. DAEJ 기준국에서 2017년 1월 1일부터 1월 31일가지 평균 가시 위성 수 변화. 여기에서 구간 A와 B는 위성의 앙각이 50도로 설정.

Fig. 3의 A와 B 구간은 위성의 Cut-off anlge이 50도로 설정된 구간이다. A와 B 구간을 제외한 평균 가시 위성 수는 8.7 GPS, 6.6 GLONASS, 3.6 Galileo, and 8.1 BeiDou 이다. A와 B 구간에서는 각각 2.8 GPS, 2.3 GLONASS, 1.2 Galileo, and 2.9 BeiDou, 2.8 GPS, 2.1 GLONASS, 1.6 Galileo, and 3.1 BeiDou 위성이 관측되었다.

Fig. 4의 A와 B 구간내에서 ‘ Conventional PPP’ 방법은 검은색 실선으로 표시되었는데, 3개의 기준국 모두에서 위치오차가 크게 증가하였다. 반면 ‘ Unified PPP’ 방법 붉은색 실선으로 위치오차를 표시했는데, ‘ Conventional PPP’ 방법에 비해 매우 안정적인 측위결과를 보인다.

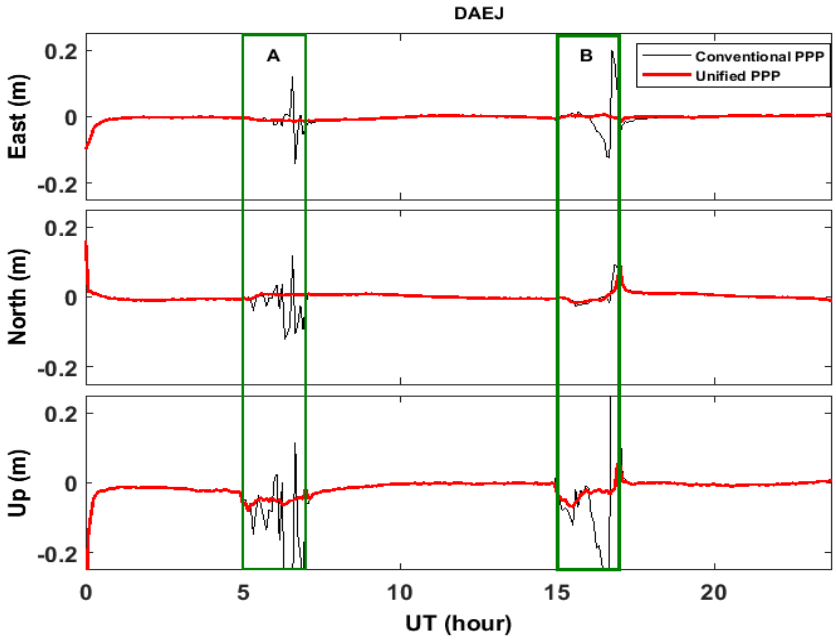


Fig. 4. Multi-GNSS kinematic PPP에 의해 처리된 평균 위치오차.

4. 결론

본 연구에서는 4개의 서로 다른 시스템으로부터의 관측자료와 수신기의 ISB를 추정하는 multi-GNSS kinematic PPP를 개발하였다. 연속적으로 ISB를 추정하는 ‘Conventional PPP’와 특정시점에서 추정된 ISB를 상수로 가정하여 자료처리하는 ‘Unified PPP’와의 위치정확도를 비교하였다. Unified PPP는 가시위성 수의 급격한 감소에도 불구하고 Conventional PPP에 비해 위치정확도와 안정성이 크게 향상되었다.

REFERENCES

Cai, C. & Gao, Y. 2007, Performance analysis of precise point positioning based on combined GPS and GLONASS, in ION GNSS 2007, Fort Worth, TX, US, 25-28 Sept 2007

Cai, C, & Gao, Y. 2013, Modeling and assessment of combined GPS/ GLONASS precise point positioning, GPS Solut., 17, 223–236. https://doi.org/10.1007/s10291-012-0273-9

Chen, J., Zhang, Y., Wang, J., Yang, s., Dong, D., et al. 2015, A simplified and unified model of multi-GNSS precise point positioning, ASR, 55, 125-134. https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.10.002

Li, X, Zhang, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., et al. 2015, Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou, Sci. Rep., 5, 8328. https://doi.org/10.1038/srep-08328

Montenbruck, O., Gill, E., & Kroes, R. 2005, Rapid orbit determination of LEO satellites using IGS clock and ephemeris products, GPS Solut., 9, 226-235. https://doi.org/10.1007/s10291-005-0131-0

GPS/GLONASS/BeiDou 결합을 위한 위치영역 Hatch 필터 설계

김라우, 최광호, 임준후, 유원재, 이형근*
한국항공대학교 항공전자정보공학과

Design of Position-Domain Hatch Filter for Integrated GPS/GLONASS/BeiDou

La Woo Kim, Kwang Ho Choi, JoonHoo Lim, Won Jae Yoo, Hyung-Keun Lee*
Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University

주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76 전자관 318 호
연락처 : 02-300-0131 이메일 : hyknlee@kau.kr

Abstract: 본 논문은 도심지에서 위치정보 가용성과 측위 정확도가 높은 시스템을 구현하기 위하여 Global Positioning System (GPS), GLONASS, 그리고 BeiDou를 통합 활용하는 위치영역 Hatch 필터를 설계하여 제안하였다. 세 가지 GNSS를 활용함으로써 가시위성의 수를 증가시켰으며, 위치영역 Hatch 필터를 활용함으로써 측위 정확도와 연속성을 향상시켰다. Hatch 필터는 위상 평활화 코드 (CSC, Carrier Smoothed Code) 필터에 기반한 것으로, 반송파 위상 측정치를 활용함으로써 높은 측위 정확도를 얻을 수 있다. 또한 필터 내부에서 가상 측정치를 활용함으로써 가시위성이 부족한 경우에도 연속적인 측위를 가능하도록 하였다. 추가적으로, 도플러 측정치를 활용한 FDI (Fault Detection and Isolation) 알고리즘을 추가하여 도심지에서 발생할 수 있는 사이클 슬립이나 다중 경로에 의한 측위 오차를 최소화하였다. 제안된 필터의 성능을 평가하기 위하여 도심지 차량 실험이 수행되었다. 실험에서 획득된 데이터에 대하여 필터 사용 여부와 활용되는 GNSS의 종류를 다르게 설정하여 후처리 된 각각의 측위 결과에 대한 위치정보 가용성과 가시위성의 수를 비교 분석하였다.

Keywords: position-domain Hatch filter, GNSS, urban positioning, FDI

1. 서 론

최근 자율주행 시스템의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 자율주행 시스템에 있어 안전성은 필수적으로 보장되어야 하는 요소 중 하나이며, 안정성은 정확한 위치정보로부터 시작된다. 정확한 위치 추정을 위하여 Global Navigation Satellite System (GNSS)를 기반으로 한 여러가지 연구가 진행되어 왔다. 그러나 도심지에서는 고층 빌딩 및 고가도로 등의 영향으로 GNSS 가시위성 확보에 어려움을 겪는 경우가 빈번하게 발생한다. 일반적으로, GNSS 가시위성의 수가 부족할 경우 위치 추정이 불가능하거나 큰 측위 오차가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 lobal Positioning System (GPS)/Inertial Navigation System (INS) 결합 기법, GPS/INS/Light Detection And Ranging 결합 기법, 그리고 GPS/INS/Odometer/Vision 결합 기법 등의 연구가 진행되었다 (Godha & Cannon 2007, Kim et al. 2011, Gao et al. 2015).

본 논문에서는 GPS만을 활용하는 단일 GNSS가 아닌 GPS, GLONASS, 그리고 BeiDou를 포함하는 다중 GNSS를 활용하여 GNSS 가용성을 대폭 향상시켰다. 또한 세 가지 GNSS를 결합하는 위치영역 Hatch 필터를 설계하여 정밀하고 연속적인 측위가 가능하도록 하였다. 위치영역 Hatch 필터는 반송파 위상 측정치의 증분값을 활용함으로써 미지정수를 결정하는 과정이 생략되기 때문에, 실시간으로 정밀한 위치 추정이 가능한 장점을 지닌다. 또한 필터의 시전달 과정에서 가상 측정치를 활용함으로써 가시위성의 수가 부족한 경우에도 비교적 정밀하고 연속적인 위치 추정이 가능하도록 하였으며 도플러 측정치를 활용한 Fault Detection and Isolation (FDI) 알고리즘을 추가하여 도심지에서 발생할 수 있는 사이클 슬립이나 다중 경로에 의한 측위 오차를 최소화 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 도플러 측정치를 활용하여 신뢰할 수 없는 측정치를 검출하고 분리하는 FDI 기법에 대하여 설명한다. 3절에서는 위치영역 Hatch 필터의 시전달 과정과 측정치 갱신에 대하여 설명하며, 특히 시전달 과정에서 가시위성이 부족한 경우에도 측위를 위하여 활용되는 가상 측정치의 활용 근거를 제시한다. 4절에서는 제안된 필터의 성능을 평가하기 위하여 수행된 실험의 결과를 분석한다. 마지막으로, 5절에서는 결론을 맺는다.

2. 도플러 측정치를 활용한 FDI 기법

GNSS 위성은 매우 높은 고도에서 신호를 송신하기 때문에 수신기에서 신호를 수신할 때 그 세기가 매우 낮다. 따라서 높은 빌딩이나 고가도로 등 신호 전파에 방해 요소가 많은 도심지에서는 일시적으로 신호가 단절되는 사이클 슬립이 발생하거나, 다중 경로 오차 등에 의하여 신뢰할 수 없는 측정치가 획득되는 경우를 빈번하게 볼 수 있다.

이와 같은 측정치들을 식별하기 위하여 도플러 측정치를 활용한 FDI 기법이 사용되었다. 일반적으로 도플러 측정치를 시간에 대하여 적산하면 반송파 측정치가 된다. 따라서 이론적으로 현재 시점의 도플러 측정치는 이전 시점의 의사거리 또는 반송파 위상을 이용한 등가 의사거리에서 현재 시점의 의사거리 또는 반송파 위상을 이용한 등가 의사거리를 각각 차분한 값과 동일하다. 이러한 원리를 이용하여 사이클 슬립이나 다중 경로 오차가 포함된 채널의 측정치를 검출하여 분리할 수 있으며 식 (1), (2)와 같다.

$$\begin{aligned} &\lambda\Delta\tilde{\phi}^{o}_{j,k} = \lambda\tilde{\phi}^{o}_{j,k-1} - \lambda\tilde{\phi}^{o}_{j,k} \\ &If\ \left|\lambda\Delta\tilde{\phi}^{o}_{j,k} - \lambda\tilde{\phi}^{o}_{j,k}\right| > c_1 \quad \rightarrow \text{Isolate channel } j \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &\Delta\tilde{\rho}^{o}_{j,k} = \tilde{\rho}^{o}_{j,k-1} - \tilde{\rho}^{o}_{j,k} \\ &If\ \left|\Delta\tilde{\rho}^{o}_{j,k} - \lambda\tilde{\phi}^{o}_{j,k}\right| > c_2 \quad \rightarrow \text{Isolate channel } j \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, $\tilde{\phi}^{o}_{j,k}$, $\tilde{\rho}^{o}_{j,k}$, $\tilde{\phi}^{o}_{j,k}$, λ 는 각각 k 번째 시점에서 채널 j에 대한 반송파 위상 측정치, 의사거리 측정치, 도플러 측정치, 그리고 GNSS 신호의 파장 이며 c_1 과 c_2 는 임의의 상수이다. 식 (1)은 사이클 슬립 검출, 식 (2)는 다중 경로 오차 검출에 활용된다.

3. 위치영역 Hatch 필터

X_k 는 필터가 추정하는 참 상태 변수로, k 번째 시점에서 GNSS 수신기의 3차원 위치인 $x_{u,k}$ 와 각각의 GNSS에 대한 수신기 시계오차인 $b_{u,k}$ 로 구성된다. $x_{u,k}$ 는 ECEF 좌표계의 3축 좌표인 $X_{u,k}$, $Y_{u,k}$, 그리고 $Z_{u,k}$ 로 구성되며 $b_{u,k}$ 는 GPS, GLONASS, 그리고 BeiDou에 대한 수신기 시계오차인 $b_{GPS_{u,k}}$, $b_{GLO_{u,k}}$, 그리고 $b_{BDS_{u,k}}$ 로 구성된다. X_k 는 식 (3)과 같다.

$$X_k = \left[\left(x_{u,k}\right)^T \quad \mathrm{M}\left(b_{u,k}\right)^T\right]^T = \left[X_{u,k} \quad Y_{u,k} \quad Z_{u,k} \quad b_{GPS_{u,k}} \quad b_{GLO_{u,k}} \quad b_{BDS_{u,k}}\right]^T \tag{3}$$

3.1 시전달

필터의 $k-1$ 번째 시점의 후 추정치 $\hat{X}_{k-1}$ 를 k 번째 시점의 전 추정치 $\bar{X}_k$ 로 전달하는 시전달 과정을 수행하기 위하여 간접 측정치 Ω_k 를 생성해야 한다. 제안된 필터에서 간접 측정치 Ω_k 는 실제 측정치와 가상 측정치로 구분된다. 실제 측정치는 GPS, GLONASS, 그리고 BeiDou 각각에 대한 반송파 위상 측정치를 이용한 등가 의사거리의 증분값을 활용하여 생성되며 가상 측정치는 각 GNSS 사이의 수신기 시계오차 제약조건과 이전 시점의 동적 상태를 활용하여 생성된다.

위에서 언급된 가상 측정치에 대한 활용 근거는 다음과 같다. 동일한 진동자에 의하여 구동되는 GNSS 수신기에 있어 각각의 GNSS에 대한 수신기 시계오차 절대값에는 차이가 있지만 짧은 시간 동안 각각의 GNSS에 대한 수신기 시계오차 증분치는 동일하며, 짧은 시간 동안 수신기의 동적 상태는 동일하다고 가정하였다. 이와 같이 생성된 가상 측정치는 항상 요구되는 측정치의 개수와 같거나 많기 때문에 가시위성의 수가 0개인 경우에도 위치 추정이 가능하다.

3.2 측정치 갱신

필터의 k 번째 시점의 전 추정치 $\bar{X}_k$ 를 후 추정치 $\hat{X}_k$ 로 갱신하는 측정치 갱신 과정을 수행하기 위하여 간접 측정치 Z_k 를 생성해야 한다. 간접 측정치 Z_k 는 GPS, GLONASS, 그리고 BeiDou 각각에 대한 의사거리 측정치를 활용하여 생성된다.

4. 실 험

제안된 필터의 성능을 평가하기 위하여 도심지 차량 실험이 수행되었다. 실험은 한국에서 가장 신호 수신 환경이 좋지 않은 곳 중 하나인 강남 테헤란로에서 수행되었으며, GNSS 수신기는 NovAtel사의 ProPak6가 사용되었다. 실험에서 획득된 하나의 데이터에 대하여 GPS snapshot 알고리즘, GPS/GLONASS/Bei Dou snapshot 알고리즘, GPS 위치영역 Hatch 필터, 그리고 GPS/GLONASS/BeiDou 위치영역 Hatch 필터 총 네 가지 측위 알고리즘을 활용하여 결과를 산출하였으며 결과를 Table 1과 Figs. 1, 2에 나타내었다.

Table 1. Comparison of the position availability.

Algorithm	Total epoch	Estimated epoch	Position availability
GPS Snapshot	2830	2220	78.5%
GPS/GLONASS/BeiDou Snapshot	2830	2729	96.4%
GPS Position-Domain Hatch Filter	2830	2830	100%
GPS/GLONASS/BeiDou Position-Domain Hatch Filter	2830	2830	100%

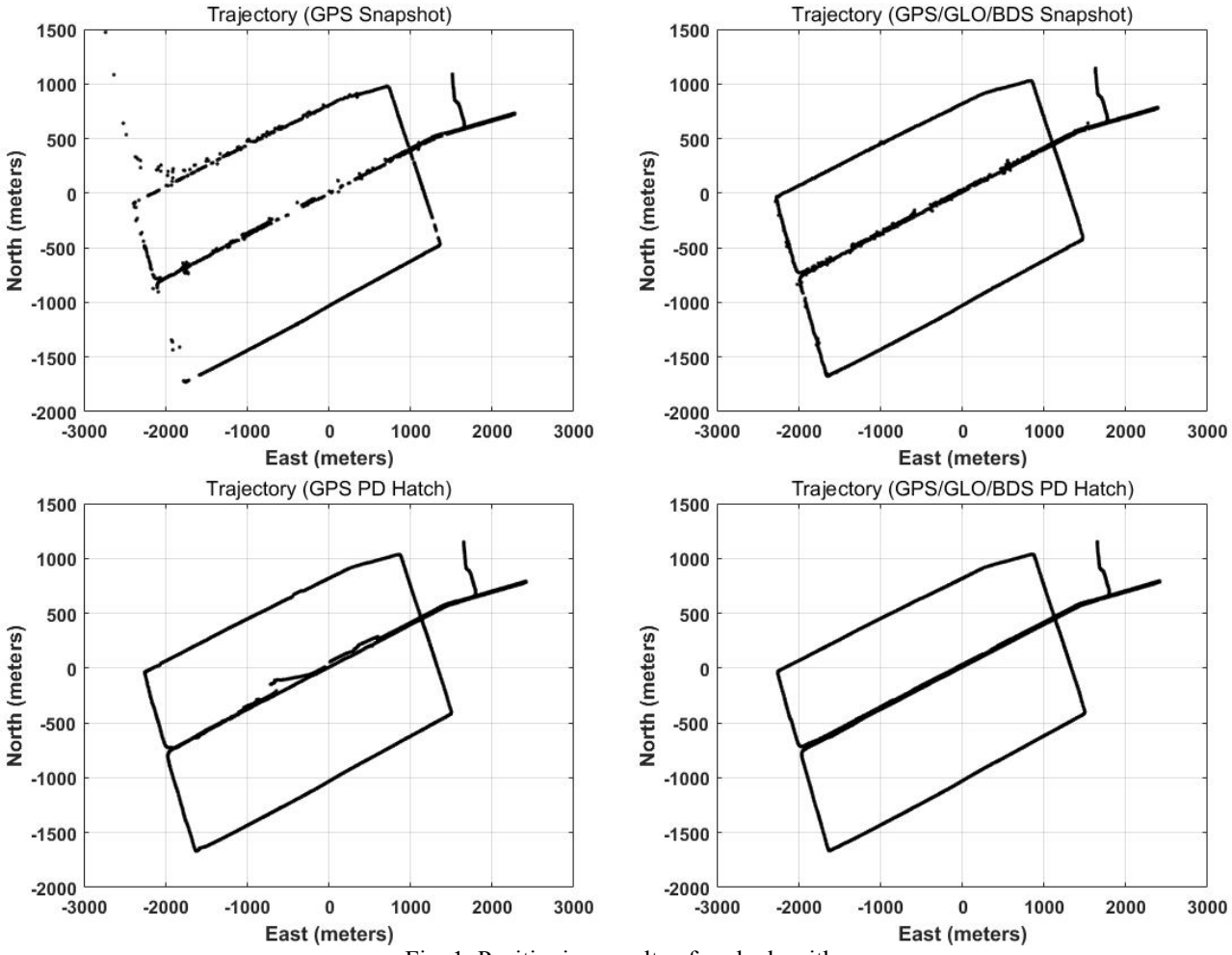


Fig. 1. Positioning results of each algorithm.

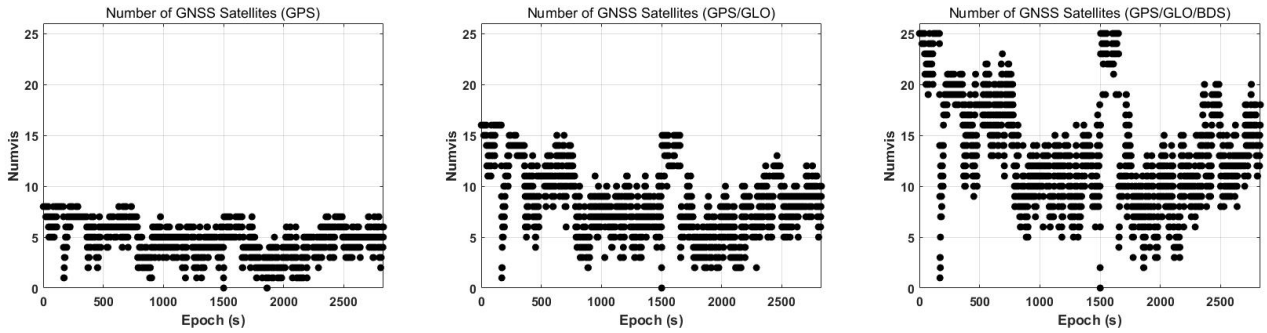


Fig. 2. Comparison of the number of visible satellites.

결과의 참값이 존재하지 않아 측위 결과에 대한 오차 분석은 불가능하지만, GPS snapshot 알고리즘은 측위가 되지 않거나 부정확한 구간이 많았으며 GPS/GLONASS/BeiDou snapshot 알고리즘에서는 다소 궤적이 원만하지 않지만 개선된 것을 확인할 수 있다. GPS 위치영역 Hatch 필터를 활용하였을 경우 다소 부정확한 구간이 있지만 GPS snapshot 알고리즘과 비교하여 많은 부분 개선되었다. 또한 GPS/GLONASS/B eiDou 위치영역 Hatch 필터를 활용하였을 경우 추정되지 않는 구간 없이 원만한 궤적을 산출한다.

가시위성의 수의 수는 GPS, GPS/GLONASS, 그리고 GPS/GLONASS/BeiDou를 활용한 경우를 비교하였으며 활용되는 GNSS를 추가할 수록 가시위성이 대폭 증가하는 것을 확인할 수 있다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 가시위성의 수에 기반하여 GPS snapshot과 GPS/GLONASS/BeiDou 알고리즘의 위치정보 가용성은 78.5%, 96.4%을 나타내었으며 위치영역 Hatch 필터를 활용하였을 경우 가상 측정치를 설정하였기 때문에 100%의 위치정보 가용성을 나타내었다.

5. 결 론

본 논문에서는 도심지에서 정밀하고 연속적인 위치 추정을 위하여 GPS, GLONASS, 그리고 BeiDou를 통합하는 위치영역 Hatch 필터가 제안되었다. GPS 이외에 GLONASS와 BeiDou를 추가적으로 활용하여 도심지에서 가시위성을 확보하지 못하는 문제점을 완화시켰으며 위치영역 Hatch 필터를 통하여 정밀하고 연속적인 위치 추정을 가능하도록 하였다. 또한 도플러 측정치를 활용한 FDI 기법을 추가하여 도심지에서 발생할 수 있는 사이클 슬립 및 다중 경로에 의한 오차를 최소화 하였다.

차량 실험 결과 snapshot 알고리즘을 활용한 GPS 단독 측위와 GPS/GLONASS/BeiDou 통합 측위는 각각 78.5%, 96.4%의 위치정보 가용성을 나타내었으며 위치영역 Hatch 필터를 활용한 GPS 단독 측위와 GPS/GLONASS/BeiDou 통합 측위는 모두 100%의 위치정보 가용성을 나타내었다. 또한 궤적의 원만함을 근거로 제안된 필터가 도심지에서 위치 추정 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 가시위성의 수 또한 단일 GNSS를 활용하였을 때 보다 다중 GNSS를 활용하였을 때 대폭 증가함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 우주핵심기술개발사업 우주기초연구 (과제번호: NRF-2016M1A3A3A02017887)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다. 본 연구의 주저자는 해양수산부 해양교통전문인력양성사업 (GNSS 부분)의 지원을 받았습니다.

REFERENCES

Gao, Y., Liu, S., Atia, M. M., & Noureldin, A. 2015, INS/GPS/LiDAR integrated navigation system for urban and indoor environments using hybrid scan matching algorithm, Sensors, 15, 23286-23302. https://doi.org/10.3390/s150923286

Godha, S. & Cannon, M. E. 2007, GPS/MEMS INS integrated system for navigation in urban areas, GPS Solutions, 11, 193-203. https://doi.org/10.1007/s10291-006-0050-8

Kim, S.-B., Bazin, J.-C., Lee, H.-K., Choi, K.-H., & Park, S.-Y. 2011, Ground vehicle navigation in harsh urban conditions by integrating inertial navigation system, global positioning system, odometer and vision data, IET radar, sonar & navigation, 5, 814-823. http://ieeexplore.ieee.org/document/6036233

Multi GNSS 측정치를 이용한 Carrier-Smoothed GNSS/DR 측위 성능 분석

이종혁[1], 전종화[1], 유상훈[2], 임정민[2], 이광억[3], 성태경[1*]
[1]충남대학교 정보통신공학과, [2]㈜와이파이브, [3]국방과학연구소

Performance Analysis of CSGNSS/DR System Using Muti-GNSS Measurements

Jong-Hyuk Lee[1], Jong-Hwa Jeon[1], Sang-Hoon Yoo[2], Jeong-Min Lim[2], Kwang-Eog Lee[3], Tae Kyung Sung[1*]
[1]Information Communication Engineering, Chungnam National University, [2]WiFive Co. Ltd.,
[3]Agency for Defense Development

주소 : 대전 유성구 궁동 충남대학교 공과대학 3 호관 308 호
연락처 : 042-821-7607 이메일 : tksaint@cnu.ac.kr

Abstract: 최근 자율 주행 차량 항법에 있어 고정밀 위치 결정이 중요한 문제로 대두되고 있다. Global Positioning System (GPS)를 이용하여 고정밀 위치를 구하기 위해서는 코드 측정치가 아닌 반송파 위상 측정치를 이용해야 한다. 반송파 위상 측정치를 사용하는 Carrier-Phase Differential GPS (CPDGPS)기법은 고정밀 위치를 구할 수 있지만 비용과 거리 제한이라는 단점이 있다. 이러한 이유로 Carrier Smoothed GPS (CSGPS)/ Dead Reckoning (DR)기법이 연구되었다. 다중 Global Navigation Satellite System (GNSS)는 단일 GNSS보다 더 많은 측정치를 얻을 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 GPS, QZSS, Galileo를 융합한 CSGNSS/DR시스템을 제안한다. CSGNSS/DR시스템의 성능을 분석하기 위해 주행 실험을 하였고 실험결과는 GPS, GPS + QZSS, GPS + QZSS + Galileo 별로 각각 가시 위성수와 위치정확도를 비교분석 하였다.

Keywords: multi GNSS, GPS, Galileo, carrier-smoothed GNSS, carrier phase measurements

1. 서 론

최근 자율주행차량이 주목 받고 있다. 차량을 정밀하게 제어하기 위해서는 고정밀 위치, 속도 그리고 자세 정보가 필요하다. GPS를 이용하여 고정밀 위치를 구하기 위해 일반적으로 반송파 위상 측정치를 사용하는 CPDGPS기술이 사용된다. 이는 cm급의 위치 정확도를 제공한다. 하지만 반송파 위상 측정치에 포함된 미지정수를 결정하려면 정지상태에서 수십에서 수백 에폭 동안 측정치를 수집해야 한다. 또한 기준국으로부터 추가적인 통신 링크를 통해 보정 정보를 수신해야 한다. 즉, CPDGPS는 높은 비용과 거리 제한이라는 단점이 있다(Petrovski 2014, Misra & Enge 2011, Kaplan & Hegarty 2005).

따라서 저가형 장비로 고정밀 항법을 수행할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 CSGPS/DR기법이 제안되었다(Grewal et al. 2007, Lee 2014). 반송파 평활화 기법을 사용하면 30cm 미만의 궤적을 얻을 수 있다. 이 시스템에서 미지정수는 단일 에폭 코드 측정치를 사용하여 실수 값으로 추정되며 반송파 위상 측정치를 이용하여 고정밀 궤적이 갱신된다. 반송파 위상 측정치를 이용하여 미지정수를 결정하기 위해서는 다중 경로나 왜곡 등의 영향을 받지 않은 측정치를 최소 4개 이상이어야 한다(Yoo et al. 2015).

현재 GNSS는 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo 및 QZSS가 운용되고 있다. 다중 GNSS 수신기를 사용하면 더 많은 측정치를 얻을 수 있다. 이는 음영지역에서의 고정밀 측위 가능성을 높인다(Jeon et al. 2016).

본 논문에서는 Galileo 융합형 CSGNSS/DR을 제안한다. GPS, GPS + QZSS, GPS + QZSS + Galileo 별로 각각 가시 위성수, 위치정확도 결과를 분석하였다.

2. CSGNSS/DR 개발

GPS의 C/A 코드는 기본 주파수가 1.023MHz이므로 약 300m의 오차가 발생할 수 있는 반면 L1 대역의 반송파 위상 측정치는 기본 주파수가 1575.42MHz이기 때문에 약 0.19m 오차가 발생할 수 있다.

따라서 반송파 위상 측정치가 코드 측정치보다 오차가 작기 때문에 보다 정확한 위치를 얻을 수 있다. 그러나 반송파 위상 측정치를 사용하려면 측정치에 포함된 미지정수가 결정 되어야 한다. 반송파 평활화 기법을 사용하여 반송파 위상 측정치에 포함 된 미지정수를 추정하여 위치 바이어스를 포함한 고정밀 궤적을 얻을 수 있다. 하지만 반송파 평활화 기법을 사용하기 위해서는 사이클 슬립이나 가시 위성수의 변화로 생기는 바이어스의 변화를 보상해줘야 한다. 반송파 위상 측정치는 다음과 같이 요약 할 수

있다(Yoo 2015).

$$\Phi_i = \left| \underline{p}_i - \underline{p}_{CS} \right| + \lambda N_i + c \cdot b_{gnss} + \mathcal{O}_i^{\&} \qquad (1)$$

여기서 $\underline{p}_i$ 는 i 위성의 위치 벡터, $\underline{p}_{CS}$ 는 반송파 평활화 기법으로 추정한 수신기의 위치 벡터, λ 는 반송파 파장의 길이, N_i 는 i 위성의 미지정수, c 는 빛의 속도, b_{gnss} 는 수신기의 클럭 바이어스, $\mathcal{O}_i^{\&}$는 전리층 지연 및 대류권 지연, 궤도 오차, 다중 경로 등으로 인한 오차를 나타낸다.

GPS, QZSS 및 Galileo는 중심주파수가 1575.42MHz로 동일하므로 파장의 길이는 약 19cm이다.

앙각이 증가함에 따라 대류권 및 전리층 오차는 감소한다. 따라서 앙각이 가장 높은 위성을 기준으로 차분한다. 기준 위성을 1번이라고 하였을 때 식 (2)와 같이 위성 간 차분을 한다.

$$\Phi_{i1}(\mathrm{k}) = \hat{r}_{i1}(\mathrm{k}) + \underline{\mathrm{h}}_{i1}^{T}(\mathrm{k}) \cdot \delta\, \underline{\mathrm{p}}_{CS}(\mathrm{k}) + \lambda\, \mathrm{N}_{i1} + \mathcal{O}_{i1}^{\&}(\mathrm{k}) \qquad (2)$$

여기서 $\Phi_{i1}(\mathrm{k}) = \Phi_i(\mathrm{k}) - \Phi_1(\mathrm{k})$, $\hat{r}_{i1}(\mathrm{k}) = \hat{r}_i(\mathrm{k}) - \hat{r}_1(\mathrm{k})$, $\underline{\mathrm{h}}_{i1}^{T}(\mathrm{k}) = \underline{\mathrm{h}}_i^{T}(\mathrm{k}) - \underline{\mathrm{h}}_1^{T}(\mathrm{k})$,
$\mathrm{N}_{i1}(\mathrm{k}) = \mathrm{N}_i(\mathrm{k}) - \mathrm{N}_1(\mathrm{k})$ 이고, $\mathcal{O}_{i1}^{\&}(\mathrm{k}) = \mathcal{O}_i^{\&}(\mathrm{k}) - \mathcal{O}_1^{\&}(\mathrm{k})$ 이다.

정지 상태에서 궤도력 정보를 통해 보정 된 오차가 충분히 작다고 가정하면, (즉 $\delta \underline{p}_{cs}(k) \approx 0$, $\mathcal{O}_{i1}^{\&}(k) \approx 0$) 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\Phi_{i1}(\mathrm{k}) \approx \hat{r}_{i1}(\mathrm{k}) + \lambda\, \mathrm{N}_{i1}' \qquad (3)$$

k = 0인 시점에 추정된 실수 미지정수는 식 (4)와 같다.

$$\hat{N}_{i1}' = \frac{(\Phi_{i1}(0) - \hat{r}_{i1}(0))}{\lambda} \qquad (4)$$

위와 같이 반송파 평활화 기법으로 추정된 미지정수를 대입하여 고정밀 측위가 가능하다(Yoo 2015).

3. CSGNSS/DR 실험 결과

주행 실험은 ㈜와이파이브의 CSGNSS/DR 장비를 이용하였다. 기준 장비는 Novatel SPAN-CPT를 이용하였고 GSGNSS/DR와의 궤적을 비교하였다. 목원대학교 인근 공터에서 주행 실험을 하였고 실험 궤적은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Trajectory of test.

Fig. 2는 GPS만 사용했을 때의 결과(Result A), Fig. 3은 GPS + QZSS의 결과(Result B), Fig. 4는 GPS + QZSS + GLONASS의 결과(Result C)이다. 이 때 보다 정확한 성능 분석을 위해 Loss of lock Indicator가 0인 측정치(High quality measurements)만을 비교였다.



Fig. 2. GPS only result (Result A).



Fig. 3. GPS + QZSS result (Result B).



Fig. 4. GPS + QZSS + Galileo result (Result C).

Table 1. Percent of receiving more than 4 satellite compared to GPS only.

Data	Percentage
GPS + QZSS	3.2%
GPS + QZSS + Galileo	35.8%

Table 2. Standard deviation of position error (unit: m)

Data	Standard Deviation
GPS	0.2556
GPS + QZSS	0.1828
GPS + QZSS + Galileo	0.152

검은점은 가시 위성이 4개 이상인 경우를 나타내며, 흰점은 가시 위성이 4개 미만인 경우를 나타낸다. Result A 대비 검은점 수의 증가를 비교하여 Table 1에 나타내었다.

GPS + QZSS의 경우 가시 위성의 수가 조금 증가한다. 그러나 GPS + QZSS + Galileo의 경우 가시 위성의 수가 크게 증가한다. 기준 장비 대비 궤적 정확도의 표준 편차는 Table 2와 같다.

Table 2의 결과를 보면 고정밀 측위를 위해서는 GPS단독 측위 보다는 QZSS와 Galileo 융합했을 때 보다 효과적인 반송파 평활화기법 적용이 가능하다.

4. 결 론

본 논문은 기존의 CSGPS/DR 시스템을 다중 GNSS로 확장하였다. 그리고 GPS, QZSS 및 Galileo 시스템을 융합하면서 가시 위성수의 변화를 보여주었고 기준 장비와 비교 된 궤적 정확도를 보여주었다. CSGNSS/DR 시스템의 정확성을 향상시키기 위해 향후 위치 바이어스를 제거하기 위한 연구가 수행되어야

한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews A. P. 2007, Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, 2nd ed. (NJ: WILEY)

Jeon, J. H., Lim, J. M., Yoo, S. H., Jeong, J. H., Lee, K. E., et al, 2016, Development of Carrier-Smoothed GNSS/DR System for Precise Vehicle Navigation with Measurements from Multi-GNSS, International Symposium on GNSS, ISGNSS 2016.

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2005, Understand GPS: Principles and Applications, 2nd ed. (MA: Artech House)

Lee, K. J. 2014, Implementation and Performance analysis of Carrier-smoothed GPS/DR Integration System, M.S Dissertation, Chungnam National University

Misra, P. & Enge, P. 2011, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance 2nd ed. (MA: Ganga-Jamuna Press)

Petrovski, I. G. 2014, GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou for Mobile Devices: From Instant to Precise Positioning, 1st ed, (Cambridge: Cambridge University Press)

Yoo, S. H., Lim, J. M., Oh, J. H., Kim, H. B., Lee, K. E., et al, 2015, Development of a CSGPS/DR Integrated System for High-precision Trajectory Estimation for the Purpose of Vehicle Navigation, Journal of Positioning Navigation and Timing, 4, 123-130. https://doi.org/10.11003/JPNT.2015.4.3.123



[A6] 보강시스템 3

SBAS 보정정보의 저궤도위성 적용 기법

김민규, 명재욱, 김정래*
한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Using SBAS Corrections for Low Earth Orbiting Satellites

Mingyu Kim, Jaewook Myung, Jeongrae Kim*
Korea Aerospace University, School of Aerospace and Mechanical Engineering

주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76
연락처 : 02-300-0110 이메일 : jrkim@kau.ac.kr

Abstract: GNSS를 이용한 사용자 위치결정 시 SBAS를 사용하면 위치정확도를 증가시킬 수 있으며 무결성 정보에 의한 위치해 신뢰성 향상도 가능하다. SBAS는 지표면 근처에서 비행하는 항공기를 대상으로 개발되었기 때문에 사용환경이 크게 다른 지구 저궤도위성 등에는 바로 적용할 수 없다. 본 연구에서는 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 중 저궤도위성 적용을 위해 수정해야 할 사항들을 분석하고, 관련 정보를 수정하여 저궤도위성에 적용하였다. 저궤도위성에서 수신된 GPS 데이터를 사용하여 SBAS 이용에 의한 위성 궤도의 위치정확도 및 신뢰성 향상을 분석하였다.

Keywords: LEO satellites, GNSS, SBAS, GNSS positioning

1. 서 론

저궤도위성의 위치정보 획득 방법은 Global Navigation Satellite System (GNSS)를 사용하는 방법이 주로 사용되지만, 정확도 및 신뢰성에 제한이 있기 때문에 Satellite Based Augmentation System (SBAS) 보정정보 및 무결성 정보를 사용하면 이를 향상시킬 수 있다. 다만, 저궤도위성의 환경과 지상환경이 다르기 때문에 SBAS 보정정보 및 무결성 정보를 적용하기 위해서는 몇 가지 정보를 수정해야 한다.

Kim & Lee (2015)는 2007년 및 2012년 IRI 모델을 이용하여 지상환경과 저궤도위성 환경을 비교한 후 저궤도위성의 전리층지연과 지상사용자의 전리층지연의 비율을 분석하였는데, 태양활동이 활발한 년도에서 비율값이 크게 나타났다. Kim & Kim (2014)은 2004년에서 지상환경과 저궤도위성 환경의 전리층지연 비율을 계산하였으며, 위도 및 지방시에 따라 배율의 변화에 대해서도 분석하였다.

본 연구는 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 중에서 저궤도위성 적용을 위해 수정해야 할 사항을 분석하고, 관련 정보를 수정 후 저궤도위성에 적용하여 위치정확도 및 신뢰성 향상을 분석하였다.

2. 저궤도위성용 SBAS 보정정보 및 무결성정보

SBAS 보정정보는 Fast Correction (FC), Long-Term Correction (LTC), 전리층지연에 대한 보정정보가 포함되어 있다. FC는 단시간 신호변화에 대한 보정정보로, Message Type (MT) 02~04에 포함되어 있으며 GNSS 의사거리 정보에 적용 가능하다. LTC는 위성 궤도 및 시계에 대한 보정정보 및 보정정보의 변화율로, MT 25에 포함되어 있다. LTC는 항법메시지로부터 계산된 GNSS 위성 궤도 및 시계에 바로 적용이 가능하다. SBAS 전리층 보정정보는 MT 26에 포함되어 있으며, 격자점 형태의 전리층지도에 대한 보정값 및 전리층 보정정보의 추정 정확도를 나타내는 Grid Ionosphere Vertical Error (GIVE)도 포함되어 있다. 사용자는 주변 격자점에서의 값을 가중치합으로 계산하여 보정정보 및 보정정보 추정오차의 공분산 값을 획득할 수 있다.

SBAS FC 및 LTC는 GNSS 위성에 대한 보정정보이기 때문에 저궤도위성에 곧바로 적용 가능하다. 하지만 SBAS 전리층 보정정보는 지상사용자 또는 항공기 대상으로 개발되었기 때문에 낮은 고도에서부터 전리층 신호 지연이 고려된 보정정보다. 저궤도위성은 고도가 약 500 km인데, 500 km 이상에 분포한 전리층에 의한 신호 지연만 발생하기 때문에 기존에 개발된 SBAS 전리층 보정정보 및 무결성 정보를 사용할 수 없다.

저궤도위성에 대한 전리층 보정정보는 지상사용자에 대한 전리층 보정정보에 변환계수를 적용하여 사용할 수 있다. 이는 다년간 저궤도 및 지상 GPS 데이터를 분석하여 저궤도위성 운용 환경과 지상환경에 대한 상관관계를 설명하는 변환계수를 계산함으로써 도출된 변환계수를 저궤도위성의 전리층 보정정보 및 무결성 정보에 적용할 수 있다.

3. 저궤도위성용 SBAS 보정정보 적용 시 위치오차 분석

2015년 6월 22일부터 24일까지 WAAS 보정정보를 저궤도위성에 적용하여 위치오차를 분석하였다. 저궤도위성 데이터는 미국 NASA의 GRACE를 사용하였다. GRACE의 GPS 관측값은 RINEX 형태로 제공되며, P1, P2, L1, L2 및 C/A 관측값이 포함되어 있다. 저궤도위성은 전역을 비행하는데, WAAS 서비스 영역은 제한되어 있기 때문에 저궤도위성의 위치추정은 WAAS의 서비스 영역을 비행할 때만 계산하였다. 2015년 6월 22일 12시부터 23일 15시까지 전리층폭풍이 발생하였으며, 22일 18시에 Kp는 최대 8까지 증가하였다.

미국 NASA의 GRACE 위성에 대한 2007년 및 2012년 전리층 지연값 배율은 Kim & Kim (2014)에 의해 수행되었는데, 이에 따르면 평균 전리층 지연값 변환 계수는 0.25로 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 SBAS 전리층 지연에 대한 보정정보의 변환 계수는 0.25로 설정하였으며, 보정정보의 오차 공분산에 대한 변환 계수는 0.25의 제곱을 사용하였다. 저궤도위성 환경에서 대류층지연은 발생하지 않기 때문에 대류층 보정은 고려하지 않았다.

Fig. 1은 Kp가 8까지 증가한 기간에서 WAAS 보정정보 적용 전/후 GRACE 위성의 수직오차를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 WAAS 보정정보를 적용하지 않은 경우 GRACE-B 위성의 수직오차는 최대 15 m 까지 증가하였으며, 같은 기간에 WAAS 보정정보를 적용하였을 때는 최대 5 m로, 최대 수직오차는 1/3 수준까지 감소하였다. 해당 기간에서 전리층 오차에 대한 공분산은 최대 9 m^2까지 증가하였다.

총 3일간 평균 수평/수직오차를 계산한 결과는 Fig. 2와 같다. 3일간 WAAS 보정정보를 적용하지 않았을 때 평균 수평오차는 1.32 m, 수직오차는 2.43 m이며 보정정보를 적용하였을 때는 각각 1.01 m, 1.79 m로 각각 23.5%, 26.3% 감소하였다. 모든 날짜에서 WAAS 적용 시 수평/수직오차가 감소한 것을 확인할 수 있으며, WAAS 적용 시 전리층 폭풍이 발생한 6월 23일과 24일에서 평균 수평오차가 거의 동일한 수준으로 나타났다.

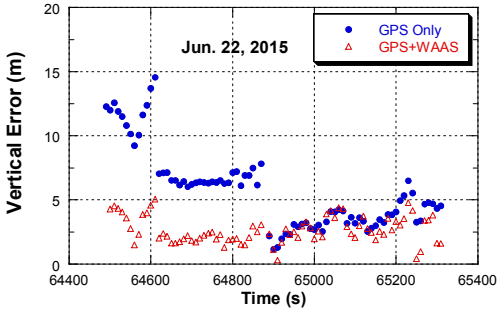


Fig. 1. Vertical position errors of GRACE satellite by using WAAS data.

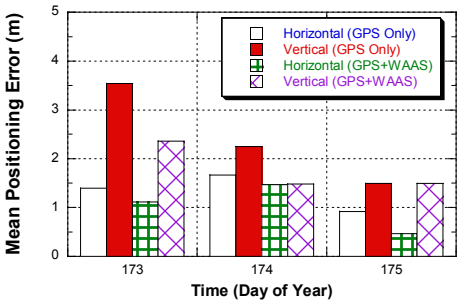


Fig. 2. Daily mean positioning errors of GRACE satellite by using WAAS data (June 22~24, 2015).

4. 결 론

SBAS 보정정보 및 무결성 정보는 지상 사용자용으로 개발되었기 때문에 저궤도위성에 바로 적용할 수 없다. 지상 사용자에 대한 전리층 보정정보와 무결성정보에 변환계수를 적용하여 저궤도위성에 적용한 결과 전리층 폭풍이 발생한 1일에 대해 최대 수직오차는 1/3 수준으로 감소하였으며, 총 3일간 수평 및 수직오차는 보정정보를 적용하지 않았을 때보다 각각 23.5%, 26.3% 감소하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다 (NRF-2016M1A3A3 A02016943).

REFERENCES

Kim, J. & Kim, M. 2014. Determination of Ionospheric Delay Scale Factor for Low Earth Orbit using the International Reference Ionosphere Model, KJRS, 2, 331-339. https://doi.org/10.7780/kjrs.2014.30.2.14

Kim, J. & Lee, Y.-J. 2015. Using ionospheric corrections from the space-based augmentation systems for low earth orbiting satellites, GPS Solution, 19, 423-431. https://doi.org/10.1007/s10291-014-0402-8

L1 SBAS Message Type 2~5 제거에 따른 SBAS 측위 성능 및 메시지 Bandwidth 측면에서의 영향 분석

임철순, 박병운*
세종대학교 항공우주공학과

Analysis of the Effect of Removal of L1 SBAS Message Type 2~5 on SBAS Positioning Performance and Message Bandwidth

Cheolsoon Lim, Byungwoon Park*
Department of Aerospace Engineering, Sejong University

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 1001B 호 항법시스템연구실
연락처 : 02-3408-4385 이메일 : byungwoon@sejong.ac.kr

Abstract: Satellite Based Augmentation System (SBAS)는 정지궤도위성을 통해 보정정보 및 무결성 정보를 방송함으로써 Global Positioning System (GPS)의 항법 성능을 향상시킬 수 있는 보강항법시스템이다. SBAS 정지궤도위성은 GPS L1 신호와 동일한 주파수를 사용하여 SBAS 메시지를 방송하고 있다. SBAS 메시지의 구조 및 각 메시지 별 보정정보 및 무결성 정보에 대한 내용은 SBAS 국제표준문서인 L1 SBAS Minimum Operational Performance Standards (MOPS) DO-229D에 수록되어 있다. L1 SBAS MOPS DO-229는 1998년, Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) Special Committee-159(SC-159) Working Group 2의 주도 하에 개발되었다. L1 SBAS MOPS가 개발될 당시, 민간 GPS 신호에는 위성 시계오차에 고의잡음(Selective Availability)이 포함되어 있었으며, 이러한 오차 성분을 효과적으로 제거하기 위해 보정정보인 Pseudo-Range Correction (PRC)가 Message Type(MT) 2~5에 포함되어 방송되도록 설계되었다. 이러한 이유로 MT 2~5는 현재 SBAS가 방송하는 전체 메시지의 50%이상을 차지하고 있다. 그리고 SBAS 사용자는 매초 PRC를 수신할 수 없기 때문에 발생하는 PRC 시간지연 오차를 보상하기 위해 사용자 수신기는 PRC의 시 변화율인 Range-Rate Correction (RRC)을 계산하여 보상해야 한다. 하지만 2000년 5월 2일 공식적으로 고의잡음이 해제되었음에도 불구하고 현재 운용 중인 모든 SBAS 시스템은 초기 설계를 그대로 유지하고 있다. 또한, WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN 등 기 운용 중인 L1 단일 주파수 GPS-only SBAS는 MT 2~5이 전체 SBAS 메시지 Bandwidth의 절반 이상을 차지하고 있으므로 GPS이외의 Constellation에 대한 보정정보 제공을 위한 Bandwidth가 상당히 부족하다. 따라서 본 논문에서는 Multi-Constellation GNSS 보정정보 제공을 위한 SBAS 메시지 Bandwidth 확보 등 현 SBAS 시스템의 효율을 높일 수 있는 두 가지 방안을 제시하였고, 제시한 방안을 적용 전후의 SBAS 항법 성능을 비교분석 하였다. 첫 째, MT 2~5에 포함된 PRC의 시간지연 오차를 보상하기 위해 사용되는 RRC를 적용하지 않는 것이다. 둘 째, SBAS 메시지 Bandwidth 확보를 위해 Fast Correction MT 2~5를 제거하는 대신 MT 2~5에 포함된 PRC를 MT 25에 포함시키는 것이다. 미국에 위치한 기준국 관측데이터와 WAAS 메시지에 제시한 방안을 적용하기 전후의 SBAS 항법 성능을 비교한 결과, 수평오차는 각각 0.3955m/0.3786m (RMS), 수직오차는 각각 0.6113m/0.5863m (RMS)로 SBAS 메시지 Bandwidth를 50%이상 확보하였을 뿐만 아니라 Fast Correction MT 2~5를 제거하였음에도 불구하고 큰 성능저하가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

Keywords: DFMC SBAS, PRC, fast correction, message bandwidth

1. 서 론

Satellite Based Augmentation System (SBAS) 정지궤도위성을 통해 보정정보 및 무결성 정보를 방송함으로써 Global Positioning System (GPS)의 항법 성능을 향상시킬 수 있는 위성기반 보강항법시스템이다. SBAS 국제표준 문서인 L1 SBAS Minimum Operational Performance Standards (MOPS) (RTCA 2006)가 개발될 당시, 민간 GPS 신호에는 위성 시계오차에 고의잡음(Selective Availability)이 포함되어 있었으며(Walter et al. 2012), 고의잡음으로 인한 항법 성능 저하를 완화하기 위한 보정정보인 Pseudo-Range Correction(PRC)가 Message Type(MT) 2~5에 포함되어 방송되도록 설계되었다. 이러한 이유로 MT 2~5는 현재 SBAS 정지궤도위성이 방송하는 전체 메시지의 50% 이상을 차지하고 있으며, SBAS 사용자는 매초 PRC를 수신할 수 없기 때문에 발생하는 PRC 시간지연 오차를 보상하기 위해 사용자 수신기는 PRC의 시 변화율인 RRC(Range-Rate Correction)을 계산하여 보상해야 한다. 하지만

2000년 5월 2일 공식적으로 고의잡음이 해제되었음에도 불구하고 현재 운용 중인 모든 SBAS 시스템은 초기 설계를 그대로 유지하고 있다. 따라서 본 논문에서는 SBAS 항법성능 향상 및 다중위성군 SBAS를 위한 SBAS 메시지 Bandwidth 확보 등 현 SBAS 시스템의 효율을 높일 수 있는 두 가지 방안을 제시하였고, 제시한 방안을 적용 전후의 SBAS 항법 성능을 비교분석 하였다. 첫 째, SBAS 보정정보 생성 시 RRC를 사용하지 않는 것이다. 둘 째, SBAS 메시지 Bandwidth 확보를 위해 Fast Correction MT 2~5를 제거하는 대신 MT 2~5에 포함된 PRC를 MT 25에 포함시키는 것이다. 미국에 위치한 기준국 관측데이터와 Wide Area Augmentation System(WAAS) (Bunce 2013) 메시지에 제시한 방안을 적용하기 전후의 SBAS 항법 성능을 비교한 결과, 수평오차는 각각 0.3955m/0.3786m (RMS), 수직오차는 각각 0.6113m/0.5863m (RMS)로 SBAS 메시지 Bandwidth를 50%이상 확보하였을 뿐만 아니라 Fast Correction MT 2~5를 제거하였음에도 불구하고 큰 성능저하가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

2. RRC 및 Fast Correction Message Type 2~5 제거

RRC 및 Fast Correction MT 2~5를 제거하기 위해 다음과 같은 방법을 활용하였다. 첫 째, Fast Correction 생성 시 필요한 RRC의 값을 0으로 설정함으로써 SBAS 보정정보에서 RRC를 제거하였다. 둘 째, Fast Correction MT 2~5를 제거하기 위해서 Fig. 1과 같이 Receiver INdependent Exchange(RINEX) 포맷의 SBAS 방송 메시지를 재 생성하였으며, 그 과정은 다음과 같다. 가장 최근에 수신된 Message Type 2~5에 포함된 PRC를 second로 단위 변환하여 Message Type 25의 위성 시계오차 성분에 포함시킨 후 해당 PRC의 값을 0으로 설정함으로써 Fast Correction Message Type 2~5가 제거된 RINEX 포맷의 SBAS 방송 메시지를 획득하였다.

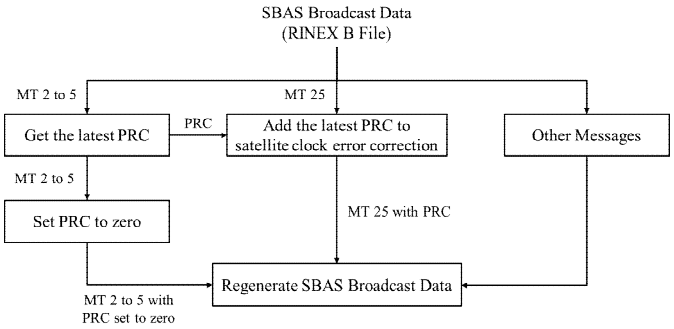


Fig. 1. Regeneration of SBAS broadcast messages.

3. 실험 결과

3.1 사용자 위치오차

L1 SBAS Message Type 2~5 제거에 따른 SBAS 측위 성능을 분석하기 위한 GNSS 관측데이터로는 미국에 위치한 P031 기준국에서 2016년 9월 21일, 24시간 동안 수집된 RINEX 포맷의 GPS 관측데이터를 사용하였다. 또한, SBAS 보정정보 생성에 필요한 SBAS 메시지는 SErver Retrieve and Export NAvigation Data FTP 서버를 제공하는 RINEX 포맷의 WAAS(PRN 135) 메시지를 사용하였다. Table 1과 같이 RRC 및 FC 적용 여부에 따른 총 3가지 Case 별 보정정보를 생성하고 이를 적용하여 SBAS 측위 성능 분석을 수행하였다.

Table 1. 3 cases depending on whether RRC and FC are applied.

	RRC	FC
Case 1	O	O
Case 2	X	O
Case 3	X	X

Fig. 2는 각 Case 별 보정정보 적용 후 사용자 위치오차를 나타낸 것이고, 표 2는 수평 및 수직오차의 최대값, RMS 값을 정리한 것이다. Case 1과 Case 2의 사용자 위치오차 결과 비교를 통해 RRC를 적용하지 않은 경우, 사용자 수평 및 수직오차가 각각 0.015m/0.022m 감소하여 위치 정확도가 소폭 향상된 것을 확인하였다. 또한, Case 3의 사용자 위치오차 결과를 통해 Fast Correction를 제거하더라도

SBAS 사용자 위치 정확도에는 큰 영향을 끼치지 않음을 확인하였다.

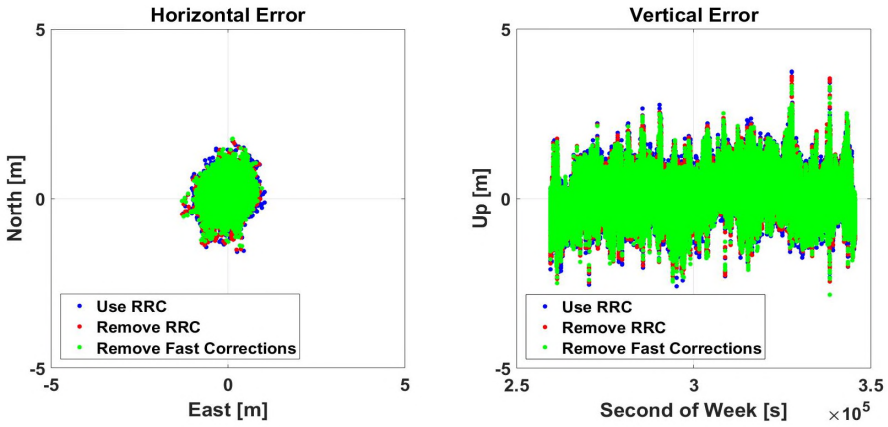


Fig. 2. User position error.

Table 2. RMS and maximum value of user position errors.

	RMS (m)		Max (m)	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Case 1	0.3955	0.6113	1.6980	3.7525
Case 2	0.3793	0.5890	1.6984	3.5867
Case 3	0.3786	0.5863	1.7824	3.3312

3.2 SBAS 메시지 Bandwidth

각 Case 별 보정정보 적용에 따른 SBAS 사용자 위치오차 결과를 통해 SBAS 사용자 측위 성능의 큰 저하없이 기존 SBAS 메시지 중 Message Type 2~5를 제거할 수 있음을 확인하였다. Message Type 2~5는 현재 운용 중인 모든 SBAS의 방송 메시지 중 50% 이상을 차지하고 있으므로, Message Type 2~5 제거한다면 Fig. 3과 같이 SBAS 메시지 Bandwidth의 약 50% 이상을 절약할 수 있다. 이렇게 확보된 SBAS 메시지 Bandwidth는 GLONASS, Galileo 등 GPS이외의 Constellation에 대한 보정정보 제공에 활용될 수 있다. Fig. 4는 기존 WAAS 메시지에서 Message Type 2~5를 제거하고, GLONASS 보정정보 제공을 위해 Message Type 25, 25 등을 할당한 후의 SBAS 메시지 방송비율을 나타낸 것이다. Message Type 2~5의 역할인 UDRE 정보 제공을 대신하기 위한 Message Type 6가 추가적으로 할당되어야 하므로 메시지 Bandwidth의 약 17%가 사용된다. 그리고 GLONASS 위성군을 추가하는 데 메시지 Bandwidth의 약 17%를 사용하더라도 Bandwidth의 15% 이상이 남아있으므로 다중위성군 보정정보 제공을 위한 적절한 메시지 스케줄링 기법을 활용한다면 3개의 GNSS 위성군에 대한 보정정보 제공이 가능할 것으로 예상된다.

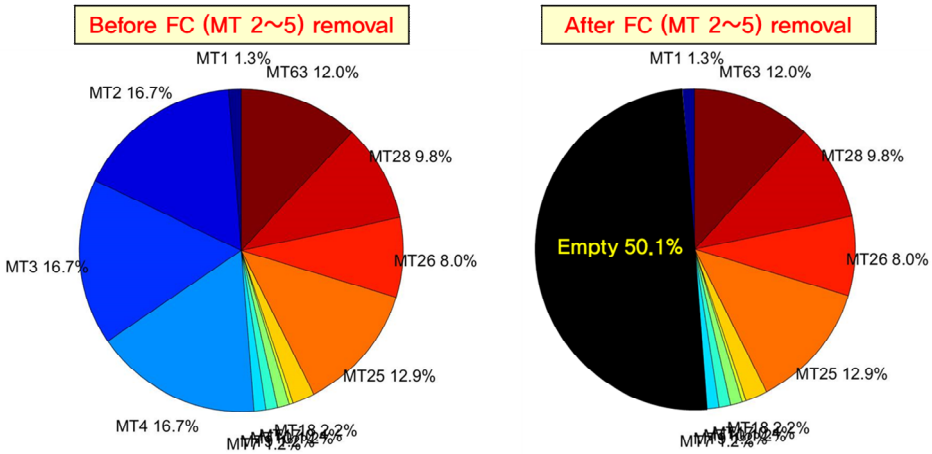


Fig. 3. Relative occurrence of SBAS messages before and after removing MT 2~5.

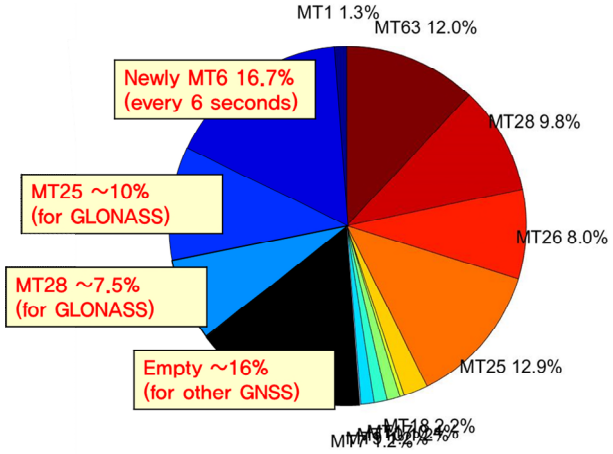


Fig. 4. Relative occurrence of modified WAAS messages MT 2~5.

4. 결 론

본 논문에서는 SBAS 항법성능 향상 및 다중위성군 SBAS 지원을 위한 SBAS 메시지 Bandwidth 확보 등 현 SBAS 시스템의 효율을 높일 수 있는 두 가지 방안을 제시하였고, 제시한 방안을 적용 전후의 SBAS 항법 성능을 비교분석 하였다. 미국에 위치한 기준국 관측데이터와 WAAS 메시지에 제시한 방안을 적용하기 전후의 SBAS 항법 성능을 비교한 결과, RRC를 적용하지 않는 경우, RRC를 적용한 경우에 비해 수평 및 수직오차가 각각 0.015m/0.022m 감소하여 위치 정확도가 소폭 향상된 것을 확인하였다. 또한, Fast Correction을 적용 전후의 수평오차는 0.3955m/0.3786m (RMS), 수직오차는 각각 0.6113m/0.5863m (RMS)로 Fast Correction MT 2~5를 제거했음에도 불구하고 SBAS 사용자 위치 정확도 측면에서는 큰 성능저하가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 이는 Fast Correction MT 2~5 제거를 통해 SBAS 메시지 Bandwidth를 약 50% 이상 절약할 수 있음을 의미하며, 이렇게 확보된 Bandwidth는 GLONASS, Galileo 등 GPS 이외의 위성군에 대한 보정정보 제공에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

REFERENCES

Bunce, D. 2013, Wide Area Augmentation System (WAAS) Program Status Updated, Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2013), September 2013, Nashville, TN, pp.2299-2326

RTCA 2006, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA publication DO-229D.

Walter, T., Blanch, J., & Enge, P. 2012, L1/L5 SBAS MOPS to Support Multiple Constellations, Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012), September 2012, Nashville, TN, pp.1287-1297

GAST D GBAS의 시스템 안전성 검증을 위한 확률적 전리층 위협 평가

윤문석, 김동우, 이지윤*
한국과학기술원 항공우주공학과

Probabilistic Risk Assessment of Ionospheric Gradient Threats for GAST D GBAS System Safety Validation

Moonseok Yoon, Dongwoo Kim, Jiyun Lee*
Department of Aerospace Engineering, KAIST

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
연락처 : 042-350-3784 이메일 : jiyunlee@kaist.ac.kr

Abstract: 전리층 공간 비상관성(ionospheric spatial decorrelation or gradient)은 Ground-Based Augmentation System (GBAS) 사용자에게 큰 잠재적 무결성 위협을 초래할 수 있다. 특히 GBAS Approach Service Type D (GAST D) 급 정밀접근 및 착륙 시스템 구현을 위해서는 해당 위협에 대한 영향 평가 및 시스템 안전성 검증이 반드시 수행되어야 한다. 기존의 시스템 안전성 검증 접근 방법인 ‘ specific risk analysis’는 전리층 위협 모델 내에서 발생 가능한 최악의 전리층 위협만을 이용하여 보수적으로 무결성 위협을 평가할 수 있었지만, 최악의 가정으로부터의 보수성으로 인해 무결성 요구조건을 만족시키기 힘든 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 GAST D GBAS 사용자에게 발생가능 한 전리층 위협들에 대해서 시스템 안전성을 확률적으로 검증할 수 있는 방법론을 제시한다. 제시된 방법론은 Standards and Recommended Practices (SARPs) 무결성 요구조건의 확률적 정의를 기준으로 새롭게 고안된 Hazardously Misleading Information (HMI)의 확률 계산 모델을 골자로 하여 전리층 위협에 대한 안전성을 평가한다. HMI 확률 계산은 특정 차분 오차 이상을 나타낸 무수한 전리층 위협 표본들에 대한 모니터들의 불검출율의 합계에 weighting factor 인 표본 당 발생 확률을 적용하여 수행된다. 10^9 이상의 전리층 위협 시나리오 표본들은 각 전리층 위협 파라미터의 경험적 확률 모델을 입력변수로 하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 출력된다. 또한 각 시나리오는 시뮬레이션 종료 시 항공기가 전리층의 파면(front) 내에 위치하게 함으로써 더 최악의 상황으로 연출되었으며, 이를 이용하여 안전성 평가에 대한 보수성을 부여하였다. 제안된 방법론을 적용할 시 잠재적 전리층 위협에 대해서 조금 더 현실적인 평가가 가능 할 것이다. 뿐만 아니라 분석된 결과는 주어진 전리층 환경에서 GBAS 지상시스템 구성 및 입지 조건에 대한 중요한 통찰력을 제공해 줄 수 있을 것이다.

Keywords: GAST D GBAS, ionospheric spatial decorrelation, ionospheric gradient impacts, probabilistic risk assessment

1. 서 론

Ground-Based Augmentation System (GBAS)는 항공기 사용자에게 오차보정 정보 및 무결성 정보를 지상시스템에서 제공하여, 항공기의 정밀 공항 접근 및 자동 착륙을 가능케 한다. GBAS 시스템 무결성 요구조건을 만족 시키기 위해서는 지상시스템에서 측위에 위협되는 요소들을 지속적으로 감시/검출 해야 한다. 특히 극심한 전리층 공간 비상관성(Ionospheric Spatial Decorrelation)은 GBAS 사용자와 지상시스템 사이의 전리층 환경을 상이하게 하며, 만약 지상시스템에서 이를 감지하지 못할 경우 사용자에 큰 위협을 초래할 수 있다 (Lee et al. 2011a,b). 특히 CAT II/III 급 정밀 접근 및 이착륙을 지원하는 GBAS Approach Service Type D (GAST D) 구현을 위해서는 전리층 위협에 대한 포괄적인 영향 평가 및 시스템 안전성에 대한 검증이 반드시 수반되어야 한다.

기존의 전리층 위협에 대한 시스템 안전성 접근 방법인 ‘ specific risk analysis’의 경우에는 전리층 위협 모델내의 수많은 파라미터 조합 중 발생 가능한 최악의 전리층 위협들만을 이용하여 보수적인 무결성 위협 평가를 수행한다 (Lee et al. 2011b, Seo et al. 2012). 그러나 전리층 위협에 대한 보수적인 가정, 즉 전리층 기울기가 모니터에 의해 검출되지 않는다는 최악의 가정으로 인해 무결성/가용성 등에 대한 시스템 성능 평가가 현실적으로 이루어지지 않는다. 결과적으로 성능요구조건을 충족시키기 힘든 한계점이 발생한다. 이와 같은 이유로 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)에서는 Standards and Recommended Practices (SARPs)를 통해 GBAS GAST D의 무결성 요구조건에 대한 확률적인 정의를 제시하고 있다 (CAT II/III Subgroup (CSG) Rapporteur 2015). 이를 활용하여 본 연구에서는 전리층 GAST D GBAS 사용자에게 발생가능 한 전리층 위협들에 대해서 시스템 안전성을 검증할 수 있는 확률모델정립/방법론을 제시하고 이를 기반으로 예비결과를 도출하였다.

2. 몬테카를로 시뮬레이션(모의시험) 구성

전리층 공간기울기의 거동은 CONUS 위협 모델과 같이 반 무한의 Wedge 형태로 가정하여 모사한다. 고려된 전리층 경사면 파라미터는 기울기, 폭, 속도, 이동 방향, 발생지점이다. 뿐만 아니라 항공기 사용자의 파라미터도 포함되어야 한다. 항공기 사용자의 거동은 속도, 이동방향 및 시작지점으로 표현된다. 마지막으로 GBAS 지상시스템 위치 및 전리층모니터 관련 파라미터도 포함되어야 한다. 현재 GAST D에서 고려되는 모니터는 Code Carrier Divergence 모니터, Ionospheric Gradient Monitor 모니터 및 Dual Solution Ionospheric Gradient Monitor Algorithm 모니터가 있다. 시뮬레이션에서는 각 모니터의 오검출 확률(시스템 요구사항에서 결정) 및 정상상태의 잡음 통계치 등을 입력변수로써 이용하게 된다.

각 파라미터들은 주어진 거동에 맞추어서 확률모델/결정적 모델로 기술되며, 특히 확률 모델의 경우 난수생성기(Random Generator)를 이용하여 sampling 되어 시뮬레이션에서 적용된다. 주어진 파라미터 세트을 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, 주어진 시뮬레이션에서는 각 모니터의 최소 미검출 확률 및 Landing Threshold Point (LTP)에서의 사용자 오차를 계산하고, 이를 Local Storage에 저장하게 된다.

3. 무결성 위협의 확률적 평가

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 생선 된 수 많은 전리층 파라미터 시나리오들의 최소 미검출 확률 및 LTP 오차 정보들은 무결성 손실에 대한 확률적 변환에 이용된다 된다. ICAO SARPs 공시된 GBAS GAST D의 무결성 요구조건 대한 확률적인 정의는 다음과 같다 (CAT II/III Subgroup (CSG) Rapporteur 2015).

" (a) 전리층 기울기에 기인하고, (b) 2.75 m 보다 크며, (c) GBAS 지상시스템에 검출되지 못하는, 30초 Carrier-Smoothed-Code 오차 발생확률은 1×10^{-9} 보다 낮아야 한다."

이를 기반으로 새로운 무결성 손실에 대한 확률모델을 식 (1)과 같이 정립하였다 (Pullen et al. 2016).

$$P_{HMI} = P_{prior}\frac{1}{N_{tot}}\sum_{i\in\psi} P(MD|\theta_i) \tag{1}$$

P_{HMI} 는 전리층 위협에 대한 무결성 위협확률을 의미하며, P_{prior} 는 전리층 위협의 사전확률을 의미하며, N_{tot} 는 총 생성된 표본의 개수, $P(MD|\theta_i)$ 는 부분집합 ψ 내 주어진 특정 전리층 시나리오 θ 에서의 모니터 미검출 확률을 나타낸다. 즉, 총 표본 내 부분집합 ψ 에서의 최소 모니터 미검출 확률들을 합하고, N_{tot} 로 나누어 평균을 취하는 것이다. 여기서 부분집합 ψ 의 구분은 LTP 오차를 기준으로 한다. 이때 기준 LTP 오차 크기는 SARPs 요구사항과 마찬가지로 2.75 m로 설정한다.

4. 전리층 위협에 대한 안전성 평가의 예비 결과

본 Section에서는 제시한 방법론을 활용하여 전리층 위협에 대한 안전성 평가를 수행하고, 이에 대한 예비결과를 도출하였다. 시뮬레이션의 설정은 다음과 같다. GBAS 지상시스템은 미국의 Newark 공항에 위치해있다고 가정하였으며, Radio Technical Commission for Aeronautics 24 위성군 (RTCA 2006)을 활용하였다. 각 모니터 파라미터는 참고문헌 (Reuter & Weed 2016)에 나와있는 수치를 적용하였다. 보수적 평가를 위해 전리층 위협의 사전확률은 P_{prior} 는 1로 설정하였다.

그림 1은 주어진 시뮬레이션 설정에서의 전리층 위협에 대한 무결성 손실 확률을 나타내고 있다. 해당 그림은 x 축의 오차크기를 기준으로 하여 부분집합 ψ 를 정의하고, P_{HMI} 를 계산하여 해당 기준 오차값에 수치를 표기하였다. 보는 바와 같이 2.75 m에서의 확률 크기는 6.5026e-12로써 해당 오차에서의 무결성 요구조건의 확률 값인 1e-9 값에 잘 유계되는 것으로 확인하였다. 지금 보여지는 결과는 예비 결과에 해당하며, 실제 운용에서 고려되는 여러 가지 시나리오를 채택하여 조금 더 현실적인 평가를 수행해야 할 것이다.

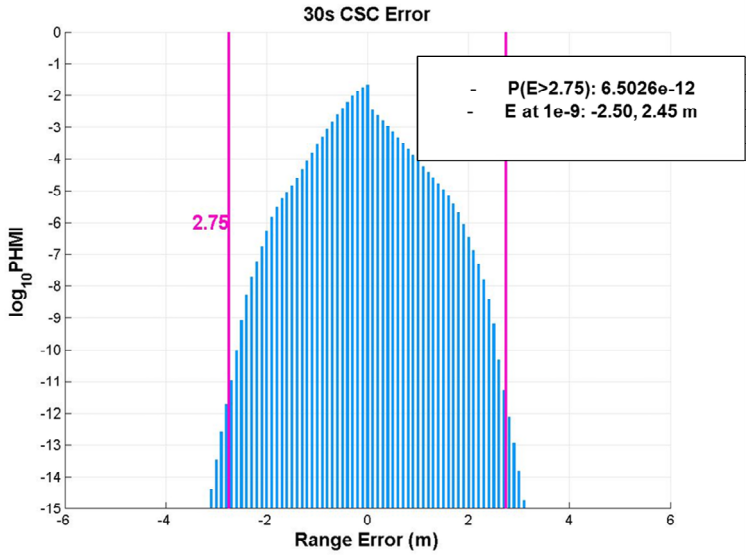


그림 1. P_{HMI} histogram.

5. 결 론

본 연구에서는 GAST D GBAS의 운용을 위한 전리층 위협의 안전성 평가기법을 설계하였다. ICAO SARPs의 무결성 요구조건의 확률적 정의를 기반하여, 전리층 위협에 대한 확률 모델을 정립하였으며, 이를 위한 몬테카를로 시뮬레이터도 구성하였다. ICAO에 고시된 GAST D GBAS 모니터 상세정보를 적용하여, 미국 Newark공항에서의 전리층 위협을 평가하였다. 평가 결과는 ICAO SARPs 무결성 요구조건에 잘 충족하는 것으로 확인하였다. 본 연구 결과는 예비 연구 결과이며, 더 현실적 평가를 위해서 많은 전리층 데이터 기반의 정밀한 파라미터 모델링을 수행할 것이다. 향후 제시된 방법을 활용하여 각 지역별 주어진 전리층 환경에서의 위협 평가, 전리층 모니터 및 위협 완화 기법 설계 등 폭넓게 활용이 가능할 것이라 예상 된다.

REFERENCES

CAT II/III Subgroup (CSG) Rapporteur 2015, ICAO Working Paper 3 Proposed Amendments to Annex 10: Ground-Based Augmentation System (GBAS) Provisions, NSP/CSG Meeting 8 to 17 April 2015

Lee, J., Datta-Barua, S., Zhang, G., Pullen, S., & Enge, P. 2011a, Observations of low-elevation ionospheric anomalies for ground-based augmentation of GNSS, Radio Sci., 46(6). https://doi.org/10.1029/2011rs004776

Lee, J., Seo, J., Park, Y., Pullen, S., & Enge, P. 2011b, Ionospheric Threat Mitigation by Geometry Screening in Ground-Based Augmentation Systems, Journal of Aircraft, 48, 1422-1433. https://doi.org/10.2514/1.c031309

Pullen, S., Brenner, M., & Stakkeland, M. 2016, ICAO Information Paper1 Updated Results of Monte Carlo Simulation of Anomalous Ionospheric Impacts on GAST-D GBAS, ICAO GWG Meeting, 15 - 19 August 2016

Reuter, R. & Weed, D. 2016, ICAO Working Paper 3 IGM Validation #1: Worst-Case Method, GWGs/1-IP/3, GWG Meeting, 15 to 19 August 2016

RTCA 2006, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, Rept. DO-229D, Washington, D. C.

Seo, J., Lee, J., Pullen, S., Enge, P., & Close, S. 2012, Targeted Parameter Inflation within Ground-Based Augmentation Systems to Minimize Anomalous Ionospheric Impact, Journal of Aircraft, 49, 587-599. https://doi.org/10.2514/1.c031601

전리층 신틸레이션에 의한 GBAS 지상시스템 오차 분석

선기영, 이지윤*
한국과학기술원 항공우주공학과

Analysis of Ionospheric Scintillation Effects on GBAS Ground System Error

Ki-young Sun, Jiyun Lee
Space Aerospace Engineering Department, KAIST

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
연락처 : 042-350-3784 이메일 : jiyunlee@kaist.ac.kr

Abstract: 전리층 전자밀도의 불균질로 인해 발생하는 전리층 신틸레이션(ionospheric scintillation)은 Global Navigation Satellite System (GNSS)의 신호를 굴절 및 산란시켜 신호의 진폭과 위상에서 급격한 변동을 야기시킨다. 신틸레이션에 의해 변동이 발생한 GNSS 신호는 GNSS 지역보강시스템인 Ground-Based Augmentation System (GBAS)의 오차에 영향을 미치며, 극심한 경우 사이클 슬립(cycle-slip) 및 신호 손실(signal-loss)를 야기하는 등 그 성능을 현저하게 저하시킨다. 따라서 본 연구에서는 전리층 신틸레이션이 GBAS 오차에 미치는 영향 분석 및 그의 완화기법 설계를 위한 기초 연구로서, 전리층 신틸레이션에 따른 지상시스템의 다중경로 및 환경 오차에 대한 영향 분석의 방법론을 제시하였다. 해당 방법론은 신틸레이션이 강한 극지방 혹은 지자기 적도 부근의 지상국에서 GPS L1(1575.42MHz), L2(1227.60MHz) 이중 주파수 데이터를 획득하여, Long-term Ionospheric Anomaly Monitor (LTIAM)을 통해 해당 지상국의 다중경로 및 환경 오차를 추출하여 분석에 활용한다. 전리층 신틸레이션은 그 활동 정도의 정량화를 위해 GNSS 신호의 진폭 신틸레이션 지수인 S4를 사용한다. 주어진 신틸레이션의 활동 크기로부터 GBAS 지상시스템 오차가 무결성 파라미터에 의해 유계하는 정도를 산출할 수 있으며, 이를 바탕으로 신틸레이션에 의한 GBAS 지상시스템 오차의 심화 정도를 완화할 수 있다.

Keywords: GBAS, ionospheric scintillation, amplitude scintillation, S4 index, ground system error

1. 서 론

전리층 신틸레이션(ionospheric scintillation)이란 Global Satellite Navigation System (GNSS) 신호가 전리층의 전자밀도가 불균질한 구간을 통과하면서 그 진폭과 위상에 교란이 나타나는 현상으로, 특히 태양의 극대기에 극광대(auroral zone) 및 지자기 적도(magnetic equator) 지역 부근에서 주로 활발히 발생한다. GNSS 신호가 전달되는 경로에 전자밀도가 불균질한 구간이 포함되어 있거나, 시간에 따라 경로상의 전자밀도 분포가 빠르게 변하면 해당 신호의 위상, 진폭값에 영향을 미쳐 코드와 반송파 측정치의 정확성(accuracy)을 저하시킨다 (Carrano et al. 2012). 뿐만 아니라 신틸레이션이 극심할 경우, 신호 페이딩(signal fading)이 발생하여 해당 신호가 수신기의 추적 루프(lock loop)를 벗어나 사이클슬립(cycle-slip) 및 신호 손실(signal-loss)까지 이르게 할 수 있어 항법 시스템의 가용성(availability) 저하에도 큰 영향을 미친다 (Conker et al. 2003, Fujiwara & Tsujii 2016). 이와 같이 전리층 신틸레이션은 항법 시스템의 정확성, 가용성을 포함한 성능을 크게 저하시킬 수 있기 때문에 신틸레이션이 항법 시스템의 다양한 오차에 미치는 영향 및 그의 완화 기법을 설계하기 위한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 전리층 신틸레이션으로 인한 항법 시스템 위치 정보의 정확성 저하에 미치는 영향 및 그 완화기법 설계를 위한 기초 연구로서 신틸레이션이 GNSS 지역보강시스템인 Ground-Based Augmentation System (GBAS)에 미치는 영향을 완화하는 기법에 대한 방법론을 제시하였다.

2. 전리층 섬광 지수(S4) 계산

전리층 신틸레이션은 크게 나타나는 양상에 따라 진폭 신틸레이션(amplitude scintillation)과 위상 신틸레이션(phase scintillation)으로 분류할 수 있다. 본 연구에서 활용한 데이터는 저위도 부근의 에티오피아 지역에서 획득한 데이터로, 해당 지역은 주로 위상 신틸레이션보다 진폭 신틸레이션이 더 활발하게 발생한다 (Datta-barua et al. 2003). 따라서 본 연구에서는 전리층 신틸레이션의 활동을 진폭의

신틸레이션 지수인 S4 지수로 정량화하여 분석에 활용하였다.

S4 지수는 신호 강도(Signal Intensity, SI)의 표준편차를 표준화한 값으로, 60초 간격으로 신호 강도의 평균값을 식 (1)를 이용하여 계산하였다.

$$S_4 = \sqrt{\frac{<SI^2> - <SI>^2}{<SI>^2}} \qquad (1)$$

진폭 신틸레이션을 계산하기 위해 필요한 신호 강도(SI)는 수신기로 획득한 신호 세기값에 필터링을 거친 값을 나누어 계산한다. 본 연구에서는 차단주파수를 0.1Hz으로 설정한 6차 버터워스(butter-worth) 대역 필터링을 이용하여 신호 강도의 섭동 세기를 구할 수 있었다 (Van Dierendonck & Hua 2001).

신호를 송신하는 위성의 고도가 낮을수록 전리층 상의 더 긴 경로를 통과하기 때문에 신호의 세기는 위성의 고도에 따른 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 전리층 활동에 의한 진폭 신틸레이션을 제외한 다른 요인의 영향을 줄이기 위해 위성의 고도가 10도 미만인 데이터는 제외하여 분석을 진행하였다. 또한 10도 이상의 데이터에 대해서도 위성 신호가 지나는 경로의 경사 성분이 미치는 영향을 줄이기 위해 식 (2)와 같은 함수를 통해 전리층의 활동을 정량화한 S4 지수를 추출할 수 있었다.

$$MF = \frac{1}{\cos(\sin^{-1}((Re/Re+h_{iono}))\cdot\cos(el))} \qquad (2)$$

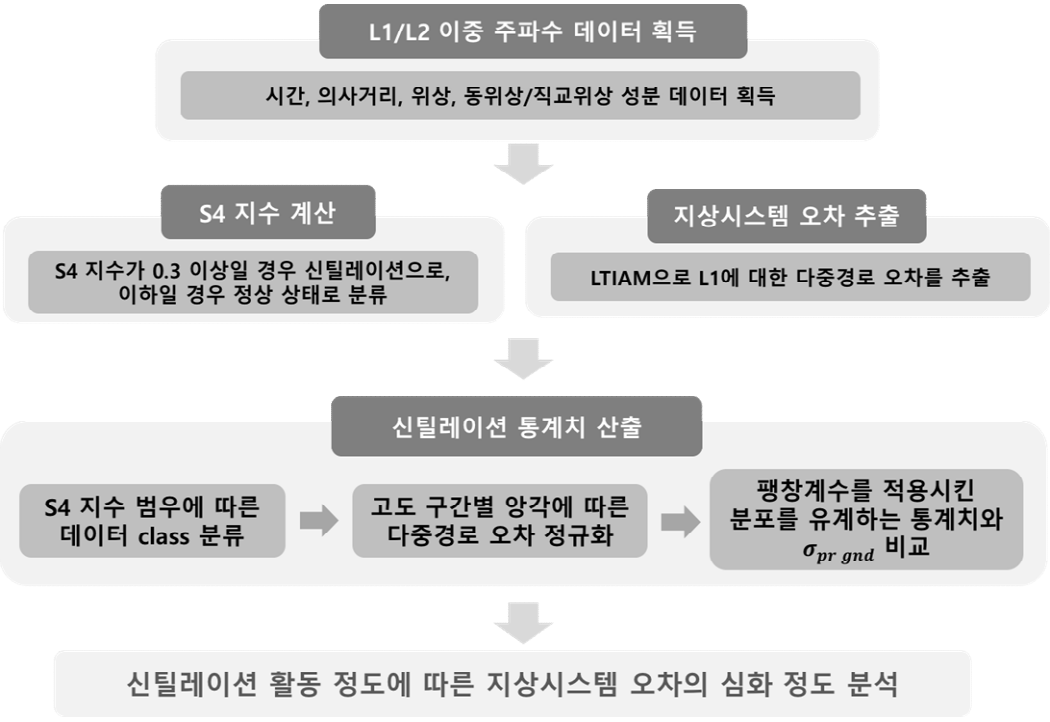


Fig. 1. 신틸레이션에 의한 지상시스템 오차 심화 정도 분석 방법론.

3. GBAS 지상시스템 오차에 대한 신틸레이션의 영향 분석 방법론

본 연구에서는 Fig. 1의 흐름에 따른 신틸레이션 영향 분석 방법론을 제안한다. 신틸레이션의 활동에 대해 GBAS 지상시스템 오차가 심화되는 정도를 분석하기 위해, 추출한 S4 지수를 0~0.2, 0.2~0.4, 0.4~0.6의 범위로 분류하여 각 범위 구간에 따라 확률 분석을 실행한다.

신틸레이션의 활동 정도는 신호 진폭을 정량화한 진폭의 신틸레이션 지수인 S4 지수를 이용하며, Long-term Ionospheric Anomaly Monitor (LTIAM) (Jung & Lee 2012)으로 그에 따른 다중경로 오차를 추출한다. 신틸레이션이 수반된 데이터 추출을 위해 저위도 또는 고위도에 위치한 지상국에서 획득한 코드와 반송파 측정치는 LTIAM을 이용하여 이중 주파수에 대해 식 (3)으로 해당 지상국에서의 다중경로 오차를 획득할 수 있다.

$$MP1 = \rho_{L1} - (1 + \frac{2}{\gamma - 1})\phi_{L1} + \frac{2}{\gamma - 1}\phi_{L2} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (4)$$

S4 지수를 서로 다른 범위 구간으로 나누어 분류한 후, 해당 구간에 대해 다중경로 오차값을 위성의 고도 구간에 따라 정규화한다. 그리고 고도에 대한 다중경로 오차의 정규 분포를 유계하지 않는 데이터를 모두 유계할 수 있도록 팽창계수를 적용시켜 모든 데이터를 유계하기 위한 통계치를 추출할 수 있다. 이렇게 신틸레이션의 효과를 포함한 다중경로 통계치를 GBAS 지상시스템에서 방송해주는 무결성 정보기반 통계치인 σ_{pr_gnd} (RTCA 2008, Lee et al. 2011) 계산에 적용시킨다. 이를 바탕으로, GBAS 지상시스템에서 위치정보를 방송할 때 전리층 보정 정보로 해결할 수 없는 신틸레이션의 효과를 σ_{pr_gnd} 에 보수적으로 포함시킬 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 신틸레이션 활동에 따라 GBAS 지상시스템 오차가 심화되는 정도를 완화하기 위한 기법을 설계하였다. 전리층 보정 정보로는 해결할 수 없는 신틸레이션의 영향을 보정하기 위해, 고도에 따른 정규분포를 벗어나는 데이터를 모두 포함한 다중경로 통계치를 GBAS 지상시스템에서 방송해주는 σ_{pr_gnd}에 포함시켜 신틸레이션의 영향을 보수적으로 보정할 수 있다.

고안된 방법론은 지자기 적도 부근에 위치한 에티오피아 바히르다르의 msbd01 지상국으로부터 획득한 2013년 4월 11일의 데이터를 처리할 예정이다. 더 나아가 저위도 및 고위도 지역에 위치한 다양한 지상국의 데이터를 처리하여 신틸레이션에 의한 GBAS 정보 오차의 명확환 관계를 정립하고, 이를 바탕으로 GBAS에서 신틸레이션 영향을 완화할 수 있는 기법을 고안할 예정이다.

REFERENCES

Carrano, C., Groves, K., & Caton, R. 2012, The effect of phase scintillations on the accuracy of phase screen simulation using deterministic screens derived from GPS and ALTAIR measurements, Radio Science, 47, RS0L25. https://doi.org/10.1029/2011RS004958

Conker, R. S., El-Arini, M. B., Hegarty, C. J., & Hsiao, T. 2003, Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System availability, Radio Science, 38, 1-1-1-23. https://doi.org/10.1029/2000RS002604

Datta-Barua, S., Doherty, P. H., Delay, S. H., Dehel, T., & Klobuchar, J. A. 2003, Ionospheric Scintillation Effects on Single and Dual Frequency GPS Positioning, ION GPS/GNSS, September 9-12, 2003, Portland, OR, pp.336-346

Fujiwara, T. & Tsujii, T. 2016, GBAS Availability Assessment and Modeling of Ionospheric Scintillation Effects, Navigation: Journal of The Institute of Navigation, 63, 405-413. https://doi.org/10.1002/navi.160

Jung, S. & Lee, J. 2012, Long-term ionospheric anomaly monitoring for ground based augmentation systems, Radio Science, 47, RS4006. https://doi.org/10.1029/2012RS005016

Lee, J., Seo, J., Park, Y., Pullen, S., & Enge, P. 2011, Ionospheric Threat Mitigation by Geometry Screening in Ground-Based Augmentation Systems, Journals of Aircraft, 48, 1422-1433. https://doi.org/10.2514/1.C031309

RTCA 2008, Minimum Operational Performance Standards for GPS Local Area Augmentation System Airborne Equipment, Rept, DO-253C, Washington, D.C.

Van Dierendonck, A. J. & Hua, Q. 2001, Measuring Ionospheric Scintillation Effects from GPS Signals, ION 57th Annual Meeting/CIGTF 20th Biennial Guidance Test Symposium, June 11-13, 2001, Albuquerque, NM, pp.391-396



[A7] 보강시스템 4

안드로이드 N 기반 스마트기기에서 제공하는 원시 측정치를 이용한 RINEX 관측 데이터 변환 어플리케이션 개발

신동현[1], 박병운[1*], 이종민[2], 강상구[2], 차득기[2], 윤동환[3]
[1]세종대학교 항공우주공학과, [2]LX국토정보공사 공간정보연구원, [3]한국정보통신기술협회

Development of RINEX Observation Converting Application based on Raw Measurement of Android N Smart Devices

Dong-Hyun Shin[1], Byung-Woon Park[1*], Jong-Min Lee[2], Sang-Gu Kang[2], Deuk-Gi Cha[2], Dong-Hwan Yoon[3]
[1]Department of Aerospace Engineering, Sejong University, [2]Spatial Information Research Institute, Korea Land and Geospatial Informatix Corporation, [3]Telecommunications Technology Association

주소 : 서울 특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 1001B 호 항법시스템연구실
연락처 : 02-3408-4385 이메일 : byungwoon@sejong.ac.kr

Abstract: 안드로이드 N 기반 스마트기기의 코드 및 반송파 측정치를 사용하기 위해서는 먼저 스마트기기의 GPS 원시데이터를 획득하는 과정이 선행되어야 한다. GPS 원시데이터 라이브러리에서 획득할 수 있는 파라미터들을 이용하여 코드 및 반송파 측정치를 산출할 수 있다. 코드 측정치는 주어진 시각정보를 이용하여 일반적으로 알려진 코드측정치 추정과 같은 방식으로 산출할 수 있고, 반송파 측정치는 안드로이드 N 기술문서에 서술된 바와 같은 방식으로 제공되는 값을 사용한다. 본 논문에서는 안드로이드 N 기반 스마트기기에서 제공하고 있는 원시 데이터를 이용하여 코드 및 반송파 측정치를 산출하고 RINEX 관측데이터 2.11 포맷으로 변환하여 제공하는 어플리케이션을 개발하여 그 기능에 대해 설명하였다. GPS 코드 측정치 및 반송파 측정치 계산 후에 RINEX 표준 포맷에서 정의하는 구조에 맞추어서 해당 정보들을 변환한다. RINEX는 수신자가 생성한 측정 값을 관리하고 처리할 수 있는 표준 형식이며, 수신기와 컴퓨터 응용프로그램의 제조업체에 크게 구애 받지 않고 다양한 프로그램의 오프라인 처리 기능을 제공하기 때문에 원시 측정치 교환에 효율적이다.

Keywords: Android N, GPS, smart devices, RINEX

1. 서 론

안드로이드 N 스마트기기는 사용자가 코드 및 반송파 측정치를 직접 산출하는데 필요한 파라미터들을 제공한다. 코드 측정치는 시각과 관련된 파라미터들을 이용하여 산출할 수 있고, 반송파 측정치는 계산된 값 자체를 제공하고 있다. 원시데이터를 이용하여 산출한 코드 및 반송파 측정치 교환을 위해서는 수신기와 컴퓨터 응용프로그램에 구애 받지 않는 RINEX 표준 포맷이 효율적이다. 따라서 본 논문에서는 RINEX 표준 포맷에서 정의하는 구조에 맞추어 산출한 원시 측정치를 RINEX 관측데이터로 변환하는 어플리케이션을 개발하였다.

```
Call LocationManager
LocationManager manger = (LocationManager) getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE);

Select LocationProvider
String provider = LocationManager.GPS_PROVIDER;
String provider = LocationManager.NETWORK_PROVIDER;
String provider = LocationManager.PASSIVER_PROVIDER;
String provider = manager.getBestProvider(new Criteria(), true);
```

Fig. 1. Location nanager.

2. GPS 원시 데이터 획득

원시데이터 획득을 위해서는 몇 가지 과정을 선행하여야 한다. 먼저 안드로이드 위치 권한을 추가하여 요청해야 한다. 안드로이드 어플리케이션이 위치 정보를 사용하기 위해서는 이와 관련된 권한들이 필요하며, 이들은 반드시 AndroidManifest.xml 파일에 추가되어야 한다(Google Android 2017a).

위치서비스와 관련된 권한은 ACCESS_COARSE_LOCATION과 ACCESS_FINE_LOCATION이 있는데, 후자에 GPS가 포함되어 있기 때문에 해당 권한을 요청한 후 Fig. 1과 같이 LocationManager 시스템 서비스에 접근하여 제공자로 선택한다. 그 후 requestLocationUpdates 메소드를 사용하여, 위치 업데이트 간 최소 시간 간격과 최소 거리를 설정할 수 있다. 설정한 업데이트 간격을 통해 원시데이터를 제공하는 라이브러리에 접근하여 코드 및 반송파 측정치를 산출하는 알고리즘을 구현할 수 있다.

3. 코드 및 반송파 측정치 산출

원시데이터 라이브러리에서 획득할 수 있는 파라미터들을 이용하여 코드 및 반송파 측정치를 계산할 수 있다. 그 중 GnssMeasurement와 GnssClock는 각각의 측정치 계산에서 가장 중요한 클래스이다. 코드 측정치는 라이브러리에서 제공하는 시각정보를 이용하여 Fig. 2의 일반적인 코드 측정치 추정과 같은 방식으로 산출할 수 있다.

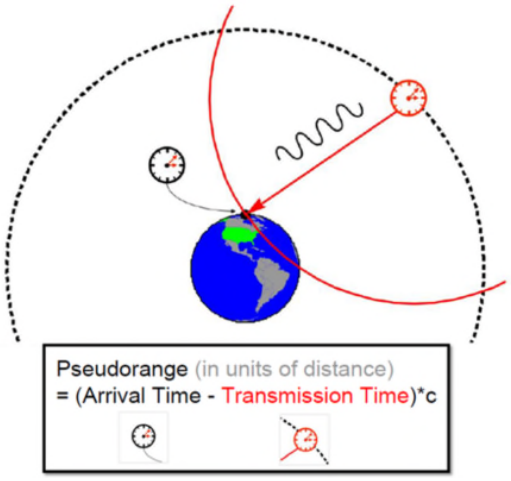


Fig. 2. Pseudorange calculation.

수신기에서 원시데이터를 수신한 시간(Arrival Time)과 위성에서 원시데이터를 송신한 시간(Transmission Time) 정보는 모두 라이브러리에서 제공하는 정보들을 이용하여 추정할 수 있다. 원시데이터를 송신한 시간과 관련된 정보는 GnssMeasurement 클래스에서 제공하고 있고, 수신한 시간과 관련된 정보는 GnssClock 클래스에서 제공하고 있다. 하지만 라이브러리에서 제공하고 있는 원시데이터를 수신한 시간 정보(tRx)는 송신한 시간 정보(tTx)와는 다르게 GPS Week 값을 포함하고 있기 때문에 식(1)과 같이 이를 반드시 고려하여 반영해 주어야한다. 여기에 추가적으로 getBiasNanos(), getFullBiasNanos()와 getTimeOffsetNanos() 메소드들 에서 제공하는 시각오차와 관련된 정보를 반영하면 보다 향상된 품질의 코드 측정치를 산출할 수 있다.

$$\text{Arrival Time} = \text{tRx} - \text{GPSWeekNanos} \quad (1)$$

반송파 측정치와 관련된 정보는 GnssMeasurement 클래스에서 제공하고 있다. 대표적으로는 위성과 수신기 사이의 전체 반송파 사이클 수를 제공하는 getCarrierCycles나, RF 위상을 [0.0 1.0] 범위 내의 값으로 제공하는 getCarrierPhase가 있다. 특히 ADR 값은 getAccumulatedDeltaRangeMeters 메소드에서 계산된 값을 제공하고 있는데, 기술문서에서는 식 (2)로 표현하고 있다(Google Android 2017b).

$$\text{Accumulated Delta Range} = -k \times \text{Carrier Phase} \quad (2)$$

4. 관측 데이터 변환 어플리케이션 개발

관측 데이터 변환 알고리즘을 안드로이드 N 플랫폼 기반의 스마트기기 어플리케이션에 구현하여, 스마트기기에서 수신한 위성 항법 신호를 RINEX 관측 데이터 2.11 포맷에 맞추어 내부저장소에 생성하도록 하였다.

Fig. 3은 개발한 어플리케이션의 화면과 동작 순서를 나타낸다. 왼쪽의 메인 화면에서는 간단한 스위치 조작을 통해 스마트 기기의 위치 권한이나 측정치 제공의 On/Off 기능을 제공한다. 오른쪽의

메시지 화면에서는 현재 스마트기기에서 수신하고 있는 위성 항법 데이터에 대한 정보를 보여주고, 최종적으로 Make 버튼을 통해 수신한 항법 데이터를 바탕으로 RINEX 2.11 관측 데이터를 생성할 수 있다. 관측 데이터를 생성하는 과정에서는 Data filter를 통해 위성 조합을 선별하거나 GPS week rollover를 검출한다.

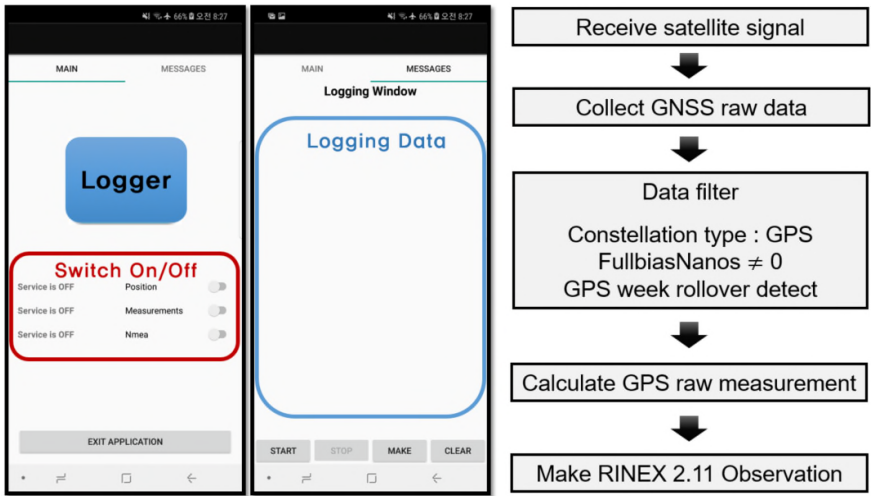


Fig. 3. Logger android application.

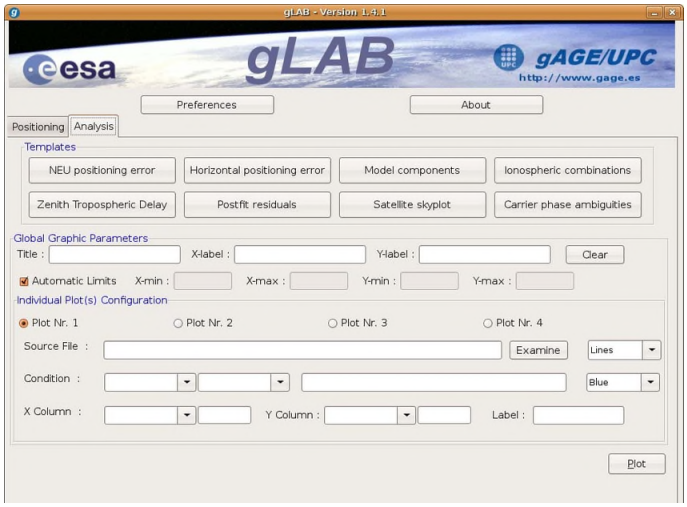


Fig. 4. Open software gLAB.

5. 어플리케이션 검증

어플리케이션을 이용하여 생성한 RINEX 관측 데이터를 검증하기 위해 상용 소프트웨어인 gLAB을 사용하였다(Fig. 4).

직접 생성한 RINEX 2.11 관측 데이터를 gLAB 소프트웨어의 입력 데이터로 사용하여 계산되는 위치 정확도 결과를 확인하였다. gLAB 소프트웨어는 Universitat Politecnica de Catalunya의 Astronomy and Geomatics 연구 그룹이 유럽 우주국 계약 하에 개발한 소프트웨어로써, GNSS 데이터의 처리와 분석에 유용하다. 입력 받은 관측 데이터를 바탕으로 단독 측위나 Precise Point Positioning등의 다양한 기능을 제공한다(gAGE 2017).

Fig. 5와 Table 1의 결과는 2017년 5월 8일 16시 30분부터 약 1시간 30분 동안 수행한 실험에 대한 것이다. 이미 정확한 위치를 알고 있는 세종대 충무관 옥상에서 수신한 위성 항법 신호를 GNSS LabSat Simulator를 이용하여 Record 한 후, Galaxy s8 스마트폰에 Replay 하여 RINEX 2.11 관측 데이터를 생성하였다. 생성한 관측 데이터를 이용하여 연구실에서 사용하고 있는 위치해 산출 알고리즘과 gLAB 상용 소프트웨어에 적용해 보았다. 두 방법 모두 수평은 6m, 수직은 11m 수준의 위치 정확도를 나타낸다.

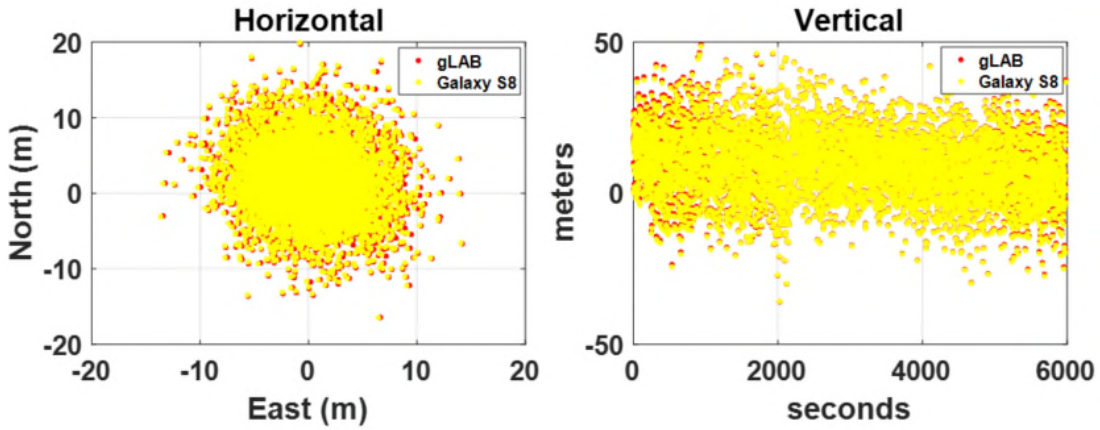


Fig. 5. Test result comparison.

Table 1. Statistical result comparison.

Statistical Results		Max	Mean	STD	RMS	95%
gLAB	Horizontal	19.7465	1.8707	5.8546	6.1458	12.1180
	Vertical	49.1831	9.5621	10.7358	11.7494	26.9335
Galaxy S8	Horizontal	19.9501	1.9115	5.8520	6.1558	12.1319
	Vertical	48.6392	9.2465	10.7299	11.5521	26.6901

6. 결 론

본 논문에서는 안드로이드 N 스마트기기에서 제공하는 원시 데이터를 이용하여 코드 및 반송파 측정치를 산출하고, 이를 이용하여 RINEX 2.11 관측데이터를 생성하는 어플리케이션을 구현하였다. 직접 생성한 관측 데이터 포맷을 연구실에서 기존에 사용하고 있는 위치해 산출 알고리즘과 상용 소프트웨어인 gLAB에 적용하여 봄으로써, 어플리케이션을 검증하였다. 스마트기기에서 획득한 측정치를 이용한 단독 측위 결과는 수평은 6m, 수직은 11m로 뛰어난 성능을 보이고 있지는 않지만, 다중위성군 활용이나 측정치 평활화 기법 및 의사거리 보정정보 적용을 통해 성능을 높인다면 그 활용 가치가 더욱 높아질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 LX국토정보공사 공간정보연구원의 연구비 지원(스마트폰 측정치 품질 분석 알고리즘 개발)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

gAGE: Research Group of Astronomy and Geomatics, [Internet], cited 2017, available from: http://www.gage.es/drupal6/gLAB

Google Android, [Internet], cited 2017a, available from: https://developer.android.com/reference/android/Manifest.permission.html

Google Android, [Internet], cited 2017b, available from: https://developer.android.com/reference/android/location/GnssMeasurement.html

한국에서의 MSAS 보정 정보를 이용한 GPS 측위 성능 평가

조민규[1*], 김재길[2], 박찬식[1]
[1]충북대학교 제어로봇공학, [2]단암시스템즈

Performance Evaluation of GPS Positioning Using MSAS Correction Information

Min-Gyou Cho[1*], Jaekil Kim[2], Chansik Park[1]
[1]Department of control and robotics engineering, Chungbuk National University, [2]DANAM Systems Inc.

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

"본 논문은 저자의 요청에 의하여 원문을 제공하지 않습니다"

지자기 적도 지역의 GBAS 운용을 위한 주간 정상상태 전리층 기울기 통계치 추정 결과

장혜연*, 이지윤
한국과학기술원 항공우주공학과

Results from Estimating Daytime Nominal Ionospheric Gradient Statistics for GBAS Operations in Geomagnetic Equatorial Regions

Hyeyeon Chang*, Jiyun Lee
Department of Aerospace Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

주소 : 대전시 유성구 구성동 한국과학기술원 기계공학동(N7) 위성항법시스템 연구실
연락처 : 042-350-3725 이메일 : annek93@kaist.ac.kr

Abstract: 지상 기반 보강 시스템(Ground Based Augmentation System, GBAS)은 무결성 보장을 위해 사용자에게 무결성 파라미터인 수직 전리층 기울기의 통계치(σ_{vig})를 제공한다. 현재 CAT I GBAS에서 제공되는 σ_{vig} 값은 미국 본토(Conterminous United States, CONUS)에 위치한 기준국에서 수집된 데이터를 통해 산출되었으며, 그 값은 4 mm/km이다. 하지만 지자기 적도 부근에 위치한 적도 지역은 상대적으로 중위도 지역보다 전리층 활동이 활발하기 때문에 기존 중위도 지역에서 사용되는 σ_{vig} 값을 적도 지역에 적용하는 것에는 한계가 있다. 또한 적도 지역에서의 낮 시간대와 밤 시간대의 전리층 현상이 현격하게 다르기 때문에, 시간대를 구별하여 σ_{vig} 값을 적용할 필요성이 있다. 본 연구에서는 지자기 적도 부근에 위치한 브라질 지역에서, 전리층 이상현상이 발생하지 않았다고 판단되는 날(Nominal days)의 낮 시간대 데이터를 사용하여 사례연구를 진행하였다. 적도 전리층 환경이 중위도 전리층 환경과 구별되는 특징 중 하나는 섬광현상(Scintillation event)의 발생빈도가 높다는 것이다. 따라서 분석에 사용된 날은 지자기 지수인 Kp지수(Planetary K index), Dst지수(Disturbance storm index)뿐만 아니라, 섬광현상(Scintillation event)을 나타내는 지수인 S4지수(Scintillation index)도 고려되어 선정되었다. 또한 짧은 거리에 대한 전리층 기울기를 확인할 수 있는 'time-step' 방법을 사용하여 전리층 기울기 값을 산출하였다. 결과적으로, 적도 전리층 정상상태로 판단되는 날의 낮 시간대에 발생 가능한 전리층 공간 비상관성을 유계하는 σ_{vig} 값은 6 mm/km으로 추정하였다. 또한 시간창 값에 따른 전리층 지연오차의 경향을 확인하였고, 이를 통해 시간적 변화에 의한 영향을 모델링할 수 있을 것이라고 기대된다.

Keywords: equatorial ionosphere, CAT I GBAS, vertical ionospheric gradient

1. 서 론

지상기반 보강시스템(Ground Based Augmentation System, GBAS)은 사용자에게 전리층 보정정보를 제공하여, 사용자 측위성능을 저해하는 주된 오차 요인인 전리층 지연오차를 제거한다. 또한 무결성 보장을 위해 보정정보 외에 무결성 파라미터인 수직 전리층 기울기의 통계치(σ_{vig})를 제공한다. 현재 CAT-I GBAS에서 제공되는 σ_{vig}는 미국 본토(Conterminous United States, CONUS)에 위치한 기준국에서 수집된 데이터를 통해 산출되었으며, 그 값은 4 mm/km이다 (Lee et al. 2007). 하지만 지자기 적도 부근에 위치한 적도 지역은 상대적으로 중위도 지역보다 전리층 활동이 활발하기 때문에, 기존 중위도 지역에서 사용되는 σ_{vig} 값을 적도 지역에 적용하는 것에는 한계가 있다. 또한 적도지역에서의 낮 시간과 밤 시간의 전리층 현상이 서로 다르기 때문에 시간대를 구별하여 σ_{vig} 값을 구할 필요성이 있다. 본 연구는 지자기 적도 지역의 CAT I GBAS 운용을 위한 주간 정상상태 전리층 기울기 통계치 추정을 위한 사례연구로 진행되었다. 지자기 활동이 활발하지 않고, 섬광현상이 크게 발생하지 않은 2012년 4월 19일 (2012-110)의 데이터를 사례연구에 사용하였다. 수직 전리층 기울기를 산출하는 방법으로 'time-step' 방법을 사용하였고, over-bounding 기법을 통해 실제 분포를 유계하는 σ_{vig} (over-bounded σ_{vig})값을 산출하였다. 본 논문의 제 2장에서는 사례연구에 사용한 데이터와 날짜 선정에 대한 내용을 설명하고 있다. 제 3장에서는 전리층 공간이격오차(Spatial decorrelation)를 계산하는 방법 중 하나인 'time-step' 방법에 대해 설명하고 있고, 제 4장에서 사례연구에 대한 결과를 보여주고 있다. 제 5장에서는 결론과 향후 연구 계획 방향에 대해 이야기하고 있다.

2. 데이터

전리층 기울기를 산출하는 것에 있어, 브라질 RBMC(Brazilian network for continuous monitoring of the GNSS systems)에서 제공되는 데이터를 사용하였다. 전리층 기울기 통계치를 확인하고자 하는 낮 시간대의 범위는 지역 시간 기준으로 5시~18시로 결정하였다.

2.1 정상상태 날짜 선정

INPE와 Boston College 연구팀에서 브라질 지역에서의 GBAS 운용을 위한 위협 모델 구축을 위해 지자기 지수와 섬광현상 지수를 기준으로, 위협이 될 것이라고 판단되는 약 100개의 날짜를 선정하였다 (Mirus Technology LLC 2014). 이 중 'non-scintillating days'로 분류되는 날짜들 중에서 지자기 지수인 Kp(Planateray K)와 Dst(Storm disturbance)의 절대값이 작고, 낮 시간대에 섬광현상이 많이 발생하지 않은 날을 본 사례연구에서 사용할 날짜로 선정하였다. 낮 시간대 섬광현상을 확인하기 위해서 섬광현상발생율(Scintillation occurrence rate)을 사용하였다. 섬광현상발생율은 전체 시간에서 얻은 샘플 수에 대한 섬광현상이 발생한(섬광현상 지수 S4>=0.2) 경우의 수의 비율을 의미한다 (Guo et al. 2017).

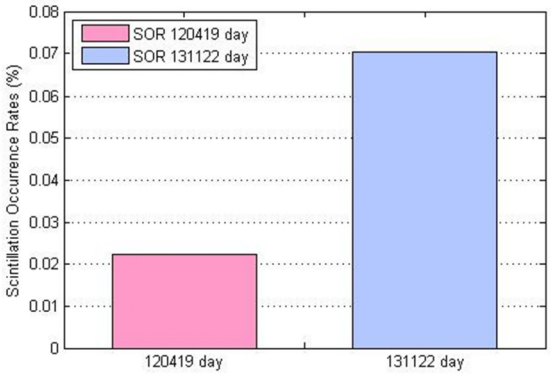


Fig. 1. Scintillation occurrence rates(%) for April 19th 2012 & November 22th 2013 daytime.

Fig. 1은 'non-scintillating days'로 분류되는 날(2012년 4월 19일)과 'scintillating days'로 분류되는 날(2013년 11월 22일)의 낮 시간대 섬광현상발생율을 보여주고 있다. 2013년 11월 22일의 경우 낮 시간대 섬광현상발생율이 2012년 4월 19일때보다 약 3배 정도 높은 값을 가짐을 확인할 수 있고, 이를 통해 섬광현상발생율이 해당 날에 대한 낮 시간대 섬광현상 발생정도를 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2. 데이터 세트

Table 1. Ionospheric properties of April 19th, 2012.

	Kp	Dst (nT)	Scintillation occurrence rates (%)
19 April 2012	2.7	-18	0.0224

본 논문에서 사용된 데이터는 Table 1에 있는 날짜에 대한 데이터다. Table 1은 사례연구에 사용한 2012년 4월 19일에 대한 Kp 지수, Dst 지수, 그리고 섬광현상발생율을 보여주고 있다. 표에 따르면, 측정된 Kp지수 값이 낮고, Dst의 절대값이 40 미만이므로 해당 날짜에 브라질 지역에서 지자기 활동은 활발하지 않다고 판단된다. 또한 낮 시간대 섬광현상발생율이 0.02% 정도로 섬광현상 발생정도가 낮음을 확인할 수 있다.

3. 전리층 기울기 산출

전리층 기울기를 산출하는 방법으로는 동시간에 같은 위성에 대한 두 지상국에서 측정된 전리층 지연 값을 통해 구하는 'station-pair' 방법과, 같은 위성과 같은 지상국에서 특정 시간의 차이를 두고 측정된 전리층 지연 값을 통해 구하는 'time-step' 방법이 있다. 브라질 지역에서는 'station pair' 방법을 사용하여 기울기 값을 구하기에는 IPP(Ionospheric pierce point) 거리가 50km 이하인 경우의 데이터 수가

부족하다. 따라서 본 연구에서는 지상국 간의 실제 거리보다 더 작은 거리에 대한 전리층 기울기를 산출할 수 있는 'time-step' 방법을 사용하여 전리층 기울기 값을 구하였다.

4. 결과

4.1. 전리층 시간기울기(Temporal gradient)에 의한 영향

Fig. 2는 각 시간창 값에 따른 IPP 거리에 대한 전리층 지연오차(dI) 그래프이다. 그림에 의하면, 데이터가 겹치는 구간에서, 시간창(time window) 값이 증가할수록 전리층 지연오차 값이 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

Table 2는 데이터가 겹치는 IPP 거리 구간에 대한 데이터 수와 전리층 지연오차(dI)의 평균값을 보여준다. 평균을 구하고자 하는 데이터의 수를 맞춰주기 위해, 2012년 4월 19일의 전리층 상태와 비슷한 2012년 4월 20일(2012-111)의 데이터를 통합하였다 (Table 3 참조). Table 2에서의 'dI(m) mean'부분을 보면, 동일한 IPP 구간에 대하여 시간창 값이 0.5분 증가할 때, 평균 dI값이 1mm 정도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 시간창이 1분씩 증가할 때마다 전리층 지연 오차 값이 2mm정도 커지는, 전리층 시간기울기에 의한 영향이 있을 것으로 추측된다.

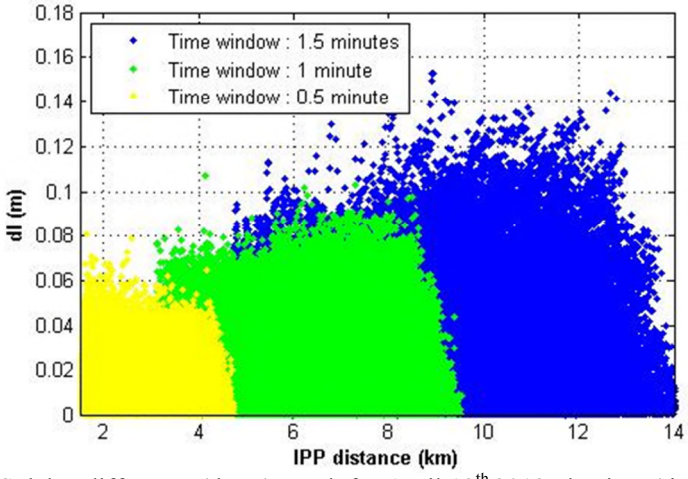


Fig. 2. IPP distance (km) VS delay difference (dI, m) graph for April 19th 2012, daytime (time window : 0.5, 1, 1.5 minutes).

Table 2. Time window, day of year, number of data and dI(m) mean values for each IPP distance interval.

IPP distance interval (km)	Time window (minute)	DOY (Day of year)	Number of data	dI (m) mean
3 ~ 4.2	0.5	110, 111	237718	0.0079
3 ~ 4.2	1	110	263993	0.0088
5 ~ 9	1	110, 111	557556	0.0133
5 ~ 9	1.5	110	520250	0.0140

Table 3. Ionospheric properties of April 20th, 2012.

	Kp	Dst (nT)	Scintillation occurrence rates (%)
20 April 2012	3.3	-21	0.0266

4.2. Over-bounded σ_{vig} 결과

IPP 거리가 작을수록 동일한 전리층 시간기울기에 의한 영향이 크게 적용되기 때문에, 특정 IPP 거리보다 작은 거리에서의 데이터는 신뢰성이 떨어진다고 판단된다. 따라서 Fig. 3에 따르면, 전리층 공간 비상관성을 유계하는 σ_{vig} 값은 6 mm/km으로 추정된다.

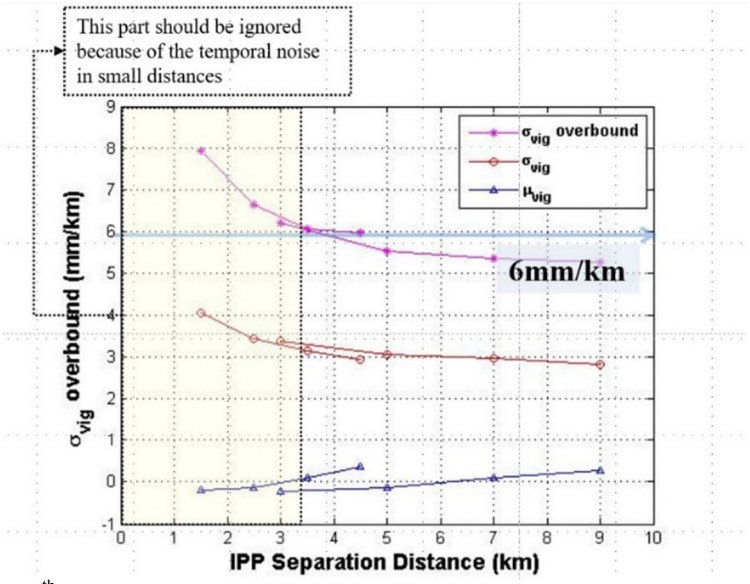


Fig. 3. April 19th 2012 daytime, over-bounded sigma graph of time window 0.5 and 1 minute.

5. 결론

본 연구에서는 브라질 지역에서 낮 시간대 정상상태 전리층 기울기 통계치를 산출하기 위한 사례연구를 진행하였다. 'Time-step' 방법을 사용함으로 인한 2mm/min 정도의 전리층 시간기울기의 영향을 고려했을 때, 정상상태로 판단되는 날 2012년 4월 19일에 대한 전리층 공간 비상관성을 유계하는 σ_{vig} 값은 6mm/km으로 추정할 수 있다. 향후 연구에서는 다른 날들에 대한 연구를 추가적으로 진행하고, 'time-step' 방법을 사용하여 전리층 기울기를 산출할 때 발생하는 전리층 시간기울기에 의한 영향을 모델링하여 보다 정확한 over-bounded σ_{vig} 값을 산출하고자 한다.

REFERENCES

Guo, K., Liu, Y., Zhao, Y., & Wang, J. 2017, Analysis of Ionospheric Scintillation Characteristics in Sub-Antarctica Region with GNSS Data at Macquarie Island, Sensors, 17, 137

Lee, J., Pullen, S., Datta-Barua, S., & Enge, P. 2007, Assessment of Ionosphere Spatial Decorrelation for Global Positioning System-Based Aircraft Landing Systems, Journal of Aircraft, 44, 1662-1669

Mirus Technology LLC 2014, Effects of Southern Hemisphere Ionospheric Activity On Global Navigation Satellite Systems (GNSS) Based Augmentation System-Low Latitude Threat Model, SDTP, VA 22209-3901

ISL과 삼각형 조건을 이용한 위성 고장원인 구별 기법

장진혁[1], 구상훈[1], 성상경[1], 주정민[2], 허문범[2], 이영재[1]
[1]건국대학교 항공우주정보시스템공학과, [2]한국항공우주연구원

Identification of Satellite Fault Causes Using ISL and Triangle Condition

JinHyeok Jang [1], SangHoon Koo[1], SangKyung Sung[1], JungMin Joo[2], MoonBeom Heo[2], Young Jae Lee[1*]
[1]Aerospace Information Engineering, Konkuk University, [2]Korea Aerospace Research Institute, KARI

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 120 건국대학교
연락처 : 02-458-0164 이메일 : bassjang12@konkuk.ac.kr

Abstract: 위성항법시스템 (GNSS, Global Navigation Satellite System)은 미국의 Global Positioning System을 시작으로 현대사회의 가장 중요한 항법시스템으로 이용되고 있다. 이 같은 이유 때문에 미국뿐만 아니라 다른 국가들에서도 위성항법시스템을 운용 및 개발하고 있다. 위성항법시스템의 기본적 목적은 사용자의 위치를 계산하는 것이다. 이를 수행하기 위해 4대 이상의 위성의 위치와 각 위성으로부터의 거리 값을 이용한 삼변측량법 (Trilateration)이 이용된다. 따라서 위성의 궤도나 시각의 정확도에 따라 사용자의 위치해 정확도가 변화된다. 그러므로 위성에 비정상적인 고장이 발생하게 될 경우 위성항법시스템을 이용하는 사용자는 올바른 위치를 제공 받을 수 없다. 더 나아가 항공분야와 같은 안전이 중요한 분야에서는 큰 사고로 이어질 수 있다. 이러한 이유로 위성항법시스템의 위성 고장검출 (Fault Detection)기법은 필수적이다. 본 논문에서는 위성 고장검출을 위해 지상국의 측정치를 배제한 위성만을 이용한 고장검출 기법을 제시한다. 본 기법은 지상측정치를 이용하지 않고 위성 3대를 이용해 삼각형을 구성하고 항법메세지와 위성간 거리 측정치를 Inter-Satellite Link (ISL) 측정치로 이용하여 수행된다. 이 기법을 응용하여 위성의 고장 원인인 궤도와 시각을 구별하는 기법을 제안하고자 한다. 이를 통해 위성의 고장이 발생했을 경우 원인을 파악해야 이후 대처를 적절하게 할 수 있을 것으로 판단된다. 원인 구별 기법은 위성 고장 원인에 따라 ISL 측정치의 경향성을 예측하고 이 경향성에 따른 검정통계량 (Test Statistic)의 변화를 확인하도록 한다. 이 검정통계량의 변화 경향성을 이용한 고장 원인 구별 방법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 지상측정치를 이용하지 않음을 통해 향상된 고장검출 성능을 예측할 수 있다. 이는 더 작은 고장의 위성고장을 검출 할 수 있고 고장 검출을 더 빠르게 확인하여 고장에 대한 대처를 빠르게 수행 할 수 있다. 또한 고장 원인 구별 기법을 제안하여 고장 대처를 효율적으로 수행 할 수 있도록 한다.

Keywords: GNSS, fault detection, satellite fault, ISL

1. 서 론

현재 위성항법시스템은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 개개인이 들고 다니는 스마트폰에서부터 차량 네비게이션, 항공기 등 광범위한 활용 영역에서 사용된다. 이렇게 사용이 많아짐에 따라 위성항법시스템의 성능 요구조건이 높아지게 된다. 정확도를 향상하기 위해서 Differential GNSS, Real Time Kinematic (RTK), Precise Point Positioning 등 다양한 방법들이 연구되고 운용 중에 있다. 이 중 높은 수준의 정확도를 보이는 RTK는 수 cm의 위치정확도를 보이고 있다(Hoffmann-Wellenhof et al. 2008). 이처럼 위성항법 시스템의 정확성은 이미 높은 수준을 보이고 있다. 하지만 정확성이 높은 정보를 신뢰할 수 있는지에 관한 연구는 정확성에 비해 부족한 상황이다. 높은 정확성의 정보가 잘못된 정보라면 다양한 분야에서 문제가 발생 할 수 있다. 이처럼 정보의 신뢰성을 나타내기 위한 요구조건이 무결성이다.

무결성에 대한 다양한 연구주제 중 문제 발생을 판단하기 위한 고장검출 기법이 있다. 우선 시스템의 고장으로 발생할 수 있는 위협요인들을 분석한다. 다음 위협요인으로 발생하는 고장의 원인을 파악하고 고장원인으로 발생하는 현상을 분석한다. 이 현상을 확인 할 수 있는 측정치를 통계적으로 분석하여 고장을 파악하는 알고리즘을 개발한다.

본 논문에서는 위성항법시스템의 고장 요인 중 하나인 위성고장에 대한 고장검출 기법에 대해서 제안하려 한다. 기존의 고장검출 기법은 지상의 정확한 위치를 알고 있는 기준국에서 수집되는 측정치를 이용하여 수행되었다. 하지만 제안하는 방법은 지상 측정치를 제외하고 위성만을 이용한 고장검출 알고리즘이다. 위성간 거리측정치를 획득할 수 있는 ISL를 이용하고 3위성을 삼각형으로 구성하여 삼각함수 법칙을 이용해 검정통계량을 생성하여 임계치와 비교하여 고장을 검출하는 알고리즘이다. 이를 통해 위성의 고장을 검출하게 된다. 항법위성은 두 가지 고장요인으로 분류할 수 있다. 하나는 위성의

궤도에 의해 발생하는 고장, 다른 하나는 위성 시계에 의해 발생하는 고장이다. 두 고장 모두 사용자에게 문제를 발생 시킬 수 있다. 본 논문에서는 위성만을 이용해 위성의 고장을 검출하는 기법뿐만 아니라 본 기법의 검정통계량을 이용하여 위성 고장의 원인을 구별하는 기법에 대해 제안한다. 이렇게 고장 원인이 구별되면 추후 고장을 해결하거나 대응함에 효율적이다.

본 논문에서는 아래와 같은 순서로 설명을 진행하고자 한다. 먼저 ISL과 삼각함수 법칙을 이용한 위성 고장검출 기법의 방법에 대해서 설명한다. 고장검출을 위해서는 검정통계량과 임계치 (Threshold)의 비교가 필요하다. 본 논문에서는 임계치 설정 부분은 제외하였다. 검정통계량은 위성 고장원인 구별기법에서도 활용이 되므로 계산 방법에 대한 설명을 추가하였다. 다음은 ISL과 삼각함수 법칙을 이용하여 위성 고장원인 구별기법에 대하여 설명하도록 한다.

2. 본 론

2.1 ISL과 삼각함수 법칙을 이용한 위성 고장검출 기법

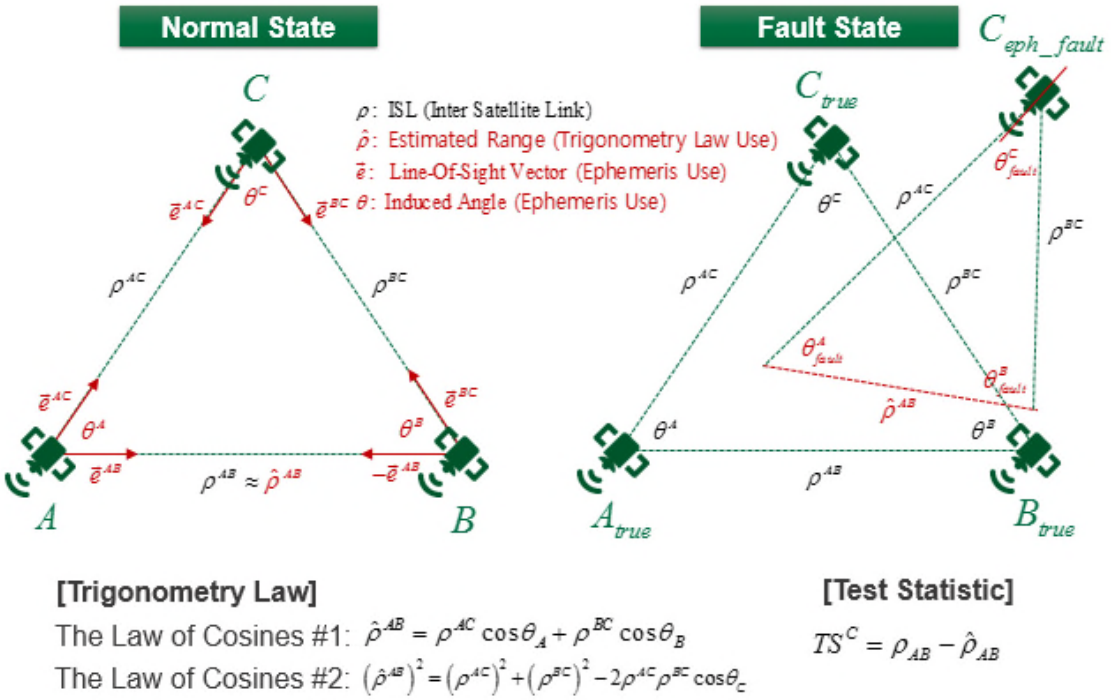


Fig. 1. Method Concept.

Fig. 1은 제안하는 위성 고장검출 기법의 개념도이다. 본 논문에서는 지상측정치를 사용하지 않는 위성 고장검출 기법을 제안하고 있다 (Chan 2001). 따라서 이용되는 정보는 ISL 거리 측정치와 위성 위치를 계산하기 위한 궤도력 정보이다. 기법은 3위성으로 가상적인 삼각형을 구성하며 시작된다. 본 고장검출 기법에서 위성 고장은 1대에서 발생한다라는 가정을 설정한다. 구성된 삼각형에서 A, B는 정상위성이고 C는 검사대상 위성으로 구성한다(Ahn et al. 2014).

고장검출을 위해서 임계치와 비교되는 검정통계량이 필요하다 (Pervan & Sayim 2001). 검정통계량은 측정치와 추정치의 비교로 수행된다. 비교되는 요소는 Fig. 1에서 AB사이의 거리인 정상위성간의 거리 값이다. 비교에 사용되는 두 값은 측정치는 ISL 거리 측정치를 이용, 추정치는 삼각함수 법칙을 통해 계산된 값을 이용한다. 본 논문에서의 추정치를 계산하기 위한 삼각함수 기법은 코사인 1, 2법칙을 이용한다. 결과를 우선적으로 언급하면 두 법칙 모두 동일한 결과를 제공한다. 하지만 본 논문에서는 코사인 1법칙을 이용하도록 한다. 코사인 1법칙을 이용하면 고장위성이 포함된 두 거리 값과 정상위성 부분의 각도를 이용해 정상위성간 거리를 추정한다. 이때 이용되는 거리 값은 ISL 거리 측정치를 이용하고 각도는 방송궤도력 (Ephemeris)으로 계산된 값을 이용한다. 이와 같이 정상위성간 거리 측정치와 추정치를 비교하여 검정통계량을 생성한다.

Fig. 1에서 좌측은 고장이 없는 정상상태의 개념이고 우측은 고장이 발생한 상태의 개념이다. 좌측은 측정치와 추정치의 차이가 적을 것이고 우측은 차이가 크게 발생할 것이다. 따라서 검정통계량이

정상상태에서는 작을 것이고 고장상태에서는 크게 될 것이다. 이렇게 생성된 검정통계량을 설정된 임계치와 비교하여 고장을 검출하게 된다. 검정통계량이 임계치보다 낮을 경우 정상상태, 임계치를 넘게 될 경우 고장으로 판단한다. 따라서 고장이 발생한 경우 검정통계량이 증가하고 이에 따라 임계치를 넘게 되며 고장으로 판단될 것이다.

2.2 위성 고장원인 구별 기법

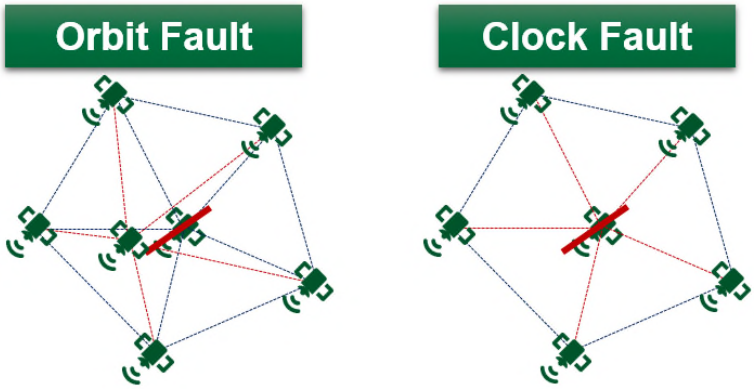


Fig. 2. Characteristics of Measurements by Failure Cause.

위성 고장원인 구별기법은 고장원인에 따른 측정치의 경향성을 이용한다. Fig. 2에서 좌측이 위성 궤도 고장이 발생한 경우, 우측이 시계 고장이 난 경우를 나타냈다. 위성 궤도 고장이 발생한 경우는 고장위성이 포함된 ISL 거리 측정치는 각각 다른 경향을 나타낼 것이다. 궤도 고장이 발생한 쪽의 위성들과의 거리 측정치의 값은 줄어들 것이고 반대의 위성들은 거리 측정치가 증가할 것이다. 이에 반해 시계고장이 발생한 경우는 고장위성이 포함된 거리 측정치는 모두 동일한 크기의 오차가 발생하게 될 것이다. 이 경향성이 제안하는 기법의 검정통계량에 영향을 보일 것이다. 고장원인 구별 기법에서는 고장 시점에서 고장 위성을 포함한 전체 위성들로 구성된 삼각형들로 검정통계량을 생성하고 검정통계량들의 경향성을 이용한다. 결과를 확인하기 위해 각 특성을 측정치에 반영한 고장 시뮬레이션을 수행하였다.

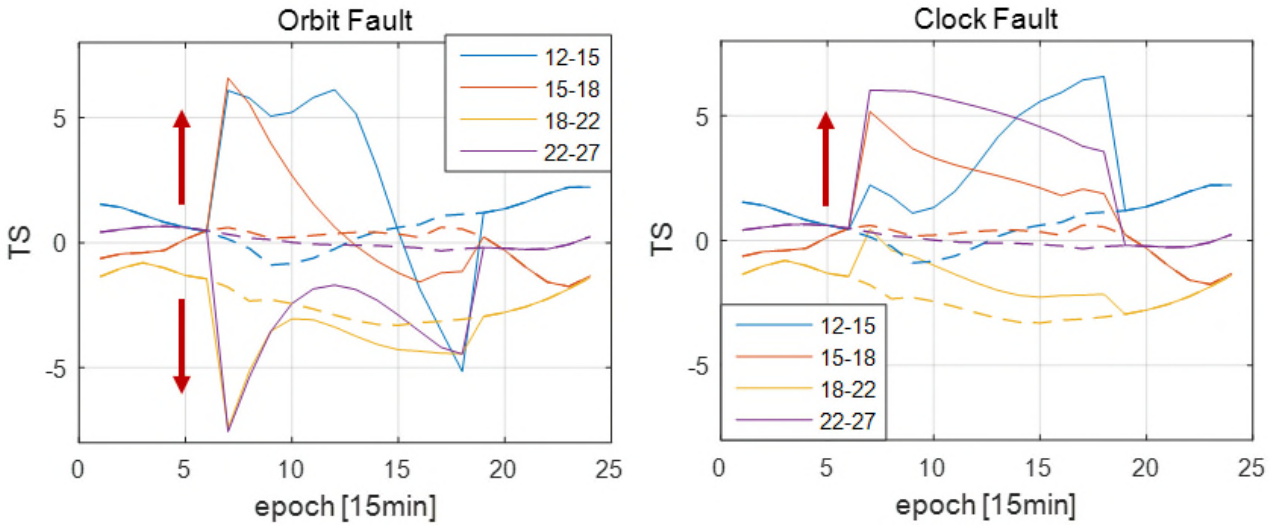


Fig. 3. Simulation of Failure Cause Identification Method.

Fig. 3의 좌측은 궤도 고장, 우측은 시계고장 시뮬레이션 결과이다. 점선은 정상상태일 경우의 검정통계량을 나타내고 실선이 고장상태의 검정통계량을 나타낸다. 시뮬레이션에 사용한 궤도 정보는 2011. 2. 15. 8:00 ~ 12:00 (UTC+9)이고 나머지 내용은 앞서 수행한 시뮬레이션과 동일하다. 고장을 입력한 위성은 PRN 9번이고 삼각형을 구성한 나머지 정상위성은 결과의 Legend로 표기된 PRN이다.

결과를 보면 궤도 고장인 경우는 검정통계량들의 방향이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 반해 시계 고장인 경우는 검정통계량의 변화 방향이 동일한 것을 확인 할 수 있다. 이 특성을 통해 현재 발생한 고장의 원인을 구별하도록 한다.

3. 결 론

본 논문에서는 먼저 위성항법시스템의 무결성을 보장하기 위한 요소 중 하나인 위성 고장검출 기법에 대하여 설명하였다. 지상 기준국을 제외하여 지상 측정치를 배제하고 위성간 거리측정치를 획득 할 수 있는 ISL 측정치를 이용하고 3 위성으로 삼각형을 구성하여 삼각함수 법칙을 이용한 기법을 소개하였다. 이 기법을 통해 지상측정치를 이용할 때의 오차요인들이 제외된 측정치를 이용함으로 성능향상을 기대할 수 있다.

위성 고장검출 기법과 추가로 위성 고장원인 구별 기법도 제안하였다. 위성 고장검출 기법에서 계산한 검정통계량을 이용한다. 위성 두 고장원인인 궤도 고장과 시계 고장으로 ISL 측정치에 발생할 측정치 오차를 예상하였다. 이 예상된 결과에 따라 검정통계량 또한 경향성이 나타남을 예측하고 시뮬레이션을 통해 결과를 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Ahn, J. S., Lee, E. S., Heo, M. B., Sung. S. K., & Lee, Y. J. 2014, Research of MDE for Baseline-based GPS Ephemeris Fault Detection Algorithm, Proceeding of the 2014 KSAS Fall Conference, pp.330-332.

Chan, F. C. 2001, Detection of Global positioning Satellite Orbit Errors Using Short-Baseline Carrier Phase Measurements, Ph. D Thesis, College of Illinois Institute of Technology.

Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Walse, E. 2008, GNSS; GPS, GLONASS, Galileo & more (New York: Springer-Verlag Wien)

Pervan, B. & Sayim, E. 2001, Sigma Inflation for Local Area Augmentation of GPS, Journal of IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 37, 1301-1310. https://doi.org/10.1109/7.976966



[B1] 기타GNSS관련기술 1

액티브 스페어를 고려한 한국형 위성항법 시스템 설계 및 항법 성능 분석

구상훈[1], 최문석, 장진혁, 송충원, 장재규[2], 성상경, 이영재*
[1]건국대학교 항공우주정보시스템공학과, [2]국방과학연구소

Design of Korean Navigation Satellite System Considering Active Spare and Navigation Performance Analysis

SangHoon Koo[1], Moonseok Choi, JinHyeok Jang, Choongwon Song, Jaegyu Jang, Sangkyung Sung, Young Jae Lee*
[1]Department of Aerospace Information Engineering, Konkuk University [2]Agency of Defense Development

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 120 건국대학교
연락처 : 02-450-3358 이메일 : younglee@konkuk.ac.kr

Abstract: 위성항법 시스템은 서비스 대상에 따라 전지구적 위성항법 시스템 (Global Navigation Satellite System)과 지역적 위성항법 시스템 (Reginal Navigation Satellite System)으로 나뉜다. 한국형 위성항법 시스템은 일본의 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)과 인도의 Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) 등과 같이 한국과 동아시아 지역을 서비스하는 지역적 위성항법 시스템이 고려되고 있다. 지금까지의 한국형 위성항법 시스템 연구에 적용된 적합한 항법위성 후보 조합은 4기의 Elliptical Inclined Geosynchronous Orbit (EIGSO) 위성과 3기의 Geostationary Orbit (GEO) 위성이다. 현재까지 진행되어 온 한국형 위성항법 시스템의 궤도 설계 연구와 더불어 위성의 궤도 및 자세 유지 보수 및 고장에 대비한 액티브 스페어 (Active Spare)에 대한 연구 및 분석이 필요하다. 본 논문에서는 액티브 스페어에 대한 연구를 진행하였고, 동쪽과 서쪽의 GEO 위성이 위치한 장소 인근에 각각 2기의 액티브 스페어 위성을 추가하는 방향으로 연구를 수행했다. 그리고 일부 위성의 유지 보수 및 고장이 발생하여 사용하지 못하게 되더라도 항법 성능을 만족할 수 있게 하는 액티브 스페어 위성의 궤도 설계를 진행하였다. 액티브 스페어 위성의 궤도 경사각 (Inclination of Orbit) 및 궤도 이심률 (Eccentricity), 승교점 적경 (Right Ascension of Ascending Node)과 근지점 인수 (Argument of periapsis) 등 궤도 요소 (Orbital Element)를 변화시키면서 도출되는 결과인 DOP을 통해 평상시 및 궤도 유지보수 및 고장 상황에서의 항법 성능을 예측하였다. 분석 결과를 토대로 액티브 스페어 위성이 추가된 한국형 위성항법 시스템의 적합한 궤도 요소를 제안하였다.

Keywords: active spare, DOP, orbital element

1. 서 론

한국형 위성항법 시스템 (Korean Navigation Satellite System, 이하 KNSS)은 한반도와 그 인근을 서비스 대상으로 하는 지역적 위성항법 시스템 (Regional Navigation Satellite System, 이하 RNSS)이 고려되고 있다. GPS, GLONASS, GALILEO와 같은 전지구적 위성항법 시스템과 달리, 한국형 위성항법 시스템은 서비스 대상이 한반도 및 동아시아에 국한되는 협역 지역이므로 그에 적합한 위성 궤도 설계가 필요하다. 따라서 한국형 위성항법 시스템에 적합한 위성 조합은 일본의 Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)에 사용되는 것과 유사한 Elliptical Inclined Geosynchronous Orbit (EIGSO) 위성 및 Geostationary Orbit (GEO)위성의 조합이다. (Choi et al. 2012) KNSS의 위성군 후보는 EIGSO 4기와 GEO 3기로 구성된 7기 위성군을 기본으로 한다. 7기 위성으로 구성된 KNSS의 Ground Track을 Fig. 1에서 확인할 수 있다.

기존에 연구된 7기 위성군 모델의 경우 기준점을 위도 38도, 경도 128도로 했을 때 하루 평균 HDOP 1.98, VDOP 1.90으로 양호한 수준이고 24시간 DOP의 최대-최소 편차도 0.3 이내로 상당히 고른 분포를 보인다. 하지만 이는 위성 7기가 모두 가동 중이어야 한다는 전제 조건이 포함된다. 실제로 위성은 유지보수나 고장 등에 의해 위성 가동을 중단하는 비가용 상황이 발생하므로 KNSS를 설계함에 있어서도 비가용 상황이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 KNSS의 비가용 시나리오를 설정하고, 비가용 시나리오에 따른 항법 성능을 비교하여 최종적으로 비가용 시나리오에서 양호한 궤도 형태를 제안하였다. KNSS의 성능 지표로는 사용자를 기준으로 가시 위성과의 기하학적 배치의 기준치인 DOP을 사용했다. 특히 일반인 사용자 입장에서 중요한 수평오차와 관련된 값인 horizontal dilution of precision (HDOP)을 성능 평가의 지표로 사용했다.

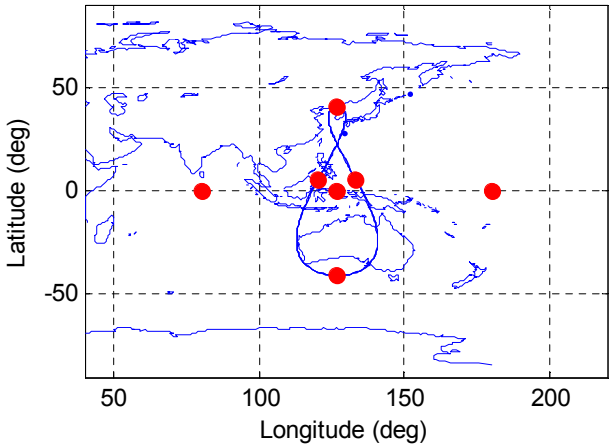


Fig. 1. Ground track of KNSS (7 satellites constellation).

2. 본 론

2.1 DOP

DOP은 사용자와 위성이 이루는 기하학적 배치로부터 결정되는 값으로, 위성에서 사용자까지의 측정오차의 1σ 값인 σ $_{UERE}$ (user equivalent range error)값을 곱하면 위치오차를 예측할 수 있다. 사용자의 위치오차는 수평오차와 수직오차로 나눌 수 있고, 수평 오차와 HDOP의 관계식은 식 (1)과 같다 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

$$\sqrt{\sigma_N{}^2 + \sigma_E{}^2} = HDOP \times \sigma_{UERE} \qquad (1)$$

2.2 비가용 시나리오

위성의 비가용은 크게 예정된 비가용과 예정되지 않은 비가용 두 가지로 나뉠 수 있다. 예정된 비가용은 일반적으로 위성 시스템 유지보수를 의미하며, 궤도 유지보수와 자세 유지보수가 이에 해당된다. QZSS의 EIGSO를 기준으로 했을 때 reaction wheel의 momentum dumping을 위한 자세 유지보수는 평균 40일마다 하루씩 실시하며, 궤도 유지보수는 평균 150일마다 이틀씩 실시한다(JAXA 2016). 예정되지 않은 비가용은 위성 시계 고장 또는 잘못된 궤도력 (ephemeris) 업데이트 후 발생하는 위성 궤도 고장에 의해서 발생한다.

KNSS의 비가용 시나리오는 비가용 위성의 수가 1기일 때와 2기일 때로 나뉜다. 비가용 위성의 수가 1기일 경우의 비가용 시나리오는 예정된 비가용이거나 예정되지 않은 비가용이 발생했을 때이다. 비가용 위성의 수가 2기일 때는 예정된 비가용과 예정되지 않은 비가용 모두가 발생했을 때이다. 이 비가용 시나리오의 전제조건은 동시에 2기 이상의 위성이 유지보수에 들어가거나 2기 이상의 위성에 고장이 발생하지 않는다는 것이다.

KNSS의 비가용 시나리오는 동시에 2기 이상의 위성이 유지보수에 들어가거나 2기 이상의 위성에 고장이 발생하지 않는다는 전제조건을 갖는다. 따라서 비가용 시나리오는 비가용 위성의 수가 1기일 때와 2기일 때로 나뉜다. 비가용 위성의 수가 1기일 경우의 비가용 시나리오는 예정된 비가용이거나 예정되지 않은 비가용이 발생했을 때이며 비가용 위성의 수가 2기일 때는 예정된 비가용과 예정되지 않은 비가용 모두가 발생했을 때이다.

Choi et al. (2013)에서 위성의 비가용 상황에 대해 연구가 수행되었으나 비가용 위성이 1기일 경우만을 상정하였으므로 해당 연구는 비가용 위성이 2기인 경우에 대해서는 강인하지 않다. 따라서 본 논문은 상기한 연구의 한계점을 보완하는 방향으로 진행되었다.

2.3 비가용 시나리오에 따른 항법 성능 비교

이 절에서는 KNSS의 위성 수에 따라 각각 비가용 시나리오를 생성하고, 각 위성군의 비가용 시나리오에서 24시간 평균 DOP과 24시간 동안의 HDOP 추이를 확인함으로써 항법 성능에 대해 비교 분석해 보았다.

2.3.1 위성 7기 KNSS

7기 위성군은 본 논문에서 KNSS 설계의 기반이 되는 위성군이다. 동경 80도에 위치한 GEO (이하 W-GEO ; West-GEO) 와 동경 180도에 위치한 GEO (이하 E-GEO ; East-GEO) 지역의 상공에 액티브 스페어 위성이 존재하지 않는 구조이다.

7기 위성군의 비가용 시나리오 분석 결과, 비가용 위성이 1기인 상황에서는 E-GEO 또는 W-GEO 비가용 상황에서 HDOP 성능이 불량했다. 동쪽 혹은 서쪽 상공에 가시위성이 존재하지 않아 기하학적 배치가 좋지 않은 것이 그 이유이다. 따라서 위성의 비가용 상황에서도 안정적인 DOP 성능을 확보하기 위해서는 서쪽 혹은 동쪽 상공의 위성을 늘려야 한다고 판단했다.

2.3.2 위성 9기 KNSS

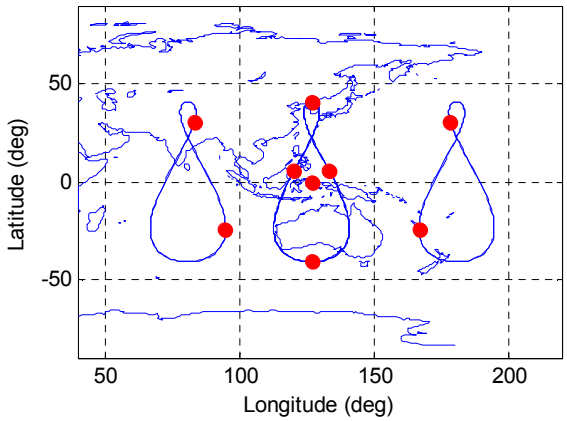


Fig. 2. Ground track of KNSS (9 satellites constellation).

9기 위성군은 Choi et al. (2013)에서 연구된 형상으로 7기 위성군 중 E-GEO 위성과 W-GEO 위성 상공을 각각 2기의 액티브 스페어로 대체한다. 액티브 스페어는 중앙의 EIGSO (이하 C-EIGSO)와 같은 이심률 0.075, 궤도경사각 41도의 EIGSO를 사용하였다. 이 경우 E-GEO와 W-GEO 위성은 없어진다. 9기 위성군의 Ground Track을 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

비가용 시나리오 분석 결과, 비가용 위성이 1기인 시나리오에서 액티브 스페어 중 한 기가 비가용일 때 HDOP 성능이 불량해지는 현상이 발생했고, 그 이유는 7기 위성군일 때와 마찬가지로 동쪽 혹은 서쪽 상공에 가시위성이 존재하지 않아 위성의 기하학적인 배치가 불량하기 때문이다. 그러므로 이 문제를 해결하기 위해서는 서쪽과 동쪽 상공에 위성이 더 필요하다는 결론을 내렸다.

2.3.3 위성 11기 KNSS

11기 위성군은 7기 위성군 중 E-GEO 위성과 W-GEO 위성 상공에 각각 2기의 액티브 스페어가 추가된 구조이다. 액티브 스페어는 C-EIGSO와 같은 이심률 (0.075) 및 궤도경사각 (41도)을 갖는다.

비가용 시나리오 분석 결과 비가용 위성이 1기인 시나리오에서는 DOP의 급상승 현상이 발생하지 않았다. 그러나 비가용 위성이 2기인 시나리오에서 DOP의 급상승 현상이 발생한 시나리오들이 발견되었다. 해당 시나리오들은 동쪽 혹은 서쪽 어느 한 쪽의 GEO와 EIGSO 1기가 비가용인 케이스였으며, 비가용이 발생한 상공에 위성이 1기도 없는 시간대에 기하학적 배치가 불량하게 된 것이 DOP 상승의 원인이었다. 따라서 상기한 문제를 해결하기 위해서는 동쪽 혹은 서쪽 상공에 GEO 위성과 액티브 스페어가 모두 보여야 한다.

2.4 비가용 시나리오를 위한 액티브 스페어 궤도 제안

GEO 위성과 액티브 스페어가 모두 보이기 위해서는 액티브 스페어의 궤도 형태를 변경해야 한다. 기존의 액티브 스페어 궤도는 궤도 경사각 41도로 가시위성의 앙각 (elevation angle)이 mask angle인 5도 이하로 내려가는 비 가시 (unobservable) 시간대가 존재했다. 따라서 액티브 스페어의 궤도 경사각을 10도로 설정하고 비가용 시나리오 중 worst case에 적용해 보았다. 그 결과 2기 비가용 시나리오에서도 한쪽 상공에 위성이 항상 존재하게 되어 하루 평균 및 24시간 HDOP 성능이 양호한 것을 확인할 수

있었다. 따라서 상정할 수 있는 worst case인 2기 비가용 시나리오에 대처하기 위해서는 Fig. 3과 같이 동쪽과 서쪽 상공에 궤도 경사각을 작게 한 EIGSO 위성 2기를 액티브 스페어로 하는 궤도 형태가 필요하다.

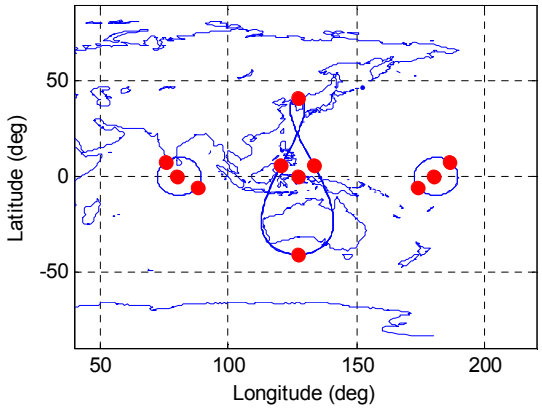


Fig. 3. Ground track of KNSS with 4 active spares (inclination: 10 deg.).

Table 1. HDOP performance of each case.

Number of satellites	7	9	11 (inclination: 41 deg.)	11 (inclination: 10 deg.)	
Number of inoperative satellites	1	1	1	2	2
Average HDOP	5.83	2.77	1.44	2.51	1.82
Maximum HDOP	14.44	14.16	1.76	13.21	2.31

3. 결 론

본 논문에서는 KNSS의 액티브 스페어의 숫자와 궤도 형태를 변경하면서 비가용 상황에서의 항법 성능 개선 방안에 대해 연구하였다. 비가용 시나리오는 비가용 위성 수에 따라 나누었으며 항법 성능의 지표로는 사용자 위치의 수평 오차와 관련 있는 값인 HDOP을 사용하였다.

연구 결과, Table 1에서 확인할 수 있듯 위성 비가용 시나리오에서 가장 양호한 성능을 보인 것은 11기 위성군이었다. 또한 상정할 수 있는 worst case인 2기 비가용 시나리오에서 양호한 성능을 보인 궤도는 동쪽과 서쪽 상공에 GEO 위성과 함께 궤도 경사각을 작게 한 EIGSO 위성 2기를 액티브 스페어로 둔 궤도였다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Choi, M.-S., Won, D.-H., Jun, H.-S., Kim, D.-M., Sung, S.-K., et al. 2012, Navigation Performance Analysis according to the Korean Navigation Satellite System Orbit Design Elements, in Proceedings of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, pp.626-630

Choi, M.-S., Won, D.-H., Sung. S.-K., Lee, J.-Y., Kim, J.-R., et al. 2013, Robust Constellation Design of Korean Navigation Satellite System in Satellite Unavailable Situation and Navigation Performance Analysis, in Proceedings of the Korean GNSS Society Conference, B4-3

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger. H., & Wasle. E. 2008, GNSS-Global Navigation Satellite Systems (Wien: Springer Science & Business Media)

JAXA 2016, Interface Specification for Quasi-Zenith Satellite System, Ver. 1.8 (IS-QZSS Ver. 1.8), Japan Aerospace Exploration Agency (JAEA), 15-16

한국형 위성항법시스템의 Multi-GNSS Space Service Volume 가시성 분석

최다솜[1,2], 오형직[1], 박찬덕[1*], 서승모[2]
[1]연세대학교 천문우주학과, [2]국방과학연구소

Visibility Analysis of Multi-GNSS Space Service Volume for Korea Navigation Satellite System

Dasom Choi[1,2], Hyungjik Oh[1], Chandeok Park[1*], Seung-Mo Seo[2]
[1]Department of Astronomy, Yonsei University, [2]Agency for Defense Development

주소 : 03722 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
연락처 : 02-2123-5692 이메일 : park.chandeok@yonsei.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 기초 연구가 진행중인 한국형 위성항법시스템(Korea Navigation Satellite System, KNSS) 위성의 궤도결정에 다중 전역 위성항법시스템(Multiple Global Navigation Satellite System, Multi-GNSS)의 항법신호를 활용하기 위하여 Space Service Volume (SSV)에 기반한 가시성 분석을 수행한다. KNSS를 구성하는 3기의 지구정지궤도(Geostationary Orbit, GEO) 위성과 4기의 타원경사지구동기 궤도(Elliptical Inclined Geosynchronous Orbit, EIGSO) 위성은 모두 GNSS 위성들보다 높은 궤도에 위치하기 때문에, GNSS 항법 신호를 받기 위해서는 GNSS 위성에 대해 지구 반대편에 위치하면서 특정 가시성 조건을 만족해야 한다. 가시성 분석 모델에는 지구 가림 조건과 커버리지 각 조건을 사용한다. 지구 가림 조건은 지구 자체와 더불어 이온층/대류층 구간을 포함한 구체로 설정한다. GNSS의 커버리지 각 조건은 실제 SSV에 따라 GPS의 경우 23.5 도, GLONASS의 경우 26 도, Galileo의 경우 20 도, Beidou의 경우 23.5 도로 설정한다. 각 GNSS 위성군 마다 다른 커버리지 각 조건 분석을 통해 KNSS 위성들이 어느 정도의 Multi-GNSS 신호를 확보할 수 있을지를 통계적으로 분석한다. 이와 함께 Multi-GNSS 위성과 KNSS 위성 간 관측 데이터로 위성 간 상대거리 관측(Inter-Satellite Ranging, ISR)을 적용하여, SSV에서 확보되는 항법신호를 활용해 구현할 수 있는 궤도결정 정밀도를 확인한다.

Keywords: Korea navigation satellite system (KNSS), multiple global navigation satellite system (multi-GNSS), visibility analysis

1. 서 론

현재 기초연구가 진행 중인 한국형 위성항법시스템(Korea Navigation Satellite System, KNSS)과 관련하여, 지상국이나 우주환경 등에서 발생하는 문제로 인하여 KNSS 위성들 간 또는 지상국과의 신호 전달이 용이하지 않은 비상 상황에서 항법 서비스의 품질을 유지하는 연구가 수행되고 있다. 이를 위해서는 KNSS를 구성하는 항법위성들의 정밀한 궤도결정 유지가 필수적이다. 지상에서 신호를 수신할 수 없는 상황에서 KNSS의 항법위성 간 상대거리 관측(Inter-Satellite Ranging, ISR)과 확장칼만필터(Extended Kalman Filter, EKF)를 활용한 궤도결정 연구가 수행된 바 있다 (Shin et al. 2016).

본 논문에서는 KNSS를 구성하는 항법위성들 간 ISR 데이터를 활용할 수 없는 비상 상황에서 궤도결정 정밀도를 유지하는 방한으로 다중 전역 위성항법시스템(Multiple Global Navigation Satellite System, Multi-GNSS)을 활용하고자 한다. 다양한 GNSS가 구축되고 운용됨에 따라 GNSS를 수신할 수 있는 우주 공간에 대한 용어의 필요성이 대두되었고, ION GNSS 19th International Technical Meeting에서 GNSS 신호를 활용할 수 있는 범위 중 3,000 km에서 36,000 km 까지의 고도를 Space Service Volume (SSV)으로 정의하였다 (Fig. 1, Force & Miller 2015). 3기의 지구정지궤도(Geostationary Orbit, GEO) 위성과 4기의 타원경사지구동기궤도(Elliptical Inclined Geosynchronous Orbit, EIGSO) 위성으로 구성될 예정인 KNSS와 Multi-GNSS를 구성하는 항법위성들 모두 SSV안에 위치하기 때문에, 이를 활용하기 위해서는 Multi-GNSS 항법신호에 대한 가시성 분석이 필요하다.

KNSS의 항법위성들은 GNSS가 운용되는 중궤도보다 높은 고도에 위치해 있고, GNSS 항법위성의 안테나는 지구를 향하기 때문에 GNSS 항법 신호를 받기 위해서는 GNSS 위성에 대해 지구 반대편에 위치하면서 특정 가시성 조건을 만족해야 한다. 이와 같은 제약조건을 극복하기 위해 본 연구는 KNSS가 SSV 안에서 각 GNSS 위성군 마다 다른 커버리지 각 조건 분석을 통해 KNSS 위성들이 어느 정도의 Multi-GNSS 신호를 확보하는지에 대해 분석하고 이를 통한 궤도결정 정밀도를 제시하고자 한다.

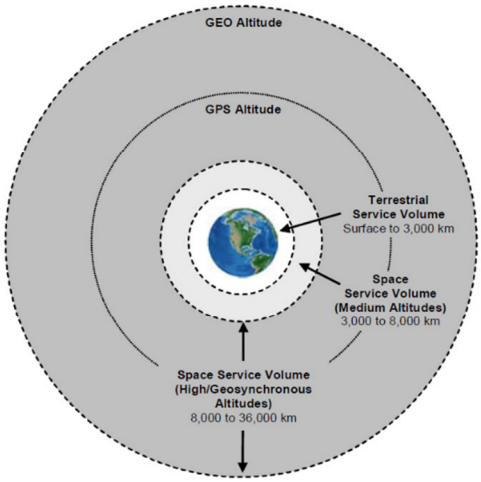


Fig. 1. Space service volume (Force & Miller 2015).

2. GNSS 가시성 분석

본 연구에서 수행할 가시성 분석 모델로 단순 지구 가림 조건과 커버리지 각 조건을 활용하였다 (Yang et al. 2014).

2.1 단순 지구 가림 조건

가시성 분석에서 항상 고려되는 조건으로, 항법위성 간 ISR 데이터를 얻기 위해서는 신호가 지구 또는 신호를 흡수하는 대류권/이온층으로 인해 가리는 부분을 지나가지 않아야 한다. 본 논문에서는 지구 자체와 함께 약 3,000 km 고도까지 지구 가림 조건으로 사용하였다.

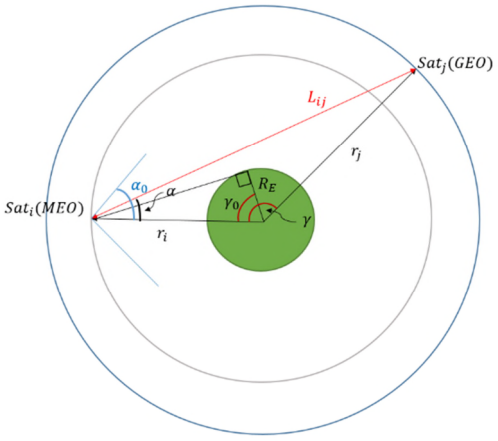


Fig. 2. Coverage angle model.

2.2 커버리지 각 조건

위성의 실제 운용 시에는 GNSS 위성 안테나가 지구를 향해 신호를 보내는 범위각의 반만 고궤도에서 활용할 수 있다. KNSS가 위치하는 고궤도와 GNSS가 위치하는 중궤도의 ISR 상황은 Fig. 2과 같다. α_0가 범위각의 반이자 커버리지 각이 된다. r_i는 중궤도 위성까지의 거리, r_j는 고궤도 위성까지의 거리, L_{ij}는 두 위성 사이의 거리, γ_0와 α는 Fig. 2에서 표현된 각이다. 신호를 받을 수 있는 영역은 부등식으로 표현되며, 식 (1)과 같다.

$$90^{\circ} - \gamma_0 < \alpha = cos^{-1}\left(\frac{r_i^2 + L_{ij}^2 - r_j^2}{2r_i L_{ij}}\right) < \alpha_0 \quad (1)$$

GNSS의 커버리지 각 조건은 GPS의 경우 23.5도, GLONASS의 경우 26도, Galileo의 경우 20도, Beidou의 경우 23.5도로 설정한다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 가시성 분석 결과

가시성 분석은 2016년 1월 1일 12시 (UTCG) 부터 하루 동안 각 GNSS 군의 커버리지 각에 근거하여 KNSS의 7기 위성에 대해 수행되었다. 시뮬레이션 수행 기간 동안 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou 항법위성들의 평균 관측 개수와 4 기 이상 관측되는 시간 비율을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Visibility analysis results.

KNSS satellite	Mean value of available satellites				At least four multi-GNSS available (%)			
	GNSS group							
	GPS	GLONASS	Galileo	Beidou	GPS	GLONASS	Galileo	Beidou
EIGSO 1	1.759	1.683	1.048	1.821	13.793	4.828	0.000	1.379
EIGSO 2	1.524	1.683	1.124	1.869	11.034	5.517	0.000	0
EIGSO 3	1.241	1.648	1.014	1.572	8.966	6.897	0.000	0
EIGSO 4	1.814	1.697	1.207	1.517	17.241	4.828	0.000	0
GEO 1	1.586	1.386	0.917	1.269	11.724	4.828	2.069	2.759
GEO 2	1.710	1.241	0.917	1.683	8.276	0	2.069	11.724
GEO 3	1.490	1.448	0.903	1.717	11.034	3.448	1.379	12.414
Average	1.589	1.541	1.019	1.635	11.724	4.335	0.788	4.039

Table 1 을 통해 SSV 안에서 KNSS 위성 별로 차이는 있었지만 각 GNSS 군의 평균 관측 개수는 GPS 1.589 개, GLONASS 1.541 개, Galileo 1.019 개, Beidou 1.635 개로 나타났다. 4 기 이상 관측되는 시간 비율은 평균적으로 GPS 가 가장 많았다. 각 GNSS 를 통합한 Multi-GNSS 의 경우 평균 관측되는 개수는 5.784 개였으며, (궤도 결정을 수행할 수 있는) 4 기 이상 관측되는 시간 비율은 80.49% 였다.

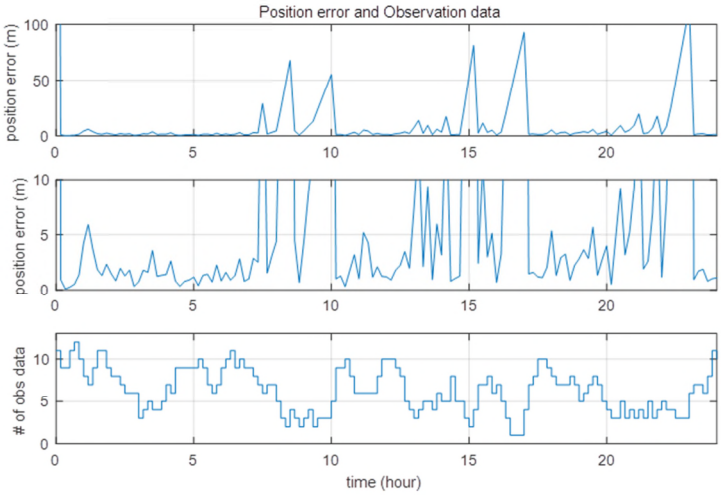


Fig. 3. Orbit determination results of EIGSO 1.

3.2 궤도결정 분석 결과

3.1 절의 가시성 분석을 통해 선별된 Multi-GNSS 관측데이터와 KNSS의 궤도에 맞게 구성된 동역학 모델, ISR 관측 모델, EKF를 사용하여 궤도결정을 수행하였으며 오차 행렬 등 세부 파라미터는 KNSS에 맞춰 수행된 선행 연구결과를 활용하였다 (Shin et al. 2016).

Fig. 3은 SSV 하에서 커버리지 각에 따라 선별된 Multi-GNSS 관측 데이터를 활용한 KNSS-EIGSO 1

위성의 궤도결정 결과이다. 4기 이상의 관측데이터가 확보되지 않는 시간을 제외하면 5m 이내의 궤도결정 정밀도를 달성할 수 있음을 나타내고 있다. 이는 KNSS를 구성하는 7기의 항법위성 모두에서 유사하게 나타낸다. 이 경우에 Multi-GNSS를 활용하면서 KNSS 간 ISR이 1개라도 확보 된다면 4기 이상의 관측데이터가 확보되지 않는 시간에서도 정밀한 궤도결정 결과를 얻을 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 비상 상황에서 항법 서비스를 유지하기 위한 대안으로 Multi-GNSS 항법 신호를 활용하는 방안을 제시하였다. SSV 안에서 KNSS 항법위성의 Multi-GNSS 항법신호 가시성 분석과 이를 통한 궤도결정 정밀도를 분석하였다. 이를 통해 각 GNSS 군과 이를 모두 사용하는 Multi-GNSS의 가시성 분석 결과를 확인하였으며, Multi-GNSS의 경우 평균 관측되는 개수는 5.784 개, 4 기 이상 관측되는 시간 비율은 80.49% 였다. 궤도결정을 수행하였을 때는 4기 이상의 관측데이터가 확보되지 않는 시간을 제외하고 5 m 이내의 궤도결정 정밀도를 달성하였다. 향후 확보할 수 있는 SSV의 영역이 점차 확대되어 기존의 약한 신호 세기와 가시성의 한계를 개선할 수 있을 것으로 기대되므로 (Parker et al. 2016), 미래에는 더 큰 커버리지 각에서 보다 정밀한 궤도결정 결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Force, D. A., & Miller, J. J. 2015, Combined global navigation satellite systems in the space service volume, NASA Technical Paper, 2015-218469.

Parker, J. J. K., Valdez, J. E., Bauer, F. H., & Moreau, M. C. 2016, Use and Protection of GPS Sidelobe Signals for Enhanced Navigation Performance in High Earth Orbit, 39th Annual AAS Guidance, Navigation and Control Conference, February 8, 2016.

Shin, K., Oh, H., Park, S. Y., & Park, C. 2016. Real-Time Orbit Determination for Future Korean Regional Navigation Satellite System. Journal of Astronomy and Space Sciences, 33, 37-44. https://doi.org/10.5140/JASS.2016.33.1.37

Yang, Z., Ji, R., Lu, Z., Shen, Y., & Shao, S. 2014, Analysis and design of an optimized constellation inter-satellite links computation model, Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC), August 8, 2014, pp.1665-1669

궤도력 보정 정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 정확도 분석

최문석, 성상경, 이영재*
건국대학교

Navigation Accuracy Analysis Based on Inter-Satellite Ephemeris Information Using Ephemeris Correction

Moonseok Choi, Sangkyung Sung, Young Jae Lee*
Konkuk University

주소 : 서울특별시 광진구 능동로 120 건국대학교 공과대학
연락처 : 02-450-3358 이메일 : younglee@konkuk.ac.kr

Abstract: 위성 신호 난수신 환경에서 정확도 향상을 위한 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘이 연구되었다. 위성 간 궤도력 정보는 방송궤도력을 통해 계산된 위성간의 거리 계산 값으로 오로지 방송궤도력의 정확도에 따라 거리 정확도가 결정된다. 본 논문은 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘의 정확도를 향상시키기 위해 방송 궤도력 보정 정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘을 제안하고 성능을 분석한다. 항법해 정확도 성능 검증을 위해 기존 위성 간 궤도력 정보와 궤도력 보정정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보를 기반으로 하는 항법 알고리즘의 신호 난수신 환경에서의 정적 항법 정확도를 비교 분석한다.

Keywords: ISEI (Inter-Satellite Ephemeris Information), ephemeris, ephemeris correction

1. 서 론

위성항법시스템은 4개 이상 위성에서 송신하는 전파 신호를 사용자가 수신하여 항법 해를 계산할 수 있는 시스템이다 (Parkinson & Spilker 1996, Hofmann-Wellenhof et al. 2007). 항법 해를 계산하기 위해서는 위성의 궤도 정 및 시계 정보를 제공해주는 방송 궤도력, 전파 신호를 통해 측정되는 의사거리 측정값 정보가 필요하다 (Parkinson & Spilker 1996, Hofmann-Wellenhof et al. 2007). 위성항법시스템은 개활지에서는 충분한 위성 가시성이 확보되어 항법해 정확도가 우수하지만, 도심 지역과 같이 위성의 가시성이 떨어지는 지역에서는 위성의 개수 저하 및 의사거리 측정값의 저하로 항법 해의 정확도가 저하된다. 최근 이러한 취약점을 개선하기 위해 단일 수신기 기반 위성 간 거리 정보 기반 위성항법시스템 추정 알고리즘을 제안하는 시도가 있었다 (Choi et al. 2016). Choi et al. (2016) 는 위성이 가시성이 떨어지는 도심 및 동적 환경에서 위성 간 거리 정보의 효용성을 보였으나 위성 간 거리 정보는 ISL 값을 사용하는 것으로 가정하고, ISL 거리 측정값 오차를 적용하였다. 하지만 현재는 ISL 측정값은 직접적으로 얻을 수 있는 측정값이 아니기 때문에 유사 측정값인 궤도력 정보를 이용한 위성 간 궤도력 정보를 사용할 수 있다. 궤도력 정보는 궤도력 오차를 포함하고 있기 때문에 위성 간 궤도력 정보는 오차를 포함하게 된다. 거리 오차는 위성 간 궤도력 정보 기반 위치 추정 알고리즘의 거리 오차로 적용이 되며 항법 해 정확도를 저해한다.

본 논문은 이러한 궤도력 오차로 인한 위성 간 궤도력 정보의 거리 정확도 향상을 위해 궤도력 보정 정보를 이용한 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 정확도 성능 평가를 위해 GPS 데이터를 이용한 정확도 분석을 진행하였다.

2. 본론

2.1 위성 간 궤도력 정보 기반 가상 측정값

위성 간 궤도력 정보 기반 추정 알고리즘은 두 위성과 사용자 사이의 기하학적 제한 조건을 이용하게 된다. 두 위성과 사용자 사이의 삼각형이 형성이 되고 이는 코사인 제 1법칙을 만족하며 이 추가되는 측정 방정식을 기존의 의사거리 측정 방정식에 추가하여 항법 해 추정 알고리즘을 구성한다(Choi et al. 2016). 이 때 Fig. 1의 기하학적 조건에 의해 위성 간 의사거리 정보 값은 궤도력에 의해 오차가 발생하게 된다.

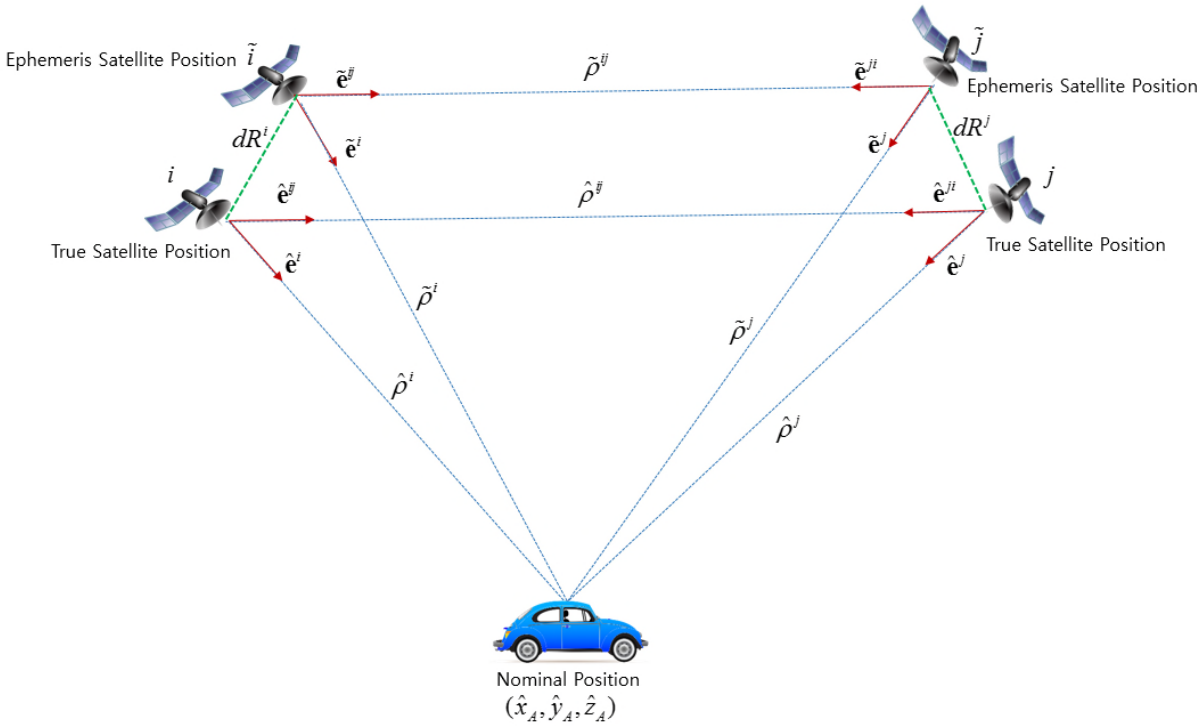


Fig. 1. Geometric conditions between satellites (i, j); True satellite position and ephemeris satellite position.

여기서 $\tilde{\rho}^{ij}$는 궤도력 정보를 이용하여 계산된 가상 위성 간 거리 측정값이며, $\hat{\rho}^{ij}$는 실제 위성의 위치를 기반으로 하는 가상 위성 간 거리 측정값이다. dR^i, dR^j는 각각 위성의 궤도력 오차를 나타낸 것이고, 단위 벡터들은 각각의 방향 벡터성분들이다. 사용자와 위성 간 거리는 약 20,000km로 멀리 떨어져 있기 때문에 단위벡터의 차이로 인한 영향은 무시할 수 있다고 가정할 수 있다. 궤도력 오차에 의한 가상 위성 간 거리 측정값 오차는 궤도력 정보를 이용하여 보정하여 준다면 측정값 오차를 감소시킬 수 있다.

2.2 위성 간 궤도력 정보 기반 추정 알고리즘 정확도 분석 시뮬레이션 설정

위성 간 궤도력 정보 기반 추정 알고리즘을 적용할 때, 궤도력 보정 정보의 효과를 검증하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 궤도력의 보정정보는 Satellite Based Augmentation System (SBAS), Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) 등과 같은 보정 정보를 제공해주는 시스템을 이용할 수 있다(Parkinson & Spilker 1996, Hofmann-Wellenhof et al. 2007). 본 시뮬레이션에서는 2015년 수원 기준국 데이터를 이용하였으며, 모든 위성에 동일한 bias 형태의 위성 궤도 오차를 삽입하고, 궤도력 보정 효과를 모사하기 위해 위성 간 거리 정보를 구하는 과정에서는 위성 궤도력의 bias를 보정한 상태에서 기존의 위치 추정 결과와 비교 분석하였다. 위성 가시성의 제한을 두기 위해 위성 앙각을 30°로 제한하여 위치 추정 정확도를 분석하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

위성의 궤도력을 보정하지 않은 위성 간 궤도력 정보 기반 알고리즘과 보정한 알고리즘의 정확도를 분석하였다. bias를 1m로 적용한 경우, 수평 및 수직 정확도를 Fig 2. 에 도시하였다. 일반적으로 수직 위치 오차가 수평 정확도에 비해 큰 값을 가지지만, 위성 간 궤도력 정보 기반 알고리즘의 VDOP의 저하로 인해 수직 정확도 성능이 크게 향상된다. 궤도력을 보정하지 않았을 경우 Table 1과 같이 수평 7.63m, 수직, 3.0m이다. 궤도력을 보정하였을 경우, 수평 7.09m, 수직 2.5m로 항법정확도 개선율은 수평 7.0%, 수직 16.6%이다. 또한 bias를 2m로 증가하였을 경우, 개선율은 수평 15.1%, 수직 29.8%로 향상됨을 알 수 있다. 이는 궤도력을 보정하였을 경우 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘의 항법 성능이 향상됨을 알 수 있다.

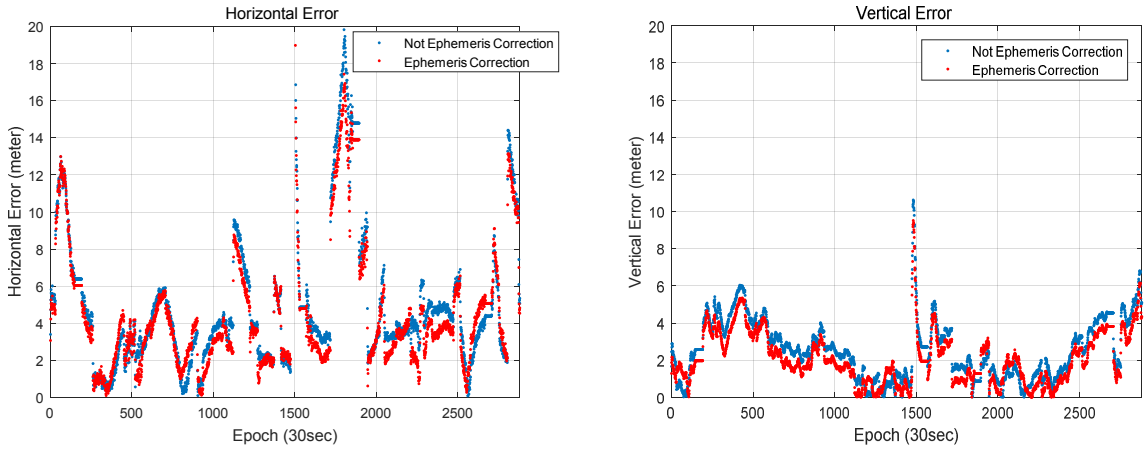


Fig. 2. Position results with respect to ephemeris correction.

Table 1. Position RMS results with respect to ephemeris correction.

		궤도력 보정하지 않을 경우		궤도력 보정할 경우		개선율 (%)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
궤도력 1m 오차	RMS error (m)	7.63	3.00	7.09	2.50	7.0	16.6
궤도력 2m 오차		8.24	3.62	6.99	2.54	15.1	29.8

3. 결 론

위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘에서 위성 간 궤도력 정보의 정확도는 궤도력 오차에 영향을 받는다. 이에 궤도력 오차를 보정할 수 있는 SBAS, QZSS 등과 같은 시스템을 사용할 경우 궤도력 오차로 인한 위성 간 궤도력 정보의 정확도를 향상시킬 수 있다. 본 논문은 가시성이 떨어지는 도심 지역과 같은 지역에서 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고르짐을 적용해 궤도력 오차를 보정하여 항법 해 정확도가 향상됨을 시뮬레이션으로 검증하였다. 궤도력 1m bias를 보정할 경우, 수평 7%, 수직 16.6%로 기존의 알고리즘 대비 개선됨을 보였으며, 궤도력 bias 오차가 증가함에 따라 보정되는 양이 커질수록 기존 대비 개선율이 증가함을 보였다. 이에 궤도력을 보정하였을 경우 위성 간 궤도력 정보 기반 항법 알고리즘의 항법 성능이 향상됨을 알 수 있다.

REFERENCES

Choi, M., Ahn, J., Sung, S., Jang, J., & Lee, J. 2016, Performance Analysis of Method for Position Estimation based on Inter-Satellite Range Measurement in Urban & Dynamic User Environments, in Proceedings of the Korean Society for Aeronautical & Space Science Conference, pp.986-987

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. 2007, Global Positioning System: Theory and Practice, 5th ed. (Newyouk: Springer-Verlag)

Parkinson, B. W. & Spilker, J. J. 1996, Global Positioing System: Theory and Applications vol. II (Washington, D.C: AIAA)

동역학 모델 적용 LTE를 이용한 RF신호 기반 COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에 관한 연구

정인철[1*], 이상욱[1], 신천식[1], 안우근[2]
[1]위성기술연구 그룹, 한국전자통신연구원, [2]국방과학기술연구소 제 3기술연구본부

A Study of COSPAS-SARSAT Search and Rescue System with Dynamic Model by RF Signal Based LTE

Incheol Jeong[1*], Sanguk Lee[1], Cheonsig Sin[1], Woo-Geun Ahn[2]
[1]Satellite Research Department, ETRI, [2]Agency for Defense Development

주소: 대전광역시 유성구 가정로 218 한국전자통신연구원
연락처: 042-860-6647 이메일: jic@etri.re.kr

Abstract: 본 논문은 기존의 군 탐색 구조 개념과 민간 탐색구조 시스템인 COSPAS-SARSAT 시스템의 분석을 통하여 탐색 구조시스템을 실제 RF 신호를 발생 하는 USRP/LTE와 연동하고, 또한 동역학 모델을 적용하여 새로운 규격의 탐색구조 시스템의 가능성을 제시하였다. USRP 개발 플랫폼과 단말기와 위성간의 통신을 RF신호를 통하여 생성하여 송출하고, 이를 수신 처리하여 그 신호를 이용한 위치 추정을 검증하였다. 또한 동역학 모델을 이용한 위성시스템의 도플러 신호처리 효과를 시뮬레이션에 적용함으로써 보다 실제적인 성능평가를 수행하였다.

Keywords: doppler effect, search and rescue, universal software radio peripheral, dynamic modeling

1. 서 론

COSPAS-SARSAT은 전세계 어느 지역이던 통신이 불가능한 지역에서 조난이나 선박 침몰, 항공기 추락이 발생할 때 조난신호를 위성으로 보내 조난신호를 찾아서 인명을 구조하는 목적으로 생성된 국제기구이다. 그림 1은 COSPAS-SARSAT 위성을 이용한 탐색구조 시스템을 표현한 그림으로 단말기 소유자가 유사시에 COSPAS-SARSAT 으로 조난자의 위치정보 구조 신호를 보내고, 위성은 수신된 신호를 지상으로 보낸다. 지역수신국은 위성으로부터 신호를 받아서 임무통제본부로 전송한다. 임무통제본부는 구조조정본부로 구조신호를 요청하면 단말기에게 신호를 수신했다는 ACK 메시지를 송신한다.

본 논문은 동역학 모델을 적용한 위성활용 위치추정 시스템 구현하기위해 USRP/LTE와 연동하고, 또한 동역학 모델을 적용하여 새로운 규격의 탐색구조 시스템의 가능성을 제시하는 것이 목적이다. 또한 단말기와 위성간의 통신을 통하여 위치추정에 대한 성능검증을 목표로 하였다.



그림 1. 탐색구조 시스템의 구성도 (Kim et al. 2014).

2. 동역학 모델

탐색구조 시스템을 실제 위성 시스템에 적용하기 전에 모의 시험을 위해 위성시스템의 도플러효과를 구현하였다. 본 논문에서는 이동통신 분야에서 자주 Racian Fading 모델(Giordano & Levesque 2015)을 채택하여 도플러 효과를 적용하였다. 이동통신 전파특성에서 Racian Fading 이란 이동기지국 근처에서 이동국과의 사이에 가시거리가 확보되어 두가지 전파가 동시에 존재하는 것을 의미하며, Fading 이란 전파가 전파되는 과정에서 전파 환경에 따라 신호의 세기와 위상의 변화가 생기는 현상을 의미한다.

탐색구조 시스템에서는 탐색구조 위성의 궤도 움직임에 따른 도플러 발생과 탐색구조 위성과 비콘단말 거리에 따른 전파 Delay를 모델링하였다. 탐색구조 시스템은 송신 단에서 Racian Fading 모델을 채널 모델을 적용하여 동적 환경을 구축하는 것을 목표로 한다. 이때 Doppler Frequency를 20,000Hz 까지 설정하여 위성의 움직이는 환경을 고려하였다. 그러나 Racian Fading을 적용할 시 Doppler Effect 때문에 수신 단에서 주파수 오프셋, 위상 오프셋을 보정하는 Logic이 필요하다. 왜냐하면 주파수 오프셋을 통해 신호 유효성 검증이 가능하지만 sync 문제에 따른 디코딩이 잘 되지 않는 현상이 발생하기 때문이다. 또한 신호 유효성 검증은 Magnitude error의 RMS measurement를 이용하여 이루어지며 gain value를 낮춤으로써 주파수 오프셋의 변동 폭을 줄일 수 있다.

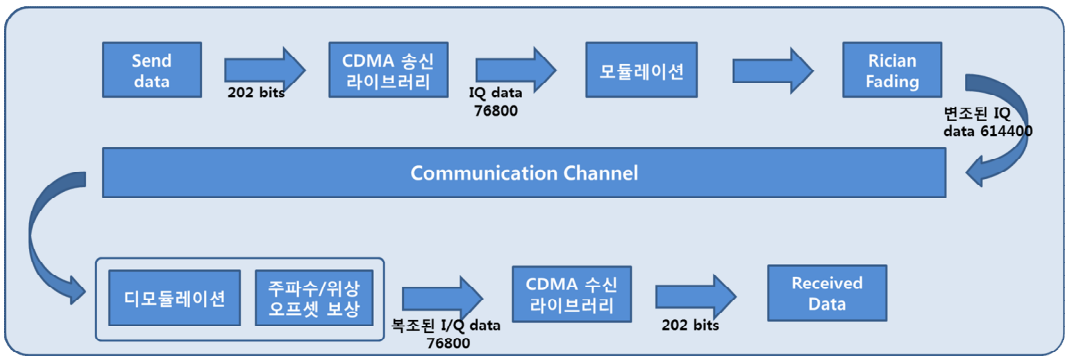


그림 2. 도플러 효과를 적용한 탐색구조 시스템 모델.

3. 동역학 모델기반 구현

동역학 모델 기반 탐색구조 시스템을 구현하기 위해서는 신호 송수신을 위한 트랜시버(Transceiver)기능이 필요하고, 각 위성 하니스(Harness)들 간의 동기가 맞아야 하며, 위치 추정 알고리즘이 구현 및 시험이 용이하고, 테스트 데이터의 저장 및 재생기능을 지원해야 한다. 아래의 그림 3, 4는 탐색구조 위성 궤도 움직임에 따른 Doppler 발생과 탐색구조 위성과 비콘단말 거리에 따른 전파 Delay를 모델링 한 탐색구조 송수신부이다.

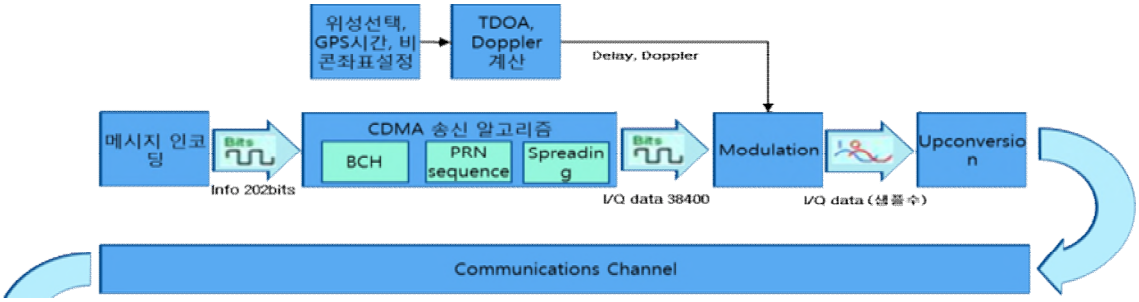


그림 3. 탐색구조 동역학 모델 적용한 송신부.

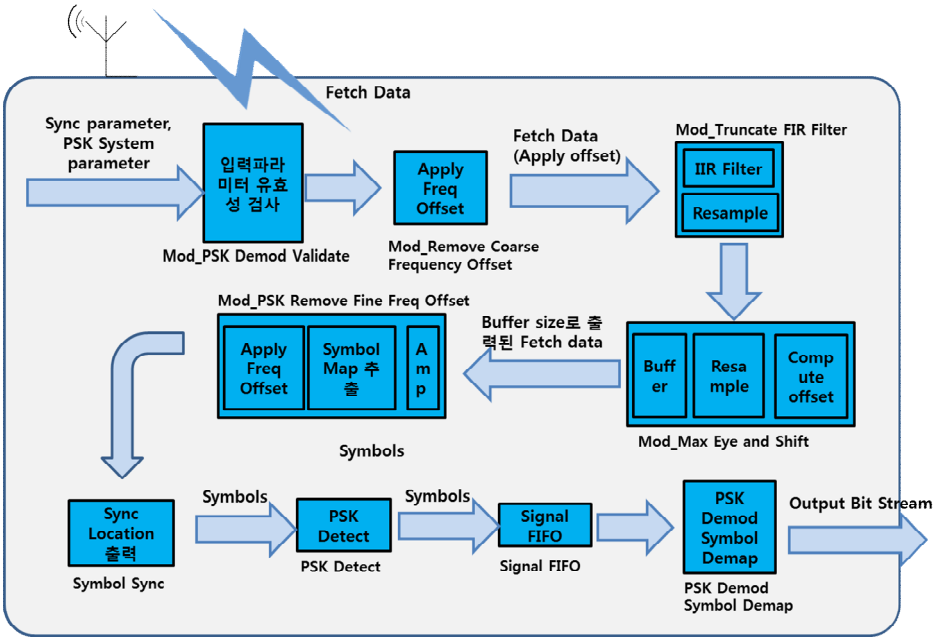


그림 4. 탐색구조 동역학 모델 적용한 수신부.

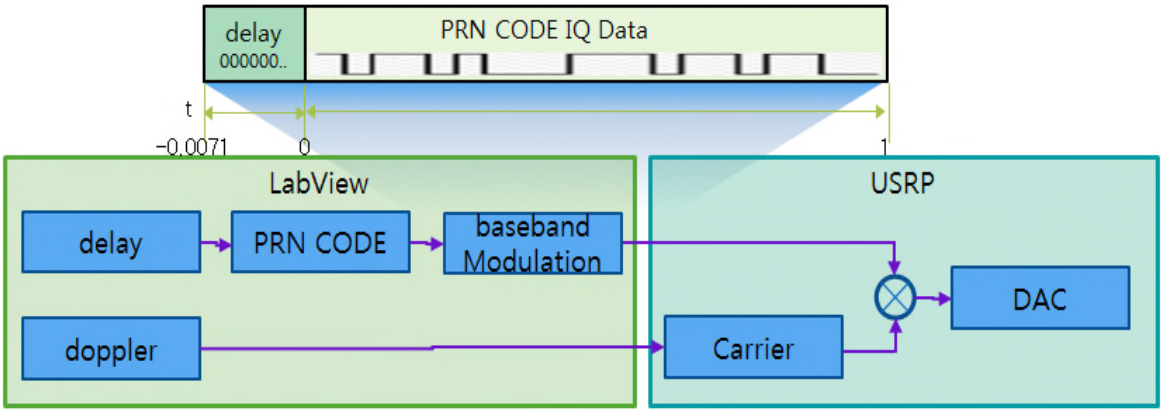


그림 5. 탐색구조 시스템에서 도플러 효과 적용방안.

그림 5는 탐색구조 위성 궤도 움직임에 따른 도플러 발생과 탐색구조 위성과 비콘 단말의 거리에 따른 전파를 모델링한 그림이다. USRP를 활용하여 위성궤도 동역학 모델을 적용하여 신호 생성기능을 구현하고, 위성궤도 동역학 모델을 포팅하여 Delay와 Doppler를 계산하였다. 또한 계산된 내용으로 신호송신 모듈에 적용함으로써 송수신 모듈을 구현하였다.

4. 결론

본 연구는 동역학 모델을 적용한 위성활용 위치추정 시스템 구현하기 앞서 USRP 개발 플랫폼과 M&S 소프트웨어를 연동하고 단말기와 위성간의 통신을 통하여 위치추정에 대한 성능검증을 목표로 하였다. 또한 탐색구조 시스템의 정확성, 신뢰성, 가용성 성능을 측정하고 테스트베드 구축을 통하여 COSPAS-SARSAT 탐색구조 시스템에 대한 방향과 가능성을 제시하였다. 또한 위성 동역학 모델을 또한 동역학 모델을 이용한 위성시스템의 도플러 신호처리 효과를 시뮬레이션에 적용함으로써 보다 실제적인 성능평가를 수행하였다.

본 연구는 국방위성항법 특화연구센터의 3단계 연구에서 수행되었으며 동역학 모델을 적용한 시작품 구현을 통하여 탐색구조 시스템의 완전성을 만족하였다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Giordano, A. A. & Levesque, A. H. 2015, Modeling of Digital Communication System Using Simulink, John Wiley & Sons, Inc. 119-127

Kim, J. H. , Lee, S. U. , Kim, J. H., & Ahn, W. G. 2014, Development Status of Military Search and Rescue System M&S Software, The Journal of Korea Society of Communication and Space Technology, 9, 121-126



[B2] 기타GNSS관련기술 2

GNSS 신호 설계 기법: GNSS 항법성능지수 및 설계 파라미터 간의 관계 중심으로

한가희*, 원종훈
인하대학교 전기공학과 WCSL(World Class Smart Lab) 자율항법연구실

GNSS Signal Design Strategy: Focusing on the Relationship Between GNSS Navigation FoMs and Design Parameters

Kahee Han*, Jong-Hoon Won
Electrical Engineering, INHA University

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : hkh5369@gmail.com

Abstract: 본 논문에서는 GNSS 신호 설계 시 항법성능지수(상관 특성, 수신기 구현 복잡도, 신호 획득 및 추적성능 등) 및 설계 파라미터(중심 주파수, 코드 길이, 변조, 데이터/파일럿 전력 분배 등) 간의 관계를 중심으로 GNSS 신호 설계 기법에 대해 연구한다. 먼저 GNSS 항법성능지수 및 신호설계 파라미터에 대해 각각 정의한다. 다음으로 앞서 정의한 항법성능지수와 신호설계 파라미터의 개념을 바탕으로 신호설계 파라미터의 조정에 의한 항법성능지수 간의 trade-off 관계에 대해 알아본다. 최종적으로 이를 기반으로 GNSS 신호 설계 시 서비스 성능 요구사항을 충족하며 최적의 성능을 발휘하도록 신호를 설계하는 방안에 대해 검토한다.

Keywords: GNSS, navigation figure-of-merit, signal design

1. 서 론

GNSS 기술은 현대인의 생활에 필수적인 기술로 자리매김 하고 있으며, 국가안전망 인프라 및 4차 산업혁명의 핵심 요소로 인식되고 있다. 우주강국들은 자국의 독자적인 GNSS를 구축하거나 기존 시스템의 현대화를 진행하고 있으며, 이 과정에서의 핵심 기술은 신호 설계에 관한 기술이다.

한편, 최근 다양한 GNSS가 등장함에 따라 각 시스템의 서비스에 사용되는 신호의 종류 또한 증가하게 되어 여러 문제가 발생하게 된다. 예를 들어 같은 주파수 대역을 공유하는 GNSS 신호의 종류가 늘어나게 되면 각 시스템 간 상호운용성이 문제된다. 또한 수신기의 관점에서 다양한 GNSS 수신 신호 중 사용하고자 하는 시스템의 신호를 추출하기 위해 확산 코드의 좋은 상관 특성이 요구된다. 즉, 차세대 GNSS 신호를 설계 시, 그 시스템 자체의 성능뿐만 아니라 다른 시스템에 미치는 영향 또한 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 GNSS 신호 설계 파라미터 (Signal Design Parameter) 및 항법성능지수 (FoM: Figure-of-Merit)에 대해 정의하고, 설계 파라미터 조정에 따른 항법성능지수 간의 trade-off 관계를 GNSS 신호 설계 시 반영하는 방안에 대해 검토한다.

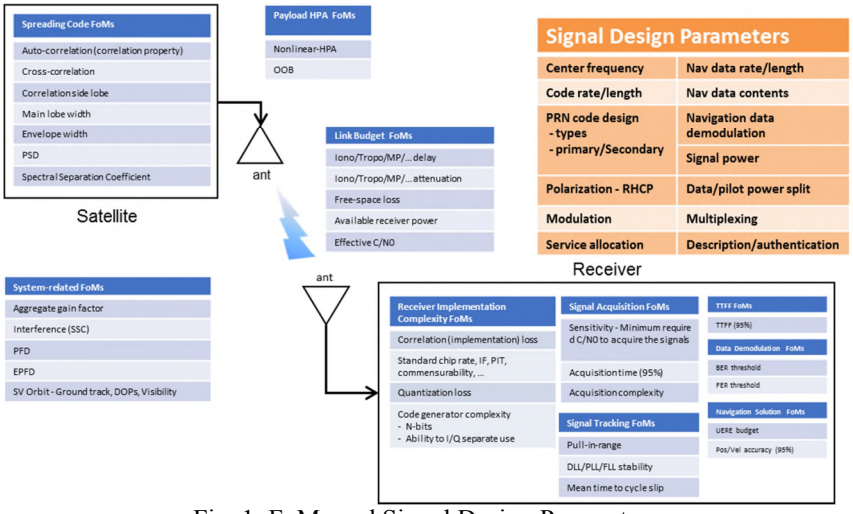


Fig. 1. FoMs and Signal Design Parameters.

2. GNSS 항법성능지수 및 신호설계 파라미터 정의

신호 설계 시 설계 파라미터와 이를 조정하기 위한 기준을 선정하는 것은 설계 초기 단계에서 매우 중요하다. 항법성능지수는 신호 설계의 지표로서 역할 하며, 신호의 관점에서 전체 서비스의 성능을 평가하고, 공급자 및 사용자의 요구사항에 맞게 GNSS 신호를 최적화하기 위한 분석 도구로서 사용된다.

Fig. 1은 GNSS 신호의 대표적인 항법성능지수들과 신호 설계 파라미터들을 제시하고 있다. 이하 위성부를 중심으로 GNSS 신호 설계 파라미터와 항법성능지수에 대해 정의한다.

2.1 GNSS 신호 설계 파라미터

GNSS 항법성능지수에 영향을 주는 대표적인 GNSS 신호 설계 파라미터에는 중심 주파수(center frequency), 코드 속도 및 길이(code rate/length), 확산 코드 설계 요소(PRN code design), 데이터 속도 및 길이(data rate/length), 항법 메시지 구조(navigation message structure), 변조(modulation) 및 복조(demodulation) 기법, 신호 전력(signal power), 채널 간 전력 분배(data/pilot power split), 안테나 분극(Polarization-RHCP), 다중화(multiplexing), 서비스 할당(service allocation), 설명/인증(description/ authentication) 등이 있다.

2.2 GNSS 항법성능지수

· *자기-/상호 상관 (Auto-/Cross-correlation):* 상관 값은 두 신호가 얼마나 상관성을 가지고 있는지 나타내며, 그 값이 클수록 높은 상관성을 가지는 것을 의미한다. 자기 상관은 같은 신호 간, 상호 상관은 다른 신호 간에 시간 지연에 의한 상관성을 나타낸다. 확산 코드는 식별성과 직교성의 성질을 만족하도록 설계되어야 하며, 이러한 확산 코드의 성질을 소위 상관 특성이라고 한다(Han & Won 2017). 상관 값은 상관 함수에 의해 얻어지며, 상관 함수는 아래의 식(1)과 같다. T_{code}는 확산 코드 주기, 위 첨자 *k, l*은 위성 번호, τ 는 시간 지연을 의미한다(Misra & Enge 2001).

$$R^{(k,l)}(\tau) = \frac{1}{T_{\text{code}}} \int_0^{T_{\text{code}}} x^{(k)}(t) x^{(l)}(t-\tau) dt \tag{1}$$

상관함수를 통해 설계된 신호가 바람직한 상관 특성을 갖는지 분석할 수 있다.

· *상관 사이드 로브 (Correlation side lobe): 상관 사이드 로브*는 상관 함수를 시간 지연에 따라 도시했을 때, 메인 로브 이외의 영역을 의미한다. 설계된 신호가 좋은 상관 특성을 갖기 위해서 *상관 사이드 로브*는 작은 값을 가져야 한다. 상관 함수 그래프는 시각적으로 그 정도를 나타낼 수 있지만, 수치적으로 상관 특성을 분석하기에는 적절하지 않으므로, 그 대안으로 상관백분위를 이용하여 상관 특성을 분석할 수 있다 (Han & Won 2017).

· *메인 로브 너비 (Main lobe width):* Fig. 2a에 나타낸 것과 같이, 메인 로브는 상관 함수를 시간 지연에 따라 도시하였을 경우, 상관 최고점을 포함하는 로브를 의미한다. 자기상관함수의 최고점을 추적하는 GNSS 수신기 동작을 고려할 때, 좁은 메인 로브 너비는 잠재적으로 높은 정확도를 산출할 수 있다.

· *포락선 너비 (Envelope width):* Betz (1999)에 의해 제안된 오프셋 캐리어(offset carrier) 변조 기법은 간단한 구현을 통해 주파수 대역의 효과적인 공유가 가능하도록 한다. 한편, 변조된 신호의 자기상관함수는 메인 로브와 차이가 작은 세컨더리 로브(secondary lobe)를 갖게 된다. 그러나 메인 로브의 상관최고점만이 올바른 추적 결과를 제공하므로 Fig. 2a에 도시된 자기상관 함수의 포락선을 통해서 대략적인 추정을 하고 차후 정밀한 추정을 하는 추적 알고리즘이 제안되었다(Fine & Wilson 1999, Martin et al. 2008). 이러한 추적 알고리즘에서 자기상관함수의 *포락선 너비*는 Binary Phase Shift Keying (BPSK) 변조 신호의 *메인 로브 너비*와 같은 의미를 갖는다.

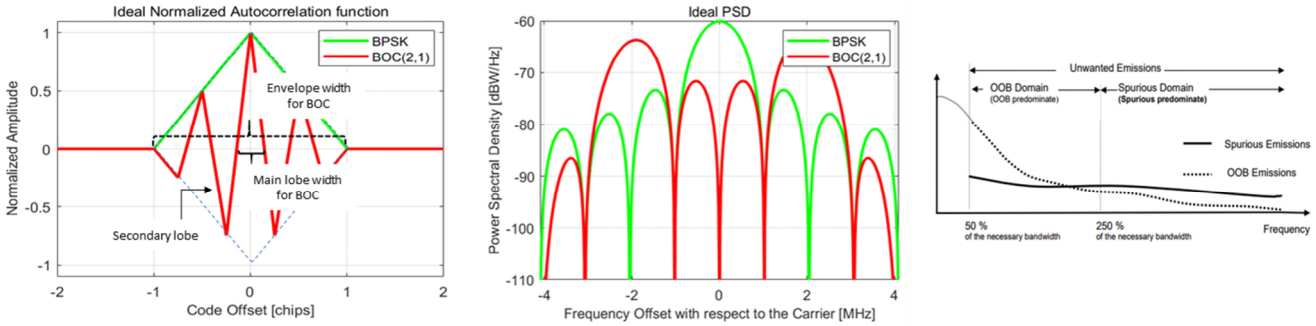
· *전력 스펙트럼 밀도 (PSD: Power Spectral Density): PSD*는 자기상관함수의 푸리에 변환으로 얻어지며, 확산 코드의 전력이 주파수 도메인에서 어떻게 분포되는지를 나타낸다(Grewal et al. 2004). *PSD*에서 중심 주파수와 가장 가까운 두 Null 지점 사이의 메인 로브 너비는 자기상관함수의 메인 로브 너비와 반비례하는 특성을 가지며, 그 너비에 따라 수신기의 front-end 대역폭이 정해진다. Fig. 2b는 Binary Phase Shift Keying (BPSK(1)) 및 Binary Offset Carrier (BOC(2,1))에 의해 변조된 신호의 *PSD*를 나타낸다.

· *상관 분리 계수 (SSC: Spectral separation coefficient): 상관 분리 계수*는 상관기 출력에서 간섭 신호에 의해 야기된 성능 저하를 나타내고 이를 평가하기 위한 항법성능지수이며, 신호와 간섭 신호 간의 *SSC*, k_{is}는 식 (2)와 같이 표현된다(Betz & Goldstein 2002):

$$k_{is} = \int_{-\beta_{r/2}}^{\beta_{r/2}} G_i(f) G_s(f) df \quad (2)$$

여기서 β_r는 수신기 front-end의 complex 대역폭, $G_i(f)$는 신호의 정규화 된 전력 스펙트럼 그리고 $G_s(f)$는 주합(aggregate) 간섭 신호의 정규화된 전력 스펙트럼이다. 특히, Galileo Signal Task Force와 ESA는 GPS와 신호 간의 상호 시스템 간섭을 조사하는 데에 이 항법성능지수를 적용하였다(Borio et al. 2006).

· *대역 외 방사 (OOB: Out-of-Band emission)*: *OOB*란, 변조의 결과로 생기는 필요주파수 대역 바로 바깥쪽에 있는 불요 방사(unwanted emission)를 의미한다. 불요 방사란, *OOB*와 스퓨리어스(spurious) 방사의 합이며, 원하지 않는 성분을 갖는 방사를 총칭한다. 스퓨리어스 방사는 필요주파수 대역에서 멀리 떨어져 있으므로 그 방사 레벨이 정보 전송에 큰 영향을 주지 않으나, *OOB*는 그 세기에 따라 같은 주파수 대역을 사용하는 신호에 영향을 줄 수 있으므로(ECC Recommendation(02)05 2012), 자원의 효율적 사용뿐만 아니라 다른 시스템과의 상호운용성을 위해 적정한 값을 갖도록 설계되어야 한다.



(a) **(b)** **(c)**

Fig. 2. (a) Autocorrelation Function (b) PSD and (c)OOB and spurious domain (ECC Recommendation(02)05 2012).

3. GNSS 신호설계 파라미터 조정에 따른 GNSS 항법성능지수 간의 trade-off

GNSS 신호 설계 파라미터를 조정하는 경우, 그에 따라 항법성능지수 간 trade-off가 발생한다. 따라서 신호 설계 시 서비스의 목적에 따라 각 항법성능지수의 목표치를 설정하고 파라미터를 조정하는 작업이 필요하다. Fig. 3은 앞서 제시한 GNSS 신호 설계 파라미터들과 항법성능지수들의 관계를 나타낸 것이며, 위성부의 항법성능지수들은 대체적으로 신호 설계 파라미터들 중 확산 코드, 데이터 및 변조에 많은 영향을 받는다.

Parameters / FoMs	Center frequency	PRN code rate/length	PRN code design	Nav. Data rate/length	Nav. data contents	Nav. Data demodulation	Modulation	Multiplexing	Signal power	Data/pilot power split	Polarization	Service allocation	Description /authentication
Auto-correlation		x	x	x			x	x					
Cross-correlation		x	x	x			x	x					
Correlation side lobe		x	x	x			x	x					
Main lobe width		x					x	x					
Envelope width		x	x				x	x					
PSD	x	x					x	x	x	x			
SSC	x	x	x				x	x	x	x			
OOB	x						x		x	x			

Fig. 3. FoMs mapping.

· *설계 파라미터 - 확산 코드 및 데이터:* 코드 속도를 높이면 *자기상관함수*에서 좁은 *메인 로브 너비*를 갖기 때문에 잠재적으로 더 좋은 정확성을 가질 수 있다. 그러나 *PSD*의 메인 로브 너비가 넓어지므로, GNSS 수신기의 front-end의 대역폭 또한 더 넓어져야 한다. 이는 수신기가 더 많은 noise power를 수용하는 것을 의미하므로 신호 처리에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 한편, Grewal et al. (2004)에 따르면 *PSD*에서 넓은 메인 로브 너비를 가지는 신호는 협 대역 간섭신호에 대한 항재밍 성능이 좋다. 코드 길이를 늘리면 그 길이에 비례하여 더 낮은 *상호상관 값*을 얻을 수 있으므로(Misra & Enge 2001), 더 좋은 상관 특성을 갖는다. 그러나 긴 코드 길이는 신호 처리 시 고사양의 수신기를 요구한다. 데이터는

확산 코드와 더불어 신호의 특성을 결정하기 때문에 확산 코드와의 적절한 관계를 정의하는 것이 매우 중요하다. 따라서 Han & Won (2017)에서는 코드 주기(code epoch)와 데이터 비트 지속시간(data bit duration)의 비율에 따른 검출 확률에 대해 연구했다. 한편, 본 논문에서 자세히 소개한 GNSS 항법성능지수 이외의 항법성능지수 중 Time-to-First-Fix, 추적 성능, 데이터 복원 성능 또한 데이터 속도에 의해 trade-off가 발생한다 (Won et al. 2012).

4. 결론

GNSS 신호는 위성 – 위성 간 또는 위성 – 지상수신기 간 최적의 성능을 발휘하기위해 다양한 요구조건을 만족하여야 한다. 따라서 신호 설계 초기 단계에서 이에 상응하도록 각 항법성능지수의 목표치를 설정하는 과정이 필수적이다. 본 논문에서는 GNSS 신호 설계 파라미터와 항법성능지수의 정의를 통해 GNSS 신호 설계 시 설계 파라미터 조정에 따른 항법성능지수 간의 trade-off에 대해 검토했다. 향후 계획으로는 본 논문에서 자세히 소개한 항법성능지수들 이외의 다른 항법성능지수들에 대한 trade-off 분석을 수행하고, 나아가 시뮬레이션을 통해 검증할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 인하대학교 WCSL(World Class Smart Lab) 연구지원 사업에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Betz, J. W. 1999, The Offset Carrier Modulation for GPS Modernization, , Proceeding of The Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego, CA, January 1999.

Betz, J. W. & Goldstein, D. B. 2002, Candidate Designs for an Additional Civil Signal in GPS Spectral Bands, Proceeding of The Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego, CA, January 2002

Borio, D., Presti, L. L., & Mulassano, P. 2006, Spectral Separation Coefficients for Digital GNSS Receiver, Proceeding of 2006 14th European Signal Processing Conference, Florence, Italy, September 4-8. 2006

ECC Recommendation (02)05: Unwanted emissions 2012, Edition March 30. 2012. http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/REC0205.PDF

Fine, P. & Wilson, W. 1999, Tracking algorithm for GPS o□set carrier signals, in Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation NTM, The Institute of Navigation, San Diego, Calif, USA, January 1999.

Grewal, M. S., Weill, L. R., & Andrews, A. P. 2004, Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration (New York: John wiley & sons)

Han, K. & Won, J.-H. 2017, GNSS Signal Design Trade-off Between Data Bit Duration and Spreading Code Period for High Sensitivity in Signal Detection, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 6, 87-94

Martin, N., Guichon, H., Revol, M., Hollreiser, M., & Crisci, M. 2008, Acquisition of the PRS BOC(15,2.5) signal in presence of multi-path, in Proceedings of the 4th Esa Workshop on Satellite Navigation Technologies (NAVITEC ’08), December 2008.

Misra, P. & Enge, P. 2001, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance (Massachusetts: Ganga-Jamuna Press)

Won, J.-H., Eissfeller, B., Schmitz-Peiffer, A., Floch, J. -J., Zanier, F., et al. 2012, Trade-off Between Data Rate and Signal Power Split in GNSS Signal Design, IEEE Transactions on aerospace and electronic system, 48, 2260-2281. https://doi.org/10.1109/TAES.2012.6237591

확산 코드 종류에 따른 신호 획득 성능 분석

임덕원*, 천세범, 허문범
한국항공우주연구원 위성항법팀

Analysis on Performance of Signal Acquisition according to Spreading Code

Deok Won Lim*, Sebum Chun, Moon Beom Heo
Satellite Navigation Team, KARI

주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84, 한국항공우주연구원 위성항법팀
연락처 : 042-870-3978 이메일 : dwlim@kari.re.kr

Abstract: 대부분의 위성항법 시스템은 대역 확산 기술에 기초를 둔 코드분할 다중접속 방식을 사용하고 있다. 대역 확산을 위한 코드로는 Pseudorandom Noise (PN) 코드, 직교(Orthogonal) 코드, 다상부호(Poly-phase) 코드 등이 있다. 대표적인 위성항법 시스템인 GPS는 PN 코드 형태인 Gold 코드를 사용하고 있으며, 다른 위성항법 시스템들도 대부분 PN 코드 형태의 확산 코드를 사용하고 있다. 직교 코드나 다상부호 코드는 PN 코드에 비해 교차상관 특성이 좋다고 알려져 있으나, 다상부호 코드는 신호 획득 시에 주파수 모호성 문제가 있는 것으로 알려져 있기 때문에 위성항법을 위한 확산 코드를 설계하거나 결정하기 위해서는 확산 코드에 따른 특성 분석이 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 확산 코드의 종류에 따른 소프트웨어 기반의 신호 생성기와 수신기를 구현하였으며, 모의실험을 통하여 신호 획득 및 추적 성능을 비교하였다.

Keywords: GPS, global navigation satellite system, spreading code, signal acquisition, signal tracking.

1. 서 론

대역확산(Spreading Spectrum)통신에서는 유사잡음신호를 이용하여 본래 신호가 요구하는 대역보다 넓은 대역을 사용한다. 또한, 대역확산에 사용되는 유사잡음신호의 자기상관(auto-correlation) 특성과 교차상관(cross-correlation) 특성을 통해 통신시스템에서 말하는 Code Division Multiple Access (CDMA)를 수행할 수 있다. 대역확산 수신기에서는 유사잡음신호와 동기된 복제(replica) 신호를 가지고 역확산(de-spreading)함으로써 원래의 데이터를 복원한다.

통신시스템에서 사용하는 확산 코드는 크게 Pseudo Noise (PN) 코드와 직교(Orthogonal) 코드, 다상부호(Polyphase) 코드로 분류할 수 있다. PN 코드는 랜덤 잡음과 유사한 특성을 갖는 일정한 규칙에 의해 생성된 이진(binary) 코드로서 Maximal Length sequences, Gold codes, Kasami sequence가 대표적이다. Orthogonal 코드는 zero cross-correlation 특성을 갖는 코드로서 Walsh code, orthogonal gold code 등이 있다. Polyphase 코드는 complex roots of unity로 정의되며 Zadoff-chu sequence가 대표적이다(Han et al. 2017). Zadoff-chu 코드는 Constant Amplitude Zero Auto-Correlation (CAZAC) 특성을 가지기 때문에 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)에서 기존의 Walsh-Hadamard 코드 보다 전력 증폭기에서 비용 및 복잡도를 줄일 수 있다. 다상부호 코드는 3GPP LTE에서 Primary Synchronization Signal (PSS), Sounding Reference Signal (SRS) 등으로 사용되기도 한다.

위성항법 시스템 관점에서 살펴보면, GPS L1 C/A 신호와 BeiDou B1 신호는 Gold 코드를 사용하고 있고, GLONASS L1 신호는 Maximal Length Sequence 코드를 사용하고 있다. 즉, 현존하는 위성항법 시스템은 아직까지 PN 코드 형태만 사용하고 있는 상황이다. 앞에서 언급한 Zadoff-Chu 코드가 갖는 CAZAC 특성은 PN 코드에 비해 자기상관 특성과 교차상관 특성이 우수하다는 의미이므로 위성항법 시스템에 적용한다면 신호 획득 및 추적 성능이 향상될 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 Zadoff-Chu 코드의 길이를 GPS L1 C/A 코드와 동일하게 설정하고 자기상관 특성과 교차상관 특성을 분석하였다. 그런 다음, 신호 획득 성능 지표 중의 하나인 false alarm 확률을 유도하였다. 이때 PN 코드와 같이 상관 함수의 sidelobe가 0이 아닌 코드에 대하여 좀 더 정확한 false alarm 확률을 계산할 수 있는 방안도 제안하였다. 끝으로, 임의의 신호 세기에 대하여 주어진 false alarm 확률로부터 검출 확률과 신호 획득 시간을 예측하고 이를 GPS L1 C/A 코드와 비교하였다.

2. Zadoff-chu 코드의 상관 특성

Polyphase Code가 CAZAC 특성을 갖도록 구현한 Zadoff-Chu sequence는 식 (1)과 같다(Chu 1972, Han et al. 2017).

$$C_{zc}[n]=\begin{cases} e^{j\pi un(n+2q)/N_{ZC}} & , N_{ZC}:\text{even} \\ e^{j\pi un(n+1+2q)/N_{ZC}} & , N_{ZC}:\text{odd} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 Nzc는 코드 길이, u와 q는 Nzc 보다 작은 정수이다. 코드 길이 Nzc와 정수 u가 서로소(mutually exclusive)이면 CAZAC 특성을 갖는다. Zadoff-Chu sequence에 의한 CAZAC 특성은 Fig. 1과 같다. 위상이 일치한 경우의 mainlobe가 1이 되도록 normalize한 경우, 위상이 일치하지 않는 경우의 sidelobe는 최대값이 3.912×10^{-14}이다.

이에 비해, GPS L1 C/A 코드의 자기상관 특성은 Fig. 2와 같다. Fig. 1과 마찬가지로 mainlobe를 1로 normalize한 경우, C/A 코드의 sidelobe는 63/1023, -1/1023, -65/1023의 세 가지 값을 가진다(Misra & Enge 2006).

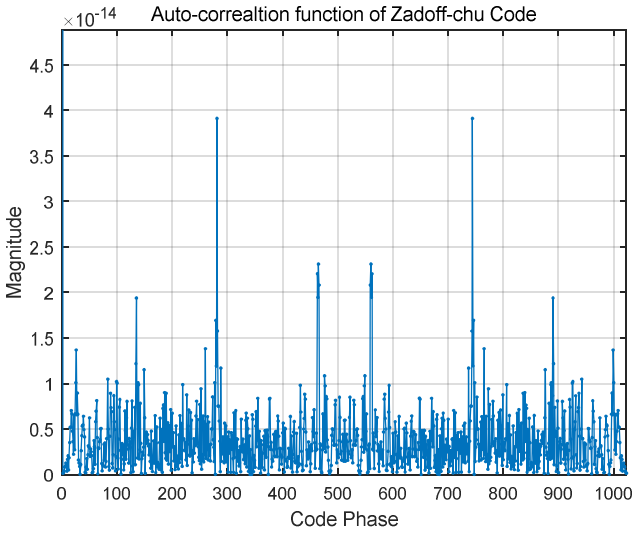


Fig. 1. Auto-correlation function of Zadoff-chu code.

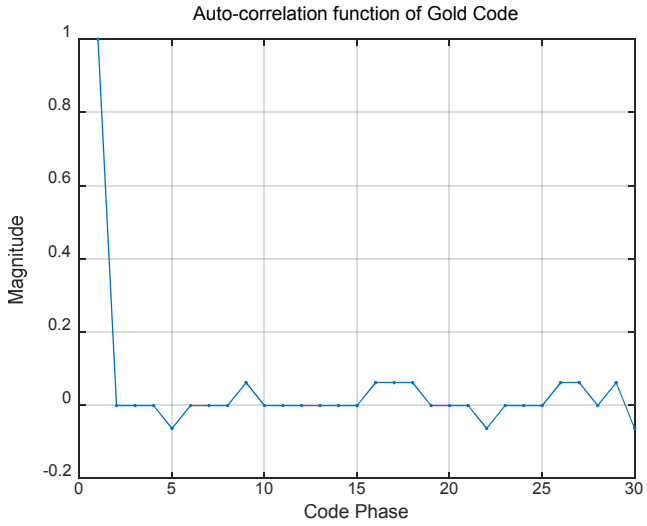


Fig. 2. Auto-correlation function of gold code.

3. 신호 획득 성능 지표

신호가 존재할 때 획득할 확률은 식 (2), 신호가 존재하지 않을 때 잘못 획득할 확률은 식 (3)으로 정의할 수 있다(Kaplan & Hegaty 2006).

$$P_d = \int_{V_t}^{\infty} p_s dz \quad p_s(z): \text{ pdf of the envelope in the presence of the signal} \tag{2}$$

$$P_{fa} = \int_{V_t}^{\infty} p_n dz \quad p_n(z): \text{ pdf of the envelope with the signal absent} \tag{3}$$

여기서 z는 $\sqrt{I^2+Q^2}$ 로 정의되며, 수신기의 Inphase/Quadrature 상관값이 각각 가우시안 분포를 갖는다고 가정하면, 신호가 존재하는 경우의 $\sqrt{I^2+Q^2}$ 는 Ricean 분포를 갖는다. Ricean 분포는 식 (4)와 같다.

$$p_s(z) = \begin{cases} \dfrac{z}{\sigma_n^2} e^{-\left(\frac{z^2+A^2}{2\sigma_n^2}\right)} I_0\left(\dfrac{zA}{\sigma_n^2}\right), & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases} \tag{4}$$

여기서 σ^2 는 RMS 잡음 전력, A는 RMS 신호 크기, $I_0\left(zA/\sigma_n^2\right)$ 는 modified Bessel function of zero order이다. 식 (4)에서 신호가 없는 경우, 즉 A=0이면 식 (5)와 같이 Rayleigh 분포가 되는 것을 알 수 있다.

$$p_n(z) = \frac{z}{\sigma_n^2} e^{-\left(\frac{z^2}{2\sigma_n^2}\right)} \tag{5}$$

식 (5)는 신호가 없는 경우 즉, A=0인 경우만 고려한 것으로 Fig. 2와 같이 sidelobe가 0이 아닌 경우에 대해서는 고려하지 않고 있다. Sidelobe의 영향을 고려하여 false alarm 확률을 계산하기 위해서는 Ricean 분포로 가정해야 한다. 그럼 다음, 코드 위상을 시프트하면서 해당 위상에서의 false alarm을 계산하고 코드 한 주기에 대하여 평균을 구함으로써 식 (6)과 같이 false alarm 확률을 계산할 수 있다.

$$P_{fa,sl} \; @\frac{1}{N-1}\sum_{n}^{N-1}\int_{V_t}^{\infty} \frac{z}{\sigma_n^2} e^{-\left(\frac{z^2+A_n^2}{2\sigma_n^2}\right)} I_0\left(\frac{zA_n}{\sigma_n^2}\right) dz, \; n = 1,2,3,\mathrm{L} \tag{6}$$

여기서 n은 N보다 작은 정수, N은 코드 칩 시퀀스 길이이다. 본 논문에서는 GPS L1 C/A Code와 Zadoff-Chu 코드를 비교하므로 1023이다. An은 수신한 코드와 복제 코드의 위상이 n칩 만큼 차이가 있을 때의 상관특성 즉, sidelobe 값이다.

False alarm 확률과 신호 획득 확률이 주어졌을 때, 평균 신호 획득 시간은 식 (7)과 같다.

$$E\left[T_{acqu}\right] = \frac{(2-P_d)(1+KP_{fa})}{P_d} T_{bins} F_{bins} PIT \tag{7}$$

여기서 K는 penalty factor로 신호 추적을 시도했으나 false alarm에 해당해 다시 신호 획득 프로세스로 돌아오는데 까지 걸린 시간을 Pre-detection Integration Time (PIT)의 배수로 나타낸 것이다. T_{bins}는 찾아야할 코드 위상 bin의 개수, F_{bins}은 찾아야할 주파수 bin의 개수이다.

4. 시뮬레이션

본 장에서는 Zadoff-chu 코드와 Gold 코드에 대하여 신호 획득 성능을 비교하였다. 이 때 반송파 주파수 및 위상은 동기되어 있다고 가정하였으며, 신호 전력에 따른 false alarm 확률을 1%가 되도록 하는 신호 획득 임계치는 Table 1과 같다.

주어진 신호 획득 임계치에 대하여 신호 획득 확률을 도출하면 Table 2와 같으며, 주어진 false alarm 확률과 도출한 신호 획득 확률로부터 신호 획득 시간을 도출하면 Table 3과 같다.

Table 1. Acquisition thresholds.

C/N(dB-Hz)	Vt of gold sequence	Vt of Zadoff-Chu sequence
20	3.0350	3.0348
25	3.0353	3.0348
30	3.0363	3.0349
35	3.0396	3.0350
40	3.0501	3.0354
45	3.0843	3.0367

Table 2. Detection probability.

C/N	Pd of Gold sequence	Pd of Zadoff-Chu sequence
20	0.0148	0.0149
25	0.0275	0.0275
30	0.0842	0.0844
35	0.3668	0.3687
40	0.9404	0.9422
45	0.9999	0.9999

Table 3. Mean acquisition time.

C/N	Mean Acq. time of gold sequence	Mean Acq. time of Zadoff-Chu sequence
20	11289.1	11284.3
25	6076.9	6069.5
30	1927.0	1921.1
35	377.1	374.7
40	95.4	95.1
45	84.7	84.7

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 위성항법 시스템에서 사용하는 Gold 코드와 Zadoff-chu 코드의 상관 특성을 분석하였으며, 신호 획득 성능 지표를 제시하고 성능을 비교하였다. 결과로부터 Zadoff-chu 코드의 신호 획득 확률과 평균 신호 획득 시간이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 추후 계획으로서 Zadoff-chu 코드를 사용할 때 발생하는 주파수 모호성 문제를 분석하고 해결 방안을 도출할 것이다.

REFERENCES

Chu, C. D. C. 1972, Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties, IEEE Trans. Inf. Theory, 18, 531-532. https://doi.org/10.1109/TIT.1972.1054840

Han, S. K., Kim, J.-B., Kim, J.-K., Han, A., Kim, K.-J., et al. 2017, Frequency ambiguity free tiered differential-polyphase codes for GNSS signal design, Electron. Lett., 53, 598-600. https://doi.org/10.1049/el.2016.3680

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS – Principles and Applications 2nd Ed. (Norwood: Artech House, INC.)

Misra, P. & Enge, P. 2006, Global Positioning System – Signals, Measurements, and Performance 2nd Ed. (Lincoln: Ganga-Jamuna Press)

GPS 정밀 위치 추정을 위한 적응 칼만필터 기반의 GPS 도플러 바이어스 보정 기법

강창호[1], 김선영[2], 최영권[2], 박찬국[3*]
[1]서울대학교 BK21 플러스 융합지식기반 창조형 기계항공인재 양성사업단, [2]서울대학교 기계항공공학부,
[3]서울대학교 기계항공공학부, 서울대학교 자동화시스템공동연구소

Adaptive Kalman Filter Based Doppler Bias Correction Algorithm for GPS Precise Positioning

Chang Ho Kang[1], Sun Young Kim[2], Yeongkwon Choe[2], Chan Gook Park[3*]
[1]BK21+ Transformative Training Program for Creative Mechanical and Aerospace Engineers, Seoul National University
[2]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University
[3]Department of Mechanical & Aerospace Engineering / Automatic and Systems Research Institute, Seoul National University

주소 : 서울시 관악구 관악로 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 도플러 편위에 생기는 바이어스 성분의 오차를 제거하기 위해서 적응 칼만 필터 기반의 보정 알고리즘을 제안하였다. 도플러 편위의 바이어스는 칼만 필터의 잔차를 파라미터로 선정하여 카이 제곱 검정 기법을 이용하여 검출하고 필터의 칼만 게인 값을 변화시켜서 바이어스 오차의 영향을 최소화하는 알고리즘을 구현하였다. 제안한 기법의 성능 검증을 위하여 상용 GPS 수신기에서 얻은 의사거리와 도플러 편위 값을 이용하여 의사거리 오차를 보정하는 실험을 진행하였다. 실험결과 수신신호 품질이 좋지않은 경우에도 의사거리 오차 보정이 잘되는 것을 확인하였다.

Keywords: adaptive Kalman filter, Doppler bias correction algorithm, Doppler smoothing of code pseudorange

1. 서 론

C/A 코드 의사거리는 상용 GPS 수신기의 위치 결정에 널리 사용되지만, 잡음 및 다중 경로 효과에 의해 쉽게 악화되어 위치 추정 성능이 크게 저하될 수 있음이 알려져 있다. 그래서 GPS 수신기의 위치 추정 정확도를 향상시키기 위해 GPS 신호의 반송파를 이용하여 의사거리 정확도를 향상시키는 방법들이 많이 연구되었다. 일반적으로 반송파를 이용한 의사거리 보정 기법은 C/A 코드 의사거리의 오차 성분을 반송파 위상을 이용하여 보정하는 해치필터 (hatch filter)를 기반으로 연구되었다. 그러나 반송파 위상정보는 정밀 GPS 위치 추정을 위한 측정치이지만 GPS 신호단절 상황, 다중 경로 등의 상황에서 연속적으로 얻는 것이 불가능하며, 이런 상황에서 반송파 위상에 사이클 슬립 (cycle slip)이 발생하게 된다. 그래서 C/A 코드 의사거리의 오차 성분을 보정하기 위한 다른 측정치에 대한 연구가 진행이 되었고 그 중 하나가 도플러 편위 (Doppler shift)를 이용하여 의사거리를 보정하는 기법이다 (Bahrami & Ziebart 2010). 도플러 편위 측정치는 GPS 수신기의 속도를 측정할 때 쓰이는 측정치로 수신기 추적루프에서 위성신호를 계속 추적하는 동안에는 얻을 수 있다. 그래서 real time kinematic (RTK) 기법에서 많이 사용되고 있지만 측정치에 예상치 못한 바이어스 성분의 오차가 생기므로 이것을 보정하는 기법이 추가로 필요하다 (Mouri et al. 2015). 본 논문에서는 도플러 편위에 생기는 바이어스 성분의 오차를 제거하기 위해서 적응 칼만 필터 기반의 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 기법의 성능 검증을 위하여 상용 GPS 수신기에서 얻은 의사거리와 도플러 편위 값을 이용하여 의사거리 오차 보정 효과를 기존 기법과 비교 분석하였다.

2. 도플러 편위 측정치 분석

도플러 효과는 어떤 파동의 신호원과 관찰자의 상대 속도에 따라 진동수와 파장이 바뀌는 현상을 가리킨다. 이러한 전파의 물리적인 성질을 이용하여 다양한 분야에서 응용되고 있으며 특히 목표물 상대 거리 추정 및 위치 추정, 전파 항법에 많이 사용되고 있다. 위성항법시스템에서 도플러 효과는 수신기와 각 채널의 위성간의 상대 속도와 위치에 따라서 나타나게 되는데 도플러를 정의하면 다음과 나타낼 수 있다 (Bahrami & Ziebart 2010).

$$\frac{f_R}{f_T} = \frac{1 - \frac{\|\mathbf{v}_{rel}\|\cos\theta}{c}}{\sqrt{1 - \frac{\|\mathbf{v}_{rel}\|^2}{c^2}}} \tag{1}$$

여기서 f_R는 사용자가 받은 위성신호 주파수를 나타내고, f_T는 위성에서 송신한 본래 위성신호 주파수를 의미한다. $\mathbf{v}_{rel}$는 사용자와 위성간의 상대속도 벡터로 다음과 같이 정의한다.

$$\mathbf{v}_{rel} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_r \tag{2}$$

여기서 $\mathbf{v}_i$는 i번째 위성의 속도 벡터이고 $\mathbf{v}_r$는 사용자의 속도 벡터를 나타낸다. 식 (1)에서 θ는 Fig. 1과 같이 상대속도 벡터와 수신기의 LOS (line of sight) 벡터의 사이각을 의미하며, c는 진공상태에서의 빛의 속도고, $\|\ \|$는 벡터의 2-norm을 의미한다.

식 (1)을 이항 급수 (binomial series)를 이용하여 표현하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{f_R}{f_T} = \left(1 - \frac{\|\mathbf{v}_{rel}\|\cos\theta}{c}\right)\left(1 + \frac{\|\mathbf{v}_{rel}\|^2}{2c^2} + \frac{3\|\mathbf{v}_{rel}\|^4}{8c^4} + \mathrm{L}\right) \tag{3}$$

여기서 위성과 사용자 사이의 상대속도는 빛의 속도보다 훨씬 작은 값이므로 ($\|\mathbf{v}_{rel}\| = c$), 식 (3)에서의 고차항은 생략 가능하다.

Fig. 1에서 위성과 사용자간의 시선 속도 (radial velocity)는 시간에 따른 의사거리 변화량을 의미하며 이 값은 위성과 사용자 사이의 상대속도와 밀접한 연관이 있고 다음과 같이 나타낼 수 있다 (Bahrami & Ziebart 2010).

$$\dot{\rho}_r^i = \frac{d\rho_r^i}{dt} = \|\mathbf{v}_{rel}\| \bullet \frac{\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_r}{\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_r\|} = \|\mathbf{v}_{rel}\|\cos\theta \tag{4}$$

여기서 $\dot{\rho}_r^i$는 시선 속도 (의사거리 변화율)를 의미하며 $\mathbf{p}_i$와 $\mathbf{p}_r$는 각각 번째 위성과 사용자의 위치 벡터를 의미한다. 식 (4)와 식 (1)의 관계를 다시 정리 하면 송수신 신호의 주파수 비는 다음과 같은 관계를 갖는다.

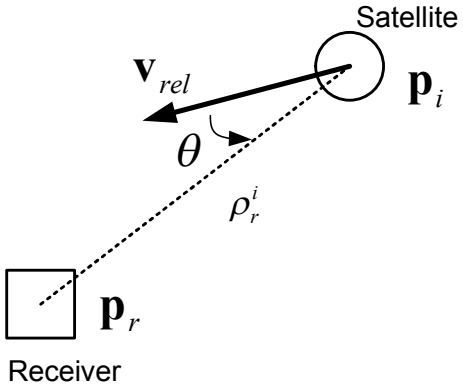


Fig. 1. Doppler effect and geometry.

$$\frac{f_R}{f_T} \approx 1 - \frac{\dot{\rho}_r^i}{c} \tag{5}$$

최종적으로 구하고자 하는 도플러 편위 (Doppler shift)는 송신 신호 주파수와 수신 신호 주파수 차이로 정의 되며 의사거리 변화율로 이를 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta f_R \approx f_R - f_T \approx -\frac{\dot{\rho}_r}{c} \bullet f_T \approx -\frac{\dot{\rho}_r}{\lambda_{f_T}} \tag{6}$$

여기서 λ_{f_T} 는 송신 신호의 파장을 의미한다. 도플러 편위는 일반 수신기 알고리즘에서 추적루프에서 획득할 수 있는 측정치로 식 (6)의 관계를 이용하여 의사거리 변화율을 구할 수 있다. 위성항법 신호의 품질이 좋지 않을 때 도플러 편위를 이용하여 계산한 의사거리 변화율은 GPS의 L1 C/A코드로 계산한 의사거리 변화율보다 품질 저하에 따른 오차 성분이 적다. 그러므로 도플러 편위를 이용하여 계산한 의사거리 변화율을 일정시간에 따라서 적분을 하게 되면 의사거리 보정 항으로 사용가능하다. 의사거리 보정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다 (Bahrami & Ziebart 2010).

$$\bar{\rho}_r^i(t) = \rho_r^i(t-1) + \lambda_{f_T} \int_{t-1}^{t} \Delta f_R dt \tag{7}$$

여기서 $\bar{\rho}_r^i(t)$는 보정된 의사거리이고 $\rho_r^i(t-1)$는 전 단계 (t-1) 에서 계산한 의사거리 값이다.

3. 적응 칼만필터 기반 도플러 편위 바이어스 보정 기법

도플러 편위를 이용하여 의사거리를 보정하게 되면 C/A코드 의사거리보다 오차 성분이 더 적게 포함되어 있어서 정밀한 위치 추정을 할 수 있다. 하지만 실제 실험 데이터를 분석 하면 도플러 편위에 통신환경에 따라서 오차 성분이 포함될 수 있으며 특히 바이어스 형태의 오차 성분은 위치 추정 오차에 큰 영향을 미친다. 이를 제거하기 위해서 본 논문에서는 적응 칼만필터 기반의 도플러 편위 바이어스 보정 기법을 제안한다. 적응 칼만필터는 필터 잔차 값의 변화를 필터 공분산 값에 반영하여 최종적으로 칼만 게인을 조절한다 (Kim et al. 2009, Yu 2012). 이를 통해서 도플러 편위의 바이어스 오차 성분의 영향을 최소화 할 수 있다. 본 논문에서 적용한 단일 위성채널에 대한 적응 칼만필터 식은 다음과 같다.

$$\hat{\rho}_i^-(t) = \hat{\rho}_i(t-1) - \lambda_{f_T} \int_{t-1}^{t} \Delta f_R dt \tag{8}$$

$$\Omega_i(t) = \sum_{j=t-N+1}^{t} \left(\rho_i(j) - \hat{\rho}_i^-(j)\right)\left(\rho_i(j) - \hat{\rho}_i^-(j)\right)^T \tag{9}$$

$$\lambda_i(t) = 1 + \left(P_i^-(t)\right)^{-1}\left(\Omega_i(t) - P_i^-(t) - R_i(t)\right) \tag{10}$$

$$P_i^-(t) = \lambda_i(t)\left(P_i(t-1) + Q_i(t)\right)\lambda_i(t)^T \tag{11}$$

$$K_i(t) = P_i^-(t)\left[P_i^-(t) + R_i(t)\right]^{-1} \tag{12}$$

$$\hat{\rho}_i(t) = \hat{\rho}_i^-(t) + K_i(t) \times \left(\rho_i(t) - \hat{\rho}_i^-(t)\right) \tag{13}$$

$$P_i(t) = \left(I - K_i(t)\right)P_i^-(t) \tag{14}$$

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 방법의 성능 분석을 위해서 상용수신기에서 획득한 단일 채널 GPS L1 C/A 코드 위성 신호를 이용하였다. 오차 보정 정도를 확인하기 위해서 비교 값으로 C/A 코드 의사거리 변화율를 선정하였다 ($\dot{\rho}_r(t) = \rho_r^i(t) - \rho_r^i(t-1)$). Fig. 2를 통해 알 수 있듯이 도플러 측정치에 바이어스를 임의로 입력했을 때 (Fig. 2 아래 그래프 참조) 적응 칼만 필터를 사용할 경우 바이어스 오차 영향을 받지 않는 것을 확인 할 수 있었고 도플러 편위를 이용하면 기존 C/A 코드 의사거리 측정치의 오차 성분을 많이 보정할 수 있는 것을 확인하였다.

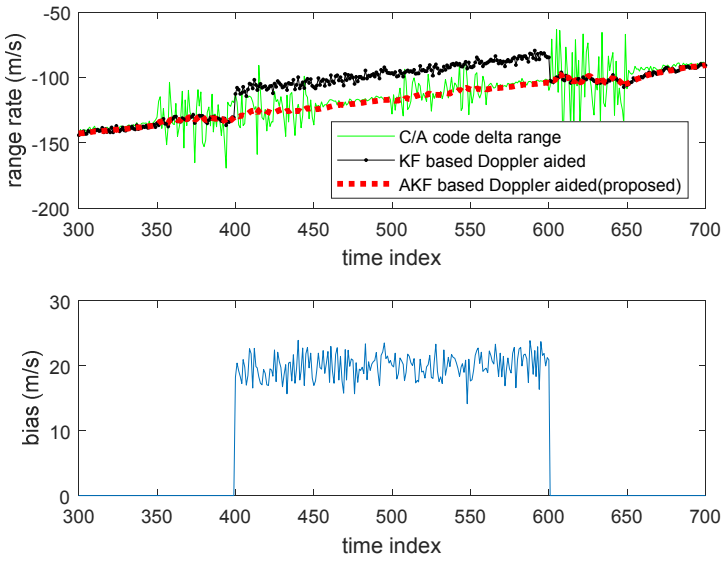


Fig. 2. Simulation results.

5. 결 론

본 논문에서는 적응 칼만 필터를 이용하여 도플러 편위에 포함된 바이어스 오차를 보정하였고, 보정된 도플러 편위 값을 이용하여 단일 채널의 의사거리를 보정하는 알고리즘을 제안하였다. 상용 수신기로부터 획득한 데이터를 이용하여 성능 검증을 하였고, 실험결과 수신신호 품질이 좋지않은 경우에도 도플러 편위에 포함된 바이어스 오차를 보정하는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bahrami, M. & Ziebart, M. 2010, Instantaneous Doppler-aided RTK positioning with single frequency receivers, In Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION, pp.70-78. https://doi.org/10.1109/PLANS.2010.5507202

Kim, K. H., Lee, J. G., & Park, C. G. 2009, Adaptive two-stage extended Kalman filter for a fault-tolerant INS-GPS loosely coupled system, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 45, 125-137. https://doi.org/10.1109/TAES.2009.4805268

Mouri, A., Kubo, Y., & Sugimoto, S. 2015, Detection and correction of Doppler biases in Kalman filter-based positioning, In Proceedings of the ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and its Applications, pp.156-164. https://doi.org/10.5687/sss.2015.156

Yu, M. J. 2012, INS/GPS integration system using adaptive filter for estimating measurement noise variance, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 48, 1786-1792. https://doi.org/10.1109/TAES.2012.6178100

MEMS 원자셀을 이용한 초소형 Chip-Scale 원자시계 개발

전태현[1], 윤상준[1*], 김태균[1], 홍현규[2], 권택용[2], 박종철[3], 김희연[3]
[1]넵코어스㈜, [2]한국표준과학연구원, [3]나노종합기술원

Development of Atomic Clock Using MEMS Atomic Vapor Cells

Tae-Hyun Jun[1], Sang-Jun Yun[1*], Tae-Gyun Kim[1], Hyun-Gue Hong[2], Taeg-Yong Kwon[2], Jong-Cheol Park[3], Hee-Yeoun Kim[3]
[1]NAVCOURS, [2]Korea Research Institute of Standards and Science, [3]National NANOFAB Center

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6(관평동 713)
연락처 : 042-363-9220 이메일 : microen@navcours.com

Abstract: 나노종합기술원에서 Micro Electro Mechanical System (MEMS) 원자셀과 VCSEL, Photodiode로 구성된 물리부를 개발하였으며, 물리부를 제어하기 위한 전자회로부를 제작하여 최종적으로 물리부와 전자회로부로 구성된 Chip-Scale 원자시계를 제작하였다. 제작된 원자시계의 전자회로부를 이용하여 물리부의 온도를 제어하고, 물리부 내의 VCSEL에 공급되는 전류와 RF 주파수를 제어하여, 최종적으로 물리부의 포토 다이오드 출력을 통하여 흡수선 및 3kHz 선폭의 Coherent Population Trapping(CPT) 신호를 관측하였다. 관측된 CPT 신호를 이용하여 VCTCXO를 제어한 후 측정되는 10MHz 주파수의 안정도가 약 10초 기준 10e-11임를 확인하였다. 제작된 원자시계는 25cc의 크기를 가지며, 3.3VDC 전원 기준으로 약 170mW의 전력을 소비한다. 본 논문에서는 원자시계의 전자 회로부에 대하여 간략히 소개하고, CPT 신호 관측 및 10MHz 기준주파수 제어를 위한 S/W 알고리즘에 대하여 기술하였으며, 향후 개발 진행 방향에 대하여 소개하겠다.

Keywords: MEMS vapor cell, chip-scale, atomic clock, CPT

1. 서 론

현재 개발 중인 초소형 chip-scale 원자시계는 원자 센서 기술을 이용한 장치로서 알칼리 원자를 증기 상태로 비활성화 가스와 함께 주입하여 본딩 후 원자셀을 만들고 여기에 빛을 투과 시키면 내부 원자셀에 있는 Cs 원자가 활성화하면서 Cs 원자의 흡수 스펙트럼을 얻을 수 있다(Kitching et al. 2011). 이 원자 센서 기술을 이용하여 초소형 chip-scale 원자시계를 구현하였으며, 특히 앞서 언급된 원자시계의 주요 소자인 원자셀을 MEMS 공정기술을 이용하여 원자셀의 크기를 수 10mm 정도의 크기로 제작하였고, 구동 전자회로부 설계 시 고집적회로 및 저전력 소자를 적용하게 되면 AA 소형 밧데리로 동작시킬 수 있는 저전력의 원자시계를 제작할 수 있다. 초소형 원자시계는 같은 전력소모 및 크기의 수정발진기에 비해 100~1000배 이상 우수한 주파수안정도와 정확도 확보가 가능하다.

초소형 원자시계는 기존의 소형 원자시계에 비해 크기가 100분의 1에 불과할 뿐만 아니라 건전지로 동작 가능한 소모전력을 가지므로 그 활용도 높을 것으로 기대되어 미국, 유럽 등에서 경쟁적으로 개발하고 있다.

적용 가능한 응용 분야로는 모바일 네비게이션, 초고속 통신 및 금융네트워크, 수중 지진센서 등의 민수부야 및 이동형 미사일/전투기/잠수함/군함용 항법장치, 이동형 고정밀 전파탐지장비, 고정밀 보병용 네비케이터 및 보병용 라디오, 전술용 무인항공기와 같은 군수분야에 적용 가능한 장치이다.

본 개발팀에서는 <25cc 크기에 <125mW 전력을 소모하는 초소형 chip-scale 원자시계를 연구 개발하고 있으며, 이를 위하여 우선적으로 물리부 제어를 위한 전자회로부를 설계 제작하고 원자셀 제어를 위한 SW 알고리즘 개발하였다. 개발된 전자회로부 및 SW 알고리즘을 검증하기 위하여 상용 물리부를 전자 회로부에 결합하여 성능 측정을 하였으며, 현재 제작된 원자시계는 25cc 크기에 170mW의 전력을 소모하는 것으로 측정되었다. 현재 나노종합기술원에서 제작한 물리부를 검증하고 있으며, 향후 제작된 전자회로부에 물리부를 장착하여 실험을 진행할 것이다. 본 발표에서는 전자회로부의 설계 제작 내용 및 상용 물리부를 적용하여 도출된 실험 결과들을 제시하였다.

2. 원자시계 제작

초소형 원자시계는 크게 두개 부분으로 구성되는데, 물리부와 전자회로부이다. 물리부는 광원(VCSEL)

렌즈, λ/4 파장판으로 구성된 광원, 분광을 위한 micro 분광셀, 신호검출을 위한 포토다이오드, 온도조절을 위한 히터코일과 온도센서, 정자장 발생을 위한 솔레노이드, 그리고 외부자장을 차폐하기 위한 자기차폐를 포함한다(Gianchandani et al. 2008). 전자회로부는 VCSEL 구동을 위한 전류 및 온도 조절장치, VCSEL 주파수안정화를 위한 되먹임 회로, VCSEL을 주파수변조를 위한 주파수합성기, 변조주파수 안정화를 위한 되먹임 회로, 온도 조절 회로, 1PPS 신호와 10MHz 신호를 발생시키는 회로, 그리고 전체 시스템 자동화 회로를 포함한다. Fig. 1은 초소형 chip-scale 원자시계의 기본 개념도 이다.

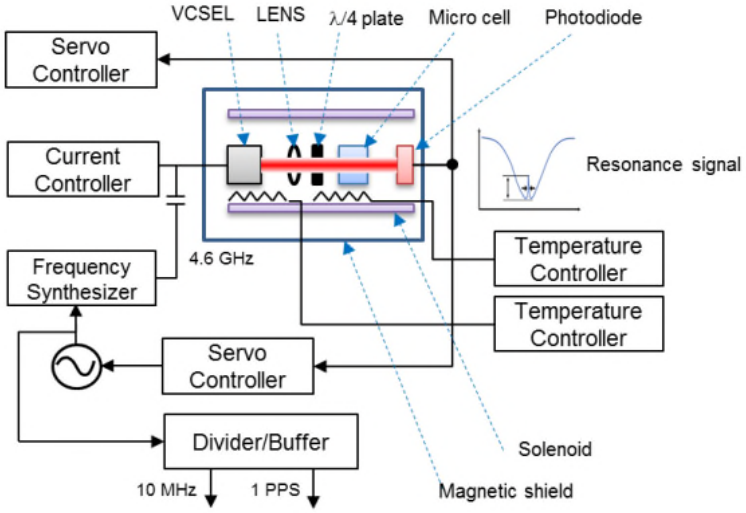


Fig. 1. Electro servo board block.

2.1 전자회로부 설계

전자회로부는 온도 및 전류 제어회로, 마이크로파 합성회로 및 주파수 안정화 회로와 각각의 회로 제어를 위한 MCU로 구성되어 있다. 물리부의 MEMS 원자셀에 존재하는 Cs 원자를 활성화 하기 위하여 MEMS 원자셀에 일정 온도로 가열하기 위한 전류 공급회로와 PI 제어 회로를 구성하여 설정온도값과 현재 온도값을 비교 후 제어계수에 따라 온도 유지가 가능하도록 설계 되었다. 물리부 내에 있는 VCSEL 구동을 위한 전류를 공급하기 위하여 DAC를 연결하여 DAC 제어값에 따라 VCSEL에 공급되는 전류가 변화하도록 설계하였다. VCSEL의 주파수를 변조하기 위하여 물리부에 RF 신호를 생성하여 공급하는 장치인 마이크로파 합성회로를 설계하였다. 마이크로파 합성회로는 자체 제작된 전압제어 발진기와 상용의 PLL 소자를 이용하여 구성하였으며, 기준주파수는 주파수 안정도가 높은 VCTCXO를 적용하였다. RF 주파수 제어는 CPT 검출을 위한 Lock-in 루프 S/W 제어 알고리즘에 의해 PLL 제어를 통하여 최종적으로 전압제어 발진기의 전압값을 제어하여 주파수를 변화 시킨다. 물리부의 출력은 포토 다이오드의 전류값으로 출력되며, 전류값을 검출을 위하여 I-V 변환회로 및 출력값 증폭을 위한 증폭회로를 구현하였으며, 각각의 출력을 ADC로 검출한 후 MCU에 전달되도록 하였다. 아울러 안정적인 전원 공급을 위한 전원회로와 외부 인터페이스와 연결이 용이하도록 버퍼등을 적용하여 최종 전자회로부를 설계하였으며, 시뮬레이션 및 실험값을 바탕으로 25cc 크기를 제작하였다.

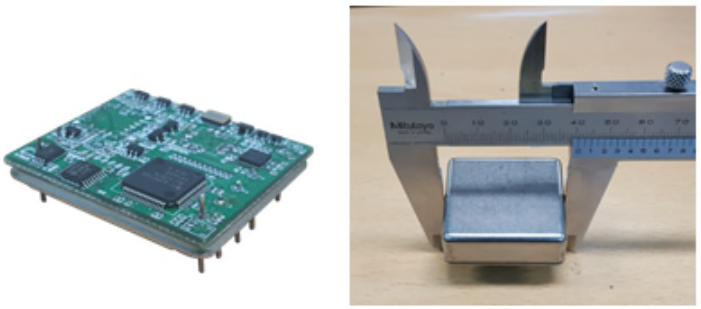


Fig. 2. Electronic servo & chip-scale atomic clock.

2.2 제작 전자회로부 및 Chip-Scale 원자 시계 형상

Fig. 2는 설계 제작된 초소형 chip-scale 원자시계의 전자회로부이며, 전자회로부에 최종 외부 기구를 결합한 형상이다. 가로 41mm, 세로 36mm, 높이 15mm이며 약 24cc의 크기로 제작 되었으며, 중량은 약 45g이다.

3. 소프트웨어 알고리즘

원자시계에 적용된 물리부 제어를 위하여 온도 제어 및 RF 주파수 제어, 흡수선 탐색, CPT Scan 및 locking, CPT 신호에 10MHz 기준주파수 lock을 유지하도록 하는 알고리즘 등을 개발하였으며 이를 제작된 전자회로부에 적용하였으며 상용 물리부를 이용하여 실험을 진행한 후 결과를 확인하였다.

3.1 전류 제어 및 RF 주파수 제어

개발된 S/W 알고리즘은 물리부 원자셀에 있는 Cs 원자의 흡수선을 검출하고, 검출된 흡수선을 안정화 시킨 후 최종적으로 Cs 원자에서 CPT 신호를 검출하기 위함이며, 이를 위하여 VCSEL에 공급되는 전류와 RF 주파수를 제어하는 알고리즘이다. 흡수선 탐색 구간 단계에서 VCSEL에 공급되는 전류를 제어하여 포토 다이오드의 출력값에서 변곡 지점을 스캔하여 최적의 흡수선 지점을 탐색 후 lock-in 루프를 구성하여 온도 및 시간에 따라 흡수선의 중심이 이동하더라도 지속적으로 추적하도록 설계되었다. 이렇게 탐색된 흡수선 신호에 특정 RF 주파수를 입력하여 Cs 원자의 CPT 신호를 얻게 되며, CPT신호는 매우 미약한 신호이기 때문에 신호잡음과 혼합되어 단순 검출이 불가능하므로 잡음 내 미약신호 증폭 검출기법으로 Square Signal Lock-in 알고리즘을 구현하여 CPT 신호를 확인하게 되며, 최종적으로 CPT 신호에 VCTCXO의 10MHz 출력 주파수가 lock을 유지하도록 제어 알고리즘을 개발하였다.

3.2 S/W 알고리즘 개발 결과

Fig. 3은 제작된 전자회로부에 개발된 S/W 알고리즘을 적용한 후 실험한 결과를 표시한 것이다. Fig. 3a는 전류 제어를 적용하여 측정된 Cs 원자의 흡수선이며, Fig. 3b는 관측된 흡수선 신호에 RF 주파수를 공급한 후 Square Signal Lock-in 알고리즘 이용하여 최종적으로 측정된 CPT 신호이다. 이때 물리부를 감싸고 있는 코일에 전류를 공급하게 되면 그림과 같은 단일의 CPT 신호를 얻을 수 있다.

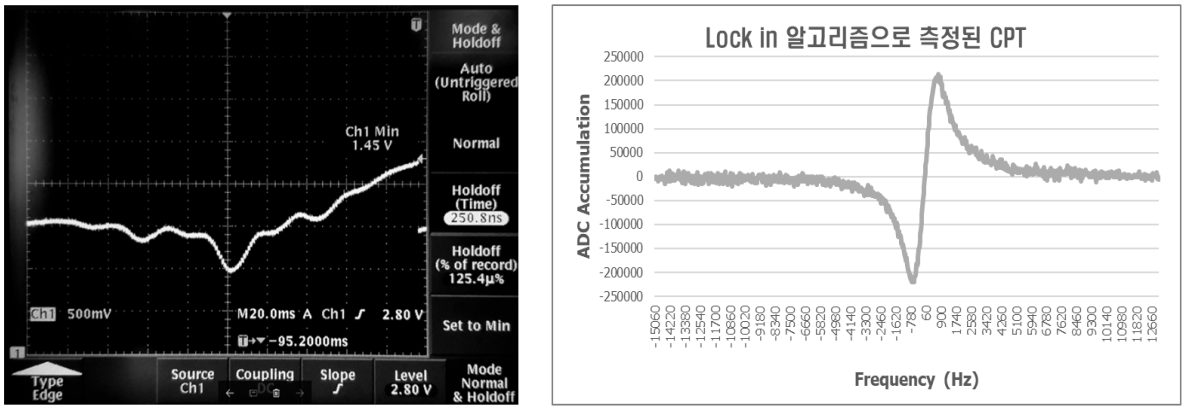
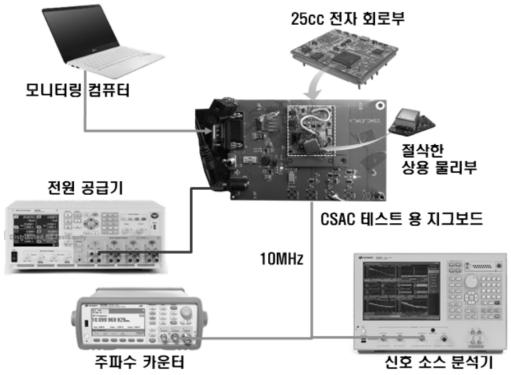


Fig. 3. (a) Cs atomic absorption signal & (b) CPT signal.

4. 결론

본 논문에서는 25cc 이내의 크기와 170mW의 소모전력을 가지는 전자회로부와 물리부로 구성된 초소형 chip-scale 원자시계를 제작하였다. 나노종합기술원에서 제작한 물리부는 검증 진행 중이며 전자회로부 검증을 위하여 상용 원자시계에 적용된 물리부를 적용하고, Cs 원자의 CPT신호 관측을 위한 물리부 제어 알고리즘을 적용하여 실험 데이터를 산출하였다. Fig. 4는 전자회로부 검증을 위한 시험 구성도이다.



Fig, 4. Test configuration.

초소형 chip-scale 원자시계의 10MHz 출력 주파수의 안정도 및 정확도 시험 결과를 Fig. 5에 도시하였으며, 측정된 주파수 정확도 = 2.47×10^{-10}, 주파수 안정도 = 5.5×10^{-11} @ 10 sec이며, 소모전력은 약 170mW로 측정되었다.

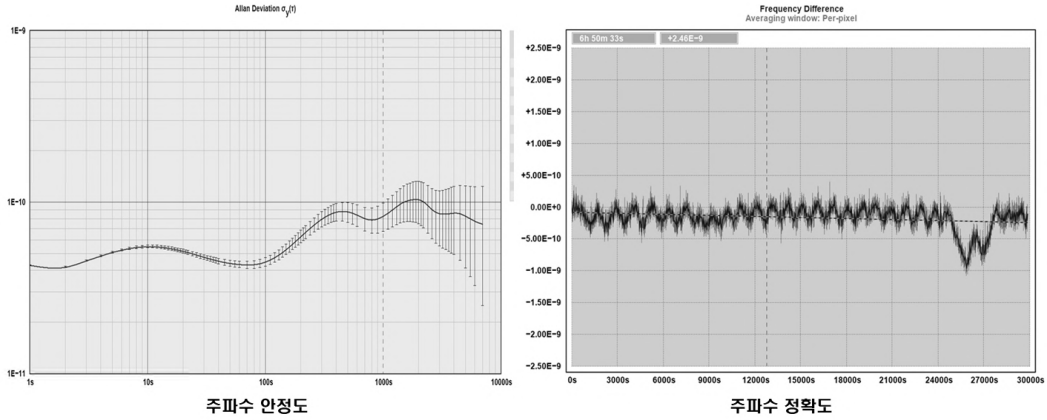


Fig. 5. Frequency stability & accuracy.

추가적으로 현재 성능 검증 중인 개발 물리부를 전자회로부와 결합하여 주파수 특성 및 성능을 확인할 예정이다. 최종적으로는 현 개발단계의 실험 결과를 바탕으로 소모 전력과 효율 등을 개선한 물리부를 제작 후 전자회로부의 개선 설계와 알고리즘 최적화를 통하여 소모전력 125mW 이하를 만족하도록 할 예정이며, 주파수 정확도와 안정도 개선 성능 안정화를 위하여 연구 개발을 진행 할 예정이다.

REFERENCES

Gianchandani, Y. B., Tabata, O., & Zappe, H. 2008, Comprehensive Microsystems, vol. 3 (Amsterdam: ELSEVIER), pp.571-612.

Kitching, J., Knappe, S., & Donley, E. A. 2011, Atomic Sensors-A Review, IEEE Sensors Journal, 11, 1749-1758. https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2157679



[B3] 실내항법 1

OWR 위치 추적 시스템을 위한 다중 홉 무선 시각 동기 오차 요인 분석

정재훈[1], 임정민[2], 이광억[3], 성태경[1]
[1]충남대학교 정보통신공학, [2]와이파이브 기술연구소 /(주)와이파이브, [3]국방과학연구소

Analysis of Multi-hop Wireless Time Synchronization Error Factor for OWR Location Tracking System

Jae-Hoon Jeong[1], Jeong-Min Lim[2], Kwang-Eog Lee[3], Tae-Kyung Sung[1]
[1]Information Communication Engineering, Chungnam National University
[2]Institute of Technology / Research, WiFive Co. Ltd. [3]Agency for Defense Development

주소 : 대전 유성구 궁동 충남대학교 공과대학 3 호관 308 호
연락처 : 042-821-7607 이메일 : jhjeong6772@cnu.ac.kr

Abstract: 스포츠경기, 재난 대비, 지능형 로봇, 빌딩 자동화 등에서 운용 될 수 있는 실내 측위 기술에서 더욱 정밀하고 빠른 측위가 가능하고, 넓은 범위의 측위를 할 수 있는 기술이 요구되고 있다. Time Difference of Arrival (TDOA) 기반의 One Way Ranging (OWR) 측위는 정밀하고 빠른 측위가 가능하며 IOS-IEC 24730-62 등의 국제 표준으로도 지정되어 연구되고 있다. 또한 한정된 범위가 아닌 보다 넓은 범위에서 OWR 측위가 가능하도록 single-hop을 확장한 multi-hop 기술이 요구되고 있다. Multi-hop OWR 운용을 위해서는 hop 내의 동기와 각 hop 간의 동기가 모두 필요하다. 본 논문에서는 무선 Multi-hop 동기를 위하여 Impulse Radio-Ultra Wide Band (IR-UWB)를 사용한 실험으로 오차 요인을 분석하고 시뮬레이션을 통해 무선 Multi-hop 동기를 보인다.

Keywords: RTLS, OWR, timing synchronization, wireless synchronization single hop, multi-hop, IR-UWB

1. 서 론

Smart factory, indoor location service 등 여러 분야에서 Real Time Location System(RTLS)을 필요로 하고 있다. 이러한 필요로 물체나 이동장비들의 추적 기술이 활발히 연구 개발되고 있다. 실외에서는 Global Navigation Satellite Service (GNSS)를 이용하여 측위가 가능하다. 하지만 음영지역에서의 낮은 신호 세기와 멀티패스가 심한 지역에서의 부정확성으로 위치 결정에 어려움을 가지고 있다. 따라서 음영지역이나 실내에서의 항법 및 측위 기법으로 Blutooth, wifi, RF, UWB, Ultrasonic 등의 여러가지 기술들이 연구 개발되고 있다. 이 기술들 중, Ultra Wide Band (UWB)는 중심주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 차지하거나 500MHz 이상의 점유대역폭을 차지하는 기술로서 넓은 대역폭을 기반하기 때문에 멀티패스에 능하고, 저전력 시스템 구현이 가능하다(Park et al. 2013).

다수의 tag를 측위하는 경우 One way ranging (OWR) 측위는 tag에서 발송하는 신호만으로 측위가 가능하기 때문에 Two way ranging (TWR) 보다 효율적인 고속 측위가 가능하다. 또한 한정된 범위가 아닌, 보다 넓은 지역에서 운용할 수 있는 multi-hop OWR 방식이 single-hop 보다 더욱 전략적으로 운용될 수 있다. 단, Multi-hop OWR 측위를 위해서는 홉내 뿐만 아니라 각 홉 간의 anchor들의 시각은 동기가 돼있어야 한다. 시각 동기란 몇 가지 오차들을 포함하며, 주요 오차 요인인 각 장치에 reference로 동작하는 clock의 phae offset과 frequency offset의 영향에 대한 동기를 말한다. 무선 동기 방식에는 통신 거리가 한정된 까닭에 홉단위 구역에서 단계적인 동기를 거쳐야 한다. 무선 동기의 다양한 오차들 중 먼저 센서 위치 오차로 anchor의 좌표를 정확하게 알지 못하는 오차와 멀티패스 오차로 신호가 물체에 반사, 왜곡 되어 송신되는 오차가 존재한다. 정확한 위치에 놓여진 anchor들이 Line of sight (LOS)환경에서 운용되는 것을 전제로 두 오차는 없다고 가정한다. 다음, 고정 offset값으로 제거가 가능한 하드웨어 지연 오차를 제거하고, 열잡음오차와 표본화오차의 양을 각 장치의 reference clock들을 동기 시킨 실험으로 보이고, 최종적으로 clock의 특성으로 나타나는 오차를 추정하여 multi-hop 동기를 진행한다.

2. 본 론

각 single-hop은 master clock을 기준으로 클락 간 relative clock phase offset과 relative clock frequency offset을 추정하여 보상한다. OWR에서 마스터 노드 A^0는 자신의 time stamp를 broadcast하고, 그림 1과 같이 각 노드들은 message의 도착시간을 기록한다(Wu et al. 2011).

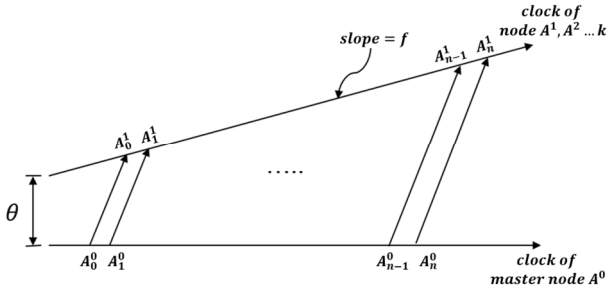


그림 1. OWR clock distribution.

1회 broadcast를 하면 각 anchor들은 relative clock phase offset을, 2회 broadcast를 하면 relative clock frequency offset을 추정할 수 있다. A^0 에서 t_0 에 message를 1회 broadcast하면 각 i번째 anchor A^i 에서의 message 수신시간 t_0^i 는 $t_0^0 + d^0 + d^i + \frac{r_{0,i}}{c} + s_{t0}^i + s_{t0}^0 + n_{t0}^i + n_{t0}^0$ 이다(i=1,2,⋯,k). t_1^0 시간에 message를 broadcast 했을 때 각 anchor에서의 message 수신시간 t_1^i 는 $t_1^0 + d^0 + d^i + \frac{r_{0,i}}{c} + s_{t1}^i + s_{t0}^0 + n_{t1}^i + n_{t1}^0$ 이다. d^0 는 Master anchor A^0 의 송.수신 delay인 고정offset, $r_{0,i}$ 는 각 anchor간의 거리로 알고 있는 값이며 역시 고정offset을 갖는다. s_t^i 는 300ps 이내의 sampling 오차이고, n_t^0 와 n_t^i 는 송수신기 잡음으로서 σ^2 의 분산을 갖는 IID 백색 정규 잡음을 나타낸다. C=3*10^8m/s, 각 anchor A^i 에서의 1번째와 2번째 message 수신 시간의 차를 구하면 다음과 같다.

$$t_1^i - t_0^i = t_1^0 + d^0 + d^i + \frac{r_{0,i}}{c} + s_{t1}^i + s_{t1}^0 + n_{t1}^i + n_{t1}^0 - \left(t_0^0 + d^0 + d^i + \frac{r_{0,i}}{c} + s_{t0}^i + s_{t0}^0 + n_{t0}^i + n_{t0}^0\right) \quad (1)$$

$$= t_1^0 - t_0^0 + s^i + n^i, \qquad s^i = s_{t1}^i + s_{t1}^0 - \left(s_{t0}^i + s_{t0}^0\right), \quad n^i = n_{t1}^i + n_{t1}^0 - (n_{t0}^i + n_{t0}^0) \quad (2)$$

따라서 고정 offset은 제거가 가능하고, 모든 A^i 의 clock은 A^0 clock에 대한 관계식으로 나타낼 수 있다. 표본화 오차와 열 잡음 오차는 아주 작은 값이라고 가정했을 때 A^i 에서의 수신 시간 t_0^i 와 A^0 에서의 송신 시간 t_0^0 의 차 $t_0^i - t_0^0$ 는 A^0 의 clock phase offset에 대한 A^i 의 clock phase offset으로 ranging counter의 차로 나타난다. A^i 에서의 수신 시간 차 $t_1^i - t_0^i$ 에 대한 송신 시간 차 $t_1^0 - t_0^0$ 의 비는 A^i 의 clock frequency offset에 대한 A^0 의 clock frequency offset이 된다. 따라서, 2개의 sample로 추정하면 relative clock phase offset $= t_0^i - t_0^0$, relative clock frequency offset $= \frac{t_1^i - t_0^i}{t_1^0 - t_0^0}$ 으로 나타낼 수 있고, sample수가 많을 때 least square등의 방법을 이용하여 relative clock phase offset, relative clock frequency offset을 추정할 수 있다(Jeong et al. 2016).

A, B, C 3개의 클럭이 존재하고, A와 B, B와 C는 통신이 가능하지만 A와 C간의 통신은 coverage안에 들어오지 않아 불가능하다고 가정한다.

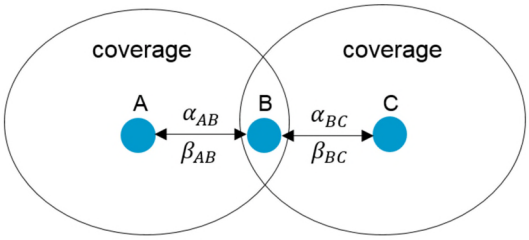


그림 2. Multi hop에 대한 구상도.

그림 2에서 각 클럭의 clock phase offset과 clock frequency offset을 다음과 같이 나타낼 수 있다(clock phase offset= β, clock frequency offset= α).

$$t_A = \beta_A + \alpha_A t \quad (3)$$

$$t_B = \beta_B + \alpha_B t \quad (4)$$

$$t_C = \beta_C + \alpha_C t \quad (5)$$

각 clock의 relative clock phase offset, relative clock frequency offset을 구하기 위해 각 클럭의 차를 구하면 다음과 같고,

$$t_A - t_B = \beta_{AB} + \alpha_{AB}t,\ \ \beta_{AB} = \beta_A - \beta_B,\ \alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B \quad (6)$$
$$t_B - t_C = \beta_{BC} + \alpha_{BC}t,\ \ \beta_{BC} = \beta_B - \beta_C,\ \alpha_{BC} = \alpha_B - \alpha_C \quad (7)$$

A와 C에 대한 식은 다음과 같지만, 서로 통신 범위를 벗어나 있기 때문에 직접 구할 수 없다.

$$t_A - t_C = \beta_{AC} + \alpha_{AC}t,\ \ \beta_{AC} = \beta_A - \beta_C,\ \alpha_{AC} = \alpha_A - \alpha_C \quad (8)$$

하지만 여기서 식 (6)과 식 (7)의 차를 구하면 $\beta_{AC} = \beta_{AB} + \beta_{BC}$, $\alpha_{AC} = \alpha_{AB} + \alpha_{BC}$의 식을 유도 할 수 있다. 따라서 첫번째 홉과 마지막 홉과의 relative phase offset과 relative frequency offset은 거쳐온 홉들의 relative phase offset, relative frequency offset의 합으로 나타낼 수 있으며 multi-hop 동기 방식도 이와 같은 형태로 표현된다. multi-hop에서의 동기 절차는 그림 3과 같다. A^0는 broadcast massage를 송신하고, 수신 받은 A^i는 마스터 노드가 되어 같은 방식으로 broadcast massage를 송신하고, A^j 역시 message 수신 시 master노드가 되어 broadcast한다 (j=k+1,K+2,⋯,l).

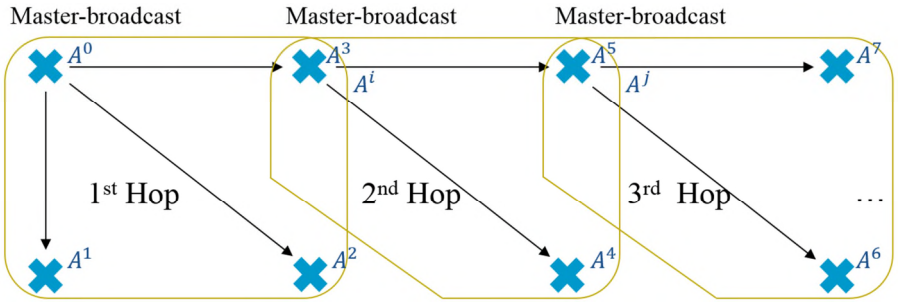


그림 3. Multi-hop synchronization.

여기서 표본화 오차와 열 잡음 오차는 단일홉에서는 아주 작은 값이라고 가정했지만, multi-hop의 경우 홉들을 거쳐 진행하기 때문에 누적되어 나타난다. 따라서 A^0 와 A^i에 대한 relative clock phase offset $= \beta_{A^0A^i} = \beta_{A^0} - \beta_{A^i}$, relative clock frequency offset $= \alpha_{A^0A^i} = \alpha_{A^0} - \alpha_{A^i}$, sampling error $= \mathrm{s}^{\mathrm{i}} - \mathrm{s}^0 = S^{\mathrm{i},0}$, noise error $\mathrm{n}^{\mathrm{i}} - \mathrm{n}^0 = N^{\mathrm{i},0}$라고 하면, m개의 홉에 대한 동기를 위한 relative clock phase offset 과 relative clock frequency offset에 대한 식은 다음과 같다$(m = 2,3,\ldots)$.

$$t_{A^0} - t_{A^{m-1}} = \sum_{m=2}^{m}(\beta_{A^{m-2}A^{m-1}}) + \sum_{m=2}^{m}(\alpha_{A^{m-2}C^{m-1}})t + \sum_{m=2}^{m}(S^{\mathrm{m-2,m-1}} + N^{\mathrm{m-2,m-1}})$$

3. WIRELESS SYNCHRONIZED ONE WAY RANGING SIMULATION

그림 4는 실제 실험 측정치로 얻어낸 anchor의 ranging counter 부분이다. Auto correlation 값이 $\sigma^2 e^{-\beta|\tau|}$ 를 갖는 것을 확인 할 수 있다. $-\beta$는 시정수를 나타내며 τ 는 $\mathrm{t}_1 - t_2$의 시간간격을 의미한다.

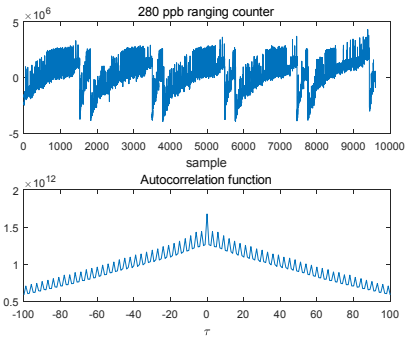


그림 4. Auto correlation of clock ranging counter.

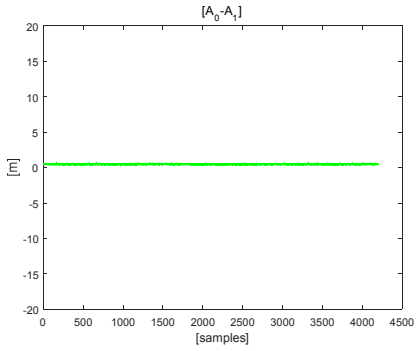


그림 5. Sampling error, Thermal noise.

그림 5는 유선 OWR을 실험한 그래프로 clock 동기를 통해 클락 특성에 대한 오차 요인을 제거하였다. 결과, 표본화 오차와 열 잡음, 센서위치오차의 영향이 나타난다. 센서위치오차는 고정 offset으로 bias 형태로 나타나며 제거 할 수 있고, 표본화 오차와 열 잡음은 비교적 아주 작은 값을 보이는 것을 확인하였다.

실험의 결과로 simulation의 clock model은 Gauss markov process로 설정하였고, 다음은 각 hop의

master anchor들의 clock을 생성해 1000 sample 동안의 최소자승법(Least square)을 적용해 동기를 진행한 multi hop OWR 시뮬레이션을 보인다.

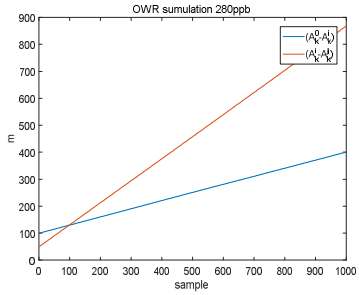


그림 6. OWR $A^i - A^0$, $A^j - A^i$

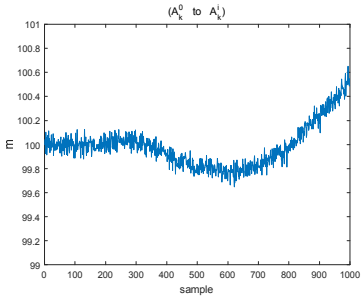


그림 7. OWR from A^0 to A^i [100m]

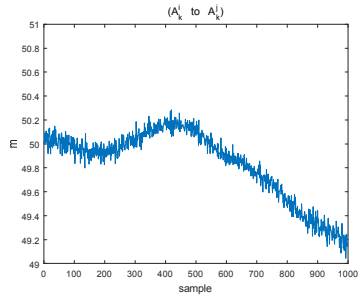


그림 8. OWR from A^i to A^j [50m]

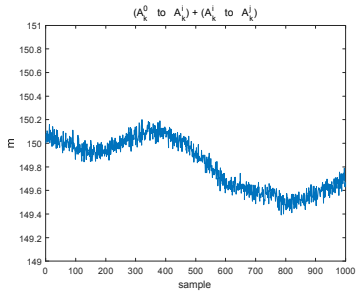


그림 9. OWR from A^0 to A^i to A^j

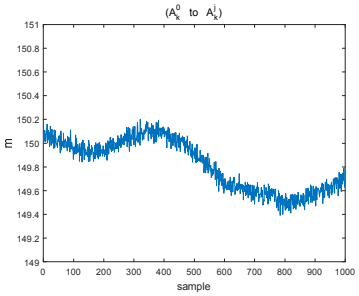


그림 10. OWR from A^i to A^j

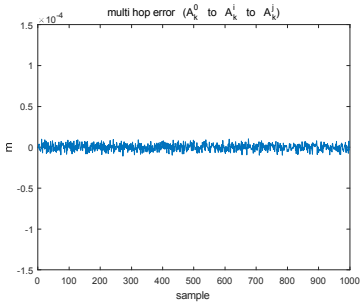


그림 11. multi hop error

Frequency stability 280ppb를 갖는 clock을 사용, 100Hz 로깅을 가정하여 시뮬레이션 하였다. 그림 6은 ranging counter $A^i - A^0$, $A^j - A^i$의 plot, 그림 7과 그림 8 은 1000 sample동안의 ranging counter에 대한 least square 결과이고, 그림 9는 A^0 와 A^i, A^i 와 A^j의 결과를 더한 그림이다. 이는 그림 10의 A^0, A^j에 대한 least square 결과와 같은 양상을 나타내는 것을 확인 하였다. A^0, A^i ,A^j 각각 거리 100m와 50m에 대해 clock frequency drift의 영향으로 동기 오차가 틀어지는 것을 볼 수 있으며 multi-hop 동기 오차는 A^0에서 A^i를 거쳐 A^j로 동기가 진행됨에 따라 더해지는 꼴로 나타난다. 또한 그림 11과 같이 홉 동기에 따라 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

4. 결 론

Clock의 특성으로서 오차를 발생시키는 clock phase offset과 clock frequency offset은 multi-hop에서 동기 진행 시 각 홉 간의 relative clock phase offset, relative clock frequency offset이 더해지는 형태로 나타나며 동기 시 각 홉의 잡음이 누적돼 오차가 발생한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Jeong, J.-H., Jeon, J.-H, Park, H.-B, Kim, S.-J, Lee, J.-U., et al. 2016, Development of IR-UWB based Timing Synchronization Method for Wireless OWR, 2016 KGS Conference, 2-4 Nov. 2016, Phoenix Island Jeju, pp.358-361

Park, J.-W., Lim, J.-M., Lee, K.-J., & Sung, T.-K. 2013, A Two-Way Ranging WPAN Location System with Clock Offset Estimation, Journal of institute of control robotics and, 19, 125-130. https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.19.2.125

Wu, Y.-C., Chaudhari, Q., & Serpedin, E. 2011, Clock Synchronization of Wireless Sensor Netwroks, IEEE Signal Processing Magazine, 28, 124-138. https://doi.org/10.1109/MSP.2010.938757

랜드마크를 이용한 스마트폰 관성 센서 기반 위치 추정 알고리즘

박소영[1], 주호진[1], 이재홍[1], 박찬국[2*]
[1]서울대학교 기계항공공학부, [2]서울대학교 기계항공공학부, 자동화시스템 공동연구소

Landmark Based Position Estimation Algorithm Using Built-in Inertial Sensors

So Young Park[1], Hojin Ju[1], Jae Hong Lee[1], Chan Gook Park[2*]
[1] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University,
[2] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University/ASRI

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: GPS 신호 사용이 제한적인 실내 환경에서는 Wi-Fi, 비콘, 관성 센서 등 다른 보조 장치를 용하여 실내 보행자 위치를 추적할 수 있다. 그 중에서도 스마트폰은 대부분의 사람들이 보유하고 있기 때문에 이에 내장된 센서를 이용하면 위치 추정 서비스를 쉽게 대중화할 수 있다. 특히 스마트폰에 내장된 관성 센서를 이용하면 외부의 환경 변화에도 강인하게 보행자의 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 스마트폰에 저장된 관성 센서만을 이용하여 관성 항법을 수행하게 되면 오차가 크게 누적되어 발산하기 때문에 보행자의 걸음 특성을 이용하는 걸음 검출, 보폭 추정, 이동 방향으로 구성된 보행자 항법을 사용한다. 기존의 보행자 항법을 이용하여 실내에서 층을 이동하게 되면 위치 오차가 발생한다. 따라서 사용자가 실내에서 층을 이동할 때에는 계단이나 엘리베이터를 주로 이용하는 점에 착안해 기압계를 이용한 고도 변화를 이용하면 이러한 랜드마크들의 위치를 알 수 있으므로 사용자의 현재 위치를 보정해줄 수 있다. 특별히 걸음을 이동하면서 달라지는 보폭도 랜드마크를 이용할 때 함께 보정할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 보행자가 이동하면서 층을 이동하면서 발생할 수 있는 위치 오차를 계단, 엘리베이터라는 랜드마크를 이용하여 보정하는 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실제 보행자가 실내에서 이동하는 상황에서 스마트폰을 이용하여 실험을 수행하였다.

Keywords: pedestrian dead reckoning, smartphone-based indoor navigation, position estimation, landmark

1. 서 론

스마트폰 기반 항법은 휴대성이 용이하고, 많은 사람들이 보유하고 있는 스마트폰에 내장된 관성 센서를 이용하기 때문에 활발하게 연구되고 있는 주제이다. 관성 항법만을 이용해 현재 사용자의 위치를 추정하면 저가형 센서의 오차가 누적되어 큰 위치 오차가 발생하기 때문에 보행자의 특성을 이용하는 보행자 항법을 수행하면 사용자의 현재 위치를 추정할 수 있다. 하지만 보행항법 만으로는 정확한 사용자의 위치 추정이 어렵기 때문에 Wi-Fi, 비콘, 지도 정보 등을 이용하여 사용자의 위치를 보정하는 방법들이 널리 사용된다(Deng et al. 2016). 그 중에서도 계단, 엘리베이터와 같은 랜드마크를 검출하는 방법으로는 가속도계 신호의 특성을 이용하여 검출하는 방법도 있지만(Abdelnasser et al. 2016), 사용자가 층을 이동하게 되면 기압이 달라짐에 따라 높이를 추정할 수 있기 때문에 스마트폰에 내장된 기압계를 사용하여 계단, 엘리베이터와 같이 층을 이동하는 상황을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 랜드마크의 위치를 사용하여 층을 이동하는 동안에 발생하는 위치 오차를 보정해주는 알고리즘을 제안한다.

2. 스마트폰 기반 보행자 항법

본 논문에서 걸음 검출과 보폭 추정은 가속도 측정치를 사용하여 검출하였으며, 이동 방향은 정지 상태에서의 가속도를 이용해 계산한 자세를 측정치로 사용하여 자이로와 결합하는 자세 추정 시스템(Attitude Reference System, ARS)를 사용하여 추정하였다. 이를 통해 계산한 사용자의 위치는 식 (1)과 같다.

$$\begin{cases} X_k = X_{k-1} + SL \cdot \cos(\psi) \\ Y_k = Y_{k-1} + SL \cdot \sin(\psi) \end{cases} \quad \text{where SL: step length, } \psi\text{: heading} \tag{1}$$

3. 랜드마크를 이용한 위치 보정

랜드마크를 사용하기 위해서는 우선 사전에 건물 정보를 통해 랜드마크의 위치를 알아야 한다. 건물의 크기, 용도에 따라 엘리베이터, 계단의 수가 다르기 때문에 고도 오차가 있다고 판별 되었을 때에는 고도 변화량과 가속도 크기를 기준으로 엘리베이터인지 계단인지를 우선적으로 판단한다. 그 다음에 여러 개의 엘리베이터와 계단이 있을 때에는 사용자의 현재 위치와 랜드마크 후보들 간의 위치 오차를 비교하여 가장 적은 위치 오차가 발생하는 곳을 랜드마크로 판별, 그 위치 오차를 칼만 필터의 측정치로 사용한다. 이 때 사용되는 칼만필터의 상태변수는 위치 오차, 보폭 추정 오차 보정 변수의 변화량, 자세 오차의 변화량, 자세 오차 바이어스의 변화량으로 식 (2)와 같으며, 랜드마크 측정치는 식 (3)과 같이 사용하여 위치 오차를 보정한다.

$$\mathbf{\delta X}_M = \begin{bmatrix} \delta X & \delta Y & \delta\alpha & \delta(\Delta\psi) & \delta b_{\Delta\psi} \end{bmatrix}^T \tag{2}$$

$$\mathbf{Z}_{M,LM} = \begin{bmatrix} \delta X & \delta Y \end{bmatrix}^T,\ \mathbf{H}_{M,LM} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 삼성 Galaxy S6 모델을 이용하여 테스트해보았다. 아래 Fig. 1의 테스트 궤적은 약 80m의 궤적을 2분 동안 걸었을 때의 결과로 1층에서 시작하여 엘리베이터를 타고 2층으로 올라가 계단으로 1층으로 내려온 후 시작점으로 돌아오는 결과이다. 현재 사용되는 랜드마크 측정치는 계단의 중앙 평면으로 랜드마크 측정치를 이용해 보폭오차가 누적되어 거리 오차가 커지는 계단에서 효과적으로 위치 오차를 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

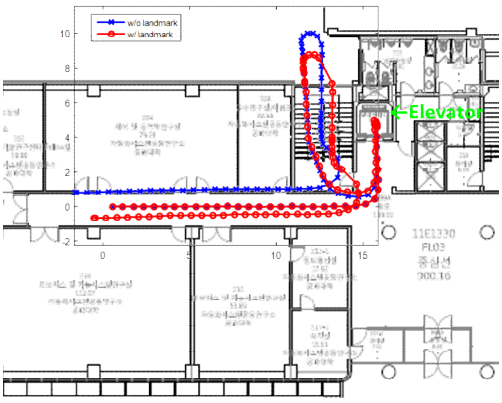


Fig. 1. Landmark (staircase and elevator) test with smartphone.

5. 결론

본 논문에서는 스마트폰 기반 보행자 항법을 기반으로 한 알고리즘이며, 실내에서 층을 이동할 때 발생하는 위치 오차를 랜드마크를 이용하여 보정해주는 알고리즘을 제안하였다. 실내에서 층 이동 시 주로 사용하는 엘리베이터와 계단을 기압계를 통해 검출하고 각 랜드마크의 위치 정보를 이용하여 보폭 오차로 인한 위치 오차를 효과적으로 줄여줄 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

REFERENCES

Abdelnasser, H., Mohamed, R., Elgohary, A., Alzantot, M. F., Wang, H., et al., 2016, SemanticSLAM: Using environment landmarks for unsupervised indoor localization, IEEE Transactions on Mobile Computing, 15, 1770-1782. https://doi.org/10.1109/TMC.2015.2478451

Deng, Z. A., Wang, G., Qin, D., Na, Z., Cui, Y., et al., 2016, Continuous indoor positioning fusing WiFi, smartphone sensors and landmarks, Sensors, 16,1427. https://doi.org/10.3390/s16091427

UWB-WiFi 결합 기반 실내 위치 결정 방법 연구

장희재[1,2*], 서재희[2], 천세범[2], 허문범[1,2]
[1]과학기술연합대학원대학교, [2]한국항공우주연구원 위성항법팀

Study of Indoor Localization Technique Using UWB – WiFi Combination

Hee-Jae Jang[1,2*], Jae-Hee Seo[2], Sebum Chun[2], Moon-Beom Heo[1,2]
[1]University of Science and Technology, [2]Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84 한국항공우주연구원
연락처 : +82 42-870-3508 이메일 : ladyyy94@ust.ac.kr

Abstract: UWB는 그 정확도와 다중경로 오차에 강인한 특성으로 실내 위치 결정을 하는 데에 활용되고 있다. 그러나 WiFi와 같이 널리 보급된 통신 수단이 아니기 때문에 실내 위치 결정을 위한 인프라 구축을 위해서는 추가적인 비용 투입을 필요로 한다. 본 논문에서는 UWB 기반의 실내 위치 결정 시스템 구축에 있어서 추가 설치되는 인프라를 최소화 하기 위해 소수의 UWB 송신기를 이용하며, 이를 보완하기 위해 기 설치되어 있는 WiFi 인프라를 결합하여 위치를 결정하는 방법을 연구하였다. 이를 통해 최소한의 UWB 인프라를 유지하면서도 WiFi 통합 방법을 통해 일정 수준의 위치 정보를 제공할 수 있음을 확인하였다.

Keywords: UWB, WiFi, indoor localization system

1. 서 론

화재와 같은 긴급 상황에서 실내 구조 작업을 하는 것은 위험성이 매우 크며 이 때 실내 환경을 전혀 알지 못하는 상황에서 구조 작업은 더욱더 큰 어려움이 따른다. 이러한 상황에 따른 40%에 달하는 순직 사고율은 간단한 상황 정보 전달을 통해 감소될 수 있었음을 볼 수 있다 (Choi et al. 2013).

이러한 순직 사고를 예방하기 위한 실내 위치 추정 연구가 진행되고 있다. 사전에 인프라 설치가 가능하지 않은 화재 현장의 특성상 이러한 인프라에 의존하지 않는 실내 위치 결정 기술이 연구되고 있다 (Chun et al. 2016). Rescuer Indoor Tracking System (RTIS)는 UWB 기반의 실내 전파항법과 사용자 Dead Reckoning의 결합 방법을 사용하는 방법이다 (Chun et al. 2014).

본 논문에서는 화재 구조 상황에서 구조 요원의 위치 추정을 하는 데 있어 추가되어야 하는 UWB 인프라를 최소화 시키기 위해 기존의 WiFi 인프라를 이용하는 방법을 연구하였다.

2. UWB 인프라를 이용한 위치 결정

UWB는 전파 기반 위치 측정 방식의 근거리 무선 통신 기술로서 UWB 노드와 노드간의 거리를 계산하는 방법으로 Two-Way Ranging (TWR) 기법이 있다. TWR 방식은 하나의 노드가 또 다른 하나의 노드와 통신하는 방식으로서 Round Trip Time을 계산하여 거리를 구할 수 있다 (Kang et al. 2015). TWR 프로세스 구성은 Fig. 1과 같다.

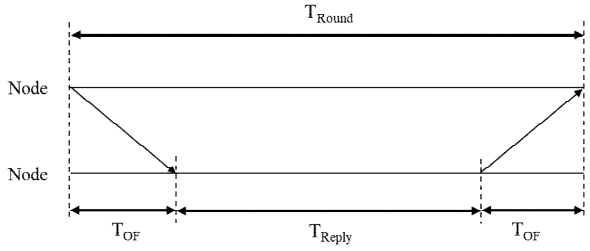


Fig. 1. TWR process.

두 노드 사이의 거리는 시작 노드에서 패킷을 보내고 패킷을 전송받은 다른 한 노드가 처리하여 응답하는 시간을 통해 패킷 전송 속도인 광속(c)을 곱하여 구할 수 있다. UWB 통신 TWR 방식을 통한 두 노드 간의 거리는 아래의 식을 통해 구할 수 있다.

$$T_{OF} = \frac{1}{2}(t_{round} - t_{reply}) \quad (1)$$

$$Distance = c \times T_{OF} \quad (2)$$

UWB 기반 TWR 방식으로 위치를 추정하기 위해서 Fig. 2와 같이 적어도 3개 이상의 UWB 노드가 필요하다. 그러나 실내 상황에서는 3개 이상의 노드를 관측하는 것은 어려운 상황이며, 혹시 관측 가능하더라도 일직선상에 배치되는 경우가 많아 위치 결정에 도움을 주지 못하는 경우가 대부분이다. Fig. 3과 같이 2개의 UWB 노드가 관찰되는 경우 위치 해는 P1과 P2를 얻을 수 있기 때문에 위치해를 결정하는데 어려움이 있다.

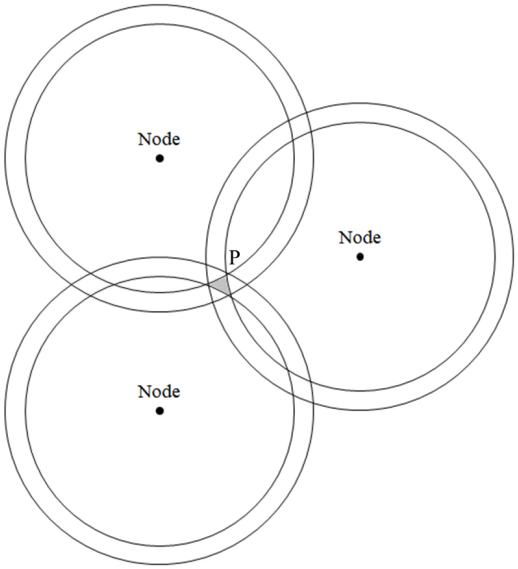


Fig. 2. Positioning scheme with 3 UWB nodes.

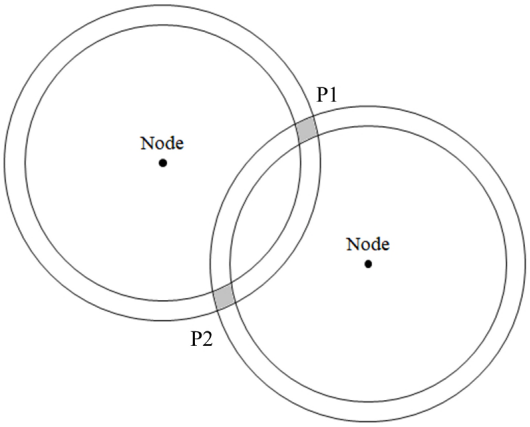


Fig. 3. Positioning scheme with 2 UWB nodes.

3. UWB-WiFi 결합 알고리즘

최소한의 UWB를 이용하며 WiFi AP 신호를 결합하여 위치를 추정하기 위해서는 2개의 UWB 노드와 WiFi가 사용된다. 사용자는 WiFi RSSI 값과 UWB 고정 노드로부터 시간 순서대로 거리 값을 받는다. RSSI 값을 사용자와 WiFi AP까지의 거리 식으로 유도하면 아래의 식으로 표현된다.

$$d = 10^{\frac{R_0 - RSSI}{10n}} \quad (4)$$

WiFi 신호 만으로는 Multi-path fading과 같은 문제로 위치 측정의 정확성이 낮다 (Park et al. 2015). 따라서 UWB보다 더 큰 오차범위를 갖기 때문에 위치 결정 정확도 향상에 크게 도움이 되지 않는다. 그러나 2개 이하의 UWB 노드가 관찰되는 경우 UWB 단독으로는 멀티 모달 형태의 위치 해를 제공하나 WiFi를 이용한 거리 측정치를 이용하는 경우 위치 해의 존재 영역을 특정할 수 있어 유니 모달의 형태로

위치 해를 제공할 수 있게 된다. Fig. 4는 이러한 상황을 나타낸 것으로 UWB 노드 1, 2만을 이용하여 얻어진 위치 해 P1, P2가 WiFi 측정치를 이용하여 참 위치인 P1으로 특정하는 원리를 나타낸 것이다.

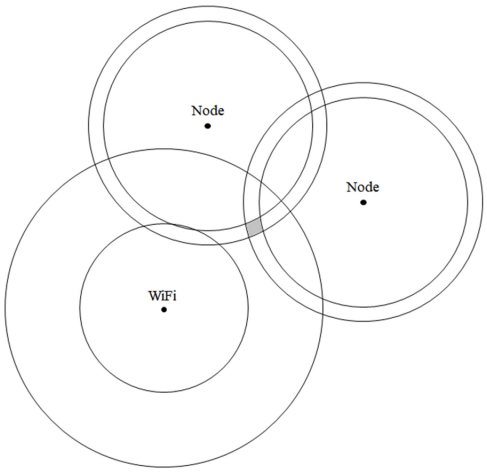


Fig. 4. Positioning scheme with WiFi and 2 UWB nodes.

4. 위치 추정 결과

본 논문에서의 실험은 WiFi AP 한 대와 UWB 노드 2개와 한 명의 사용자가 있는 실내 환경에서 진행되었다. 실험에 사용된 WiFi AP와 UWB 노드의 좌표와 거리 오차는 Table 1과 같다. Fig. 5는 실제 UWB 노드의 위치와 WiFi AP, 그리고 수신기의 위치를 나타낸 것이다.

Table 1. Position of UWB node and WiFi AP and its ranging error (unit: m).

	East	North	Ranging error (1σ)
UWB Node #1	-20.093	2.176	0.2
UWB Node #2	-7.720	2.176	0.2
WiFi AP #3	-14.139	14.139	2

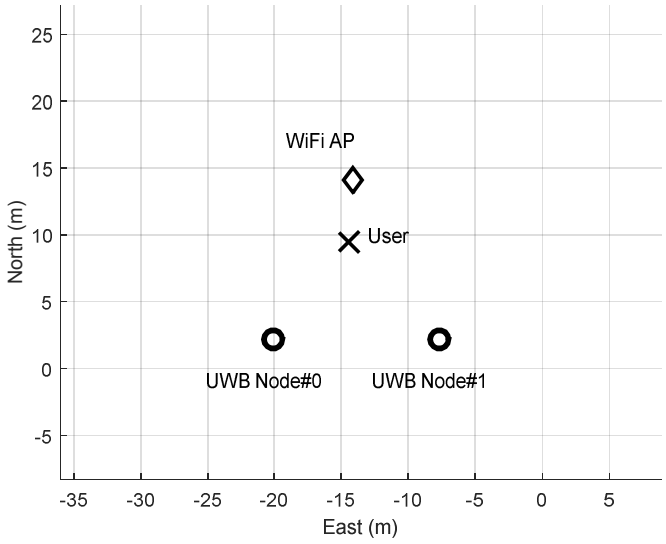


Fig. 5. Position of UWB nodes, WiFi AP, and user.

Fig. 6의 좌측은 UWB 노드 2개만이 관측될 경우의 위치 결정 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 P1, P2의 멀티 모달 형태의 해를 얻을 수 있어 실재 위치를 식별해 내는 것이 불가능하다. 우측의 결과는 2개의 UWB 노드에 WiFi AP를 이용한 측정 결과를 추가한 것이다. 이 결과에서 위치 정확도 향상에는 기여할 수 없으나 멀티 모달 형태의 위치 결정 결과에서 참 위치를 식별해 내는데 사용할 수 있음을 확인할 수 있다.

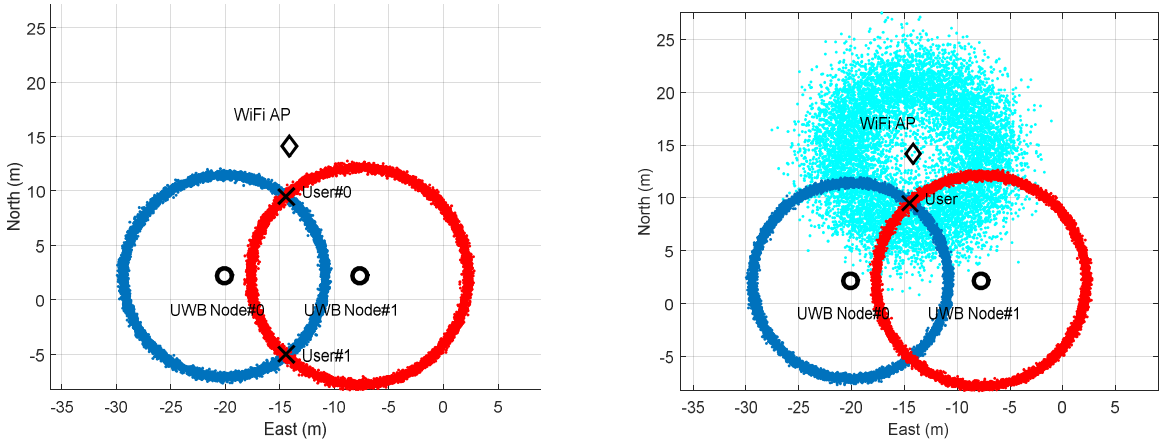


Fig. 6. Positioning solution with 2 UWB nodes (left: w/o WiFi AP, right: w/ WiFi AP).

5. 결론

본 논문에서는 UWB 기반 실내 위치 추정 기법에 WiFi 기술을 결합하여 사용자의 위치를 결정하는 방법 연구를 수행하였다. 이 결과 고정된 UWB 송신기의 신호와 기존에 구축된 WiFi의 신호를 최소한의 UWB 인프라를 활용하여 데이터를 수집하고 사용자의 위치를 결정할 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

Choi, K. C., Park, C. S., Lee, J. K., Yang, C. S., Kim, B. U., et al. 2013, Fundamental research of safety technology for firefighter onsite response (final report), Korea Institute of Fire Science & Engineering

Chun, S., Heo, M. B., & Nam, G. W. 2014, Development and evaluation of integration algorithm for personal indoor tracking system without pre-installed infrastructure, ISGNSS , ISGNSS, 21-24 Oct. 2014, ICC Jeju, Korea

Chun, S., Seo, J. H., Lee, S., & Heo, M. B. 2016, Line of Sight Vector Estimation using UWB for Augmented Reality Based Indoor Location Monitoring System, JPNT, 5, 145-156. https://doi.org/10.11003/JPNT.2016.5.3.145

Kang, S., Cho, C. H., Youn, J., & Choi, J. 2015, Cost-Efficient Wireless Synchronization Method in the UWB Positioning System, Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 21-23 Jan. 2015, High1 Resort, Kangwondo, Korea, pp.259-260.

Park, J. B., Im, S. H., & Lee, G. H. 2015, The Indoor Tracking Strategy Using Efficiently The Irregular WiFi Signal Strength, Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 24-26 June 2015, Ramada Hotel, Jeju, Korea, pp.1242-1243.

UWB 기반 배열 안테나에서 TDOA 측정을 위한 Calibration 방법 연구

서재희*, 천세범, 허문범
한국항공우주연구원 위성항법팀

A Study of the Calibration Method for TDOA Measuring of UWB Based Array-Antenna

Jae-Hee Seo*, Sebum Chun, Moon-Beom Heo
Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84 한국항공우주연구원
연락처 : 042-870-3971 이메일 : meccha@kari.re.kr

Abstract: UWB 배열 안테나 기반 AOA 추정 시 정확도 향상을 위해 TDOA 정보 획득이 필수적이다. TDOA 정보 획득을 위해서는 배열 안테나 각각에 연결된 UWB 수신 모듈 내부의 타이머가 동기되어야 하며, 일반적으로 공유 클럭과 동기 신호를 사용하여 타이머 동기를 수행한다. 공유 클럭은 각 모듈 내부 타이머 간 드리프트를 제거하고 동기 신호는 바이어스를 제거한다. 그러나 별도의 라인으로 제공되는 동기 신호는 각 모듈에서 위상 불일치나 잡음으로 인해 모든 타이머를 정확한 타이밍으로 동기시키기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 공유 클럭을 사용하는 상황에서 동기 신호를 보완하기 위한 캘리브레이션 절차를 연구하고 이를 실제 배열 안테나에서 검증하였다.

Keywords: AOA, TDOA, time synchronization, array-antenna, calibration, UWB

1. 서 론

Ultra Wide Band(UWB) 배열 안테나 기반 Angle of Arrival(AOA)의 추정 시 선행되어야 할 부분은 Time Different of Arrival(TDOA)정보 획득이다(Chun et al. 2016). TDOA 정보 획득은 신호의 도착 시각 차이를 기반으로 하기 때문에 다수의 UWB 배열 안테나가 필요하고, 각 안테나에 연결된 UWB 수신 모듈 내부의 타이머를 동기시켜야 하는 조건을 가진다.

그리고 UWB 수신 모듈 내부의 타이머 동기를 위해서는 별도의 라인으로 공유 클럭과 동기 신호를 제공해주어야 한다. 이때 공유 클럭은 독립된 클럭에서 발생하는 타이머 간 드리프트를 제거하고, 동기 신호는 클럭 간 바이어스를 제거한다. 하지만 공유 클럭과 동기 신호는 위상 불일치나 잡음으로 인해 정확한 타이밍으로 동기시키는 것이 쉽지 않으며, 이를 해결하기 위해 추가적인 보완 절차가 필요하다.

본 논문에서는 UWB 배열 안테나 기반 TDOA 측정 시 타이머 동기 정확도를 향상하기 위한 캘리브레이션 절차를 제안한다.

2. 시각 동기 방법

2.1 유선 동기와 무선 동기

시각 동기 방법은 케이블의 유무에 따라 크게 유선 방식과 무선 방식으로 나뉜다.

유선 동기 방식은 공유 클럭을 단독으로 사용할지 또는 공유 클럭과 동기 신호를 함께 사용할지에 따라 달라진다(Decawave 2014). 공유 클럭만을 사용했을 경우에는 케이블 지연에 따른 오프셋과 각 Anchor 노드의 시스템 클럭 카운터 초기값에 따른 오프셋이 존재하기 때문에 시스템이 시작할 때마다 Reference Tag로 캘리브레이션을 수행해야 한다. 반면에 공유 클럭과 동기 신호를 함께 사용했을 경우에는 케이블 지연에 따른 고정 오프셋만이 존재하기 때문에 시스템 설치 시 캘리브레이션을 수행한다.

무선 동기 방식은 각 Anchor 노드가 독립된 클럭을 가져서 공유를 할 수 없기 때문에 동기 신호만을 사용한다(McElroy et al. 2014). 유선 동기와는 달리 케이블이 없기 때문에 케이블 지연에 따른 오프셋은 없으나 각 Anchor 노드의 시스템 클럭 카운터 초기값에 따른 오프셋이 존재한다. 그리고 각 Anchor 노드의 클럭은 오프셋이 서로 달라 상호 간 시각차를 유발하며 이는 시간이 흐를수록 누적될 수 있다. 그러므로 일정한 주기로 동기 신호를 발생하여 캘리브레이션을 수행해야 한다.

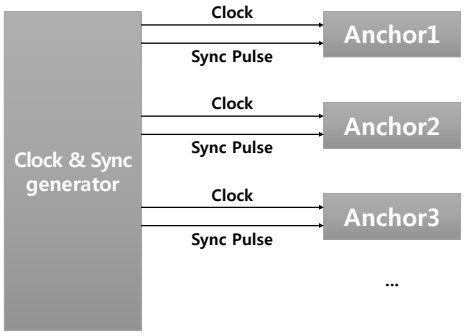


Fig. 1. Clock and SYNC signal distribution.

2.2 시각 동기 시스템 구성

2.2.1 공유 클럭 및 동기 신호 기반 유선 동기

시스템 설치 시 캘리브레이션을 한 번만 하기 위해 공유 클럭과 동기 신호를 함께 사용하는 유선 동기로 구현한다. 그리고 Fig. 1과 같이 동기 보드에서 공유 클럭과 동기 신호를 함께 생성하여 각 Anchor 노드에게 유선으로 공급한다. 이때 공유 클럭은 각 Anchor 노드의 타이머 간 드리프트를 제거하고 동기 신호는 바이어스를 제거함으로써 배열 안테나에 연결된 각 모듈의 타이머 동기를 수행한다.

하지만 이와 같은 구조에서는 공유 클럭과 동기 신호의 세밀한 동기가 필요하다. 즉, 클럭 카운터의 상승 엣지에 동기 신호가 동기되지 않으면 정확한 측정이 어렵다. Fig. 2와 같이 동기 신호는 수십 ns단위의 제어를 통하여 1 클럭의 상승 엣지에 맞춰서 발생해야 하는데, 이는 쉽지 않다. Fig. 3과 같이 하강 엣지와 상승 엣지 사이에 신호가 상승하면, 공유 클럭의 가장 가까운 다음 상승 엣지 시에 동기된다.

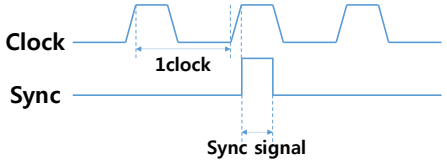


Fig. 2. Synchronized system timing diagram.

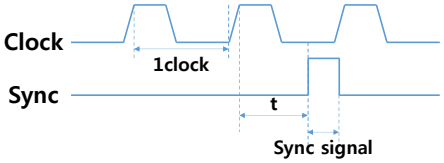


Fig. 3. t delayed system timing diagram.

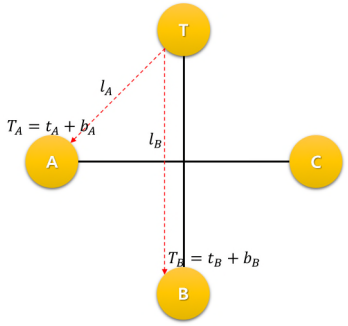


Fig. 4. Array-antenna arrangement of moving object.

2.2.2 시각 동기 오차 캘리브레이션

기존 방식의 시스템에서 타이밍 문제로 바이어스가 발생하기 때문에 보상 방법이 필요하다. 이에 대한 보상 방법으로 Blink 신호 기반의 캘리브레이션을 제안한다. Blink 신호는 Broadcasting 방식으로서 UWB 무선 통신에서 최소한의 정보로 자신의 존재를 알리는 신호이다.

Fig. 4는 캘리브레이션을 위한 이동 물체의 안테나 배치도이다. T는 이동 물체 내에서 Blink 신호를 송신하는 Reference Tag이다. 나머지 A, B, C는 이동 물체의 Anchor 노드로서 Reference Tag의 Blink 신호와 인프라 내 Tag의 Blink 신호를 수신한다.

캘리브레이션 수행 시 우선 T와 A, B, C 사이의 거리 및 B와 A, C 사이의 거리를 미리 측정한다. 측정된 거리와 Reference Tag로부터 수신한 Blink 신호의 도달 시간으로 다음과 같이 식을 전개할 수 있다. Table 1은 식의 파라미터에 대한 설명이다.

$$T_A = t_A + b_A, T_B = t_B + b_B \quad (1)$$

$$t_A = \frac{l_A}{c}, t_B = \frac{l_B}{c} \quad (2)$$

$$b_B - b_A = T_B - T_A - \frac{l_B - l_A}{c} \quad (3)$$

Table 1. Parameter description.

Parameter	Description
l_x	T와 A, B, C 사이의 거리 (m)
c	광속 (m/s)
T_x	측정 시간(바이어스를 포함한 수신 시간; s)
t_x	신호의 도달 시간(s)
b_x	바이어스(s)

식 (1)은 측정된 시간으로서 도달 시간 t_x와 바이어스 b_x의 합으로 나타낼 수 있다. 그리고 t_x는 T로부터 각 Anchor 노드들까지 도달하는 시간이기 때문에 $\frac{l_x}{c}$로 나타낼 수 있다. 이를 토대로 전개하면 식 (3)과 같이 Anchor 노드 간 바이어스 차를 구할 수 있다. 계산한 바이어스 차를 Blink 신호 수신 시 측정한 T_x에 빼면 배열 안테나 간 TDOA를 구할 수 있다.

3. 캘리브레이션 성능 평가

3.1 실험 환경

Fig. 5와 같이 캘리브레이션 성능 평가를 위한 UWB 기반의 배열 안테나에 연결된 수신 모듈은 DecaWave 사의 DW1000 칩을 사용하였다. 그리고 추후에 AOA 연구에 따른 절대각 측정 실험을 위해 Fig. 6과 같이 로터리 테이블(Rotary Table)에 고정시켰으며, 배열 안테나는 12시 방향의 Reference Tag와 3시, 6시, 9시 방향의 Anchor 노드로 구성하였다. 그리고 38.4MHz 공유 클럭과 동기 신호를 발생하는 동기 보드를 가운데 두어 CAT.5e 케이블을 통해 Daisy Chain 방식으로 연결하였다.



Fig. 5. Array-antenna module based UWB.

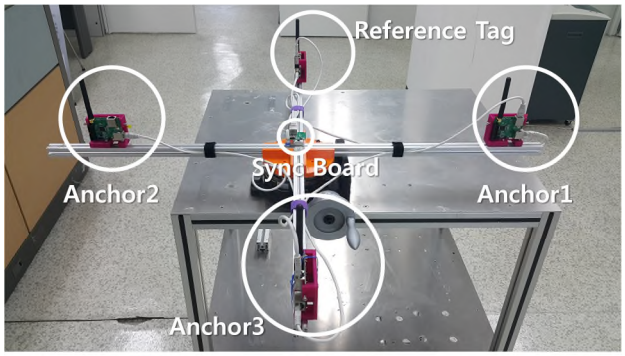


Fig. 6. Test environment.

Fig. 6에서 Reference Tag와 Anchor3의 거리는 0.8m, Anchor1과 Anchor2의 거리는 0.8m, Reference Tag와 Anchor1의 거리는 0.235m, Reference Tag와 Anchor2의 거리는 0.235m이다.

3.2 실험 결과

3.2.1 캘리브레이션 절차(1) – 케이블 지연에 따른 고정 오프셋 제거

케이블 지연에 따른 오프셋을 제거하기 위해 Reference Tag로부터 수신한 Blink 신호를 측정하여 Anchor1번 노드와 Anchor3번 노드 사이의 바이어스 차를 획득하였다. 그리고 Figs. 7, 8, 9는 5m, 3m, -3m 지점에 설치한 3개의 Tag로부터 Blink 신호를 수신한 뒤 앞서 획득한 바이어스 차를 반영하여 Anchor1번과 Anchor2번의 거리를 측정한 결과이다.

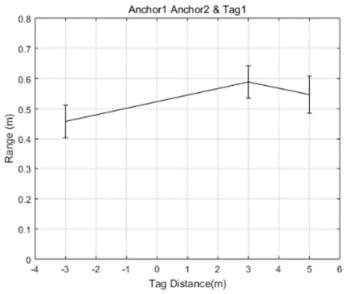


Fig. 7. Range between Anchor1, 2 with Tag1 after calibration1.

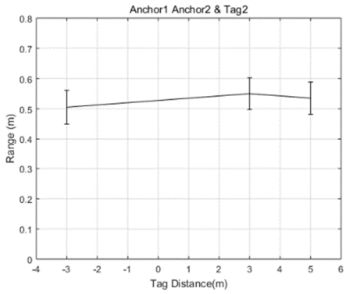


Fig. 8. Range between Anchor1, 2 with Tag2 after calibration1.

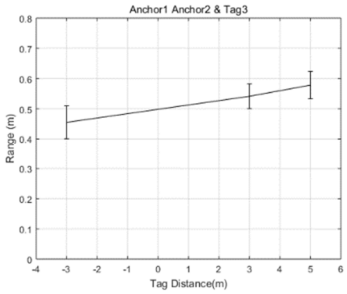


Fig. 9. Range between Anchor1, 2 with Tag3 after calibration1.

Anchor1번 노드와 Anchor3번 노드, Anchor2번 노드와 Anchor3번 노드 사이의 실제 거리는 0.4m이며, Tag가 충분히 떨어져 있어서 Blink 신호를 평면파라고 가정하였기 때문에 측정값 또한 0.4m가 나와야 한다. 하지만 다른 결과가 나왔으며, 이는 Tag 간 특성에 따른 고정 오프셋이 존재한다고 추정된다.

3.2.2 캘리브레이션 절차(2) – Tag 특성에 따른 고정 오프셋 제거

Figs. 10, 11, 12는 케이블 지연에 따른 오프셋을 제거했음에도 불구하고 발생한 Tag 특성에 따른 고정 오프셋을 제거하기 위해 캘리브레이션 절차를 진행한 결과이다.

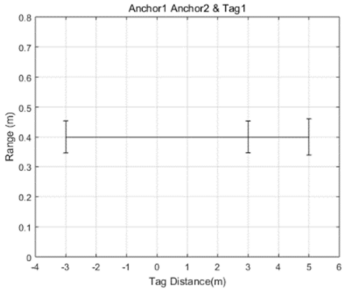


Fig. 10. Range between Anchor1, 2 with Tag1 after calibration2.

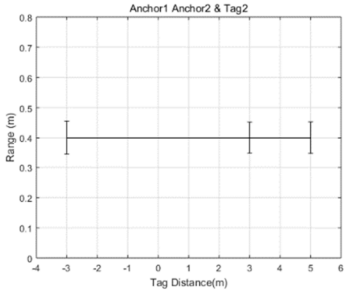


Fig. 11. Range between Anchor1, 2 with Tag2 after calibration2.

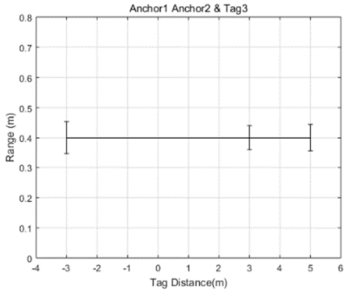


Fig. 12. Range between Anchor1, 2 with Tag3 after calibration2.

4. 결론

본 논문에서는 TDOA 측정을 위한 시각 동기 시 나타나는 오차를 제거하기 위해 캘리브레이션 절차를 연구하였다. 기존 알려진 케이블 지연에 따른 오프셋을 제거하기 위한 캘리브레이션을 진행 뒤 성능을 평가했을 때 Tag 특성에 따른 고정 오프셋이 나타났다. 그러므로 새로운 오프셋을 제거하기 위한 추가적인 캘리브레이션이 필요했고 Tag 특성에 따른 고정 오프셋을 제거하기 위한 캘리브레이션을 진행하였다. 그 결과 표준편차 약 0.05m(측정 표준편차에 대한 전체 평균)로 나타났으며, 이는 제안한 방법으로 정확한 TDOA 정보를 획득할 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

Chun, S., Seo, J. H., Lee, S., & Heo, M. B. 2016, Line of Sight Vector Estimation using UWB for Augmented Reality Based Indoor Location Monitoring System, Journal of Position, Navigation, and Timing (JPNT), 5, 145-156. https://doi.org/10.11003/JPNT.2016.5.3.145

DecaWave 2014, APS007: Wired Sync RTLS With The DW1000 (Application note). http://www.decawave.com/support

McElroy, C., Neirynck, D., & McLaughlin, M. 2014, Comparison of wireless clock synchronization algorithms for indoor location systems, In Communications Workshops (ICC), IEEE International Conference, 10-14 June 2014, Sydney, NSW, Australia, pp.157-162. https://doi.org/10.1109/ICCW.2014.6881189



[B4] 실내항법 2

실내 항법을 위한 스마트 폰 기압계 기반 층간 식별 방법

이재홍[1], 주호진[1], 박소영[1], 박찬국[2*]
[1]서울대학교 기계항공공학부, [2]서울대학교 기계학공공학부, 자동화 시스템 공동연구소

Floor Detection Algorithm Using Barometer in Smartphone for Indoor Navigation

Jae Hong Lee[1], Hojin Ju[1], So Young Park [1], Chan Gook Park[2*]
[1]Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University,
[2]Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University/ASRI

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 스마트 폰을 기반으로 한 실내 보행자 항법의 층간 식별에 기압 정보를 사용하는 방법을 제안한다. 가속도계를 통한 고도 추정은 자유도가 높으며 동적 움직임이 큰 스마트 폰에는 적합하지 않다. 기압은 고도와의 상관관계는 큰 반면, 스마트 폰의 동적 움직임에 대해서는 상관관계가 작기 때문에, 고도 추정 시 스마트 폰에 내장 된 기압계를 일반적으로 사용한다. 하지만, 기압계만을 사용하면 외부 환경 및 MEMS급 기압계의 특성에 의해 고도 오차가 존재하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 보행자의 층간 이동에 따른 고도 변화율을 추정하는 필터를 추가하여 보행자가 위치한 층 식별에 대한—정확도를 높이려 한다. 보행 실험을 통해 제안한 층간 식별 방법의 성능 및 유용성을 확인한다.

Keywords: pedestrian dead reckoning, smartphone, floor level detection, barometer

1. 서 론

실내 보행자 항법에서 사용자가 위치한 층을 아는 것은 필수적인 부분이다. GPS를 사용하여 고도를 추정하고 위치한 층을 아는 것이 일반적인 방법이지만, 실내라는 제한적 환경에서는 신뢰도가 낮아 사용이 불가능하다. 이를 보완하기 위해서 Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, Pedestrian Dead Reckoning 등을 이용하여 추정한다. 스마트 폰 기반의 PDR방식은 다른 방법과 비교해서 사전 정보가 필요하지 않은 장점이 있지만 관성센서 정보만을 사용하여 고도를 추정하기에는 한계가 있다. 따라서, 일반적으로 스마트 폰에 내장된 기압계를 사용하여 고도를 추정한다.

기압계 정보를 사용하여 해수면 기준의 절대 고도를 구할 수 있고 이를 통해서 사용자가 위치한 층을 추정할 수 있다. 하지만, 저가형 기압계가 측정하는 기압 정보는 온도 등의 외부환경에 민감하며 드리프트 현상이 있기 때문에 고도 계산시, 기압 정보가 항상 일정하지 않고 차이가 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 앞서 서술한 문제를 해결하기 위해 고도 변화율을 사용하는 방법을 제안한다. 같은 층간에서 이동하는 사용자의 절대 고도는 변할 수 있지만, 층간 이동에 따른 고도 변화율은 일정하기 때문에 이를 사용한 필터를 설계한다. 제안된 방법에 대하여 실제 보행 실험을 통해 실효성을 검증한다.

2. 층간 식별 방법

2.1 고도 계산

일반적인 기압정보를 사용한 고도는 식 (1)과 같다.

$$z = -T_0 \frac{dz}{dT}\left[1-\left(\frac{p}{p_0}\right)^{-\frac{dT}{dz}\frac{R}{g}}\right], \tag{1}$$

하지만, 실내 환경의 변화에 따라 측정되는 기압이 변화하기 때문에, 측정되는 고도는 일정하지 못하게 된다. 하지만, 고도 변화에 대한, 기압 변화율은 비례관계를 가지며, 식 (2)와 같은 형태로 기술 할 수 있다 (Wang et al. 2008).

$$\Delta h = \alpha \cdot \Delta p + \beta \tag{2}$$

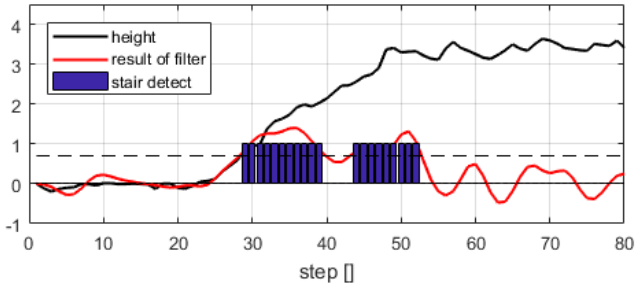


Fig. 1. 실험 결과.

2.2 층간 식별 필터

식 (2)와 같이 기압-고도 식을 간소화 하더라도 고도의 오차는 무시할 수 없기 때문에 이미지 분석에 사용하는 경계 검출 필터를 사용하였다 (Burgess et al. 2016). 본 논문에서는 그 중에서도 잡음에 강인한 캐니 경계 검출 필터를 적용하였다. 제안한 방법은 기압계에 의해서 나타나는 고도의 드리프트 현상과 잡음에 대해서 강인한 특성을 가지며, 고도의 변화를 알 수 있다. 고도 변화에 대해서 적절한 문턱 값을 설정하면, 그 기준을 넘는 고도 변화에 대해서는 사용자가 계단 또는 엘리베이터를 사용하여 층을 이동하였음을 식별 할 수 있다.

3. 실험 결과

제안한 방법의 실효성을 검증하기 위하여 실제 보행 실험을 수행하였다. 실험 기기는 Samsung Galaxy S6를 사용하였고 층간 높이는 약 4m이며, 실험 궤적은 1층에서 2층으로 계단을 사용하여 이동하는 형태이다. Fig. 1의 결과로부터 제안한 방법으로 사용자의 층간 이동을 식별함을 확인 할 수 있다. Fig. 1을 살펴보면 기압 정보로 계산한 고도는 4m 이하로 오차가 존재한다. 하지만, 제안한 방법을 사용하면 계단을 통해 이동했다는 상황을 검출 할 수 있기 때문에, 사용자가 층간 이동을 하였음을 보장할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존 절대 고도를 사용한 층간 식별 방법의 정확도 문제를 해결하기 위해서 상대 고도변화와 고도 변화율을 통한 층간 식별 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 사용할 경우 정확하게 층간 이동을 식별함을 확인했다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부의 「날다 프로젝트」로 지원 되었습니다.

REFERENCES

Burgess, S., Åström, K., Högström, M., & Lindquist, B. 2016, Smartphone positioning in multi-floor environments without calibration or added infrastructure, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) IEEE, 4-7 Oct. 2016, Alcala de Henares, Spain. https://doi.org/10.1109/IPIN.2016.7743653

Wang, H., Szabo, A., Bamberger, J., & Hanebeck, U. D. 2008, Simultaneous multi-information fusion and parameter estimation for robust 3-D indoor positioning systems, IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 20-22 Aug. 2008, Seoul, South Korea, pp.445-450. https://doi.org/10.1109/MFI.2008.4648035

스마트폰을 이용한 보행자 걸음 대칭 검사 기법

이석원* 박찬식
충북대학교 제어로봇공학과

A Step Balance Inspection Technique Using a Smartphone

Seokwon Lee* Chansik Park
Robot Control Engineering, Chungbuk National University

주소 : 충북 청주시 흥덕구 개신동 충북대학교 E-10 동 318 호
연락처 : 010-2100-9202 이메일 : vjerrys@gmail.com

Abstract: 본 논문에서는 기존의 보행자 대칭 검사 기법에 비해 간편한 스마트폰 기반의 방법을 제안한다. 가속도계 측정치를 이용하여 좌, 우 걸음을 구분하고, 두 걸음의 상관계수와 길이 비교를 통해 유사도를 측정한다. 측정한 유사도가 보행자의 비대칭 특성과 관련이 있음을 확인하기 위하여 3명의 보행자를 통해 정상걸음과 비정상걸음 비교 실험을 수행하였다. 그 결과 비대칭보행의 상관계수가 정상 보행보다 평균 0.2만큼 낮은 값을 보인다. 그리고 걸음 길이는 비대칭보행 시 평균 1.2 샘플만큼 더 길게 측정되었다. 이 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 상관계수와 걸음길이 기반의 유사도가 보행자의 비대칭성과 관련이 있음을 확인하였고, 향후 스마트폰에서 이 기법이 실시간으로 구현될 수 있다면 기존의 보행 대칭 검사보다 쉽게 보행자의 비대칭 여부를 측정할 수 있을 것이다.

Keywords: gait, body-balance, smartphone, zero-crossing

1. 서 론

인체의 신체 좌우가 비대칭일 경우 신체 균형의 중심인 척추가 휘어 평행 걸음에 문제가 발생하고 허리 디스크, 척추 측만증, 신진대사 불균형 등 각종 크고 작은 합병증을 겪을 수 있다. 기존 신체 대칭 검사 방법으로는 X-Ray촬영, 전문의의 진찰과 같은 많은 시간과 비용이 발생한다(Jung & Min 2013). 현재 신체 균형과 보행 대칭성을 판단하고 재활치료에 도움을 주는 자세 교정기, 보행 운동 분석기 등 여러 방법들이 개발 되었다. 하지만 이런 분석기나 교정기들은 높은 비용으로 접근성이 떨어진다.

보행시 발생하는 특징으로는 신체 무게중심점의 이동, 골반의 회전, 좌우 걸음의 유사도 등이 있다. 이 중에서 좌우 걸음의 유사도는 가속도계와 기존의 걸음검출 기법을 응용하면 계산이 가능하다. 만약 신체 좌우가 비대칭일 경우 좌우 걸음의 유사도에 영향을 준다면, 좌우 걸음 유사도 측정을 통해 비대칭 여부를 확인할 수 있다. 또한 스마트폰의 가속도계를 이용한다면 누구나 쉽게 신체 비대칭 측정이 가능할 것이다. 본 논문에서는 스마트폰을 이용한 보행자의 걸음 대칭검사 방법으로 가속도계를 이용한 좌우 걸음의 유사도 측정 방법을 설계하였다. 그리고 실험을 통해 좌우 걸음 유사도로 보행자의 걸음 대칭성을 확인 할 수 있음을 검증하였다.

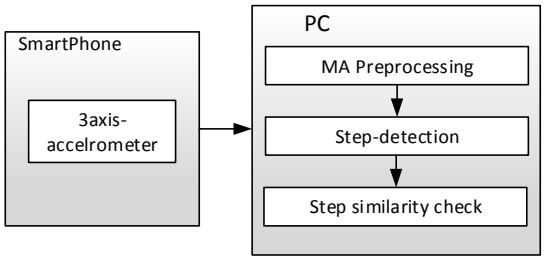


Fig. 1. A design of similarity check system between left and right step.

2. 스마트폰의 가속도계를 이용한 보행자 걸음 대칭 검사 기법

Fig. 1은 스마트폰의 가속도계를 이용하여 보행자의 걸음 대칭을 검사하는 시스템의 구성도이다. 스마트폰으로부터 3축 가속도 데이터를 취득하여 PC에 저장하고, 저장된 데이터를 MATLAB을 통해 대칭 검사 연산을 수행한다. 대칭 검사 연산은 잡음 제거를 위한 전처리 단계, 오른 걸음과 왼 걸음 구분을 위한 걸음 검출 단계 그리고 대칭 검사단계로 구성된다. 여기서 오른 걸음과 왼 걸음을 검출하기 위하여 영교차 검출기법을 적용하였다. 영교차 검출을 통해 분리된 오른 걸음과 왼 걸음은 상관계수 측정과 좌우걸음 길이 비교 방법으로 유사도를 측정하였다.

2.1 데이터 전처리

스마트폰의 가속도계는 X, Y, Z 3축의 가속도 측정치를 50Hz로 출력한다. 이때 측정치에는 잡음이 포함되어 이를 완화 해야 한다. 또한 3차원의 가속도 측정치를 1차원 측정치로 축소하는 과정이 필요하다. 각 축의 측정치를 각각 활용하거나 걸음패턴에 영향이 가장 높은 한 축만 사용하는 방법이 있다. 그러나 스마트폰의 경우 사용자에 따라 자세가 달라질 수 있기 때문에 본 논문에서는 3차원의 측정치를 1차원으로 통합하는 방법으로 Square root of Sum of Squares (SSS)를 활용한다. 그 방법은 식 (1)과 같다.

$$a_{sss} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \tag{1}$$

SSS로 결합된 1차원의 가속도 측정치에는 잡음이 포함되어있다. 측정치에 포함된 잡음을 완화시키기 위해 이동 평균 필터를 적용하였다. 이동평균 필터는 저역통과 필터의 일종으로 윈도 사이즈에 따라서 통과대역이 달라진다. 일반적으로 사람의 걸음걸이는 4Hz 미만의 성분으로 구성된다. 따라서 윈도 사이즈를 4로 설정하였다. Fig. 2는 잡음이 존재하는 가속도 측정치와 이동평균 필터를 적용하여 잡음이 제거된 가속도 측정치를 표현한 것이다. Fig. 2를 보면 이동 평균 필터를 적용한 데이터는 적용하지 않은 데이터보다 센서의 잡음이 줄어들어 걸음 검출 시 오차영향이 될 수 있는 변곡점 또는 지역 최소값이 줄어 들었음을 알 수 있다 (Hsu & Peng 2014).

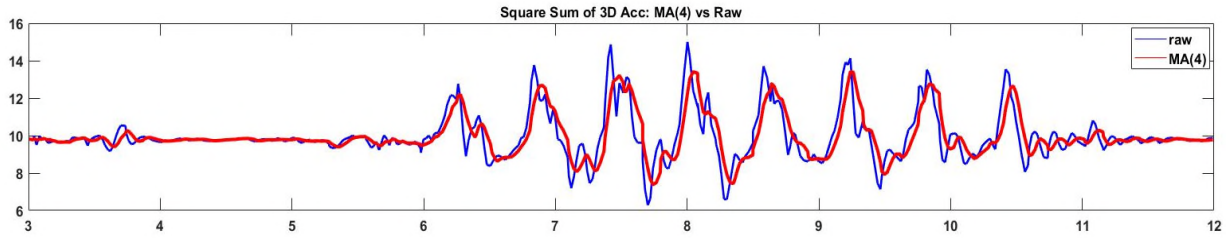


Fig. 2. A Filtered acceleration data (red) and raw data (blue).

2.2 걸음검출

가속도계를 이용한 걸음검출 알고리즘은 피크치 검출기법, 일정구간 검출 기법, 영교차 검출 기법, 변곡점 검출 기법 등이 알려져 있다. 이 중에서 일정구간 검출기법과 변곡점 검출 기법은 걸음걸이의 패턴이 일정하게 발생할 경우 측정이 가능하다. 따라서 발에 부착되어 있는 시스템에서 주로 사용하고 스마트폰의 경우 적용하기 어렵다. 피크치 검출 기법의 경우 센서의 종류, 사람의 특징에 따라서 서로 다른 문턱치를 적용해야 하는 어려움이 있다. 반면 영교차 기법의 경우 신호의 부호가 바뀌는 구간을 탐색하여 검음을 추정하기 때문에 센서의 종류와 사람의 특징과 무관하게 같은 결과를 얻을 수 있다(Kim & Kang 2013).

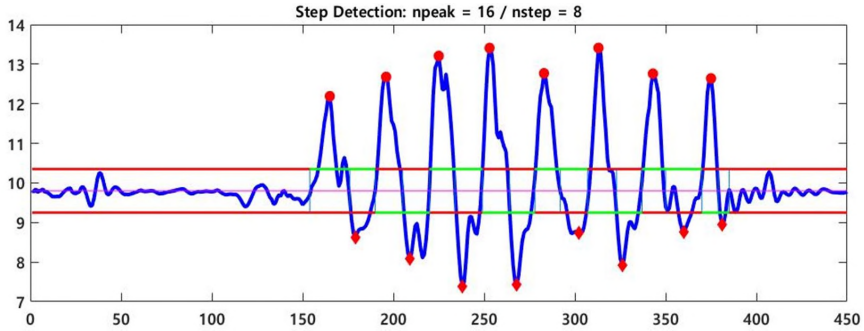


Fig. 3. The zero-crossing step detection.

본 논문에서 제안하는 방법은 스마트폰을 활용하기 때문에 영교차 걸음검출 기법이 효과적이다. 영교차 기법은 한 걸음을 탐색하기 위하여 3점을 검출해야 한다. 두 점은 임계점을 기준으로 가장 높은 값을 갖는 peak(maxima)와 가장 낮은 값을 갖는 peak(minima)로 결정한다. 다른 한 점은 두 Peak를 중심으로 임계점을 교차하는 지점으로 결정한다. 이 3가지 점이 검출 되었을 때 두 Peak 사이의 구간을

한 걸음 구간으로 측정한다. Fig. 3은 영교차 검출 기법을 그림으로 표현한 것이다. 그림에서 파란색 실선은 잡음이 제거된 가속도계의 측정치이며, 빨간색 동그라미는 검출된 peak (maxima), 빨간색 마름모는 검출된 peak (minima)를 나타낸다. 분홍색 실선은 임계점을 의미하며 가속도계의 경우 중력 가속도 값인 9.8이 임계점이 된다.

Fig. 3의 데이터를 보면 저주파 잡음에 의해 낮은 영교차 지점들이 발생함을 알 수 있다. 이 부분은 걸음에 의해 발생된 특징이 아니라 센서의 잡음 또는 사람의 미세한 움직임에 의해 발생한다. 이것에 의한 오차를 줄이기 위하여 임계범위를 지정하고, 임계범위보다 절대값이 낮은 값은 Peak로 고려하지 않는다. 그림 3에서 임계범위는 빨간색 실선으로 표시하였다. 영교차 기법을 사용해 추출한 걸음에는 오른쪽 걸음과 왼쪽 걸음이 순차적으로 포함된다. 좌우 걸음의 유사도를 측정하기 위해서는 가속도 데이터에서 오른 걸음 부분과 왼 걸음 부분을 분리해야 한다. 본 논문에서는 항상 오른발이 먼저 내디디며 출발하기 때문에 홀수 번째 걸음을 오른 걸음, 짝수 번째 걸음을 왼 걸음으로 분류한다.

2.3 좌우 걸음 유사도 측정

영교차 걸음 검출 단계에서 취득한 보행자의 좌우 걸음 데이터를 비교하여 보행자의 좌우 걸음 유사도를 측정한다. 유사도를 측정하기 위하여 본 논문에서는 좌우 걸음 데이터의 상관계수와 걸음 길이를 비교하는 방법을 적용하였다. 상관계수 r을 계산하는 방법은 식 (2)와 같다. 식 (2)에서 R은 오른 걸음의 가속도 데이터를 의미하고 L은 왼 걸음의 가속도 데이터를 의미한다. n은 두 데이터의 길이를 의미한다. 서로 비교하게 되는 오른 걸음과 왼 걸음은 같은 순번에 획득된 한 쌍의 걸음을 이용하여 계산한다. 예를 들어 보행자가 10걸음을 걸은 경우 총 5개의 상관계수 측정치를 얻을 수 있다.

식 (2)를 이용하여 상관계수를 측정하기 위해서는 왼 걸음과 오른 걸음의 데이터 길이가 같아야 한다. 그러나 실제로 양 발의 데이터를 획득했을 때 보행자에 따라 그 데이터 길이가 다를 수 있다. 한 쌍의 걸음 데이터가 같은 길이가 될 수 있도록 더 짧은 걸음의 데이터에 0을 채워 넣었다. 이때 두 걸음의 길이가 다르다는 것은 왼 걸음과 오른 걸음의 보행의 균형이 맞지 않다고 볼 수 있다. 따라서 우리는 두 걸음의 길이 차이를 측정하여 상관계수와 함께 유사도 측정치로 활용 하였다.

$$r = \frac{n(\sum RL) - (\sum R)(\sum L)}{\sqrt{[n\sum R^2 - (\sum R)^2][n\sum L^2 - (\sum L)^2]}} \tag{2}$$

측정된 상관계수는 1에 가까울수록 두 걸음이 유사함을 의미한다. 그리고 두 걸음간의 길이 차이가 클수록 두 걸음은 유사하지 않음을 의미한다. 본 논문에서는 이와 같이 정의한 두 걸음의 유사도 측정치가 보행자의 비정상 보행을 측정할 수 있는지 실험을 통해 확인하였다.

3. 실험 및 분석

실험에 활용한 스마트폰은 삼성전자 Galaxy S7을 이용하였다. 이 장치는 50Hz 속도로 3축 가속도 데이터를 출력한다. 가속도 측정치가 보행자의 무게중심과 일치하도록 스마트폰을 허리 뒷부분 배꼽위치 높이에 고정시켰다. 보행자는 약 30m의 직선경로를 정속으로 보행 하였다. 이때 정상 걸음과 비정상 걸음으로 같은 실험을 2회 반복하였다. 이때 보행자는 왼쪽 발에 굽 높이가 3cm 높은 신발을 신고 걸음으로써 비정상 걸음을 구현하였다.

스마트폰으로 취득한 가속도 데이터를 PC에 저장하여 앞서 설계한 시스템을 활용하여 좌우 걸음의 상관계수 및 걸음길이 차이를 측정하였다. 실험은 총 3명의 보행자를 대상으로 수행하였으며 Table 1과 Fig. 4에 보행자 A, B, C로 표현하였다.

Table 1. Results of similarity between left and right step.

	Normal Coefficient	Abnormal Coefficient	Normal Difference	Abnormal Difference
A	0.692	0.499	1.000	2.400
B	0.558	0.551	1.333	2.533
C	0.611	0.409	0.867	2.133

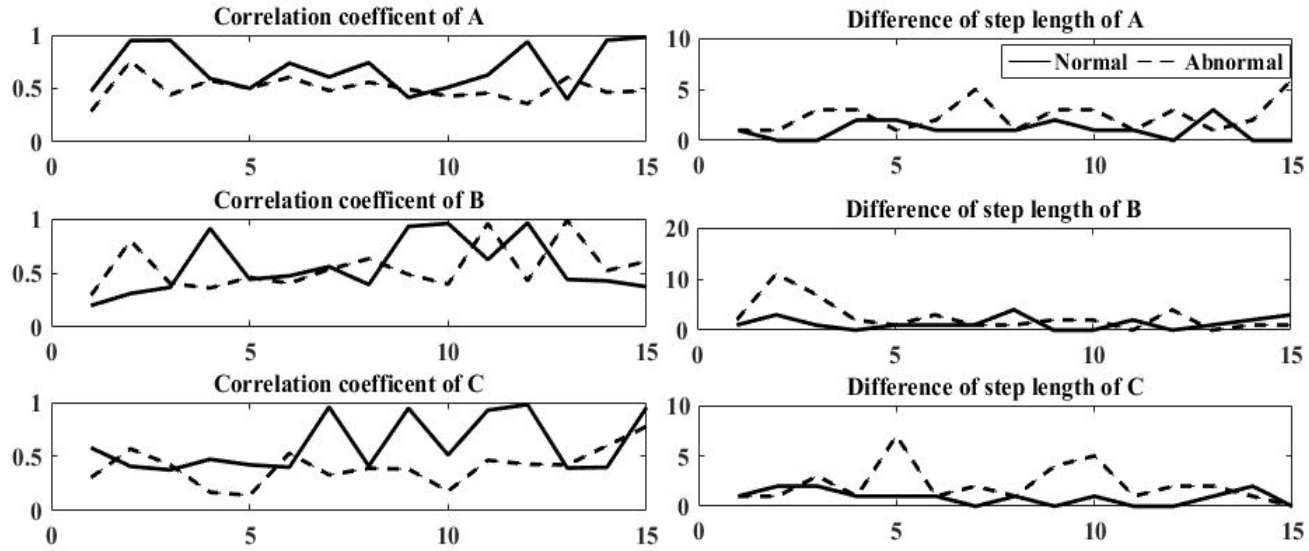


Fig. 4. Results of similarity between left and right step.

Fig. 4의 실험결과에서 점선은 비정상 걸음의 결과이며 실선은 정상 걸음의 결과이다. 두 실험 결과를 비교하면 상관계수 측정의 경우 대체로 정상 걸음이 비정상 걸음보다 높은 상관계수가 측정됨을 알 수 있다. 그러나 모든 걸음에서 정상 걸음이 높지는 않다. 특히 첫 걸음의 경우 평소 보폭보다 반보만 걷기 때문에 두 걸음의 상관계수가 비교적 낮게 측정됨을 알 수 있다. 따라서 한 걸음으로 보행자의 비대칭 성을 보기는 어렵다. 그러나 전체 평균 값을 보면 A의 경우 정상걸음이 비정상 걸음보다 0.193 높은 상관값을 보인다. C의 경우도 정상 걸음의 상관계수가 0.202만큼 높다. B는 0.007으로 근소한 차이를 보인다. 걸음 길이의 비교 결과를 보면 A의 경우 정상보행이 비정상보행보다 평균 1.40만큼 길이 차이가 적게 발생했다. C와 B도 각각 1.20, 1.26 만큼 비정상 보행이 정상보행보다 좌우 걸음의 길이가 길게 측정되었다. 실험결과를 정리하면 보행자의 좌우걸음이 비대칭일수록 좌우걸음의 상관계수는 낮은 값을 갖게 되고, 걸음 길이의 차이는 높은 값을 갖게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 보행자 대칭 검사 기법에 비해 간편한 스마트폰 기반의 방법을 제안하였다. 가속도계 측정치를 이용하여 좌, 우 걸음을 구분하고, 두 걸음의 상관계수와 길이 비교를 통해 유사도를 측정하였다. 측정한 유사도가 보행자의 비대칭 특성과 관련이 있음을 확인하기 위하여 3명의 보행자를 통해 정상걸음과 비정상걸음 비교 실험을 수행하였다. 그 결과 상관계수의 경우 비대칭보행 시 정상 보행보다 0.2 만큼 낮은 값을 나타내었고 걸음 길이의 경우 비대칭 보행이 평균 1.2 샘플 만큼 더 길게 측정되었다. 이 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 상관계수와 걸음길이 기반의 유사도가 보행자의 비대칭성과 관련이 있음을 확인하였다. 향후 제안하는 기법이 스마트폰에서 실시간으로 구현될 수 있다면 기존의 보행 대칭 검사보다 쉽게 보행자의 비대칭 여부를 측정할 수 있을 것이라고 기대한다.

REFERENCES

Hsu, H.-H. & Peng, W.-J. 2014, Smartphone Indoor Localization with Accelerometer and Gyroscope, International Conference on Network-Based Information Systems, IEEE, 10-12 Sept. 2014, Salerno, Italy. https://doi.org/10.1109/NBiS.2014.72

Jung, H. Y. & Min, S. D. 2013, An Acceleration Sensor type Game System for Spine Training, Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, 21(2), pp.365-368

Kim, J.-H. & Kang, S.-Y. 2013, Hybrid Algorithmic Framework Using IMU and WPS for Smart Phone Positioning Systems, Journal title: The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 38C, 663-673. https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.8.663

실내 극 미약 GNSS 신호탐색 알고리즘 구현 및 성능분석

김태선, 김보성, 공승현*
한국과학기술원 조천식녹색교통대학원

Implementation and Performance Analysis of GNSS Signal Search Algorithm

Tae Seon Kim, Bo Seong Kim, Seung-Hyun Kong*
The CCS Graduate School for Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology

주소 : 34141 대전광역시 유성구 대학로 291 N7-5 동 307 호
연락처 : 042-350-1285 이메일 : {ktset, ss7989, skong}@kaist.ac.kr

Abstract: 전지구 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 Line Of Sight(LOS) 환경에서 민간, 산업, 군사분야 등 매우 광범위하고 다양한 분야에서 사용되고 있다. 하지만 None Line Of Sight (NLOS) 환경에서는 GNSS 신호탐색 시간이 오래 걸리거나 불가할 수 있으며, 특히 실내 환경에서는 그 신호가 아주 극 미약하여 일반적인 GNSS 수신기 신호탐지 알고리즘으로는 신호 획득이 불가능하거나 매우 긴 시간(최소 수 시간 이상)이 소요된다. 실내에서 약 1000배 감쇄 된 신호를 획득하기 위해서는 1초 이상의 동기누적(coherent integration)이 필수적인데, 기존 단순 FFT 상관방식으로 1초 데이터 누적에는 FFT size의 1000배 증가뿐만 아니라 탐색해야 하는 Doppler Frequency 가설 수가 1000배 증가하므로, 백만 배 이상 계산량이 증가한다. 본 논문에서는 선행연구를 통하여 개발한 극 미약 신호처리 알고리즘인 SDHT(Kong 2015)를 이용하여 PC기반 실내 GNSS 신호탐지 데모 시스템을 제작하여 성능을 분석하고, 기존 단순 FFT 상관방식 알고리즘보다 처리 속도가 크게 향상되는 것을 확인한다.

Keywords: indoor, acquisition, FFT, GPS

1. 서 론

실내에서 극 미약한 GNSS 신호를 탐지하기 위해서는 감도를 높여야 하는데, 고이득 안테나를 제작하여 사용하는 방법(Nirjon et al. 2014)과 긴 시간(약 1000배 감쇄된 신호는 1초 이상) 동기누적(coherent integration)을 하는 2가지 방법이 있다. 고이득 안테나를 제작하는 방법은 GNSS 신호가 약한 만큼 반비례하게 안테나의 이득을 높이는 것으로, 안테나의 이득을 높일수록 하드웨어의 크기가 커지는 단점이 있기 때문에 소형으로 상용화하는 데에는 제약이 있다. 동기누적을 하는 방법은 수신신호가 약한 것에 비례하게 긴 시간 동기누적을 하여 미약신호를 탐지하는 방법으로 약 1000배 감쇄된 신호는 1초 이상의 동기 누적이 필요하다. 그러나 동기누적 시간이 길어질수록 계산량이 기하급수적으로 증가하기 때문에 기존 단순 FFT기반 상관방식으로는 시간이 매우 오래 걸려 상용화 하는 것은 불가능하다. 하지만 선행 연구를 통해 개발된 SDHT 알고리즘(Kong 2015)을 이용하면 상용화 가능한 수준의 기술 개발이 가능한데, 이 알고리즘은 미약신호를 동기누적 하는데 걸리는 긴 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 기술이다. 본 논문에서는 선행 연구를 통해 개발된 SDHT 알고리즘(Kong 2015)을 이용하여 구현한 실내 극 미약 GNSS 신호탐지 데모 시스템을 소개하고 실내에서 획득한 GNSS 신호를 이용하여 탐색결과 확인 및 단순 FFT 상관방식과 비교하여 처리속도가 크게 향상됨을 증명하고자 한다.

2. 실내 GNSS 신호탐색 데모 시스템

2.1 실내 GNSS 신호탐색 데모 시스템 구성

데모 시스템은 AGPS 시스템과 유사하게 도움정보를 제공하는 서버가 있으며, 도움정보를 요청하고 이를 이용하여 실내에서 신호 탐색이 가능한 실내 수신기로 구성된다. 서버와 실내 수신기는 각각 GNSS raw IF sample 데이터를 얻을 수 있는 2 Channel Front End Receiver와 GNSS Antenna, 데이터 수집 및 알고리즘을 처리하는 PC로 구성된다. 서버는 유선 LAN으로 인터넷에 연결되어 있고, 실내 수신기는 LTE 망을 이용하여 서버와 통신한다. 본 논문에서 사용된 GNSS 신호는 GPS L1과 GLONASS G1 신호로 Sampling Frequency는 16MHz이다. 서버는 일반적인 GNSS 수신기 알고리즘으로 동작하며 도움정보로 Time, Ephemeris, Almanac, Navigation Bit를 생성하는 역할을 하고, 실내 수신기로부터 정보 요청이 오면 데이터를 전송한다. 실내 수신기는 서버로부터 받은 도움정보와 개발된 SDHT 알고리즘(Kong 2015)을 사용하여 실내 극 미약 GNSS 신호를 탐색한다.

2.2 실내 극 미약 신호탐색 알고리즘 (SDHT)

Fig. 1은 FFT 기반 GNSS 신호탐색 과정을 표현한 그림이다(Kong 2017). 수신된 GNSS 신호와 생성한 C/A Code를 주파수 영역에서 곱한 후 시간 영역으로 바꾼 결과 값 중 Maximum value가 일정 임계값을 만족할 때까지 주파수 가설이 반복되고, 1초 길이 데이터의 주파수 가설을 ±5000Hz 범위에서 신호 탐색 시 최대 20000번 반복된다. Fig. 2(Kong 2017)는 SDHT 알고리즘(Kong 2015) 기반으로 GNSS 신호탐색 과정을 표현한 것이다. FFT 기반 상관방식에서 최대 20000번 수행되는 CircularShift/Multiply/IFFT 과정을 최대 20번으로 획기적으로 줄이고, 데이터 샘플 압축을 통하여 FFT 사이즈도 줄였다. 나머지 19980번에 해당하는 주파수 가설은 SDHT 알고리즘(Kong 2015)에서 단순 산술연산만으로 계산된다.

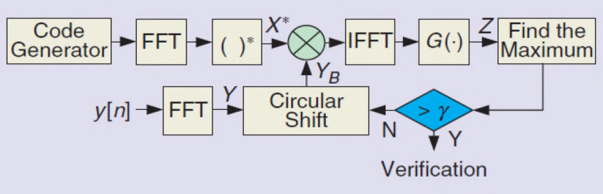


Fig. 1. FFT based GNSS signal search.

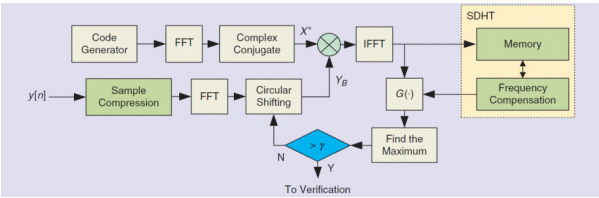


Fig. 2. SDHT signal search.

3. 실내 GNSS 실 데이터 수집

KAIST 내 건물 중 6군데를 선정하여 서버와 연동하여 실내에서 데이터를 획득했다. 서버는 일반적인 GNSS 알고리즘으로 동작하고 있고, 그 상태에서 실내 수신기로부터 도움정보 요청을 받으면 필요한 도움정보 데이터를 생성하여 수신기로 전송한다. 실내 수신기는 정지상태에서 신호탐색을 위한 데이터를 수집했다.

4. 실내 GNSS 탐색 알고리즘 실 데이터 성능 분석

4.1 integration 길이에 따른 신호탐색 결과와 SDHT 알고리즘 처리속도

Fig. 3은 실외에서 받은 실 데이터를 이용하여 데이터 길이에 따른 신호탐색 결과를 나타낸 그림이다. 좌측부터 각각 100ms(a), 500ms(b), 1sec(c)의 동기누적 결과로 GPS SNR은 각각 34.4, 45.7, 48.7이다(GLONASS의 경우 각각 28.8, 35.9, 39.3). Fig. 4는 실내에서 받은 실 데이터를 이용한 것으로 좌측부터 100ms(a), 500ms(b), 1sec(c)의 동기누적 결과이며, GPS SNR은 11.4, 15.9, 17.1 이다. (GLONASS의 경우 각각 11.4, 12.8, 16) 동기누적 시간이 길어질수록 SNR이 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 모두 SDHT 알고리즘을 사용한 결과이며, FFT방식 또한 결과는 동일하다.

SDHT 알고리즘은 노트북에서 사용했고 ±250Hz Doppler Frequency 범위에서 1초 데이터를 처리했을 때 평균 6.4초 소요됐다. 같은 조건으로 FFT 기반 알고리즘은 약 5100초 소요되었는데, 이를 통해 FFT 기반 상관방식보다 약 800배 빠른 처리 속도를 확인했다. 이는 SDHT 알고리즘의 논문(Kong 2015)에서의 결과와 비슷하다.

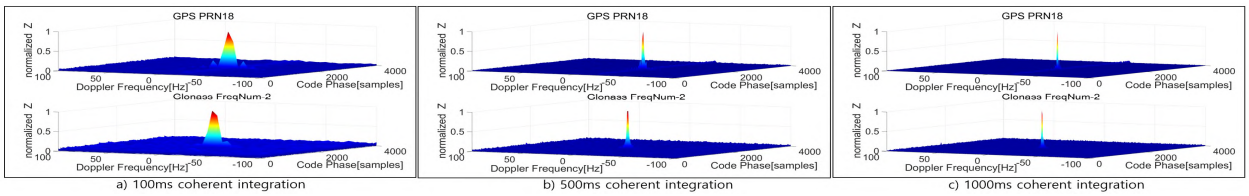


Fig. 3. Signal search results according to integration length of outdoor data.

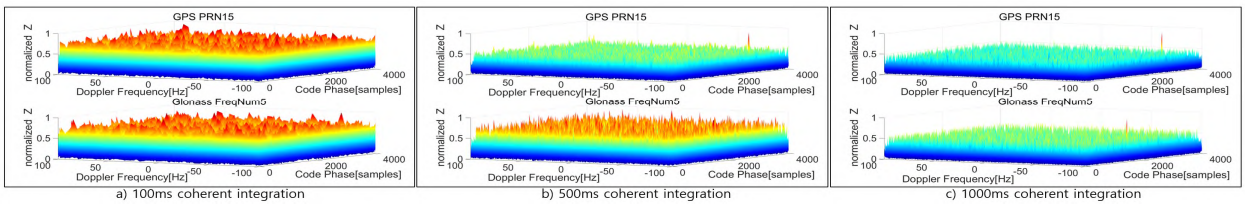
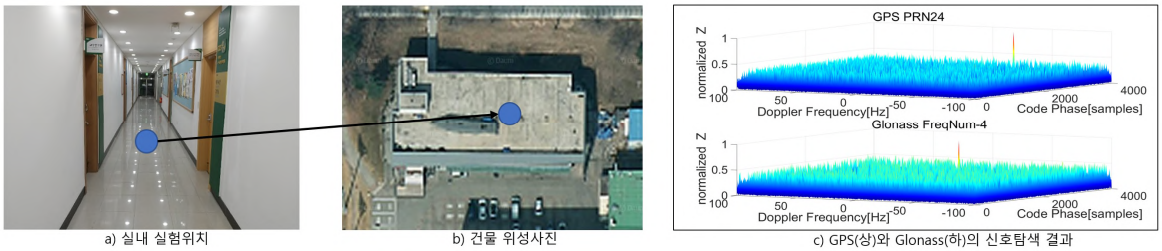


Fig. 4. Signal search results according to integration length of indoor data.

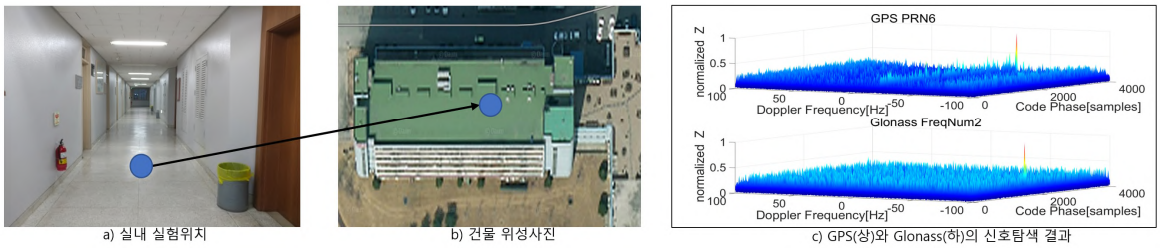
4.2 각 건물 실내 획득 데이터의 1000ms 동기누적(coherent integration) 신호탐색 결과 확인

Figs. 5-10은 각 실험 장소와 획득한 데이터를 이용하여 1초 동기누적을 한 결과를 나타낸 것으로, 결과는 신호가 탐색된 위성 중 1개에 대한 것이다. 실험 장소는 각각 KAIST 교통대학원 3층 건물 3층(Fig. 5), KAIST 기계동 7층 건물 4층(Fig. 6), KAIST 기계동 4층 건물 4층(Fig. 7), KAIST 창의학습관 5층 건물 2층(Fig. 8), KAIST 기초실험 연구동 3층건물 3층(Fig. 9), KAIST 강당 1층건물 1층(Fig. 10)이다. 그리고 각 실험지점에서 1초의 동기누적으로 신호를 탐색한 결과 가시위성 15개 중 7개 위성(Fig. 5), 가시위성 18개 중 7개의 위성(Fig. 6), 가시위성 19개 중 6개의 위성(Fig. 7), 가시위성 19개 중 6개의 위성(Fig. 8), 가시위성 20개 중 6개의 위성(Fig. 9), 가시위성 16개 위성 중 6개의 위성(Fig. 10)이 탐색됨을 확인했다.



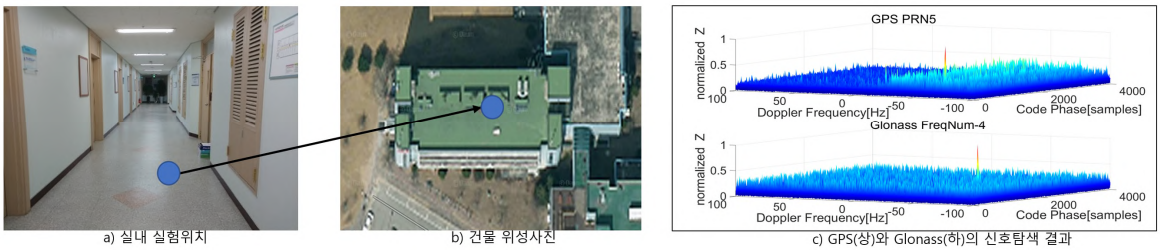
a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 5. Third floor of KAIST CCS Graduate School for green transportation building.



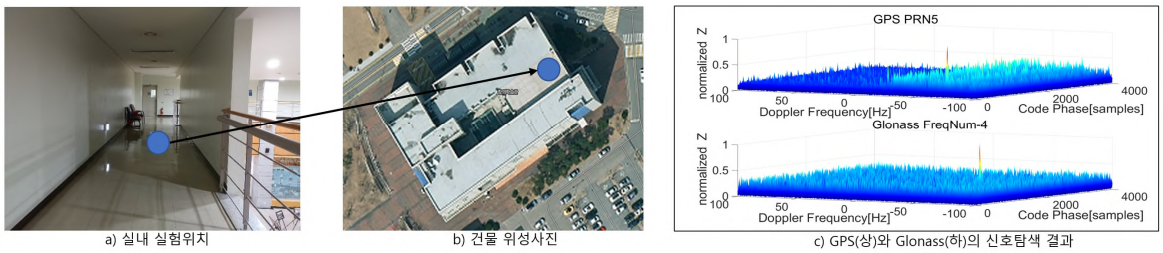
a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 6. Fourth floor of KAIST Mechanical engineering building 1.



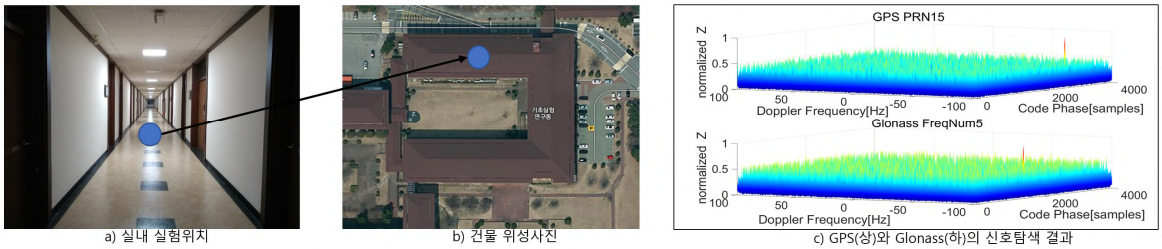
a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 7. Fourth floor of KAIST Mechanical Engineering Building 2.



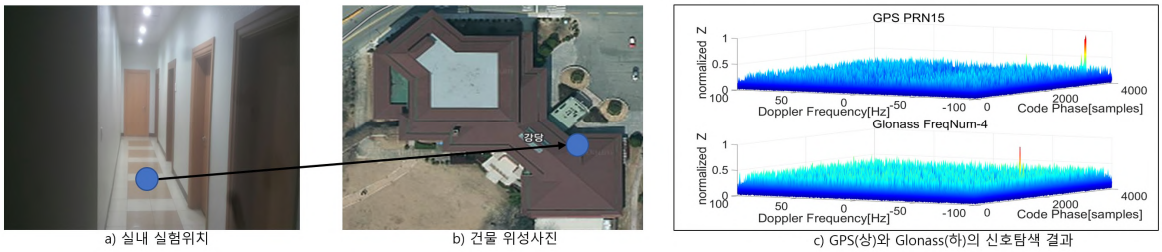
a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 8. Second floor of KAIST Creative Learning Building.



a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 9. Third floor of KAIST Basic Research Laboratory Building.



a) 실내 실험위치 b) 건물 위성사진 c) GPS(상)와 Glonass(하)의 신호탐색 결과

Fig. 10. First floor of KAIST Auditorium.

5. 결 론

지금까지 SDHT 알고리즘을 기반으로 구현한 실내 GNSS 극 미약 신호탐색 데모 시스템에 대해서 간략히 소개하고 실제 실내 GNSS 데이터를 획득하여 성능을 분석하였다. 성능 분석을 통해 건물 실내에서 1000ms 길이의 동기누적(coherent integration)으로 전체 가시 위성 중 약 36% 위성의 신호탐색이 가능함을 확인했다. 그리고 SDHT 알고리즘이 단순 FFT 기반 상관방식으로 GNSS 신호를 탐색하는 알고리즘보다 처리 속도가 약 800배 빠른 성능을 가지는 것을 확인했다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2017R1A2B2010635).

참고 문헌

Kong, S.-H. 2015, SDHT for Fast Detection of Weak GNSS Signals, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 33, 2366-2378. https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2430291

Kong, S.-H. 2017, High Sensitivity and Fast Acquisition Signal Processing Techniques for GNSS Receivers: From fundamentals to state-of-the-art GNSS acquisition technologies, IEEE Signal Processing Magazine, 34, 59-71. https://doi.org/10.1109/MSP.2017.2714201

Nirjon, S., Liu, J., DeJean, G., Priyantha, B., Jin, Y., et al. 2014, COIN-GPS: indoor localization from direct GPS receiving, in Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems, applications, and services, pp.301-314. https://doi.org/10.1145/2594368.2594378

WiFi 신호 미약 환경에서의 실내 항법 시스템 개발

신범주[1,2], 유보선[2], 기창돈[1], 이택진[2*]
[1]서울대학교 기계항공공학과, [2]한국과학기술연구원 센서시스템 연구센터

Development of Indoor Navigation System in Weak WiFi Signal Environment

Beomju Shin[1,2], Bosun Yoo[2], Changdon Kee[1], Taikjin Lee[2*]
[1]Department of mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea,
[2]Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, Korea

주소: 서울특별시 성북구 화랑로 14 길 5
연락처: 02-958-5717 이메일: taikjin@kist.re.kr

Abstract: WiFi Positioning System (WPS)는 WiFi AP가 이미 설치 되어있다는 점과 smartphone과 같은 모바일기기가 있으면 쉽게 시스템을 사용할 수 있다는 장점 때문에 실내 측위에서 많이 활용된다. 하지만 WPS는 WiFi의 신호 세기를 이용하여 측위를 하기 때문에, WiFi AP의 설치된 개수가 적거나 신호세기가 미약한 경우 성능이 떨어지게 된다. 본 연구에서는 위와 같이 WiFi 신호가 미약한 환경에서도 시스템 성능을 유지하기 위해서 surface correlation (SC) 방법을 제안하였다. SC가 기존 방법과 다른 점은 WiFi 신호의 현재 값 이외에 과거 값을 계속 저장하면서 측위를 한다는 점이다. 실험 결과 본 기법은 기존 k-nearest neighbor 또는 particle filter보다 강건한 성능을 보여주었다.

Keywords: WiFi positioning system, smartphone, pedestrian dead reckoning

1. 서 론

WPS는 실내에 이미 WiFi AP가 설치되어 있다는 장점 때문에 저 비용으로 실내에서 위치 추정을 할 수 있는 시스템이다 (Cypriani et al. 2009). 하지만 위치를 추정하기 위해서, 사용자가 수신한 신호 세기를 이용하기 때문에 미약 신호 환경에서는 위치 성능이 떨어질 가능성이 생긴다. AP와 사용자간의 거리가 멀면 신호는 약하게 되고, 신호가 약한 경우 사용자와 AP간의 거리를 추정하는 변별력이 떨어지기 때문이다. 특히 이러한 현상은 설치된 AP의 개수가 적을 경우 더욱 빈번히 발생한다. 본 연구에서는 이러한 상황에서도 WPS의 위치 성능을 유지 하기 위해 사용자가 이동하면서 수신한 신호 세기의 패턴을 이용하는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 토대로 실험을 진행했을 시, 미약 신호 환경에서도 측위 성능이 유지됨을 확인할 수 있었다.

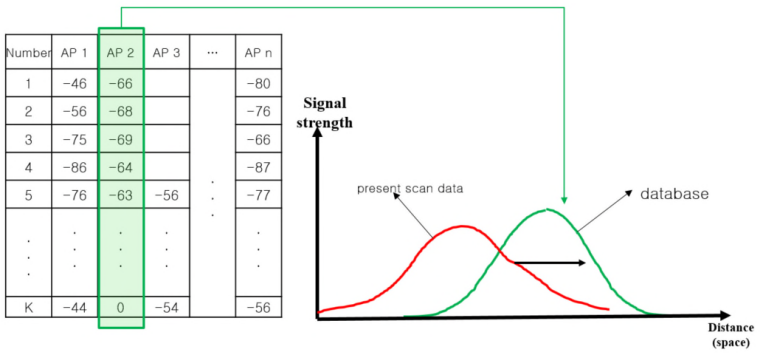


Fig. 1. Correlation between database and scan data array.

2. SURFACE CORRELATION 알고리즘

기존 k-nearest neighbor (KNN) 또는 particle filter (PF) 방법 같은 경우는 WiFi 신호를 수신할 경우 현재 수신한 WiFi 신호 벡터만을 이용하여 측위를 진행한다 (Bahl & Padmanabhan 2000). 해당 방법의 경우 설치된 WiFi AP개수가 많을 경우는 문제가 없지만, WiFi AP개수가 적은 곳에서는 위치 오차가 크게 발생한다. 해당 논문에서 제안하는 방식은 현재 수신한 WiFi 신호만이 아닌, 과거부터 수신한 신호를 이용하여 측위를 진행한다. Fig 1은 제안 방법을 설명한다. 일반적으로 WiFi 신호 패턴은 AP 가까이에서

수신하면, 신호세기가 크며, AP와의 거리가 멀어 질수록 신호세기가 작아진다. 특정 WiFi DB에 저장되어 있는 패턴을 보면 푸른색 선과 같다. 사용자가 이동하면서 수신한 신호는 붉은색이다. 푸른색과 붉은색의 correlation을 보면 가장 잘 매치가 되는 부분이 발생하는데, 그 부분이 현재 사용자의 위치가 된다. 해당 correlation은 하나의 AP에 대한 모사이다. 만약 n개의 AP신호에 대해서 correlation을 계산한다고 가정하면, 하나의 line이 아닌 surface가 형성되고, 해당 surface에 대한 correlation을 확인하여 가장 매치가 잘되는 위치를 찾으며, 해당 방법을 surface correlation (SC)라고 칭한다. Fig. 2의 왼쪽은 사용자 수신 신호를 surface로 만든 것이고, 오른쪽은 DB를 보여준다. Surface와 DB를 비교하여, 가장 큰 correlation 값에 해당하는 지점이 현재 위치로 추정된다.

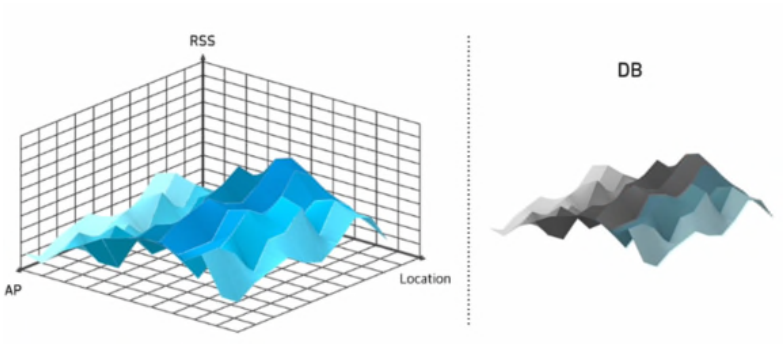


Fig. 2. User surface from RSS signal pattern and DB surface.

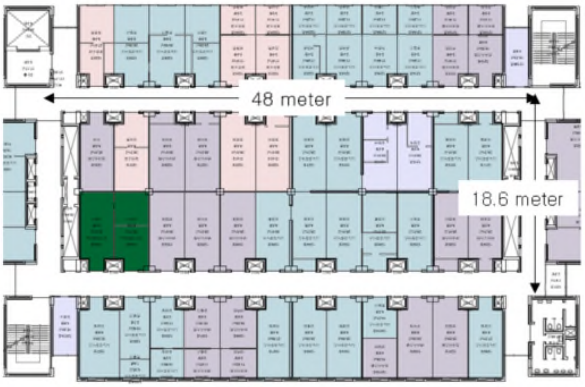


Fig. 3. Testbed.

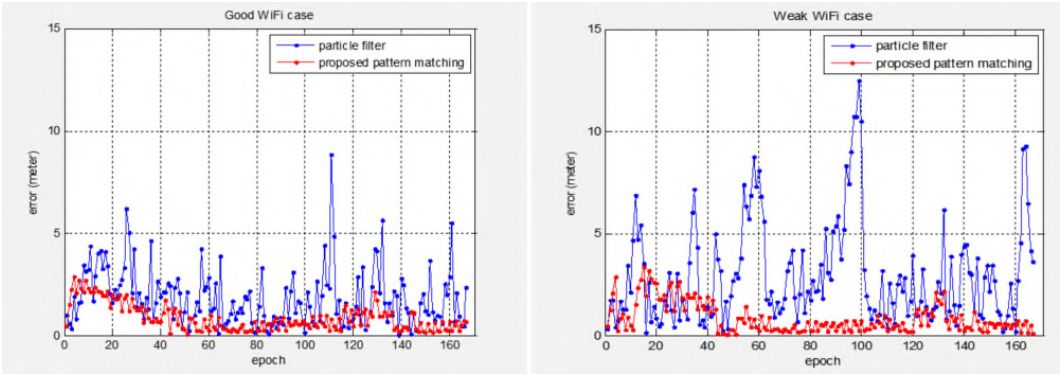


Fig. 4. Positioning result of PF and SC. Left figure is the results of two algorithm using all APs. Right figure shows the positioning results of two algorithm when using only 20% APs.

3. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 KIST L1동에서 실험을 진행하였다. Testbed는 Fig. 3과 같다. 장비는 삼성 갤럭시 노트 2로 진행하였다. 사용자는 KIST L1동에서 testbed를 1바퀴 이동한다. 이동하면서 수신한 데이터를 이용하여 DB를 생성하였다. 그리고, 다시 1바퀴를 이동했으며, 해당 데이터를 이용해서 사용자 데이터로 활용하였다. 해당 testbed에는 약 70개의 AP가 설치되어 있다. 미약 신호

환경을 모사하기 위해서, AP의 개수를 20% (14개)만 활용하여도 실험을 진행하였다.
실험결과는 Fig. 4와 같다. 왼쪽 그래프는 모든 AP를 활용한 경우이고, 오른쪽 그래프는 20% AP만 활용한 경우이다. 실험 결과를 보면, PF의 경우 AP 개수를 줄이면, 성능이 크게 줄어들었지만, SC의 경우는 성능이 유지됨을 확인할 수 있다. Fig. 5는 각 알고리즘 결과에 대한 CDF를 보여주며, Table 1은 각 알고리즘의 최대 오차를 보여준다.

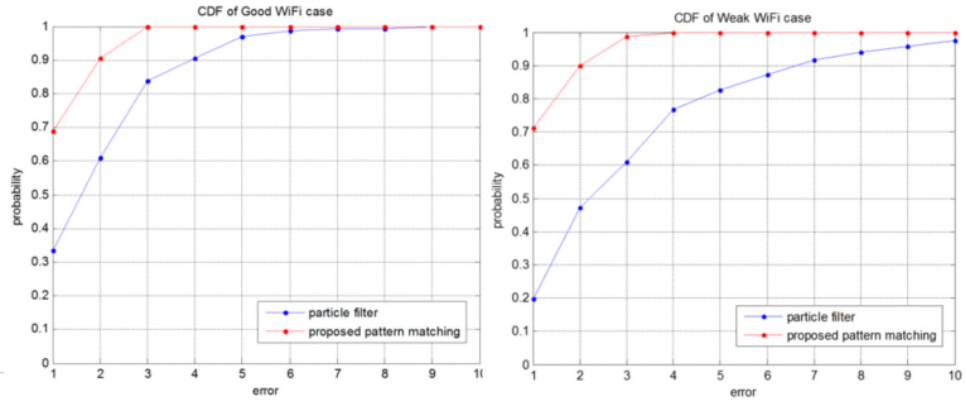


Fig. 5. CDF of two algorithms in case of good WiFi environment and weak WiFi environment.

Table 1. Maximum error of two method.

	PF		SC	
	100%	20%	100%	20%
Maximum error (meter)	8.85	12.46	2.88	3.36

4. 결론

기존 KNN 또는 PF같은 경우 현재 수신한 WiFi 신호만을 이용하여 위치를 추정하기 때문에, 미약 신호 환경같이 신호 분별력이 떨어지는 곳에서는 위치 성능이 낮아진다. 해당 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 신호의 shot 데이터가 아닌 패턴, 즉 히스토리를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 미약 신호환경에서도 강건한 위치 성능을 유지할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 에너지기술개발사업 (과제 번호: 20162220100150) 및 R&D 결과 재발견 사업(과제 번호: N0002470)에서 지원받아 수행되었음.

REFERENCES

Cypriani, M., Lassabe, F., Canalda, P., & Spies, F. 2009, Open Wireless Positioning System: A Wi-Fi-Based Indoor Positioning System, Vehicular Technology Conference Fall, 20-23 Sept. 2009, Anchorage, AK, USA, https://doi.org/10.1109/VETECF.2009.5378966

Bahl, P. & Padmanabhan, V. N. 2000, RADAR: An in-Building RF-Based User Location and Tracking System, INFOCOM 2000, Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings, IEEE, 26-30 March 2000, Tel Aviv, Israel. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2000.832252



[B5] 무선측위

Alternating Direction Method of Multiplier 기반 협력 차량 측위 알고리즘

김효원, 서현덕, 김선우
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Alternating Direction Method of Multiplier-based Cooperative Vehicle Localization

Hyowon Kim, Hyundeog Seo, and Sunwoo Kim
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanynag University

주소 : 서울특별시 성동구 왕십리로 222, 한양대학교 IT/BT 822 호
연락처 : 02-2220-4833 이메일 : khw870511@hanyang.ac.kr

Abstract: 자율주행을 위해 다양한 측정값을 측정값을 사용하는 협력 차량 측위(cooperative vehicle localization)는 필수적이다. 본 논문에서는 Alternating Direction Method of Multiplier(ADMM) 기반 협력 차량 측위 알고리즘을 소개한다. 분산 측위 시스템을 고려하였으며 실시간 차량의 위치 추적을 위해 차량 간 상대적 거리 및 입사각 측정값을 사용하였다. 제안하는 알고리즘은 차량이 수신하는 측정모델과 측정값에 따라 정의되는 objective 함수의 최적해를 factor, multiplier, variable 업데이트를 순차적으로 수행하는 ADMM을 통해 산출한다. 또한, MATLAB 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 확인한다.

Keywords: vehicular networks, cooperative localization, ADMM, optimization

1. 서 론

IEEE 802.11p 표준으로 지정되어 있는 wireless access in vehicular environments(WAVE)는 고속으로 주행하는 차량환경에서 통신서비스를 제공하기 위해 특화된 ITS 통신기술(Uzcátegui & Sucre 2009)이다. 하지만 기술이 갖고 있는 한계에 따라 차량 자율주행을 위한 해결책이 필요하다. 이를 위한 해결책으로 고속 무인이동체의 저지연/고신뢰/대규모/다중 접속 기술 지원이 가능한 차세대 이동통신(5G) 기술(Andrews et al. 2014)을 고려한다. 차세대 이동통신의 주요 기술로써 기지국을 거치지 않는 무선 단말 간 직접통신(D2D: device-to-device)을 전망함(Sayed et al. 2005, Gustafsson & Gunnarsson 2005)에 따라 주변 단말로부터 수신하는 연결정보를 통한 측위(Kim et al. 2016, Lee et al. 2014)와 고주파, 광대역 사용이 가능한 차량·사물 통신(V2X)을 통한 협력 측위(cooperative localization)가 새로운 방향으로 제시된다.

본 논문은 각 차량이 이웃 차량으로부터 수신하는 정보를 통한 실시간 차량 위치 추적 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘을 통해 각 차량이 수신하는 정보를 통해 objective 함수의 최적해를 factor, multiplier, variable 업데이트를 순차적으로 수행하는 alternating direction of multiplier method(ADMM)을 통해 추정한다. MATLAB 시뮬레이션을 통해 제안하는 협력 측위 알고리즘의 차량의 실시간 위치추적 성능을 확인한다.

2. ADMM 기반 협력 차량 측위 알고리즘

본 논문은 거리 측정이 가능한 차량용 레이더 및 입사각 측정이 가능한 안테나를 장착한 차량을 가정한다. 이동성을 갖는 각 차량 $i \in \mathbf{\Omega}_V$의 시간 k에서 위치좌표는 $\mathbf{p}_i^k = \left[x_i^k, y_i^k\right]^T$ 이다. 차량 j에서 측정한 차량 i까지 상대거리 $\mathrm{z}_{\mathrm{d,ji}}^{\mathrm{k}}$는 다음과 같이 레이더 기반 상대거리 측정 모델로 정의한다.

$$\mathrm{z}_{\mathrm{d,ji}}^{\mathrm{k}} = d_{ji}^k + n_d, \tag{1}$$

n_d는 상대거리 측정 오차로써 평균 0, 표준편차 σ_d를 갖는 가우시안 분포를 만족한다. 차량 j에서 측정한 차량 i의 신호의 입사각 측정 모델은 다음과 같다.

$$\mathrm{z}_{a,ji}^{\mathrm{k}} = \theta_{ji}^k + n_a, \tag{2}$$

n_a는 입사각 측정 오차로써 평균 0, 표준편차 σ_a를 갖는 가우시안 분포를 만족한다. 거리 측정값과 입사각 측정값을 관찰로 하는 각각의 likelihood는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \mathrm{p}(\mathrm{z}_{\mathrm{d,ji}}^{k}|\mathbf{p}_i^k,\mathbf{p}_j^k) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi{\sigma_d}^2}}\exp(-\frac{|z_{d,ji}^k-d_{ji}^k|^2}{2{\sigma_d}^2}), \\ \mathrm{p}(\mathrm{z}_{a,\mathrm{ji}}^{k}|\mathbf{p}_i^k,\mathbf{p}_j^k) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi{\sigma_a}^2}}\exp(-\frac{|z_{a,ji}^k-\theta_{ji}^k|^2}{2{\sigma_a}^2}). \end{aligned} \tag{3}$$

Likelihood을 고려하여 차량 i의 위치에 대해 다음과 같은 objective 함수를 정의한다.

$$f_0(\mathbf{p}_i^k) = \Sigma_{i,j\in\Omega_V}\log\{\mathrm{p}(\mathrm{z}_{\mathrm{d,ji}}^{k}|\mathbf{p}_i^k,\mathbf{p}_j^k)\} + \Sigma_{i,j\in\Omega_V}\log\{\mathrm{p}(\mathrm{z}_{a,\mathrm{ji}}^{k}|\mathbf{p}_i^k,\mathbf{p}_j^k)\} \tag{4}$$

Objective 함수는 ADMM 형태의 최적화 문제로 변형시키고, 다음 세 가지 단계(factor, multiplier, variable update)를 순차적으로 수행하여 최적해를 추정한다.

첫 째, 시간 k의 $\mathrm{t}+1$ 번째 반복에 대한 차량 i의 factor 업데이트는 이웃차량 j로 부터 수신하는 정보를 통해 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{d,ji}^{k,t+1} &= \mathrm{argmin}_{\mathrm{x_i}}[f_{d,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) + \rho/2(x_i - n_{d,ji}^{\mathrm{x}})^2], \\ \tilde{y}_{d,ji}^{k,t+1} &= \mathrm{argmin}_{\mathrm{y_i}}[f_{d,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) + \rho/2(y_i - n_{d,ji}^{y})^2], \\ \tilde{x}_{a,ji}^{k,t+1} &= \mathrm{argmin}_{\mathrm{x_i}}[f_{a,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) + \rho/2(x_i - n_{a,ji}^{\mathrm{x}})^2], \\ \tilde{y}_{a,ji}^{k,t+1} &= \mathrm{argmin}_{\mathrm{y_i}}[f_{a,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) + \rho/2(y_i - n_{a,ji}^{y})^2], \end{aligned} \tag{5}$$

$f_{a,ji}, f_{a,ji}$ 는 수식 (3)의 각 측정값의 likelihood로부터 정의되는 거리와 입사각 factor이고 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} f_{d,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) &= \frac{\left|\sqrt{\left((x_j-x_i)^2+(y_j-y_i)^2\right)}-d_{ji}^k\right|^2}{2{\sigma_d}^2}, \\ f_{a,ji}(x_i,y_i,x_j,y_j) &= \frac{\left|arctan\left(\frac{y_j-y_i}{x_j-x_i}\right)-\theta_{ji}^k\right|^2}{2{\sigma_a}^2}. \end{aligned} \tag{3}$$

ρ는 penalty $(\cdot)^2$에 대한 계수다. n은 이웃 차량 j로부터 수신하는 정보로써 시간 k, t 번째 반복에 대한 차량 j의 variable 업데이트, 그리고 차량 $j-i$의 multiplier 업데이트 결과이다.

둘 째, 시간 k의 $\mathrm{t}+1$ 번째 반복에 대한 차량 $j-i$의 multiplier 업데이트는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \psi_{x,ji}^{k,t+1} &= \psi_{x,ji}^{k,t} + \tilde{x}_{d,ji}^{k,t+1} - \hat{x}_i^{k,t}, \\ \psi_{y,ji}^{k,t+1} &= \psi_{y,ji}^{k,t} + \tilde{y}_{d,ji}^{k,t+1} - \hat{y}_i^{k,t}, \\ \varphi_{x,ji}^{k,t+1} &= \varphi_{x,ji}^{k,t} + \tilde{x}_{a,ji}^{k,t+1} - \hat{x}_i^{k,t}, \\ \varphi_{y,ji}^{k,t+1} &= \varphi_{y,ji}^{k,t} + \tilde{y}_{a,ji}^{k,t+1} - \hat{y}_i^{k,t}, \end{aligned} \tag{6}$$

$\hat{x}_i^{k,t}, \hat{y}_i^{k,t}$는 시간 k의 t 번째 반복에 대한 차량 i의 variable 업데이트이다.

시간 k의 $\mathrm{t}+1$ 번째 반복에 대한 차량 i의 variable 업데이트는 objective 함수의 최적해로써 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_i^{k,t+1} &= \frac{1}{2J+1}\{\hat{x}_i^{k,t} + \Sigma_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}(\tilde{x}_{d,ji}^{k,t+1} + \psi_{x,ji}^{k,t+1}) + \Sigma_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}(\tilde{x}_{a,ji}^{k,t+1} + \varphi_{x,ji}^{k,t+1})\}, \\ \hat{y}_i^{k,t+1} &= \frac{1}{2J+1}\{\hat{y}_i^{k,t} + \Sigma_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}(\tilde{y}_{d,ji}^{k,t+1} + \psi_{y,ji}^{k,t+1}) + \Sigma_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}(\tilde{y}_{a,ji}^{k,t+1} + \varphi_{y,ji}^{k,t+1})\}, \end{aligned} \tag{7}$$

J는 차량 i의 이웃차량 수이다. 각 차량의 t_{MAX}에서의 variable 업데이트 결과는 해당 시간 k에서의 위치 추적 결과이다.

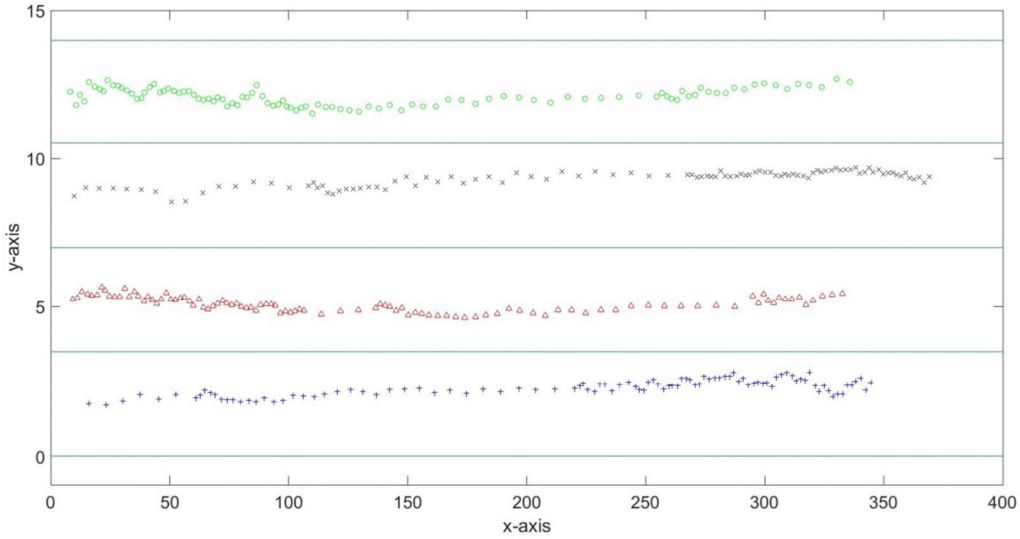


Fig. 1. Tracking result of each vehicle.

3. 성능평가

본 논문의 시뮬레이션에 사용된 차량환경은 3.5m 폭의 4차선 직선 도로를 고려하였고, 차량 속도는 80 km/h ~ 120 km/h의 속도를 갖는다. 또한, 속도 정보가 각 차선에 2대씩 8대의 차량을 배치하였으며 시간 간격 k는 1초이고, 총 시간 $\mathrm{K}=100$초 $\mathrm{t_{MAX}}=10$ 동안 반복적으로 차량의 위치를 추정한다. 각 8대의 차량 모두 이웃차량 $\mathrm{J}=7$대와 정보를 송수신 가능함을 가정한다. 차량 간 거리 측정값의 표준편차 σ_d는 2m, 입사각 측정값의 표준편차 σ_a는 $10\pi/180$로 설정하였다. 차량의 최초 위치 추정은 실제 위치와 동일하고, 모든 multiplier는 0으로 동일하다. 제안하는 알고리즘의 실시간 차량 위치 추적 성능은 MATLAB 시뮬레이션 결과를 통해 분석하였다.

Fig. 1은 차량 8대 중 각 차선에 위치하는 4대의 차량의 실시간 위치 추적 결과를 나타낸다. 실제 차량의 움직임은 차선을 벗어나지 않고 직선으로 가속 운행을 하고있다. 거리와 입사각 측정값 만으로도 차선을 크게 이탈하지 않는 모습 확인이 가능하다. 절대좌표 측정값이 사용되지 않아 한 차량의 위치 추정 결과의 오차는 이웃 차량의 오차 비슷함을 확인할 수 있다. Fig. 2는 Fig. 1과 동일한 차량의 실시간 위치 추적 결과 오차이다. 100초 동안 차량은 모두 1.6m 이내의 위치 추정 오차를 나타내고 있다. 또한, 각 차량의 위치 추정 오차와 이웃 차량의 오차는 비슷한 증감 현상이 나타남을 확인할 수 있다. 이 결과로부터 이웃차량의 측위 정확도가 증가할수록 목표 차량의 측위 정확도가 증가할 수 있으며 측위 정확도가 낮은 차량이라도 정확도 높은 이웃차량의 도움으로 측위 성능 향상 가능함을 확인할 수 있다.

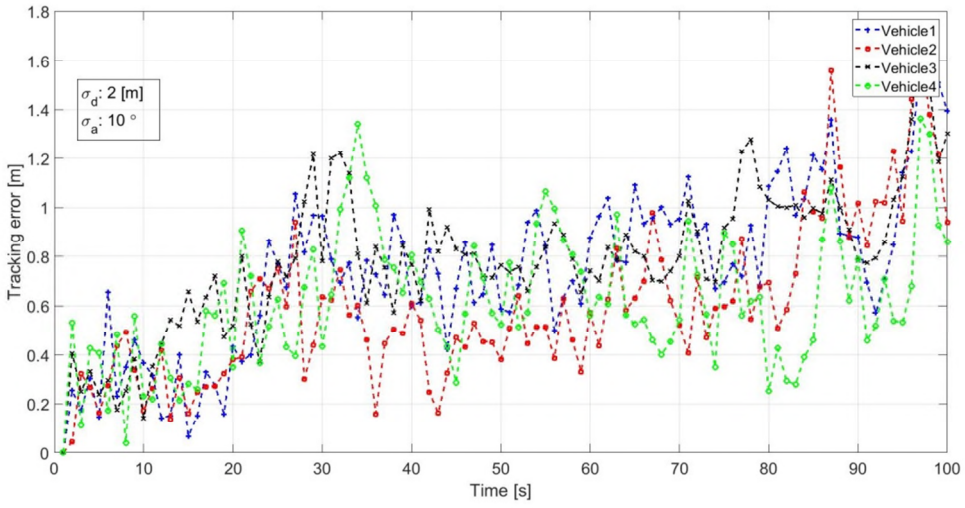


Fig. 2. Tracking error of each vehicle.

4. 결 론

본 논문은 ADMM 기반 협력 차량 측위 알고리즘을 제안하였다. 레이더와 안테나를 통한 상대거리와 입사각 측정값을 이웃차량에게 전달하여 목표 차량의 최적 위치좌표를 추정한다. MATLAB 시뮬레이션을 통해 이웃차량이 전달하는 위치정보의 정확도에 따른 목표 차량의 측위 정확도를 확인하였다. 거리와 입사각 측정값 만으로도 차선을 크게 이탈하지 않는 모습 확인하였고, 절대좌표 측정값을 사용하여 위치 추적 성능 향상 가능성을 확인하였다. 또한, 제안하는 알고리즘은 확률밀도를 고려해야하는 샘플링 기반 메시지 패싱 방법보다 연산량이 적어 실시간 분산 측위 시스템에 적합함을 확인하였다. 도로정보를 이용한 ADMM 기반 협력 차량 측위 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2017-0-01637)

REFERENCES

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S., Lozano, A., et al. 2014, What will 5G be, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 32, 1065-1082.

Gustafsson, F. & Gunnarsson, F. 2005, Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless measurements IEEE Signal Processing Magazine, 22, 41-53.

Kim. H., Kim, J., Lee, S., Sin, C., Lee, M., & Kim, S., 2016, Kalman-based mobility tracking with range-free localization under a realistic device distribution, ICLGNSS, 1-6.

Lee, S., Koo, B., & Kim, S. 2014, RAPS: reliable anchor pair selection for range-free localization in anisotropic networks IEEE Communication Letters, 18, 1403-1406.

Sayed, A. H., Tarighat, A., & Khajehnouri, N. 2005, Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information, IEEE Signal Processing Magazine, 22, 24-40.

Uzcátegui, R. A. & Sucre, A. J. 2009, Wave: A tutorial, IEEE Communication Magazine, 47, 127-133.

3GPP LTE를 이용한 OTDOA 기반 IoT 단말 측위

정민수[1], 문정모[2], 김선우[1]
[1]한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, [2]한국전자통신연구원

OTDOA-based IoT Device Localization with 3GPP LTE

Minsoo Jeong[1], Jeongmo Moon[2], Sunwoo Kim[1]
[1]Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University
[2]Electronics and Telecommunication Research Institute

주소 : 서울특별시 성동구 행당동 한양대학교 ITBT 관 무선시스템연구실 822 호
연락처 : 02-2220-4822 이메일 : qwjms@hanyang.ac.kr

Abstract: 차세대 이동통신을 통하여 제공될 주요 서비스 중 하나로 거론되고 있는 사물인터넷(IoT: Internet of Things)은 통신 서비스 사업자와 제조사를 중심으로 관련 시장이 빠르게 성장 중에 있다. 이러한 사물인터넷을 활성화 하기 위하여 3GPP를 중심으로 하여 Release 10부터 Release 14까지 IoT 특화 표준안이 정의 되었다. 본 논문에서는 IoT 단말을 위한 observed time difference of arrival (OTDOA) 기반 측위 기법을 통해 단말의 위치를 추정한다. 시뮬레이션을 위해 기존 LTE와 동일한 자원 구조를 사용하는 LTE-M과 NB-IoT 기술을 사용하였고 중심 주파수 800MHz에서 통신기술에 따른 특성을 적용한 위치 정확도를 확인하였다. 또한, 앵커(기지국)의 수에 따른 위치 정확도를 확인하였다.

Keywords: OTDOA, IoT, LTE PRS, LTE-M, NB-IoT

1. 서 론

앞으로 다가올 5G 이동통신에서 제공될 주요 서비스 중 하나인 사물인터넷(IoT: Internet of Things)은 통신 서비스 사업자와 제조사를 중심으로 관련 시장이 빠르게 성장 중에 있다. 특히 전기, 가스, 수도 검침과 같이 서비스 품질기준이 높지않고, 적은 배터리로 장시간 고정된 위치에서 넓은 영역에 서비스가 가능한 기술의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 필요성을 충족할 수 있는 저전력 광대역(LPWA: low power wide area) 네트워크 기술은 두가지로 분류할 수 있다. 하나는 비면허대역에서 서비스되고 있는 Long range (LoRa)와 Sigfox 기술이 있고, 또 다른 하나는 3GPP 표준을 이용해 면허대역에서 서비스되고 있는 LTE-M(long-term evolution machine type communication)과 Narrowband IoT (NB-IoT) 기술이 있다.

2. 3GPP LTE-M 및 NB-IoT

본 장에서는 면허대역 LPWA기술인 LTE-M과 NB-IoT에 대해 소개한다(Lin et al. 2017). LTE-M과 NB-IoT는 모두 3GPP LTE를 기반으로 한다. LTE를 기반으로 하기에 기존에 설치된 LTE기술 및 주파수 자원의 재활용이 가능하고, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)기반의 높은 신뢰성이 가장 큰 장점이다. LTE-M 의 경우 3GPP Release 12에서부터 소개되어 표준화되었으며, Release 13에서 NB-IoT가 소개되었다(3GPP RP-161901. 2016, 3GPP TS 36.211. 2017). NB-IoT는 OFDM physical resource block (PRB)를 1개 사용하고, LTE-M은 그 카테고리에 따라 6, 25, 50, 100개의 PRB를 사용한다. 그에 따라 OFDM 변조를 할 때 사용되는 여러 변수가 Table 1과 같이 변한다.

Table 1. Change of OFDM transmission bandwidth according to PRB.

Physical resource block	Carrier bandwidth	Number of subcarrier	OFDM FFT points
1	180 kHz	12	16
6	1.4 MHz	72	128
50	10 MHz	600	1024
100	20 MHz	1200	2048

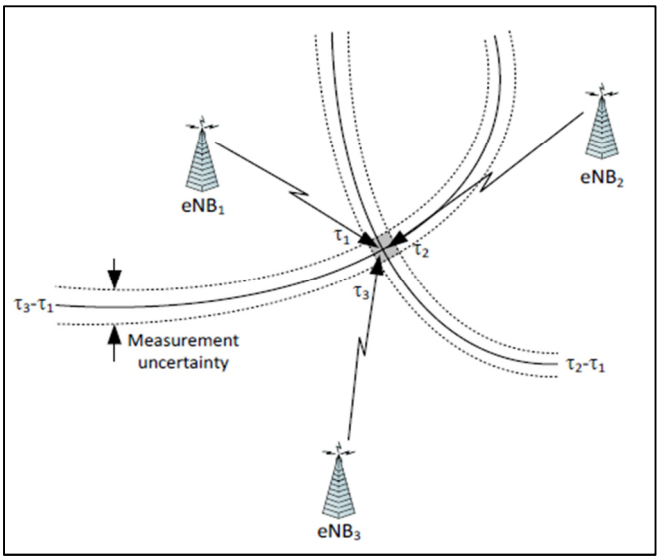


Fig. 1. Multilateration at OTDOA Localization.

3. OTDOA기반 IoT 단말 측위

LTE 통신은 위치를 측정하는데 도움이 될 수 있는 여러가지 기준 신호를 OFDM PRB안에 위치시킨다. 그 중 cell-specific reference signal (CRS)와 positioning reference signal (PRS)가 측위를 위하여 사용된다(Jiang et al. 2014). Observed time difference of arrival (OTDOA) 기법은 Fig. 1과 같이 앵커에서 보낸 신호가 사용자 단말에 도착하는 시간지연을 구한 뒤, 시간 지연의 차이를 쌍곡선의 교점을 통하여 단말의 위치를 추정하는 방법이다 (Fisher 2014).

4. 시뮬레이션 및 분석

시뮬레이션 환경은 다음의 Table 2와 같다. Fig. 2에서는 정삼각형 모양의 3개의 앵커와 정사각형 모양의 4개의 앵커를 사용하였고, PRS 데이터를 16QAM 변조하여 72개의 OFDM subcarrier에 올려서 전송하는 LTE-M의 시뮬레이션 결과이다. 앵커의 수가 늘어나면서 위치 정확도가 좋아진 것을 볼 수 있었다. Fig. 3에서는 Table 1에서 설명된 것과 같이 180kHz의 전송 대역폭을 사용하는 NB-IoT에서 20MHz의 전송대역폭을 사용하는 LTE-M의 경우까지 대역폭에 따른 위치 정확도 변화를 확인해 보았다. NB-IoT의 경우 낮은 신호 대 잡음 비(SNR: signal to noise ratio)에서 신뢰할 수 없는 결과를 보여주었고, 다른 기술의 경우 -3dB 이상에서 신뢰할 수 있는 정확도인 50m 위치 정확도를 달성 하였다. PRB가 커짐에 따라 위치 정확도가 상승함을 볼 수 있다.

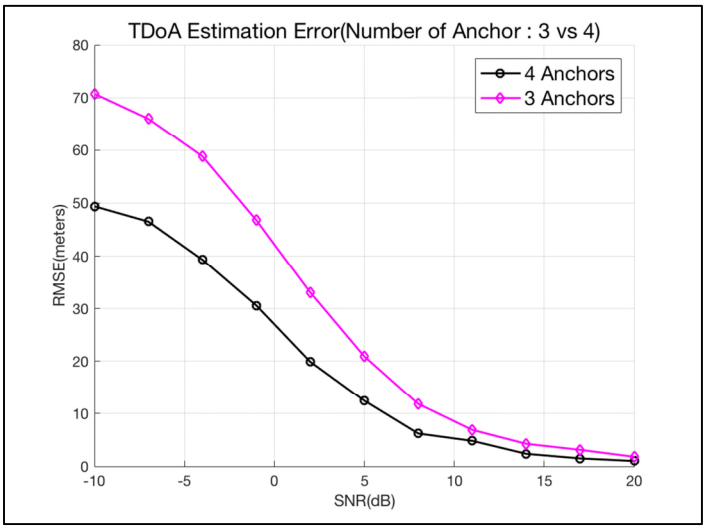


Fig. 2. SNR versus RMSE according to the number of anchors.

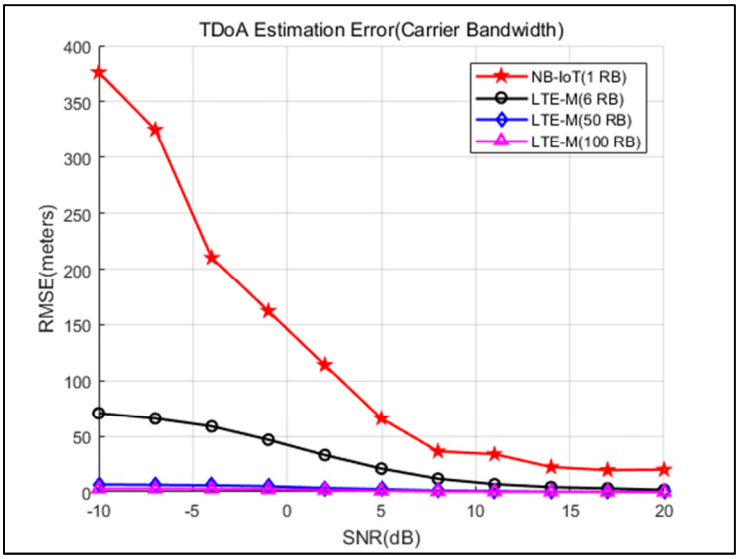


Fig. 3. SNR versus RMSE according to the number of PRB.

Table 2. Simulation parameter.

Parameter	Value	Parameter	Value
Modulation type	QPSK	Channel model	Rayleigh fading
Number of anchor	3/4	Dinstance to Anchors	700 m
Subcarrier interval	15 kHz	Monte Carlo	1000

5. 결론

시뮬레이션을 통하여 3GPP LTE를 기반으로 한 IoT용 통신 기술인 LTE-M과 NB-IoT 위치 정확도 변화를 확인하였다. PRB 개수 및 전송 대역폭이 증가하면서 위치 정확도가 향상되었고, 앵커의 배치와 네트워크 구조에 따라 측위 정확도가 변경됨을 확인할 수 있었다. 차후 연구에서는 좁은 전송 대역폭으로 인한 NB-IoT의 성능열화 극복 방법을 연구를 예정하고 있으며 스몰 셀(small cell) 기술 적용과 앵커간 거리에 따른 성능 변화에 대한 연구가 진행될 예정이다. 또한, LTE 채널 모델을 고려하여 위치 정확도 변화가 진행될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017-0-00724, 셀룰러 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능 한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심기술 개발).

REFERENCES

3GPP RP-161901. 2016, Revised work item proposal: Enhancements of NB-IoT, Huawei, Hisilicon.

3GPP TS 36.211. 2017, Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical channels and modulation, V14.1.0.

Fisher. S., 2014, Observed Time Difference of Arrival(OTDOA) Positioning in 3GPP LTE, White Paper Qualcomm Inc.

Jiang. Y., Hu. A., & Jin. W. 2014, A TDOA Estimation Method of PRS in LTE Systems, Journal of Information & Computational Science.

Lin. X., Bergman. J., Gunnrsson. F., Liberg, O., Razavi. S. M., et al. 2017, Positioning for the Internet of Things: A 3GPP Perspective, White Paper Ericsson Inc.

OFDM 신호의 시간지연을 이용한 TDOA 측위 연구

이충훈, 김선우
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

TDOA-based Localization Using ODFM Signal Time-delay

Chunghoon Lee and Sunwoo Kim
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

주소: 서울특별시 성동구 사근동 왕십리로 222 한양대학교 ITBT 822 호
연락처: 010-3203-5626 이메일: knssc12@gmail.com

Abstract: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)은 멀티 채널에 대해 강하며 높은 데이터 전송률을 보여 유선, 무선 분야의 큰 관심을 받는 변조 기법이다(Minn et al. 2003). 본 논문은 OFDM 신호분석을 통한 Time Difference of Arrival (TDOA) 기반 측위 알고리즘을 제안하고 성능을 확인한다. 제안하는 알고리즘은 기지국에서 단말까지 시간지연 추정값을 이용하여 TDOA 기반 측위를 수행한다. MATLAB 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 측위 성능을 확인하였다. 10MHz, 20MHz 대역폭을 갖는 OFDM 신호를 사용하였으며 100m × 100m 네트워크를 고려하였다.

Keywords: OFDM, WAVE, TDOA, localization

1. 서 론

오늘날 위치 기반 서비스(Location-based service: LBS)는 Global Positioning System (GPS)가 제공하는 위치 정보 정확도보다 높은 수준의 성능을 요구한다. 본 논문은 실내 및 도심지역과 같은 환경에서 사용자에게 높은 성능의 위치 정보를 제공하기 위한 알고리즘을 제시한다. 제안하는 알고리즘은 10MHz, 20MHz 주파수 대역 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 신호를 통해 기지국에서 단말까지의 시간지연을 추정한다. 단말의 위치 추정을 위해 Time Difference of Arrival (TDOA)기법을 사용한다. 본 논문은 MATLAB 시뮬레이션을 이용하여 ODFM 신호의 SNR 크기에 따른 단말의 위치 오차를 Root Mean Square Error (RMSE)방식으로 확인한다.

2. OFDM 시스템 모델

본 논문은 이미 소개된 바 있는(Dai et al. 2010)의 OFDM 신호 모델을 사용한다. 알고리즘에 사용된 OFDM 신호 모델은 다음과 같다.

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d(k) \cdot e^{j2\pi f_k t} \tag{1}$$

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} d(k) \cdot e^{\left\{j\frac{2\pi nk}{N}\right\}}, \qquad 0 \le n \le N-1 \tag{2}$$

여기서 $\{d(k)\}_{k=0}^{N-1}$는 해당 데이터 변조의 결과에 따른 데이터 수이며 f_k는 k번째 subcarrier의 주파수이다. 신호 $s(t)$ 를 $T_s = \frac{1}{Nf_0}$에 샘플링하여 얻어진 결과는 다음과 같다. 수식 (2)는 N 개의 데이터 샘플인 $\{d(k)\}_{k=0}^{N-1}$의 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)를 통하여 얻을 수 있다. BS으로부터 송신된 OFDM 신호는 다중 채널을 통과하여 MS에 도달한다. 수신된 신호 $r(t)$는 BS와 MS 간 거리에 따른 신호 지연이 일어나게 되며 Additive White Gaussian Noise (AWGN) 채널을 통과한 신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d(k) \cdot e^{j2\pi f_k(t-\tau_0)} + n(t), \quad (3)$$

여기서 τ_0는 전파 지연 상수이며 $n(t)$는 신호 노이즈이다. OFDM 신호의 지연도(τ_0)를 찾는 것이 TOA 과정에 해당된다. 이는 MS에서 수신된 신호의 autocorrelation 과정에 의해 추정 가능하다.

3. OFDM 신호를 이용한 TDOA 추정 알고리즘

시뮬레이션 환경은 x, y 좌표 평면에 고정된 BS 3개와 측위 대상 MS 1개로 구성된다. MS의 위치는 TDOA 그 과정에서 TDOA에 필요한 정보는 BS의 위치, BS과 MS 사이의 거리 등이 있다. BS로부터 발신된 OFDM 신호를 MS가 수신하여 거리에 따른 신호의 지연도(τ_0)는 다음과 같이 계산한다(Sayed et al. 2005).

$$r_{i1} = (t_i - t^0)\mathrm{c} - (t_1 - t^0)c = (t_i - t_1), \quad (4)$$

$$K_i^2 = x_i^2 + y_i^2 \quad (5)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}, \mathbf{c} = \begin{bmatrix} -r_{21} \\ -r_{31} \\ -r_{41} \\ \vdots \end{bmatrix}, \mathbf{d} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} K_2^2 - r_{21}^2 \\ K_3^2 - r_{31}^2 \\ K_4^2 - r_{41}^2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^{\mathrm{T}}(r_1\boldsymbol{c} + \mathbf{d}) \quad (7)$$

이때 autocorrelation 결과의 평균값을 신호 지연도로 가정한다. TOA나 TDOA 특성상 MS와 BS의 시계가 동기화 되어있다는 가정하에 추정이 이루어진다. TOA의 경우 동기화가 정확하게 이루어지지 않은 경우 그 오차는 그대로 추정 오류로 반영되지만 TDOA는 그렇지 않다. 수식 (4)의 결과로부터 알 수 있듯이 동기화 오류(t^0)가 상쇄되는 것을 볼 수 있다. 식 (4), (5), (6)을 통해 얻어진 위치 정보는 x, y 좌표 평면상에서 MS의 위치를 추정한다. Autocorrelation 과정에서 신호에 포함된 노이즈는 측위 성능에 직접적인 영향을 미친다.

4. 시뮬레이션 결과

Table 1은 MATLAB 시뮬레이션이 수행된 환경을 설명한다(Strom 2013). 시뮬레이션 결과를 통해 채널을 통과한 OFDM 신호의 TDOA 성능을 확인하였다. Fig. 1을 통해 20MHz 대역폭의 OFDM 신호 평균 RMSE는 2.26m이며 10MHz의 경우 4.89m의 평균 RMSE를 보였다.

Table 1. OFDM parameters.

Parameter	20 MHz	10 MHz
Sample duration	0.05 μs	0.1 μs
Channel spacing	20 MHz	10 MHz
Subcarrier spacing	312.5 kHz	156.25 kHz
Modulation	16-QAM OFDM	16-QAM OFDM
OFDM symbol duration	4 μs	8 μs

5. 결 론

본 논문은 수신된 OFDM 신호의 autocorrelation 과정에서 산출된 거리 정보를 TDOA에 사용한다. 산출된 거리 정보는 TDOA 알고리즘을 통해 *x, y* 좌표로 나타난다. 고해상도 TOA 추정(Xu et al. 2008) 방법은 IEEE 802.15.4a 표준에서 OFDM 기반 TOA 추정 RMSE를 큰 폭으로 줄일 수 있다(SNR=−10dB일

때 RMSE=1.9ns). 본 논문은 서로 다른 대역폭과 subcarrier를 가진 IEEE 802.11a, IEEE 802.11p 각각의 표준에서 TDOA 결과를 1000 Monte-Carlo로 확인한다. 그 결과 SNR 5~15dB 사이에서 RMSE가 현저히 감소하는 것을 볼 수 있으며 특정 SNR에서 OFDM 시간지연 기반 TDOA 무선 측위의 정확도를 비교할 수 있다.

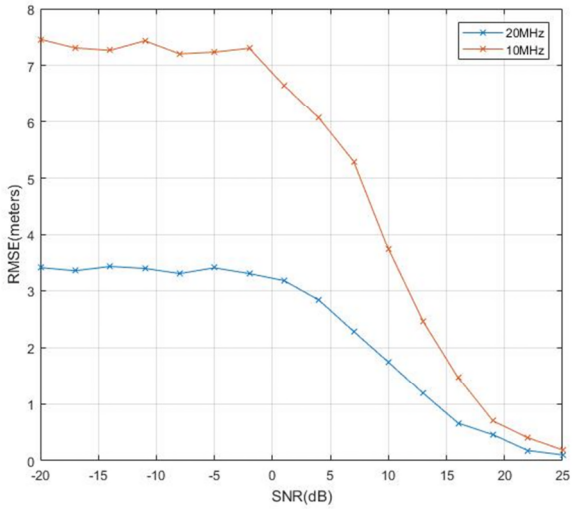


Fig. 1. Variation of location estimation RMSE with SNR.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017년 (주) 이씨스의 V2X 네트워크에서 정밀 측위를 위한 요소 기술 기획연구의 지원을 받아 수행된 공동 연구임.

REFERENCES

Dai, L., Wang, Z., Wang, J., & Yang, Z. 2010, Positioning with OFDM signals for the next-generation GNSS, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 56(2). https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5505942

Minn, H., Bhargava, V. K., & Letaief, K. B. 2003, A Robust timing and frequency synchronization for OFDM systems, IEEE Transactions on wireless communications, 2, 822-839

Sayed, A. H., Tarighat, A., & Khajehnouri, N. 2005, Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information, IEEE signal processing magazine, 22, 24-40. https://doi.org/10.1109/MSP.2005.1458275

Strom, E. G. 2013, On 20 MHz channel spacing for V2X communication based on 802.11 OFDM, Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE, 10-13 Nov. 2013, Vienna, Austria. https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6700274

Xu, H., Chong, C., Guvenc, I., Watanabe, F., & Yang, L. 2008, High-resolution TOA estimation with multi-band OFDM UWB signals, Communications, ICC'08. IEEE International Conference, 19-23 May 2008, Beijing, China. https://doi.org/10.1109/ICC.2008.787

제한된 수의 UWB Anchor를 이용한 다중 모델 파티클 필터 기반 실내 위치 추적 방법 연구

천세범*, 서재희, 허문범
한국항공우주연구원 위성항법팀

A Study of Multiple Model Particle Filter Based Indoor Tracking Method with Limited Number of UWB Anchor

sebum Chun*, Jae-Hee Seo, Moon-Beom Heo
Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84 한국항공우주연구원
연락처 : 042-860-2788 이메일 : sbchun@kari.re.kr

Abstract: UWB는 높은 정확도와 다중 경로에 대한 강인성으로 인해 실내 위치 추적을 위한 수단으로 활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 WiFi 등의 대중화된 통신 수단과는 달리 추가적인 인프라를 설치하여야 하기 때문에 실내 위치 추적을 위한 인프라 구축에 어려움이 있다. 본 논문에서는 실내 공간에서 제한된 수의 UWB Anchor 만으로 실내 위치 추적을 수행하는 기법을 연구하였으며, 이를 위해 다중 모델 기반 파티클 필터를 적용하였다. 다중 모델 기반 파티클 필터는 사용자의 이동을 가설화하고 이를 검증하여 관측 가능한 UWB Anchor가 부족한 상황에서 위치를 결정할 수 있도록 한다. 제안된 방법을 이용하여 실제 건물에서 위치 추적을 수행하였으며, 이 결과 관측 가능한 Anchor의 수가 부족함에도 불구하고 안정적인 위치 해를 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

Keywords: UWB, indoor tracking, multiple model particle filter

1. 서 론

화재 등 상황 인식이 어려운 재난 현장에서의 구조 활동은 항상 위험성을 내포하고 있으며, 소방관 등 구조요원의 순직 사례를 보면 대략 40%의 경우가 위치 및 간단한 상태 정보의 전달만으로도 방지할 수 있었던 사고로 볼 수 있다 (Choi et al. 2013).

순직 사고 감소를 위해 다양한 방식의 실내 위치 추적 연구가 진행되고 있다. 일반인을 대상으로 하는 위치 추적 서비스와는 달리 사전에 송신기 등을 설치하는 것이 불가능하기 때문에 전개식 Anchor를 이용하여 실내 진입 요원의 위치를 추적하는 연구가 진행되었다 (Chun et al. 2015).

만약, 비상구 표시등이나 화재 경보기 등에 Anchor가 설치되어 있는 경우 소방 요원이 휴대하고 진입하여 설치하는 전개식 Anchor와 함께 시너지 효과를 만들 수 있다. 본 연구에서는 단순한 노드-링크(Node-Link) 지도와 소수의 UWB Anchor를 이용하여 위치를 결정하는 방법을 연구하였다. 제안된 방법은 실재 건물에 설치된 UWB Anchor와 단순한 노드-링크 지도를 이용하여 효용성을 평가하였다.

2. UWB Anchor를 이용한 위치 결정

대형 창고 등 차폐물 없이 넓은 실내 공간에서는 복수의 UWB Anchor를 설치하여 3개 이상의 가용 UWB Anchor를 확보하면 위치를 결정할 수 있다. 그러나 대부분의 건물은 좁고 긴 복도로 연결되어 있는 경우가 대부분이며 이러한 상황에서 대부분의 UWB Anchor 배치가 일직선상에 놓이기 때문에 복도 수직 방향의 오차가 급격히 증가하는 문제가 있다. Fig. 1은 넓은 공간에서의 UWB Anchor 배치와 좁고 긴 복도와 같이 제한된 공간에서의 UWB Anchor 배치와 이로 인한 오차를 나타낸 것이다.

Fig. 1에서 보면 왼쪽의 넓은 공간에서는 Anchor의 배치가 양호하여 오차가 전체적으로 작은 반면 오른쪽의 좁은 복도 모양의 공간에서는 복도 수직 방향의 오차가 매우 커지는 것을 볼 수 있다. 좁은 복도 모양의 공간에서 가용한 Anchor의 부족 및 부적절한 배치를 극복하기 위해서는 복도 공간을 잘 나타낼 수 있는 지도가 필요하다. 대부분 이러한 공간에서 소방 용원의 위치를 추적하기 위해서는 단순한 노드-링크 구조의 지도 정보로도 충분하여 지도 매칭 (Map matching) 과정을 통하여 복도형 건물에서 발상하는 복도 수직 성분의 오차를 감소시킬 수 있다.

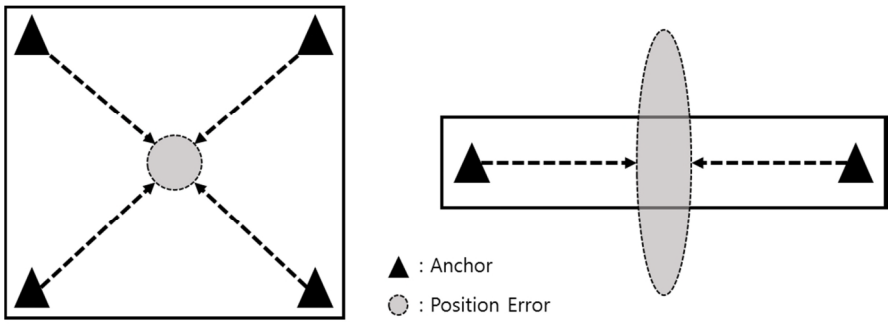


Fig. 1. Position error comparison between large space and narrow corridor.

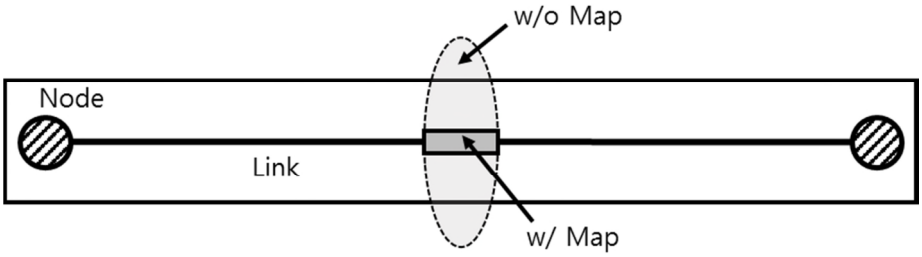


Fig. 2. Position error with and without node-link map.

Fig. 2는 노드-링크 지도 적용 시 위치 추정 오차의 변화를 나타낸 것이다. 노드-링크 지도를 사용하는 경우 링크 선상에 투영 (Projection)한 위치 추정 결과를 갖게 된다 (Gillieron & Merminod 2003).

Fig. 2에서는 2개 이상의 Anchor가 관찰되는 경우를 가정하였으나 실재 실내 공간에서는 1개의 Anchor만이 관찰되는 경우도 빈번하다. 이러한 경우 노드-링크 맵 상에 2개 이상의 위치가 매칭된다. Fig. 3은 이러한 경우의 위치 추정 결과를 나타낸 것이다.

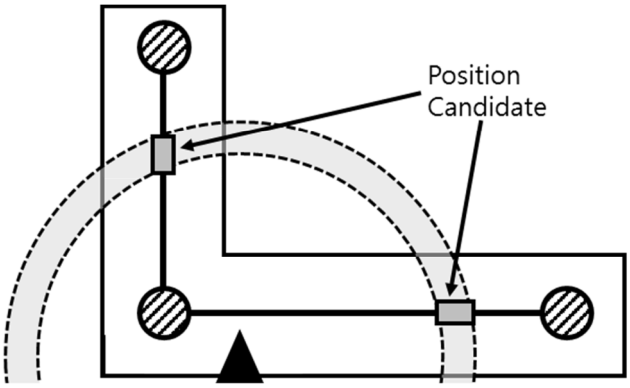


Fig. 3. Position candidates under lack of visible anchor situation.

제한된 수의 Anchor와 노드-링크 지도를 사용할 경우 링크 상의 투영으로 인한 비선형성과 멀티 모달 (Multi-modal)형태의 해를 갖게 되며, 선형 시스템과 가우시안 오차 분포를 갖는 경우 상태 추정이 가능한 칼만 필터 등으로는 추정이 어렵다. 더욱이 본 연구에서는 관성 센서 등의 연속적인 해를 얻을 수 있는 추가적인 항법 수단을 이용하지 않기 때문에 위치 예측이 곤란하다는 문제가 있다.

3. 위치 추정 필터

3.1 노드-링크 지도

태그의 위치는 항상 링크 상에 위치하기 때문에 편의를 위해 링크 식별자와 노드와의 거리를 이용하여 위치를 표현한다. 태그의 위치는 Fig. 4와 같이 표현된다. 일반적인 직교 좌표계에서의 변환을 용이하게 하기 위해 지도 데이터베이스에는 노드의 위치, 링크의 방향을 표시하기 위한 단위 벡터 (Unit vector)를 포함하고 있다.

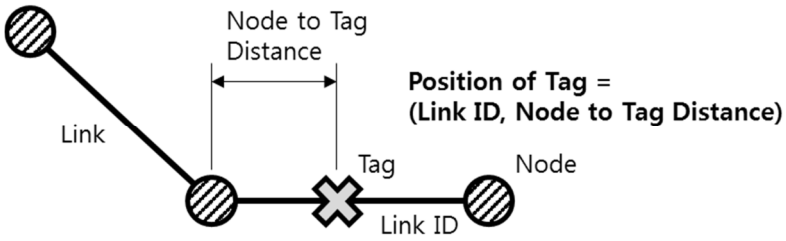


Fig. 4. Expression of tag position.

3.2 다중 모델 기반 파티클 필터

본 연구에서는 관성 센서 등의 연속적인 위치 변화를 추정할 수 있는 수단을 사용하지 않게 때문에 다중 모델을 사용하여 태그의 이동을 예측하여야 한다. 태그는 링크 위에 있고, 등속 직선 운동을 한다고 가정할 때 이동 모델은 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\bar{N} + d_{k+1} \cdot \bar{u} = \bar{N} + (d_k + \bar{v}_k \cdot dt) \cdot \bar{u} \quad (1)$$

$$v_{k+1} \cdot \bar{u} = v_k \cdot \bar{u} + \bar{w}_k \quad (2)$$

여기서,

$$\bar{N} : position\ of\ the\ node$$
$$d : node\ to\ tag\ distance$$
$$\bar{u} : \ unit\ vector\ of\ the\ node$$
$$v : speed\ of\ tag$$
$$\bar{w} : process\ noise, \bar{w} \sim N(0, \sigma)$$
$$dt : sampling\ time$$

식 (2)에서 볼 때 속도의 경우 random constant의 형태를 갖는다. 파티클 필터 초기화 단계에서 각 파티클의 속도 초기 값이 주어지면 링크 상에서 등속 운동을 가정하며 태그의 움직임을 예측한다. 이와 함께 분기점에서 복수의 링크로 분기를 위한 모델을 사용한다. 이후 측정치 갱신 과정에서 낮은 확률의 모델을 가지고 있는 파티클들은 리샘플링(Resampling) 과정에서 제거되게 된다 (Doucet et al. 2001).

4. 성능 평가

4.1 실험 구성

제안된 방법의 점검을 위해 실제 건물에서 위치 추정 실험을 수행하였다. 보행자가 휴대한 태그의 위치를 추적하였으며, 실험 대상 건물의 2층과 3층에 걸쳐 실험을 수행하였다. Fig. 5의 좌측은 실험이 수행된 건물로 전파가 차단되는 철근 콘크리트 건물이며 중간에 90도로 굴절된 좁은 복도로 구성되어 있어 가용 UWB Anchor의 수가 제한적이며 일직선상에 있다. 배치된 UWB Anchor의 위치는 Fig. 5의 우측과 같다.

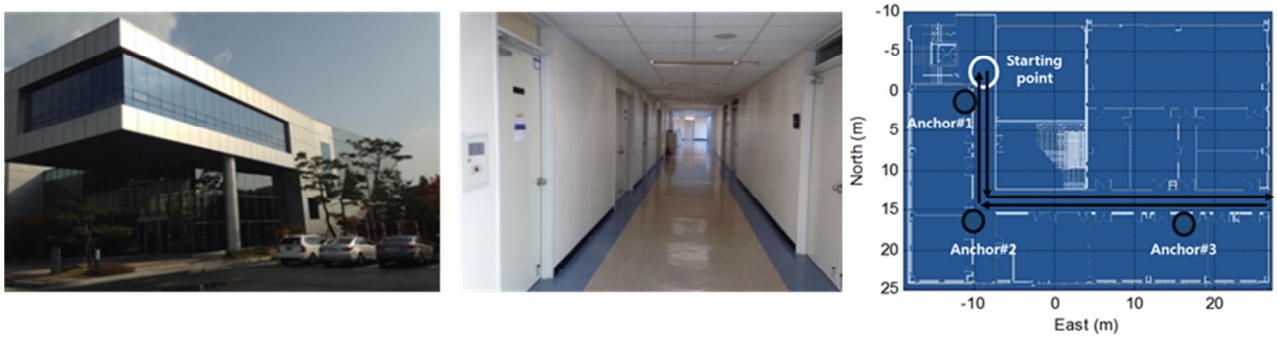


Fig. 5. Experiment environment and anchor position.

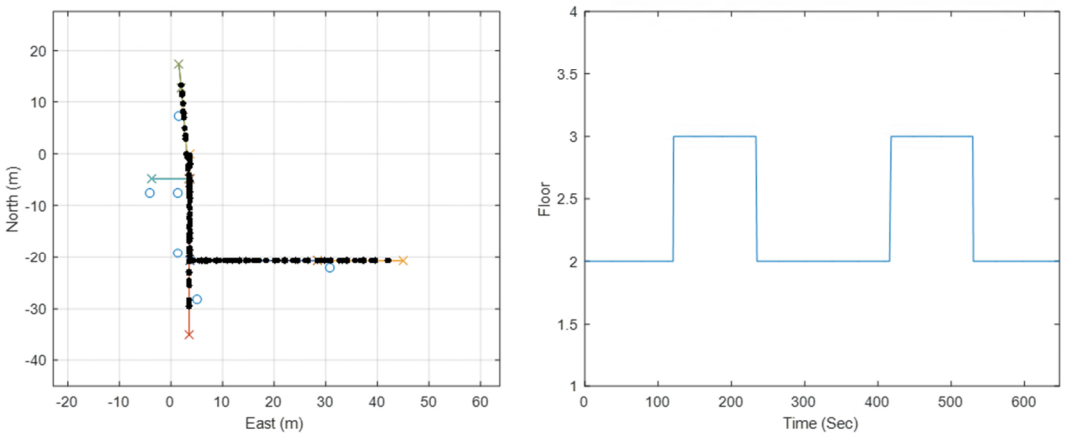


Fig. 6. Position tracking result (left : horizontal plan, right : vertical plan).

4.2 성능 평가 결과

Fig. 6은 수평면 위치 (좌측) 및 수직 변화 (우측) 추정 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 노드-링크 지도를 따라 수평면의 이동을 잘 추적하고 있음을 확인할 수 있다. 수직 이동 (2층→3층 이동)은 사전에 설치된 UWB Anchor의 ID를 이용하여 식별하며, 층간 이동을 문제없이 추적하고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 제한된 수의 UWB Anchor를 이용한 실내 위치 추적 방법에 대해 연구하였다. 이때 가용 UWB Anchor 부족에 대응하기 위해 노드-링크 지도를 이용하였으며, 이로 인하여 발생하는 비선형성과 멀티 모달 형태의 해에 대응하기 위해 파티클 필터를 이용하였다. 본 연구에서는 관성 센서 등 보조적인 위치 결정 수단을 사용하지 않았기 때문에 다중모델 기반의 파티클 필터를 적용하였다.

제안된 방법의 검증을 위해 실제 건물 환경에서 실험을 수행하였으며, 수평면 위치 결정은 물론 UWB Anchor ID에 기반한 층간 식별도 가능함을 확인하였다.

REFERENCES

Choi, K. C., Park, C. S., Lee, J. K., Yang, C. S., Kim, B. U., et al. 2013, Fundamental research of safety technology for firefighter onsite response (final report), Korea Institute of Fire Science & Engineering

Chun, S. B., Lim, S., & Heo, M. B. 2015, Design of Integration Filter for Communication Vulnerable Indoor Area, in ISGNSS 2015 in conjunction with KGS Conference, Jeju, 4-6 Nov 2015

Doucet, A., Freitas, N. D., & Gordon, N. 2001, Sequential Monte Carlo methods in practice (New York: Springer), pp.479-496

Gillieron, P. Y. & Merminod, B. 2003, Personal Navigation System for Indoor Applications, in 11th IAIN World Congress, Berlin, 21-24 Oct 2003



[B6] 복합측위 1

국산 MEMS-IMU기반의 GPS/INS 통합항법 성능분석

김현기[1*], 김상식[1], 김정원[1], 남창우[1], 윤성진[2]
[1]㈜한화 종합연구소, [2]국방과학연구소

Performance Analysis of MEMS-IMU Based GPS/INS Integrated Navigation

Hyun-Ki Kim[1], Sang-Sik Kim[1], Jeong-Won Kim[1], Chang-Woo Nam[1], Sung-Jin Yoon[2]
[1]Hanwha Corp. R&D Center, [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전시 유성구 외삼로 8 번길 99(외삼동)
연락처 : 042-829-2813 이메일 : inosisy@hanwha.com

Abstract: 관성측정기(IMU)는 항법시스템에서 가장 중요한 구성요소이고, 항법시스템의 성능에 큰 영향을 준다. 최근 반도체 기술의 발전에 따라 과거의 기계식, 광학식 IMU에서 MEMS기반의 관성측정기가 개발되어 사용되고 있다. MEMS-IMU는 소형, 저전력, 저비용의 장점을 갖지만 기존의 광학식, 기계식 IMU보다 성능이 낮은 단점이 있어 통상적으로 GPS와 결합한 형태로 사용한다. 본 논문에서는 GPS/INS 통합항법과 관성항법 성능분석을 차량시험을 통해 수행하였다. 성능분석에는 국산과 해외 MEMS-IMU를 사용하였고 동일한 조건에서 국산 MEMS-IMU 기반의 항법성능이 우수함을 확인하였다.

Keywords: MEMS-IMU, GPS/INS integration system, SiIMU02

1. 서 론

항법장치는 유도무기체계, 무인체계, 항공기, 선박 및 차량 등에 위치정보를 제공하는 시스템으로, 체계 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 일반적으로 GPS/INS 통합항법시스템은 상대적 측위 기반의 INS와 절대적 측위 기반 GPS가 결합된 시스템으로 GPS와 INS가 갖는 단점을 상호 보완하고 장점을 극대화 시키는 시스템이다. 최근에 자유낙하 폭탄, 포발사 포탄 등에 유도, 항법 및 제어 기능을 추가하여 비용적 효율성을 추구하면서도 정확도를 향상시키는 유도무기체계가 개발되고 있으며, 대표적인 무기체계로는 Joint Direct Attack Munitions, Excalibur 등이 있다. 이러한 유도 무기체계는 소형, 저전력, 저가 등이 요구되고 있으며, 이러한 기준을 만족하기 위해서는 기존의 기계식/광학식의 IMU로는 불가능하다. 최근 반도체 기술의 발전으로 MEMS기반의 관성측정기가 개발되어 사용되고 있으나, 기계식/광학식에 비해 그 성능이 매우 낮아 단독으로 항법장치를 구성하기 어렵고 일반적으로 GPS 수신기와 통합한 GPS/INS 통합항법장치 형태로 개발되고 있다. 본 논문에서는 국내기술로 개발된 MEMS-IMU와 세계적으로 많이 사용되고 있는 영국의 SiIMU02와 성능 비교 및 차량시험을 통한 항법 성능을 비교한 결과를 제시한다.

Table 1. The comparison of MEMS-IMU performance.

	국산 MEMS-IMU		해외 MEMS-IMU	
항목	Gyro	Accelerometer	Gyro	Accelerometer
Bias repeatability	10 deg/hr	1mg	50 deg/hr	2.5 mg
SF repeatability	250 ppm	300 ppm	250 ppm	300 ppm
Noise	0.2 deg/√hr	0.2 m/s/√hr	0.5 deg/√hr	0.5 m/s/√hr

2. MEMS-IMU 성능

2.1 주요 성능 지표 비교

국내 개발 MEMS-IMU는 MEMS 센서 구조물에서부터 신호처리, 기구설계 및 교정 등 순수 국산기술로 개발되었다. 대표적인 해외 MEMS-IMU는 영국의 SiIMU02와 미국의 HG1930 모델 등이 있다. Table 1은 국산 IMU와 해외 IMU(SiIMU02)의 주요 성능지표를 비교한 결과이다.

2.2 IMU 성능비교

IMU의 주요 성능지표는 바이어스 반복도, 환산계수 반복도 및 잡음 등이 있다. 본 논문에서는 차량시험 전, 2축 Rate-table을 이용하여 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS IMU간의 주요지표에 대해

성능시험을 진행하였다. 일반적으로 바이어스는 임의의 고정오차(Random constant)이다. 이러한 바이어스는 매번 전원을 On/Off 할 때마다 바뀌게 된다. 마찬가지로 환산계수는 입력 대 출력의 오차를 표현하며 단위는 무차원이다. 바이어스 반복도와 환산계수 반복도는 실험실 온도(Room Temperature)에서 8시간 간격으로 On/Off하여 4회 반복 측정하였다. 잡음은 정지상태에서 Allan variance을 통해 불규칙 잡음을 평가하였다(El-Sheimy et al. 2008).

시험결과는 Fig. 1 및 Table 2와 같으며, 해외 IMU 대비 국산 MEMS-IMU가 바이어스 및 환산계수 수준도 좋을 뿐만 아니라 반복도 성능도 우수한 것을 확인하였다. 잡음 측면에서는 자이로는 해외 IMU가 우수하며, 가속도계는 국산 MEMS-IMU가 우수한 것으로 측정되었다. 이러한 주요 성능지표뿐만 아니라 진동, 가속도 환경 및 온도변화 등과 같은 동적 환경에서의 성능을 비교하기 위해 차량시험을 실시하였다.

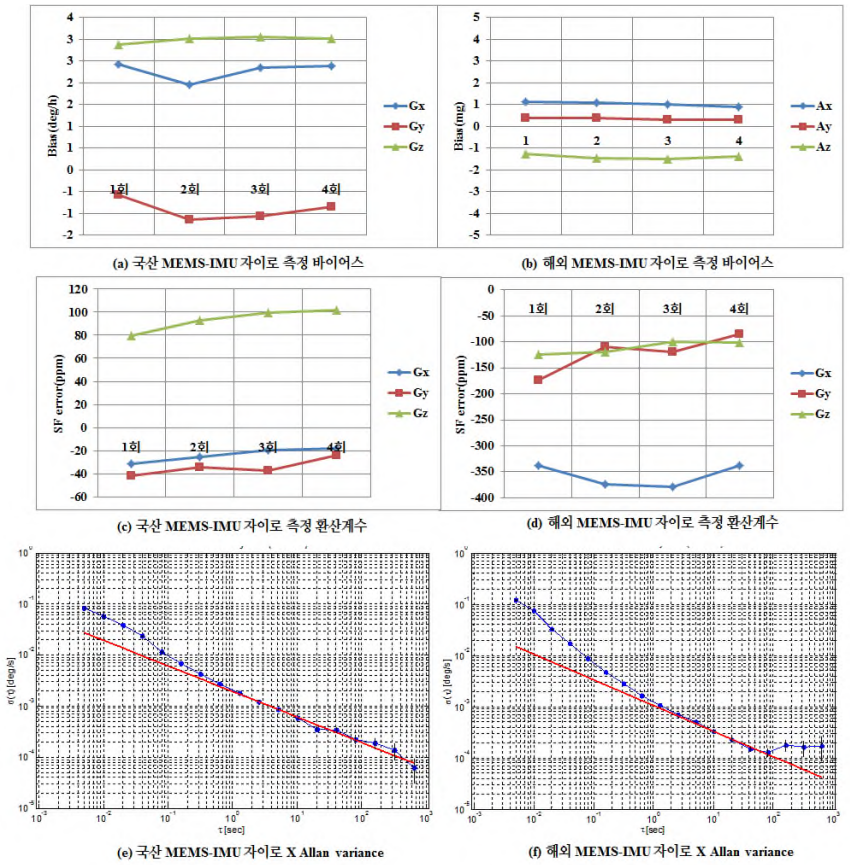


Fig. 1. The Sample performance result.

Table 2. The summary of performance result.

항 목	국산 MEMS-IMU						해외 MEMS-IMU(SiIMU02)					
	Gyro			Accelerometer			Gyro			Accelerometer		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Bias repeatability [deg/hr, mg]	0.2	0.3	0.1	0.1	0.04	0.1	5.4	1.3	1.2	0.3	0.1	0.3
SF repeatability [ppm]	6	8	10	11	33	35	22	38	13	233	156	137
ARW, VRW [deg/√hr, m/s√hr]	0.17	0.12	0.11	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.32	0.21	0.18

3. GPS/INS 통합항법 성능

3.1 차량시험 구성

실험실에서의 단독성능 비교뿐만 아니라, 동적 환경에서의 GPS와 통합항법 성능을 비교하기 위해 차량시험을 진행하였다. 차량시험구성은 Fig. 2와 같다. 기준항법장치로 TALIN5000을 사용하였으며 해외 IMU와 국산 MEMS-IMU의 동기화 된 출력데이터를 획득하기 위해 GPS Time Tag 정보를 수신할 수 있는 별도의 데이터 수집보드를 이용하였다. 차량시험 주행 환경은 Fig. 3과 같은 궤적의 도로에서 수행하였다.

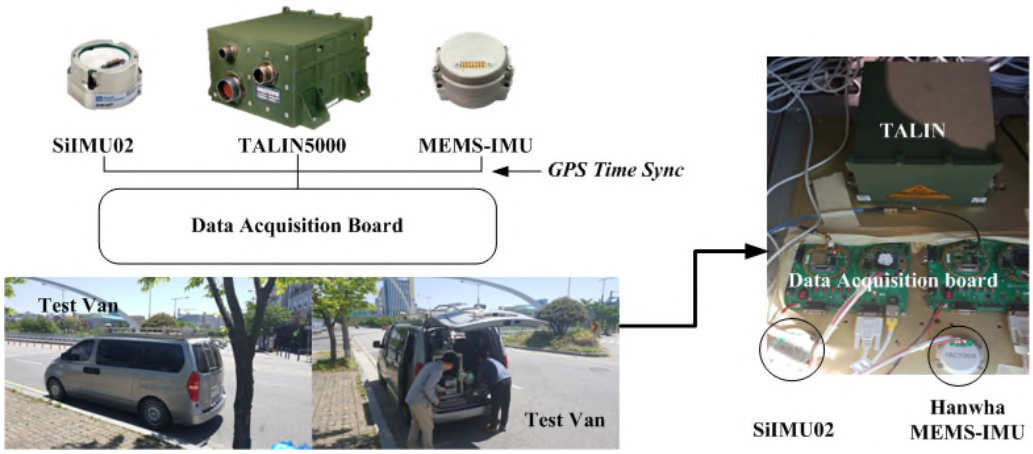


Fig. 2. Experiment environment of Van-test.

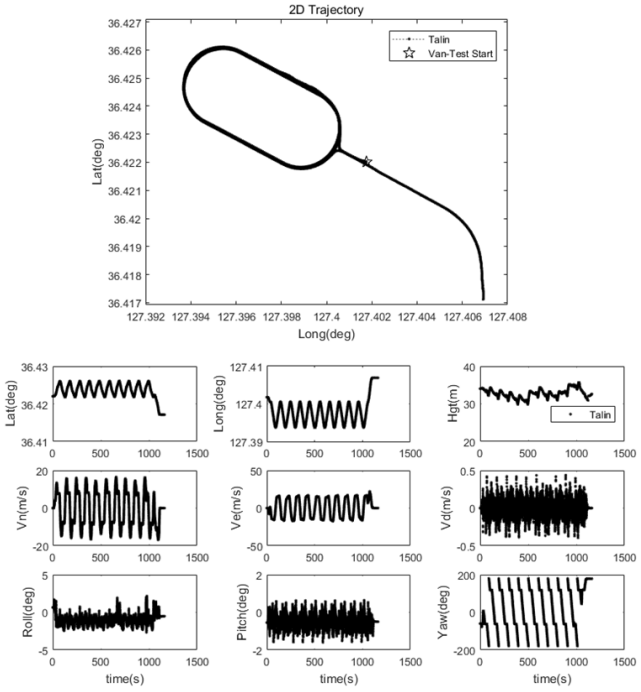


Fig. 3. Reference position, velocity, attitude (TALIN) of Van-test.

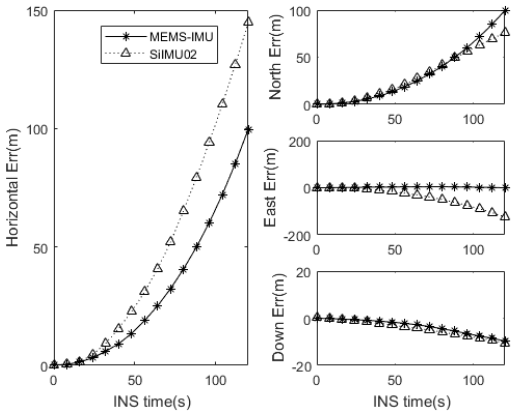


Fig. 4. INS only performance after GPS/INS Van-test.

3.2 항법 성능분석

차량시험에서 획득한 GPS와 IMU 데이터를 후처리 방법으로, GSP/INS 통합항법 중 GPS 단절을

가정하여 국산 MEMS-IMU와 해외 IMU간의 관성항법 성능을 비교하였다. GPS/INS 통합항법 알고리즘은 약결합(loosely coupled) 방식을 이용하였으며, GPS Time tag로 동기화 된 국산 IMU와 해외 IMU를 기준항법장치인 TALIN의 위치/속도와 정합 후 동일시점에서 단독 항법을 수행하여 성능을 비교하였다. Fig. 4는 300초 통합항법 후, 관성항법 결과로 국산 IMU를 이용한 관성항법이 우수한 성능임을 확인할 수 있었다.

해외 IMU 대비 국산 IMU의 관성항법 성능을 보다 정확하게 분석하기 위해, 차량시험 결과에 대해서 관성항법 시점을 바꾸어 가며 30회 통계분석을 하였다. Fig. 5는 국산 IMU와 해외 IMU 기반으로 통합항법을 각각 수행한 뒤, 동일시점에서 관성항법을 수행한 결과 중 60초 때의 위치오차를 나타낸다. 또한 Table 3은 GPS/INS 통합항법 후, 60초 관성항법 통계분석 결과 국산 IMU의 수평오차가 19.4m로 해외 IMU 25.8m 보다 더 좋은 결과를 확인할 수 있었다.

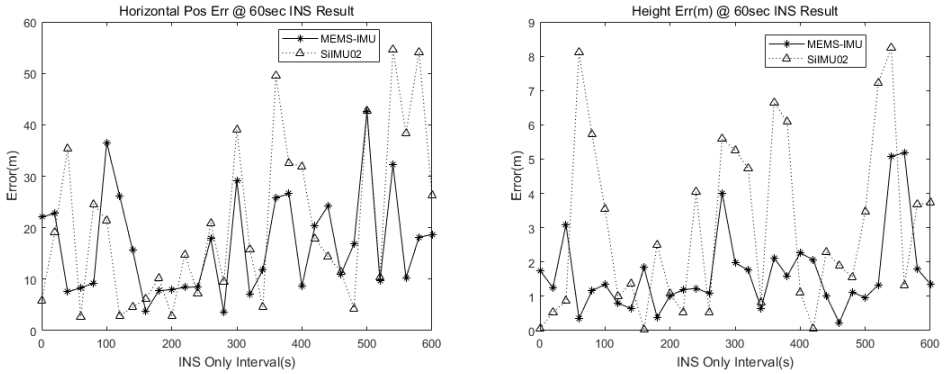


Fig. 5. The Statistical analysis of INS only performance.

Table 3. The result of statistical INS analysis.

Unit: meter	INS Error @ 60sec	
	국산 MEMS-IMU	해외 MEMS-IMU (SiIMU02)
수평오차(RMS)	19.4	25.8
수직오차(RMS)	2.0	3.9

4. 결 론

본 논문에서는 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS-IMU(SiIMU02)에 대해서 주요성능지표인 바이어스 반복도, 환산계수 반복도 및 잡음을 비교하였으며, 국산 MEMS-IMU의 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 진동, 가속도 등이 연속적으로 노출되어 있는 차량시험과 같은 동적 환경에서도 국산 MEMS-IMU를 이용한 항법 성능이 우수함을 확인하였다. 향후, 비행 등 다양하고 열악한 동적 환경에서의 성능분석을 수행 할 예정이다.

REFERENCES

El-Sheimy, N., Hou, H., & Niu, X. 2008, Analysis and Modeling of Inertial Sensors Using Allan Variance, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 57, 140-149. https:/doi.org/10.1109/TIM.2007.908635

간략화된 CKF 기반 INS/GPS 복합항법시스템

조성윤*
경일대학교 로봇공학부

Simplified CKF-based INS/GPS Integrated Navigation System

Seong Yun Cho*
School of Robotics Engineering, Kyungil University

주소 : 경산시 하양읍 가마실길 50
연락처 : 053-600-5584 이메일 : sycho@kiu.kr

Abstract: Inertial Navigation System (INS)/Global Positioning System (GPS) 복합항법시스템에서 사용되는 필터는 비선형 필터로 Extended Kalman Filter (EKF) 및 Unscented Kalman Filter (UKF)가 주로 사용되어오고 있으며 최근에는 Cubature Kalman Filter (CKF)가 연구되어 활용되고 있다. CKF는 근사 베이지안 칼만 필터로 다수의 Cubature 포인트를 생성하고 비선형 함수를 그대로 사용하여 상태변수 및 오차 공분산 행렬을 시간전파 하게 된다. 이때 시스템 차수가 큰 경우 Cubature 포인트의 수가 크게 증가하게 되고 결국 큰 계산량을 필요로 해 실기간 구현에 부담을 야기하게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여 상태변수와 오차 공분산 행렬의 시간전파를 간략화한 CKF(SCKF: Simplified CKF)를 소개한다. SCKF는 계산량은 EKF와 유사하지만 성능은 CKF와 유사한 장점을 갖는다. 이 필터를 사용하여 설계된 INS/GPS 복합항법시스템은 초기 자세추정오차가 크더라도 안정적으로 항법 솔루션을 제공함을 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다.

Keywords: CKF, INS/GPS, integrated navigation system

1. 서 론

자율주행자동차, 무인잠수정, 무인비행기, 로봇, 등과 같이 스스로 기동하는 이동체의 유도 및 제어 성능은 항법시스템의 성능에 의존적이다. 이와 같은 자율 이동체에 대한 연구가 활발하게 진행됨에 따라 다양한 항법시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다. GPS/GNSS, INS, 무선위치추정, 영상항법, 및 Radar/Lidar 등을 활용한 여러 가지 항법 관련 기술들이 연구되고 있다. 특히 빠르게 움직이는 시스템의 제어를 위해서는 이동체의 속도, 자세 및 가속도/각속도 정보를 높은 주파수로 획득 해야 하므로 INS가 기본적으로 사용되고 있다. 그러나 저가형 Inertial Measurement Unit (IMU)를 사용하게 됨으로써 초기 자세정보에 대한 정확도를 보장할 수 없다. 또한 단독 INS 만으로는 장시간 항법이 어려우므로 GPS 등과 결합하는 복합항법시스템이 사용된다. 이때 INS와 GPS를 결합하는 필터는 초기 자세정보의 정확도에 따라 다른 항법성능을 제공하게 된다. EKF는 INS와 같은 비선형 시스템을 위해 오랫동안 사용되어왔으며 EKF를 위한 INS 오차모델 또한 잘 설계되어 있다. 그러나 초기 자세정보에 큰 오차가 있는 경우 EKF는 제대로 된 추정성능을 갖지 못한다. 이런 문제를 해결하기 위해 UKF가 사용되고 있다. UKF는 EKF와 달리 오차모델 대신 비선형 함수를 그대로 사용하여 상태변수와 오차 공분산 행렬을 시간전파 함으로써 비교적 큰 초기 자세오차가 있더라도 수렴하는 좋은 특성을 갖는다 (Julier et al. 2000). 그러나 시스템 차수가 큰 경우 UKF에서 상태변수의 평균과 공분산을 계산할 때 사용되는 시그마 포인트들의 가중치가 음의 값을 갖게 되며 이로 인해 필터의 안정성을 보장하지 못하는 단점을 갖는 것으로 알려져 있다. 최근 이런 문제점을 언급하며 보다 안정적인 필터로 제시되는 CKF가 관심을 받고 있다 (Arasaratnam & Haykin 2009).

CKF는 근사 Bayesian 필터로 다차수 함수의 적분 문제를 입체구적 방법으로 근사화 한 필터이다. 그러나 필터의 설계 과정이 UKF와 다르며 UKF에서 시그마 포인트를 설정하는 것 대신 Cubature 포인트를 설정하는 것 이외에는 UKF와 유사한 구조를 갖는다. CKF에서 Cubature 포인트의 가중치는 모두 동일하게 양의 값으로 동일하게 설정함으로써 안정성을 부여한다. 따라서 CKF는 초기 자세오차가 큰 경우 EKF 보다 우수한 성능을 보장하며 UKF 보다 안정된 솔루션을 제공한다 (Jia et al. 2013). 그러나 CKF를 INS/GPS와 같은 다중속도 융합시스템에 적용하는 경우 Cubature 포인트 개수만큼 IMU 출력 주기에 맞추어 시간전파를 반복하는 과정에서 EKF 대비 큰 계산 부하가 발생한다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 SCKF를 소개한다. SCKF는 계산량은 EKF만큼 작으나 성능은 CKF와 유사한 특성을 갖는다.

2장에서 SCKF에 대해서 설명하고 3장에서 SCKF를 적용한 INS/GPS를 설계한다. 제안된 필터의 성능을 4장에서 시뮬레이션 기반으로 검증하며 5장에서 결론을 맺는다.

2. SCKF

차수가 n 인 시스템에서 CKF는 $2n$ 개의 Cubature 포인트를 사용하여 상태변수의 통계적 특성을 표현하며 $w=1/2n$ 의 가중치를 사용하여 상태변수의 평균과 분산을 각각 다음과 같이 나타낸다.

$$\hat{x} = w\sum_{i=1}^{2n}\xi_i \tag{1}$$

$$P = w\sum_{i=1}^{2n}(\xi_i - \hat{x})(\xi_i - \hat{x})^T + Q \tag{2}$$

여기서 ξ 는 Cubature 포인트를 의미하며, Q 는 시스템 공정잡음(process noise) 공분산을 의미한다.

이를 기반으로 SCKF는 Fig. 1과 같은 개념으로 설계된다. 상태변수의 시간전파 과정이 CKF와 달리 두 단계로 나누어진다. 첫 번째는 상태변수의 평균값 계산을 위한 것으로 EKF와 같이 x 로 표현하는 상태변수의 평균 1개만을 시간전파 주기에 맞추어 시스템 함수($f()$)를 사용하여 시간전파 한다. 두 번째는 상태변수 공분산 계산을 위한 것으로 $2n$ 개의 Cubature 포인트를 측정치 갱신 주기에 맞추어 한 번에 시간전파 한다. 그림에서와 같이 측정치 갱신이 t_{k+H} 에서 이루어질 때 시간전파 된 Cubature 포인트($\bar{\xi}^-_{k+H}$)를 사용하여 식 (2)와 같이 공분산(P^-_{k+H})을 계산한 다음 시간전파 된 상태변수 평균($\hat{x}^-_{k+H}$)과 함께 사용하여 다음과 같이 Cubature 포인트를 새롭게 생성한다 (Arasaratnam & Haykin 2009).

$$\xi^-_{k+H} = \sqrt{n}S^-_{k+H} + \hat{x}^-_{k+H} \tag{3}$$

여기서 S^-_{k+H} 는 $P^-_{k+H} = S^-_{k+H}(S^-_{k+H})^T$ 와 같이 상태변수 공분산의 Cholesky 분해를 통해 계산된다.

이렇게 시간전파 된 Cubature 포인트를 측정치(z_{k+H})를 사용하여 갱신된 상태변수 평균과 공분산을 각각 다음과 같이 계산한다.

$$\hat{x}_{k+H} = \hat{x}^-_{k+H} + K_{k+H}(Z_{k+H} - \hat{Z}^-_{k+H}) \tag{4}$$

$$P_{k+H} = P^-_{k+H} - K_{k+H}P^-_{zz,k+H}K^T_{k+H} \tag{5}$$

여기서 칼만 이득(K_{k+H})과 측정 추정치($\hat{Z}^-_{k+H}$)는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$K_{k+H} = P^-_{xz,k+H}(P^-_{zz,k+H})^{-1} \tag{6}$$

$$\hat{Z}^-_{k+H} = w\sum_{i=1}^{2n}h(\xi^-_{i,k+H}) \tag{7}$$

여기서 $h()$ 는 측정함수를 의미한다. 그리고 측정 추정치 공분산($P^-_{zz,k+H}$)과 상태변수-측정치 교차 공분산 ($P^-_{xz,k+H}$)은 각각 다음과 같이 계산된다.

$$P^-_{zz,k+H} = w\sum_{i=1}^{2n}(h(\xi^-_{i,k+H}) - \hat{Z}^-_{k+H})(h(\xi^-_{i,k+H}) - \hat{Z}^-_{k+H})^T + R \tag{8}$$

$$P^-_{xz,k+H} = w\sum_{i=1}^{2n}(\xi^-_{i,k+H} - \hat{x}^-_{k+M})(h(\xi^-_{i,k+M}) - \hat{Z}^-_{k+M})^T \tag{9}$$

여기서 R 은 측정치 오차 공분산을 의미한다.

마지막으로 측정치 갱신된 상태변수 평균과 공분산을 사용하여 Cubature 포인트(ξ_{k+H})를 식 (3)과 같은 방법으로 갱신한다.

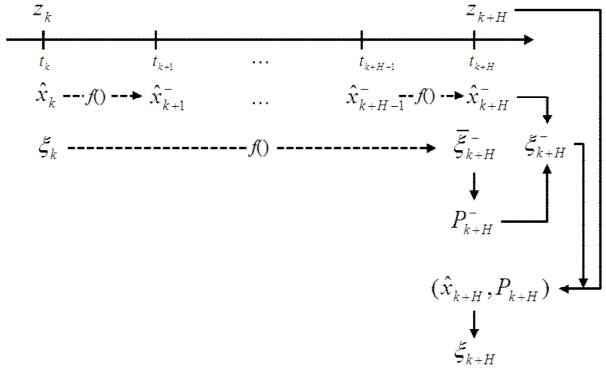


Fig. 1. The concept of the SCKF.

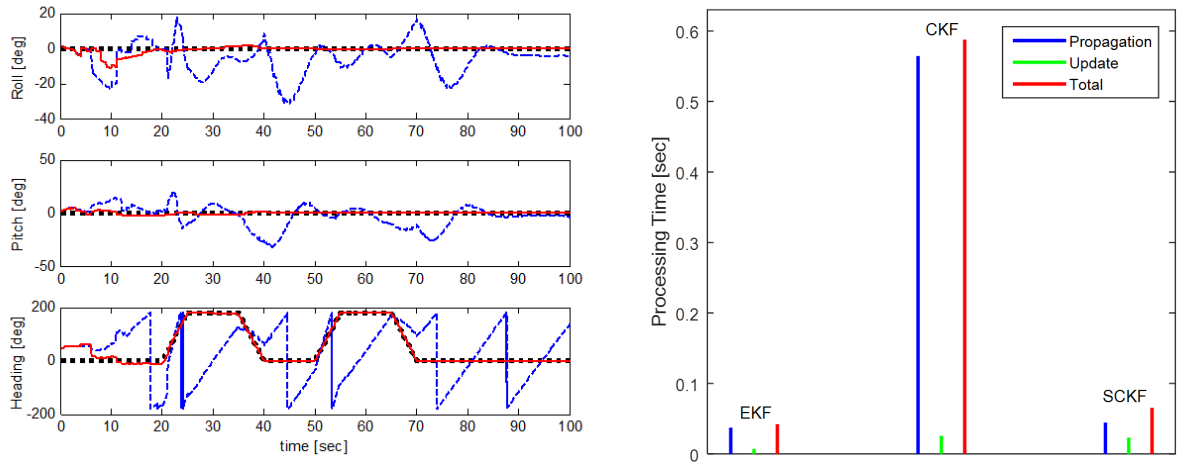
3. SCKF 기반 INS/GPS 복합항법시스템

SCKF를 사용하여 INS와 GPS를 결합한 복합항법시스템을 설계한다. 먼저 상태변수는 3차원 위치, 속도, 자세, 가속도계 바이어스 및 자이로 바이어스로 15차($n=15$) 시스템을 구성한다. 이때 자세는 Euler 각으로 설정한다. 위치, 속도 및 자세 계산을 위한 시스템 함수는 (Siouris 1993)에서 참고한다. 측정치는 약결합(loosely coupling)인 경우 GPS 수신기를 통해 획득된 위치와 속도정보를 사용하며, 강결합(tightly coupling)인 경우 GPS 수신기와 가시위성 사이의 거리인 의사거리(pseudorange)와 의사거리 변화율을 사용한다. EKF를 사용하여 복합항법을 구성하는 경우 INS의 오차 모델을 사용하여 Jacobian 행렬을 구성해야 하는 번거로움이 있지만 CKF나 SCKF에서는 필요하지 않으며 주어진 상태변수 미분방정식과 측정 함수를 사용하여 간단하게 필터를 구현할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 SCKF에서는 2장에서 설명한 것과 같이 CKF 대비 계산량이 크게 감소된 장점을 갖는다.

4. 시뮬레이션 기반 성능 검증

제안된 SCKF 기반 INS/GPS 복합항법시스템의 성능 검증을 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 3차 CKF 기반으로 SCKF를 설계하였으며 INS의 초기 방위각 오차가 60도인 것으로 가정하였다. EKF 기반 INS/GPS 에서 초기 방위각 오차가 큰 경우 EKF는 수렴하지 않거나 발산하기도 한다. 이에 반해 UKF 및 CKF는 EKF 대비 비교적 넓은 초기 방위각 오차를 허용한다. Fig. 2는 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2a는 자세 추정치를 나타낸 것으로 검은색 점선은 참값, 파란색 점선은 EKF의 결과, 그리고 빨간색 실선은 SCKF의 결과를 각각 나타낸 것이다. 이 결과를 통해 초기 방위각 오차가 60도인 경우 EKF는 수렴하지 않는 것을 알 수 있다. 방위각 추정치뿐만 아니라 롤/피치각 또한 영향을 받아 정확한 항법해를 제공하지 못한다는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 SCKF는 10초 이전에 방위각 오차가 추정되는 것을 알 수 있다. SCKF는 간략화된 시간전파 과정을 가짐에도 불구하고 상태변수의 평균 및 공분산을 잘 계산함으로써 CKF와 같이 좋은 성능을 보이는 것으로 확인된다. 또한 Fig. 2b에서 알 수 있듯이 계산량 또한 SCKF에서는 이점을 보인다. 특히 시간전파 계산량이 EKF 수준으로 떨어짐으로써 전체 계산량이 CKF 대비 대폭 감소한다. EKF 대비 측정치 갱신 계산량이 증가하는 이유는 이 구간에서 상태변수 공분산 시간전파를 위한 계산이 이루어지기 때문이다.

이 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제시하는 SCKF는 계산량은 EKF와 유사하지만 성능은 CKF와 같이 초기 큰 자세오차가 존재하는 상황에서도 수렴특성을 보장하는 필터임을 확인할 수 있다.



(a) attitude estimates (b) processing time

Fig. 2. Simulation results.

5. 결 론

본 논문에서는 간략화된 CKF를 소개하고 이를 기반으로 INS/GPS 복합항법시스템을 설계한 결과를 제시하였다. INS는 GPS 및 비 관성센서와의 결합을 통해 장시간 정확성을 유지하는 복합항법시스템을 구성하여 사용한다. 이때 결합필터 INS의 비선형성을 고려하여 EKF 및 UKF를 일반적으로 사용한다. 본

논문에서는 EKF와 UKF의 단점을 보완한 CKF를 사용한다. 또한 CKF가 갖는 단점인 EKF 대비 큰 계산량을 해결하기 위해 시간전파 과정을 간략화한 SCKF를 제안한다. SCKF는 상태변수 평균값의 시간전파는 EKF와 같이 수행하며, 공분산의 시간전파는 측정치 갱신 주기로 Cubature 포인트를 한번에 전파하여 계산함으로써 CKF에서 요구하는 큰 계산량을 대폭 줄일 수 있으며, 또한 초기 상태변수 추정 오차가 큰 경우 EKF의 공분산 시간전파에서 발생하는 계산오차를 줄여주므로 CKF와 같이 큰 초기 상태변수 추정오차에 강인한 특성을 갖는다. 본 논문에서 제안한 SCKF는 INS/GPS 복합항법시스템뿐 아니라 다양한 비선형 시스템의 상태변수 추정 및 시스템 결합에 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (NRF2015R1D1A1A01059606).

REFERENCES

Arasaratnam, I. & Haykin, S. 2009, Cubature Kalman filters, IEEE Trans. Automatic Control, 54, 1254-1269.

Jia, B., Xin, M., & Cheng, Y. 2013, High-degree Cubature Kalman filter, Automatica, 49, 510-518.

Julier, S., Uhlmann, J., & Durrant-Whyte, H. 2000, A new method for nonlinear transformation for means and covariances in filters and estimators, IEEE Tran. Automatic Control, 45, 477-482.

Siouris, G. M. 1993, Aerospace Avionics Systems (San Diego: Academic Press)

신호간섭을 고려한 적응 칼만필터 기반 INS/GPS 초강결합

최영권[1], 강창호[2], 김선영[1], 박찬국[3*], 허문범[4], 유명종[5]
[1]서울대학교 기계항공공학부, [2]서울대학교 BK21 플러스 융합지식기반 창조형 기계항공인재 양성사업단,
[3]서울대학교 기계항공공학부, 서울대학교 자동화시스템공동연구소, [4]한국항공우주연구원, [5]국방과학연구소

Deeply Integrated INS/GPS Based on Adaptive Kalman Filter Considering Signal Interference

Yeongkwon Choe[1], Chang Ho Kang[2], Sun Young Kim[1], Chan Gook Park[3*], Moon Beom Heo[4], Myeong Jong Yu[5]
[1]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University, [2]BK21+ Transformative Training Program for Creative Mechanical and Aerospace Engineers, Seoul National University, [3]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, / Automatic and Systems Research Institute, Seoul National University, [4]Korea Aerospace Research Institute, [5]Agency for Defense Development

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 신호간섭이 존재하는 상황에서의 INS/GPS 초강결합 시스템 구현에 있어, 지속적인 신호 추적이 가능하도록 측정치 잔차를 이용한 적응 칼만필터를 설계한다. 재밍과 같은 의도적인 신호간섭 혹은 의도하지 않은 신호간섭은 GPS의 코드 위상 측정치나 도플러 주파수 측정치 오차에 큰 영향을 준다. INS/GPS 초강결합 시스템은 이러한 측정치를 바탕으로 항법해를 보상하고, 다시 이 항법해를 기반으로 전채널의 신호를 추적하기 때문에 이러한 측정치 오차 변화가 항법필터의 모델에 정확히 반영되는 것이 시스템 성능에 있어 중요하다. 본 논문에서는 신호간섭에 의한 측정치 오차 변화를 필터에 적응적으로 반영해주기 위해 측정치 잔차 기반의 적응기법을 이용한다. 측정치 잔차 기반 적응기법은 일정 시간 동안의 측정치 잔차를 모아 노이즈의 크기를 통계적으로 추정하여 이를 필터에 적용하는 기법이다. 프로베니우스 놈에 기반한 기존의 적응 기법은 하나의 적응인자만을 이용하는데, 본 논문에서는 서로 다른 두 종류의 측정치를 이용하기 때문에 이에 맞춰 두 개의 적응인자를 사용하도록 확장하였다. 설계한 필터의 성능을 검증하기 위해 상용 노이즈 재머를 이용하여 실제 GPS 신호에 대해 신호간섭을 발생시켜 성능을 분석하였다.

Keywords: INS/GPS deep integration, adaptive Kalman filter, anti-jamming

1. 서 론

INS/GPS 초강결합 시스템은 위성항법 신호에 대한 추적 루프와 관성 항법 계산이 독립적으로 수행되는 약결합, 강결합 기법과 달리 추정한 항법해를 기반으로 위성항법 신호를 추적한다. 항법해를 추적 루프에 이용하면 항체의 동역학이 고려되기 때문에 급격한 기동이 있을 때나, 신호간섭으로 인해 전파 환경이 나쁜 상황에서 일반적인 추적 루프에 비해 신호 추적 성능이 좋다는 장점이 있다 (Petovello et al. 2009, Koo et al. 2011). 반면 항법해가 전 채널의 추적 루프에 영향을 미치기 때문에 필터 모델이 잘못될 경우 위성 신호 추적에 실패할 수 있다. 따라서 필터 모델이 신호의 특성을 충분히 반영할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

INS/GPS 초강결합 시스템에 있어, 측정치 잡음은 재밍과 같이 의도하거나 의도하지 않은 간섭 신호로 인해서 시간에 따라 큰 폭으로 변화할 수 있다. Groves (2013)에 따르면 일반적인 INS/GPS 초강결합 시스템은 이러한 변화를 모델에 반영해주기 위해 C/No 값에 기반한 이론적 모델을 이용한다. 이론적 모델은 수신기 하드웨어의 여러 특성 값을 후험적으로 알고 있어야 하며, C/No 값에 근거하고 있기에 정확한 C/No 추정이 필요하다. 이론적 모델에 기반하지 않는 방법으로는 실측정치의 이노베이션 혹은 잔차를 직접 이용하는 방법이 있다. 이 같은 방법의 경우, C/No 추정 후 알려진 하드웨어 특성 값을 이용하는 것과 달리 직접적으로 측정치 잡음 값을 추정하기 때문에 계산이 간소하며, 하드웨어 특성 값을 정확히 모르는 상황에서도 사용이 가능하다는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 잔차를 이용한 적응 기법을 이용하였는데, 구체적으로는 Yu (2012)가 제안한 프로베니우스 놈을 이용한 기법을 응용·확장한다. Yu (2012)가 제안한 방법은 하나의 적응 인자만을 이용해 필터의 측정치 잡음 모델을 변화시키는 반면, 본 논문에서는 서로 다른 종류의 측정치의 변화 특성을 고려해주기 위해 두 개의 적응 인자를 이용한다. 제안한 기법의 성능을 확인하기 위해 실제 GPS 신호에 상용 노이즈 재머를 이용하여 신호간섭을 발생시켜 검증한다.

2. 두 개의 적응 인자를 이용한 측정치 잔차 기반의 적응 칼만필터

본 논문에서는 신호간섭과 같이 측정치 오차가 변화하는 상황에서 측정치 잔차를 이용해 측정치 오차 모델을 적응적으로 변화시키는 칼만필터를 설계한다. 먼저 Yu (2012)의 제안에 따라 식 (1), (2)와 같은 시스템 모델에 대한 칼만필터 측정치 잔차의 분산을 정리하면 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi(k+1|k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}_d(k) \tag{1}$$

$$\mathbf{z}(k+1) = H(k+1)\mathbf{x}(k+1) + \mathbf{v}_1(k+1) + \alpha\mathbf{v}_2(k+1) \tag{2}$$

$$S(k+1|k) = H(k+1)\left[\Phi(k+1|k)P(\mathrm{k}|\mathrm{k})\Phi(k+1|k)^T + Q_d\right]H(\mathrm{k}+1)^T + R_1 + \alpha^2 R_2 = L + \alpha^2 R_2 \tag{3}$$

식 (1)에서 $\mathbf{x}$ 는 상태변수, Φ 는 상태전이행렬, $\mathbf{w}_d$ 는 시스템의 잡음이며, 식 (2)의 $\mathbf{z}$ 는 측정치, H 는 관측 모델, $\mathbf{v}_1$ 과 $\mathbf{v}_2$ 는 측정치 잡음, α 는 적응인자다. 식 (3)의 Q_d , R_1 , R_2 는 각각 시스템 잡음의 공분산, 측정치 잡음의 공분산을 의미한다. 잔차의 공분산 모델 S와 실제 잔차들을 모아 얻은 통계적 공분산 M 간의 프로베니우스 놈을 최소화하는 적응인자 α^2 는 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha^2 = \frac{tr\left((M-L)R_2^T\right)}{tr\left(R_2 R_2^T\right)} \tag{4}$$

본 논문에서는 INS/GPS 초강결합 구조를 구현하기 위해 중앙형 필터 하나만을 이용하는데, 필터의 측정치로는 각 채널 별 코드 위상과 도플러 주파수를 이용한다 (Lashley 2009, Zhao & Akos 2011, Song et al. 2013). 코드 위상과 도플러 주파수는 각기 다른 원리로 얻어지는 값이므로 신호간섭 상황에서의 변화 특성이 다르다. 따라서 앞서 설명한 방법과 같이 하나의 적응 인자만으로 서로 다른 반응 특성을 나타내는 측정치의 오차 모델 변화를 반영하는 것보다, 각각의 적응 인자를 두어 적응하도록 하는 것이 더 효과적이다. 이를 위해 다음과 같이 코드 위상 측정치에 대한 적응 인자와 도플러 주파수 측정치에 대한 적응 인자를 달리 사용한다. 이때 두 측정치 간의 노이즈 성분은 상관이 없다고 가정한다.

$$\begin{bmatrix}\mathbf{z}_a(\mathrm{k}+1)\\ \mathbf{z}_b(k+1)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}H_a(k+1)\\ H_b(k+1)\end{bmatrix}\mathbf{x}(k+1) + \begin{bmatrix}\mathbf{v}_{1a}(k+1) + \beta\mathbf{v}_{2a}(k+1)\\ \mathbf{v}_{1b}(k+1) + \gamma\mathbf{v}_{2b}(k+1)\end{bmatrix} \tag{5}$$

식 (5)에 대해 앞서 제안한 방법과 동일하게 모델과 실제 측정치 잔차의 공분산 차의 프로베니우스 놈을 최소화 시키는 적응 인자 값을 각각 구하면 다음과 같다.

$$\beta^2 = \frac{tr\left((M_{11}-L_{11})R_{2a}^T\right)}{tr\left(R_{2a}R_{2a}^T\right)} \tag{6}$$

$$\gamma^2 = \frac{tr\left((M_{22}-L_{22})R_{2b}^T\right)}{tr\left(R_{2b}R_{2b}^T\right)} \tag{7}$$

$$L = \begin{bmatrix}L_{11} & L_{12}\\ L_{21} & L_{22}\end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix}M_{11} & M_{12}\\ M_{21} & M_{22}\end{bmatrix} \tag{8}$$

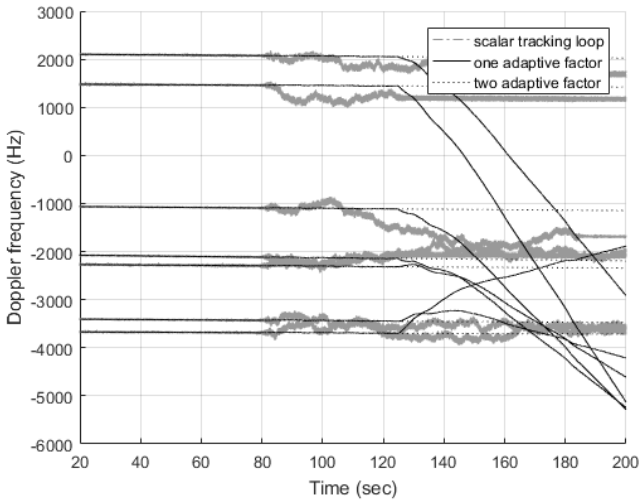


Fig. 1. Doppler frequency tracking (all channels).

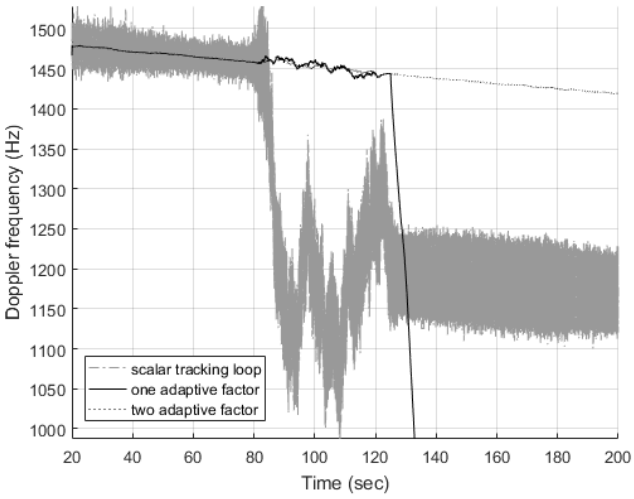


Fig. 2. Doppler frequency tracking (PRN #2).

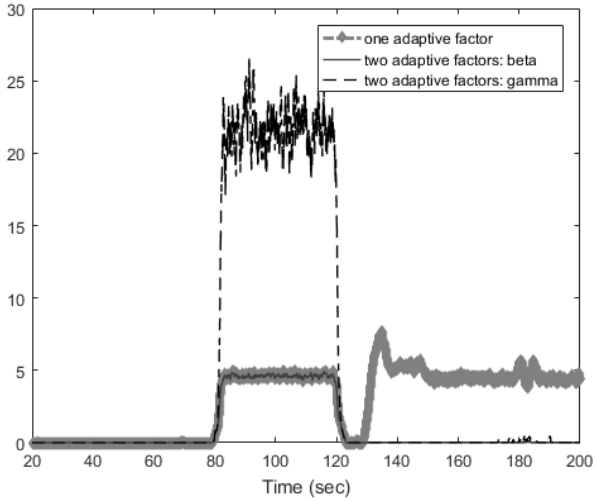


Fig. 3. Adaptive factors.

3. 실험 및 분석

앞서 설계한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 신호간섭 실험을 수행했다. 위성의 신호는 서울대학교 자동화연구소 옥상에 설치된 고정 안테나를 이용해 수신하였으며, 노이즈 재머와는 신호 결합기를 이용해 유선으로 연결하였다. 이용가능한 GPS 가시위성 수는 7개이며, 상용 노이즈 재머의 출력은 신호 제어기와 감쇄기를 이용해 J/S 55dB의 간섭 신호를 시작 후 80초부터 약 40초간 발생하도록 하였다. 결합된 신호는 ifEN사의 NavPort-4 프론트엔드를 이용해 총 200초의 데이터를 수집하였다. 관성 측정장치의 경우 정지 상황에 대한 시뮬레이션 값을 이용했으며, 전술급 성능을 갖는 Honeywell사의 HG1700AG58을 모델링하였다. 방송된 궤도력 데이터와 상태변수 초기 값 등은 스칼라 추적 루프에 기반하여 얻은 값을 이용하였다.

Fig. 1은 전체 채널의 도플러 주파수 추적 결과를 한 개의 적응인자를 사용한 것과 두 개의 적응인자를 사용한 것에 대해 나타낸 것이며, Fig. 2는 PRN #2에 대해 확대한 결과이다. Fig. 3은 각 방법에 따른 적응인자 값의 변화를 나타낸 것이다. Figs. 1과 2를 통해 한 개의 적응인자를 사용했을 때의 경우 신호간섭이 끝난 직후 추적에 실패하는 반면 두 개의 적응인자를 사용했을 때는 안정적인 추적이 이뤄짐을 확인할 수 있다. Fig. 3의 두 개의 적응인자를 사용한 결과를 통해 코드 위상 측정치보다 도플러 주파수 측정치가 더 급격히 변화하는 것을 확인할 수 있다. 반면 한 개의 적응인자만 사용했을 때는 코드 위상 측정치가 더 지배적으로 작용하여 결과적으로 도플러 주파수 측정치 오차가 실제보다 더 작은 것으로 반영된다. 이에 따라 필터 추정치의 공분산이 실제 추정치가 갖는 것과 달리 잘못 계산되어 추적에 실패하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 신호간섭 상황에서도 INS/GPS 초강결합 시스템의 지속적인 신호 추정이 가능하도록 측정치 잔차를 이용한 적응 칼만필터를 설계하였다. 또한 적응인자를 하나만 사용하는 기존의 방법과 달리 서로 다른 종류의 측정치의 상이한 변화 특성을 고려해주기 위해 두 개의 적응인자를 사용하도록 확장하였다. 설계한 필터의 성능을 확인하기 위해 실제 GPS 신호에 상용 노이즈를 이용해 신호 간섭을 발생시키는 실험을 수행하였다. 실험 결과를 통해 측정치 종류에 따라 적응인자가 다르게 변화함을 확인하였으며, 제안한 방법과 같이 두 개의 적응인자를 이용했을 때 안정적인 신호 추적이 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Groves, P. D. 2013, Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems (Boston: Artech house)

Koo, M. S., Lim, D. W., Oh, S. H., & Hwang, D.-H. 2011, Design of Ultra-Tightly Coupled GPS/INS Integration System based on COTS GPS Signal Processing Chipset, ICROS 2011, pp.82-85 (Korean)

Lashley, M. 2009, Modeling and performance analysis of GPS vector tracking algorithms, PhD Dissertation, Auburn University, Auburn, Alabama, USA

Petovello, M., Lashley, M., & Bevly, D. 2009, What about vector tracking loops?, GNSS Solutions May/June 2009

Song, J.-H., Im S.-H., & Jee, G.-I. 2013, Performance Evaluation of Vector Tracking Loop Based Receiver for GPS Anti-Jamming Environment, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 19, 152-157. https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.19.2.152

Yu, M.-J. 2012, INS/GPS integration system using adaptive filter for estimating measurement noise variance, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 48, 1786-1792

Zhao, S. & Akos, D. 2011, An open source GPS/GNSS vector tracking loop-implementation, filter tuning, and results, ION ITM 2011, pp.1293-1305

3차원 지자기 벡터 결합을 통한 UAV GPS/INS 항법 시스템의 성능 향상 및 GPS 고장 대응

노희권, 송준솔, 기창돈*
서울대학교 기계항공공학부, 정밀기계설계공동연구소

Performance Enhancement and Countermeasure for GPS Failure of GPS/INS Navigation System of UAV Through Integration of 3D Magnetic Vector

Heekwon No, Junesol Song, Changdon Kee*
Mechanical and Aerospace Engineering and SNU-IAMD, Seoul National University

주소 : 서울특별시 관악구 관악로 1 서울대학교 301 동 1321 호
연락처 : 02-880-1912 이메일 : kee@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 GPS/INS 항법 시스템에 지자기 센서의 3차원 자기장 벡터 측정치를 결합하여 항법 성능을 향상시키고 GPS의 고장 시 발생할 수 있는 항법해의 발산을 감소시키는 방안에 대하여 연구하였다. 지자기 센서를 이용한 방위각 결합 방법은 저가의 GPS/INS 항법 시스템에서 관측성이 부족한 방위각 성능을 개선하는데 널리 활용되고 있다. 하지만 GPS에 고장이 발생할 경우 잘못된 방위각 정보로 인하여 항법해의 발산이 더욱 촉진될 수 있다. 본 논문에서는 지자기 센서의 3차원 자기장 벡터 측정치 결합 방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 지자기 방위각 결합 방법과 달리 결합의 과정에서 자세 정보를 필요로 하지 않기 때문에 GPS 고장 시에도 문제 없이 사용이 가능하다. 또한 기존의 지자기 방위각 결합 방법은 방위각 방향의 1차원 정보만 활용하는 반면 제안된 방법은 지자기 벡터의 2차원 자세 정보를 활용하기 때문에 시스템의 관측성을 향상시키는 것이 가능한다. 제안된 방법의 효과를 확인하기 위하여 GPS의 정상 작동 및 고장 상황에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과 3차원 자기장 벡터 측정치 결합 방법이 기존 방법과 비교하여 항법 해 정확도를 향상 시켰으며 GPS 고장 시에는 항법해의 발산 속도를 감소시키는 것을 확인하였다.

Keywords: magnetometer, unmanned aerial vehicle, GPS, inertial navigation system

1. 서 론

GPS/INS 결합 항법 시스템은 관성 항법과 위성 항법의 상호 보완적인 특징을 이용하여 높은 출력율과 정확도를 가진 항법 해를 제공한다. 하지만 GPS의 사용이 불가능한 상황에서는 INS 단독으로 항법을 수행하므로 시간이 지남에 따라서 항법해의 오차가 증가하게 된다. GPS 시스템은 오랜 운영 노하우의 축적으로 인하여 시스템의 고장이 드물지만 의도적인 재밍 (jamming)에 노출될 수 있기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다.

한편 저가 센서를 활용한 GPS/INS 결합 항법 시스템은 방위각에 대한 관측성이 부족한 단점을 가지고 있는데 (Bar-Itzhack & Porat 1980, Rhee et al. 2004) 이를 보완하기 위하여 지자기 센서가 주로 활용된다. 지자기 센서로 측정한 지구의 자기장 벡터로부터 방위각을 계산하여 GPS/INS 항법 시스템을 보완할 수 있으므로 저가의 GPS/INS 항법 시스템에는 지자기 센서를 함께 결합하는 것이 일반적이다. 측정된 지구 자기장 벡터로부터 방위각을 계산하기 위해서는 롤각 및 피치각의 자세 정보가 필요한데 GPS가 사용 불가능한 경우 롤각 및 피치각 또한 발산하게 되므로 방위각의 계산 결과 또한 부정확해진다. 그러므로 이렇게 부정확한 방위각을 항법 시스템에 결합하게 되면 오히려 항법 성능을 저하시킬 수 있으므로 대안이 필요하다.

지구의 자기장은 3차원 벡터 형태로서 벡터 방향에 수직한 2축에 대한 자세 정보를 갖고 있다. 3차원 자기장 벡터를 GPS/INS 항법 시스템에 결합하게 되면 방위각 외에도 추가적인 자세 정보를 제공하여 시스템의 관측성을 향상시킬 수 있다. 또한 자기장 벡터 결합 방법은 기존의 자세 정보를 필요로 하지 않기 때문에 GPS가 사용 불가능한 상황에도 문제 없이 지속적으로 적용이 가능한 장점이 있다. 자기장 벡터의 결합으로 인하여 시스템의 관측성이 향상될 경우 방위각 외에 롤각 및 피치각에 대한 정확도가 향상됨과 동시에 이와 연관된 관성 센서의 오차 또한 추정 정확도가 향상되게 된다. 이로 인하여 GPS가 사용이 불가능한 상황에서 INS 단독 항법을 수행 시 항법 해의 오차 누적을 감소시키고 자세 정보를 지속적으로 제공할 수 있다.

본 논문에서는 지자기 센서에서 측정된 3차원 지구 자기장 벡터를 GPS/INS 결합 항법 시스템에

활용하여 항법 시스템의 성능을 향상시키고 GPS 고장 시 발생할 수 있는 성능 저하에 대응하는 방안을 제안한다. 지자기 센서를 이용한 방위각 결합 방법과 3차원 벡터 결합 방법을 비교하여 관측성 개선에 의한 항법 시스템 성능 향상을 분석한다. GPS 정상 작동 및 사용 불가능 상황에 대한 시뮬레이션을 수행하여 자기장 벡터 결합에 대한 효과를 확인하고 기존의 방법과 비교 분석을 수행한다.

2. 방위각 결합 방법 및 문제점

지구의 자기 북극은 실제 북극과 차이가 있으며 지역적으로 자기장의 분포가 복잡한 형태를 띄고 있다. 이러한 지구 자기장의 분포는 World Magnetic Model (Maus et al. 2010)이나 International Geomagnetic Reference Field (Finlay et al. 2010)와 같은 모델로 제공되고 있다. 항체에 장착된 지자기 센서로부터 몸체좌표계를 기준으로 측정된 자기장 벡터와 지구 자기장 모델에서 제공하는 편각을 이용하여 방위각을 측정할 수 있다 (Gebre-Egziabher 2004).

$$\begin{aligned}\Psi_m &= -\arctan\left(\frac{h_Y^l}{h_X^l}\right)+\delta_m \\ h_X^l &= h_X^b\cos\theta + h_Y^b\sin\phi\sin\theta + h_Z^b\cos\phi\sin\theta \\ h_Y^l &= h_Y^b\cos\phi - h_Z^b\sin\phi\end{aligned} \tag{1}$$

Ψ_m 은 지구 자기장으로부터 계산된 방위각, δ_m 은 자기 북국과 실제 북극의 차이를 나타내는 편각, h_X^b, h_Y^b, h_Z^b 는 지자기 센서에서 측정된 자기장 벡터, ϕ, θ 는 항체의 롤각과 피치각을 각각 의미한다. 방위각 결합 방법은 GPS/INS 항법 시스템이 방위각에 대한 관측성이 부족한 단점을 보완하기 위하여 사용된다. 하지만 식 (1)의 방위각의 계산에 자세정보가 필요하기 때문에 GPS 고장 시에는 INS의 항법 오차 누적으로 인하여 자세 정보 및 이로부터 계산된 방위각에도 오차가 발생하게 된다. 이렇게 오차가 포함된 방위각을 결합하게 되면 오히려 항법해의 발산을 촉진시킬 수 있으므로 대안이 필요하다.

3. 자기장 벡터 결합 방법 및 관측성 향상

지구의 자기장은 3차원 벡터 형태를 갖고 있다. 가속도계에서 측정된 중력 벡터를 이용하여 롤각과 피치각을 결정할 수 있듯이 자기장 벡터를 이용하면 벡터 방향에 수직한 두 축에 대한 자세 정보를 얻을 수 있다. 지구 자기장 모델로부터 얻은 항법 좌표계의 지구 자기장 벡터와 지자기 센서에서 측정된 몸체 좌표계의 지구 자기장 벡터를 이용하여 자세 오차의 측정이 가능하다.

$$\begin{pmatrix}\delta h_N^n \\ \delta h_E^n \\ \delta h_D^n\end{pmatrix} = \hat{C}_b^n\cdot\begin{pmatrix}h_X^b \\ h_Y^b \\ h_Z^b\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}h_N^n \\ h_E^n \\ h_D^n\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}0 & -h_D^n & h_E^n \\ h_D^n & 0 & -h_N^n \\ -h_E^n & h_N^n & 0\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\delta\rho_N^n \\ \delta\rho_E^n \\ \delta\rho_D^n\end{pmatrix} \tag{2}$$

$\delta h_N^n, \delta h_E^n, \delta h_D^n$ 은 지자기 센서의 자기장 벡터 측정치를 몸체 좌표계에서 항법 좌표계로 변환하였을 때의 오차, $\hat{C}_b^n$ 은 자세 오차가 포함된 방향 코사인 행렬, h_N^n, h_E^n, h_D^n 은 모델로부터 얻은 지구 자기장 벡터, $\delta\rho_N^n, \delta\rho_E^n, \delta\rho_D^n$ 은 방향 코사인 행렬의 오차이다. 식 (2)를 통하여 알 수 있듯이 몸체 좌표계의 자기장 벡터 측정치와 모델의 지구 자기장 벡터를 항법 좌표계에서 비교하고 그 차이를 통해서 자세 오차의 관측이 가능하다. GPS/INS 항법 시스템의 자세 오차와 센서 오차 추정 성능은 밀접한 관련이 있다 (Rhee et al. 2004). 따라서 지자기 벡터 결합을 통하여 자세 추정 정확도가 향상되면 센서 오차의 추정 성능 또한 향상이 가능하다. 뿐만 아니라 방위각 결합 방법과는 달리 자세 정보를 알고 있다는 가정이 없으므로 GPS가 작동하지 않는 상황에서도 자기장 벡터를 결합하는데 문제가 없다. 자기장은 주변의 금속 물질과 전류와 같은 외부 요인에 의해 영향을 받는다. 그러므로 자기장 벡터 결합을 성공적으로 수행하기 위해서는 이러한 외부 요인에 대한 적절한 보정 및 보상이 선행되어야 한다.

4. 시뮬레이션 환경

제안된 지자기 벡터 결합 방법과 기존의 방위각 결합 방법의 성능을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하여 수행되었으며 6자유도 항공기 운동방정식과 Navion 항공기 (Teper 1969)의 모델을 이용하여 참값을 생성한 뒤 오차를 삽입하는 방식으로 관성 센서, GPS 수신기, 지자기 센서 데이터를 생성하였다. 시뮬레이션으로 생성된 항공기의 궤적은 Fig. 1과 같다.

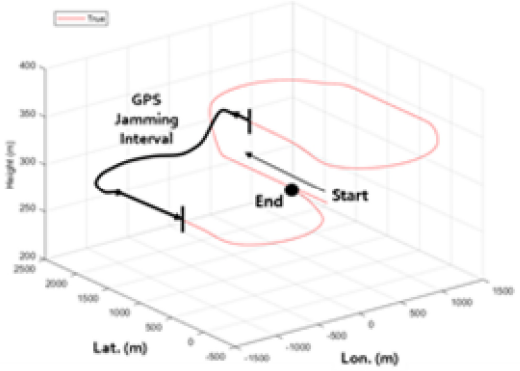


Fig. 1. Generated trajectory of aircraft.

생성된 관성 센서, GPS, 지자기 센서 측정치 데이터에는 저가 센서에 해당하는 오차를 삽입하였으며 이들 측정치를 GPS/INS 15차 오차 모델에 기반한 강결합 방법으로 처리하였다. GPS가 작동하지 않는 상황을 모사하기 위하여 Fig. 1에 표시된 구간에서 GPS 측정치의 사용을 중단하였다.

5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 GPS가 정상 작동하는 상황과 GPS 고장 상황에 대하여 각각 수행되었다. 각 시뮬레이션에서는 동일한 관성 센서 및 GPS 측정치 데이터가 사용되었으며 지자기 센서 데이터는 사용하지 않은 경우, 방위각 결합 방법, 자기장 벡터 결합 방법의 세 가지 방법의 항법 결과를 비교하였다.

5.1 정상 GPS 상황

GPS가 정상적으로 사용 가능한 상황에서는 위치 및 속도는 세 가지 항법 모두 비슷한 정확도를 보였다. 그 이유는 위치 및 속도는 GPS 측정치에 의존적이기 때문이다. 세 가지 항법 결과가 제일 큰 차이를 보이는 부분은 자세 정확도 부분이다. Fig. 2는 세 가지 항법의 위치 결과 및 자세 오차 결과를 나타낸 것이다. 우선 지자기 센서를 사용하지 않은 GPS/INS 항법 결과는 방위각에 대한 관측성 부족으로 큰 오차를 보인다. 방위각 결합 결과는 방위각 성능이 결합 전과 비교하여 크게 향상되었지만 롤각 및 피치각의 성능은 큰 차이가 없다. 지자기 벡터 결합 결과 모든 축 자세 성능이 개선되었다.

Table 1. Position and attitude error after 60 sec of GPS jamming.

	Pos N (m)	Pos E (m)	Pos D (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Yaw (deg)
GPS/INS	44.8	188.6	30.5	1.66	0.59	3.42
GPS/INS /w Heading	1793.2	2463.4	1124.7	57.44	26.57	42.64
GPS/INS /w Vector	9.8	77.9	4.3	0.80	0.12	1.25

5.2 GPS 사용 불가 상황

GPS 사용 불가 상황에서는 무엇보다 방위각 결합 방법이 위치 오차와 자세 오차 모두 매우 큰 결과를 보였다. Fig. 3과 Table 1로부터 방위각 결합 방법이 나머지 두 방법에 비하여 수십 배에 달하는 오차를 보여 GPS 사용 불가 상황에서 사용할 수 없음을 알 수 있다. 나머지 두 방법의 비교에서는 자기장 벡터 결합 방법이 우수한 성능을 보인다. 그 이유는 GPS 사용 불가 시에도 자기장 벡터 결합 방법은 문제

없이 사용이 가능하여 자세 오차를 작게 유지하는 것이 가능하였다. 뿐만 아니라 GPS가 사용 가능한 동안 자세 및 관성 센서 오차를 더욱 정확하게 추정하였기 때문에 GPS 사용이 불가능해 진 뒤에도 항법 오차의 발산 속도가 낮은 것을 확인할 수 있다.

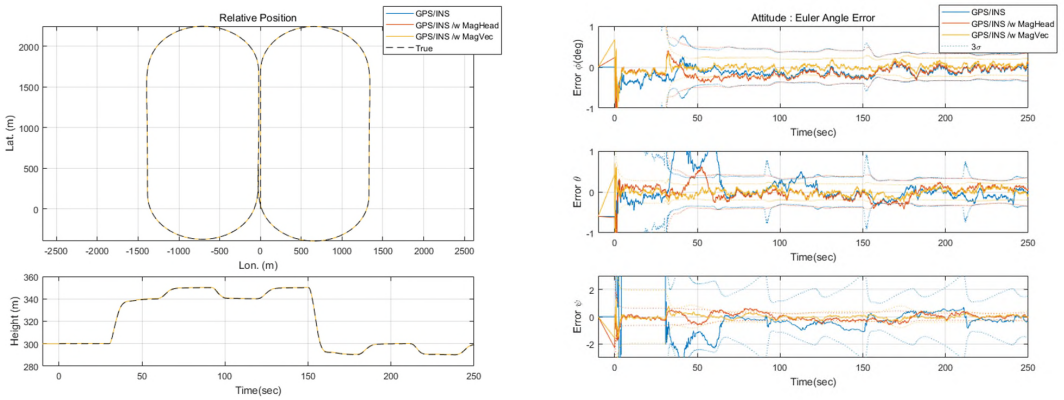


Fig. 2. Position and attitude results for normal GPS condition.

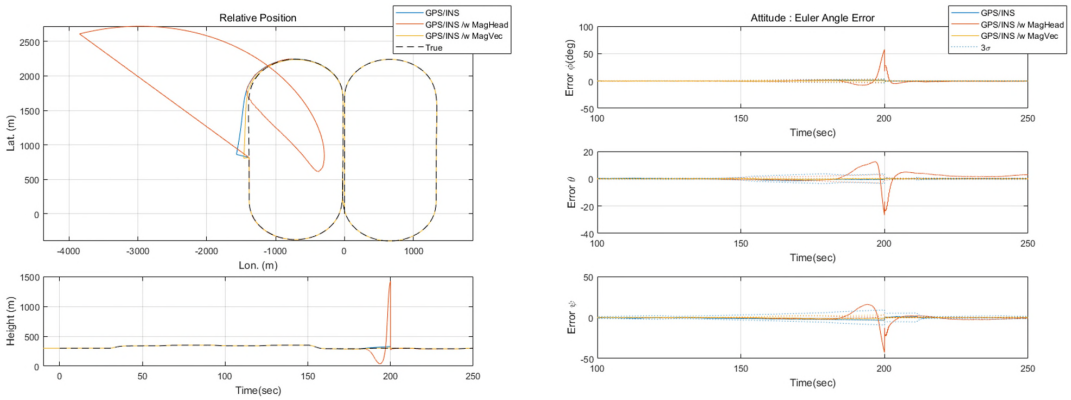


Fig. 3. Position and attitude results for jammed GPS condition.

6. 결 론

본 논문에서는 GPS/INS 항법 시스템에 3차원 지자기 벡터 측정치를 결합하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 수행 결과 지자기 벡터 결합 방법은 자세 정확도 및 센서 오차 추정 정확도를 향상시켰으며 이로 인하여 GPS 사용 불가 시 항법 오차의 발산 속도를 감소시키는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존에 사용하던 센서 측정치의 개선된 결합 방법을 통해 추가적인 비용 없이도 무인항공기의 GPS 고장 시 안정성을 개선할 수 있다는 결과를 얻은 것에 의의가 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Lockheed Martin Corporation through the Republic of Korea Science and Technology (RoKST&R) Program, contracted through the Institute of Advanced Aerospace Technology at Seoul National University.

REFERENCES

Bar-Itzhack, I. Y. & Porat, B. 1980, Azimuth observability enhancement during inertial navigation system in-flight alignment, Journal of Guidance and Control, 3, 337-344.

Finlay, C. C., Maus, S., Beggan, C. C., Bondar, T. N., Chambodut, A., et al. 2010, International geomagnetic reference field: the eleventh generation, Geophysical Journal International, 183, 1216-1230.

Gebre-Egziabher, D. 2004, Design and performance analysis of a low-cost aided dead reckoning navigator, PhD Dissertation, Stanford University.

Maus, S., Macmillan, S., McLean, S., Hamilton, B., Nair, M., et al. 2010, The US/UK world magnetic model for 2010-2015, NOAA Technical Report NESDIS/NGDC.

Rhee, I., Abdel-Hafez, M. F., & Speyer, J. L. 2004, Observability of an integrated GPS/INS during maneuvers, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 40, 526-535.

Teper, G. L. 1969, Aircraft stability and control data, NASA Ames Research Center Technical Report, NASA/CR-96008.



[B7] 복합측위 2

GPS/IMU/스테레오 카메라를 활용한 물체의 포인트 클라우드 절대 위치 추정

이유담, 최광호, 임준후, 유원재, 김라우, 이형근*
한국항공대학교 항공전자정보공학과

Estimation of Absolute Coordinates of Point Clouds utilizing GPS/IMU/Stereo Camera

Yu Dam Lee, Kwang Ho Choi, JoonHoo Lim, Won Jae Yoo, La Woo Kim, Hyung Keun Lee*
Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University

주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76 전자관 318 호
연락처 : 02-300-0131 이메일 : hyknlee@kau.kr

Abstract: 본 논문에서는 Global Positioning System (GPS), Inertial Measurement Unit (IMU) 그리고 스테레오 카메라를 활용하여 이미지 기반 포인트 클라우드를 절대 좌표화하는 방법을 제안한다. GPS와 IMU는 움직이는 카메라의 절대 위치 및 자세 추정을 위해 활용되었으며, 스테레오 카메라는 물체의 포인트 클라우드 생성을 위해 활용되었다. 추정된 카메라의 절대 위치 및 자세 정보를 활용하여 카메라를 기준으로 생성된 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화한다. 따라서 기존의 포인트 클라우드 획득 방법들이 지역 좌표계에 기반한 상대 좌표값들을 획득하지만 제안된 방법은 Real-Time Kinematic (RTK) 기법을 활용함으로써 정밀한 포인트 클라우드 절대 좌표값들을 획득하는 특징을 가진다. 제안된 방법의 성능 평가를 위하여 물체를 다양한 방향에서 스캔 후 획득한 데이터로부터 특징점의 절대 좌표를 추정하는 실험을 진행하였으며 Geo-referencing 정보와 모든 특징점의 절대 좌표를 획득할 수 있음을 확인하였다.

Keywords: GPS, point cloud, absolute coordinate, relative coordinate

1. 서 론

최근 3차원 지도를 생성하기 위해서 무인 항공기, 차량 등으로 획득한 사진을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 연구된 기법들은 2차원 사진을 활용하여 3차원 지도를 생성하기 위해 획득한 시점의 위치 정보가 필수적으로 요구 된다. 일반적으로 이동체를 활용하여 획득한 영상 내 주요 지형 지물의 좌표값을 Global Positioning System (GPS)를 활용하여 획득한 후, 수작업으로 주요 지형 지물의 각 픽셀에 절대 좌표를 할당하여 지도를 생성하는 방식을 사용하고 있다.

본 논문에서는 GPS, Inertial Measurement Unit (IMU) 그리고 스테레오 카메라를 활용하여 이미지에서 추출된 모든 특징점을 절대 좌표화하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 스테레오 이미지의 특징점 매칭을 통해 이미지 기반 포인트 클라우드를 획득한다. 이미지로부터 특징점을 추출하기 위하여 Speeded Up Robust Feature (SURF) 알고리즘을 활용하였으며 스테레오 카메라를 활용하여 획득할 수 있는 거리 및 자세 정보를 활용하여 기준 카메라에 대한 물체의 상대 포인트 클라우드를 추정한다. 내부적으로 개발하여 공개된 Real-Time Kinematic (RTK) 소프트웨어 (GAFAS: http://nisl.kau.ac.kr/)를 활용하여 산출된 정밀 위치를 기반으로 IMU와 결합하여 움직이는 카메라의 절대 자세 및 위치를 높은 시간 해상도로 추정한다. 산출된 항법해와 기준 카메라에 대한 물체의 상대 위치와 자세 정보를 결합하여 추출된 포인트 클라우드에 절대 좌표를 부여한다. 따라서 본 논문은 기존의 포인트 클라우드 획득 방법들이 지역좌표계에 기반한 상대 적인 변화량를 표현하는 반면 제안된 방법은 GPS/IMU와 스테레오 카메라를 결합하여 포인트 클라우드 절대 좌표값들을 획득하는 특징을 가진다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 본론에서 각 센서들을 동기화하여 실시간으로 데이터를 획득하고 저장하는 방법에 대하여 설명하며 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화 하는 방법을 제안한다. 실험에서는 제안된 방법의 성능을 평가를 위하여 대상 물체를 다양한 방향에서 연속적으로 스캔 후 취득한 데이터로부터 절대 좌표를 추정한 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실시간 센서 동기화 및 데이터 처리

여러 종류의 센서를 활용하기 위하여 센서들의 동기화는 필수적으로 진행되어야 한다. 제안된

방법에서는 GPS 수신기에서 제공되는 Pulse Per Signal 신호를 기준으로 IMU 측정치와 카메라로부터 획득한 이미지간의 동기화를 수행한다. GPS 수신기와 IMU는 Embedded board에 연결되어 있으며 동기화된 IMU 측정치와 GPS 시간을 TCP/IP 통신을 통하여 카메라가 연결된 호스트 컴퓨터로 전송한다. 수신된 데이터의 GPS 시간을 기준으로 카메라 프레임과 동기화한다. 실시간으로 수신된 IMU 측정치와 GPS 시간은 후처리 정보로 사용하기 위하여 스테레오 이미지의 왼쪽 이미지 픽셀에 저장한 후 이미지를 저장한다 (Lim et al. 2017).

2.2 상대 포인트 클라우드의 절대 좌표화

본 논문에서 이미지 특징점을 활용하여 추정된 물체까지의 상대 좌표의 기준은 카메라 렌즈의 중심으로 설정하였다. 따라서 움직이는 카메라의 경우, 각 시점마다 생성된 포인트 클라우드와 절대적인 관계를 추정하기 위하여 카메라의 자세와 위치 정보가 필수적으로 요구된다.

제안된 기법에서는 이미지 기반으로 추정된 물체까지의 상대 좌표를 절대 좌표화 하기 위해 GPS와 IMU를 결합하여 카메라의 절대 자세 및 위치를 추정한다.이를 위하여 먼저 본 연구실에서 개발된 RTK 소프트웨어 패키지 GAFAS를 활용하여 정밀 절대 좌표를 추출하였으며 (Lee & Shim 2006, Kim et al. 2014). 이를 기반으로 GPS와 IMU를 약결합하여 절대 자세와 위치를 추정하였다.

상대 포인트 클라우드 생성을 위하여 SURF 알고리즘을 통해 특징점을 추출하고 좌우 이미지 특징점의 기술자를 비교하여 동일한 특징점을 검색한다. 그리고 좌우 카메라의 상대 자세 및 위치를 고려하여 최소자승법으로 카메라로부터 물체까지의 상대 좌표를 추정한다. 마지막으로 추정된 절대 자세 및 위치를 활용하여 여러 시점에서 생성된 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화 한다.

Fig. 1은 특징점 상대좌표를 절대 좌표화하는 방법을 도시화 한 것이다. 노란색, 녹색 직육면체는 각각 스테레오 카메라, IMU 센서를 나타내며 왼쪽 카메라를 기준으로 물체의 상대 좌표를 추정한다. l 은 왼쪽 카메라 좌표계, e 는 지구중심 좌표계, b 는 IMU 센서 좌표계, n 은 항법 좌표계를 지칭한다. $\mathbf{X}$ 는 카메라 좌표계에서의 특징점 상대 벡터, $\mathbf{T}_{ab}$ 는 a에서 b로의 벡터, C_b^e 는 b 좌표계에서 e 좌표계로의 좌표변환행렬을 나타낸다. 따라서 지구중심 좌표계에서 카메라의 위치 벡터 $\mathbf{T}_{eb}$, 절대 자세를 나타내는 좌표변환행렬 C_b^e, IMU센서에서 카메라로의 상대 위치 벡터 $\mathbf{T}_{bl}$, 그리고 특징점 상대 벡터 $\mathbf{X}$ 의 관계로부터 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화한다. 여기서 I,J,K 는 각 좌표계의 X,Y,Z 축을 의미한다.

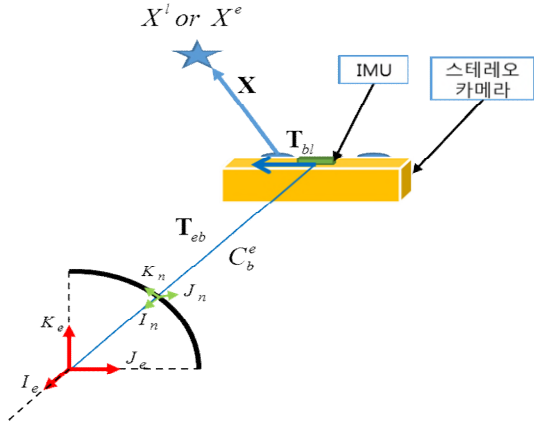


Fig. 1. Illustration of the proposed algorithm.

3. 실 험

제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 물체를 다양한 방향에서 스캔하였다. IMU 센서는 MPU 6050, 스테레오 카메라는 BumblebeeXB3 그리고 GPS 수신기 2개를 사용하였다. NovAtel ProPak6는 정밀한 위치 획득을 위해 활용되었으며 Ublox AEK-4T는 센서들간 시각 동기를 위해 활용되었다. 실험은 한국항공대학교 연구동 옥상에서 수행하였으며 실험 대상 물체는 규격이 500 x 480 x 400 mm인 박스이다.

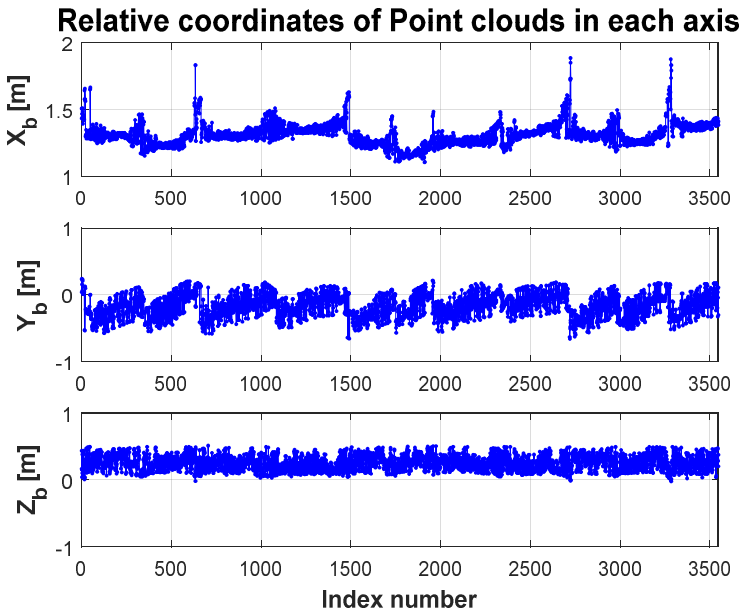


Fig. 2. Relative coordinates of point clouds in each axis.

Fig. 2는 상대 포인트 클라우드를 각 축으로 나누어 도시한 것이다. X는 물체까지의 깊이 방향이며 Y는 우측방향, Z는 아래 방향이다. 물체 주변으로 원을 그리면서 위에서 아래로 내려다보는 방향으로 스캔을 진행하였다. 실제 카메라와 상자까지의 거리는 약 1.5 m이다.

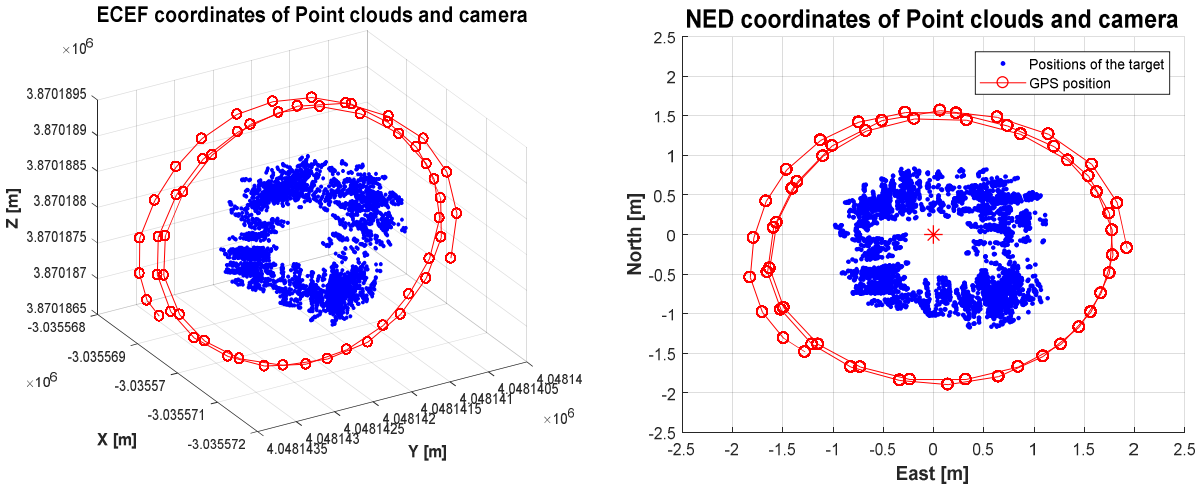


Fig. 3. ECEF (left) and NED (right) coordinates of point cloud.

Fig. 3의 좌측 좌표는 절대 좌표화된 포인트 클라우드를 Earth-Centered Earth-Fixed(ECEF) 좌표계로 도시한 것이다. 그리고 우측 좌표는 포인트 클라우드와 GPS 항법 해를 NED (North-East-Down) 좌표계로 변환한 것이다. 여기서 원점은 GPS 위치 해의 평균값으로 중앙 별 모양으로 나타냈다. 포인트가 원점 기준으로 약 0.5~1 m로 산개되어 있으며 상자 가로 및 세로의 길이가 약 0.5 m임을 고려할 때 오차가 0.5 m 이내에 있는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 GPS, INS 그리고 스테레오 카메라를 활용하여 스캔한 물체의 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화하는 기법을 제안하였다. 움직이는 카메라의 자세 및 위치와 이미지 매칭을 통해 생성된 상대 포인트 클라우드를 절대 좌표화 하기 위해 자체적으로 개발된 RTK 소프트웨어와 높은 해상도의 항법해를 제공하는 INS 결합하여 절대 위치 및 자세를 추정하고 이를 활용한다. 그리고 이를 기반으로 물체의 상대 포인트 클라우드를 절대 포인트 클라우드로 변환한다. 물체의 윤곽이 선명하진 않지만 제안한 기법으로 대상 물체의 대략적인 형상을 절대좌표계에서 재 형상화 할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-20 16R1D1A1B01009881)에서 지원하여 연구하였습니다.

REFERENCES

Kim, H.-S., Lee, J.-Y., Choi, K.-H., Lim, J.-H., & Lee, H.-K. 2014, Design of Real-Time Network RTK System with GAFAS Software Package, Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Conference, pp.97-103. http://nisl.kau.ac.kr/GAFAS.zip

Lee, H.-K. & Shim, J.-Y. 2006, Performance Evaluation of GAFAS : Real-Time Kinematic Differential GPS/GNSS Software Packag, Proceedings of Korea Navigation Institute Conference, Oct. 19-20 2006, pp.273-278

Lim, J.-H., Choi, K.-H., Yoo, W.-J., Kim, L.-W., Lee, Y.-D., et al., 2017, A Time Synchronization Scheme for Vision/IMU/OBD by GPS, JANT, 21, 251-257. http://www.papersearch.net/thesis/article.asp?key=3526932

증대된 선형 측정방정식을 이용하는 GNSS/eLoran 중앙집중식 융합필터 설계

황태현*, 김영기, 김동현, 서기열, 박상현
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부

Centralized Fusion Filter for GNSS/eLoran Using Augmented Liner Measurement Equations

Tae Hyun Fang*, Youngki Kim, Don Kim, Kiyeol Seo, Sang Hyun Park
Maritime Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)

주소 : 대전시 유성구 유성대로 1312 번길 32 (우) 34103
연락처 : 042-866-3625 이메일 : thfang@kriso.re.kr

Abstract: 본 연구에서는 GNSS와 eLoran을 융합하기 위하여 요구되는 중앙집중형 융합 알고리즘을 제시한다. Moore-Penrose 의사역행렬에 기반한 가중최소자승법을 이용하여 융합 항법해 산출하여 의사거리 측정치의 수량에 제약이 없는 융합 항법해를 제시한다. 비선형 의사거리 방정식에 기반하는 오차 선형 측정방정식은 위성항법시스템과 eLoran 항법시스템에서 유사하게 정의될 수 있으나 전파 전달 특성의 차이로 인하여 측정방정식의 불일치가 나타나게 된다. 본 연구에서는 좌표계 일치를 통하여 두 시스템에 대한 증대된 선형 측정방정식을 제시한다.

Keywords: GNSS/eLoran integration, centralized fusion filer, weight least squares estimation

1. 서 론

위성항법시스템(Global Navigation Satellite System; GNSS)과 관성항법시스템(Inertial Navigation Systems)은 상호보완적인 성능 특성을 가지고 있다(Groves 2013, Grewal et al. 2013). 두 시스템의 통합은 각각의 시스템이 가지는 단점을 훌륭하게 보완하여 개선된 항법 성능을 제공한다. 최근 위성항법 시스템에 대한 고의적 또는 우발적인 신호간섭 발생과 이를 극복하기 위한 시도가 이루어지고 있다(Sin 2013). 고의적/우발적 신호간섭은 관성항법장치에서 안정된 항법 성능을 제공할 수 있는 기간을 넘어서는 신호단절을 유발할 수 있다. 위성항법시스템이 가지는 이러한 취약성을 극복하기 위하여 위성항법시스템에 대한 보완적인 전파항법시스템에 대한 필요성이 널리 대두되고 있다. 우리나라는 우리나라 해안에서의 신호간섭, 항만에서의 필요한 정확도, 그리고 기존의 인프라 활용을 고려하여 enhanced Long range navigation(eLoran) 시스템을 지상파 백업항법시스템으로 개발하고 있다(KRISO 2016). 신호단절에 상대적으로 강인한 eLoran 항법시스템과 위성항법시스템의 단점을 보완하고 단기간에서의 안정성을 가지는 관성항법시스템, 그리고 위성항법시스템에 대한 복합항법을 통하여 해상에서 신뢰도 있는 항법 시스템을 구현할 수 있을 것을 기대할 수 있다.

위성항법시스템, eLoran 항법시스템 또는 관성항법시스템을 포함하는 복합항법에 대한 다양한 연구가 최근에 수행되었다(Hide et al. 2006, Luo et al. 2006, Song et al. 2011, Vaispacher & Breda 2015). 기존의 연구는 각 항법시스템의 오차 요소 차이의 극복을 위한 복합항법 구조설계나 오차 요소 추정 방안에 대한 연구가 진행되었고, 또한 계산량 개선 기법에 대한 연구를 포함하고 있다. 이때 각각의 융합 알고리즘은 Kalman 필터나 가중최소자승법(weighted least square method)에 기반한 융합 필터를 바탕으로 한다. 이는 상태값 및 측정잡음에 대한 사전 정보의 획득 정도에 따라 달라지는 접근법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 통합융합(unified fusion)(Li et al. 2003) 필터로 향후 확장 가능한 가중최소자승법을 이용한 기법을 바탕으로 하며 이를 위한 선형 측정방정식을 구성한다. 이러한 선형 측정방정식을 이용한 최소자승 추정방법은 의사거리 측정치를 이용하는 융합 방법과 사용자 위치 측정치를 이용하는 융합 방법에 동일하게 적용될 수 있다. 의사거리 측정치를 이용하는 방법은 중앙집중식(centralized) 융합필터에 적합하다.

의사거리를 이용하여 위치를 결정하는 대표적인 방법은 의사거리를 나타내는 비선형(nonlinear) 방정식을 선형화된(linearized) 방정식으로 나타내고 이를 선형화된 측정방정식으로 고려하는 것이다. 선형화된 측정방정식은 사용자와 송신국/위성 사이의 방향벡터와 관련된 값을 가지는 측정 행렬(measurement matrix)로 구성된다. 위성항법시스템과 eLoran 항법시스템의 융합은 각각의 측정치와 측정 행렬을 증대(augmentation) 함으로써 구성할 수 있다. 본 연구에서는 위성항법시스템과 eLoran 항법시스템을 위한 전파의 진행에 차이를 극복할 있는 확장된 측정방정식을 구성을 제시한다.

2. 측정방정식 구성

위성항법시스템의 의사거리 비선형방정식으로부터 구해진 오차의 선형화된 측정방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Groves 2013).

$$y_{GNSS} = H^{e}_{GNSS} x^{e}_{GNSS} + v_{GNSS} \tag{1}$$

$$y_{GNSS} = \begin{bmatrix} \tilde{\rho}^{1}_{C,GNSS} - \hat{\rho}^{1-}_{C,GNSS} & \tilde{\rho}^{2}_{C,GNSS} - \hat{\rho}^{2-}_{C,GNSS} & \mathrm{L} & \tilde{\rho}^{m}_{C,GNSS} - \hat{\rho}^{m-}_{C,GNSS} \end{bmatrix}^{T} \tag{2}$$

$$H^{e}_{GNSS} = \begin{bmatrix} -u^{e}_{1,X,GNSS} & -u^{e}_{1,Y,GNSS} & -u^{e}_{1,Z,GNSS} & 1 \\ -u^{e}_{2,X,GNSS} & -u^{e}_{2,Y,GNSS} & -u^{e}_{2,Z,GNSS} & 1 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ -u^{e}_{m,X,GNSS} & -u^{e}_{m,Y,GNSS} & -u^{e}_{m,Z,GNSS} & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$x^{e}_{GNSS} = \begin{bmatrix} \hat{X}^{e+} - \hat{X}^{e-} & \hat{Y}^{e+} - \hat{Y}^{e-} & \hat{Z}^{e+} - \hat{Z}^{e-} & \delta\hat{\rho}^{+}_{c,GNSS} - \delta\hat{\rho}^{-}_{c,GNSS} \end{bmatrix}^{T} \tag{4}$$

여기서, y_{GNSS} 의 $\tilde{\rho}^{j}_{C,GNSS}$ 는 사용자와 j번째 GNSS 위성에 대한 의사거리에 대하여 보정된 측정치(measurements)를 나타낸다. $\hat{\rho}^{j-}_{C,GNSS}$ 는 사용자와 j번째 GNSS 위성에 대한 의사거리에 대하여 보정된 예측 추정치(predictions)를 나타낸다. H^{e}_{GNSS} 의 위첨자 e는 지구고정(Earth-Centered Earth-Fixed frame, ECEF)를 나타내고 $u^{e}_{j,x,GNSS}$ 는 사용자 안테나 위치에서 j번째 GNSS 위성 안테나 위치로의 단위벡터에 대한 ECEF좌표계상의 X축 성분을 나타낸다. x^{e}_{GNSS} 의 $\hat{X}^{e+}$ 는 ECEF에서 나타낸 사용자 위치의 X축 성분으로 갱신된 추정치(estimates)를 나타낸다. $\hat{X}^{e-}$ 는 사용자 위치의 X축 성분에 대한 예측된 추정치를 나타낸다. $\delta\hat{\rho}^{+}_{c,GNSS}$ 와 $\delta\hat{\rho}^{-}_{c,GNSS}$ 는 GNSS 수신기 시계의 오차에 대한 갱신된 추정치와 예측된 추정치를 각각 나타낸다

eLoran 항법시스템에 대한 오차의 측정방정식은 식 (1)과 유사하게 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{eLoran} = H^{e}_{eLoran} x^{e}_{eLoran} + v_{eLoran} \tag{5}$$

중앙집중형 융합을 위한 선형 측정방정식을 구성하기 위해서 식 (1)과 식 (5)를 증대하면(augmentation) 단일화된 측정방정식을 구성할 수 있다. 그러나 위성항법시스템과 달리 eLoran 항법시스템의 전파 전달은 지구표면을 따라서 이동하는 지표파(ground wave)의 성질을 가진다. 식 (1)의 측정행렬은 사용자 위치의 변동(variation)을 의사거리의 변동으로 변환하는 기능을 가진다. 식 (1)의 측정행렬은 ECEF 상의 두 점에 대한 단위방향 벡터를 산출함으로 구성될 수 있는데 이것은 전파의 직진한다는 가정을 바탕으로 하고 있다. 따라서 식 (5)의 측정행렬은 ECEF에서 올바르게 정의될 수 없으며 평면좌표계에서 정의될 필요가 있다 (Forssell 2008).

$$y_{eLoran} = H^{n}_{eLoran} x^{n}_{eLoran} + v_{eLoran} \tag{6}$$

$$y_{eLoran} = \begin{bmatrix} \tilde{\rho}^{1}_{C,eLoran} - \hat{\rho}^{1-}_{C,eLoran} & \tilde{\rho}^{2}_{C,eLoran} - \hat{\rho}^{2-}_{C,eLoran} & \mathrm{L} & \tilde{\rho}^{l}_{C,eLoran} - \hat{\rho}^{l-}_{C,eLoran} \end{bmatrix}^{T} \tag{7}$$

$$H^{n}_{eLoran} = \begin{bmatrix} -\cos\hat{\psi}^{n-}_{1,U} & -\sin\psi^{n-}_{1,U} & 0 & 1 \\ -\cos\hat{\psi}^{n-}_{2,U} & -\sin\psi^{n-}_{2,U} & 0 & 1 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ -\cos\hat{\psi}^{n-}_{l,U} & -\sin\psi^{n-}_{l,U} & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$x^{n}_{eLoran} = \begin{bmatrix} \hat{X}^{n+} - \hat{X}^{n-} & \hat{Y}^{n+} - \hat{Y}^{n-} & \hat{Z}^{n+} - \hat{Z}^{n-} & \delta\hat{\rho}^{+}_{c,eLoran} - \delta\hat{\rho}^{-}_{c,eLoran} \end{bmatrix}^{T} \tag{9}$$

식 (6)의 H^{n}_{eLoran} 은 항법좌표계(navigation frame)에서 구성된 측정 행렬을 나타낸다. 항법좌표계는 north, east, down 좌표계로 구성되며 사용자와 송신국 사이를 평면으로 가정하므로 식 (8)과 같은 요소로 구성될 수 있다. 여기서 $\hat{\psi}^{n-}_{l,U}$ 는 사용자의 초기 예측 위치에 대하여 평면화된 좌표에서 사용자 위치에서 l 번째 송신국 위치로 향하는 벡터의 방위각을 나타낸다(Forssell 2008).

식 (1)~(4)와 식 (6)~(9)에 대한 증대된 측정방정식을 구성하기 위해서는 측정 행렬과 상태벡터를

동일한 좌표계에서 나타낼 필요가 있다. 위치 결정 알고리즘 구성을 위해서는 항법좌표계를 위도(latitude), 경도(longitude), 고도 표현(ellipsoidal position)으로 변환하여 나타낼 필요가 있다. ECEF에서 정의된 위치 변동 벡터 x^e_{GNSS} 는 ECEF와 항법좌표계 사이의 좌표변환 행렬을 통하여 $\delta p^n_{GNSS} = C^n_e \delta r^e_{GNSS}$ 와 같이 변환될 수 있다. 또한 위치에 대한 작은 변동 및 섭동에 대해서는 직각좌표계(Catesian) 표현과 위도, 경도 및 고도 표현으로 변환하여 나타낼 수 있다. 식 (4)의 상태벡터에 대하여 1~3까지의 요소로 구성된 벡터를 $\overset{\smile}{x}^e_{GNSS}$ 라고 할 때 $\overset{\smile}{x}^e_{GNSS}$ 에 대한 변환은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overset{\smile}{x}^p_{GNSS} = T^p_{r(n)} C^n_e \overset{\smile}{x}^e_{GNSS} \tag{10}$$

$$T^p_{r(n)} = \begin{bmatrix} 1/R_N(L_b)+h_b & 0 & 0 \\ 0 & 1/\left(R_E(L_b)+h_h\right)\cos L_b & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$C^n_e = \begin{bmatrix} -\sin L_b \cos\lambda_b & -\sin L_b \sin\lambda_b & \cos L_b \\ -\sin L_b & \cos\lambda_b & 0 \\ -\cos L_b \cos\lambda_b & -\cos L_b \sin\lambda_b & -\sin L_b \end{bmatrix} \tag{12}$$

여기서, R_N 과 R_E 은 각각 자오선 곡률반경(Radius of Curvature of the Meridian)과 횡 곡률반경(Radius of Curvature of the Prime Vertical)을 나타낸다. L_b, λ_b, h_b 은 각각 위도, 경도, 그리고 고도를 나타낸다. 식 (10)을 식 (1)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{GNSS} = H^p_{GNSS} x^p_{GNSS} + v_{GNSS} \tag{13}$$

동일한 방식으로 식 (6)을 변환하여 나타낼 수 있다. 식 (12)와 위도, 경도 및 고도 표현으로 변환된 eLoran 항법시스템 측정방정식을 이용하면 동일한 좌표계에서 표현되는 증대된 측정방정식을 구성할 수 있다.

$$y = Hx + v \tag{14}$$

$$y = [{y_{GNSS}}^T \quad {y_{eLoran}}^T]^T \tag{15}$$

$$H = \left[{H^p_{GNSS}}^T \quad {H^p_{eLoran}}^T\right]^T \tag{16}$$

$$x = \left[\hat{L}^+_b - \hat{L}^-_b \quad \hat{\lambda}^+_b - \hat{\lambda}^-_b \quad \hat{h}^+_b - \hat{h}^-_b \quad \delta\hat{\rho}^+_{c,GNSS-eLoran} - \delta\hat{\rho}^-_{c,GNSS-eLoran}\right]^T \tag{17}$$

$$H^p_{GNSS} = \begin{bmatrix} -u^e_{1,X,GNSS} & -u^e_{1,Y,GNSS} & -u^e_{1,Z,GNSS} & 1 \\ -u^e_{2,X,GNSS} & -u^e_{2,Y,GNSS} & -u^e_{2,Z,GNSS} & 1 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ -u^e_{m,X,GNSS} & -u^e_{m,Y,GNSS} & -u^e_{m,Z,GNSS} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C^e_n & 0_{3\times1} \\ 0_{1\times3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T^{r(n)}_p & 0_{3\times1} \\ 0_{1\times3} & 1 \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$H^p_{eLoran} = \begin{bmatrix} -\cos\hat{\psi}^{1-}_n & -\sin\psi^{1-}_n & 0 & 1 \\ -\cos\hat{\psi}^{2-}_n & -\sin\psi^{2-}_n & 0 & 1 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} \\ -\cos\hat{\psi}^{l-}_n & -\sin\psi^{l-}_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T^{r(n)}_p & 0_{3\times1} \\ 0_{1\times3} & 1 \end{bmatrix} \tag{19}$$

이때, 식 (21)과 식 (22)의 우변의 둘째항과 셋째항은 시계오차에 대한 값을 고려하여 나타낸 변환행렬이다. 식 (18)은 GNSS 수신기와 eLoran 수신기가 동일한 시각을 사용하는 경우에 구성되는 상태벡터이다. 만약 각각의 수신기가 별개의 시각을 사용한다면 상태벡터와 측정행렬은 다음과 같이 구성되어야 한다.

$$x = \left[\hat{L}^+_b - \hat{L}^-_b \quad \hat{\lambda}^+_b - \hat{\lambda}^-_b \quad \hat{h}^+ - \hat{h}^- \quad \delta\hat{\rho}^+_{c,GNSS} - \delta\hat{\rho}^-_{c,GNSS} \quad \delta\hat{\rho}^+_{c,eLoran} - \delta\hat{\rho}^-_{c,eLoran}\right]^T \tag{20}$$

$$H^p_{GNSS} = \begin{bmatrix} -u^e_{1,X,GNSS} & -u^e_{1,Y,GNSS} & -u^e_{1,Z,GNSS} & 1 & 0 \\ -u^e_{2,X,GNSS} & -u^e_{2,Y,GNSS} & -u^e_{2,Z,GNSS} & 1 & 0 \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & 0 \\ -u^e_{m,X,GNSS} & -u^e_{m,Y,GNSS} & -u^e_{m,Z,GNSS} & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C^e_n & 0_{3\times2} \\ 0_{2\times3} & I_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T^{r(n)}_p & 0_{3\times2} \\ 0_{2\times3} & I_2 \end{bmatrix} \tag{21}$$

$$H_{eLoran}^{p}=\begin{bmatrix}-\cos\hat{\psi}_n^{1-} & -\sin\psi_n^{1-} & 0 & 0 & 1\\ -\cos\hat{\psi}_n^{2-} & -\sin\psi_n^{2-} & 0 & 0 & 1\\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{M}\\ -\cos\hat{\psi}_n^{l-} & -\sin\psi_n^{l-} & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}T_p^{r(n)} & 0_{3\times 2}\\ 0_{2\times 3} & I_2\end{bmatrix} \tag{22}$$

3. 가중최소자승법에 의한 위치해 추정

위성항법시스템과 eLoran 항법시스템은 식 (15)와 같은 증대된 측정방정식으로 나타낼 수 있다. 이때, 가중최소자승법(Weighted Least Square, WLS)에 의한 상태벡터의 추정값을 구한다면 두 시스템의 측정값을 융합하여 산출한 위치해를 추정할 수 있다.

$$\hat{x}^{WLS}=\arg\min_{\hat{x}}\left(y-H\hat{x}\right)^T C^{-1}\left(y-H\hat{x}\right) \tag{23}$$

$$\hat{x}^{WLS}=K\left(y-\bar{v}\right) \tag{24}$$

$$K=\left(H^T C^{-1}H\right)^{+}H^T C^{-1} \tag{25}$$

여기서, $\mathrm{cov}(x,v)=0$, $\mathrm{cov}(v)=C$, $\bar{v}=E[v]$ 라고 가정한다. 식 (25)의 +는 Moore-Penrose 의사역행렬(pseudo inverse)(Barata & Hussein 2012)을 나타내며, $\det(H^T C^{-1}H)\neq 0$ 이기만 하면 $(H^T C^{-1}H)^{+}$ 는 $(H^T C^{-1}H)^{-1}$ 과 동일하다. 측정행렬 $H\in\Re^{(m+l)\times 4}$ 또는 $H\in\Re^{(m+l)\times 5}$ 와 같이 정의될 수 있으므로 $(m+l)\geq 4$ 또는 $(m+l)\geq 5$ 이면 식 (25)의 우변은 일반적으로 가중최소자승법의 표현과 동일하게 된다. 식 (24)~(25)를 이용하면 위성항법시스템에서 획득한 의사거리 수량과 eLoran 항법시스템에서 획득한 의사거리의 수량의 합이 미지수 상태벡터의 차원보다 크거나 같다면 일반적인 최소자승법에 의한 추정값을 획득할 수 있다. 또한 $(m+l)<4$ 또는 $(m+l)<5$ 인 경우라도 추정값을 산출할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 의사거리에 기반하는 위성항법시스템과 eLoran 항법시스템에 대한 융합 항법해 추정기법을 제시하였다. 융합 추정기법은 선형 측정방정식에 대한 가중최소자승법을 통하여 구현되었으며 이를 위하여 위성항법시스템과 eLoran 항법시스템을 포함하는 증대된 오차 선형 측정방정식을 구성하였다. Moore-Penrose 의사역행렬에 기반한 가중최소자승법을 이용하여 융합 항법해 산출하였으며 의사거리 측정치의 수량에 제약이 없는 융합 항법해를 제시하였다. 본 연구결과를 통하여 eLoran 항법시스템을 포함하는 융합 방법을 원활하게 구성할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 선박해양플랜트연구소(KRISO) 기본연구과제(PES8970)의 연구성과 중 일부입니다.

REFERENCES

Barata, J. C. A. & Hussein, M. S. 2012, The Moore–Penrose Pseudoinverse: A Tutorial Review of the Theory, Brazilian Journal of Physics, 42, 146-165. https://doi.org/10.1007/s13538-011-0052-z

Forssell, B. 2008, Radionavigation systems (Norwood: Artech House)

Grewal, M. S., Andrews, A. P., & Bartone, C. G. 2013, Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration, 3rd ed. (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.)

Groves, P. D. 2013, Principles of GNSS, inertial, and multisensory integrated navigation systems, 2nd ed. (Bonton: Artech House)

Hide, G., Hill, C., Moore, T., Noakes, C., & Park, D. 2006, Integrated GPS, LORAN-C and INS for land navigation application, ION GNSS ITM, September 26-29, 2006, Fort Worth Convention Center, Fort Worth, TX, pp.59-67.

KRISO 2016, [Internet], cited 2017 Aus. 27, available from: http://www.kriso.re.kr/research/eLoran/

Li, X. R., Zhu, Y, Wang, J., & Han, C. 2003, Optimal linear estimation fusion Part I: unified fusion rules, IEEE Tranctions on Information Theory, 49, 2192-2208. https://doi.org/10.1109/TIT.2003.815774

Luo, N., Mao, G., Lachapelle, G., & Cannon, M. E. 2006, ASF Effect Analysis Using an Integrated GPS/eLORAN Positioning System, ION NTM 2006, January 18-20, 2006, Hyatt Regency Hotel, Monterey, CA, pp.967-976.

Sin, C. S. 2013, GPS Anti-Jamming Technologies, TTA Journal, 149, 92-99

Song, S. P., Shin, M. Y., Son, S. B., Kim, Y.-B., Lee, S. J., et al.. 2011, The Integrated eLoran/GPS navigation algorithm for reduced calculational complexity and high accuracy, Transactions on KIEE, 60, 612-619. https://doi.org/10.5370/KIEE.2011.60.3.612

Vaispacher, T. & Breda, R. 2015, Measurement, Diagnostic, Reliability Onboard Aircraft Systems (Slovak language), Integration of INS, GPS, and eLoran, 15th International Scientific Conference, pp.23-32. https://www.unob.cz/fvt/struktura/k206/Documents/veda/Articles/Article_02.pdf

Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 항법환경생성모듈

김혜원[1], 이준학[1], 오상헌[2], 소형민[3], 황동환[1*]
[1]충남대학교 전자공학과, [2]㈜넵코어스, [3]국방과학연구소

Design of the Navigation Environment Generation Module of a Manager-based Integrated Navigation M&S Software

Heyone Kim[1], Junhak Lee[1], Sang Heon Oh[2], Hyoung Min So[3], Dong-Hwan Hwang[1*]
[1]Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, [2]Navcours Co., Ltd,
[3]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 전자공학과
연락처 : 042-821-5670 이메일 : dhhwang@cnu.ac.kr

Abstract: 여러 가지 전파항법시스템을 통합하여 운용하기 이전에 M&S 소프트웨어를 통해 항법인프라의 동작을 모사하고 통합항법 시스템의 항법 성능을 평가할 수 있다. 실시간 항법 시스템 설계에 반영하기 위해서는 M&S 소프트웨어를 구성하는 여러 기능과 항법알고리즘을 독립적인 기능 모듈로 구현하는 것이 유리하다. 본 논문에서는 GUI 모듈, 항법환경생성모듈, 항법알고리즘모듈, 성능 만족영역분석모듈, 그리고 모듈 간의 메시지 교환을 수행하는 Manager 로 이루어진 통합항법 M&S 소프트웨어의 구조를 제시하고 M&S 소프트웨어의 모듈 중 항법인프라의 동작을 모사하여 측정치를 생성하는 항법환경생성모듈을 설계한 결과를 보였다. 설계한 항법환경생성모듈은 GPS, eLoran, DME의 오차 없는 측정치를 생성하며, 여기에 측정치 오차를 선택적으로 추가한다. 설계한 항법환경 생성모듈을 GUI 모듈 및 항법알고리즘 모듈과 Manager를 통해 통합하였다. 오차가 없는 측정치와 오차를 추가한 측정치를 생성하여 이것에 대한 항법 결과를 각각 GUI를 통해 확인함으로써 설계한 항법환경 생성모듈의 유효성을 보였다.

Keywords: integrated navigation system, modelling and simulation software, manager

1. 서 론

재밍 또는 스푸핑 등의 고의적 전파방해로 인해 GNSS를 통한 항법이 불가능하거나 항법 성능이 저하하는 경우에 여러 전파항법시스템을 통합하여 운용하면 신뢰성있고 연속적인 항법 수행이 가능하다(White et al. 1998, Gee et al. 2015). 통합항법 시스템을 설계하기 전에 M&S 소프트웨어를 통해 여러 가지 전파항법 인프라의 동작을 모사하고 항법시스템의 성능을 평가할 수 있다. 성능만족영역분석을 통해 전파항법시스템의 기지국 배치에 따른 성능을 살펴볼 수 있으며, 측정치를 생성하고 이를 바탕으로 항법알고리즘의 성능을 평가할 수 있다. M&S 소프트웨어를 구성할 때 여러 가지 항법알고리즘을 서로 독립적인 기능 모듈로 구현하면 성능을 평가한 항법알고리즘을 실시간 시스템 구현시 소요 시간과 노력을 줄일 수 있다(Kröner et al. 1990, Sullivan et al. 2001, Norman. 1998). 항법알고리즘의 성능을 평가하기 위해서는 각 항법시스템의 측정치를 생성하는 항법환경 생성모듈, Graphic User Interface (GUI) 모듈, 그리고 서로 독립적인 모듈 간의 메시지 교환을 수행하는 Manager가 필요하다.

본 논문에서는 Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 항법환경 생성 모듈을 설계한 결과를 제시한다. 이때 항법환경 생성 모듈은 GPS, eLoran, 그리고 DME의 측정치를 생성한다. 설계한 모듈의 성능을 검증하기 위해 항법환경 생성모듈, GUI 모듈, GPS 항법알고리즘 모듈, eLoran 항법알고리즘 모듈, DME 항법알고리즘 모듈 그리고 통합항법 알고리즘 모듈을 Manager 기반 M&S S/W에 통합하였다. 항법환경 생성모듈을 통해 각 항법시스템의 측정치를 생성하고, 이를 바탕으로 항법을 수행한 결과를 GUI를 통해 확인하였다.

2. Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어

2.1 Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어 구조

Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 여러 가지 모듈들은 Manager를 통해서 메시지를 교환한다.

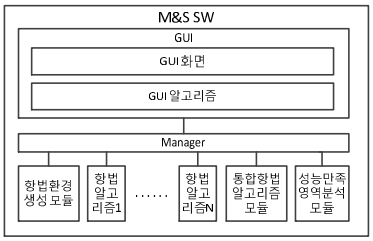


Fig. 1. Manager-based integrated navigation M&S software.

2.2 Manager를 통한 기능 모듈 간 메시지 교환

Manager를 통한 기능 모듈 간 메시지를 교환하는 방법을 Fig. 2에 나타내었다. 각각의 기능 모듈은 다른 기능 모듈로 직접 데이터를 전달하지 않으며, 목적지의 주소를 포함한 메시지를 Manager로 보내면 Manager는 메시지의 목적지 주소를 확인하고 전달할 정보를 목적지로 보낸다.

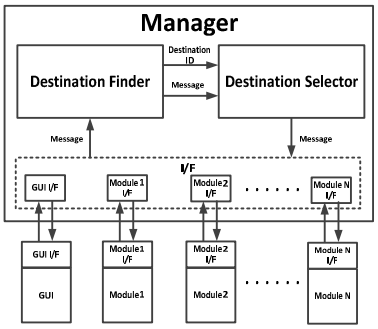


Fig. 2. Manager-based message exchange among modules.

3. 항법환경생성모듈

M&S 소프트웨어에서 통합항법 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서는 항체의 운동과 항법시스템의 인프라를 모사해야 한다. 항법환경 생성모듈은 항체의 운동 시나리오로부터 기준궤적을 생성하고, 이것으로부터 GPS, eLoran, 그리고 DME의 측정치를 생성한다.

3.1 기준궤적 생성

등가속 운동, 뱅킹운동, 상승/하강운동, 그리고 선회운동으로 이루어진 항체의 운동 시나리오로부터 항체의 위치, 속도, 그리고 자세의 기준궤적을 생성한다.

3.2 측정치 생성

GPS, eLoran, 그리고 DME의 측정치 생성도를 Fig. 3에 나타내었다. 기준궤적과 Receiver Independent Exchange Format (RINEX)파일로부터 GPS 위성과 항체 간의 거리 및 거리 변화율을 계산한다. 기준궤적과 eLoran 기지국 정보로부터 기지국과 항체 간의 거리 및 거리 변화율을 계산하고, 기준궤적과 DME 기지국 정보로부터 기지국과 항체 간의 거리를 계산한다. GPS의 시계 파라미터로부터 GPS 시계오차를 생성하고, 이온층/전리층 지연 오차를 생성하여 열잡음 오차와 함께 거리 및 거리 변화율에 추가하여 의사거리 및 의사거리 변화율을 생성한다. eLoran의 시계 파라미터로부터 시계 오차를 생성하고 거리 및 거리 변화율에 추가하여 의사거리 및 의사거리 변화율을 생성하며, DME 시계 파라미터로부터 시계 오차를 생성하고 DME 기지국과 항체 간의 거리에 추가하여 DME 경사거리(Slant range)를 생성한다.

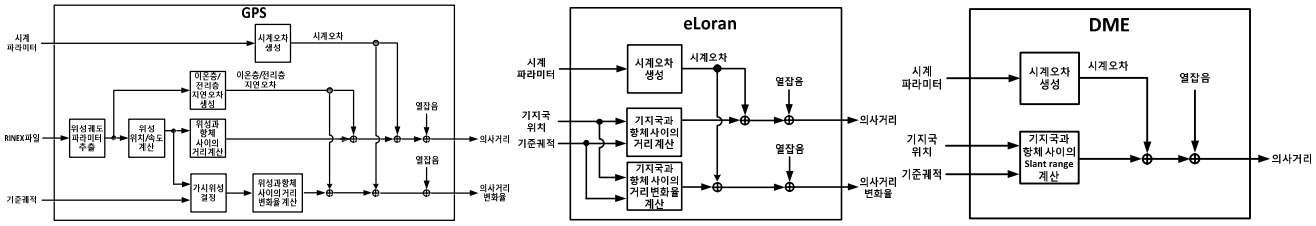


Fig. 3. GPS, eLoran, DME measurement generation diagram.

4. 항법환경 생성 모듈 검증

4.1 기준궤적 및 오차 특성

Fig. 4와 Table 1에 검증을 위한 항체의 기준궤적과 측정 오차의 사양을 게시하였다. Fig. 4에 나타낸 것과 같이 항체는 위도 36, 경도 127, 고도 100m에서 출발하여 고도 8km까지 상승한 후 한반도 주위를 8자 형태로 선회하며, 각 항법시스템의 측정치에 오차를 Table 1과 같이 추가하였다.

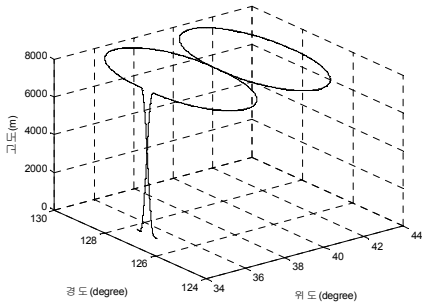


Fig. 4. Reference trajectory of a vehicle.

Table 1. Measurement error.

Navigation System	User Equivalent Range Error(UERE)	
	Range error(m)	Range rate error(m/s)
GPS	3.0	0.1
eLoran	10.0	0.1
DME	100.0	

4.2 항법 결과

Fig. 5와 나타낸 것과 같이 GUI를 통해 항법 결과를 확인하였으며, 오차가 없는 측정치와 오차가 포함된 측정치에 대한 GPS, eLoran, 그리고 DME 항법 결과를 Fig. 6과 7, 그리고 Table 2에 나타내었다.

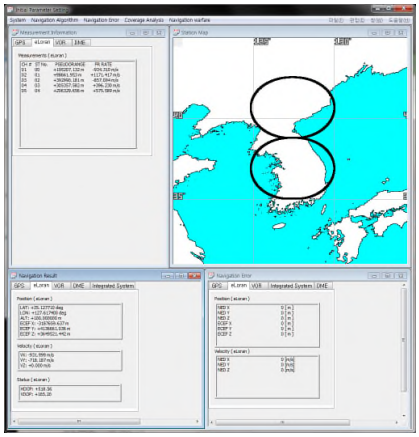


Fig. 5. Navigation result on GUI.

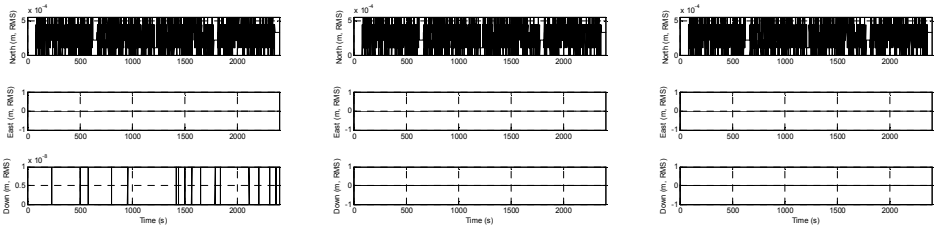


Fig. 6. GPS, eLoran, DME Navigation result for measurements with error.

.

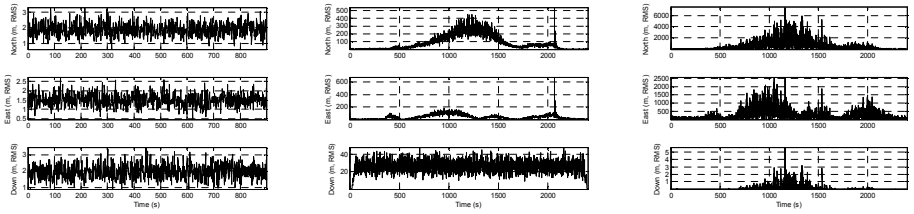


Fig. 7. GPS, eLoran, DME Navigation result for measurements with error.

Table 2. Navigation result (RMSE).

Navigation System	Error (m, RMSE)		
	North	East	Down
GPS	1.954	1.482	1.998
eLoran	84.061	40.101	25.666
DME	556.139	259.794	0.106

5. 결 론

본 논문에서는 Manager 기반 통합항법 M&S 소프트웨어의 항법환경 생성모듈의 설계 결과를 제시하였다. 설계한 항법환경생성모듈은 항체의 운동과 전파항법시스템의 항법 인프라를 모사한다. 운동 시나리오로부터 항체의 기준궤적을 생성하고, 이것으로부터 GPS, eLoran, DME의 측정치를 생성한다. 설계한 항법환경 생성모듈이 유효성을 보이기 위해 GUI, 항법환경 생성모듈, 항법알고리즘 모듈, 그리고 Manager로 이루어진 Manager 기반 M&S 소프트웨어를 구성하였다. 항법환경 생성모듈을 통해 GPS, eLoran, DME의 측정치를 생성하고 이를 바탕으로 항법을 수행한 결과를 GUI를 통해 확인하고, 오차가 없는 측정치와 오차를 포함한 측정치에 대한 항법 결과를 보였다.

추후에 항법환경 생성모듈에 Loran-c, VOR, Korean Navigation Satellite System(KNSS), 의사위성의 측정치 생성 알고리즘, 그리고 항법전 상황 반영 알고리즘을 추가할 것이며, Manager 기반 M&S 소프트웨어에 성능만족영역분석 모듈을 추가하는 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Gee, C.-H., Lee, Y.-J., Hwang, D.-H.., Lee, H.-K., Kim, S.-C., et al. 2015, National GNSS Research Center Satellite Navigation System Architecture Laboratory 2nd phase final report, Agency for Defense Development, 8-439

Kröner, A., Holl, P., Marquardt, W., & Gilles, E. D., 1990, DIVA-an open architecture for dynamic simulation, Computers & chemical engineering, 14, 11, 1289-1295

Norman, R. J., 1998, CORBA and DCOM: side by side, Distributed Computing, 1, 5, 41-45

Sullivan, K. J., Griswold, W. G., Cai, Y., & Hallen, B. 2001, The structure and value of modularity in software design, ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, ACM, 99-108

White, N. A., Maybeck, P. S., & DeVilbiss, S. L. 1998, Detection of interference/jamming and spoofing in a DGPS-aided inertial system, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 34, 4, 1208-1217

CSS 기술기반의 센서융합기술을 활용한 웨어러블 타입의 축구선수 위치 측위 시스템 개발

임성훈[1*], 이원로[1], 남도원[2] ,이정수[2]
[1]이에스산전㈜ RFID/IoT 기술연구소, [2]한국전자통신연구원 SW콘텐츠연구소 스포테인먼트연구실

Development of a Wearable Type Positioning System for Soccer Players Using Sensor Fusion Technology Based on CSS Technology

Sung-Hun Lim[1*], Won-Ro Lee[1], Do-Won Nam[2], Jung-Soo Lee[2]
[1]ES Industrial Systems RFID/IoT R&D Group, [2]ETRI SW-Contents R&D Group Sportainment Lab.

주소: 서울시 양천구 목동서로 349
연락처: 010-9010-2865 (02-2650-8568), 이메일: idos72@esisk.com (idos72@naver.com)

Abstract: 최근의 스포츠 경기 분야는 Internet of Thing (IoT) 디바이스 기반의 Real-Time Location System (RTLS) 즉 실시간위치추적기술을 적용하는 사례가 해외 스포츠 분야에서 꾸준히 증가하고 있는 상황이다. 특히, 축구 경기 분야에서 무선 측위기술 기반의 RTLS를 적용하려는 사례는 전세계적으로 꾸준히 연구 개발 되고 있다. 이에 본 논문에서는 현재 스포츠 분야에서 적용되고 있는 유사 적용 사례들을 살펴보고자 하며, 무선 측위기술 중 실내 및 야외 스포츠 분야에 적용이 가능한 IEEE 802.15.4a-2007 표준기반의 무선 측위 기술인 Chirp-Spread Spectrum (CSS) 기술과 6축 센서 기술이 융합(Fusion Sensor)한 웨어러블 타입의 IoT 디바이스를 통해 축구에 적용하고자 하는 실시간 위치 측위 시스템에 대해 논하고자 한다. 또한 최근에 각광 받고 있는 스포츠 IT 분야의 발전 사례를 통해 스포츠 경기 및 선수 데이터의 자동화된 수집을 통해 본 연구개발의 향후 활용 방안도 모색하고자 한다.

Keywords: real-time location system (RTLS) , wearable IoT, chirp-spread spectrum (CSS), sports tracking, fusions sensor

1. 서 론

스포츠 경기 분야는 IoT 환경이 접목 되기 쉬운 원활한 환경으로 점점 더 변화되고 있는 실정이다. 스포츠 경기 특성상 기록 즉, 선수 및 경기 데이터 수집을 통해서 선수 개개인의 능력을 향상시키고, 검증하는 과정은 필수적으로 되어 가고 있으며, 다양한 IoT 디바이스를 채택하여 점점 더 스포츠 분야에 대한 데이터 수집 측면에서 점진적으로 증대되고 있는 상황이다. 본 논문은 국내외적으로 다양한 스포츠 분야에서의 유사 적용 사례와 더불어 본 논문에서 연구개발 되고 있는 CSS기술기반의 센서융합 기술을 활용한 웨어러블 타입의 축구선수 위치 측위 시스템에 대해서 논하고자 한다.

2. 개요 및 현황

본 논문에서는 다양한 무선 측위 기술 중 실내와 실외에 다양한 환경에 적용 가능한 Chirp Spread Spectrum (CSS) 기술을 적용하여 축구선수의 위치측위시스템에 서술하고자 한다. 일반적으로 해외에서는 축구선수에 Wearable 타입의 다양한 무선 측위 방식의 IoT 디바이스를 활용하여 다양한 운동경기에 적용하는 반면 국내에서는 간이 시제품 정도의 제품으로 적용된적이 있다.

무선측위 기술 중 CSS 기술의 경우 IEEE 802.15.4a-2007 규격으로 표준화가 완료(WG802.15.4a 2007) 되었으며, 소비전력이 낮고 멀티패스에 강한 전파 특성, 빠른 전파 응답성에 따른 지연 최소화로 인해 1940년대부터 군용 레이더 및 잠수함 탐지 기술로 활용이 되어 왔다. 본 연구개발은 이러한 빠른 전파적인 응답 요소를 바탕으로 위치 측위 요소뿐만 아니라, 6축 센서를 통한 측위 오차 최소화 및 축구 선수들의 빠른 움직임을 파악할 수 있는 가속도, 자이로 센서를 융합하여 스포츠 경기 중 가장 빠른 역동적인 움직임을 보이는 축구선수를 대상으로 웨어러블 타입의 IoT 디바이스를 통한 측위시스템을 개발 진행 하고 있다.

특히, 해외의 경우는 다양한 스포츠 분야에 각 선수들의 측위 및 각종 융합 센서를 통한 경기력 향상 시킬 수 있는 시스템을 구축 활용하는 사례가 많은편이며, 다양한 해외 제조사에서 꾸준하게 출시 개발 적용하는 편이지만, 국내에는 이러한 사례가 전무한 실정이다. 다만, 2010년도에 국내 축구선수들의 연습경기에 해외 제품을 적용한 사례만 존재하고 있는 실정이며, 간헐적으로 연구개발 사례가 있긴 하지만, 해외에 비해서 많이 미흡한 실정이다.

2.1 국내 적용 사례

2010년 국내 축구 대표팀이 2010년 남아공 월드컵을 대비해 선수들의 체력 및 경기력을 향상 시키기 위해 무선 경기력 측정 시스템을 네덜란드 ‘ 이모시오(Inmotio)’ 제품을 도입하였으며, Fig. 1 처럼 파주 연습 경기장 주변에 베이스 스테이션(Base-Station, BS)을 설치하고, 선수들에게 착용형 무선 IoT Device 제품을 통해 무선 경기력 측정시스템을 운용한 사례가 있다.



Fig. 1. First FIFA Worldcup 2010 experience with Korea.

국내 적용된 이모시오(Inmotio) 제품의 경우는 Fig. 2의 구성도와 같이 다양한 응용 기술(영상, GPS, Wi-Fi 등)을 융합한 위치 측위 기술을 활용하며, 가장 정확도가 높일 수 있는 최적의 융합 기술을 활용하여 Local Position Measurement (LPM) 기반의 기준점 측위 방식과 Wi-Fi, 영상 등의 융합 센서를 통한 복합 측위 기술을 기반으로 다양한 융합 데이터를 수집해야 하는 형태로 수집 서버에 대한 의존도는 높아지는 반면에 정확도가 최대 수십 cm 이내의 정확도가 구현되어 다양한 실내· 외 스포츠 경기에 활용되고 있는 상황이다. 또한, 이모시오(Inmotio) 제품의 특징은 무선통신(Wi-Fi) 뿐만 아니라, 유선통신을 통한 안정적인 복합 측위 데이터 수집이 가능한 것이 가장 큰 특징 중 하나이다(INMOTIO 2017).



Fig. 2. Inmotio Local Position Measurement (LPM) System for football.

2.2 해외 적용 사례

스포츠 분야는 전통적으로 영상(카메라)을 기반으로 선수에 대한 통계를 수작업에 의존하여, 추적 관찰해왔다. 이러한 영상 기반의 선수 추적시스템은 한계가 존재할 수 밖에 없는 실정이다. 최근에 다양한

해외 업체들은 스포츠 선수들을 위한 IoT 기반의 제품과 다양한 측위 기술을 활용하여 웨어러블 센서 데이터 기반의 스포츠 선수 및 경기 데이터를 실시간으로 수집 분석하고 있으며, Fig. 3과 같이 GPS, Ultra-wide band (UWB), RFID 등의 무선측위기술기반의 선수 위치 추적 기술과 다양한 융합 센서를 적용 연구개발 하여 다양한 IoT 제품들을 출시하고 있으며, 이에 몇가지 해외 적용 사례를 살펴보고자 한다.



Fig. 3. Variety of wearable sensor-based athlete training devices.



Fig. 4. GPS Technology based VX Sports VX Series.



Fig. 5. GPS/UWB technology based catapult sport OptimEye series (Catapult 2017).

Fig. 4의 VX Sports사의 제품은 GPS Technology를 기반으로 한 제품으로 가속도센서와 자이로센서를 기반으로 선수들에게 웨어러블 조끼 타입에 장착함으로써 선수들에 대한 심박수, 뛴 거리, 가속도, 신체력 등에 대한 데이터를 계산하여 각 선수 개인에 대한 데이터를 수집하여 선수에 대한 경기 및 체력 모니터링 등 다양한 스포츠 활동을 획득하는 것을 목적으로 하고 있으며, 측위 보다는 선수들의 다양한 경기 운영 능력에 영향을 미치는 다양한 융합 센서 데이터 수집을 통해 선수들에 대한 경기력 향상을 목적으로 한 제품이다 (VXSPORT 2017).

호주의 Catapult사의 제품은 야외용 경기의 경우는 GPS/GLONASS기반의 GNSS기반의 제품이며, 실내용 경기의 경우는 UWB 기술을 활용하며, 또한 제품들은 움직임 센서를 통해 선수들의 속도, 방향

변화 추적, 심박수 모니터링 등을 측정한다. 또한, 수집된 선수 개인의 센서 데이터를 바탕으로 각 선수들이 각자 훈련에 대한 기준을 정하며, 선수 개개인의 부상 및 질병을 예방할 수 있도록 도와준다.

현재 13개의 NFL팀과 6개의 NBA팀 그리고 다수의 대학 팀들이 Catapult사의 제품을 사용하고 있다. Cattpult사의 제품 착용 방식은 위의 Fig. 5와 같이 등에 착용하는 방식이며, 이는 위치 측위의 정확성을 위함이다. 즉, GNSS 신호를 최적의 환경으로 수신하기 위한 적정한 위치로 등을 선택하여 적용한 것이며, 선수들의 움직임에 있어서 가장 방해 요소가 적은 등을 선택 적용한 것이다. 또한, Catapult사의 Optimeye 제품은 별개의 심박센서를 활용하여 심박 데이터를 전달 받는 형태이다.

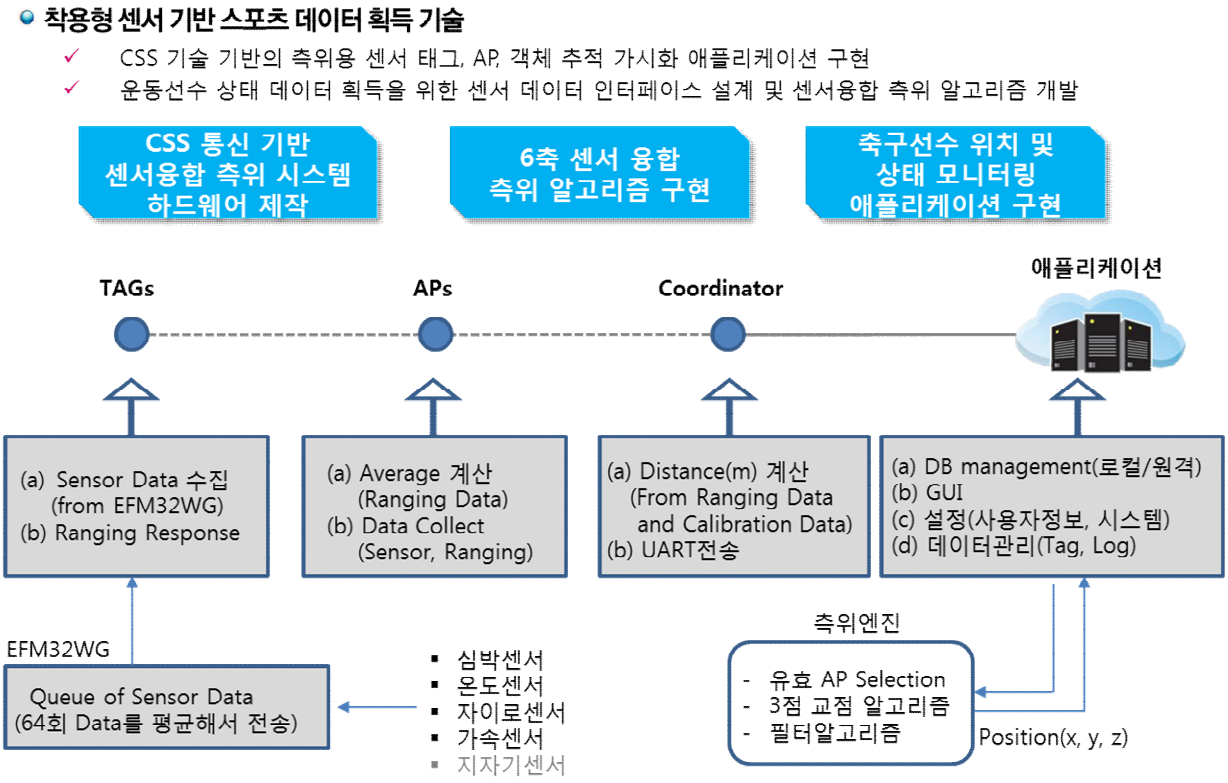


Fig. 6. Development of CSS technology based location position system.

3. CSS 측위시스템 연구개발

3.1 개요 및 개발 목표

CSS 기술기반의 센서융합기술을 이용한 위치 측위시스템은 국내· 외 적으로 다양하게 적용된 Site가 존재하며, 축구선수를 대상으로 축구선수의 심박정보와 6축센서(가속도센서, 자이로센서)를 활용한 선수의 운동 관련 센싱 데이터 획득을 통한 CSS 기술 기반의 착용형(wearable) 센서 및 측위용 AP 개발, 측위 데이터 및 센서 데이터 수집 및 가시화시스템 개발을 목표로 Fig. 6와 같은 구성으로 개발 진행 중에 있다.

3.2 CSS 기술 기반의 착용형 센서 태그 및 AP 개발

본 연구개발은 CSS기술 기반의 실내· 외 스포츠 경기 선수들의 측위 및 센서 데이터 수집을 목적으로 착용형 센서 태그 및 AP를 개발 하고 있으며, 센서 데이터(위치, 가속도, 자이로, 심박수) 획득을 위한 센서 데이터 인터페이스 설계 및 구현을 진행 중에 있다. Fig. 7은 현재 개발 진행 중인 웨어러블 타입의 CSS 기술이 적용된 IoT 태그와 측위 AP에 대한 그림이며, 현재 착용형 형상 타입은 다양한 적용 방식을 고려하여, 최적의 성능을 보여줄 수 있는 디자인을 고려하여 설계, 제작 중에 있다.

Chirp Spread Spectrum (CSS) 기술은 2.4GHz 대역인 ISM 대역에서 Chirp Frequency를 활용하여 전파의 송수신 시간차 측위 방식을 활용하며, 2007년도에 IEEE 802.15.4a-2007 표준화가 이루어진 무선 측위 방식이다. 다른 RF 측위 방식에 비해 신호대 잡음비(SNR, Signal to ratio)가 우수하며, 뛰어난

방해전파에 대한 내구성과 함께, 짧은 전파 지연(Latency)를 가지고 있으며, 거리 오차는 Phycal Layer에서 1m 내외의 위치 오차를 가지고 있다. 즉, CSS 기술은 Chirp Pules에 의해 전파간섭에 능동적으로 대처할 수 있으며, Time of Flight (ToF) 또는 Time Difference of Arrival (TDoA) 알고리즘을 적용(ISO/IEC FDIS 24730-5 2010) 할 수 있으며, Fig. 8와 같은 시스템 구성요소를 적용하여 위치측위시스템을 개발 중에 있다.



Fig. 7. Development of CSS Tag & AP prototype.

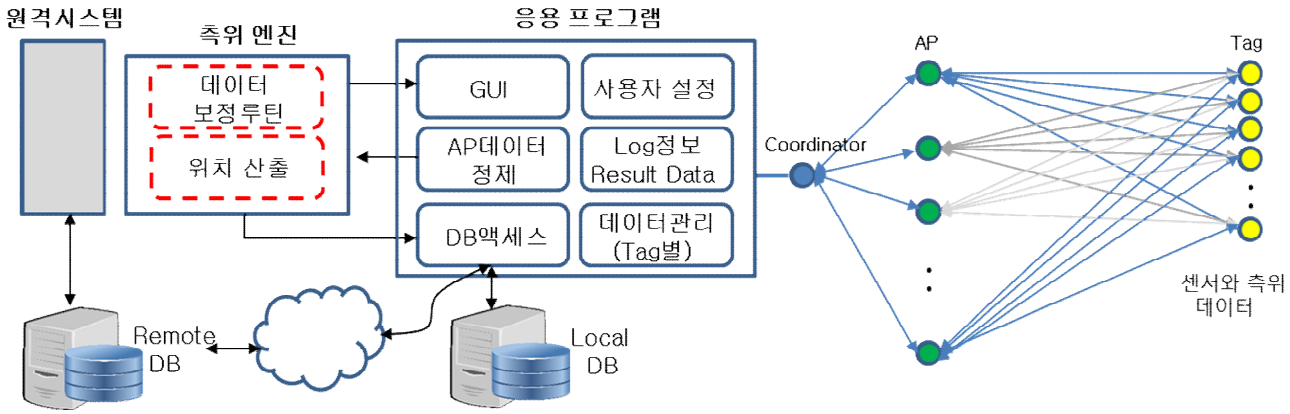


Fig. 8. CSS Technology based Soccer player positioning system.

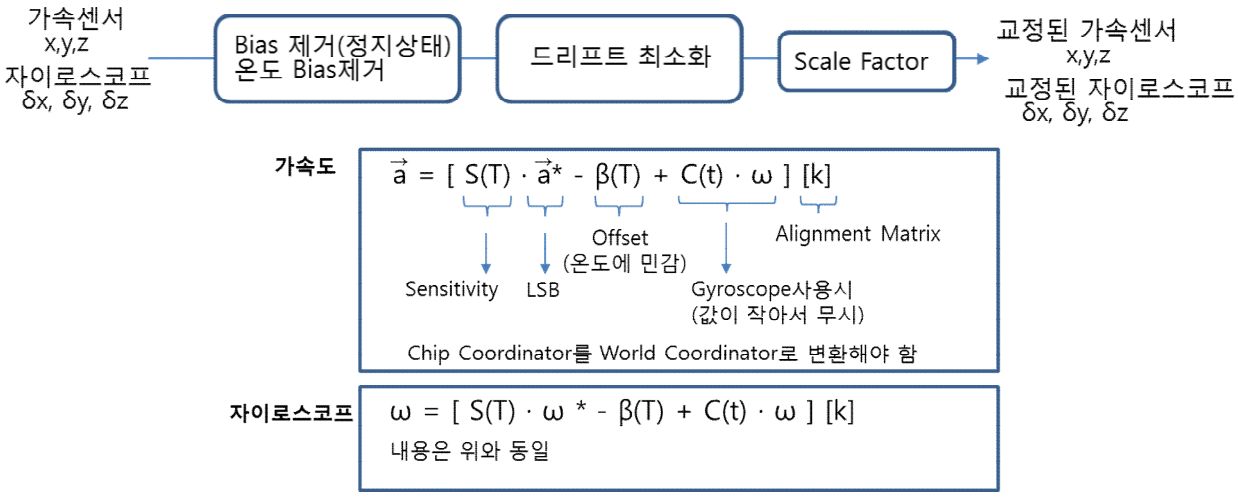


Fig. 9. Mathematical modeling of fusion sensor data.

3.3 연구개발 진행 사항

축구 선수에 착용될 CSS Tag 디바이스와 융복합센서(가속도센서, 자이로센서)의 오차 최소화를 위해 아래 Fig. 9와 같은 수학적 모델링을 통해 센서 오차를 제거하고 센서 노이즈 및 응답성 개선을 위한 보정 루틴을 구현하고 있다.

3.4 CSS기반의 측위시스템 애플리케이션 개발

CSS기반의 측위 시스템 개발은 응용 프로그램 개발이 가장 중요한 요소로써 CSS Tag 정보를 수집하는 CSS Cordinator를 통해 측위시스템에 전달하는 과정을 Fig. 10과 같이 가시적으로 표현하는 데이터 표시, 관리, 분석 기능을 개발하고자 하며, 측위 데이터와 센서 데이터의 분석을 위한 데이터 관리/분석 기능 제공하여, 선수들이 착용한 웨어러블 CSS IoT 태그를 통해 수집된 심박수, 거리, 가속시간 등의 정보를 측위 시스템 서버로 전달하는 형태로 애플리케이션을 개발하고 있다.

개발하고 있는 측위시스템은 Fig. 11과 같이 하나의 화면에 가시화와 분석할 수 있는 단일 구조로써, 이에 측위 응용프로그램의 중점 개발사항은 측위 데이터와 해석결과를 가시화 즉 태그별 선수들에 대한 정보 표현(심박수, 뛴거리, 방향 등) 매개 변수에 대한 가시화, 측정된 데이터 DB화 작업, DB 액세스 기능 등의 애플리케이션 가시화, 해석 등을 위주로 중점 개발하고 있다.

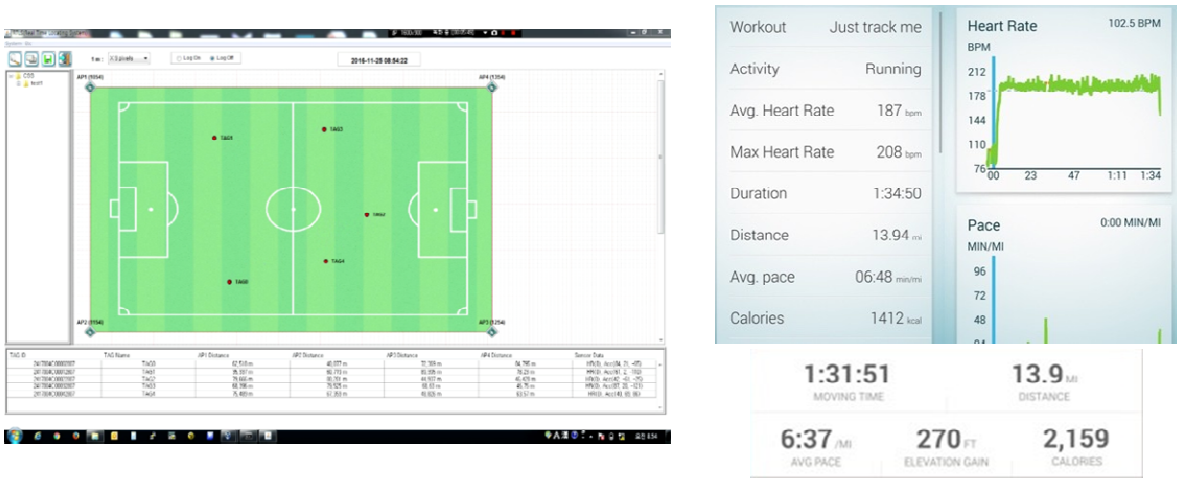


Fig. 10. CSS Technology based sports location tracking system.

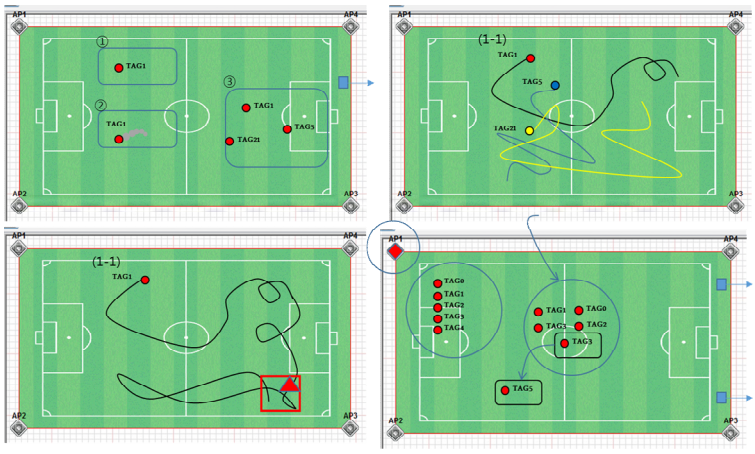


Fig. 11. Visibility part of application.

전체적인 위치측위시스템의 구성은 Fig. 12와 같으며, 향후 진행될 주요 연구개발 내용은 AP와 Tag 개수 증가에 따른 알고리즘 개선 작업과 측위 오차 보정을 위한 센서 융합 알고리즘 구현, Local DB와 Remote DB를 위한 관련 API 구현, 최종적으로 필드 테스트를 통한 보정 알고리즘의 문제점을 개선하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

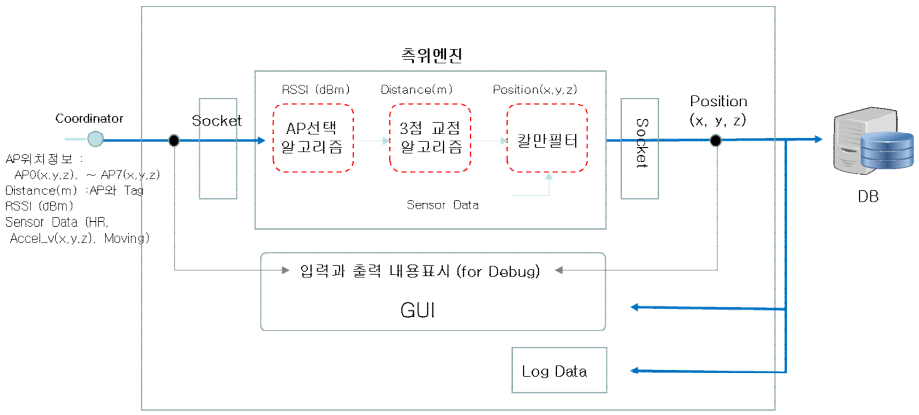


Fig. 12. Structor Sports Location Tracking System.

4. 결론

스포츠 분야의 ICT 접목은 현재 필수적 진행되고 있는 상황이며, 다양한 무선 측위(GNSS, CSS, UWB, RFID) 방법을 활용한 기술들을 적용한 제품들이 지속적으로 출시되고 있는 상황이다. 특히, 해외 선진국의 선진적인 스포츠 ICT 분야에 대한 투자 및 개발은 빠르게 지속되는 반면에 국내는 스포츠 시장 규모에 비해 ICT 도입 및 활용에 소극적으로 대처한 나머지 국내에 적용된 사례가 극히 적으며, 또한 연구개발 사례도 극소수에 지나지 않는다. 반면에 본 연구개발은 2016년에 시작된 연구개발과제로써, 내년에 상용화 적용을 앞두고 있는 상황이며, 다양한 해외 제품과의 비교 분석을 통해 지속적으로 보완 개발해 나갈 예정이다. 본 연구개발을 통해 CSS 기술과 센서 융합 기술의 결합을 통해 다양한 스포츠 분야에 적용해 나갈 수 있으며, 특히 CSS 기술이 가지고 있는 장점을 활용한 경우 다양한 응용 적용 사례로써 충분한 가치가 있다. 본 논문을 통해 CSS 기술기반의 센싱융합기술을 활용한 웨어러블타입의 축구선수 위치 측위 시스템 개발을 통해 국내 상용화 및 국산화를 위한 기술로써 충분한 가치가 있다.

감사의 글

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2017년 문화기술 연구개발 지원사업으로 수행되었으며, 연구개발의 내용이 일부 포함되어 있음 (R2016030044_000000002, 스포츠 영상 콘텐츠의 내용· 이해· 기반 분석/요약/검색 기술 개발).

REFERENCES

INMOTIO 2017, Domestic applications, [Internet], cited 2017 Sep. 10, available from : http://www.inmotio.eu/en-GB/32/wireless-lpm-system.html/

ISO/IEC FDIS 24730-5 2010, Information technology – Real-time location systems (RTLS) - Part 5: Chirp spread Spectrum(CSS) at 2.4 GHz air Interface

Catapult 2017, Find your football fingerprints, [Internet], cited 2017 Sep. 10, available form: http://www.catapultsports.com/sports/football/

VXSPORT 2017, Engineered for success, [Internet], cited 2017 Sep. 10, available form: http://www.vxsport.com/the-vx-system/

WG802.15.4a 2007, IEEE Standard for Information technology-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs): Amendment 1: Add Alternate PHYs



[C1] 항공과 우주 항공

KASS 기준국 인프라 시설의 다중경로 영향 분석

조성룡*, 장현진, 손민혁, 이재은, 박열, 최종연, 남기욱
한국항공우주연구원 SBAS 사업단

A Study on the Multipath Effect of Infrastructure for KASS Reference Station

Sunglyong Cho*, Hyun-Jin Jang, Minhyuk Son, Jae-Eun Lee, Ten Park, Jong Yeoun Choi, Gi-Wook Nam
SBAS R&D Head Office, KARI

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-870-3999 이메일 : jackycho@kari.re.kr

Abstract: 한국형 SBAS 시스템(KASS) 개발·구축을 위한 기준국 선정은 사이트 선정 절차서에 준하여 조사 후 최종 결정된다. 사이트 선정을 위한 요구사항을 만족하는 정밀 조사가 필수적으로 수행되어야 한다. 사이트 선정을 위한 요구사항 항목에는 시설, EMI, 앙각 및 다중경로 영향 분석 결과에 대한 세부 요구사항까지 만족되어야 한다. 기본적으로 EMI의 경우에는 사이트(Site)에서 지점(Point)과 상관 없이 동일한 조사 결과를 도출할 수 있어 지점 선정을 고려하지 않아도 된다. 하지만, 앙각 및 다중경로의 경우에는 측정 장비 위치를 기준으로 다양한 결과가 도출되기 때문에 최적의 지점을 선정하는 것이 중요하므로 반드시 고려되어야 한다. KASS 기준국은 기존의 인프라(항공무선표지소, 공항, 해상무선표지소, NDGPS 사이트)를 활용해야 하는 제약 조건 때문에 GNSS 안테나 지점 선정이 중요한 요인으로 다양한 지점에서의 데이터 수집 및 영향 분석이 필요하다. 본 논문에서는 기준국 인프라 시설을 기준으로 수집된 GNSS 데이터를 바탕으로 수집 환경에 따른 다중경로 영향을 분석 하였다. 인프라 사이트의 지점 후보지인 나대지, 철탑, 지붕 등에 대한 다중경로 영향을 분석 결과를 제시하고, KASS 기준국의 GNSS 안테나 위치 선정에 대한 고려 사항을 언급하였다.

Keywords: SBAS, KASS, reference station, multipath effect

1. 서 론

한국형 위성 보강 항법시스템(Korea Augmentation Satellite System, KASS)은 정지궤도(Geostationary Orbit, GEO) 위성을 통하여 지상에서 생성한 보정(Correction) /무결성(Integrity) 정보를 사용자에게 제공한다. KASS 지상 시스템은 KASS Reference Station (KRS), KASS Processing Station (KPS), KASS Uplink Station (KUS), KASS Control Station (KCS)으로 구성되어 있다. 위성 보강 항법시스템(Satellite Based Augmentation System, SBAS)은 KRS에서 수집한 GNSS 데이터를 네트워크를 통하여 KPS에 전송하고 KPS에서 보정/무결성 정보를 생성한다. KUS는 KPS에서 수신한 SBAS 항법 메시지를 상향 안테나를 통하여 정지궤도 위성에 전달한다. 마지막으로 사용자는 SBAS 서비스 영역에서 GNSS 신호와 동일한 Radio Frequency(RF) 신호를 수신하여 메시지에 포함된 보정/무결성 정보를 이용하여 정확하고 안전한 위치를 추정한다.

KASS의 성능(정확성, 무결성, 가용성, 연속성)은 KRS 사이트 위치 및 GNSS 측정치 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 사이트 선정을 위한 정밀 조사가 중요한 요소(Critical Path)로 시스템 개발에 중요하다. 사이트 정밀 조사는 KRS 운영을 위한 시설 조사(접근성, 보안, 화재 및 유지 보수 등), RF신호 간섭에 대한 영향 분석을 위한 Electro Magnetic Interference(EMI) 조사, GNSS 측정치 성능 분석을 위한 앙각 및 다중경로 영향 조사가 포함되어 있다. 기본적인 시설과 EMI 조사 결과는 사이트의 모든 지점에서 동일한 결과를 도출할 수 있다. 하지만, 앙각과 다중경로 영향 분석은 사이트 조사 지점에 따라 다양한 결과를 가져오기 때문에 주변 지형 지물을 바탕으로 육안으로 영향을 예측하고 빠른 조사를 통한 GNSS 측정치로부터 다중경로 영향을 확인 후 정밀 조사를 수행 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 다중경로 영향 분석을 위하여 기존 NovAtel 사의 Multipath Estimation Delay Lock Loop(MEDLL) 수신기와 Multipath Assessment Tool(MAT)를 대신할 상용 수신기 및 의사거리 기반의 다중경로 영향 분석 알고리즘 KASS Multipath Assessment Tool(KMAT) 설계 및 구현 결과를 언급한다. 3장에서 다중경로 영향 분석을 위한 국내 기준국 인프라 시설의 환경 특성을 비교하고, 4장에서 대표적인 지점에 대한 다중경로 영향 분석 결과를 언급하였다. 마지막으로, 국내 인프라 시설을 이용한 KRS 기준국 후보지 선정 시 고려 사항 및 향후 연구에 대해서 언급 하였다.

2. 다중경로 영향 분석 알고리즘

기존의 SBAS 기준국 사이트 다중경로 분석은 NovAtel 사의 MEDLL수신기(NovAtel Inc. 2002)에서 제공하는 신호세기를 MAT(NovAtel Inc. 2001)를 이용하여 방위각과 앙각에 따른 다중경로 영향을 분석하였다. 하지만, 현재 다중경로 영향 분석을 위한 상용 장비는 공급이 중단되어 다중경로 영향 분석을 위한 새로운 접근이 필요하다.

2.1 다중경로 신호 특성

GNSS 신호는 항법메시지, 코드 및 반송파로 구성되어 있으며 위성에서 수신기까지 Line-Of-Sight (LOS) 신호이다. 추가로 GNSS 신호는 빌딩, 벽, 지면 등에 의해서 반사된 Non Line-Of-Sight (NLOS) 신호가 사용자 수신기에 동시에 수신된다. 사용자는 LOS와 NLOS 신호가 동시에 수신되어 신호 세기 및 의사거리 측정치에 악영향을 미친다. 기존 다중경로 분석을 위한 상용 장비는 수신기의 상관기에서 원하는 신호(LOS)의 세기와 원하지 않는 신호(NLOS) 세기를 이용하여 Desired to undesired power ratios(D/U)를 계산한다(Jakab & Townsend 2001).

2.2 다중경로 영향 분석 알고리즘

본 논문에서는 코드 측정치에 포함된 다중경로 오차를 분석하기 위해 이온층 제거 모델식(Ionosphere Free Combination)(Misra & Enge 2006)으로부터 코드 측정치에 포함된 다중경로 오차를 이용하여 다중경로 영향 분석 알고리즘을 설계하고 구현하였다. 다중경로 영향 분석 알고리즘은 코드 측정치에 포함된 모든 오차 요인을 제거하였다. 측정치에 포함된 이온층 오차는 이온층 제거 모델식을 이용하여 제거하고 이온층 오차가 제거된 측정치에 수신기 잡음 특성을 반영한 필터를 통하여 수신기 잡음을 제거하였다. 반송파 위상 측정치에 포함된 미지정수는 측정치 이상 현상이 발생하지 않는 조건하에서 결정된 미지정수는 동일한 값으로 유지하고 제거하기 위하여 일부 구간에 평균값을 계산하였다(Weiss 2007). 코드 측정치에 포함된 다중경로 오차(Code Carrier Coherency, CCC)를 구하기 위한 모델식(Model Equation)과 다중경로 영향 분석을 위한 KMAT의 블록도(Block Diagram)는 Fig. 1과 같다.

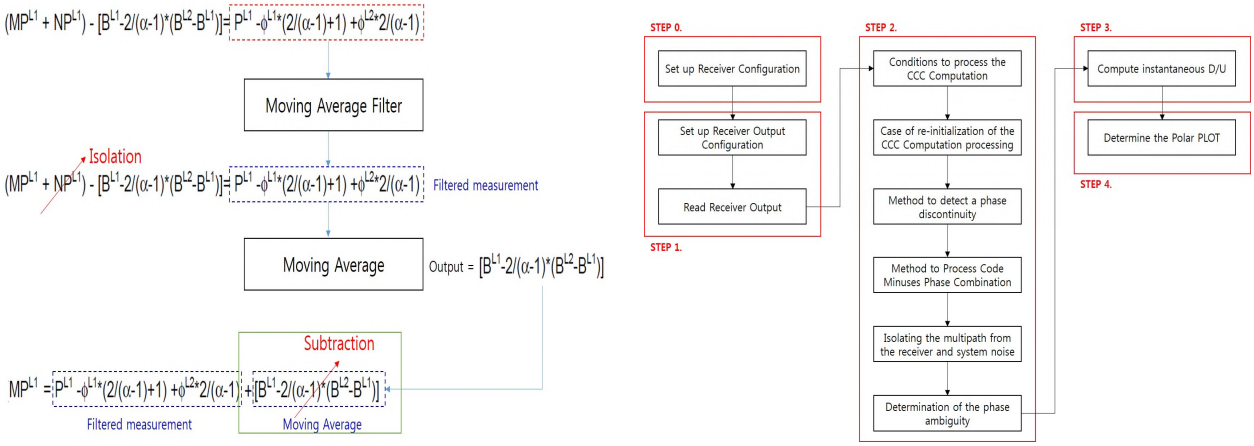


Fig. 1. The multipath assessment algorithm using the code multipath error (left : model equation, right : block diagram).

2.3 다중경로 영향 분석 절차

기준국 사이트의 다중경로 영향 분석은 앙각에 따른 GNSS 신호 막음 현상 및 지형지물에 따른 다중경로 영향을 고려하여 육안으로 지점을 선정 후 단시간의 데이터 수집 결과를 바탕으로 세부 위치 조정 후 정밀 조사 지점을 최종 결정 한다. 육안으로 동일한 사이트 내에 2개의 GNSS 안테나 설치하기 위한 시설 요구사항(안테나 사이의 이격 거리, 안테나와 장비실 사이의 거리), 안테나 주변 앙각 및 다중경로에 영향을 미치는 지형 지물을 고려하여 선정한다. 단시간의 데이터 수집 결과를 바탕으로 안테나 높이를 조절하여 최종 정밀 조사를 위한 데이터를 수집한다. 정밀 조사는 하루 이상의 GNSS 데이터를 수집하고 KMAT을 이용하여 다중경로 영향을 분석하였다.

3. 다중경로 데이터 수집 환경

한국형 위성 보강 항법 시스템(KASS)는 기존에 구축된 국토교통부와 해양수산부 소속 기준국 인프라 시설(항공무선표지소 사이트, 공항, 해상무선표지소, NDGPS 사이트 등) 중에서 KASS 기준국을 선정해야 된다. 사이트 인프라 시설마다 설치된 고유한 장비 및 조성 환경을 고려하여 GNSS 데이터 수집 및 다중경로 영향 분석을 위한 초기 안테나 위치를 선정하였다.

3.1 데이터 수집 환경

다중경로 영향 분석을 위한 데이터 수집 환경은 상용 안테나와 수신기를 이용하여 이중 주파수(L1/L2) 의사거리(코드/반송파 위상) 측정치를 수집하고 신호처리 결과를 Polar Plot을 이용하여 확인하였다. 측정치 수집은 NovAtel 사의 GNSS-850 안테나와 Propak V6(OEM 638) 수신기를 이용하였다. 안테나는 첨단 방사 패턴 최적화 기술(Cutting Edge Antenna Technology)을 통하여 모든 주파수에서 대칭적인 반사 패턴을 제공하여 다중 경로 제거 기능이 포함되어 있다. 수신기는 다중경로 감쇄 기법으로 Pulse Aperture Correlator(PAC)를 이용하여 NLOS 신호의 코드 지연이 LOS 신호 대비 0.1 칩(30m) 이상 지연된 경우 감쇄(Mitigation)되어 LOS 신호에 악영향을 미치지 않는다(Jones et al. 2004, NovAtel Inc. 2017). 의사거리 측정치는 보정하지 않은 측정치를 제공하도록 설정하고 1Hz의 간격으로 로그 파일을 저장하였다.

3.2 데이터 수집 인프라 환경 특성

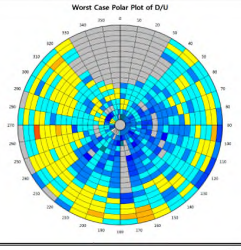
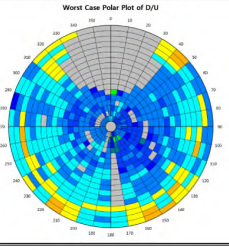
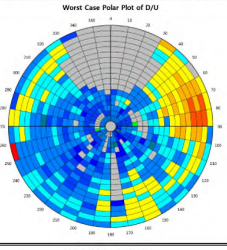
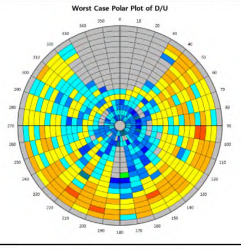
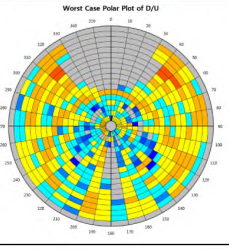
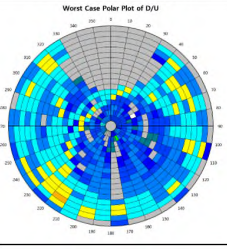
KASS 기준국 설치를 위한 기준국 인프라는 항공무선표지소(VHF omnidirectional radio range, VOR), 공항, 해상무선표지소(LOng Range Navigation, LORAN) 및 NDGPS 사이트를 대상으로 환경을 분석하였다.

항공무선표지소 5개소(제주, 강원, 안양, 포항, 부산) 사이트는 항행 중인 항공기에 방위각 정보를 제공하는 시설로 고도가 높은 산의 정상에 위치한다. 항공무선표지소에 설치 가능한 안테나 위치는 VOR 장비(안테나)를 제외한 주변 나대지, 표지소 운영 건물 옥상 및 철탑에 설치가 가능하다. 항공무선표지소는 VOR 장비에 의한 앙각이 확보되지 않거나 VOR 안테나 지면 또는 철탑 반사 및 회절에 의한 다중경로 영향을 고려한 초기 위치를 선정할 필요가 있다. 공항 5개소(인천, 무안, 양양, 제주, 군산) 사이트는 여객기 및 군사용 비행기 이/착륙을 위한 시설로 활주로, 관제탑 및 공항 건물로 구성되어 있다. 공항에 설치 가능한 안테나 위치는 활주로 및 관제탑을 제외한 공항 건물 옥상에 주로 설치가 가능하다. 공항 건물 옥상의 경우 주변 높은 건물에 의해 앙각이 확보되지 않거나 건물 옥상 및 다른 용도의 대형 안테나에 의한 반사 및 회절에 의한 다중경로 영향을 고려한 초기 위치를 선정할 필요가 있다. NDGPS 5개소(영도, 마라도, 울릉도, 호미곶, 속초) 사이트는 GNSS 데이터 수집을 위하여 철탑을 기준으로 안테나를 설치하였다. 기존 시설을 이용할 경우 앙각 확보가 다른 사이트보다 우수하지만, 기존 NDGPS 기준국 인프라는 하나의 GNSS 안테나를 설치/운영하기 때문에 두 번째 안테나 설치에 대해서 앙각/다중경로 영향 등 모든 면을 고려한 초기 위치를 선정할 필요가 있다. 해상무선표지소 2개소(포항, 광주) 사이트는 장파 안테나를 이용한 전파를 송신하는 시설로 송신 철탑 및 운영 건물로 구성되어 있다. 장파 안테나는 고층의 철탑으로 고출력의 전파를 송신하고 있어 넓은 부지 중심에 설치되어 있다. GNSS 안테나의 경우 송신 안테나 철탑 부지의 나대지 및 표지소 운영 건물에서 설치가 가능하다. 장파 안테나 주변의 나대지는 토양으로 지면반사의 영향은 적지만, 철탑 및 철탑을 지지하기 위한 구조물에 의해서 앙각이 확보되지 않고 반사 및 회절에 의한 다중경로 영향을 고려한 초기 위치를 선정할 필요가 있다.

4. 다중경로 영향 분석 결과

KASS 시스템의 기준국(KRS) 선정을 위한 기준국 인프라 환경 특성을 기준으로 대표적인 지점에 대해서 측정치 수집 후 다중경로 영향 분석을 수행하였다. 대표적인 지점으로는 항공무선표지소에서의 VOR 장비를 제외한 나대지 및 운영 건물 옥상, 공항에서의 건물 옥상, NDGPS에서의 건물 옥상 또는 철탑, 해상무선표지소에서의 장파안테나 내부 나대지에 대한 다중경로 영향을 분석하였다. 다양한 사이트 지점 중에서 앙각이 확보된 지점(항공무선표지소의 운영 건물 옥상, 해양무선표지소의 나대지)은 전반적으로 다중경로 영향이 적지만, NDGPS 사이트 건물 옥상 및 철탑의 경우 다중경로 영향이 많은 것을 확인 하였다. 공항의 건물 옥상은 주변 지형 지물(다른 건물, 안테나, 지면 등)에 따라 다중경로 영향이 반영된 것을 확인할 수 있었다. 항공무선표지소의 나대지의 경우 VOR 안테나 방향으로 VOR 안테나 및 지면에 따라 다중경로 영향이 많은 것을 확인하였다. 다중경로 영향 분석 결과 각 인프라 시설의 특성을 나타내는 대표적인 현상은 Table 1과 같이 Polar Plot으로 정리하였다.

Table 1. Multipath assessment of the 6 site points.

Site	VOR		Airport
Point	Ground(Jeju)	Roof Top(Anyang)	Roof Top(Incheon)
Polar Plot			
Site	NDGPS		LORAN
Point	Roof Top(Homigot)	Steel Tower(Yeongdo)	Ground(Gwangju)
Polar Plot			

5. 결 론

본 논문에서는 기존 상용 장비를 이용한 다중경로 영향 분석을 대체하기 위한 상용 GNSS 수신기의 이중주파수 의사거리(코드/반송파) 측정치를 이용하여 다중경로 영향 분석 알고리즘(KMAT)을 설계하고 구현하였다. KASS 기준국 설치를 위한 국내 기준국 인프라 시설에 대해서 다중경로 영향 분석을 수행하였으며, 다중경로 영향 분석 결과 인프라 시설마다 고유한 특성을 가지는 것을 확인하였다. 17개소의 기준국의 인프라 시설에 대한 다중경로 영향 분석 결과는 향후 구축하게 될 7개소의 KRS를 선정하기 위한 자료로 활용될 것이다. 추후 7개소의 KRS 기준국의 최종적인 수신기 안테나 위치는 시설 설계 및 구축 공사를 통하여 고정된 안테나 설치하고 최종적인 다중경로 영향 분석을 수행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명: 다목적 위성항법보정시스템 기준국 기술 개발).

REFERENCES

Jakab, A. & Townsend, B. 2001, Analysis of the Multipath Meter Performance in the presence of Anomalous Satellite Signals, Proceedings for the Institute of Navigation, January 2001.

Jones, J., Fenton, P., & Smith, B. 2004, Theory and Performance of the Pulse Aperture Correlator, available from: https://www.novatel.com/assets/Documents/Paper/PAC.pdf

Misra, P. & Enge, P. 2006, Global Positioning System – Signal, Measurements and Performance, 2nd ed. (Lincoln: Ganga-Jamuna Press)

NovAtel Inc. 2001, Multipath Assessment Tool “(MAT) User Manual” available from: http://www.sokkiatopcon.tw/NONATEL/Documents/Manuals/om-200000054.pdf

NovAtel Inc. 2002, PORTABLE MEDLL RECEIVER “Installation and Operation Manual” available from: https://www.novatel.com/assets/Documents/Manuals/om-200000065.pdf

NovAtel Inc. 2017, ProPak6^{TM} “Installation & Operation User Manual”, available from: https://www.novatel.com/assets/Documents/Manuals/OM-200000148.pdf

Weiss, J. P. 2007, Modeling and Characterization of Multipath in Global Navigation Satellite System Ranging Signals, Doctoer’s Degree, University of Colorado, USA

시험발사체에서 위성항법수신기의 신호간섭

권병문*, 신용설, 마근수
한국항공우주연구원 발사체전자팀

Signal Interference of a GNSS Receiver for the Test Launch Vehicle

Byung-Moon Kwon*, Yong-Sul Shin, Keun-Soo Ma
Launcher Electronics Team, Korea Aerospace Research Institute

주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-860-2992 이메일 : bmkwon@kari.re.kr

Abstract: 위성항법수신기에서 사용하는 항법위성신호의 세기는 -125 dBm ~ -130 dBm 수준으로 매우 약하기 때문에 위성항법수신기와 함께 운용되는 다른 전자장비에서 신호간섭을 야기할 수 있는 잡음신호가 발생되는 경우에는 위성항법수신기의 성능저하가 예상된다. 그러므로 여러 전자장비들이 함께 운용되는 환경에서는 각각의 전자장비들에 대하여 공통적으로 적용되는 전자파시험 규격을 통해 정해진 규격 이상의 신호가 발생하지 않도록 통제하여야 한다. 그러나 정해진 규격을 모두 만족하는 전자장비들이 모인 시스템 수준에서의 환경이나 실제 운용환경에서는 단품 수준에서 나타나지 않은 새로운 문제가 발생할 수 있으므로 시스템 수준에서 각각의 전자장비들이 정상적인 기능을 수행하는지를 평가하기 위한 작업이 반드시 이루어져야 한다. 본 논문에서는 시험발사체에 탑재되는 전자탑재물의 인증모델을 모두 조립한 이후에 시스템 수준에서 발생할 수 있는 신호간섭의 영향성을 평가하였다. 특히 항법위성신호 대역에서 정해진 규격 이상의 잡음신호가 발생된 전자탑재물과의 영향성을 중점적으로 시험하였다. 본 논문에서와 같은 시험 결과는 추후 시험발사체 비행모델이나 한국형발사체에서도 도움이 될 것으로 판단된다.

Keywords: interference, jamming, KSLV-II, test launch vehicle

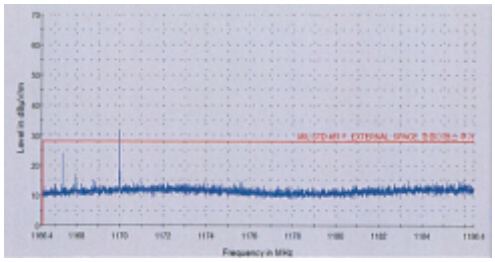
1. 서 론

발사체와 같은 대형 시스템에서는 전자탑재물간의 신호간섭 문제를 최소화하기 위하여 각각의 탑재물에 대하여 정해진 전자파시험 규격을 만족할 것을 요구한다. 한국형발사체와 이를 검증하기 위한 시험발사체에서는 MIL-STD-461F (2007)를 기준으로 결정된 전자파시험 규격을 적용하고 있으며, RE102 시험 규격에서는 GNSS 사용 대역(In-Band)에서와 같이 일부 필요한 주파수 대역에 대하여 Tailoring 된 규격을 설정하여 적용하고 있다.

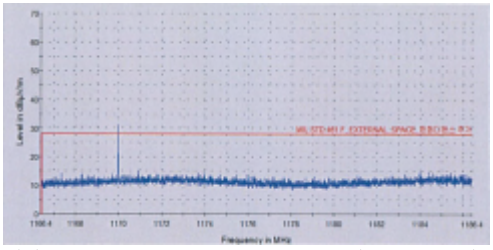
GNSS 사용 대역에서 RE102 시험 규격을 설정하기 위해서는 탑재되는 위성항법수신기에서 허용 가능한 간섭신호의 세기를 정확히 알아야 하며, 이를 위해서는 별도의 장비를 이용하여 위성항법수신기의 Jamming to Signal (J/S) 성능에 대한 시험 및 분석이 수행되어야 한다. 위성항법수신기의 J/S 성능에 따라 허용 가능한 간섭신호의 세기에 차이가 발생할 수 있으나, J/S 성능을 높이기 위하여 별도의 하드웨어나 특수한 알고리즘을 사용하지 않는 일반적인 위성항법수신기의 경우에는 유사한 J/S 성능을 나타낸다. 항공분야에서 적용되는 일반적인 규격을 살펴보면 GPS L1 대역의 경우에 -120 dBm 이상의 Continuous Wave 신호는 제한하고 있다 (RTCA-DO-229D 2006). 참고로 사용 대역 신호뿐만 아니라 사용 대역 근처에서 유입되는 잡음신호의 경우에도 세기가 크면 위성항법수신기의 동작에 영향을 줄 수 있다.

위성항법안테나를 통해 사용 대역 또는 사용 대역 근처의 잡음신호와 항법위성신호가 함께 수신되는 경우에는 위성항법수신기에서 계산되는 C/N0가 불안정하게 출렁이거나 낮아지며, 이로 인해 항법위성신호의 추적이 불안정해지고, 항법정보의 오차가 증가한다. 또한 수신된 잡음신호의 세기가 항법위성신호를 추적하지 못할 정도로 강한 경우에는 위성항법수신기가 항법정보를 정상적으로 계산하지 못하며, 심한 경우에는 위성항법안테나 또는 위성항법수신기의 RF 소자가 고장 날 수도 있다. 이와 더불어 수신 신호의 세기가 능동형 안테나의 LNA 소자가 포화될 정도로 큰 경우에도 정상적으로 동작할 수 없게 된다.
전자파시험 항목중 시험대상체(Equipment Under Test)에서 방사되는 전계 필드를 측정하여 제한된 규격을 만족하는지를 검증하는 RE102 시험 규격은 전계 강도(Electrical Field Strength, 단위: dBμV/m)로 주어져 있고, 위성항법 분야에서 제한하는 간섭 신호의 세기는 전력(Power, 단위: dBm)이므로 1:1 비교가 어려우나, 안테나의 이득이나 케이블 손실 등을 가정하고, 근사적인 방법으로 계산하면 GPS L1 대역에서의 -120 dBm은 대략 20 dBμV/m 수준이 된다. AIAA-S-121 (2009)에 주어진 GNSS 대역의 RE102 시험 규격도 20 dBμV/m로 주어져 있다.

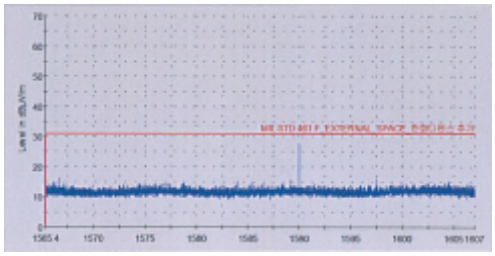
현재 한국형발사체에서는 GNSS 사용 대역에서의 RE102 시험 규격은 MIL-STD-461F (2007)에 주어진 RE102 시험규격에 Tailoring을 적용하여 다음과 같이 설정하였다.



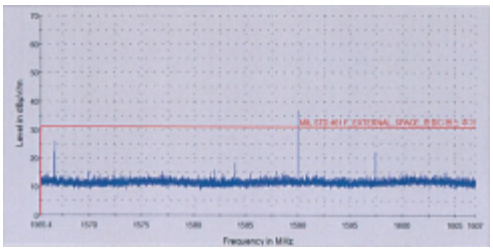
(a) Vertical polarization (L5-band)



(b) Horizontal polarization (L5-band)



(c) Vertical polarization (L1-band)



(d) Horizontal polarization (L1-band)

Fig. 1. Measuring results of RE102 over GNSS in-band.

○ L1 대역: 31 dBμV/m over 1565.42 MHz ~ 1607.00 MHz
○ L5 대역: 28 dBμV/m over 1166.45 MHz ~ 1186.45 MHz

따라서 GNSS 사용 대역에서 Tailoring이 적용된 RE102 시험 규격은 앞에서 언급한 규격보다 10 dB 정도 덜 엄격한 수준이므로 사용 대역에서 Tailoring 적용된 RE102 규격을 만족하더라도 위성항법수신기에서 신호간섭 현상이 나타날 개연성은 가지고 있다. 그러나 전자탑재물간의 거리에 따른 영향, 동체 쉴드 등에 의한 효과 및 항법위성신호의 실제 수신 세기나 위성항법수신기의 Processing Gain 등을 고려할 때 신호간섭 현상은 감소할 수 있으므로 현재 GNSS 사용 대역에서 Tailoring 적용된 규격은 적절한 수준으로 판단된다. 참고로 사용 대역에서 Tailoring이 적용된 RE102 규격에서는 Measurement Receiver의 Resolution Bandwidth (RBW)는 별도로 설정되어 있지는 않다. 그러나 RBW의 설정과는 상관없이 In-Band에서 Peak 형태로 나타나는 잡음신호나 Noise Floor보다 높이 측정되는 잡음신호는 위성항법수신기의 동작에 영향을 미칠 수 있다. 위성항법수신기 Qualification Model (QM)의 경우에는 GNSS In-Band 대역에서 10 kHz의 RBW로 측정하였다.

2. 규격이 초과된 전자탑재물

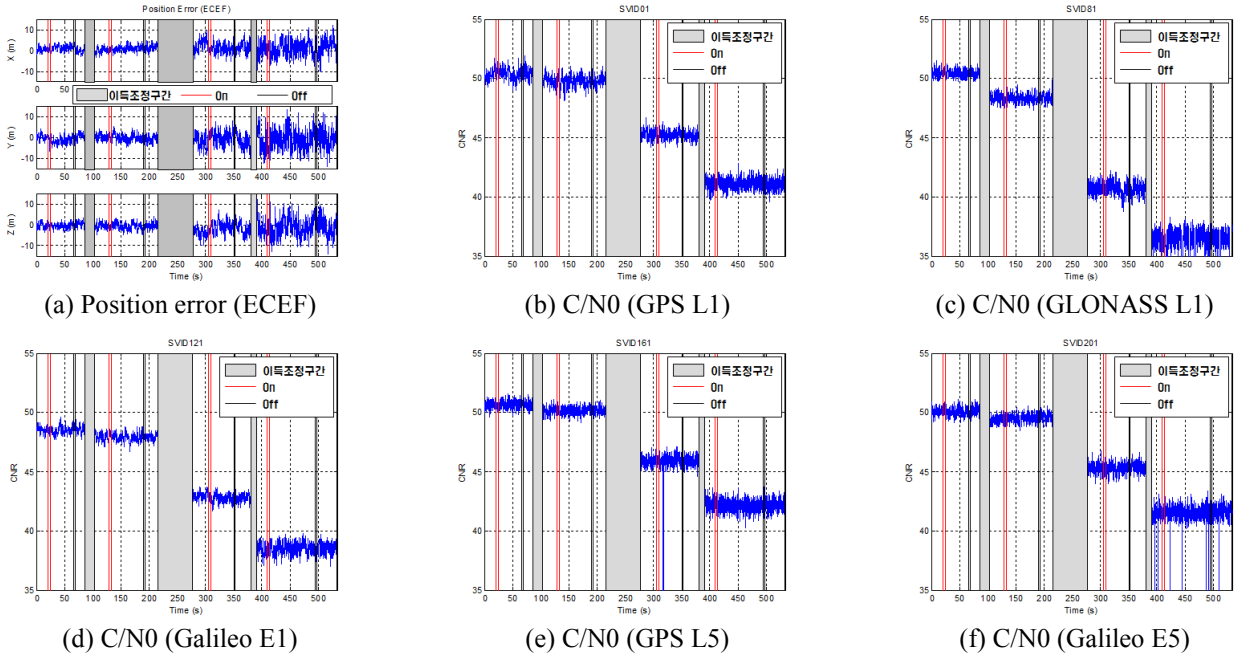
시험발사체에 탑재되는 전자탑재물은 단품 수준에서 주어진 규격을 모두 만족해야 한다. 그러나 시스템 수준에서의 환경시험을 수행하기 위한 QM의 경우에는 현재 일부 탑재물이 GNSS 사용 대역에서 정해진 규격을 만족하지 못한 상태로 체계 조립을 수행하였다. 이러한 탑재물에 대해서는 그대로 사용하더라도 문제가 없다는 기술적인 근거를 바탕으로 Waiver 처리를 한 후 다음 단계에서 규격을 만족하도록 수정 및 보완할 수 있다.

시험발사체 QM 단품에 대하여 GNSS 사용 대역에서 규격이 초과한 전자탑재물에 대하여 10 kHz의 RBW로 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 주어진 규격과 비교하여 L5 대역에서 수직편파가 최대 3.58 dB 초과하였으며, L1 대역에서 수평편파가 최대 5.65 dB 초과하였다. GNSS 사용 대역에서 초과되어 나타난 잡음신호는 한 주파수에 대해 Carrier 형태로 나타났으며, 해당 전자탑재물의 내부 Clock으로부터 발생되는 고차 Hamonic 성분에 의해 발생되는 것으로 확인되었다.

단품 수준에서의 시험과 별도로 QM 시스템 환경에서 해당 전자탑재물에 연결된 Cable Harness를 Foil 처리한 이후에도 측정해 보았으나, 단품에서 측정된 결과와 유사하게 나타났다.

3. 신호간섭의 영향성 평가

시험발사체에서 전자탑재물에 의한 위성항법수신기의 신호간섭 영향성은 시스템 수준에서의 전자파시험을 통해 검증한다. 그러나 시스템 수준에서 위성항법수신기의 신호간섭 영향성을 평가하더라도 평가에 사용된 모델이 실제 발사모델과 완전히 동일하지 않으며, 발사장에서는 시험에서 고려되지 않은 다른 전자파 환경에 노출될 수 있으므로 완벽히 검증했다고 할 수는 없다. 또한 2절에서와 같이 일부



(a) Position error (ECEF) (b) C/N0 (GPS L1) (c) C/N0 (GLONASS L1)

(d) C/N0 (Galileo E1) (e) C/N0 (GPS L5) (f) C/N0 (Galileo E5)

Fig. 2. Indoor test results.

전자탑재물은 단품에서 만족해야 하는 규격을 초과하는 경우도 있으므로 이러한 경우에는 추가적인 검증 시험이 필요하다. 이를 위하여 옥내에서 Record & Playback System (RPS)을 이용하여 수행한 시험과 옥외에서 실제 위성신호를 수신하면서 수행한 시험을 추가로 수행하였으며, 본 절에서는 이에 대한 결과를 기술한다.

3.1 옥내 시험

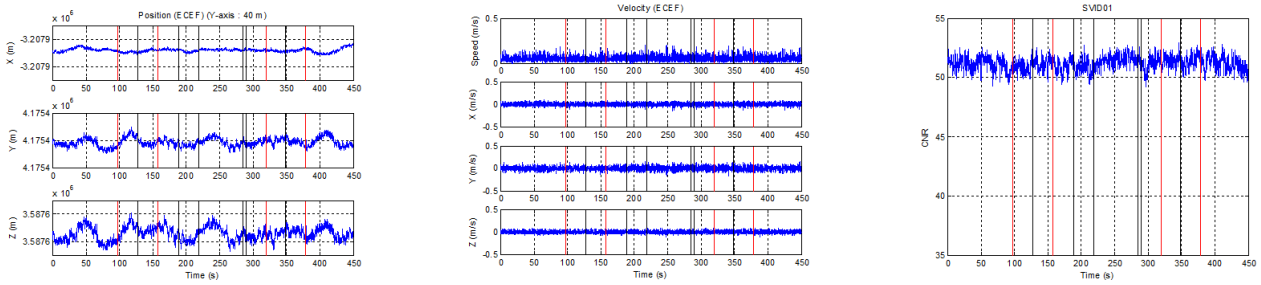
옥내에서 RPS를 이용하면 항법위성신호의 세기에 따른 신호간섭 영향성을 평가할 수 있다. 본 시험에서는 시험발사체에 모든 전자탑재물이 조립된 환경에서 RPS에서 생성된 항법위성신호의 세기를 조정한 후 규격이 초과된 전자탑재물을 운용하는 방식으로 시험한 후 C/N0에 대한 비교 분석을 통하여 신호간섭에 의한 영향이 발생하였는지 분석하였다. 항법위성신호의 세기는 위성항법수신기에서 계산된 C/N0가 실제 항법위성신호를 수신할 때 나타날 수 있는 최소 및 최대 세기의 범위에서 약 5 dB 단위로 조정하였다. 시험 전에는 외부에서 조정한 이득에 따른 위성항법수신기의 C/N0를 사전에 확인하여 해당 C/N0를 만들어주기 위한 설정 이득을 알기 위한 사전시험을 수행하였으며, 시험 중에는 위성항법수신기의 C/N0 설정 시간, 규격이 초과된 전자탑재물의 전원인가 및 차단시간을 별도로 기록하였다.

위성항법수신기에서 계산된 항법정보와 항법위성신호군별 C/N0는 Fig. 2와 같다. 위성항법안테나에서 수신되는 항법위성신호의 세기가 강한 경우와 비교하여 약한 경우에는 계산된 항법오차가 증가한다. 이러한 현상은 외부에서 송신되는 항법위성신호를 수신하여 항법정보를 계산하는 위성항법수신기의 고유한 특성이다. 이러한 특성을 감안하면 위성항법수신기는 전 구간에서 정상적으로 동작하였다. 본 시험과 같은 환경에서는 항법위성신호의 세기가 변하더라도 위성항법수신기는 GNSS 사용 대역에서 규격을 초과한 전자탑재물이 운용되더라도 영향을 받지 않는 것을 확인 할 수 있다.

3.2 옥외 시험

실제 항법위성신호를 수신할 수 있는 환경에서 규격이 초과된 전자탑재물에 의한 위성항법수신기의 신호간섭 영향성을 평가하기 위한 시험은 옥외에서 해당 전자탑재물과 위성항법수신기 및 위성항법안테나를 실제 시험발사체에서의 배치에서보다 더 가까이 위치시키고, 관련 케이블을 일렬로 배치한 후 일부분을 한 데 모아 동테이프(Copper Tape)로 감싼 후 진행하였다.

위성항법수신기에서 계산된 항법정보와 항법위성신호군별 C/N0는 Fig. 3과 같다. 실제 항법위성신호를 수신하여 시험한 결과이므로 각각의 항법위성의 C/N0가 차이가 많으며, 시험이 수행된 주변의 환경에 따라 다양한 오차 요인이 존재하고 있다. 또한 시험 중 Galileo E5 위성신호의 경우에는 추적을 하지 못하였다. 위성항법수신기는 규격이 초과한 전자탑재물이 운용될 때에 신호간섭의 영향이 나타나지 않았으며, 전 구간에서 정상적으로 동작하였다.



(a) Position (ECEF) (b) Velocity error (ECEF) (b) C/N0 (GPS L1)

(c) C/N0 (GLONASS L1) (d) C/N0 (Galileo E1) (e) C/N0 (GPS L5)

Fig. 3. Outdoor test results.

4. 결 론

본 논문에서는 시험발사체 전자탑재물에서 발생하는 잡음신호에 의해 위성항법수신기에서 발생할 수 있는 신호간섭의 영향성을 평가하였다. 특히 GNSS 사용 대역에서 정해진 규격 이상의 잡음신호가 발생된 전자탑재물과의 영향성을 평가하기 위한 시험을 기술하였다. 현 수준에서 신호간섭에 대한 영향성을 평가하기 위해 필요한 최소한의 시험을 수행하였으며, 분석된 결과는 추후 시험발사체 비행모델이나 한국형발사체에서도 도움이 될 것으로 판단된다.

위성항법수신기에서 사용하는 항법위성신호의 세기는 매우 약하므로 전자탑재물에서 발생된 규격 이상의 신호가 항법위성신호와 함께 위성항법수신기와 연결된 위성항법안테나를 통하여 수신되는 경우에는 위성항법수신기의 성능저하가 예상된다. 따라서 규격 이상의 신호가 GNSS 사용 대역이나 사용 대역 근처에서 발생하는 전자탑재물이 있는 경우에는 신호간섭에 대한 영향성 평가가 반드시 이루어져야 한다. 다행히 본 논문에서 수행된 시험 환경에서는 정해진 규격 이상의 잡음신호가 발생된 전자탑재물이 운용될 때에 위성항법수신기에서 성능저하가 발생하지 않음을 확인하였다.

모든 전자탑재물들이 단품 수준에서 주어진 전자파시험을 정상적으로 통과하고, 시스템으로 조립한 이후에 수행되는 시스템 수준의 전자파시험도 정상적으로 통과하더라도 발사장이나 실제 비행중에는 시험장과의 전자파 환경이 달라 예기치 않은 전자파 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 본 논문에서 수행된 시험들은 시스템 관점에서 살펴보면 시험 구성이나 환경이 실제 발사모델과는 차이가 있고, 발사장에서의 환경도 다르기 때문에 본 논문에서 수행된 시험만으로 충분히 검증되었다고 할 수는 없다. 그러므로 실제 운용환경에서 위성항법수신기의 신호간섭에 의한 영향성을 줄이기 위해서는 전자탑재물이 주어진 규격을 모두 만족해야 하며, 추가적인 시험 및 분석을 통해 신호간섭의 개연성이 있는 전자탑재물의 배치나 안테나의 배치를 최적으로 설계하는 것이 우선되어야 한다.

REFERENCES

AIAA-S-121, 2009, Electromagnetic Compatibility Requirement for Space Equipment and Systems, American Institute of Aeronautics and Astronautics.

MIL-STD-461F, 2007, Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment, Department of Defense Interface Standard.

RTCA-DO-229D, 2006, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System / Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA Document, Special Committee 159.

심우주 탐사에서의 GNSS 신호 가용성 분석을 위한 시뮬레이터 구현

박요한[1*], 권기호[2], 원종훈[1]
[1]인하대학교 전기공학과, [2]한국항공우주연구원

Implementation of a Simulator for GNSS Signal Availability in Deep Space Exploration

Yohan Park[1*], Ki-Ho Kwon[2], Jong-Hoon Won[1]
[2]Electrical Engineering, Inha University, [2]Korea Aerospace and Research Institute

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : pyh9049@gmail.com

Abstract: 본 논문에서는 심우주 탐사에서 Global Navigation Satellite System (GNSS) 신호 활용 가능성을 연구하고 성능을 실험하기 위하여 심우주 탐사용 GNSS 시뮬레이터를 개발한다. 심우주에서 GNSS 신호 활용 가능성을 분석하기 위해 GNSS 위성의 가시성(visibility), 위성배치상태(GDOP: geometric dilution of precision), 링크 버짓(link budget) 분석 기능을 구현하여, 이를 기반으로 탐사선에 장착된 GNSS 수신기에서의 신호 환경에 대한 분석을 실시한다.

Keywords: GNSS, simulator, deep space

1. 서 론

심우주에서의 GNSS 신호 활용 가능성에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. GNSS 위성의 고도는 약 20,000km로 이보다 높은 고도에서 GNSS 신호를 수신해야 하는 심우주탐사용 GNSS 수신기의 경우에는 천정(zenith) 방향이 아닌 천저(nadir) 방향으로 지구 반대편에서 전송되는 신호를 수신해야 한다. 이때 지구에 의해 음영효과가 발생하여 GNSS 위성 가시성이 줄어들게 된다. 따라서 심우주에서는 개별 시스템이 아닌 다중 GNSS 시스템을 활용해서 GNSS 위성 가시성을 확보해야 한다. 추가적으로 사이드로브를 활용해서 위성 가시성을 더욱 확보할 수 있다.

2. 시뮬레이터 구현

심우주에서의 GNSS 신호 활용 가능성을 분석하기 위해 MATLAB을 활용하여 시뮬레이터를 구현했다. 심우주에서의 대표적인 위성 신호 환경을 나타내는 지표인 위성 가시성, GDOP, 링크 버짓 분석 기능을 개발하여 심우주에서의 신호 환경에 대해 알아본다.

2.1 Satellite Visibility

지상 수신 환경과 심우주 수신 환경에서는 관측 가능한 위성을 판별하는 방식에 차이가 있다. 지상 환경에서는 수신기가 위치한 평면에서 위성의 고도각(elevation angle)을 계산하여 특정 각도 이상인 경우 위성이 관측 가능하다고 판별한다.

심우주 환경에서는 GNSS 위성의 메인 로브 빔 폭이 한정적이기 때문에 관측 가능한 위성인지 판별하려면 위성, 수신기, 지구의 기하학적 구조를 고려해야 한다. 이러한 기하학적 구조를 Fig. 1.에 나타냈다. GNSS 위성의 고도보다 높은 심우주에서는 지구 반대편에서 전송되는 GNSS 위성 신호를 수신해야 하며, 천정 방향이 아닌 천저 방향으로 GNSS 위성이 관측된다. 이때 지구에 의해 음영 효과가 발생하여 관측할 수 있는 신호가 매우 제한적으로 나타난다. 이로 인해 심우주에서는 관측 가능한 위성 수가 단독 측위(point positioning)를 위한 최소 기준인 4기에 미치지 못하는 구간이 발생하므로 가시위성 수에 대한 연구가 필수적이다. 이와 관련하여 GNSS 시스템을 결합하여 다중 GNSS 방식을 활용하는 연구가 진행되었다(Force 2013, Park & Won 2016).

본 연구에서는 심우주 환경의 특수한 기하학적 구조를 고려하여 가시위성 판별 기능을 구현하여 심우주 환경에 적합한 가시 위성 판별 로직을 구현했다. GNSS 위성이 지구 중심을 바라보는 방향 벡터와 GNSS 위성이 수신기를 바라보는 방향 벡터가 이루는 각도를 계산한다. 이 각도가 GNSS 위성 신호가 지구의 표면과 수직으로 접하는 각도인 13.5도보다 크고, 동시에 GNSS 위성의 빔 폭보다 작은 경우 가시위성으로 판별한다.

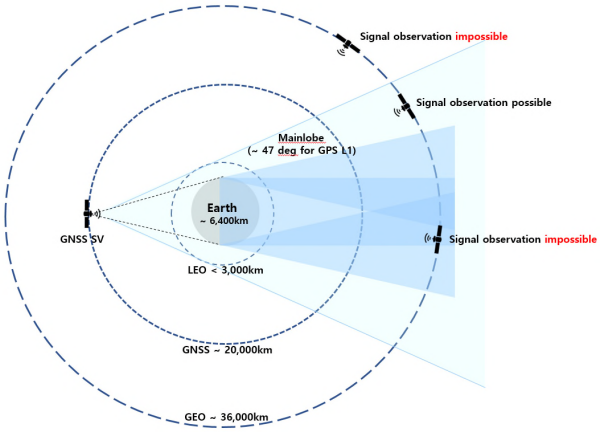


Fig. 1. The geometry of GNSS signals in geostationary orbit (Bauer et al. 2006).

2.1.1 Multi-GNSS

심우주에서는 GNSS 신호의 빔 폭 제한과 지구 음영효과로 인해 충분한 가시성을 확보하기 힘들다. 따라서 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou 등 시스템을 결합하여 다중 GNSS 방식을 활용해서 가시성을 확보해야 한다. 본 연구에서는 다중 GNSS 방식 활용 시 가시성 향상을 알아보기 위해 GNSS 시스템을 선택적으로 활용할 수 있도록 Fig. 2와 같이 구현했다. 한반도 상공 정지궤도에서의 24시간동안 관측 가능한 위성의 변화를 Fig. 3에 나타냈다. GNSS 시스템을 결합할수록 가시위성 수가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

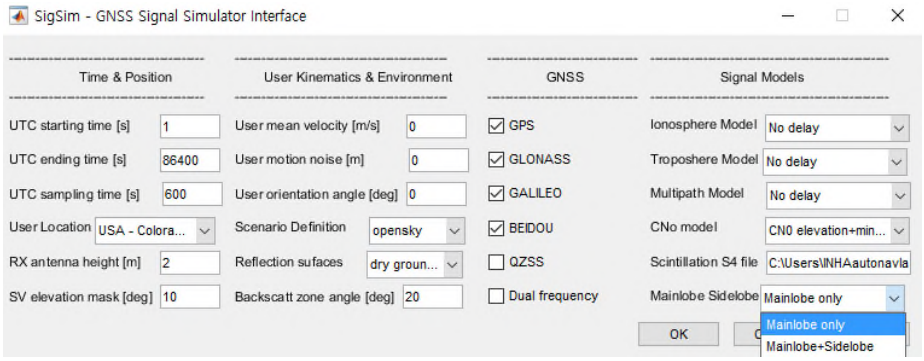


Fig. 2. Implementation of side lobe selection function in simulator.

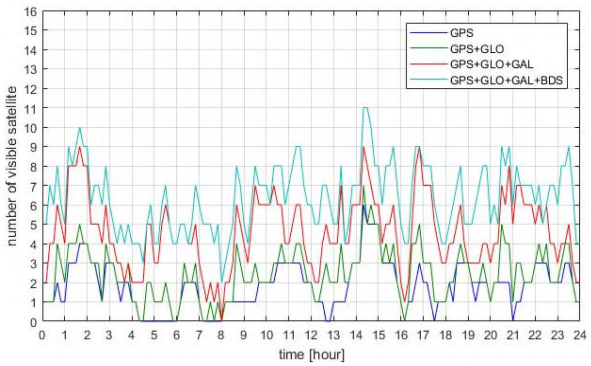


Fig. 3. GNSS satellite visibility for 24 hours in geostationary orbit above South Korea.

2.1.2 Side Lobe

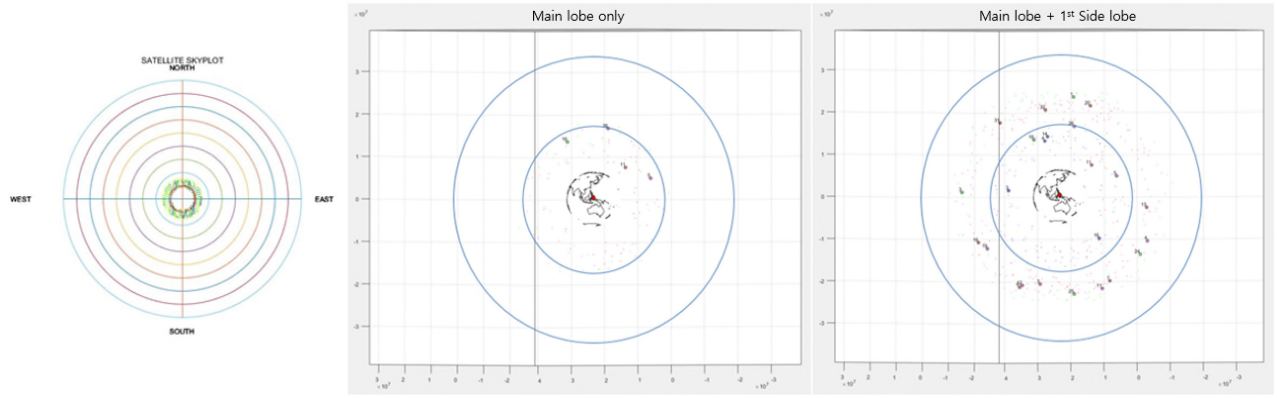
우주 환경에서 사이드 로브를 활용하여 위성 가시성을 향상시키는 방안에 대한 연구가 진행되었다(Bauer 2015). 이와 관련하여 본 연구에서는 메인 로브를 단독으로 사용하는 경우와 메인 로브와 사이드 로브를 동시에 활용하는 경우에 발생하는 가시위성 수 차이를 분석하기 위해 Fig. 2와 같이

원하는 시뮬레이션을 선택할 수 있는 기능을 구현했다.

2.2 Skyplot

GNSS 위성과 수신기 사이의 기하학적 구조를 도식적으로 확인하기 위해 스카이플롯을 출력하는 기능을 Fig. 4a와 같이 구현했다. 이를 활용하여 우주에 위치한 수신기에서 바라보는 위성의 배치 상태를 직관적으로 확인할 수 있으며, 심우주 환경에 적합하도록 설계한 가시위성 판별 기능이 제대로 구현되었는지 확인할 수 있다. 추가적으로 스카이플롯은 위성의 배치 상태를 고려하여 심우주 환경에서 GNSS 신호를 효율적으로 활용하기 위한 수신기 안테나 패턴을 설계하는데 활용할 수 있다.

Fig. 4b는 메인 로브를 단독으로 활용했을 시의 위성 배치 상태를 나타내며, Fig. 4c의 경우 메인 로브와 첫번째 사이드 로브를 같이 사용하는 경우 위성 배치 상태를 나타낸다. 이를 통해 사이드로브 활용할 때 가시위성이 증가하고 GDOP이 개선된다는 것을 확인할 수 있다.



(a) (b) (c)

Fig. 4. Skyplot for 24 hours in geostationary orbit above South Korea.

2.3 Geometric Dilution of Precision

지상 환경의 경우 다수의 위성이 관측 가능하고 위성이 넓게 분포되어 있기 때문에 개활지의 경우에는 GDOP이 2~3 정도로 낮게 나타난다. 심우주 환경에서는 위성들과 수신기가 60,000km 이상 떨어져 있기 때문에 관측 가능한 모든 위성들이 천저 부근에서 나타난다. 이로 인해 GDOP이 지상 환경에 비해 매우 높게 나타난다. GDOP이 높을수록 단독 측위 시 위치 오차가 증가하기 때문에, 심우주 환경에서 GNSS 신호를 활용하려면 GDOP 성능에 대한 분석이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 GNSS 위성과 수신기의 위치 정보를 활용하여 GDOP을 계산하여, 시간에 따른 변화와 평균을 동시에 나타내는 기능을 Fig. 5와 같이 구현했다.

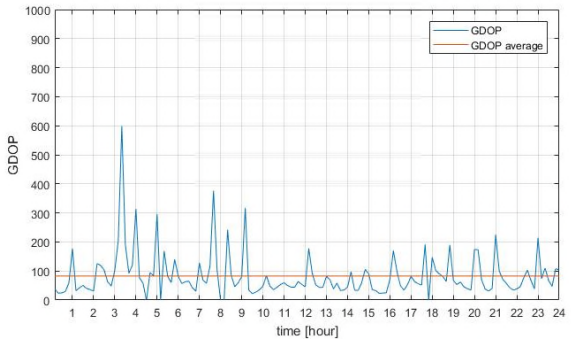


Fig. 5. GDOP for 24 hours in geostationary orbit above South Korea.

2.4 Link Budget

GNSS 위성과 수신기 사이의 거리가 멀어지면서 자유 공간 손실(free space loss)이 증가한다. 그리고 GNSS 위성의 송신 빔 패턴이 지상의 사용자를 중심으로 설계되었기 때문에 지구 건너편으로 전송되는

신호는 안테나 이득을 크게 얻지 못한다. 이로 인해 심우주에서의 GNSS 신호는 지상에서보다 신호 강도가 낮게 나타난다. 따라서 심우주에서의 GNSS 신호 활용 가능성에 대해 분석하려면 링크 버짓 분석을 실시하여 신호 환경을 분석해야 한다.

본 연구에서는 기저대역 레벨에서의 링크 버짓 시뮬레이터를 구현했다. Fig. 6은 한반도 상공 정지궤도에서의 링크 버짓 시뮬레이션 결과다. 여기서 x축은 천저 방향에서부터 떨어진 각도를 의미하는데, 천저 부근에서 신호가 관측되지 않는 것은 지구 음영 효과에 의한 결과이며, 특정 각도 이후로 신호가 관측되지 않는 것은 빔 폭의 한계에 의한 결과다.

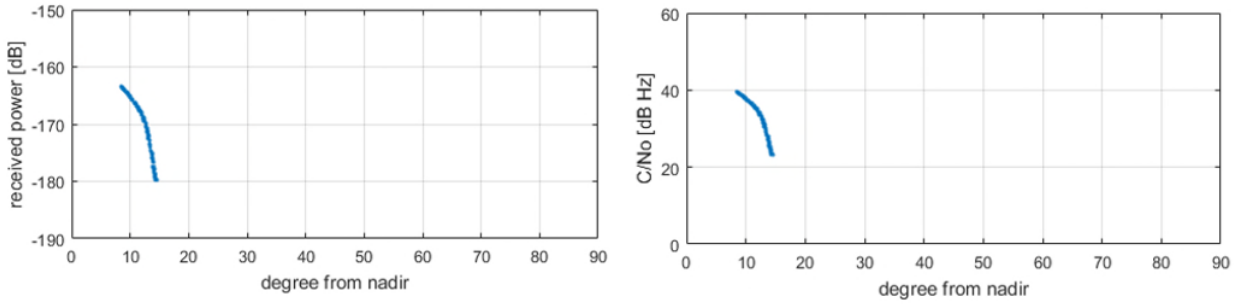


Fig. 6. Link budget for 24 hours in geostationary orbit above South Korea.

3. 결 론

본 논문에서는 심우주 탐사에서의 GNSS 신호 가용성 분석을 위해 구현한 시뮬레이터에 대해 알아보았다. 심우주에서 특수한 기하학적 구조를 반영하여 시뮬레이터를 구현했으며, 다중 GNSS 활용 및 사이드 로브 활용을 통해 위성 가시성을 향상시켰다. 또한 대부분의 위성이 천저 부근에서 관측되기 때문에 GDOP에 대한 연구가 필수적이므로, 위성과 수신기의 위치 정보를 활용하여 GDOP를 계산하도록 시뮬레이터를 구현했다. 마지막으로 기저대역 레벨에서의 링크 버짓 분석 기능을 구현하여 심우주에서의 수신 신호 환경에 대해 알아보았다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 우주기술개발 사업의 일환입니다(과제번호: 2017M1A3A9014637).

REFERENCES

Bauer F. H. 2015, GPS Space Service Volume (SSV) Ensuring Consistent Utility Across GPS Design Builds for Space Users, 15th PNT Advisory Board Meeting June 11, 2015

Bauer, F. H., Moreau, M. C., Dahle-Melsaether, M. E., Petrofski, W. P., Stanton, B. J., et al., 2006, The GPS Space Service Volume, ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division, 26-29 September 2006, Fort Worth, TX

Force, D. A. 2013, Navigation Performance of Global Navigation Satellite Systems in the Space Service Volume, Proceedings of the 26th International Technical Meetings of the ION Satellite Division, ION GNSS+ 2013, Nashville, Tennessee, September 16-20, 2013

Park, Y. & Won, J.-H. 2016, GNSS Signal Use in Space Service Volume, Proceeding of Korean GNSS Society Conference, November 2-4, 2016, Jeju, South Korea

PMF 기반 지형참조항법의 성능 향상을 위한 측정치 갱신 여부 판단 기법
A Measurement Update Decision Criterion for Performance Improvement of PMF Based TRN

박정민, 전현철, 박용곤종, 박찬국*
Jungmin Park, Hyun Cheol Jeon, Yong Gon Jong Park, Chan Gook Park*
서울대학교 기계항공공학부, 자동화시스템 공동연구소
Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University/ASRI

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 PMF 기반 지형참조항법의 성능을 향상시키기 위해 측정치 갱신 여부를 판단하는 기법을 소개한다. 칼만 필터 기반의 지형참조항법에서는 정규 분포를 가정하기 때문에 추정 오차 공분산은 측정치 갱신에 의해 항상 감소한다. 그러나 PMF 기반 지형참조항법의 경우 비정규 분포를 반영하기 때문에 경우에 따라 PMF에 의해 추정되는 TRN 오차 공분산은 측정치 갱신 이후에 오히려 증가할 수 있다. 이는 측정치 갱신 이전 항법해의 오차가 갱신 이후보다 작을 확률이 높음을 의미한다. 따라서 이러한 경우에 갱신 이전의 항법해를 사용함으로써 TRN의 성능을 향상시켰다.

Keywords: point mass filter, terrain referenced navigation, measurement update

1. 서 론

Point Mass Filter (PMF)는 그리드를 기반으로 하는 비선형 필터로, 지형의 비선형성을 반영하는 데 탁월해 지형참조항법(Terrain Relative Navigation, TRN)에 사용되어왔다(Copp & Subbarao 2016). PMF는 칼만 필터와 같이 측정치 모델의 선형화가 필요한 필터들과는 달리, multi-modal likelihood 등 복잡한 형태의 likelihood를 그리드의 확률 분포에 반영한다. 따라서 때에 따라 측정치 갱신 전에 비해 측정치 갱신 후 항법해의 오차 공분산이 증가하게 된다. 기존의 PMF 기반 지형참조항법에서는 이러한 상황에서도 갱신 후의 항법해를 무조건 가장 좋은 것으로 보았다. 그러나 측정치 갱신 후 오차 공분산이 커지는 경우, 오차 공분산이 작았던 갱신 이전의 항법해를 믿는다면 기존의 방식보다 더 좋은 성능을 낼 수 있다.

2. 측정치 갱신 여부 판단 기법

2.1 PMF 기반 지형참조항법

PMF 기반 지형참조항법은 크게 세 가지 단계로 나눌 수 있다(Yoo & Park 2015). 시스템 모델 전파(System Model Propagation) 단계에서는 관성 항법에 의해 점 질량들(point masses)을 평행이동 시킨다. 각 점 질량들은 해당 점 질량의 위치가 항체의 실제 위치가 될 확률을 담고 있다. 그리드 재정의(Grid Redefinition)와 예측(prediction) 단계에서는 평행이동 된 그리드에 점 질량들을 재배치 시킨다. 이때 사용자가 그리드의 크기나 해상도를 임의로 설정할 수 있다. 마지막으로 측정치 갱신(measurement update) 단계에서는 정의된 그리드 영역에서의 likelihood를 계산하고 갱신 이전의 확률 분포(prior distribution)와 곱하여 갱신된 확률 분포(posterior distribution)를 얻는다.

PMF에서 추정 위치의 오차 공분산은 식 (1)과 같이 구할 수 있다(Bergman et al. 1999). 여기서 $\mathbf{x}_i$는 i번째 점 질량의 위치, $p(\mathbf{x}_i)$는 i번째 점 질량의 확률값을 의미하고, $\mathbf{x}_{true}$는 실제 항체의 위치, $\hat{\mathbf{x}}$는 추정위치이다.

$$Cov(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_{true}) \approx \sum_i p(\mathbf{x}_i)(\mathbf{x}_i - \hat{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_i - \hat{\mathbf{x}})^T \quad (1)$$

2.2 제안 알고리즘

칼만 필터에서는 측정치 갱신 후 갱신 전에 비해 항상 추정 위치의 오차 공분산이 작아지기 때문에 갱신을 하는 것이 항상 항법해의 정확도를 높인다고 보게 된다(Simon 2006). 그러나 PMF에서는 측정치

모델의 비선형성 때문에 때에 따라 측정치 갱신에 의해 식 (1)로 주어지는 오차 공분산이 증가하기도 한다. 갱신을 통해 오차 공분산이 증가할 때에는 갱신 전의 항법해(사전 항법해, prior estimate)를 사용하고, 반대로 갱신에 의해 오차 공분산이 감소할 때에는 갱신 후의 항법해(사후 항법해, posterior estimate)를 사용하여 항법 성능을 향상시킬 수 있다.

3. 시뮬레이션

임의의 비행 궤적에 대해 기존 방식과 제안한 방식을 시뮬레이션하여 비교해보았다. 자이로 바이어스는 항법급에 해당하는 0.01deg/rt-hr (1σ), 레이더 오차는 고도의 약 0.2%에 해당하는 2m (1σ), 기압계의 오차는 그보다 좀 더 큰 수준인 10m (1σ)로 설정하였으며 Digital Elevation Map (DEM) 오차는 무시할만한 수준이라고 가정하였다.

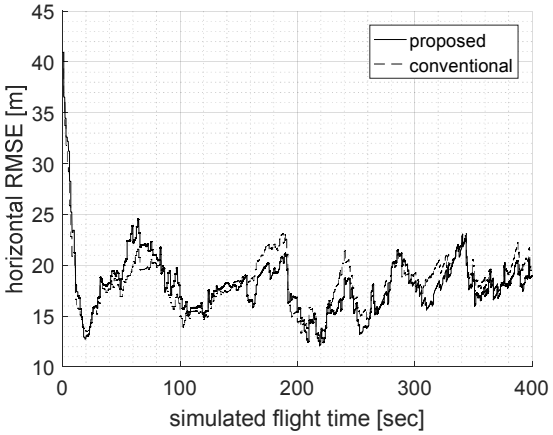


Fig. 1. RMSE comparison.

50번의 몬테칼로 시뮬레이션 수행 결과, 제안한 방식대로 갱신을 통해 오차 공분산이 감소할 경우에만 측정치 갱신을 하였을 때, 기존의 매 측정 주기마다 갱신하던 방식에 비해 RMSE가 평균적으로 작아지는 것을 Fig. 1과 같이 확인할 수 있었다.

4. 결론

PMF 기반 지형참조항법의 갱신 단계에서, 오차 공분산의 증가 여부에 따라 측정치 갱신 여부를 판단한 결과, 항법 성능이 향상됨을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 식 (1)과 같이 추정한 공분산 또한 추정값일 뿐 실제 공분산과는 근사적으로만 일치하는 것이므로 해당 방법이 항상 성능을 향상시킨다는 보장은 없다. 본 논문에서 제안하는 측정치 갱신 여부 판단 기법은 알고 있는 확률 분포로부터 갱신 여부를 판단할 수 있기 때문에 적용(implementation)이 간단하다는 점, 그리고 그러한 방식으로 항법 성능 향상의 여지가 있다는 점에서 효용 가치가 있다. 추후에는 레이더 고도계 등 센서 사양에 따른 성능을 비교해볼 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소에서 시행 중인 “고고도 운용 지형대조항법 성능 향상 기법 연구” 의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

Bergman, N., Ljung, L., & Gustafsson, F. 1999, Terrain Navigation using Bayesian statistics, IEEE Control Systems, 19, 33-40. https://doi.org/10.1109/37.768538

Copp, B. L. & Subbarao, K. 2016, Augmenting Wireless Time-of-Arrival Positioning with Terrain Elevation Measurements for Navigation in absence of GPS, in AIAA GNC Conference, San Diego, California, USA, 4-8 January 2016. https://doi.org/10.2514/6.2016-1871

Simon, D. 2006, Optimal State Estimation: Kalman, H∞, and Nonlinear Approaches (New Jersey: John Wiley & Sons)

Yoo, Y. M. & Park, C. G. 2015, Improvement of Terrain Referenced Navigation using a Point Mass Filter with Grid Adaptation, International Journal of Control, Automation, and Systems, 13, 1173-1181. https://doi.org/10.1007/s12555-013-0410-4



[C2] 재밍과 교란 1

항법메시지 인증 기반의 위성항법신호 연구 동향

박준후[1], 이장용[2*], 류재철[1]
[1]충남대학교 컴퓨터공학과, [2]국방과학연구소 3본부 4부

Navigation Message Authentication Based GNSS Research Trends

Junhoo Park[1*], Jangyong Lee[2], Jaecheol Ryou[1]
[1]SDepartment of Computer Engineering, CNU, [2]The 3rd R&D Institute-4, ADD

주소 : 대전 유성구 궁동 충남대학교 공대 5 호관 630 호
연락처 : 042-821-7443 이메일 : junhpark@cnu.ac.kr

Abstract: 민간 분야의 위성항법신호에서 발생 가능한 기만 공격에 대한 대응책 중 하나인 인증은 암호를 이용하여 수신된 신호가 위성에서 송신되었음을 증명하는 기법이다. 신호에 인증을 적용하기 위해서 고려해야 할 사항으로 인증 알고리즘, 인증 값의 크기, 인증 값이 삽입될 공간으로 구분 할 수 있으며, GPS, Galileo를 대상으로 민간 신호에 인증을 적용하는 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 인증을 기반으로 하는 신호에 대한 동향으로 위성항법신호에 인증 기능을 제공하기 위해 제안된 방법들을 분석하고 최종적으로 이를 평가하기 위해 제시된 프레임워크를 소개한다.

Keywords: authentication, NMA, cryptography

1. 서 론

GPS, Galileo를 비롯한 위성항법시스템은 사용자의 위치, 항법, 시간을 필요로 하는 분야에서 널리 쓰이고 있으며, 현대화 계획에 의해 정확도와, 정밀성을 더해 가며 이후 더 많은 곳에서 사용될 것으로 예상된다. 하지만 위성항법신호는 약한 전력으로 인해 전파 간섭과 공격에 매우 취약한 특징을 가지고 있다. 실제로 기만 공격과 같이 신호의 데이터를 변경하여 전송하는 기법이 항해중인 선박의 경로를 바꾸거나, 드론의 위치변경으로 제한된 구역에 침투하는 등과 같은 다양한 공격 시나리오를 통해 피해를 줄 있음이 Shepard et al. (2012)에 증명되었다. 따라서 악의적인 목적을 가지고 있는 기만공격은 위성항법시스템의 안전성을 위해 해결 되어야 할 문제이고, 이에 대응하기 위한 많은 관련 연구가 진행되고 있다.

기만 공격에 대한 대응 방안으로는 신호의 전력의 크기 및 변화율을 통한 감지 방법, 코드와 반송파의 변화율 비교, 도플러 변화량 검사, 신호의 일관성 체크, Angle of Arrival 판별 등 여러 가지 방법들이 연구되었다. 이 가운데 항법 신호의 인증 기법은 신호의 수정을 요구하지 않고 시스템의 설계 요소를 최소화한 방법으로 GPS C/A, Galileo OS와 같은 민간 신호에 도입이 검토되고 있으며 이와 관련한 논문 (Hemphreys 2013, Curran et al. 2014, Caparra et al. 2016)에 제시된 바 있다. 본 논문에서는 신호를 설계할 때 인증에 필요한 암호 메커니즘을 구현하여 위성항법시스템에 적용한 연구와 평가 기법들을 기술한다. 본 논문의 구성은 2장에서 항법 신호 공격에 대한 유형을 분류하고 3장에서 인증 기법을 소개한다. 4장에서는 인증이 적용된 위성항법신호의 성능을 평가할 수 있는 프레임워크를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 항법 신호 공격과 인증의 필요성

민간 신호의 경우, 확산코드가 공개되어 있기 때문에 위성과 수신기간의 거리 측정에 사용되는 시간을 조작하는 미코닝 공격과 같은 형태의 기만공격이 발생할 수 있으며, 항법메시지를 변조하여 수신기의 측위 계산을 조작하는 유형의 공격도 발생시킬 수 있다. 따라서 확산코드 레벨에서 지연되는 시간을 검출하기 위한 기법과 데이터 레벨인 항법메시지의 변조 유무를 검사하는 메커니즘이 필요하다. 특히, 항법메시지에는 전송 시작을 나타내는 preamble, 항법메시지를 생성한 위성을 나타내는 PRN, 현재 시간을 계산할 수 있는 Time of Week, 신호 획득 시 측정되는 의사거리를 보정하는 데 쓰이는 시계 보정 계수, 위성의 위치정보를 계산하는데 사용되는 ephemeris 데이터, 다른 위성의 대략적인 상태정보를 나타내는 almanac 데이터 등이 포함된다. 공격자는 데이터를 의도적으로 조작하여 알려진 확산코드로부터 신호를 생성하여 수신기에 인가하는 기법을 사용할 수 있다. 따라서 기본적으로 데이터의 변경 유무를 검사하는 무결성 확인 과정과 송신자가 공격자가 아닌 위성임을 증명할 수 있는 방법이 필요하다.

항법메시지 인증 기법은 데이터의 의도적인 변조를 검출하기 위한 기법으로 사용될 수 있다.

항법메시지의 무결성을 위한 기본적인 방법으로 사용되는 CRC, FEC 기법 등은 수신 과정에서 발생한 오류를 검출하기 위한 것으로 암호학적인 무결성 검증을 의미하지는 않는다. 이는 항법메시지를 변조하고자 하는 공격자가 데이터 변조와 함께 무결성 검증 데이터도 함께 변조할 경우 수신과정에서 검출할 수 없기 때문이다. 반면에 기만공격과 같은 악의적인 목적에 의한 무결성 검증은 암호에 기반한 인증 절차를 구성하여 신호가 위성에서 온 것임을 증명하는 근원지 인증, 송신측에서 보낸 데이터와 동일하다는 데이터의 무결성 검증이 동시에 수행되어야 한다. 이를 위해 인증은 위성만이 가지고 있는 개인키로 서명하거나, 수신기와 사전에 공유된 비밀 키를 이용하여 데이터에 부가적인 값을 추가하며 이 값은 공격자가 암호 키를 모르기 때문에 기만 공격에 사용하기 위해서 생성할 수가 없으므로 수신기에서 위성에서 송신된 신호 임을 증명할 수 있다. 따라서 기만 공격을 대응하기 위한 민간 신호 설계에 있어 항법메시지 인증은 필수적인 요소라고 할 수 있다.

하지만 항법메시지 인증이 미코닝 공격과 같은 신호를 검출할 수 있는 기법은 아니다. 미코닝 공격은 위성에서 송출한 신호를 수집하여 그대로 재송신 하는 기법으로 인증 값 또한 그대로 재전송되기 때문에 수신기에서 검출할 수가 없다. 이에 대응하기 위해서는 미코닝에서의 코드 레벨의 지연시간을 검출해낼 수 있는 타임스탬프, 혹은 논스 값 등을 추가하는 기법에 같이 병행되어야 한다. 하지만 인증의 주요 목적은 신호의 무결성과 근원지 인증이기 때문에 코드레벨의 지연 부분까지 검출할 용도로 사용되지 않으며, 주로 항법메시지에만 적용되는 것이 일반적이다. 유럽의 위성항법시스템 갈릴레오 신호에서도 민간 신호의 경우 항법메시지 인증을 위한 제안과 연구 동향에서도 항법메시지 인증은 데이터 레벨에만 적용되고, 미코닝 공격을 위한 대응책으로는 포함시키지 않는다.

3. 위성항법신호 인증 기법

암호학적으로 보호란 보호하고자 하는 대상을 암호화함으로써 인가되지 않은 사용자, 즉 암호 키를 가지고 있지 않은 사용자의 접근을 제어 하는 것을 의미한다. 위성항법시스템에서 신호는 반송파, 확산코드, 항법메시지로 구성되어 있다. 항법신호에 대하여 암호학적 관점에서 접근할 때에 암호화의 대상은 확산코드와 항법메시지 두 가지로 나눌 수 있다.암호화란 사전에 송·수신자 간에 암호알고리즘에 사용되는 키를 공유하고, 이후 대상 데이터를 암호화하여 보내면 복호화 키를 가지고 있는 수신자만이 해독을 할 수 있게 한다. 암호화는 적용방법에 따라 사전 공유한 비밀 키를 사용하여 데이터를 암호화함으로써 기밀성을 제공하거나, 데이터를 암호화함으로써 생기는 다이제스트를 메시지에 추가하여 올바른 송신자가 보냈다는 것을 확인하는 인증을 제공할 수 있다. 본 장에서는 확산코드와 항법메시지에 적용되는 암호화를 통해 신호에 적용되는 기법을 분석한다.

3.1 Spreading Code Encryption (SCE)

SCE는 코드레벨에서 확산코드를 암호화 하는 기법이다. 가장 기본적인 신호의 보호 방식으로 GPS의 군용 신호인 P(Y) 코드에서 사용하는 신호의 기밀성을 보장하는 방법이다. 공개되지 않은 Y-code를 이용한 암호화를 통하여 일반 사용자의 신호에 대한 접근을 제한한다. 키를 사용하여 의사난수 비트열을 생성하고 코드를 암호화하면, 키를 가진 인가된 사용자만이 수신 단말에서 암호화에 사용된 코드를 생성해 낼 수 있으므로 신호의 복호화를 수행할 수 있다. SCE를 적용할 때, 외부로에 공개되지 않는 키에 대한 관리를 위해 수신 단말에서 암호화모듈이 별도로 필요하다.

3.2 Navigation Message Authentication (NMA)

Wullems et al. (2005)에서 정립된 NMA 기법은 항법메시지에 위성의 고유한 키를 사용하여 생성한 인증 값을 덧붙여 송신한다. 사용자가 신호를 수신하면, 항법메시지를 이용하여 인증 값을 생성해낸다. 이후, 실제 수신한 인증 값과 비교를 통하여 항법메시지가 위성에서 온 것임을 증명하는 기법이다.

Pozzobon et al. (2013)에서 개발한 테스트베드에서는 NMA 기법을 사용할 때 빠른 인증 방식과 느린 인증 방식으로 나누어 실험을 하였다. 빠른 인증 방식의 경우, HMAC 기반의 대칭키 암호화를 사용하여 인증 값을 생성한다. 이 방식은 갈릴레오 신호에서 매 페이지-2초 마다 항법메시지 인증이 가능하다. 대칭키 암호화를 사용할 경우 SCE를 적용할 때처럼 수신기 내부에 별도로 암호화 모듈의 설치가 필요한점을 개선하기 위해서 TESLA 알고리즘을 이용하는 기법이 제안되었다. TESLA 알고리즘은 대칭키로부터 해시 알고리즘을 이용하여 여러 개의 키를 생성 후 각 키를 이용하여 HMAC 값을 생성하여 역순으로 항법메시지에 삽입하여 전송한다. HMAC 알고리즘을 사용하면 보안강도를 낮추면서 최상위 비트만 잘라서 전송하여 무결성을 검증하는 것이 가능하여, 인증 값의 주기동안 인증 값이 전수조사 불가능하면 공격자가 다음 hmac 값을 유추할 수 없다. 이는 특정 시간동안 대칭키 알고리즘을 비대칭키와

같은 효과를 낼 수 있도록 하여 수신기에 보안 모듈이 따로 필요하지 않도록 하는 방법이다. 느린 인증 방식은 전자서명 알고리즘을 사용한 공개키 암호 인증 방식으로 갈릴레오 신호 메시지의 서브프레임-30초 마다 메시지를 인증 할 수 있다.

3.3 Public Spreading Code Authentication (PubSCA) & Private Spreading Code Authentication (PrivSCA)

Scott (2003)이 제안한 방법으로 NMA에 더해서 추가적인 코드를 확산코드에 삽입하는 방법이다. 확산코드에 삽입된 인증목적의 코드를 Spread Spectrum Security Code(SSSC 또는 SC)라고 하며, 위성에서는 메시지 스케쥴링에 따라 인증 시기를 결정하고 코드에 SC를 삽입하여 신호를 전송한다. 전송되는 항법메시지 인증 값은 수신기에서 SC 레플리카(Replica)를 생성하는 시드(Seed) 값으로 사용된다. 수신단말에서 생성한 SC 레플리카와 수신된 신호의 SC의 상관관계를 통하여 인증을 검증한다. PrivSCA의 경우에는 수신기에서 SC 레플리카를 생성하는데 비밀 키를 사용하므로 별도의 암호화된 모듈이 필요하게 된다.

3.3 Signal Authentication Sequence (SAS)

Pozzobon (2011)에 의해 제안된 SAS 인증 방식은 PRN코드를 스트림암호와 modulo-2 연산을 하여 전송한다. 위성은 스트림암호의 시간, 길이 등을 포함한 SAS 정보를 개방 신호의 항법메시지에 삽입하여 암호화된 신호와 함께 송신한다. 수신기에서는 개방 신호로부터 스트림암호가 들어가는 시기와 길이에 대한 정보가 포함된 SAS정보를 받고, 암호화된 코드와 상관관계를 통해 인증을 평가할 레플리카를 생성한다. 이때 공격자는 스트림암호를 생성할 때 필요한 키를 가지고 있지 않으므로 SAS를 생성할 수 없기 때문에, 수신기에서 암호화된 신호의 상관관계를 측정하여 신호가 위성에서 왔다는 것을 인증을 할 수 있게 된다.

4. 인증 성능 평가 프레임워크

인증 기법은 기만공격에 대응하기 위한 한 가지 방법으로 조작된 신호의 탐지율이 주 평가 요소였다. 하지만, 신호 설계 관점에서 측위 파라미터와 함께 인증 값을 삽입하는데 있어 미치는 영향을 고려할 필요가 있으며, 시스템 설계에 미치는 영향을 나타낼 수 있는 평가지표가 Fernández et al. 2014 제시되었다. 평가지표는 Fig. 1과 같이 측위에 영향을 미치는 요소 중 항법메시지에 삽입되는 인증 값의 크기(NNA)로 인해 어떤 영향을 미치는지를 나타낸다.

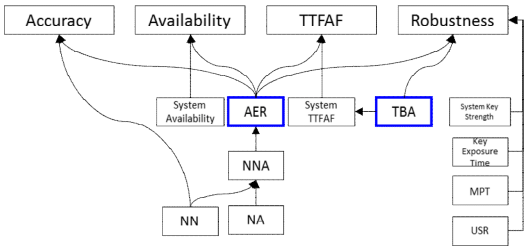


Fig. 1. Authentication performance framework.

인증을 위해 사용되는 값(NNA) 중 단일 비트 오류에 의해서도 인증 실패가 발생한다. 따라서 성공적으로 인증 절차가 수행되기 위해서는 채널 환경에 대한 BER이 인증 성공률에 영향을 미치며 인증 성공률을 나타내는 지표로 AER이 사용된다.

$$AER = 1 - (1 - BER)^{NNA} \quad (1)$$

또한 인증을 위해서 걸리는 시간(TBA)는 두 인증 시점 간의 시간을 나타내며 평균 TBA는 다음과 같다. 평균 인증 시간이 짧을수록 기만 공격에 대한 탐지가 빠르기 때문에 주요 성능 중에 하나이며, TBA는 인증 기능이 있는 신호로부터 서비스 및 제어를 얼마나 빠르게 실행 시킬 수 있는가에 대한 지표로 활용될 수 있다.

$$\overline{TBA} = \frac{TBA}{1 - AER} \quad (2)$$

TBA는 위성으로부터 신호를 획득하여 최초 인증 시점을 나타내는 Time To First Authenticated Fix (TTFAF)에 영향을 미치며 아래와 같이 도출된다. TTFAF는 수신기가 최초로 인가된 신호를 통하여 암호 키를 획득하는데 영향을 미친다.

$$\overline{TTFAF} = \frac{TBA}{2} + \overline{TBA} \quad (3)$$

5. 결론

본 논문에서는 기만공격과 같은 데이터 위변조 공격에 대비하여 항법신호의 무결성과 근원지 인증에 필요한 인증 기법을 적용한 연구 동향에 대하여 살펴보았다. 민간 신호의 경우, 기만 대응을 위해서는 확산코드 레벨에서의 대응과 더불어 데이터 레벨의 인증이 필수요소이다. SCE와 같은 경우는 GPS P(Y) 신호를 비롯한 군 신호에 적용될 수 있는 인증 기법이다. NMA는 민간 신호인 GPS C/A, Galileo OS 등에서 도입이 제기되고 있고 관련 연구들이 진행되고 있다. 특히 NMA는 TESLA 알고리즘과 함께 적용되어 민간 수신기에 특별한 보안 모듈 없이 빠른 인증을 할 수 있을 것으로 예상된다. 인증 성능 평가 프레임워크를 통해서 인증 요구사항을 만족하기 위해서는 암호 알고리즘으로부터 인증 기법뿐만 아니라 항법메시지에 삽입되는 공간에 따라 성능에 차이가 발생함을 확인하였다. 최종적으로 인증을 위한 암호 알고리즘, 인증 값을 위한 보안 강도, 적용을 위한 항법메시지 공간이 인증 기법을 적용하기 위해 고려해야 하는 중요 요소라는 결론을 내릴 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Caparra, G., Sturaro, S., Laurenti, N., Wullems, C., Ioannides, R.T. 2016, A Novel Navigation Message Authentication Scheme for GNSS Open Service, Proceedings of the 29th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2016, At Portland, Oregon, USA, pp.2938-2947

Curran, J. T., Paonni, M., & Bishop, J. 2014, Securing the Open Service: A Candidate Navigation Message Authentication Scheme for Galileo E1 OS, European Navigation Conference GNSS 2014, Apr 22, 2014, At Rotterdam

Fernández-Hernández, I., Rijmen, V., Seco-Granados, G., Simón, J., Rodríguez, I., et al. 2014, Design Drivers, Solutions and Robustness Assessment of Navigation Message Authentication for the Galileo Open Service, Proceedings of the International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, September 8-12, 2014, Tampa Convention Center, Tampa, Florida, pp.2810-2827

Humphreys, T. E. 2013, Detection Strategy for Cryptographic GNSS Anti-Spoofing, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 49, 1073-1090. https://doi.org/10.1109/TAES.2013.6494400

Pozzobon, O. 2011, Keeping the spoofs out: Singal authentication services for future GNSS, Inside GNSS, 05/06 2011, pp.48-55

Pozzobon, O., Sarto, C., Chiara, A. D., Pozzobon, A., Giovanni, G. et al. 2013, Developing a GNSS position and timing authentication testbed: GNSS vulnerability and mitigation techniques, Inside GNSS, 01/02 2013, pp.45-52 http://www.insidegnss.com/auto/janfeb13-POZZOBON.pdf

Scott, L. 2003, Anti-spoofing and authenticated signal architectures for civil navigation systems, Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2003, At Portland, Oregon, pp.1542-1552

Shepard, D. P., Humphreys, T. E., & Fansler, A. A. 2012, Evaluation of the vulnerability of phasor measurement units to GPS spoofing attacks, International Journal of Critical Infrastructure Protection, 5, 146-153. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2012.09.003

Wullems, C., Pozzobon, O., & Kubik, K. 2005, Signal Authentication and Integrity Schemes for Next Generation Global Navigation Satellite Systems, Proceedings of the European Navigation Conference, GNSS, 2005, Munich, Germany, pp.1-10

동적 환경에서 GPS 재밍효과 감쇄를 위한 벡터추적루프 기반 수신기 성능 평가

천왕성*, 원종훈
인하대학교 전기공학과

Performance Evaluation of a Vector-Tracking-Loop for GPS Jamming Effect Mitigation under Dynamic Environments

Wang-Seong Cheon*, Jong-Hoon Won
Electrical Engineering, Inha University

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : 57_34@naver.com

Abstract: 최근 스마트 기기들을 이용하는 서비스가 늘어나며 사용자도 또한 증가하고 있다. 그에 따라 시간 및 위치 정보를 필요로 하는 서비스도 늘고 있다. 그러나 GPS 수신기는 원거리에서 보내어진 위성 신호를 사용하고 수신된 신호의 세기가 미약하여 재밍(jamming)에 취약하다. 본 논문에서는 이와 같은 위성항법시스템을 이용하는 기기들을 위한 항재밍(anti-jamming) 기술로 벡터추적루프(vector tracking loop)에 기반한 GPS 수신기를 구현하고, 항체가 운동상태(rotated)일 때의 벡터추적루프 기반 수신기의 성능을 검증/분석한다. 벡터추적루프의 항법 성능을 스칼라추적루프와 시뮬레이션을 기반으로 비교한다. 시뮬레이션 결과는 동적환경에서 스칼라추적루프보다 벡터추적루프가 재밍에 더 견고하다는 것을 보여준다.

Keywords: GPS receiver, anti-jamming, vector tracking loop, dynamic condition

1. 서 론

위성에서 받은 신호로 수신기의 위치 및 시간 정보를 제공하는 측위시스템인 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 최근 스마트 기기를 이용하는 서비스가 늘어나면서 필요성이 증가되고 있다. 그러나 위성 신호는 지구에서 약 2만 Km 상공에서 신호를 송신하므로 재밍(jamming)에 취약성을 갖고 있다. 위치기반 정보, 교통 등 다양한 서비스에서 활용도가 늘어남에 따라 GPS 신호가 다른 간섭신호나 교란신호에 영향을 받아 사용에 불편을 겪고있는 실정이다. 따라서 이에 대응하기 위한 항재밍(anti-jamming) 기술을 적용할 필요성이 있다.

GPS 수신기에서 Vector Tracking Loop (VTL)이라는 용어는 Spilker (1995)가 Vector Delay Locked Loop (VDLL)을 통해 최초로 사용하였다. VDLL은 반송파에 대한 신호 추적은 Scalar Tracking Loop (STL)와 동일한 구조를 가지지만 CPU의 발전으로 소프트웨어 수신기로 VTL을 구현하는 연구가 활발해지면서, 반송파 신호 추적도 벡터화한 Vector Delay/Frequency Locked Loop (VDFLL)을 구현하였다. 지난 연구들을 통해 교란이 존재할 때 VTL이 STL보다 GPS 신호추적 성능이 좋음을 검증하였다. STL 대비 VTL의 장점은 다음과 같다. 간섭 및 교란에 대한 더 강인한 특성을 갖고 있으며, 더 낮은 반송파 대비 잡음비(C/N_0), 신호 장애를 해소하고 즉시 차단된 신호를 재 획득하는 능력이 있다. 그리고 수신기 동적인 상태의 추적에 더 강인하고 효율적인 채널 상호작용이 가능하다(Benson 2007, Petovello & Lachapelle 2006).

본 논문에서는 이와 같은 위성항법시스템을 위한 항재밍 기술로 칼만필터를 이용하는 VTL 기법에 기반한 GPS 수신기 기술을 구현하고, 제안한 구조의 수신기를 사용함으로써 동적 환경하에서 기존의 STL 기법을 사용하는 GPS 수신기와의 재밍 대응 성능을 비교한다.

2. STL/VTL 기반 GPS 수신기 구조

STL의 구조는 Fig. 1 (left)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 상관기, 변별기, 루프필터와 NCO로 구성된다. STL 기반의 GPS 수신기에서 신호 추적부와 항법필터가 독립적으로 작동한다. 항법필터는 신호 추적으로 얻은 의사거리(Pseudorange) 측정치나 의사거리변화율(Pseudorange rate)로 위치와 속도를 계산한다. 이때, 한 채널에서 계산된 항법해 결과는 다른 채널의 신호추적에 아무 영향을 미치지 않는다.

VTL의 구조는 Fig. 1 (right)에 나타내었다. STL의 구조와 유사하지만 NCO 입력값을 항법 필터에서

받는다는 차이가 있다. VTL 기반의 GPS 수신기는 위성의 측정치로부터 얻어진 수신기와 위성의 위치 정보를 활용하여 항법해 계산과 신호 추적을 합하는 하나의 루프로 구성된다. 일반적으로 VTL 구현 시 신호추적부도 칼만필터 형태로 구현하여 신호추적필터의 대역폭을 효율적으로 조정하여 부가적인 이득을 얻는다(Won et al. 2012). 신호추적용 칼만필터의 효율적 사용으로부터 2~3 dB, 채널상호 작용으로부터 추가적인 5 dB 정도의 이득을 얻을 수 있으며, 최종적으로 VTL의 사용시 STL의 사용과 비교하여 약 7 dB의 이득을 얻을 수 있다(Won & Eissfeller 2010, 2011). 즉, VTL 기반 수신기는 STL 기반의 수신기에 비해 미약한 신호 추적에 유리하고 전파교란 환경에서 더 강인하다는 특성이 있다.

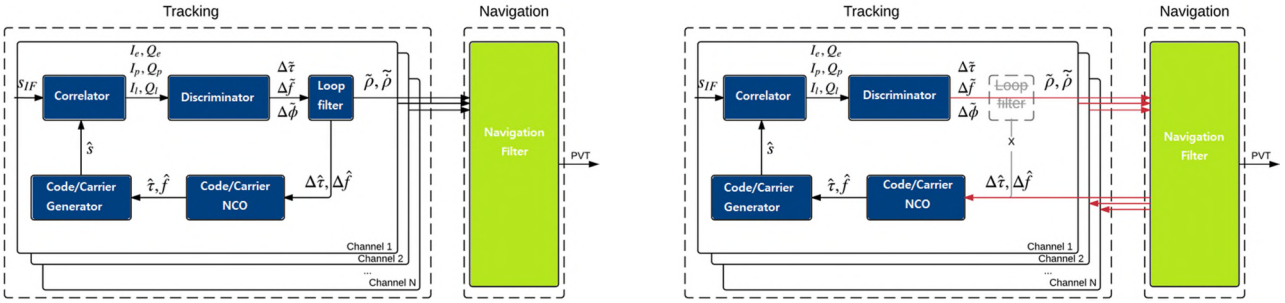


Fig. 1. Architecture of tracking loops: STL (left) and VTL (right) (Xie 2016).

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 소프트웨어 기반의 수신기에 GPS 신호와 재밍 신호를 생성하고, CWI 는 다른 재밍 신호에 비해 생성이 쉽고 영향이 크다고 알려져 있어 이를 이용하였다(Chen 2014). 1개의 CW 재밍신호가 입력된다고 가정하고 J/S의 범위는 0~30 dB로 설정하였다. 생성된 항체의 궤적은 Fig. 2에 나타내었다. 항체 시뮬레이션은 정지 상태 및 궤적을 따라 10, 25, 50 m/s으로 각각 0 km/h, 36 km/h, 90 km/h, 180 km/h 이며 등속원운동을 한다고 가정하였다. 위성의 Skyplot은 Fig. 3과 같다. Table 1에 시뮬레이션 환경 데이터들을 정리하였다.

Table 1. Simulation environment variables.

Variables	Value
Visible satellite number	10
Jammer type	CWI
J/S range	0~30 dB
Velocity range	0, 10, 25, 50 m/s (0, 36, 90, 180 km/h)
Simulation time	60, 300, 120, 60 seconds

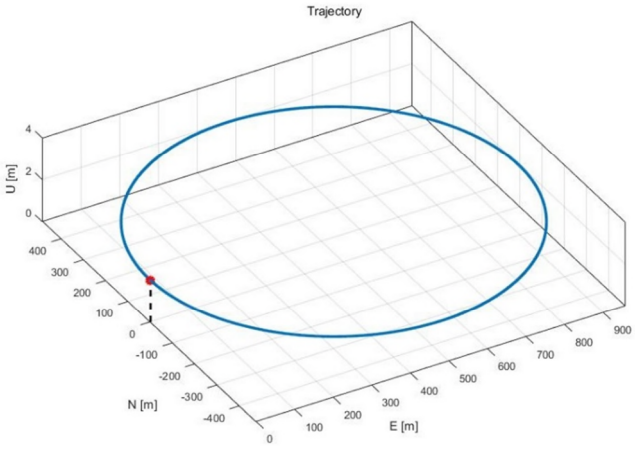


Fig. 2. Generated Trajectory.

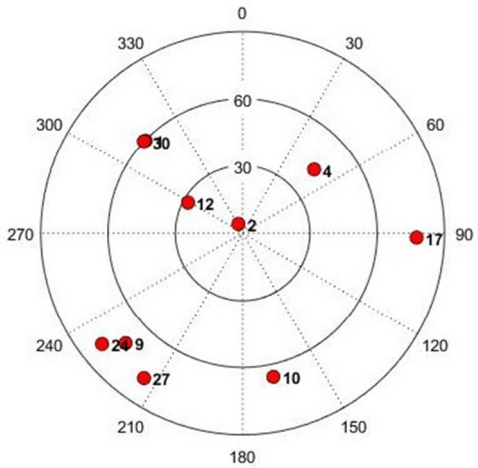
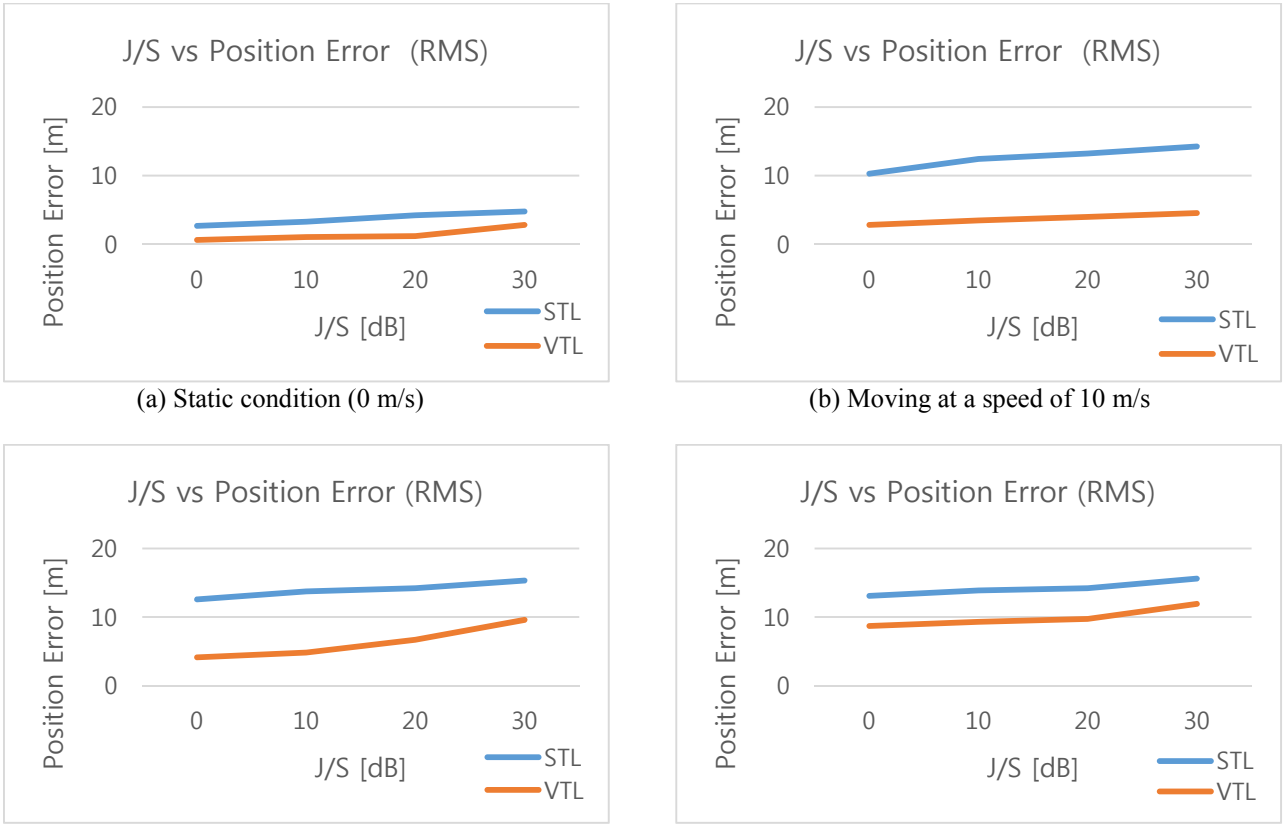


Fig. 3. GPS satellite skyplot.

3.2 시뮬레이션 결과

생성된 GPS 데이터를 이용하여 항재밍 성능을 평가하였다. CWI의 J/S를 증가시키면서 STL 기반 수신기와 VTL 기반 수신기의 성능을 비교하였다. Fig. 4는 약 100회의 몬테 카를로 시뮬레이션을 통해 얻은 각 속도별 J/S의 변화에 따른 항법오차를 나타낸다. 파란색은 STL 기반 수신기의 J/S 변화에 따른 위치오차를 나타내며, 주황색이 VTL 기반 수신기의 J/S 변화에 따른 위치오차를 나타낸다. 결과를 보면 전체적으로 STL보다 VTL의 항법 오차가 더 작다는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 VTL 기반 수신기가 STL 기반 수신기 보다 재밍에 더욱 강인하다는 것을 알 수 있다. Table 2에 J/S에 따른 속도별 항법 오차를 정리하였다.



(a) Static condition (0 m/s)

(b) Moving at a speed of 10 m/s

(c) Moving at a speed of 25m/s

(d) Moving at a speed of 50m/s

Fig. 4. Position error with J/S.

Table 2. Position error with J/S.

J/S	STL	VTL
0	2.673	0.6474
10	3.309	1.066
20	4.243	1.171
30	4.778	2.821

(a) Static condition (0 m/s).

J/S	STL	VTL
0	10.28	2.834
10	12.42	3.488
20	13.22	3.982
30	14.27	4.548

(b) Moving at a speed of 10 m/s.

J/S	STL	VTL
0	12.56	4.128
10	13.73	4.814
20	14.22	6.693
30	15.32	9.607

(c) Moving at a speed of 25 m/s.

J/S	STL	VTL
0	13.09	8.729
10	13.87	9.331
20	14.24	9.73
30	15.62	11.92

(d) Moving at a speed of 50 m/s.

4. 결론

본 논문에서는 CW 재밍 신호가 있는 환경에서의 VTL 기반 GPS 수신기의 재밍 대응 성능을 평가하고 분석하였다. 항법 오차를 비교한 결과, VTL 기반 수신기가 STL 기반 수신기보다 J/S 이득이 있음을 확인하였고 재밍 신호가 없는 환경에서도 더 좋은 성능을 갖는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구 중 일부는 2017년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 우주기술개발사업의 일환입니다 (과제번호: 2017M1A3A9014637).

REFERENCES

Benson, D. 2007, Interference Benefits of a Vector Delay Lock Loop (VDLL) GPS Receiver, In Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Institute of Navigation, Cambridge, MA, pp.749-756.

Chen, X. 2014, Modelling of GNSS Challenged Environment in Semi-Analytical Simulator, Master's Thesis, Institute of Space Technology and Space Applications, University Federal Armed Forces Munich

Petovello, M. & Lachapelle, G. 2006, Comparison of vector-based software receiver implementations with application to ultratight GPS/INS integration, in Proceedings of ION GNSS.

Spilker, J. J. Jr, 1995, Vector delay lock loop processing of radiolocation transmitter signals, ed: Google Patents.

Won, J.-H., & Eissfeller, B. 2010, Effectiveness Analysis of Vector-Tracking-Loop in Signal Fading Environment, Proc. NAVITEC2010, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, Dec. 8-9, 2010.

Won, J.-H. & Eissfeller, B. 2011, Implementation, Test and Validation of a Vector-Tracking-Loop With the ipex Software Receiver, Proc. ION GNSS-2011, Portland, OR, Sept. 20-23, 2011.

Won, J.-H, Pany, T. & Eissfeller, B. 2012, Characteristics of Kalman Filter Approach for Signal Tracking Loop of GNSS Receiver, IEEE T-AES, 48, 3671-3681.

Xie, J. 2016, Multi-Constellation Multi-Frequency Vector-Tracking Algorithm for GNSS Receivers, Master's Thesis, Institute of Space Technology and Space Applications, University Federal Armed Forces Munich

관성 도움 정보를 이용한 확장 칼만 필터 신호 추적 루프 기반 재밍 대응 기법

서성훈[1*], 지규인[1] 김관성[2]
[1]건국대학교 전자정보통신공학부, [2]국방과학연구소 레이다 시스템 기술부

Anti-Jamming Technique using INS-Aided Extended Kalman Filter Signal Tracking loop

Seong-Hun Seo[1*], Gyu-In Jee[1], Kwan-Sung Kim[2]
[1]Electronics Engineering, Konkuk University, [2]Radar Systems Technology Directorate, Agency for Defence Development

주소 : 서울시 광진구 능동로 120 건국대학교 신공학관 1118 호
연락처 : 02-450-7407 이메일 : xghihihi@konkuk.ac.kr

Abstract: 재밍은 GPS 수신기가 위성 신호를 정상적으로 추적하지 못하도록 의도적으로 생성된 간섭 신호를 통해 수신기의 항법을 방해한다. 재밍을 위한 간섭 신호의 형태는 Continuous Wave, Frequency Modulation, Additive White Gaussian Noise 등 여러 형태가 존재하며 이러한 간섭 신호들은 위성 신호의 품질을 저하시켜 수신기의 항법 성능을 크게 저하시킨다. 특히 백색 잡음 형태의 광대역 재밍의 경우에는 GPS 신호보다 강한 재밍 신호가 넓은 대역에 존재하기 때문에, 변별기로 구성된 일반적인 신호 추적 루프의 입력으로 광대역 재밍에 의한 간섭 오차가 더해진 위성 신호의 In-Phase와 Quadratic 상관 축적 값을 이용할 경우에 코드 및 반송파 위상 추적 성능이 열화된다. 따라서 본 논문에서는 광대역 재밍(Wide-band Jamming)에 대응하여 신호 추적 성능을 향상시키기 위해 관성 도움 정보를 이용한 확장 칼만 필터 기반의 신호 추적루프를 제안한다. 확장 칼만 필터를 이용할 경우 변별기와는 달리 예측 단계를 통해서 코드 및 반송파 위상 오차 등의 상태를 예측하기 때문에, 측정치로 이용되는 I&Q 상관 축적 값의 광대역 재밍 신호 의한 간섭 효과를 줄일 수 있다. 이에 더해서 관성 센서의 속도 정보를 통해 계산된 도플러 주파수 추정치를 이용하면 신호 추적 루프의 대역폭을 줄일 수 있으므로, 광대역 재밍 환경에서 향상된 신호 추적 성능 가진다. 이에 대한 검증을 위해 동적 궤적에 대한 GPS 및 IMU 시뮬레이션 데이터를 생성하고 제안한 방법을 통해 신호를 추적하여 그 성능을 분석하였다.

Keywords: Anti-Jamming, Extended Kalman Filter, INS-Aiding, Tracking Loop

1. 서 론

일반적인 수신기의 추적 루프는 코드 위상 추적하는 Delay Lock Loop, 반송파 위상을 추적하는 Phase Lock Loop으로 이루어져 있다. 지역 신호 생성부에서 생성된 지역 반송파와 지역 코드와의 상관을 통해 Early-Prompot-Late의 In-Phase와 Qaudratic 성분의 상관 축적 값을 이용해 각 변별기는 코드와 반송파 위상 오차를 계산하고 해당 정보를 통해 다음 순간 들어오는 신호를 추적한다. 정상적인 GPS 수신 환경에서는 이와 같은 추적 루프 구성을 통해 정상적인 항법해 계산이 가능하지만 신호 간섭 및 재밍 환경에서 상대적으로 세기가 약한 GPS 신호는 쉽게 왜곡된다. 이는 추적 루프 내의 Early-Prompt-Late 상관 축적 값의 오차를 발생시키고 각 변별기의 코드 및 반송파 추정 성능을 열화시키는 원인이 된다.

사회 전반적인 분야에서 위성항법시스템의 중요도가 높아질수록, 이러한 재밍 공격에 대응하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다. 특히, 우리나라는 북한에 의한 재밍 공격이 여러 번 발생하였고, 앞으로도 발생할 가능성이 충분히 높기 때문에 이러한 재밍 공격 및 대응 기술에 대한 분석이 진행되었다 (Kim et al. 2013, Lee & Sin 2016). 벡터 추적 루프를 이용한 여러 가지 재밍에 대응하는 기법에 대해서도 많이 연구가 되어 왔으며 (Song et al. 2013, Cheon et al. 2016), 특히 재밍 공격 중에 가장 큰 위협이 되는 광대역 재밍에 대해서도 꾸준히 연구되었다 (Yoo & Kim 2012). 그러나 아직까지도 재밍 공격에 대해서 완벽한 해답은 존재하지 않으며 관련 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 광대역 재밍 환경에서 강인한 시호 추적을 위한 관성 도움 기반 확장 칼만 필터 신호 추적 루프를 설계하고 이에 시뮬레이션 실험을 실시하였다. 실험 결과를 통해 제안한 방법이 강한 광대역 재밍 신호가 존재하는 환경에서도 효과적으로 GPS 신호를 추적하는 것을 확인하였다.

2. 관성 도움 기반 확장 칼만 필터 신호 추적 루프

제안된 기법의 구조는 Fig. 1과 같이 기존의 변별기 기반 수신기에서 코드 및 반송파 위상 오차를 추적하는 부분이 확장 칼만 필터로 변경되었고, INS의 속도 정보로부터 계산된 수신기 도플러 주파수를 신호 추적 루프의 루프 필터에 인가하면 코드 및 반송파 추적 루프의 대역폭을 감소시킬 수 있어 신호 추적 성능 향상에 도움이 된다.

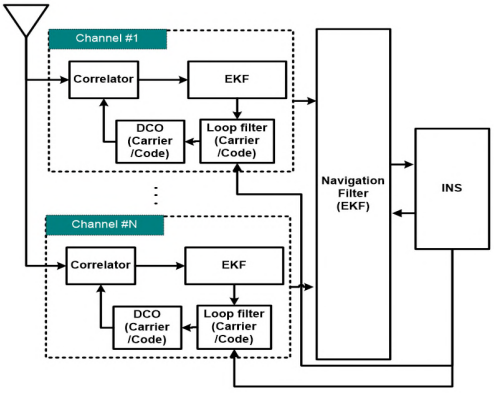


Fig. 1. The structure of INS-aided EKF signal tracking loop.

2.1 확장 칼만 필터 신호 추적 루프

본 논문에서 제안한 확장 칼만 필터 기반 신호 추적 루프 구성은 다음과 같다. 추정하는 상태 변수는 의사거리 변화량, 코드 위상 오차, 반송파 위상 오차, In-phase 상관 크기이다. 이때, 코드 및 반송파 위상 오차는 추적 루프의 되먹임 입력 값 및 의사거리와 의사거리 변화율 이용해 모델링 할 수 있고 수식 (2)와 같이 동적 갱신을 수행한다.

$$x_k = [\dot{\rho}_k \;\; \Delta\tau_k \;\; \Delta\phi_k \;\; A_k]^T, \quad u_k = [\hat{\ddot{r}} \;\; \hat{f}_k]^T, \quad w_k = [w_k^{\rho} \;\; w_k^{A}]^T \tag{1}$$

$$x_{k+1} = Fx_k + Bu_k + Gw_k$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \Delta t/\lambda_\tau & 1 & 0 & 0 \\ -2\pi\Delta t/\lambda_\phi & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_k + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\Delta t & 0 \\ 0 & -2\pi\Delta t \\ 0 & 0 \end{bmatrix} u_k + \begin{bmatrix} \Delta t & 0 \\ \Delta t^2/2\lambda_\tau & 0 \\ -\pi\Delta t^2/\lambda_\phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} w_k \tag{2}$$

측정치 보정 단계에서는 기존의 변별기가 3개의 코드 chip 범위를 가지는 것과 다르게 신호 추적 성능의 향상을 위해 코드 chip 범위를 -1 ~ 1로 변경하여 pull-in 범위를 확장시켰다. 따라서 측정치인 상관 축적 값의 개수는 수식 (3)과 같이 늘어나게 되며, 상태 변수를 통해 계산된 측정치의 추정값은 수식 (4-6)와 같다. 해당 측정치 보정 단계를 거치게 되면 코드 및 반송파 위상 오차가 계산되고, 이를 루프 필터에 입력으로 인가하여 코드 및 반송파 주파수를 계산한다.

$$z_k = [I_{EE} \;\; Q_{EE} \;\; I_E \;\; Q_E \;\; I_P \;\; Q_P \;\; I_L \;\; Q_L \;\; I_{LL} \;\; Q_{LL}] \tag{3}$$

$$z_k = h(x_k, u_k) + v_k, \quad v_k = [\eta_{i,k}]_i \tag{4}$$

$$\begin{aligned} I_{i,k} &= x_4 R(x_2 + \delta_i)\mathrm{sinc}(-x_1 T/\lambda_\phi - Tu_2)\cos(x_3) + \eta_{I,k} \\ &= h_{I,j}(x_k, u_k) + \eta_{I,k}, \quad i = EE/E/P/L/LL \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} Q_{i,k} &= x_4 R(x_2 + \delta_i)\mathrm{sinc}(-x_1 T/\lambda_\phi - Tu_2)\sin(x_3) + \eta_{Q,k} \\ &= h_{Q,j}(x_k, u_k) + \eta_{Q,k}, \quad \delta = [-1 \;\; -0.5 \;\; 0 \;\; 0.5 \;\; 1] \end{aligned} \tag{6}$$

2.2 관성 도움 정보

INS는 재밍 신호 유무에 관계없이 가속도계 및 자이로스코프 측정치를 제공하고, 이를 통해 위치 및 속도를 계산할 수 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 바이어스 추정 오차에 의해 위치 및 속도가 발산하는 문제점이 있다. 그래서 일반적으로 이러한 바이어스 오차를 추정하고 위치 및 속도가 발산하는 것을 막기 위해 GPS 측정치를 이용한 약결합/강결합 등의 방식을 이용한다. 그러나 이러한 결합 방식을 통해 계산된 위치 및 속도의 경우에 GPS 위치 및 속도에 의해 크게 영향을 받기 때문에, 재밍 환경에서 이러한 결합 방식을 이용하게 될 경우 항법 해에서 발생한 오차 성분이 신호 추적 루프의 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 재밍 신호에 의해 부정확한 GPS 측정치는 INS 발산을 제한하기 위한 바이어스 추정 용도로만 이용하며, 추적 루프의 도움 정보로 인가하기 위한 도플러 주파수는 INS 측정치를 이용해서 계산된 순수 항법 위치 및 상대 속도를 이용하여 계산된다.

$$f_k = f_{k-1} + f_k^{NCO} + f_k^{Dopp,\,INS} \tag{7}$$

$$f_{k,\,code} = f_{k-1,\,code} + f_{k,\,code}^{NCO} + f_k^{Dopp,\,INS}(1/1540) \tag{8}$$

3. 실험 결과

제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 IMU 데이터 생성기와 GPS 신호 발생기를 통해 동적 데이터를 생성하고 이를 이용하여 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 총 10초의 데이터 중 3초에 GPS 신호 보다 38dB 강한 2MHz의 광대역 재밍 신호를 인가하였다. Fig. 2는 해당 신호에 대해서 변별기를 이용하여 신호를 추적했을 경우를 나타낸다. 재밍 신호가 인가되기 전까지는 추정한 주파수 및 의사거리 오차가 정상적으로 추정되지만, 재밍 신호가 인가된 이후에는 신호의 손상에 의해서 오차가 크게 발산하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 Fig. 3과 같이 본 논문에서 제안한 방법을 이용한 경우에는 재밍 신호가 인가된 이후에 주파수 및 의사거리 추정 오차가 증가하지만, 변별기와 달리 신호 추적이 지속적으로 가능함을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 4와 같이 제안한 방법을 이용할 경우에는 항법 해의 발산 없이 정상적으로 GPS 신호 추적이 가능함을 확인할 수 있다.

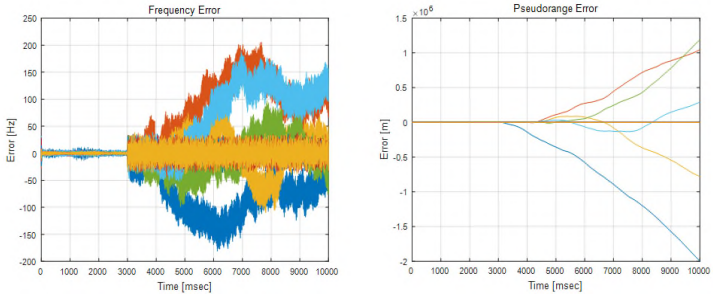


Fig. 2. Frequency and pseudorange errors from discriminator based tracking loop (JSR 38dB).

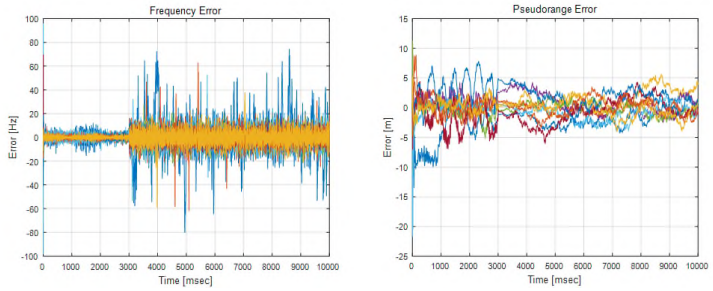


Fig. 3. Frequency and pseudorange errors from INS-aided EKF based tracking loop (JSR 38dB).

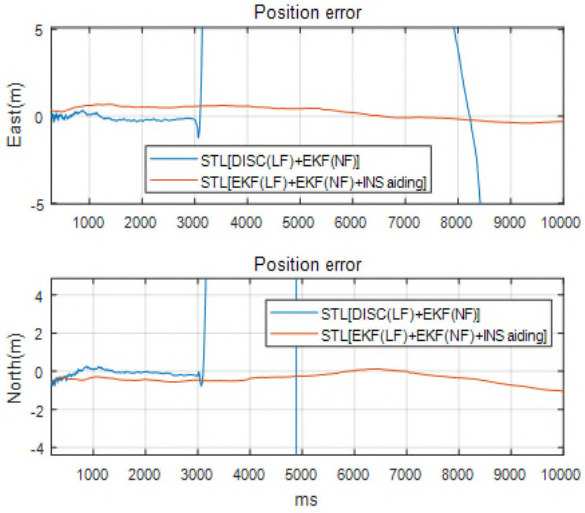


Fig. 4. Estimated position errors (JSR 38dB).

4. 결 론

본 연구를 통해 확장 칼만 필터를 이용하여 신호 추적 루프를 구성하고 추적 루프 필터에 관성 센서로부터 구한 도플러 도움 정보를 인가함으로써, 광대역 재밍 상황에도 신호를 놓치지 않는 강인한 신호 추적 방법에 대해 연구하고 이에 대한 성능을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Cheon, W.-S., Kang, H.-M., & Won, J.-H. 2016, Performance Evaluation of a Vector-Tracking-Loop GPS Receiver under Radio Frequency Interference Environment, 2016 KGS Conference, Jeju, pp.1-4, CD-ROM.

Kim, K.-Y. 2013, Analysis of Anti-Jamming Techniques for Satellite Navigation Systems, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 38C, 1216-1227. https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.12.1216

Lee, S. & Sin, C. S. 2016, GPS Interference Status in Korea, 2016 KGS Conference, Jeju, pp.25-31, CD-ROM.

Song, J.-H, Im, S.-H., & Jee, G.-I. 2013, Performance Evaluation of Vector Tracking Loop based Receiver for GPS Anti-Jamming Environment, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 19, 152-157. https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.19.2.152

Yoo, S.-S. & Kim S. Y. 2012, Detection Performance for Combining Multiband GNSS Signals in Broadband Jamming Environments, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 37, 444-452. https://doi.org/10.7840/KICS.2012.37C.5.444

비정렬된 안테나 소자로 구성된 배열안테나를 위한 MVDR 빔포밍 기법

박관식[1,2], 서지원[1,2*]
[1]연세대학교 글로벌융합공학부, [2]연세대학교 글로벌융합기술원

An MVDR Beamforming Method for an Aarray of Misaligned Antenna Elements

Kwansik Park[1,2], Jiwon Seo[1,2*]
[1]School of Integrated Technology, Yonsei University, [2]Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소 : 인천광역시 연수구 송도과학로 85
연락처 : 032-749-5833 이메일 : jiwon.seo@yonsei.ac.kr

Abstract: GPS는 지구를 공전하는 다수의 항법위성에서 송신되는 항법신호로부터 위치, 항법 및 시각 정보를 제공하는 위성항법시스템으로, 현대사회의 민간, 산업 및 군사 등 다양한 분야에서 핵심적으로 활용되는 인프라로 자리잡고 있다. 그러나 항법위성은 지표면으로부터 약 2만 km 이상의 높은 궤도를 공전하므로, 지표면의 GPS 수신기에서 수신되는 항법신호는 열잡음보다 낮은 정도의 매우 약한 수신 세기를 가지며 의도적 및 비의도적인 전파 교란에 매우 취약하다는 단점이 있다. 실제로 최근 국내외에서 전파 교란에 의한 GPS 수신기에서의 항법 신호 획득 및 추적 불능이 발생한 바 있으며, 이로 인한 피해를 막기 위해 다양한 항재밍 방법이 연구되어왔다. 다양한 항재밍 기법 중, 배열안테나를 활용한 항재밍 기법은 동시에 다수의 교란신호를 감쇄할 수 있으므로, 다른 기법에 비해 우수한 성능을 보이는 것으로 알려져 있으며 관련 연구가 폭넓게 이루어지고 있다. 그러나 이상적인 배열안테나와 달리, 실제 배열안테나는 각 안테나 소자의 정렬 방향이 불일치하는 비정렬성이 존재하며, 이러한 비정렬성이 고려되지 않은 신호처리 기법이 적용될 경우 이론적으로 예상된 성능에 비해 항재밍 성능이 감소할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 비정렬된 안테나 소자로 구성된 배열안테나를 위한 MVDR 기반 빔포밍 기법을 제안한다. 기존 MVDR 빔포밍 기법의 constraint vector가 각 안테나 소자에 수신되는 신호의 위상 차이로 구성된 것과는 달리, 본 논문에서는 위상 차이와 함께, 각 소자의 비정렬에 의한 영향이 고려된 constraint vector를 제안하고 이를 활용한 빔포밍을 수행한다. 시뮬레이션을 통해 기존 MVDR 빔포밍 기법과 제안된 기법을 통해 얻어진 배열안테나 이득 패턴을 도시 및 비교함으로써, 제안된 기법의 성능을 검증한다.

Keywords: GPS, anti-jamming, antenna array, misalignment

1. 서 론

GPS로 대표되는 위성항법시스템은 지구를 공전하는 다수의 항법위성에서 송출하는 항법신호로부터 이를 수신하는 수신기의 위치, 항법 및 시각 해를 제공하는 인프라로서, 현대 사회의 민간, 산업 및 군사 분야에서 GPS에 대한 의존도가 갈수록 높아지고 있다. 그러나 항법위성은 약 20,000 km 이상의 매우 높은 상공에서 공전하므로 항법위성에서 송출된 항법신호가 지표면에 도달할 시 그 세기가 열잡음보다 낮을 정도로 매우 미약해진다. 이로 인해 GPS 수신기는 의도적 또는 비의도적인 전파 교란에 취약하다는 단점이 존재하며, 실제로 미국을 비롯한 해외 및 국내에서 전파 교란으로 인한 피해가 다수 보고된 바 있다.

이와 같은 GPS 교란으로 인한 피해를 막기 위해, 다양한 항재밍 기법들이 폭넓게 연구되었으며, 그 중 배열안테나를 이용한 빔포밍 기법이 가장 우수한 성능을 보이는 항재밍 기법 중 하나로 알려져 있다. 배열안테나 기반 빔포밍 기법은 배열안테나의 각 안테나 소자에 수신되는 신호에 적절한 가중치를 부여함으로써 GPS 신호의 안정적인 수신과 동시에 교란 신호에 대한 감쇄를 수행하는 기법이다 (Seo et al. 2011, Chen et al. 2012). 그러나 모든 안테나 소자가 동일한 방향으로 정렬된 이상적인 배열안테나와 달리, 실제 배열안테나는 제작 과정 등에서 발생하는 오차로 인해 각 소자의 정렬 방향이 불일치하는 비정렬성이 존재하며 이러한 비정렬성이 고려되지 않을 경우 재밍 기법의 성능 감소를 야기할 수 있다 (Park & Seo 2016).

따라서 본 논문에서는, 안테나 소자 간의 비정렬성을 고려하고, 이를 가장 널리 쓰이는 빔포밍 기법 중 하나인 MVDR 빔포밍 기법에 적용함으로써, 기존 기법의 한계를 보완한다. 이를 위해, 비정렬이 존재하는 배열안테나에서의 수신 신호를 모델링 하고, 얻어진 신호 모델을 기반으로 MVDR 빔포밍을 위하여 비정렬성이 고려된 constraint vector를 제안한다. 비정렬성이 고려되지 않은 기존 constraint vector는 GPS 방향으로 unit gain을 유지하지 못하는 반면, 제안된 constraint vector는 unit gain을 유지할

수 있으므로, 기존 기법에 비해 향상된 항재밍 성능을 얻을 수 있다.

성능 검증을 위해, 임의로 설정된 교란 시나리오에 대하여 시뮬레이션을 수행하고, 기존 MVDR 기법 및 제안된 MVDR 기법에 의해 얻어진 이득 패턴 및 신호 대 교란 및 잡음 비(SINR)를 도시 및 비교함으로써, 제안된 기법의 성능을 보인다.

2. 비정렬된 배열안테나의 수신 신호 모델

본 논문에서는 아래 그림 1과 같이 비정렬된 N개 소자 선형 편파 배열안테나를 가정한다. 그림 1에서 θ_n $(-90° < \theta_n < 90°, n = 1, 2, \cdots, N)$은 n번째 안테나 소자의 비정렬 각도, d는 안테나 소자 간의 간격을 나타낸다.

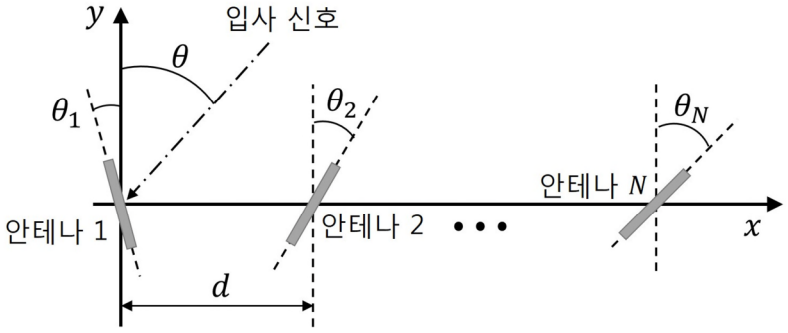


Fig. 1. A uniform linear array of linearly polarized antenna elements with orientation misalignments.

교란 신호는 선형 편파의 평면파이며, 전기장 진동 방향은 xy–평면과 평행하다고 가정한다. θ_n만큼 비정렬된 n번째 안테나 소자, θ_G로 입사하는 GPS 신호 및 $\theta_{J,i}$로 입사하는 교란 신호의 편파 벡터는 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{p}}_a(\theta_n) &= \sin\theta_n\,\hat{\mathbf{x}} + \cos\theta_n\,\hat{\mathbf{y}} \\ \vec{\mathbf{p}}_G(\theta_G) &= \frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta_s\,\hat{\mathbf{x}} - \frac{1}{\sqrt{2}}\sin\theta_s\,\hat{\mathbf{y}} - \frac{j}{\sqrt{2}}\hat{\mathbf{z}} \\ \vec{\mathbf{p}}_J(\theta_{J,i}) &= \cos\theta_s\,\hat{\mathbf{x}} - \sin\theta_s\,\hat{\mathbf{y}}\end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $j = \sqrt{-1}$이고, $\vec{\mathbf{p}}_a(\theta_n)$는 n번째 안테나 소자의 편파 벡터, $\vec{\mathbf{p}}_G(\theta_G)$는 GPS 신호의 편파 벡터, $\vec{\mathbf{p}}_J(\theta_{J,i})$는 i번째 교란 신호의 편파 벡터이며, $\hat{\mathbf{x}}$, $\hat{\mathbf{y}}$ 및 $\hat{\mathbf{z}}$는 Cartesian 좌표계에서의 x축, y축 및 z축 방향 단위벡터이다. 입사 신호 및 안테나의 편파 벡터가 평행하지 않을 경우, 신호 수신 시 편파 차이로 인한 손실이 발생하게 되며, 이는 신호 및 안테나의 편파 벡터 간 내적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\vec{\mathbf{p}}_a(\theta_n) \bullet \vec{\mathbf{p}}_G(\theta_G) &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sin\theta_n\cos\theta_G - \frac{1}{\sqrt{2}}\cos\theta_n\sin\theta_G \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sin(\theta_n - \theta_G) \\ \vec{\mathbf{p}}_a(\theta_n) \bullet \vec{\mathbf{p}}_J(\theta_{J,i}) &= \sin\theta_n\cos\theta_{J,i} - \cos\theta_n\sin\theta_{J,i} \\ &= \sin(\theta_n - \theta_{J,i})\end{aligned} \tag{2}$$

식 (1) 및 (2)에서 보인 편파 벡터 및 편파 벡터 간 내적을 이용하여, 비정렬된 배열안테나의 수신신호를 모델링할 수 있다. 1개의 GPS 신호 및 K개의 교란 신호가 입사하는 경우, 배열안테나 수신 신호는 다음과 같이 모델링된다 (Park & Seo 2016).

$$\mathbf{r}[k] = \mathbf{a}(\theta_G)s_G[k] + \mathbf{Q} \odot \mathbf{B}\mathbf{s}_J[k] + \mathbf{n}[k] \tag{3}$$

여기서 $\mathbf{r}[k]$는 k번째 sampling time의 $N \times 1$ 수신 신호 벡터, $\mathbf{a}(\theta_G)$는 GPS 신호에 대한 $N \times 1$ steering vector, $s_G[k]$는 수신된 GPS 신호, $\odot$는 아다마르 (Hardamard) 곱 연산자, $\mathbf{B}$는 교란 신호에 대한 steering vector로 이루어진 $N \times K$ steering 행렬, $\mathbf{s}_J[k]$는 수신된 교란 신호로 이루어진 $K \times 1$ 벡터, $\mathbf{n}[k]$는 잡음 신호 벡터이다. 식 (3)에서 $N \times N$ 대각행렬 $\mathbf{P}(\theta_G)$, $\mathbf{a}(\theta_G)$, $N \times K$ 행렬 $\mathbf{Q}$ 및 $\mathbf{B}$는 다음과 같다

(Park & Seo 2016).

$$\mathbf{P}(\theta_G) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}\sin(\theta_1 - \theta_G) & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & \frac{1}{\sqrt{2}}\sin(\theta_N - \theta_G) \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{a}(\theta_G) = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}\sin(\theta_1 - \theta_G) \quad \exp\left(-j\frac{2\pi d}{\lambda_{GPS}}\sin\theta_G\right) \quad \cdots \quad \exp\left(-j\frac{2\pi d(N-1)}{\lambda_{GPS}}\sin\theta_G\right)\right]^T \tag{4}$$
$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_1 - \theta_{J,1}) & \cdots & \sin(\theta_1 - \theta_{J,K}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sin(\theta_N - \theta_{J,1}) & \cdots & \sin(\theta_N - \theta_{J,K}) \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{B} = [\mathbf{b}_1 \quad \mathbf{b}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{b}_K]$$
$$\mathbf{b}_i = \left[1 \quad \exp\left(-j\frac{2\pi d}{\lambda_i}\sin\theta_i\right) \quad \cdots \quad \exp\left(-j\frac{2\pi d(N-1)}{\lambda_i}\sin\theta_i\right)\right]^T$$

이와 비교하여, 기존의 일반적인 배열안테나에서의 수신 신호 모델은 다음과 같이 주어진다 (Daneshmand et al. 2015).

$$\underline{\mathbf{r}}[k] = \mathbf{a}(\theta_G)s_G[k] + \mathbf{B}\mathbf{s}_J[k] + \mathbf{n}[k] \tag{5}$$

3. 배열안테나의 비정렬성이 고려된 MVDR 빔포밍 기법

MVDR 빔포밍은 배열안테나 기반 신호처리 분야에서 폭넓게 활용되는 기법 중 하나이다. 본 논문에서는 각 안테나 소자의 비정렬성을 고려한 MVDR 빔포밍 기법을 다음과 같이 제안한다.

$$\text{minimize } \mathbf{w}^H\mathbf{R}\mathbf{w} \text{ subject to } \mathbf{w}^H\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G) = 1 \tag{6}$$

여기서 $\mathbf{w}$는 $N \times 1$ 가중치 벡터, $\mathbf{R}$은 수신 데이터의 $N \times N$ 공분산 행렬이며, $\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G)$는 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G) = \mathbf{P}(\theta_G)\mathbf{a}(\theta_G) \tag{7}$$

식 (6)에 의하여 얻어지는 최적 가중치 벡터는 비정렬의 존재 하에서 교란 신호를 감쇄함과 동시에, GPS 신호 방향으로 unit gain을 유지할 수 있으며, Lagrange multiplier 기법으로 다음과 같이 계산된다 (Van Trees 2002).

$$\mathbf{w}_{opt} = \frac{\mathbf{R}^{-1}\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G)}{\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G)^H\mathbf{R}^{-1}\tilde{\mathbf{a}}(\theta_G)} \tag{8}$$

4. 성능 검증을 위한 시뮬레이션

제안된 기법의 성능을 검증하기 위해, 임의로 설정된 교란 시나리오에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 1개의 GPS 신호 및 2개의 교란 신호가 각각 30° 및 −60°, 45°로 입사하는 시나리오를 설정하였고, 4개 소자의 비정렬된 배열안테나를 가정하였으며, 각 안테나 소자의 비정렬 각도는 $\theta_1 = 0°, \theta_2 = 25.06°, \theta_3 = -61.30°, \theta_4 = -28.00°$이다. 기존 기법과의 비교를 위해, 본 논문에서 제안된 MVDR 빔포밍 기법 및 기존 MVDR 빔포밍 기법으로 얻어진 각 array gain 및 SINR을 그림 2 및 그림 3에 도시하였다. 그림 2에서 (a)는 제안된 기법의 array gain, (b)는 기존 기법의 array gain을 나타낸다.

그림 2에서 보는 바와 같이, 기존 MVDR 빔포밍 기법 및 제안된 MVDR 기법 모두 2개의 교란 신호 방향 $(\theta = -60°, 45°)$으로 널이 형성되었음을 확인할 수 있으며 널의 깊이가 비슷함을 확인할 수 있다. 그러나 제안된 MVDR 기법의 경우, GPS 신호의 방향으로 unit gain(0 dB array gain)을 유지하는 반면, 기존의 MVDR 기법은 보다 감소된 array gain을 보이는 것을 확인할 수 있다. GPS 신호 방향에 대한 unit gain 유지 여부는 SINR 성능 차이로 이어지며 이는 그림 3에서 확인할 수 있다. 예상된 바와 같이, 본 논문에서 제안된 기법이 기존 기법에 비해 우수한 SINR 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.



(a) (b)

Fig. 2. Comparison of array gains obtained by (a) the proposed method and (b) the conventional method.

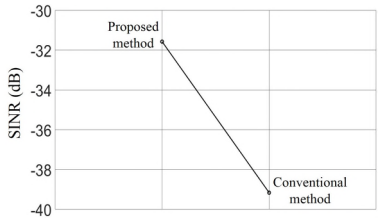


Fig. 3. Comparison of SINRs of the proposed method and the conventional method.

5. 결 론

본 논문에서는 비정렬된 안테나 소자로 구성된 배열안테나를 위한 MVDR 빔포밍 기법을 제안하였다. 이를 위해, 배열안테나의 각 비정렬된 안테나 소자 및 입사 신호의 편파 특성을 이용하여 수신 신호를 모델링 하였고, 얻어진 수신 신호 모델이 적용된 constraint vector를 활용하여 비정렬 배열안테나를 위한 MVDR 빔포밍 기법을 도출하였다. 성능 검증을 위해 임의로 설정된 교란 시나리오에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존 기법과 제안된 기법의 배열안테나 array gain 및 SINR을 도시 및 비교함으로써 제안된 기법의 성능을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2017-0-01015).

REFERENCES

Chen, Y.-H., Juang, J.-C., Seo, J., Lo, S., Akos, D. M., et al. 2012, Design and Implementation of Real-Time Software Radio for Anti-Interference GPS/WAAS Sensors, Sensors, 12, 13417-13440. https//doi.org/10.3390/s121013417

Daneshmand, S., Jahromi, A. J., Broumandan, A., & Lachapelle, G., 2015, GNSS Space-Time Interference Mitigation and Attitude Determination in the Presence of Interference Signals, Sensors, 15, 12180-12204. https//doi.org/10.3390/s150612180

Park, K. & Seo, J. 2016, Effect of Orientation Misalignment between Array Elements on Interference Mitigation Performance of MVDR Beamformer, Proceedings of ISER 41th International Conference, 3-4, November 2016, Sydney, Australia.

Seo, J., Chen, Y.-H., De Lorenzo, D. S., Enge, P., Akos, D. M., et al. 2011, A Real-Time Capable Software-Defined Receiver Using GPU for Adaptive Anti-Jam PS Sensors, Sensors, 12, 8966-8991. https://doi.org/10.3390/s110908966

Van Trees, H. L. 2002, Optimum Array Processing: Park IV of Detection, Estimation and Modulation Theory (New York: John Wiley & Sons, Inc.)



[C3] 재밍과 교란 2

WDOP을 통한 GPS 비가용 상황 기준 선정

강준구[1], 최문석[1], 장진혁[1], 안종선[2], 허문범[2], 성상경[1], 이영재[1*]
[1]건국대학교 [2]한국항공우주연구원

Selection of GPS Non-Availability Situation using WDOP

June Goo Kang[1], Moonseok Choi[1], JinHyeok Jang[1], JongSun Ahn[2], MoonBeom Heo[2], SangKyung Sung[1], Young Jae Lee[1*]
[1]Kunkuk University [2]Korea Aerospace Research Institute

주소 : 서울시 광진구 능동로 120 건국대학교
연락처 : 02-450-3358 이메일 : youglee@konkuk.ac.kr

Abstract: 무인 이동체의 자율주행을 위해서는 정확한 위치가 중요하며 실외환경에서의 위치파악은 주로 미국의 위성항법시스템인 Global Positioning System (GPS)로 행해지고 있다. 하지만 GPS의 신호는 건물 외벽 등의 장애물을 통과하지 못하기 때문에 고층 건물이 밀집한 곳이나 터널 같은 GPS 음영지역에서는 GPS의 가시위성의 개수가 줄어들고 이로 인해 GPS의 위성의 배치상태가 안 좋아지면서 위치 파악이 불안정하거나 불가능하게 된다. 때문에 이런 상황에 대비하여 GPS가 아닌 다른 센서들을 통해 위치를 파악하려는 노력이 이루어지고 있다. 이런 센서들과 GPS를 통합하여 사용할 수 있다면 어느 환경에서라도 안정적인 위치해를 구할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 GPS 위성의 가시환경이 좋을 때는 센서들과 GPS가 통합된 시스템으로 유지되다가 GPS 위성의 가시환경이 좋지 않을 때는 GPS 사용을 제한할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이런 GPS 비가용 상황을 구분하기 위해 상황 판단의 요소를 정하고 그에 대한 기준을 선정하려 한다. 위성항법시스템에서 위치해 정확도에 영향을 주는 요소는 크게 2가지로, 위성의 배치상태인 Dilution of Precision (DOP)과 위성과 수신기의 거리정보를 전해주는 신호품질이다. 이 때 두가지 요소를 동시에 고려하지 않는다면 한 요소가 좋은 값이더라도 다른 요소가 좋지 않아 위치해 정확도가 떨어질 수 있다. 위성의 앙각은 신호품질에 영향을 미치는 하나의 요소이며 DOP을 계산할 때 신호품질을 고려하기 위해 앙각에 대한 가중치를 둔 Weighted DOP (WDOP)을 계산하여 GPS 비가용 상황 판단의 요소로 활용하였다. 더하여 WDOP을 사용하여 위치해 수준을 구분할 때, WDOP이 좋음에도 Multipath로 인해 위치해가 부정확하게 나오는 부분이 발생하는 것을 확인하였으며 이를 분석하였다.

Keywords: non-availability, WDOP, GPS, multipath

1. 서 론

무인 이동체의 안전한 자율주행을 위해서는 자신의 위치를 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 정확한 측위 기술이 바탕이 되어야한다. 실외환경에서의 측위는 Global Navigation Satllite System (GNSS)을 이용하는 것이 가장 기본적이며 그 중 가장 먼저 Full Operational Capability를 선언한 미국의 Global Positioning System (GPS)이 주로 사용되고 있다. 하지만 GPS를 비롯한 GNSS의 신호는 건물 외벽 등의 장애물을 통과하지 못한다는 단점이 있다. 이로 인해 고층 건물이 밀집한 지역이나 터널 같은 GPS 음영지역에서는 GPS의 가시위성의 개수가 줄어들게 되고 이는 측위가 부정확한 또는 불가능한 상황으로 이어진다. 때문에 이런 상황에 대비하여 GPS를 사용하지 않고 다른 센서를 활용하거나 GPS와 다른 센서들을 통합하여 측위하는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 이동체의 측위 시 기본적으로 GPS를 사용하다가 GPS 음영지역에서 GPS를 사용하지 않고 다른 센서를 사용함을 가정하고 GPS 측위가 부정확해지는 음영지역 구분 방법에 대해 다루었다.

본 논문에서 음영지역을 구분하기 위해 사용한 위치해 정확도의 지표는 Weighted DOP (WDOP)이다. 위성항법시스템의 위치해 정확도는 위성신호의 거리 측정값의 정확도와 위성 배치상태를 나타내는 Dilution of Precision (DOP), 크게 두가지 요소에 영향을 받는다 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). 이 때 두 가지 요소를 모두 고려하지 않는다면 한 요소가 좋은 값을 갖더라도 다른 요소가 좋지 않을 때 부정확한 위치해를 가질 수 있다. 그렇기 때문에 위치해 정확도를 예측하기 위해서는 두 가지 요소를 모두 고려해야 한다. 거리 측정값의 정확도에 영향을 미치는 요소 중에는 위성의 앙각이 있다 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). 이를 활용하여 DOP을 계산할 때 위성의 앙각에 따라 가중치를 두어 WDOP을 생성하여 거리 측정값의 정확도와 위성 배치상태를 모두 고려한 위치해 정확도 지표로 사용하였다.

WDOP을 활용하여 음영지역을 구분하기 위해 기준국을 활용한 정적실험을 통해 여러가지 상황의 WDOP에 대한 위치 오차를 측정하여 경향성을 파악하고자 했다. 그리고 정적실험을 통해 나온 경향성을 동적실험을 통해 검증해보고자 하였다. 이 때, WDOP이 좋은 값을 가지더라도 위치해가 부정확한 부분들이 나타남을 확인하였고 이를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 WDOP

GPS 의 위치해 정확도는 가시위성의 배치상태와 거리 측정치 오차에 영향을 받는다. 여기서 DOP 은 가시위성의 기하학적인 배치상태를 수치적으로 보여주는 개념이다. DOP 은 위성의 배치가 밀집된 형태일수록 큰 값을 갖고 반대로 넓게 분포된 형태일수록 작은 값을 갖는다. 그리고 일반적으로 DOP 의 수치는 위치해 정확도와 반비례한 경향을 갖는다. 거리 측정치 오차에는 위성 시계 오차, 위성 위치 오차 등의 위성 오차와 전리층 지연, 대류층 지연 등의 신호 전달 상의 오차 그리고 수신기 시계 오차, 다중경로 오차 등의 요인들이 종합되어있다. User Equivalent Range Error (UERE)는 이들을 종합하여 표현한 수치이다. 앞서 소개한 DOP 과 UERE 는 사용자 위치해 정확도의 표준 도구로 사용된다. 또한 위성의 배치상태가 좋더라도 거리 측정치의 정확도가 좋지 않다면 위치해 정확도가 낮을 수 있고 그 반대의 경우도 존재할 수 있기 때문에 위치해 정확도를 예측하기 위해서는 두가지를 같이 고려해야한다. 이 때, 위성의 앙각이 낮아질수록 GPS 위성 신호가 전리층, 대류층을 지나는 시간이 길어지며 이는 UERE 의 증가 그리고 위치해 정확도 저하로 이어진다. 이를 활용하여 위성의 앙각에 대한 거리 측정치 정확도에 따라 가중치를 부여하여 DOP 을 계산하는 WDOP 으로 두가지 요소를 같이 고려할 수 있다.

WDOP 을 계산하기 위해 사용되는 Weight Model 은 Won (2012)를 따랐다. WDOP 를 위한 Weight Matrix 는 Weighted Least Squares 방법을 사용하여 계산하며 이는 의사거리 측정치의 오차 공분산 행렬(이하 R)의 역수를 가중치로 활용하여 계산할 수 있다. 이 때 R 은 위성 앙각에 따른 거리 오차와 random noise 에 영향을 받는다. 이 때, 위성의 앙각이 90°일 때는 오차가 최소가 될 것이며 의사거리 오차를 random noise 인 σ_{UERE} (sigma of UERE)이라고 할 수 있다. 이를 토대로 R 의 각 요소는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_i = (\sigma_{UERE} + f(\theta_i))^2 \quad (1)$$

여기서 i 는 위성의 각 번호이며 θ은 위성의 앙각을 나타내며 $f(\theta_i)$는 σ_{UERE}를 제외한 위성의 앙각에 따른 의사거리 오차를 나타낸다. Won (2012)에서는 σ_{UERE}을 5.504m 로 그리고 $f(\theta_i)$는 실험을 통해 다음과 같이 설정하였다.

$$f(\theta_i) = 35.26 \cdot e^{-\frac{\theta_i}{10.14}} \quad (2)$$

또한 Weight Matrix 를 생성할 때 결과를 단순화시키기 위하여 R 을 σ_{UERE}^2로 정규화 시켰다. 따라서 Weight Matrix 과 이를 활용하여 계산한 WDOP 은 다음과 같다.

$$\mathrm{W} = \left(\frac{1}{\sigma_{UERE}^2} R\right)^{-1} \quad (3)$$

$$\mathrm{WDOP} = (H^T W H)^{-1} \quad (4)$$

여기서 H 는 수신기 위치와 각 위성 위치로 생성한 시선각 벡터이다.

2.2 경향성 파악

WDOP에 대한 위치 오차의 경향성을 파악하기 위하여 다양한 위성 배치상태가 필요하였고 이를 위해 기준국에서 하루 동안의 데이터를 수집하였다. 이 때 기준국은 가시환경이 좋은 건국대학교 신공학관 옥상에 위치하고 있기 때문에 항상 위성 배치 상태가 좋아 WDOP이 낮은 상태로 유지된다. 다양한 WDOP에 대한 위치 오차를 나타내기 위하여 실험 데이터의 각 시점마다의 가능한 모든 위성 조합마다의 WDOP과 위치 오차를 계산하였다. 데이터는 하루동안 30초 간격으로 수집하였다.

다음은 수집 데이터에서 계산한 DOP과 WDOP에 대한 위치 오차이다.

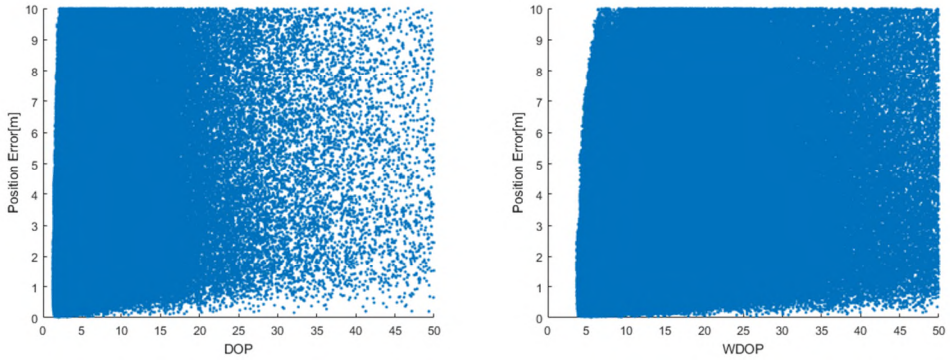


Fig. 1. DOP and WDOP with position error.

위치 오차는 DOP 과 측위에 사용되는 각 위성의 앙각에만 영향 외에도 거리 측정치에 포함되는 다른 오차 요인들에 의해서 결정된다. 그렇기 때문에 Fig. 1 에서와 같이 하나의 WDOP 에 대한 여러가지의 위치 오차가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 여기서 각 WDOP 에서 나타나는 위치 오차들의 평균과 표준편차(σ)를 나열함으로써 비교적 선형적인 WDOP 과 위치 오차간의 관계를 보일 수 있을 것이다. 이 때 GPS 의 비가용 상황 기준을 선정하기 위함이기 때문에 위치 오차의 표준 편차는 평균값 이상인 곳에서만 확인해도 무방하다.

2.3 경향성 검증

기준국을 활용한 정적실험에서 얻은 경향성을 동적실험을 통해 검증할 수 있다. 동적실험에서는 GPS 위치 계산값에 대한 참값은 SPAN 장비를 통해 얻은 위치값으로 활용할 수 있다. 이를 통해 위치오차는 GPS 의 위치값과 SPAN 의 위치값을 비교하여 생성하였다. 경향성 검증은 우선 위치오차의 요구치를 선정하여 그에 해당하는 동적실험의 위치 오차 구역과 요구치에 해당하는 기준국 실험의 WDOP 을 동적실험의 GPS 결과에 적용했을 때의 위치 오차 구역과의 비교로 수행할 수 있다. 이 때 평균값과 표준편차에 대한 결과 비교를 수행하여 더 적절한 경향성 수치를 파악할 수 있다. 또한 동적실험에서는 정적실험에서 나타나지 않는 다중경로오차가 발생할 수 있고 이는 WDOP 과는 독립적인 오차 요인이다. 때문에 검증 과정에서 다중경로 구역을 파악하고 이를 제외하고 검증을 수행한다면 WDOP 을 통한 오차 구역 식별 성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

GPS 는 무인 이동체 실외 측위의 가장 강력한 도구이다. 하지만 GPS 신호가 닿지 못하는 GPS 음영지역에서는 다른 센서와의 결합을 통해 측위를 수행해야한다. 이를 위해서는 GPS 음영지역을 구분하는 능력이 있어야한다. 본 논문에서는 GPS 음영지역을 구분하기 위해 위성의 앙각에 따라 가중치를 두어 DOP을 계산한 WDOP을 활용하는 방법을 다루었다. 이 방법을 통하여 다른 장비없이 GPS 측정치만을 사용하여 GPS 음영지역을 구분하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 차로구분 정밀위치결정 교통인프라기술 실용화 연구 (16TLRP-C113269-01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. 2008, GNSS-Global Navigation Satellite Systems (NewYork: SpringerWien)

Won, D.-H. 2012, A Generlized Performance Index for GNSS and Vision/INS Integrated Navigation, Dissertation for Degree of Doctor, Konkuk University, South Korea

협대역 재밍 신호 검출을 위한 다중대역 협력 스펙트럼 센싱 기법

강규식[1], 박찬식[2], 이민준[3], 김선우[1]
[1]한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, [2]충북대학교 전자공학부, [3]국방과학연구소

Multiband Cooperative Spectrum Sensing for Narrowband Jamming Signal Detection

Kyusic Kang[1], Chansik Park[2], Minjoon Lee[3], Sunwoo Kim[1]
[1]Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University
[2]School of Electronics Engineering, Chungbuk National University
[3]Agency for Defense Development

주소 : 서울특별시 성동구 왕십리로 222, 한양대학교 ITBT 관 822 호
연락처 : 02-2220-4822 이메일 : stuk880922@gmail.com

Abstract: 최근 자율주행과 같은 기술들이 대두되면서 전파방해를 극복하기 위한 기술의 중요성이 높아지고 있다. 특히 재밍 신호를 검출하고 회피하는 기술은 무선통신에서 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는 재밍 신호가 다중대역 내에서 특정 협대역 영역으로 들어오는 시나리오를 가정한다. 이때 특정 대역에 존재하는 재밍 신호를 다중대역 협력 스펙트럼 센싱 기법을 이용하여 검출한다. 비협력 스펙트럼 센싱과 비교하여 노드 간의 정보 협력을 통해 재밍 신호 검출 성능이 증가함을 보이며 재밍 신호의 검출 후 해당 대역 회피를 통해 신호를 정상적으로 수신할 수 있음을 보인다.

Keywords: cognitive radio, spectrum sensing, jammer detection

1. 서 론

스펙트럼 센싱은 장치에서 신호의 존재 여부를 판단할 수 있기 때문에 무선인지기법에서 필수적이다(Liang et al. 2011). 일반적인 스펙트럼 센싱은 에너지 검파(energy detection), 정합필터 검파(matched filter detection), 주기적 정상성 검파(cyclostationary feature detection)로 분류된다(Ma et al. 2009). 에너지 검파는 신호의 파워로 신호의 유무를 판단하는 방법이다. 정합필터 검파는 사전에 대상 신호의 정보를 알고 있는 경우 이 신호와의 정합을 통해 신호의 존재 유무를 판단한다. 주기적 정상성 검파는 변조된 신호의 주기를 이용하여 송신신호와 잡음을 분리하여 신호의 존재 유무를 판단한다.

협력 스펙트럼 센싱(Akyildiz et al. 2011)은 다수의 노드가 존재할 때 각 노드가 신호의 유무를 판단한 후 융합센터로 정보를 보내 최종 검출 결과를 내리는 기술이다. 협력 스펙트럼 센싱에는 경판정과 연판정이 있는데, 경판정은 각 노드가 신호의 존재 유무를 0 또는 1의 1비트로 전송하는 방법이고 연판정은 각 노드에서의 검정 통계량을 그대로 융합센터로 전송하는 방법이다.

스펙트럼 센싱 기법을 통해 다중대역에 재밍 신호가 존재한다고 판단할 경우 해당 대역을 회피하여 재밍 신호를 극복하게 된다. 하지만 이 경우 재밍 신호가 다중대역에 모두 걸치지 않은 경우에는 주파수 낭비가 발생한다. 본 논문에서는 다중대역을 각 부대역으로 나누고 스펙트럼 센싱을 통해 재밍 신호를 검출한다. 또한 협대역 재밍 신호가 존재하지 않는 부대역에서는 재밍 신호의 영향이 없으므로 정상적인 신호 수신이 가능함을 보인다.

2. 다중대역 협력 스펙트럼 센싱 기법 기반 재밍 신호 검출

다중대역으로 중심주파수가 1575.42MHz이고 대역폭이 30MHz인 주파수 대역을 가정한다. 협대역 재밍 신호 검출을 위해 Fig. 1과 같이 5개의 부대역으로 나누고 각 대역에 대해 재밍 신호 검출을 수행하였다. 각 부대역의 길이는 같다고 가정하였다.

시간 영역에서 생성한 가우시안 펄스는 푸리에 변환을 거쳐 주파수 영역으로 변환해도 가우시안 분포의 형태를 갖는다. 이 특성을 이용하여 다음과 같이 재밍 신호모델로 사용한다.

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} e^{j2\pi ft} \quad (1)$$

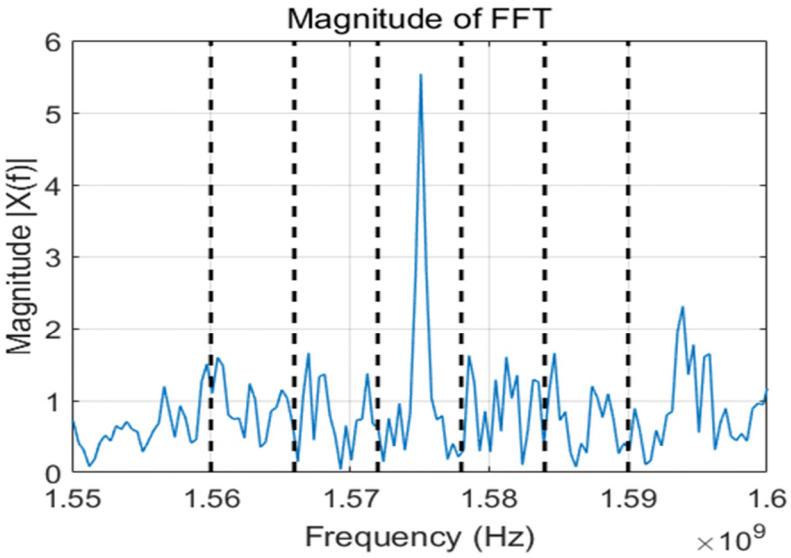


Fig. 1. Narrow band jamming signal in the wideband.

f 는 주파수 영역에서의 신호의 중심 주파수이다. 신호모델로 사용한 재밍 신호는 중심주파수가 1575.42MHz이며 Fig. 1과 같이 3번째 부대역에 재밍 신호가 존재한다고 가정하였다.

재밍 신호를 검출하기 위해서 각 대역에 대한 스펙트럼 센싱을 통해 신호 유무를 판별한다(Quan et al. 2008). 이때 이진 가설 검정을 통한 신호의 유무 판별법을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} H_0 : y(t) = n(t) \\ H_1 : y(t) = s(t) + n(t) \end{cases} \tag{2}$$

$s(t)$는 평균이 0이고 분산이 σ_s^2인 i.i.d. 임의과정을 따르는 송신 신호이며 $n(t)$는 평균이 0이고 분산이 σ_n^2인 가우시안 i.i.d. 임의과정 잡음이다. $s(t)$과 $n(t)$는 서로 독립이라고 가정한다. H_0는 신호가 존재하지 않는 경우이며 H_1은 신호가 존재하는 경우이다.

신호의 유무 판별을 위한 스펙트럼 센싱에서는 오경보 확률 $\mathrm{P_f}$와 검출 확률 $\mathrm{P_d}$로 성능을 판단한다. 오경보 확률은 신호가 존재하지 않을 때 신호가 존재한다고 판단할 확률이며 검출 확률은 신호가 존재할 때 신호가 존재한다고 판단할 확률이다. 본 논문에서는 센싱 기법 중 수신신호의 파워를 이용하는 에너지 검파를 사용한다. 에너지 검파의 오경보 확률 및 검출확률(Liang et al. 2008)은 다음과 같이 나타난다.

$$P_f(\lambda) = \mathrm{Q}\left(\left(\frac{\lambda}{\sigma_n^2} - 1\right)\sqrt{N}\right) \tag{3}$$

$$P_d(\lambda) = Q\left(\left(\frac{\lambda}{\sigma_n^2} - \gamma - 1\right)\sqrt{\frac{N}{2\gamma + 1}}\right) \tag{4}$$

λ는 임계값, ɣ는 SNR(Signal to Noise Ratio), σ_n^2은 잡음의 세기, N은 수신신호의 샘플개수를 나타낸다.

신호를 수신하는 복수의 노드가 존재할 경우 노드 간의 정보 교환을 통해 일반적으로 더욱 향상된 센싱 성능을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 적어도 하나의 노드에서 신호가 존재한다고 판단할 경우 신호가 존재한다고 판단하는 OR-rule을 사용하였다. k개의 노드에 대해 i번째 노드에서의 오경보 확률과 검출 확률을 각각 $P_{f,i}$, $P_{d,i}$라고 할 때 최종적인 오경보 확률과 검출 확률은 다음과 같다.

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^{k}\left(1 - P_{f,i}\right) \tag{5}$$

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^{k}\left(1 - P_{d,i}\right) \tag{6}$$

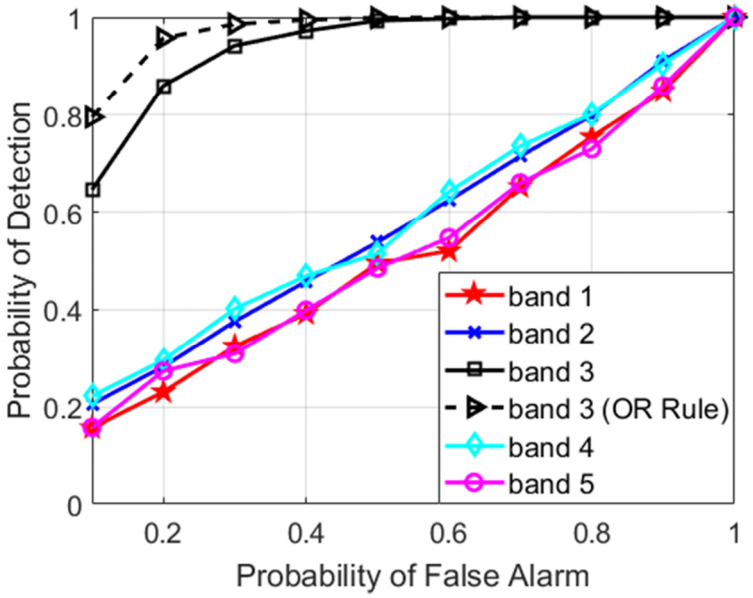


Fig. 2. Performance of jamming signal detection of each sub-band.

3. 시뮬레이션 결과

실험 환경은 Fig. 1과 같이 중심주파수가 1575.42MHz이며 대역폭이 30MHz인 다중대역을 5개의 부대역으로 나누었으며 각각의 부대역의 대역폭은 6MHz로 동일하다. 재밍 신호의 중심주파수는 1575.42MHz로 3번째 부대역에만 존재한다고 가정하였다.

Fig. 2는 각각의 부대역에 대한 재밍 신호 검출 성능을 나누어서 나타낸 그래프이다. 32개의 부대역별 샘플개수, -20dB의 SNR, 5개의 노드 개수를 가정하였으며 1,000회의 몬테 카를로 시뮬레이션을 수행했다. 재밍 신호가 존재하지 않는 1, 2, 4, 5번째 부대역에서는 receiver operating characteristic (ROC) 곡선이 직선에 가깝게 나타난다. 오경보 확률과 검출 확률이 동일하다는 의미는 신호가 존재하지 않고 잡음만이 존재하는 경우이다. 따라서 시뮬레이션 결과는 1, 2, 4, 5번째 부대역에는 재밍신호의 영향이 거의 없음을 나타낸다.

재밍 신호가 존재하는 3번째 부대역에서는 오경보 확률이 낮을 때에도 높은 검출확률을 보인다. 오경보 확률이 0.1 일 때 검출확률이 0.6 이 넘는 값을 가지며 오경보 확률이 0.5 이상일 때는 검출확률이 1에 수렴함을 관측할 수 있다. 실제로 재밍 신호가 존재할 경우 재밍 신호를 효과적으로 검출함을 확인할 수 있다.

또한 단일 스펙트럼 센싱에 비해 협력기반 스펙트럼 센싱을 적용할 경우 오경보 확률 0.1 일 때 검출확률이 0.8로 증가함을 확인할 수 있다. 또한 오경보 확률이 증가함에 따라 검출 확률이 더욱 빠르게 1로 수렴함을 알 수 있다. 따라서 협력기반 스펙트럼 센싱이 재밍 신호의 검출 성능을 증가시키는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다중대역에 존재하는 협대역 재밍 신호를 부대역으로 나누어 검출함으로써 재밍 신호가 존재하는 대역과 재밍 신호의 영향이 거의 없는 대역을 분리하여 주파수 효율을 높이는 방법을 확인하였다. ROC 곡선 분석을 통해 재밍 신호가 존재하는 대역에서 스펙트럼 센싱 기법이 재밍 신호를 효과적으로 검출함을 확인하였으며 재밍 신호가 존재하지 않는 대역이 재밍 신호의 영향이 거의 없으므로 사용가능한 대역임을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Akyildiz, I., Lo, B., & Balakrishnan, R. 2011, Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: A Survey, Phys. Commun., 4, 40-62. https://doi.org/10.1016/j.phycom.2010.12.003

Liang, Y., Chen, K., Li, G., & Mahonen, P. 2011, Cognitive radio networking and communications: An overview, IEEE Trans. Veh. Technol., 60, 3386-3407. https://doi.org/10.1109/TVT.2011.2158673

Liang, Y., Zeng, Y., Peh, E., & Hoang, A. 2008, Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks, IEEE Trans. Wireless Commun., 7, 1326-1337. https://doi.org/10.1109/TWC.2008.060869

Ma, J., Li, G., & Juang, B. 2009, Signal processing in cognitive radio, Proc. IEEE, 97, 805-823. https://doi.org/10.1109/JPROC.2009.2015707

Quan, Z., Cui, S., Sayed, A., & Poor, H. 2008, Wideband spectrum sensing in cognitive radio networks, Proc. IEEE Int. Conf. Commun., 901-906. https://doi.org/10.1109/ICC.2008.177

CUSUM 알고리즘 기반 Time Delay 추정을 이용한 재밍 신호 측위

최정애, 김선우*
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

CUSUM-based Time Delay Estimation for Jammer Geolocation

Jeongae Choi, Sunwoo Kim*
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

주소 : 서울특별시 성동구 왕십리로 222, 한양대학교 IT/BT 822 호
연락처 : 02-2220-4822 이메일 : chjswf@hanyang.ac.kr

Abstract: 현대전은 전자 장비에 크게 의존하기 때문에 의도적인 교란 신호가 발생하였을 경우 검출과 위치 탐지가 필수적이다. 본 논문에서는 전자기 환경에서 무선 신호에 영향을 끼치는 위협 신호를 빠르게 검출하며 위치를 추정하는 알고리즘을 제시하고 정확도를 확인한다. 센서가 균일하게 분포되어 있는 공간에서 위협 신호가 등장하였을 경우, cumulative sum(CUSUM) 알고리즘을 통해 위협 신호의 존재 유무를 판단하고 검출 시간을 확인 할 수 있다. 각 센서의 검출 시간 데이터는 fusion center로 전송되며, 검출 시간의 차이를 이용하여 거리를 계산하고, 위협 신호의 위치를 추정한다.

Keywords: CUSUM, localization, jamming, TDOA

1. 서 론

최근 드론, 자율주행차, 사물인터넷 등과 같이 무선 통신 기술을 기반으로 다양한 서비스가 활발해지고 있다. 이 때, 무선 통신 환경에서 GPS 신호 수신 방해, 전파 재밍 등의 의도적인 교란 신호가 가해진다면 심각한 피해가 발생할 것이다. 전파 교란의 사례는 점점 증가하는 추세이며 특히 민간 뿐만 아니라 군사 분야에도 많은 전자 장비를 사용하기 때문에 큰 위협이 될 수 있다. 그러므로 무선 신호에 영향을 끼치는 위협 신호를 빠르게 검출하고 위치를 추정하는 알고리즘과 관련기술 확보가 필수적이다. 본 논문에서는 시간에 따라 각 센서 수신 신호의 log likelihood ratio 값을 계산하고, 이것을 누적하여 더하는 cumulative sum(CUSUM) 알고리즘 (Poor & Hadjiliadis 2009)을 통해 위협 신호의 유무와 검출 시간을 확인한다. 이때 각 센서에서 위협 신호의 간섭이 시작된 시간은 모두 다르기 때문에 시간의 차이를 이용해 위치를 추정하고 MATLAB 시뮬레이션을 통해 정확도를 확인한다.

2. 본론

본 논문에서는 자기자신의 위치를 알고 있는 M개의 센서가 균일하게 배치되어 시간에 따라 신호를 수신하는 상황을 가정한다. 위협 신호가 등장했을 때, 각 센서는 위협 신호의 유무를 판단하고 fusion center로 검출 시간 정보를 전송한다. i ($1 \le i \le M$)번째 센서의 시간 n에 따른 간섭 신호의 존재를 검출하기 위한 검출 신호 모델은 가설 검증 방법을 통해 다음과 같이 표현한다 (Lai et al. 2008, Mei 2011).

$$\begin{cases} H_0: & Y_{i,n} = N_{i,n} & n = 1, \dots, t \\ H_1: \begin{cases} & Y_{i,n} = N_{i,n} & n = 1, \dots, k-1 \\ & \quad = N_{i,n} + X_{i,n} & n = k, \dots, t \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

H_0는 위협 신호가 나타나지 않은 경우이며, 이 때 수신 신호 $Y_{i,n}$은 오직 노이즈에만 영향을 받는다. $N_{i,n}$은 평균 0, 표준편차 σ_0인 가우시안(Gaussian)분포를 갖는 노이즈이다. 간섭 신호가 등장하는 H_1 은 위협 신호가 나타난 경우이며 k에서 간섭이 시작되었다고 가정한다. 수신 신호 $Y_{i,n}$은 간섭 신호 $X_{i,n}$와 노이즈의 합으로 표현된다. $X_{i,n}$은 톤 재밍 신호라고 가정하였고 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$X_{i,n} = \sqrt{A_J}\cos(2\pi f_J n + \theta) \quad (2)$$

$\sqrt{A_J}$는 톤 재밍 신호의 진폭, f_J는 톤 재밍 주파수, θ는 $(0,2\pi]$에서 uniform분포를 갖는 재밍 신호의 위상이다. 수신 신호 세기는 각 센서와 재밍 신호 사이의 거리에 의해 손실이 생기며, 또한 사이의 장애물 때문에 shadowing fading에 영향을 받는다.

$$P_{rx}(d_i) = P_{tx} - P_0 - 10\alpha log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) - x_\sigma \quad (3)$$

$P_{rx}(d_i)$는 i번째 센서의 수신 전력, P_{tx}는 송신 전력을 나타낸다. P_0는 기준 거리 d_0에서의 전력, α는 경로 손실 지수, d_i는 i번째 센서와 위협 신호 사이의 거리이다. Shadowing fading에 의해 발생하는 손실은 x_σ라 하며 평균 0, 표준편차 σ_1 분포를 따른다.

i번째 센서에서 간섭 신호가 발생한 시간 k이전의 수신 신호에 대한 확률 밀도 함수는 $f_{i,0} \sim N(0, \sigma_1^0)$, 발생 후의 확률 밀도 함수는 $f_{i,1} \sim N(A_1, \sigma_1^2)$라고 정의 할 수 있다. 간섭 신호가 시작된 시간을 기준으로 확률 밀도 함수는 $f_{i,0}$에서 $f_{i,1}$로 변화하므로 log likelihood ratio(LLR)를 이용하여 변화된 성질을 비교한다 (Wald 1973).

$$LLR_{i,n} = ln\frac{f_{i,1}(y_{i,n})}{f_{i,0}(y_{i,n})} \quad (4)$$

k이전의 $LLR_{i,n}$의 기댓값은 Kullback-Leibler 발산에 의해 음의 값을 가지므로 시간에 따라 누적된 값은 음의 값을 갖는다. k이후의 $LLR_{i,n}$의 기댓값은 양의 값을 가지므로 누적된 값 역시 시간이 지남에 따라 양의 값을 갖게 된다. CUSUM 알고리즘은 이러한 $LLR_{i,n}$값을 시간에 따라 누적하여 수신 신호의 성질이 변화된 순간을 검출하는 방법이며 다음과 같은 순환식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{i,n} = (C_{i,n-1} + LLR_{i,n})^+ \quad (5)$$

$C_{i,0} = 0$ 이며 $x^+ = \max(0, x)$이다. 각 센서에서는 시간 n에 따라 $C_{i,n}$을 임계값 h와 비교하고, 임계값을 넘는 순간을 위협 신호가 나타난 시간 T_i라고 판단한다.

$$T_i = inf\{n: C_{i,n} \geq h\} \quad (6)$$

거리는 시간과 속력의 곱이기 때문에 전파 속도 c(300,000km/s)와 검출 시간 T_i를 이용하여 센서와 위협 신호 사이의 거리 d_i를 계산할 수 있다. (x_i, y_i)는 i번째 센서의 위치, (x_s, y_s)는 재밍 신호의 위치라고 한다면 i번째 센서와 재밍 신호 사이의 거리 d_{i1}는 검출 시간의 차이를 이용하여 다음과 같이 표현한다.

$$d_{i1} = d_i - d_1 = (T_i - T_1) * c = \sqrt{(x_i - x_s)^2 - (y_i - y_s)^2} - \sqrt{(x_1 - x_s)^2 - (y_1 - y_s)^2} \quad (7)$$

식 (8)은 식 (7)의 양변을 제곱하여 정리한 것이며, 식 (9)와 같이 행렬로 나타낼 수 있다.

$$(x_i - x_1)(x_s - x_1) + (y_s - y_1)(y_s - y_1) + d_{i1}d_1 = \frac{1}{2}((x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2 - d_{i1})^2 \quad (8)$$

$$\boldsymbol{A\theta} = \boldsymbol{b} \quad (9)$$

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & d_{21} \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & d_{31} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_M - x_1 & y_M - y_1 & d_{M1} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} x_s - x_1 \\ y_s - y_1 \\ d_1 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 - d_{21}^2 \\ (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 - d_{31}^2 \\ \vdots \\ (x_M - x_1)^2 + (y_M - y_1)^2 - d_{M1}^2 \end{bmatrix}$$

최종적으로 Least squares 방법 (Weng et al. 2011)을 이용하여 위협 신호의 위치 $\hat{\boldsymbol{\theta}}$를 추정한다.

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = (\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{A}^T\boldsymbol{b} \quad (10)$$

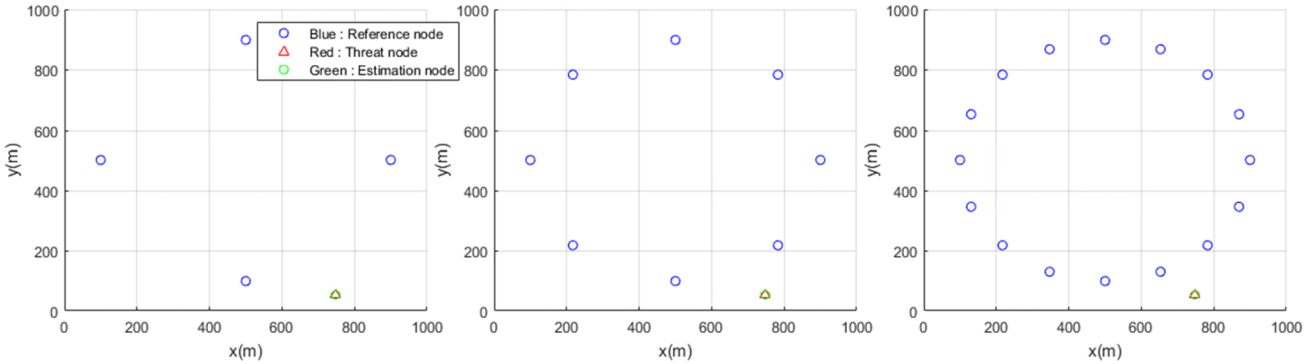


Fig. 1. An example of sensor nodes placement in different simulation scenarios. (a) Case 1: 4 sensor nodes, (b) Case 2: 8 sensor nodes, and (c) Case 3: 16 sensor nodes.

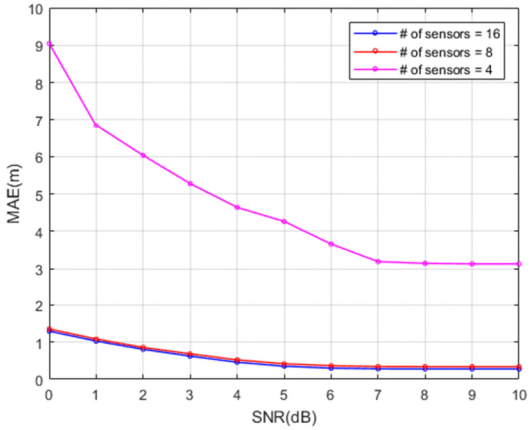


Fig. 2. Mean Absolute Error of the proposed algorithm over different SNR values.

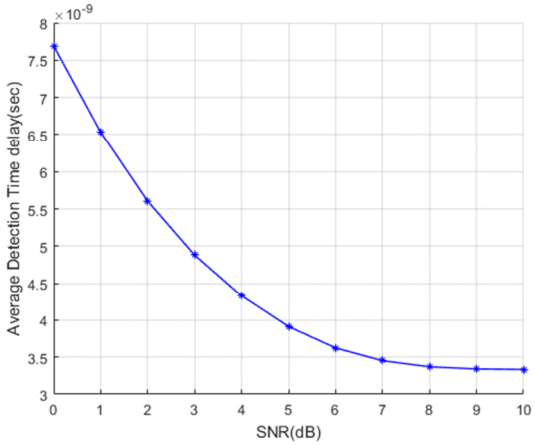


Fig. 3. Average detection time delay over different values of SNR.

3. 성능평가

본 논문에서는 1000m * 1000m 공간에서 3가지 경우의 센서 배치를 고려하였고 10,000회 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다. 위협 신호는 1000m * 1000m 공간 내에서 무작위로 배치되며 모든 센서에 영향을 미친다고 가정하였다. Fig. 1은 센서의 개수가 4개, 8개, 16개인 3가지 경우 각각의 배치도를 보여준다. 개수에 따른 성능을 평가하기 위해 Fig. 1과 같이 일정한 간격으로 센서를 배치하였다. Fig. 2는 신호 대 잡음비(SNR)에 따른 위협 신호의 위치 오차를 나타낸다. 알고리즘을 통해 추정된 위협 신호의 위치를 $(\hat{x_s}, \hat{y_s})$, 시뮬레이션 횟수를 N 이라고 한다면 위치 오차는 $e_i = \sqrt{(\hat{x_s} - x_s)^2 - (\hat{y_s} - y_s)^2}$이며, Mean Absolute Error(MAE)는 $\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|e_i|$이다. SNR이 0dB에서 10dB까지 증가할수록 위치 오차 값은 감소한다. 또한 센서의 개수가 4개인 경우보다 8와 16개인 경우 8m 정도 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. Fig. 3은 SNR에 따른 검출 시간 지연을 나타내는 그래프이다. 검출 시간 지연은 위협 신호가 나타났다고 판단한 시간 T_i와 실제 위협 신호가 나타난 시간 k와의 차이이다. SNR이 증가하면 $LLR_{i,n}$이 증가하는 폭 역시 커지기 때문에 임계값까지 도달하는 시간이 짧아져 검출 시간 지연은 감소한다.

4. 결론

본 논문에서는 일정하게 분포한 센서가 의도적인 신호에 간섭을 받았을 때, 해당 위협 신호 검출 및 위치를 추정하는 알고리즘을 제시하였다. CUSUM 알고리즘을 통해 누적된 log likelihood ratio 값이 임계값을 넘는 순간 위협 신호가 존재한다고 판단할 수 있다. 또한 이때의 시간을 위협 신호 검출 시간이라고 정의하였으며 각 센서에서 수집된 검출 시간의 차이를 이용하여 거리를 계산하였다. 최종적으로 위협 신호의 위치를 추정하여 시뮬레이션 결과를 제시하였으며 본 논문에서 제시한 알고리즘이 위협 신호 검출 및 위치 추정에 유용할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행하였음(UD160070BD).

REFERENCES

Lai, L., Fan, Y., & Poor, H. V. 2008, Quickest detection in cognitive radio: A sequential change detection framework, In Global Telecommunications Conference 2008, IEEE GLOBECOM 2008. IEEE, pp.1-5. https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2008.ECP.567

Mei, Y. 2011, Quickest detection in censoring sensor networks, In Information Theory Proceedings (ISIT), 2011 IEEE International Symposium on, pp.2148-2152. https://doi.org/10.1109/ISIT.2011.6034390

Poor, H. V. & Hadjiliadis, O. 2009, Quickest detection, vol. 40 (Cambridge: Cambridge University Press)

Wald, A. 1973, Sequential analysis (Mineola: Dover publications)

Weng, Y., Xiao, W., & Xie, L. 2011, Total least squares method for robust source localization in sensor networks using TDOA measurements, International Journal of Distributed Sensor Networks, 7, 172902. https://doi.org/10.1155/2011/172902

상호작용 다중 모델 확장 칼만필터를 이용한 이동하는 단일 전파교란 신호원 추적 기법

김선영[1], 강창호[2], 박찬국[3*], 주정민[4], 이기훈[5]
[1]서울대학교 기계항공공학부, [2]서울대학교 BK21 플러스 융합지식기반 창조형 기계항공인재 양성사업단, [3]서울대학교 기계항공공학부, 서울대학교 자동화시스템공동연구소, [4]한국항공우주연구원, [5]국방과학연구소

Interacting Multiple Model - Extended Kalman Filter for Moving Single Interference Source Tracking

Sun Young Kim[1], Chang Ho Kang[2], Chan Gook Park[3*], Jung Min Joo[4], Ki Hoon Lee[5]
[1]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University, [2]BK21+ Transformative Training Program for Creative Mechanical and Aerospace Engineers, Seoul National University, [3]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, / Automatic and Systems Research Institute, Seoul National University, [4]Korea Aerospace Research Institute, [5]Agency for Defense Development

주소 : 서울시 관악구 관악로 서울대학교 133 동 607 호
연락처 : 02-880-1732 이메일 : chanpark@snu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 이동하는 단일 전파교란 신호원을 추적하기 위해 확장 칼만 필터(EKF, extended Kalman filter) 기반의 상호작용 다중 모델 기법(IMM, interacting multiple model)을 사용하였다. 다중 모델 선정시 추적 성능과 연산량을 고려하여 등속도 모델과 정상선회 모델을 고려하였다. 제안한 기법의 성능 분석을 위해 Matlab 기반의 시뮬레이션을 진행하였으며, 이동하는 신호원의 궤적은 직선 운동과 회전 운동을 반복하는 시나리오로 가정하였다. 궤적에 대해 시뮬레이션을 진행한 결과 다중 모델 필터에서의 모델이 이동하는 단일 전파교란 신호원의 동특성 모델과 일치하는 경우 확률값이 가장 크게 나오며, 이를 통해 위치 추정을 한 결과 추정 성능이 뛰어남을 확인하였다.

Keywords: interacting multiple model, moving single interference source, extended Kalman filter, DOA

1. 서 론

재밍신호, 기만신호와 같은 인위적인 전파교란 신호는 위성항법시스템의 항법해 성능에 영향을 주기 때문에 이에 대한 대응이 필요하다. 관련 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있으며, 대응기법 중 하나로 전파교란 신호원의 위치를 찾는 연구가 진행되고 있다. 전파교란 신호원의 위치를 추정하는 방법은 측정치에 따라 수신된 신호세기 차이를 이용하는 방법(DRSS, differential received signal strength), 수신된 신호 도달 시간 차이를 이용하는 방법(TDOA, time difference of arrival), 수신된 신호 방향을 이용하는 방법(DOA, direction of arrival), 수신된 신호 주파수 차이를 이용하는 방법(FDOA, frequency difference of arrival) 등이 있으며 위치추정 성능을 높이기 위해 측정치를 융합하여 사용하는 방법도 연구되고 있다 (Kim et al. 2013, Park et al. 2015). 본 연구에서는 다른 측정치에 비해 위치 추정 정확도는 다소 떨어지지만 시각 동기화가 필요하지 않고 비교적 구현이 쉬운 DOA 측정치를 사용하여 신호원을 추정하였다 (Kim et al. 2017). 또한 고정된 신호원의 경우에는 최소 자승 방법으로 위치를 쉽게 추정할 수 있지만 신호원이 이동하는 경우에는 신호원의 동특성 모델을 기반으로 위치를 추정해야 하며 이때 모델의 정확도에 따라 위치 추정 성능이 달라진다. 하지만 전파교란 신호원의 동특성 모델은 정확히 알 수 없으므로 이를 위해 상호작용 다중 모델 확장 칼만필터를 사용하여 이동하는 전파교란 신호원의 위치를 추정하였다. 다중 모델 선정시 추적 성능과 연산량을 고려하여 등속도 모델과 정상선회 모델을 고려하였다. 제안한 기법의 성능 분석을 위해 Matlab 기반의 시뮬레이션을 진행하였으며, 이동하는 신호원의 궤적은 직선 운동과 회전 운동이 반복되는 시나리오로 가정하였다.

2. 단일 전파교란 신호원 추적 기법

2.1 상호작용 다중 모델 선정

IMM 모델은 보통 등속도 (CV, constant velocity), 등가속도 (CA, constant acceleration), 정상선회 (CT, coordinated turn) 모델을 사용하며, 정상선회 모델은 등가속도 모델보다 회전하는 표적의 추적에 많이 사용된다. 본 논문에서는 IMM 구현 시 추적 성능과 연산량을 고려하여 일반적으로 표적의 동특성을 잘 표현하는 등속도 모델과 정상선회 모델을 선정하였으며, 각각 식 (3)과 식 (4)와 같이 모델링하였다.

$$x_{k+1} = F_k x_k + \Gamma w_k \tag{1}$$

$$x_k = \begin{bmatrix} p_x \\ v_x \\ p_y \\ v_y \end{bmatrix}_k, \; w_k = \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \end{bmatrix}_k \tag{2}$$

$$F_{CV} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 \\ T & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & T \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$F_{CT} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} & 0 & \frac{-(1-\cos(\omega T)}{\omega} \\ 0 & \cos(\omega T) & 0 & -\sin(\omega T) \\ 0 & \frac{1-\cos(\omega T)}{\omega} & 1 & \frac{\sin(\omega T)}{\omega} \\ 0 & \sin(\omega T) & 0 & \cos(\omega T) \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 \\ T & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & T \end{bmatrix} \tag{4}$$

여기서 ω 는 회전 각속도로 계산을 통해서 구할 수도 있지만 (Genovese 2001), 본 논문에서는 식 (2)와 같이 상태변수를 x, y 축 각각의 위치와 속도로 정하였고 측정치도 각도 정보 하나만 사용하기 때문에 CT 모델을 ω 에 따라 다르게 설정하였다.

2.2 상호작용 다중 모델 확장 칼만필터

IMM은 여러 개의 시스템 모델을 사용하여 필터를 구성하고 각 필터의 출력을 상호적으로 연동하는 구조로, 기동을 모르는 표적을 추적할 때 많이 사용된다(Blom & Bar-Shalom 1988, Bar-Shalom et al. 2004). Fig 1은 IMM 구조도이다.

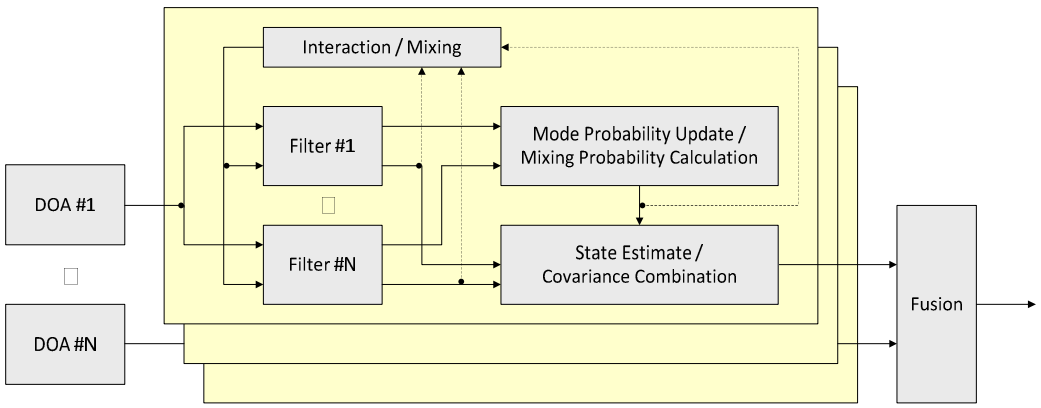


Fig. 1. IMM structure.

IMM 알고리즘 순서는 다음과 같다 (Gomes 2008). 먼저 모드 (mode) 확률에 대한 초기치 및 모드 간에 변환 (transition)이 될 확률인 마코프 연쇄 변화 행렬 (Markov chain transition matrix) π_{ji} 를 설정한 후에 식 (5-8)과 같이 모델마다 재초기화 과정을 수행한다.

$$\mu_{k|k-1}^{(i)} = \sum_j \pi_{ji} \mu_{k-1}^{(j)} \tag{5}$$

$$\mu_{k-1}^{j|i} = \frac{\pi_{ji}\mu_{k-1}^{(j)}}{\mu_{k|k-1}^{(i)}} \tag{6}$$

$$\bar{x}_{k-1|k-1}^{(i)} = \sum_j \hat{x}_{k-1|k-1}^{(j)}\mu_{k-1}^{j|i} \tag{7}$$

$$\bar{P}_{k-1|k-1}^{(i)} = \sum_j \left[P_{k-1|k-1}^{(j)} + (\bar{x}_{k-1|k-1}^{(i)} - \hat{x}_{k-1|k-1}^{(j)})(\bar{x}_{k-1|k-1}^{(i)} - \hat{x}_{k-1|k-1}^{(j)})^T \right]\mu_{k-1}^{j|i} \tag{8}$$

여기서 $\mu_{k|k-1}^{(i)}$ 는 예측된 모드 확률을 나타내고, $\mu_{k-1}^{j|i}$ 는 가중치 혼합, $\bar{x}_{k-1|k-1}^{(i)}$ 와 $\bar{P}_{k-1|k-1}^{(i)}$ 는 각각 혼합한 상태변수와 공분산을 나타낸다.

다음으로 식 (9-13)과 같이 모델마다 필터링 과정을 수행한다.

$$\tilde{z}_k^{(i)} = z_k - H_k^{(i)}\hat{x}_{k|k-1}^{(i)} - \bar{v}_k^{(i)} \tag{9}$$

$$K_k^{(i)} = P_{k|k-1}^{(i)}(H_k^{(i)})^T(S_k^{(i)})^{-1} \tag{10}$$

$$S_k^{(i)} = H_k^{(i)}P_{k|k-1}^{(i)}(H_k^{(i)})^T + R_k^{(i)} \tag{11}$$

$$\hat{x}_{k|k}^{(i)} = \hat{x}_{k|k-1}^{(i)} + K_k^{(i)}\tilde{z}_k^{(i)} \tag{12}$$

$$P_{k|k}^{(i)} = P_{k|k-1}^{(i)} - K_k^{(i)}S_k^{(i)}(K_k^{(i)})^T \tag{13}$$

여기서 $\tilde{z}_k^{(i)}$ 는 측정치 잔차를 나타내고, $K_k^{(i)}$ 는 칼만 게인, $S_k^{(i)}$ 는 잔차의 공분산을 나타낸다. $\hat{x}_{k|k}^{(i)}$ 와 $P_{k|k}^{(i)}$ 는 각각 업데이트된 상태변수와 공분산을 나타낸다.

그 다음으로 식 (14)와 같이 모델에 대한 우도 함수 (likelihood)를 구한 후에 식 (15)와 같이 모델 확률 $\mu_k^{(i)}$ 을 업데이트 한다.

$$L_k^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{|2\pi S_k^{(i)}|}}\exp\left[-\frac{1}{2}(\tilde{z}_k^{(i)})^T(S_k^{(i)})^{-1}\tilde{z}_k^{(i)}\right] \tag{14}$$

$$\mu_k^{(i)} = \frac{\mu_{k-1}^{(i)}L_k^{(i)}}{\sum_j \mu_{k-1}^{(j)}L_k^{(j)}} \tag{15}$$

마지막으로 식 (16), (17)과 같이 추정된 상태변수와 공분산 값을 융합한다.

$$\hat{x}_{k|k} = \sum_i \hat{x}_{k|k}^{(i)}\mu_k^{(i)} \tag{16}$$

$$P_{k|k} = \sum_i \left[P_{k|k}^{(i)} + \left(\hat{x}_{k|k} - \hat{x}_{k|k}^{(i)}\right)\left(\hat{x}_{k|k} - \hat{x}_{k|k}^{(i)}\right)^T \right]\mu_k^{(i)} \tag{17}$$

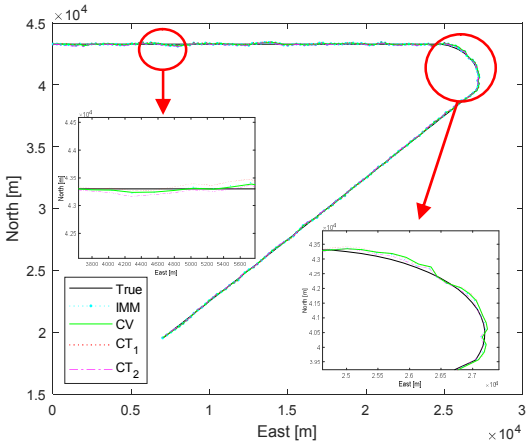


Fig. 2 True trajectory & estimation result.

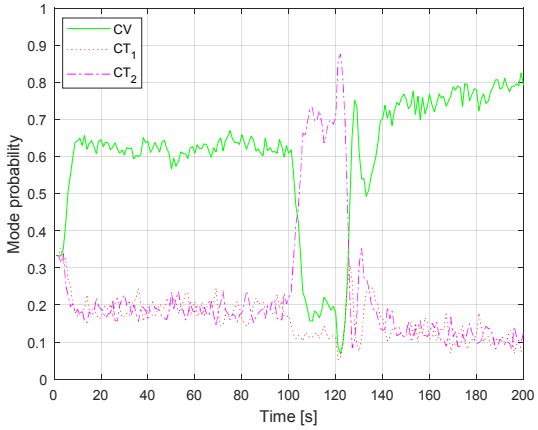


Fig. 3 Mode probability.

3. 시뮬레이션

제안한 기법의 성능 분석을 위해 Matlab 기반의 시뮬레이션을 진행하였다. 이동하는 신호원의 궤적은 Fig 2에서 확인할 수 있듯이 직선 운동과 회전 운동을 반복하는 시나리오로 가정하였다. 시뮬레이션을 진행한 결과 Fig 3과 같이 다중 모델 필터에서의 모델이 이동하는 단일 전파교란 신호원의 동특성 모델과 일치하는 경우 확률 값이 가장 크게 나오며, 이를 통해 Fig 2와 같이 위치 추정을 한 결과 단일 모델(등속도 모델)만 사용할 경우보다 추정 성능이 뛰어남을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 이동하는 단일 전파교란 신호원을 추적하기 위해 확장 칼만 필터 기반의 상호작용 다중 모델 기법을 사용하였다. 다중 모델 선정시 추적 성능과 연산량을 고려하여 등속도 모델과 정상선회 모델을 고려하였다. 제안한 기법의 성능 분석을 위해 Matlab 기반의 시뮬레이션을 진행하였으며, 직선 운동과 회전 운동이 혼합된 궤적에 대해 시뮬레이션을 진행한 결과 다중 모델 필터에서의 모델이 이동하는 단일 전파교란 신호원의 동특성 모델과 일치하는 경우 단일 모델을 사용한 필터링 결과 보다 추정 성능이 뛰어남을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bar-Shalom, Y., Li, X. R., & Kirubarajan, T. 2004, Estimation with applications to tracking and navigation: theory algorithms and software (New York: John Wiley & Sons)

Blom, H. A. & Bar-Shalom, Y. 1988, The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients, IEEE Transactions on Automatic Control, 33, 780-783.

Genovese, A. F. 2001, The interacting multiple model algorithm for accurate state estimation of maneuvering targets, Johns Hopkins APL technical digest, 22, 614-623.

Gomes, J. B. B. 2008, An Overview on Target Tracking Using Multiple Model Methods, Master's Degree, Technical University of Lisbon, Portugal

Kim, S. Y., Kang, C. H., Park, C. G., Lee, K. H., & Yu, M. J. 2017, A Study on Arrangement of Moving Base Stations for Localization of Interference Source, KIMST 2017, 465-466 (Korean)

Kim, Y. H., Kim, D. G., Han, J. W., Song, K. H., & Kim, H. N. 2013, Gauss-Newton Based Estimation for Moving Emitter Location Using TDOA/FDOA Measurements and Its Analysis, Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, 50, 62-71.(Korean)

Park, J. O., Lee, M. S., & Park, Y, M. 2015, Estimation and Analysis of Two Moving Platform Passive Emitter Location Using T/FDOA and DOA, Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, 52, 121-131.(Korean)



[C4] 재밍과 교란 3

소프트웨어 기반 기만 시뮬레이터 개발 및 기만 시나리오 생성

신범주[1], 박민혁[1], 전상훈[1], 소형민[2], 장재규[2], 이기훈[2], 강태원[3,4], 서지원[3,4], 기창돈[1*]
[1]서울대학교 기계항공공학과, [2]국방과학연구소, [3]연세대학교 글로벌융합공학부, [4]연세대학교 글로벌 융합기술원

Software-Based Spoofing Simulator Development and Spoofing Scenario Generation

Beomju Shin[1], Minhuck Park[1], Sanghoon Jeon[1], Hyoungmin So[2], Jaegyu Jang[2], Kihoon Lee[2], Taewon Kang[3,4], Jiwon Seo[3,4], Changdon Kee[1*]
[1]Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea,
[2]Agency for Defense Development, Daejeon 305-600, Korea, [3]School of Integrated Technology, Yonsei University,
[4]Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소: 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 301 동 1410 호
연락처: 02-880-7395 이메일: kee@snu.ac.kr

Abstract: GPS 위성에서 송신되는 신호의 세기는 지상에서는 매우 미약하기 때문에 다양한 전파교란 문제에 대두되어 있다. 본 연구에서는 GPS 수신기에 대해서, 다양한 전파교란공격에 대한 실험을 야외에서 진행하는 데는 여러가지 어려움이 있기 때문에, 이를 소프트웨어로 구현하고, 이에 대한 분석을 진행하였다. 구현한 소프트웨어는 재방송, 기만 등의 교란 시나리오를 생성하고, 시나리오에 대한 측정치 및 IF data를 생성한다. 그리고 소프트웨어 수신기에서는 위의 생성 파일을 바탕으로 신호 처리를 진행한다. 재방송 및 기만 공격이 성공하기 위한 시나리오를 구성하고, 해당 교란 시나리오에 대해서 소프트웨어 수신기의 채널도메인과 위치도메인에서 발생하는 현상을 분석하였다. 또한 다양한 신호 세기 및 도플러 오차를 가지는 기만 신호에 대한 수신기에서의 현상에 대해서 분석하였다.

Keywords: GPS, spoofing, software defined receiver

1. 서 론

GPS는 약 22,000km의 높은 고도에서 신호가 송신되기 때문에 지상에 도달한 신호의 세기는 매우 미약하며, 전파교란 문제에 쉽게 노출된다 (Jung et al. 2012). 이에 대해 대응하는 기술이 없다면, GPS 수신기는 잘못된 정보를 사용자에게 제공하며, 사용자에게 다양한 위협을 가할 수 있다 (Shepard & Humphreys 2011).

전파교란 공격에 대해 방어기술을 개발하기 위해서는, 먼저 전파교란 공격이 사용자 수신기에 들어왔을 때, 수신기에서 어떤 현상이 일어나는지 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 소프트웨어 기반으로 전파교란 상황을 모사하고 소프트웨어 수신기에서 전파교란 공격에 대해 어떤 현상이 일어나는지 분석하였다.

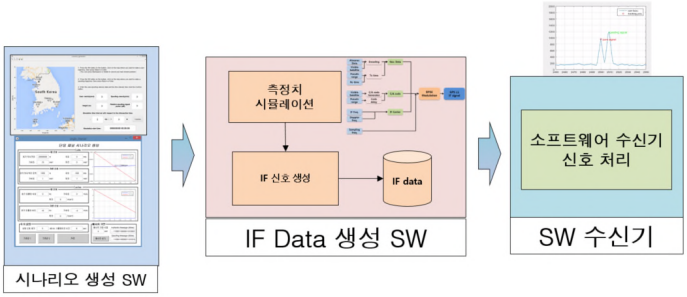


Fig. 1. Overall system diagram.

2. 프로그램 구성도

본 연구에서 개발한 소프트웨어 구성도는 Fig. 1과 같다. 기만 시나리오 생성 소프트웨어을 통해서 기만시나리오가 생성되는데 사용자가 단일 채널 또는 멀티채널등을 선택해서 생성할 수 있다. 기만

시나리오를 통해서 GPS/기만 신호의 의사거리, 도플러, 신호세기 등의 측정치를 생성하고, 측정치 데이터를 IF data로 변환한다. 소프트웨어 수신기에서 IF data 신호처리를 통해서 각 채널 및 위치 도메인에서 발생하는 현상을 분석한다.

3. 실험 결과

3.1 재방송 공격

재방송 공격은 리피터에서 강한 신호를 송출하게 되면, 사용자 수신기가 원 신호가 아닌 재방송 신호를 수신하며, 결국 사용자의 위치가 리피터의 위치로 계산 되게 된다. 이를 확인하기 위해서 본 시뮬레이션에서는 원 신호보다 약 30dB 신호가 큰 재방송신호를 생성하고, 두 신호를 합하여 IF data를 생성한 후, 소프트웨어 수신기로 결과를 확인하였다. 확인 결과 재방송 신호가 송신되면, 기존 원 신호를 추적하고 있던 tracking lock이 끊어지게 되며, 신호 재획득시 재방송 신호를 tracking 하게 되었다. 그리고 위치 계산 결과가 기존 위치에서 리피터의 위치로 변하는 것을 확인하였다. Fig. 2의 왼쪽 그림은 재방송 공격 결과를 보여준다. 푸른색 선은 수신기의 경로를 보여준다. 남서방향으로 이동하던 수신기의 위치가 재방송 공격 후 붉은 점으로 이동했음을 보여준다. 또한 Fig. 2의 오른쪽 그림을 보면 특정 채널의 도플러 값이 재방송 공격 후 변하는 것을 확인 할 수 있다.

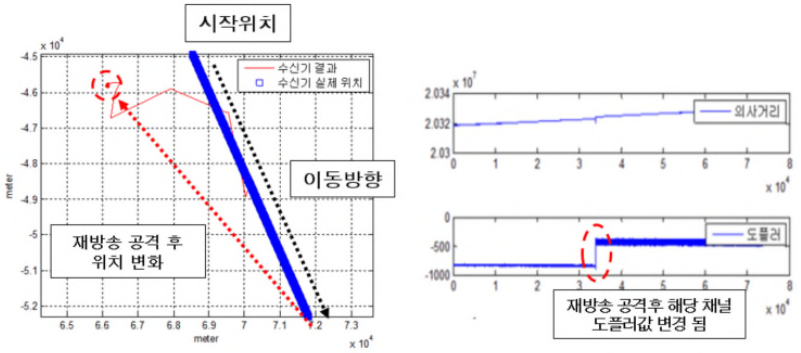


Fig. 2. Result of meaconing attack.

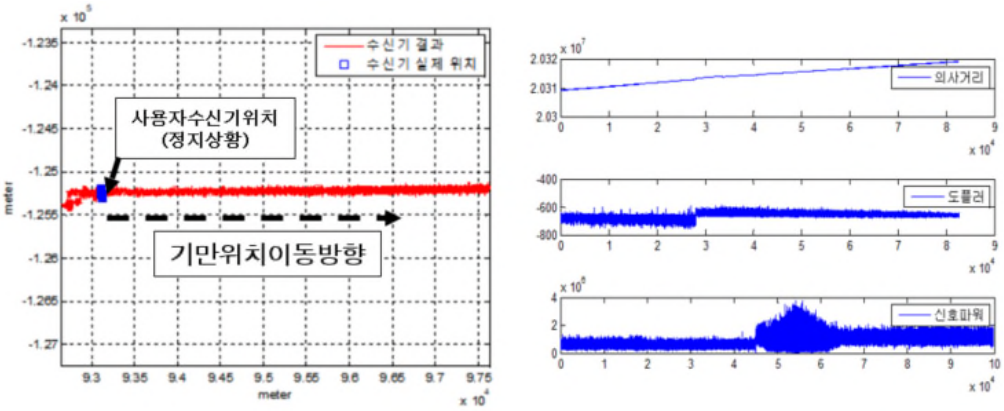


Fig. 3. Result of meaconing attack.

3.2 기만 공격

기만 공격은 사용자가 잘못된 시각, 위치 정보를 계산하게 하는 전략이다. 기만 공격과 재방송 공격의 가장 큰 차이점은, 기만공격에서는 사용자 수신기의 tracking lock이 유지된다는 점이다. 사용자 수신기의 위치와 속도를 알고 있다는 가정하면, 사용자 수신기가 tracking하고 있는 특정 위성 신호의 code phase와 도플러 값을 추정할 수 있기 때문에, 이를 바탕으로 기만 신호를 생성한다. 위치 기만 시뮬레이션에서는 도플러 값은 유지한 채 code phase를 변화시켜 가면서 사용자 위치를 기만하는 시뮬레이션을 진행했다. Fig. 3은 사용자 수신기의 위치 기만 결과를 보여준다. 왼쪽 그림에서 사용자는

정지한 상황이지만, 기만이 진행된 후, 사용자의 위치가 오른쪽으로 이동함을 확인할 수 있다. 또한 기만 이후에 도플러 및 신호 파워도 변화가 있음을 오른쪽 그래프를 통해서 확인할 수 있다.

기만이 수행되기 위한 기본 조건은 신호세기가 원 세기 보다 일정크기이상 커야 되며, 도플러 오차가 일정 수준 이하로 맞아야 된다. 각 파라미터에 대한 기만 성공여부를 확인하기 위해서, 각 파라미터들을 달리하며 기만 신호를 생성한 후 기만시뮬레이션을 진행해 보았다. 신호 세기를 달리할 때에는 도플러 오차는 없게 설정을 했고, 도플러 값을 변화시킬 때는 신호 세기는 기만 신호가 원 신호 대비 3dB 크게 생성하였다. 시뮬레이션 결과 신호 세기의 경우, 기만 신호와 원 신호의 신호세기가 같은 경우에도 기만이 성공하였지만, 2dB이상 기만 신호가 원 신호보다 클 때 안정적으로 기만을 수행하였다. 또한 도플러의 경우 소프트웨어 수신기의 적분시간이 1ms인 경우 약 160Hz 이하의 오차인 경우에 기만이 안정적으로 수행이 되었다. 소프트웨어 수신기의 세팅에 따라 해당 결과는 달라 질 수 있기 때문에, 다양한 수신기 환경에서의 실험도 향후 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 교란 공격에 대한 GPS수신기에서의 현상을 파악하기 위해서, 이를 모사하는 소프트웨어를 개발하고 분석하였다. 교란 공격에 대해서는 재방송과 기만 신호를 생성하여 시뮬레이션을 진행하였다. 특히, 기만 신호에 대해서 신호 세기, 도플러 오차 다른 상황에서 어떤 현상이 일어나는지 분석을 진행하였으며, 기만 신호의 다양한 세팅 값에 따라 기만 공격 성공여부가 달라짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 항공우주신기술연구소를 통해 계약된 국방과학연구소의 위탁과제연구 “ GPS 수신기기만조건 생성 M&S S/W 제작”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Jung, S.-K., Kim, T.-H., Shin, C.-S., Lee, S.-W., 2012, Technical Trends of Smart Jamming for GPS Signal, Electronic and Telecommunications Trends, 27(6), 75-82

Shepard, D. P. & Humphreys, T. E. 2011, Characterization of Receiver Response to a Spoofing Attack, In Proceedings of the ION GNSS Meeting, September 20-23, 2011, Portland, OR, pp.2608-2618

동적 GPS 기만신호에 대한 수신기 영향분석

조성한[1*], 이치헌[2], 이상정[3]
[1]넵코어스 핵심기술센터, [2]국방과학연구소 제2기술연구본부, [3]충남대학교 전자공학과

Analysis of the Effect of Dynamic Spoofing Signals on GPS Receiver

Seong-Han Cho[1], Chi-Hun Lee[2], Sang-Jeong Lee[3*]
[1]NAVCOURS Co.,Ltd. Core Technology Center, [2]The 2nd R&D Institute C/EW DTR, Agency for Defense Development,
[3]Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6(관평동 713)
연락처 : 042-363-9016 이메일 : jinset@navcours.com

Abstract: Global Positioning System(GPS)는 지상의 위성으로부터 지구표면까지 도달하는 신호 레벨이 작아 기만 또는 재밍 신호에 취약한 단점을 갖고 있다. 특히 기만신호는 저전력으로 기만이 가능하기 때문에 항기만에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. GPS 수신기의 기만 기법은 목표 수신기의 코드 지연과 도플러 주파수를 동일하게 일치시켜야 하기 때문에 목표 수신기의 정확한 위치를 알고 있을 경우에만 가능하다. 하지만 일반적으로는 목표 수신기의 정확한 위치를 알 수 없기 때문에 기만 확률을 높이기 위해 동적 기만신호 또는 기만을 위한 탐색 기법을 적용해야 한다. 따라서 항기만 기법 연구를 위해서는 동적 기만신호 또는 기만을 위한 탐색 기법에 대한 영향 분석연구가 선행되어야 한다. 본 논문에서는 동적 GPS 기만신호에 대한 수신기 영향분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 시뮬레이션은 GPS 시뮬레이터 2대를 이용하여 실제 위성신호와 동적 기만신호를 모의하며, 상용 GPS 수신기를 통해 영향분석을 수행하였다.

Keywords: GPS, jamming, spoofing, GNSS

1. 서 론

GPS는 사용자에게 정확한 Position, Velocity, Time (PVT) 정보를 전달하기 위한 목적으로 운용중인 전파항법시스템이다 (Kim et al. 2004). GPS 시스템의 기능을 방해하기 위한 고의적인 방해 요소로 재밍(Jamming), 기만(Spoofing), 미코닝(Meaconing) 등이 있다. GPS 신호는 지상으로부터 지구의 표면까지 수신되는 신호의 전력세기 낮기 때문에 GPS 신호와 같은 주파수 대역의 큰 신호 전력을 송신하는 재머를 이용하여 쉽게 재밍할 수 있다 (Choi et al. 2011). 재밍의 목적은 목표 수신기의 신호 획득 및 추적 기능을 방해하여 수신기가 PVT 정보를 서비스 받지 못하도록 하는 것이다. 또한 미코닝과 기만은 목표 수신기가 잘 못된 정보를 실제 위성신호라고 인식하여 사용하도록 함으로써 사용환경에 따라 더 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 미코닝은 수신기가 Time of Arrival 기법의 정보를 사용하여 위치를 추정하는 것을 이용하여 임의의 위치에서 수신한 GPS 신호를 시간 지연한 후 다시 목표 수신기에 재송신하여 오차가 인가된 PVT 정보를 서비스 한다. 기만신호는 공개된 상용 GPS 신호의 구조를 이용하여 사용자 위치가 아닌 다른 임의의 위치 기반으로 GPS 신호를 생성하여 목표 수신기에 송신함으로써 목표 수신기를 임의의 위치로 기만할 수 있다. 기만 사용자가 정확한 PVT 정보를 서비스 받지 못하도록 하는 것을 목적으로 한다. 목표 수신기에는 기만신호를 판단하기 위한 알고리즘이 없을 경우 기만신호를 검출할 수 없으며, 적용분야에 따라 치명적일 수 도 있다. 그러나 목표 수신기의 기만확률을 올리기 위해서는 정확한 PVT 정보를 획득해야 한다. 하지만 일반적으로는 목표 수신기의 정확한 PVT를 알 수 없기 때문에 기만확률을 높일 수 있는 기법 등이 필요하다. 동적 GPS 기만신호는 목표 수신기의 대략적인 PVT 정보를 알고 있을 경우 기만 확률을 높기 위한 기법이며, 대략적인 PVT 정보를 바탕으로 도플러 주파수와 코드 지연 값을 지속적으로 변경하여 기만신호를 생성한다. 따라서 일반적인 기만신호에 비해 기만 확률을 높일 수 있다. 본 논문에서는 동적 GPS 기만신호에 대한 수신기 영향분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 시뮬레이션은 상용 GPS 시뮬레이터를 적용하여 실제 위성신호를 가정한 위성모의신호와 동적 기만신호를 생성하며, 상용 GPS 수신기를 적용하여 동적 기만신호 입력 시 수신기에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 동적 GPS 기만신호

GPS 기만신호는 GPS 신호와 동일한 구조를 가지며, 목표 수신기가 정확한 PVT 정보를 추정할 수

없도록 거짓된 항법 메시지와 오차가 포함된 C/A 코드를 갖는다. 기만 신호는 재밍 신호와 다르게 GPS 수신기의 전체 항법 과정에 영향을 미친다(Shin et al. 2010). Fig. 1은 GPS 기만신호의 개요도 이다.

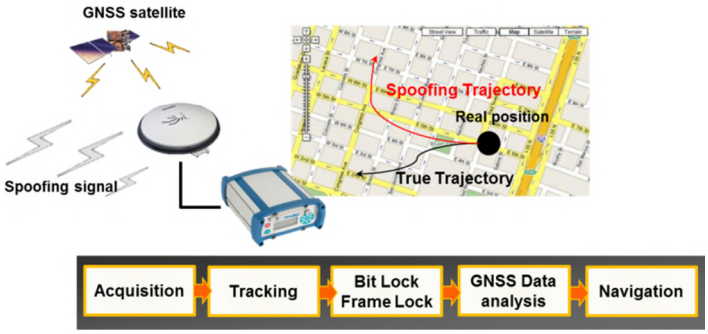


Fig. 1. The spoofing concept of figure.

그림에서는 알 수 있듯 GPS 기만신호는 목표 수신기의 수신가능 하도록 GPS 위성신호와 동일한 주파수, 코드, 항법메시지, 신호전력 등을 목표 수신기의 PVT 정보를 고려하여 기만신호를 생성해야 하며, GPS 신호는 민간용 신호이기 때문에 ICD-GPS-200에 공개되어 코드, 항법메시지, 주파수 등은 쉽게 고려할 수 있다. Fig. 2는 GPS 기만신호에 대한 상관 값을 나타낸 그림이다.

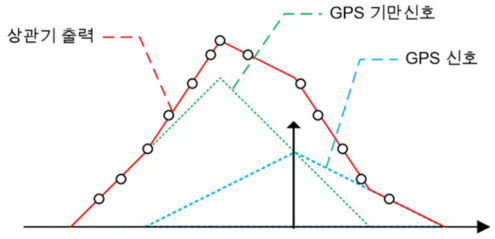


Fig. 2. The spoofing effect of figure.

하지만 GPS 수신기의 기만은 일반적으로 목표 수신기의 PVT 정보를 알 수 없을 경우 기만 확률이 낮다. 따라서 대략적인 목표 수신기의 PVT 정보를 바탕으로 확률을 높이기 위한 기법이 적용되어야 한다. 동적 GPS 기만신호는 수신기가 추적 중인 GPS 신호를 검색하여 기만신호를 추적하도록 하기 위한 목으로 생성된 신호이다. Fig. 3은 동적 GPS 기만신호의 개념도이다.

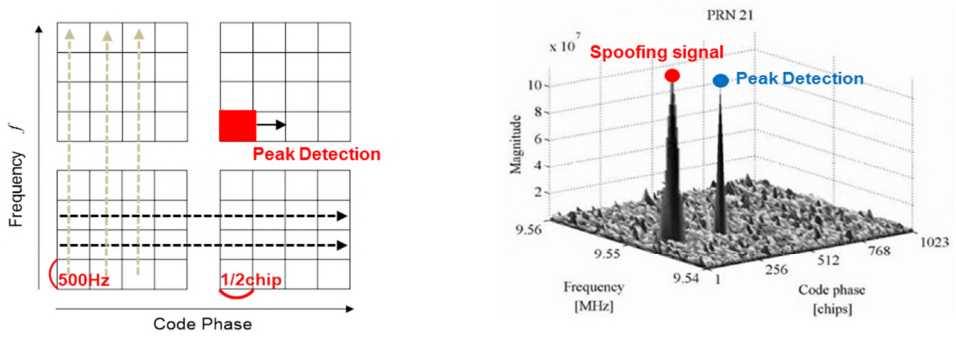


Fig. 3. The dynamic spoofing signal of figure.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 환경 및 시나리오

동적 GPS 기만신호의 시뮬레이션은 시뮬레이터 2대와 시각동기를 위한 트리거발생기 1대, 분석을 위한 상용 GPS 수신기 1대, 모든 장치의 연동 및 통제를 위한 제어시현기로 구성한다. 시뮬레이터는

GPS 위성신호 모의와 동적 기만신호를 생성하며, 10MHz 클럭을 공유한다. 또한 두 대의 시뮬레이터의 시각동기를 위해 트리거발생기를 적용한다. 제어시현기는 모든 장치의 연동 및 통제를 수행하며 또한 GPS 모의신호의 경로와 동적 GPS 기만신호의 경로를 생성하여 각 시뮬레이터에 전송한다. Fig. 4는 시뮬레이션의 하드웨어 구성을 나타낸 그림이다.

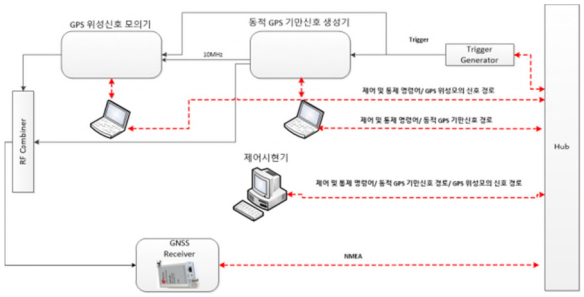


Fig. 4. The configuration of figure.

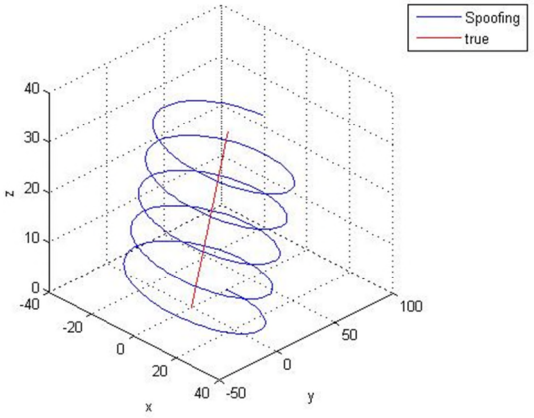


Fig. 5. The simulation trajectory of figure.

시뮬레이션의 시나리오니 직선으로 이동하는 물체의 경로를 기반으로 GPS 신호를 모의하며, GPS 신호의 경로를 원형으로 회전하는 경로를 기만으로 동적 GPS 기만신호를 생성하여 시뮬레이션을 수행한다. Fig. 5는 시뮬레이션 경로를 나타낸 그림이다.

또한 시각동기를 위해 각 시뮬레이터의 신호생성 GPS Time 동일하게 한다. 또한 클럭동기를 위해 GPS 신호모의기의 10MHz Reference 출력을 동적 GPS 기만신호를 생성기에 입력한다. Fig. 5 시각동기의 결과를 확인하기 위해 각 시뮬레이터의 1PPS를 확인한 결과이다. 그림에서도 알 수 있듯 각 시뮬레이터의 동기는 약 50ns이다. Fig. 6은 동기결과를 나타낸 그림이다.

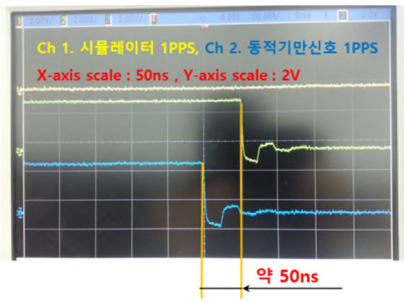


Fig. 6. The sync result of figure.

3.2 시뮬레이션 결과

Fig. 7은 동적 GPS 기만신호의 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 대략적인 PVT 정보를 알고 있을 경우 동적 기만신호를 적용하여 수신기를 기만할 수 있다. 또한 기만신호를 추적 시 오차가 증가하는 것을 알 수 있다.

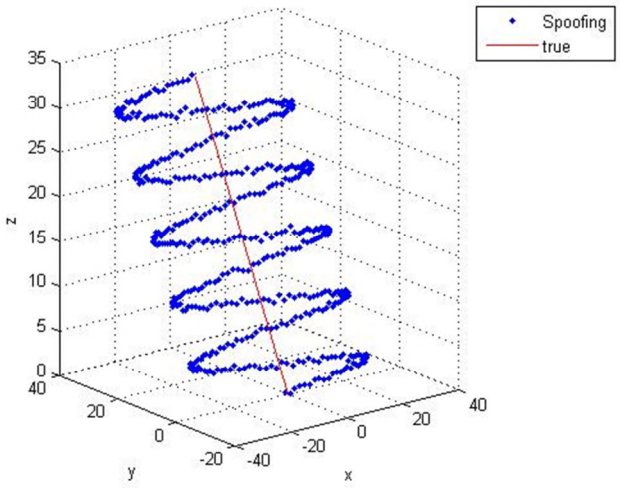


Fig. 7. The simulation result of figure.

4. 결론

본 논문에서는 동적 GPS 기만신호에 대한 영향분석을 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 시뮬레이션은 상용 GPS 수신기를 적용하여 위치정보를 기반으로 수행하였다. 목표 수신기의 대략적인 위치를 알고 있을 경우 기만 확률을 높이기 위해서는 동적 기만과 같은 기만을 위한 탐색 기법 등이 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 항재밍 연구를 위해서는 동적 기만신호에 대한 연구가 선행되어야 한다. 또한 본 논문은 GPS 기만관련 연구에 활용될 수 있을 것으로 추정된다.

REFERENCES

Choi, H. H., Jin, M. H., Lim, D. W., Nam, G. W., Park, C. S., et al. 2011, A Study of DOA estimation based on TDOA/AOA for jammer localization, The Journal of Advanced Navigation Technology, 15, 962- 969.

Kim B. D., Kim B. S., & Choi, W. S. 2004, GNSS standardization trends and major standardization organizations, Korea Institute of Surveying & Mapping, 77, 81-87.

Shin, M. Y., Cho, S. L., Kim, J. O., Song, K. W., & Lee, S. J., 2010, Analysis of GPS Spoofing Characteristics and Effects on GPS Receiver, Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 13, 296-303.

GPS C/A신호를 사용한 기만공격 검출기 성능분석

장재규*, 소형민, 이기훈, 박준표
국방과학연구소

Performance Analysis of a Spoofing Attack Detector with GPS C/A Signals

Jaegyu Jang*, Hyoungmin So, Kihoon Lee, Jun-Pyo Park
Agency for Defense Development

주소 : 34188 대전광역시 유성우체국 사서함 35 호
연락처 : 041-821-3643 이메일 : jaegyu.jang@gmail.com

Abstract: GPS L1 C/A 신호와 같이 민간에 공개된 신호의 경우 모의가 가능하기 때문에 악의적인 기만(spoofing) 공격에 쉽게 노출될 수 있다. 반면 암호화된 군용 P(Y) 신호의 경우 모의가 사실상 매우 힘들어 인증된(authorized) 사용자만 접근 가능하여 기만공격에 강인한 특성을 갖는다. 사용자가 수신한 기만 신호에 군용 P(Y) 신호가 없다는 가정하에, 안전한 장소에 있는 또 다른 수신기 신호와의 무 코드 상관(codeless correlation) 출력을 기만신호 검출에 사용하는 연구가 최근 몇 년 간 여러 연구자들 사이에 진행되고 있다. 본 논문에서는 첫째 민간 신호를 사용한 기만신호 검출시스템에 대한 이론적 소개와 알고리즘 특성을 설명하였다. 둘째 두 수신기 사이의 상관 출력을 사용한 기만신호 검출 시스템을 실제 구현하고 시험을 통해 검출 성능을 비교해 보았다.

Keywords: spoofing detection, codeless-correlation, GPS, P(Y) code

1. 서 론

GPS L1 C/A 신호와 같은 민간 신호는 구조가 공개되어 있기 때문에, 고의적인 기만(spoofing)공격에 대해 매우 취약하다. 매우 드물기는 하지만 최근 몇 년간 기만 의심사례가 보고되고 있으며(Peterson 2011, Goff 2017), 실험차원에서의 성공적인 기만사례들도 공개되고 있다(Kerns et al. 2014). 이러한 기만공격으로부터 사용자를 보호할 수 있는 기만공격 검출방법은 다양한 방법들이 제시되고 있으나, 그 중에서 제일 뛰어난 성능을 보여주는 것은 다중안테나 또는 관성센서를 사용한 방법과, 암호화 인증(cryptographic authentication)을 사용하는 방법을 들 수 있다. 이들 중 민간 영역에서 접근 가능한 방법 중 최적의 방안은 암호화 인증을 꼽을 수 있다. 상용 GPS 수신기를 사용한 암호화 인증방법은 미국의 Stanford 대학에서 처음 제시되었으며(Lo et al. 2009), Cornell 대학 등에서 군/민용 신호 인증에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다(O'Hanlon et al. 2012).

암호화 인증의 경우 군용 GPS P(Y) 신호에 대한 접근 권한이 없는 사용자는 수신된 GPS 신호에서 C/A 신호 성분을 제거한 후 잔존하는 P(Y) 신호 정보를 신호검출에 사용할 수 밖에 없다. 이 때 기만신호의 경우 군용 P(Y) 코드 신호를 포함할 수 없다는 것을 기본 가정으로 하고 있으며, P(Y) 코드에 대한 정보 없이 상관이 수행되기 때문에 무 코드 상관(codeless correlation)출력을 신호 검출에 사용한다. 일반적으로 GPS 수신기 내부에서 수행되는 상관기와는 달리, 무 코드 상관에 사용되는 두 신호 모두에 잡음 성분이 포함되기 때문에, 감도가 상대적으로 떨어지는 단점이 있다. P(Y) 신호의 w코드 성분을 직접 추정하여 잡음에 의한 감도저하를 극복하는 방법도 존재하지만(Psiaki et al. 2011), 과도한 계산 량으로 후처리 검증에 적당한 방법으로 평가된다.

본 논문에서는 GPS C/A 신호를 사용한 암호화 인증시스템을 직접 구현하여, GPS 신호를 수신하는 GPS 수신기를 대상으로 송출된 기만신호를 검출하고 시스템의 성능을 분석해 보았다. GPS L1 C/A 신호를 정상적으로 추적하고 있는 수신기를 사용하여 시각동기를 유지하고, TCP/IP를 사용하여 사용자와 인증 시스템 사이의 데이터 전송을 수행하였다. 기만신호는 외부로의 유입을 방지하기 위하여 신호 결합기(combiner)를 사용하여 유선상으로 GPS 신호와 동시 수신되도록 하였다. 신호인증 임계(threshold) 값 정의를 위한 false alarm은 10%로 정의하였으며, RF 대역폭은 8MHz (2-sided bandwidth)로 설정하여 실험을 수행하였다. 시험결과 기만신호 검출성능은 무 코드 상관을 위한 적분시간 및 수신된 GPS C/A 신호의 C/N_0가 클수록 좋게 나왔다. 검출 성능을 최소 90% 이상 유지하기 위해서는 적분시간을 0.5초, 1.5초에 대해 평균 C/N_0를 각각 46.2dB-Hz, 44dB-Hz가 되는 위성을 선택해야 하는 것으로 분석되었다.

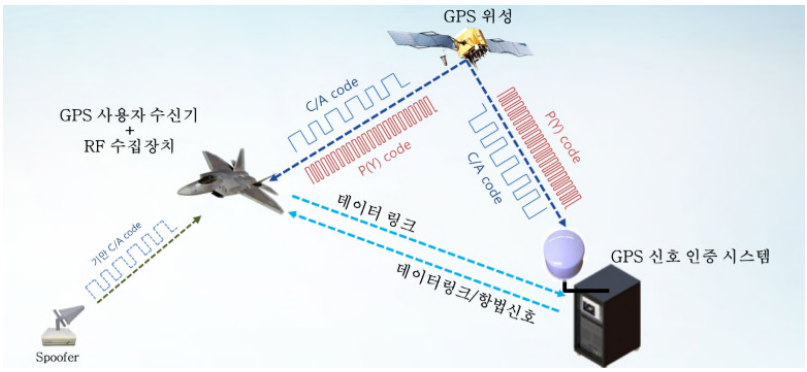


Fig. 1. 기만신호 검출 시스템 개념도.

2. 기만신호 검출기법

본 논문에서 다루는 기만신호 검출 시스템 개념도는 Fig. 1과 같다. 임의의 수신기 a에서 수신된 GPS L1 밴드 신호를 (1)과 같이 정의할 경우, C/A 신호를 제거한 후 신호는 식 (2)와 같이 정의할 수 있다. 이때 수신기 a, b로부터 생성된 두 신호의 상관출력은 식 (3)과 같으며, 각 신호에 포함된 코드정보 없이 상관을 수행하므로 무 코드 상관출력이라 부른다.

$$y_{ai} = A_{ca}C_f(t_{ai})\cos[\omega_{IF}t_{ai} + \phi_a(t_{ai})] + A_{pa}P_{yf}(t_{ai})\sin[\omega_{IF}t_{ai} + \phi_a(t_{ai})] + n_{ai} \quad (1)$$

$$y_{qi} = y_i \cdot \{I_k \sin[\omega_{IF}t_i + \hat{\phi}_k + \hat{\omega}_{Dk}(t_i - \tau_k)] - Q_k \cos[\omega_{IF}t_i + \hat{\phi}_k + \hat{\omega}_{Dk}(t_i - \tau_k)]\} / \sqrt{I_k^2 + Q_k^2} \quad (2)$$

$$\gamma_{ul} = \sum_i^M y_{qai} \cdot \tilde{y}_{qbi} \quad (3)$$

여기서 A_{ca}, A_{pa}는 각각 C/A, P(Y) 신호의 크기, $C_f(t_{ai})$, $P_{yf}(t_{ai})$는 각각 해당 시간에 수집된 신호샘플의 C/A, P(Y)코드, ω_{IF}, $\phi_a(t_{ai})$는 각각 IF(intermediate frequency) 주파수 및 위상이다. I_k, Q_k는 각각 k번째 in-phase, quadrature-phase 상관기 출력을 의미하며, $\hat{\phi}_k$, $\hat{\omega}_{Dk}$, τ_k는 추적루프에서 추정된 k번째 상관기 출력에 대한 위상, 도플러, 코드지연 추정 값이다. 식 (3)~(4)에서 알 수 있듯이 상관기로 입력되는 두 샘플 모두 잡음 성분 및 신호추적 오차 성분을 갖는다. 따라서 본 모델의 무 코드 상관기는 잡음에 의한 영향을 크게 받기 때문에 일반적인 상관기 대비 상대적으로 감도가 떨어진다.

식 (3)의 상관기 출력은 기만신호 검출기로 사용되며 편의상 식 (4)와 같이 기만상황에서의 검출기 출력 표준편차로 정규화하여 사용한다.

$$\gamma_I \equiv \frac{\gamma_{ul}}{\sigma_{\gamma_u|H_1}} \approx \frac{\gamma_{ul}}{\sqrt{\frac{M}{4}\sigma_{RFa}^2\sigma_{RFb}^2\left[1 + 2\Delta t(C/N_0)_{pya}\right]}} \quad (4)$$

여기서 M, σ_{RF}^2, Δt는 각각 샘플 수, RF 샘플 분산, 샘플 사이의 시간을 의미한다. 검출기 출력이 임계값보다 크면 두 신호샘플 모두에 P(Y) 신호가 포함되어 있어 상관기가 충분한 크기의 파워를 갖는다는 의미이며, 작으면 둘 중 하나에 P(Y)가 없는 상태 즉 기만상태임을 의미한다. 임계 값은 식 (5)와 같이 정의되며, 기만신호가 없는 정상상태의 통계적 특성 및 false alarm이 정해지면 계산 가능하다.

$$\alpha_{FA} = \int_{-\infty}^{\gamma_{th}} p(\gamma_I \mid H_0)d\gamma_I = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\gamma|H_0}} \int_{-\infty}^{\gamma_{th}} \exp\left\{-\frac{(\gamma_I - \bar{\gamma}_{H_0})}{2\sigma_{\gamma_u|H0}^2}\right\} d\gamma_I \quad (5)$$

위 수학적 모델을 통해 제대로 된 기만신호 검출을 수행하기 위해서는 두 수신기로부터 수집된 샘플 사이의 시각 동기가 제일 중요하다. 시각동기가 제대로 되지 않으면 무 코드 상관기 출력이 제대로 된 값을 갖지 않아 false alarm이 시스템 설정 값보다 크게 증가한다.

3. 시험결과 및 분석

기만신호 검출 시험을 위한 랩 시험 구성은 Fig. 2와 같다. multiple-RF GPS 시뮬레이터 상에서 사전에 정의된 거리를 갖도록 사용자와 인증시스템을 위치하도록 설정 후, 사용자 수신부와 인증부의 수신기에서는 동시에 GPS 신호를 수신한다. 수신된 GPS 신호는 기만신호 생성기로 연결하여 위성궤도력 저장, UTC 시각동기를 수행한 후 기만신호를 생성하도록 한다. 생성된 기만신호는 GPS 신호와 결합하여 사용자 수신부의 GPS 수신기에 연결한다. 두 수신기 모두 프레임 동기까지 완료된 후 인증부와 동일한 시각의 IF 샘플을 데이터 통신을 통해 송신하도록 구성하였다.

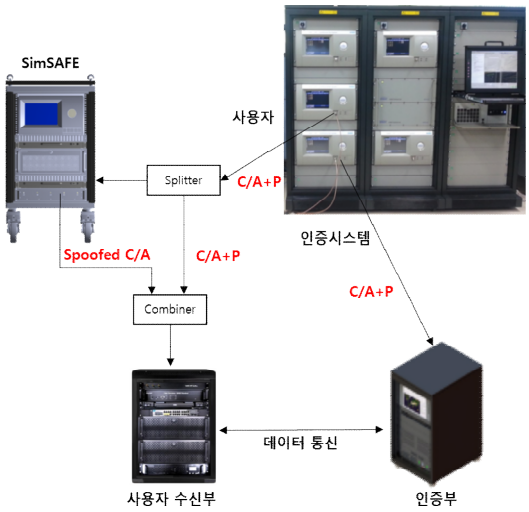


Fig. 2. 랩 시험환경 구성도.

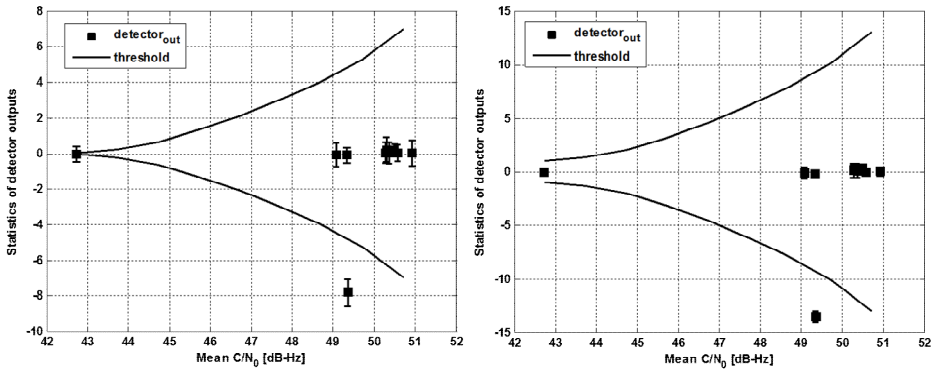


Fig. 3. 적분시간에 따른 기만신호 검출결과 비교.

시험 중 임계 값 설정을 위한 false alarm은 10%로 정의하였으며, 약 8초 수준의 데이터를 인증시스템으로 전송하여 각각 0.5초, 1.5초 적분시간에 대한 기만신호 검출을 시도하였다. 인증시스템으로부터 사용자 사이의 거리는 수십 미터에서 10km까지 다양하며, 다른 위성으로부터의 간섭을 최소화할 수 있는 적절한 위성을 선택하여 기만여부를 판단하였다. Fig. 3은 기만시험 인증결과의 통계정보 및 임계값을 도시한 것이다. 총 10개소의 위치에서 데이터 샘플을 보내어 인증을 수행하였으며, 제일 마지막 지점에서만 기만신호 없이 GPS신호를 받도록 하였다. Fig. 3에서는 신호강도 또는 C/N_0 (carrier-to-noise ratio)와 임계 값과의 상관성을 명시적으로 표현하기 위해, 각 실험결과를 두 수신기의 평균 C/N_0로 정렬하도록 하여 도시한 것이다. 적분시간의 증가 및 평균 C/N_0 의 증가에 따라 검출기 출력뿐만 아니라 임계 값이 증가하여 시스템이 이론을 따라 정상적으로 기능하는 것을 확인할 수 있다. 임계 값보다 절대값이 큰 경우가 한 위치에서 발생하였으며, 기만신호가 없는 정상적인 경우에 해당한다. 나머지는 기만신호로 인해 무 코드 상관기 출력이 잡음 성분만 포함하게 되어 0근처에 머무르는 것을 볼 수 있다. 신호크기가 낮을 경우는 임계 값이 너무 낮아져 Fig. 3의 검출기 출력을 그대로 신뢰할 수가 없게 된다. 이를 측정할 수 있는 것이 신호검출확률이며 임계 값을 사용해 추정할 수 있다.

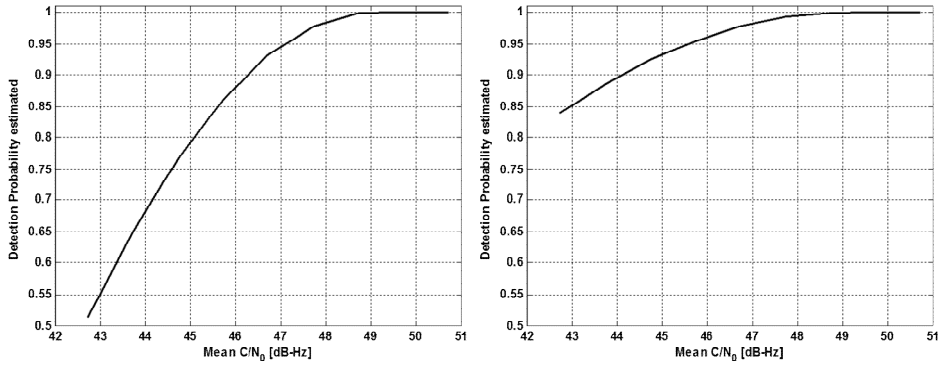


Fig. 4. 추정된 기만신호 검출확률 [ratio].

Fig. 4의 시험결과를 보면 최소 90% 이상의 기만신호 검출성능을 보이기 위해서는 적분시간 0.5초, 1.5초에 대해 각각 평균 C/N_0가 약 46.2dB-Hz, 44dB-Hz를 만족해야 하는 것을 볼 수 있다. 본 논문에 분석 결과를 포함하지 않았지만 적분시간이 2초 이상인 경우에는 시험 중 선택한 검출대상 위성에 대해서 모두 검출성능 90% 이상을 만족하였다.

4. 결 론

GPS C/A를 사용하여 기만신호를 탐지하는 시스템을 구성하였으며, 본 논문을 통해 기만탐지에 대한 기본적인 이론과 랩 시험결과를 제시하였다. 외부로의 기만신호 유출을 방지하고 최대한 이론과 가까운 조건을 생성하기 위하여 GPS신호와 기만신호 모두 RF신호 생성기를 사용하여 랩 환경에서 수행하였다. 무 코드 상관기를 사용한 시험결과 시스템 인증부에서 기만신호를 제대로 검출해내는 것을 확인할 수 있었으며, 검출확률 90%이상을 확보하기 위해서는 적분시간 0.5~1.5sec에 대해 최소한 44~46dB-Hz 이상의 신호를 갖는 위성을 대상으로 해야 하는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

Goff, S. 2017, Report of Mass GPS Spoofing Attack in the Black Sea Strengthen Calls for PNT Backup, [Internet], cited 2017 July 24, available from: http://www.insidegnss.com/node/5555

Kerns, A. J., Shepard, D. P., Bhatti, J. A., & Humphreys, T. E. 2014, Unmanned Aircraft Capture and Control via GPS Spoofing, Journal of Field Robotics, 31, 617-636. https://doi.org/10.1002/rob.21513

Lo, S., De Lorenzo, D., Enge, P., Akos, D., & Bradley, P. 2009, Signal Authentication, A Secure Civil GNSS for Today, Inside GNSS, 4(5), Sept./Oct. 2009, pp.30-39. http://www.insidegnss.com/auto/sepoct09-Lo.pdf

O'Hanlon, B. W., Psiaki, M. L., Humphreys, T. E., & Bhatti, J. A. 2012, Real-Time Spoofing Detection Using Correlation Between Two Civil GPS Receiver, Proceedings of the ION GNSS Meeting, Institute of Navigation, 2012, Nashville, TN, pp.3584-3590

Peterson, S. 2011, Exclusive: Iran hijacked US drone, says Iranian engineer, [Internet], cited 2011 Dec. 15, available from: http://csmonitor.com/World/Middle-East/2011/1215/Exclusive-Iran-hijacked-US-drone-says-Iranian-engineer-Video

Psiaki, M. L., O'Hanlon, B. W., Bhatti, J. A, Shepard, D. P., & Humphreys, T. E. 2011, Civilian GPS Spoofing Detection based on Dual-Receiver Correlation of Military Signals, Proceedings of the Institute of Navigation GNSS (ION GNSS 2011), Sep. 19-23 2011, Portland, OR, pp.2619-2645

다중 수신기를 이용한 GPS P(Y) 코드 교차상관 방식의 GPS 기만검출 기법 성능 분석

소형민*, 장재규, 이기훈, 송기원, 박준표
국방과학연구소 제3기술연구본부

Performance Analysis of GPS Spoofing Detection Method Based on GPS P(Y) Codeless Correlation Using Multiple GPS Receivers

Hyoungmin So*, Jaegyu Jang, Kihoon Lee, Kiwon Song, Junpyo Park
The 3rd R&D Institute, Agency for Defense Development

주소 : 대전 유성구 수남동 111 번지 국방과학연구소
연락처 : 042-821-4463 이메일 : hyoungmin.so@gmail.com

Abstract: 위성항법시스템은 항법 신호의 코드와 메시지 구조가 공개되어 있어 악의적인 유사 신호 재생에 의한 기만 공격에 취약하다. 최근, 미국 Stanford 대학교는 GPS 기만 대응 기술로써, 암호화 GPS P(Y) 코드신호를 이용하여 민간 신호원인 C/A 코드의 기만 여부를 검출하는 인증 기술을 제안하였다. GPS P(Y)코드는 암호화 되어 있어 원천적으로 기만이 불가능하지만 민간에게는 사용이 제한되어 있다. 따라서 제안된 기술은 P(Y)코드를 해독하지 않더라도, 두 개 수신기에서 수집된 중간주파수 신호를 상호 교차 상관하는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 해당 기법을 구현하여 가용성을 확인하고, 그 성능을 분석하였다. 구현된 시스템은 인증 기준 신호를 수신하는 인증시스템과 기만 검출 대상인 사용자 수신기로 구성된다. 사용자 수신기는 GPS 중간주파수 신호를 수집하여 인증시스템에 전송하고, 인증시스템은 자신의 중간주파수 신호와 사용자 수신 중간주파수 신호를 서로 직접 상관하여 두 개 신호 내의 P(Y)코드 동기 검증을 수행한다. 사용자 수신기가 인증시스템과 동일한 정상적인 C/A코드를 추적하고 있는 경우, 상관 이득을 확보할 수 있고, 기만을 당한 경우 상관이득을 얻을 수 없다. 본 논문에서는 GPS 시뮬레이터를 이용하여 GPS 기만 환경을 모의하고, 구현된 시스템의 정상상태와 기만상태의 검출 성능을 확인하였다. 모의 실험 결과 수 초의 중간주파수 수집 데이터를 이용하여 GPS 신호의 기만 여부 판단이 가능함을 확인하였다. 또한 중간주파수 신호를 교차 상관하는 과정에서 발생하는 채널간섭에 의한 성능의 한계를 확인할 수 있었다.

Keywords: GNSS, WADGPS, DGPS, accuracy

1. 서 론

미국의 GPS는 민간에게 제공되는 공개된 신호구조의 C/A코드와 군사용으로 활용되는 암호화 P(Y)코드를 직교 반송파를 이용하여 동시에 송출한다 (Kaplan & Hegarty 2006). 이 중, 민간용 C/A코드는 공개된 신호구조 특성으로 인해 악의적으로 유사 GPS C/A코드를 생성하여 GPS 사용자에게 방송하는 기만 공격에 취약하다 (Dovis 2015). 일반적인 GPS 사용자는 실제 GPS 위성이 송신하는 신호와 악의적인 기만 신호원을 구분할 수 없기 때문에 잘못된 위치정보를 기반으로 악의적인 장소로 유도될 수 있는 위험이 있다. 이러한 위성항법의 기만에 대한 취약성은 GPS의 민간공개 시점부터 예측된 것으로 기만대응 기술에 관한 연구가 계속되어 왔다. 2001년 미국의 Volpe National Transportation Systems Center에서 발표된 보고서에 따르면 기만대응기술은 그 성능 수준에 따라 6가지의 기술로 분류가 가능하다 (Anon. 2001). 이 중, 가장 우수한 성능의 기만 대응 기술은 암호화 신호원을 이용하는 방식이다. 현재 가용한 암호화 신호원으로는 GPS P(Y)코드가 있다. 암호화된 P(Y)코드는 원천적으로 악의적인 재생이 불가능하기 때문에 기만 대응이 가능하다. 하지만 P(Y)코드 신호를 항법용도로 이용하기 위해서는 암호 해독 모듈인 Selective Availability Anti-Spoofing Module (SAASM)이 장착된 군용 수신기를 필요로 한다. 따라서 대다수 민간 위성항법 사용자들에게는 적용될 수 없는 방식으로 인식되었다.

그런데 2009년 미국 Stanford 대학에서는 SAASM 장치가 없는 민간 사용자에게 GPS P(Y)코드를 이용하여 C/A코드의 기만여부를 검증하는 기술을 제안하였다 (Lo et al. 2009). 이 방식은 GPS 위성이 C/A코드와 P(Y)코드를 동시에 방송하기 때문에 사용자가 정상적인 GPS 신호를 수신하는 경우에만 C/A코드와 P(Y)코드가 동기될 수 있다는 특성을 이용하였다. 이 때, C/A코드와 P(Y)코드의 동기 검증을 위하여 기만 검출 대상이 되는 사용자 수신기와 인증 기준이 되는 인증시스템 수신기의 중간주파수 신호에서 각각 P(Y)코드 성분을 추출하고 이를 상호 교차 상관하는 codeless correlation 기법을

적용하였다.

본 논문에서는 Stanford에서 제안한 인증시스템-사용자로 구성되는 기만 검출 시스템을 구축하고, GPS P(Y)코드에 대한 codeless correlation 알고리즘을 적용하여 C/A코드에 대한 기만여부를 검출하는 기술을 구현하였다. 이를 통해 Stanford에서 제안한 방식의 성능을 확인하고, 실제 운용에 있어서의 가용성을 분석하고자 한다.

2. 시스템 구성

시스템 구성은 codeless correlation을 구현하기 위한 GPS 사용자 수신기부와 사용자 수신기의 기만 여부 검출을 위한 기준 신호를 수신하는 인증용 수신기로 구성된다. Fig. 1은 시스템의 구성과 데이터 흐름을 보여준다. 우선, 사용자 수신기는 자신이 수신한 GPS 신호의 중간주파수 신호를 수집하는 장치와 이를 인증용 수신기에 전송하기 위한 통신장비로 구성된다. 인증용 수신기 역시 codeless correlation을 위한 중간주파수 수집장치가 구비되어야 한다. 인증용 수신기와 GPS 사용자 수신기가 동일한 시점에 중간주파수 데이터를 수집하면, 두 개의 데이터가 인증용 수신기로 전달되고 인증용 수신기는 중간주파수 신호에서 P(Y) 코드 성분을 추출하고 codeless correlation을 수행한다.

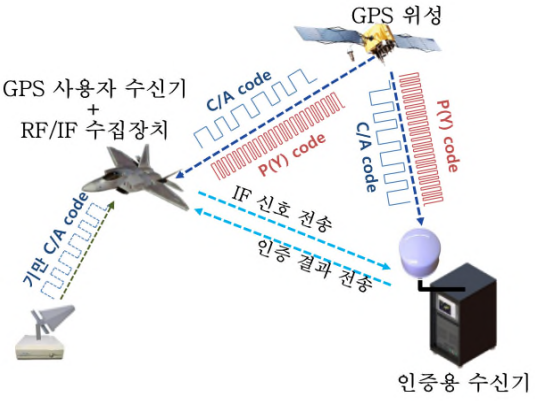


Fig. 1. System architecture of GPS C/A code authentication system.

GPS 사용자와 인증용 수신기에서 수신된 신호를 각각 a,b로 구분하면, 수신된 신호의 모델은 수식 (1)과 같다 (Psiaki et al. 2011).

$$\begin{aligned} y_{ai} &= A_{ca}C_f(t_{ai})\cos\left[\omega_{IF}t_{ai}+\varphi_a(t_{ai})\right]+A_{pa}P_{Yf}(t_{ai})\sin\left[\omega_{IF}t_{ai}+\varphi_a(t_{ai})\right]+n_{ai} \\ y_{bi} &= A_{cb}C_f(t_{bi})\cos\left[\omega_{IF}t_{bi}+\varphi_b(t_{bi})\right]+A_{pb}P_{Yf}(t_{bi})\sin\left[\omega_{IF}t_{bi}+\varphi_b(t_{bi})\right]+n_{bi} \end{aligned} \quad (1)$$

수식 (1)에서 C_f는 C/A코드, P_{Yf}는 P(Y)코드를 의미하고, A는 수신 신호의 크기, ω_{IF}는 도플러 φ는 반송파 위상을 나타내며, 아래첨자 a,b는 각 수신기를 의미한다. 각 수신기에서는 C/A코드를 이용하여 코드 위상과 반송파 도플러, 위상을 추정할 수 있다. 이 추정결과를 이용하여, 각 수신신호에서 C/A코드 수신 반송파에 직교되는 위상의 반송파 성분만을 추출하면, 수식 (1)의 P(Y)코드 성분을 추출할 수 있다. 이렇게 추출된 신호를 각각 y_{qai}, y_{qbi}라고 정의하면 두 신호 간의 codeless correlation의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2의 Sample 동기 Interpolation 과정은 두 개 수신기에서 수신된 GPS 중간주파수 신호를 GPS 위성 시계에 대하여 동기를 맞추는 과정이다. 동기가 성립되고 GPS 사용자 수신기가 정상적인 GPS 신호를 수신하는 경우 수식 (2)의 교차상관은 두 수신 신호 내에 동일한 P(Y)코드가 존재하는 것을 검증하게 되며, 일정 수준의 상관값을 얻을 수 있다. 반면, 사용자 수신기가 기만된 신호를 수신하게 되면 기만 신호에는 정상적인 P(Y)코드가 존재하지 않기 때문에 상관이득을 얻을 수 없게 된다.

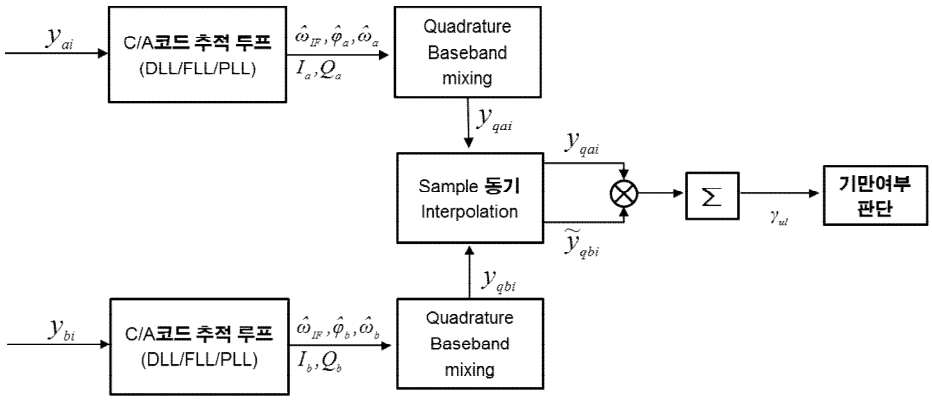


Fig. 2. Flow diagram of codeless correlation using two receivers' measurements.

$$\gamma_{ul} = \sum_{i}^{M} y_{qai} \cdot \tilde{y}_{qbi} \tag{2}$$

3. 소프트웨어 수신기 구현 성능 검증

제안된 알고리즘을 구현하기 위한 소프트웨어 수신기 구조는 Fig. 3과 같다. 두 개의 중간주파수 신호를 입력으로 받고, 각 신호에 대해 독립적으로 C/A코드에 대한 추적 결과를 획득한 뒤 GPS 신호의 subframe 시작점을 기준으로 동기를 맞춘다. 이후 수식 (2)의 codeless correlation을 구현하고 상관결과로 기만 여부를 판단한다.

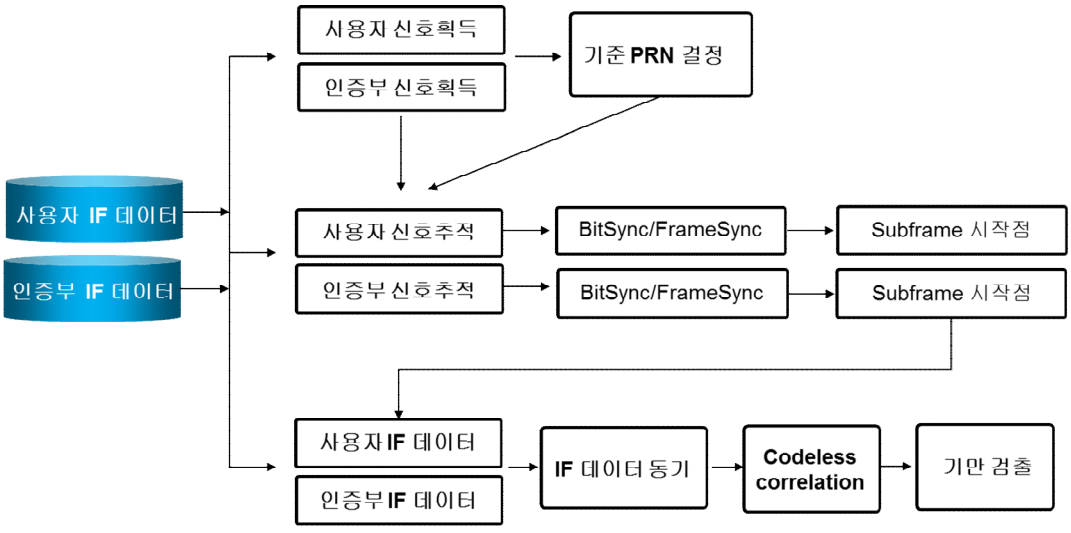
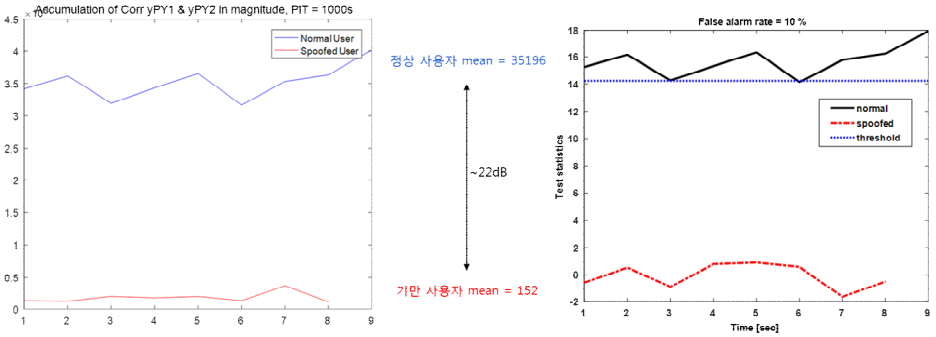


Fig. 3. Software receiver implementation of codeless correlation.

Fig. 3의 소프트웨어 수신기를 이용하여 실제 GPS 신호를 2개의 RF Front-end를 이용하여 수집 후, 처리한 결과를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4a는 정상적인 GPS 신호를 수신하는 Normal user와 기만된 신호를 수신하는 spoofed user에 대하여 1초 상관적분을 적용한 codeless correlation 이득값을 보여준다. 1초 간격으로 총 8회의 상관값을 도시하였으며 정상 사용자의 경우 상당한 상관값을 보이는 반면, 기만 신호를 수신하는 경우에는 상관이득이 충분치 못한 것을 확인할 수 있다. Fig. 4b에서는 기만 여부 판단을 위한 임계치를 적용한 결과를 보인것으로 총 8회의 인증과정에서 6초 시점을 제외하고는 정상적인 판단을 수행한 것을 확인할 수 있다. 6초 시점에서의 false alarm은 차후 codeless correlation 획득 성능, 인증 수신기와 사용자 수신기간 거리에 따른 간섭 특성, 상관적분시간, false alarm rate 설계치 등의 분석을 통해 수정 보완될 예정이다.



GPS P(Y)코드 codeless correlation [상관값 크기]
[a]

기만여부판단 알고리즘 적용 [정규화]
[b]

Fig. 4. Codeless correlation results for normal user and spoofed user.

4. 결 론

본 논문에서는 위성항법 신호에 대한 기만 검출을 위해 미국 Stanford 대학에서 제안한 codeless correlation 기법을 구현하고 그 성능을 확인하였다. 해당 알고리즘은 소프트웨어 수신기를 이용하여 구현되었고, 실제 GPS 신호와 기만 신호를 수신하여 처리 결과를 분석하였다. 실험 결과, 정상적인 GPS 신호를 수신하는 경우 1초 상관적분 시간 적용 시, 약 22dB의 상관 이득을 확보하여 구현된 알고리즘의 GPS C/A코드에 대한 기만 검출 성능을 확인할 수 있었다. 총 8회의 인증 시도 중, 1회의 false alarm이 확인되었으며, 이에 대해서는 추가 연구 및 원인 분석이 필요할 것으로 보인다. 해당 기술은 민간 신호원에 대해서도 암호화 신호원 수준의 기만 검출 성능을 제공할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 고속, 고용량의 중간주파수 데이터 획득이 요구되며 양방향 통신을 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서 향후 실전 운용 가능성 향상을 위해 단방향 통신을 적용하는 시스템 구성에 관한 후속 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

Anon. 2001, Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the Global Positioning System technology report, Final Report by John A. Volpe National Transportation Systems Center for the U.S. Department of Transportation

Dovis, F. 2015, GNSS Interference threats and countermeasures (Norwood, MA: Artech House)

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: Principles and Applications, 2nd ed. (Norwood, MA: Artech House)

Lo, S., Lorenzo, D. E., Enge, P., Akos, D., & Bradley, P. 2009, Signal Authentication: A secure civil GNSS for today, Inside GNSS, September/October 2009 (Red Bank, NJ: Inside GNSS Media & Research LLC)

Psiaki, M. L., O'Hanlon, B. W., Bhatti, J. A., Shepard, D. P., & Humphreys, T. E. 2011, Civilian GPS spoofing detection based on dual-receiver correlation of military signals, Proceedings of the 24th ITM of The Institute of Navigation, September 20-23, 2011, Portland, OR, USA



[C5] 국방응용

무인 항공기 환경에서 추적 성능 향상을 위한 빔 폭 제어 알고리즘

강정완, 김선우
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Beamwidth Adaptation for Improving Tracking Performance in UAV

Jeongwan Kang, Sunwoo Kim
Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

주소 : 서울특별시 성동구 행당동 한양대학교 ITBT 관 무선시스템연구실 822 호
연락처 : 02-2220-4822 이메일 : jockertoeic999@naver.com, remero@hanyang.ac.kr

Abstract: 본 논문은 기지국(BS: base station)과 무인 항공기(UAV: unmanned aerial vehicle)간 통신(BS-UAV) 유지를 위한 무인 항공기 추적 및 빔 폭 제어 알고리즘(BWA: beamwidth adaptation)을 제안한다. 확장 칼만 필터(EKF: extended Kalman filter)는 관측값과 추정값을 비교함으로써 무인항공기의 위치를 추적하고 빔 폭 제어 알고리즘은 추적이 악화 될 때 기지국의 안테나 배열에서 안테나 수를 바꾸어 빔 커버리지를 넓힌다. 본 논문에서 제안한 빔 폭 제어 기반 확장 칼만 필터 추적 알고리즘(EKF-BWA)과 확장 칼만 필터를 이용한 추적 알고리즘(only EKF)을 비교한다. 시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘을 통해 기지국과 무인 항공기 사이의 통신 및 무인 항공기 위치 추적에서 성능이 향상되었음을 확인하였다.

Keywords: adaptive beamwidth, beam tracking, extended Kalman filter, UAV

1. 서 론

5세대 무선 통신이 대두됨에 따라 무지향성 안테나를 사용하는 기존 추적 장치와 달리, 빔포밍을 통한 추적은 불일치 오류 및 링크 장애를 피하기 위해 정확한 입사각 정보를 필요로 한다(Andrews 2014). 더욱이 매 시간마다 반복적으로 입사각 추정과 빔포밍을 수행하는 것은 무선 통신에서 실시간으로 사용하기에 시간적 한계가 있다. 결과적으로 정확한 입사각 정보를 제공하면서 시간적 이득이 있는 새로운 추적 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서 우리는 확장 칼만 필터 추적 알고리즘(EKF: extended Kalman filter)과 수신 신호 세기 기준 빔 폭 적응 알고리즘을 결합했다. 확장 칼만 필터를 통해 시간적 이득을 개선하고 수신 신호 세기 기준 빔 폭 적응 알고리즘(BWA: beamwidth adaptation)을 이용해 확장 칼만 필터의 부정확한 입사각 추정을 보완한다. 본 논문에서 두 알고리즘을 결합한 빔 폭 제어 기반 위치 추적 알고리즘(EKF-BWA)을 제안하고 기지국- 무인 항공기 통신 시뮬레이션을 통해 성능을 분석한다(Harris et al. 2005).

2. 문제 구성

본 논문에서는 기지국과 무인 항공기 사이의 빔 추적에 대해 얘기한다. 기지국은 이동성이 없으며 원소 N개의 정사각형 배열 안테나로 구성되어 있다. 무인 항공기는 단일 안테나로 구성되어 있다. 기지국은 수신 신호 세기를 측정해 칼만 필터나 파티클 필터와 같은 알고리즘을 이용해 무인 항공기의 위치를 추적할 수 있다(Arulampalam et al. 2002). 기지국에서는 안테나 원소의 수신 가중치를 조절해 빔포밍을 수행한다. 빔포밍은 무인 항공기 방향으로 수신 신호 세기를 향상시켜 보다 정확한 위치 추적을 가능하게 한다. 하지만 기지국에서의 무인 항공기 방향 추적에 오류가 생길 경우, 수신 신호 세기는 떨어진다.

그래서 우리는 무인 항공기 방향 추적에 오류가 생겼을 때 이는 보완하는 빔 폭 제어 기반 칼만 필터 추적 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 수신 안테나 원소의 개수를 조절하여 빔 폭을 위치 오차에 적응시킨다. 측정한 위치로 쏘아진 빔이 위치 오차로 인해 실제 위치까지 커버하지 못 할 경우 안테나 원소의 개수를 조절하여 빔 폭을 넓혀 실제 위치까지 커버한다. 비록 빔 폭을 늘이면 안테나 원소의 개수가 줄어들어 전체 수신 이득은 감소하지만 위치 오차를 커버함으로써 빔 폭 변화 전에 비해 원하는 방향의 수신 신호의 이득은 증가한다(Balanis 2016). 기지국의 배열 행렬은 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\mathrm{a}(\phi,\theta,\mathrm{N}) = \left[1, e^{jk\Delta t_1(\phi,\theta)}, \cdots, e^{jk\Delta t_i(\phi,\theta)}, \cdots, e^{jk\Delta t_{N-1}(\phi,\theta)}\right]^{\mathrm{T}} \quad (1)$$

여기서 $k = 2\pi f$, f는 수신 신호의 주파수이고, ϕ는 기지국에서 무인 항공기로부터 오는 입사 신호의 방위각, θ는 기지국에서 무인 항공기로부터 오는 입사 신호의 고각, N은 수신 안테나 원소의 개수이다. $\Delta t_i(\phi,\theta)$은 기준 안테나 (0번째 안테나) 대비 i번째 안테나의 시간 지연을 의미한다. 시간 지연 $\Delta t_i(\phi,\theta)$ 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\Delta t_i(\phi,\theta) = (cos\phi sin\theta x_i + sin\phi sin\theta y_i + cos\theta z_i)/f\lambda \quad (2)$$

여기서 λ는 수신 신호의 파장, (x_i, y_i, z_i)는 i번째 안테나의 위치 벡터이며, $i = 1, 2, \cdots, N-1$이다. 단, 기준 안테나 (0번째 안테나)의 위치 벡터는 원점이다.

본 논문에서는 높은 채널 이득 상관도와 적당한 이동성을 가정한 간단한 채널 모델을 고려한다. 채널 이득 α는 식 (3)과 같이 가우스-마르코프 모델을 따른다.

$$\alpha_{t+1} = \rho\alpha_t + \zeta_t \quad (3)$$

여기서 ρ은 채널 상관 계수이며, t는 타임 슬롯 변수이며, $\zeta_t = C\mathcal{N}(0,(1-\rho^2))$ 이다.

입사 신호의 입사각은 식 (4)와 같이 가우시안 모델을 따른다.

$$\phi_{t+1} = \phi_t + \xi_t \quad (4.a)$$
$$\theta_{t+1} = \theta_t + \xi_t \quad (4.b)$$

여기서 $\xi_t = \mathcal{N}(0,\sigma^2)$이며 σ는 매 타임 슬롯(time-slot) 마다 입사각의 표준편차이다.

3. 빔 폭 제어 기반 확장 칼만 필터 추적 알고리즘

Algorithm 1 Beam Tracking with EKF-BWA in BS-UAV

Input: α_0, ϕ_0, θ_0
Output: $\hat{\alpha}_t$, $\hat{\phi}_t$, $\hat{\theta}_t$, $\mathbf{w}_{t+1}$
Initialization; $N_{t=1} \leftarrow N_{max}$, $\mathbf{w}_{t=1} \leftarrow a(\phi_0, \theta_0, N_{t=1})$
repeat $t \leftarrow t+1$
  $\hat{\mathbf{x}}_{t|t-1} = \mathbf{F}\hat{\mathbf{x}}_{t-1|t-1} + \mathbf{u}_t$
  $\mathbf{P}_{t|t-1} = \mathbf{F}\mathbf{P}_{t-1|t-1}\mathbf{F}^H + \mathbf{Q}$
  $\mathbf{y}_t = \alpha_t \mathbf{w}_t^H \mathbf{a}(\phi_t, \theta_t, \mathbf{N}_t)^H \mathbf{q} + \mathbf{n}$
  $\mathbf{K}_t = \frac{\mathbf{P}_{t|t-1}\mathbf{H}_t^H}{\mathbf{H}_t\mathbf{P}_{t|t-1}\mathbf{H}_t^H + \mathbf{R}_t}$
  $\hat{\mathbf{x}}_{t|t} = \hat{\mathbf{x}}_{t|t-1} + \mathbf{K}_t(\mathbf{y}_t - \mathbf{h}_t(\hat{\mathbf{x}}_{t|t-1}))$
  $\mathbf{P}_{t|t} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_t\mathbf{H}_t)\mathbf{P}_{t|t-1}$
  if $||\mathbf{y}_t||^2 < ||\mathbf{y}_{t-1}||^2$ **and** $N_t > 4$
    $N_{t+1} = N_t/4$
  elseif $N_t \leq N_{max}$
    $N_{t+1} = 4N_t$
  endif
$\mathbf{w}_{t+1} \leftarrow \mathbf{a}(\hat{\phi}_t, \hat{\theta}_t, N_{t+1})$

우리는 기지국이 무인 항공기를 효과적으로 추적하도록 빔 폭 제어 기반 확장 필터 추적 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 확장 칼만 필터와 수신 빔 폭 적응 2가지 단계로 이루어져 있다 (Chen 2003). 보다 자세한 알고리즘 전개는 Algorithm 1에 정리되어 있다.

상태 벡터 x는 네 개의 파라미터로 구성된다: $x = [\Re(\alpha), \Im(\alpha), \phi, \theta]^T$. 식 (3)과 (4)로부터, 상태 벡터는 Fig. 1의 2번 식에 서술된 이산 시간 확률 진화 모델에 따라 예측된다. 이 때 $F = \mathrm{diag}([\rho, \rho, 1, 1])$ 이고 $u_t \sim \mathcal{N}(0, \left[\frac{1-\rho^2}{2}, \frac{1-\rho^2}{2}, \sigma^2, \sigma^2\right]^T)$ 분포를 가진다. 확장 칼만 필터는 예측과 업데이트 2단계로 이루어져 있다. 예측 단계의 경우, 시간 t일 때, 측정된 상태 벡터 $x_{t|t-1}$와 측정된 오류 공분산 행렬 $P_{t|t-1}$은 Algorithm 1의 2번 식과 3번 식과 같이 예측된다. 이 때 $Q = \left[\frac{1-\rho^2}{2}, \frac{1-\rho^2}{2}, \sigma^2, \sigma^2\right]^T$ 는 노이즈 공분산 행렬이다. 예측된 파라미터를 이용해 Algorithm 1의 4번 식의 수신 신호 y_t 와 비교할 예측 모델

$h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta}) = \hat{\alpha}_t w_t^H a(\hat{\phi}_t,\hat{\theta}_t,N_t)$을 만든다. 예측 모델 $h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta})$는 비선형 함수이므로 이를 부분 선형화한다. 부분 선형화식은 다음과 같다.

$$H_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta}) = [\frac{\partial h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta})}{\partial \Re(\alpha)}, \frac{\partial h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta})}{\partial \Im(\alpha)}, \frac{\partial h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta})}{\partial \phi}, \frac{\partial h_t(\hat{\alpha},\hat{\phi},\hat{\theta})}{\partial \theta}] \quad (5)$$

업데이트 단계의 경우, Algorithm 1의 5-7번 식을 따른다. K_t는 칼만 이득 행렬, R_t은 에러 공분산 행렬이다.

제안하는 빔 폭 제어 알고리즘은 식 8-13번에 기술되어 있다. 만약 수신 신호 y_t의 수신신호세기가 이전 수신 신호 y_{t-1}의 수신신호세기보다 작다면, 기지국의 수신 안테나 원소의 개수를 1/4로 줄여 빔 폭을 넓힌다. 이는 폭이 늘어난 빔이 실제 위치까지 커버해 추적 에러 오차를 보상한다. 반대의 경우에는 수신 안테나 원소의 개수를 4배로 늘여 빔 폭을 좁히고 원하는 방향의 수식 이득을 높인다.

4. 결과

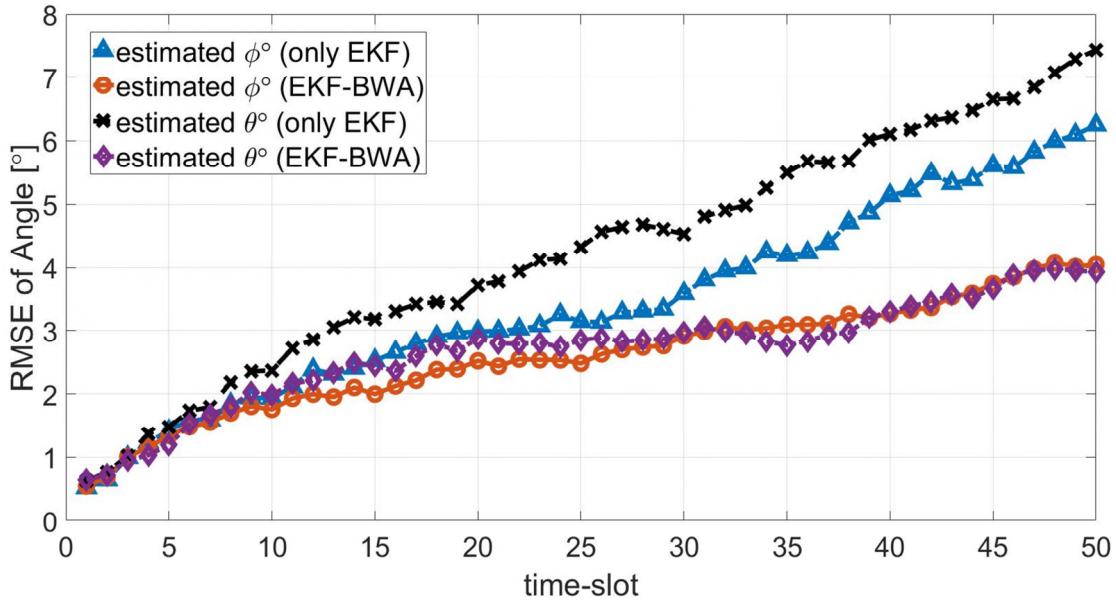


Fig. 1. Time-slot versus RMSE of estimated angle.

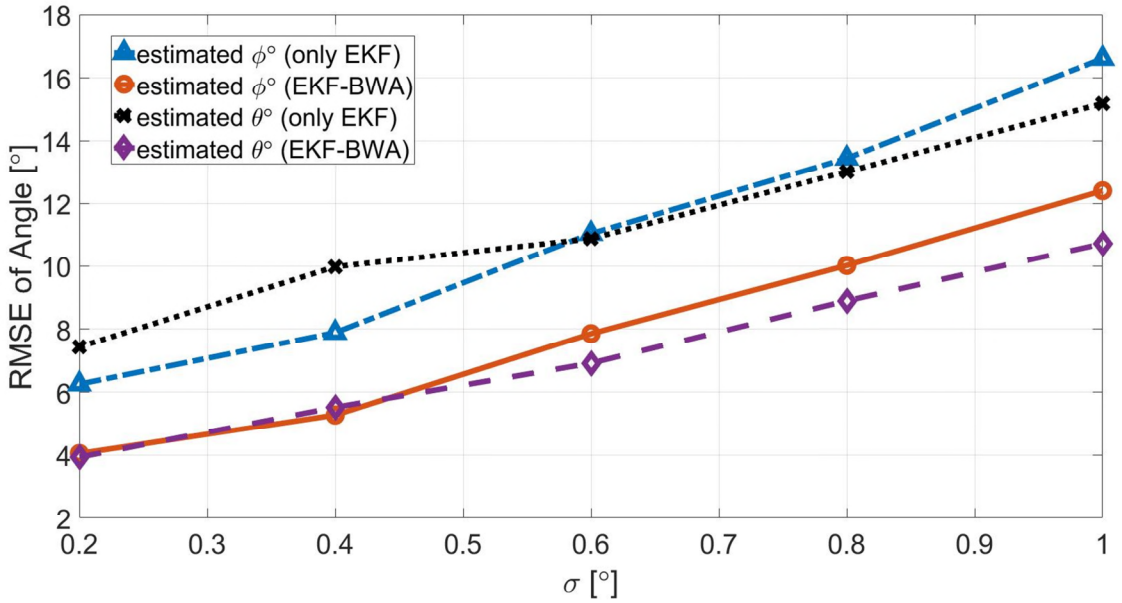


Fig. 2. Standard deviation ($\boldsymbol{\sigma}$) of estimated angle versus RMSE of estimated angle.

초기 상태 벡터 $\hat{X}_{0|0}$ 와 초기 오류 공분산 행렬 $P_{0|0}$ 을 $\hat{X}_{0|0} = [\Re(\alpha_0)\ \Im(\alpha_0)\ \phi_0\ \Theta_0]$ 와 $P_{0|0} = diag\left[\frac{1-\rho^2}{2}, \frac{1-\rho^2}{2}, \sigma^2, \sigma^2\right]^T$ 로 설정한다. 이 때, $\alpha_0, \phi_0, \theta_0$은 이 논문에서 다루지는 않지만 다양한 각도 및 채널 예측 알고리즘을 이용해 구한다. 채널 이득 ρ은 $\rho = 0.995$로 고정한다. 기지국은 정사각 안테나 배열(URA)이며 안테나 원소 사이의 거리 d는 $d = 0.5\lambda$이다.

Fig. 1는 타임 슬롯(time-slot) 대비 측정한 입사각 (ϕ,Θ)의 평균 제곱근 편차(RMSE)를 나타낸 그래프이다. 신호 대 잡음 비(SNR)는 10dB, 입사각의 표준편차(σ)는 0.2°로 가정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 타임 슬롯(time-slot)이 10 이상일 때 제안한 빔 폭 제어 기반 확장 칼만 필터 추적 알고리즘 (EKF-BWA)은 입사각의 평균 제곱근 편차(RMSE)가 점점 4°로 수렴해가는 것에 비해 확장 칼만 필터 추적 알고리즘은 선형 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 2은 타임 슬롯 50일 때 측정한 입사각의 표준편차(σ) 대비 평균 제곱근 편차(RMSE)를 나타낸 그래프이다. 신호 대 잡음 비는 10dB로 가정한다. 제안한 빔 폭 제어 기반 확장 칼만 필터 추적 알고리즘이 모든 표준편차에서 확장 칼만 필터 추적 알고리즘과 비교해 더 나은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 특히, 표준편차가 커짐에 따라 즉, 무인 항공기의 이동성이 커짐에 따라 두 알고리즘의 성능 차가 더 크다.

5. 결론

우리는 빔 폭 확장 알고리즘이 무인 항공기 추적 성능을 향상시킨다는 것을 확인했다. 빔 폭 제어 확장 칼만 필터 추적 알고리즘은 확장 칼만 필터만 이용한 추적 알고리즘에 비해 추적 에러가 적다. 우리는 다중 경로나 도플러 효과를 고려한 보다 실용적인 채널 모델을 고려할 필요가 있으며 향후 연구에서 무인 항공기를 추적하기 위한 보다 정량적인 빔 폭 적응 최적 알고리즘을 연구할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 재원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었음.

REFERENCES

Andrews, J. G. 2014, What will 5G be, IEEE JSAC, 6, 1065-82

Arulampalam, M. S., Maskell, S., Gordon, N., & Clapp, T. 2002, A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking, IEEE Trans. Signal Process., 2, 174-188

Balanis, C. A. 2016, Antenna Theory: Analysis and Design (New York City: John Wiley & Sons)

Chen, Z. 2003, Bayesian filtering: From Kalman filters to particle filters and beyond, Ph. D, McMaster University, Canada

Harris, A., Sluss, J. J., Refai, H. H., & LoPresti, P. G. 2005, Alignment and tracking of a free-space optical communication link to a UAV, Proc. 24th Digit. Avionics Syst. Conf., 1.C.2-1-1.C.2-9

RUAV 안전 착륙을 위한 단일 IR-UWB 레이더 기반 지형 평탄도 측정 방법

신영훈[1,2], 서지원[1,2*]
[1]연세대학교 글로벌융합공학부, [2]연세대학교 글로벌융합기술원

A terrain Roughness Estimation Method Using a Single IR-UWB Radar for Safe Landing of RUAVs

Young Hoon Shin[1,2], Jiwon Seo[1,2*]
[1]School of Integrated Technology, Yonsei University, [2]Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소 : 대한민국 인천시 연수구 송도과학로 85
연락처 : 032-749-5833 이메일 : jiwon.seo@yonsei.ac.kr

Abstract: 최근 몇 년간 무인 드론 관련 기술이 향상됨에 따라 그 활용 가능성이 군사 분야뿐만 아니라 민간 영역으로까지 확장되고 있다. 특히 수직으로 이착륙이 가능한 무인 드론(RUAV, Rotorcraft Unmanned Arial Vehicle)의 경우, 지형이 평탄하다면 어떠한 위치에서도 착륙이 가능하기 때문에 그 활용 가능성이 매우 높다. 이러한 무인 드론을 민간 영역에서 사용하기 위해서는 드론의 착륙 예정 지점의 안전성을 확보하는 일이 필수적으로 해결되어야 한다. 착륙 예정 지점의 안전 여부를 판단하기 위해서는 지형의 평탄도, 기울기 등의 정보가 필요하며 이러한 정보는 다양한 감지 센서를 통해 측정이 가능하다. 이전에도 Vision 센서와 LIDAR 센서를 이용한 지형의 평탄도 측정 방법들이 제안된 바 있으나, 이와 같은 센서들은 빛의 변화와 안개, 비 등 날씨의 변화에 따른 성능 저하가 발생하거나 고가의 정밀한 항법 장치를 장착하여야 지형의 평탄도 측정이 가능하다는 단점이 있었다. Impulse radio ultra-wideband (IR-UWB) 레이더는 빛, 날씨와 같은 주변 환경 변화에 따른 성능 저하가 적으며 기존의 레이더에 비해 비화성과 측정의 정밀도가 높다. 또한 최근에 개발된 칩 기반의 IR-UWB 레이더 제품은 가격이 저렴하고 가벼우며 계산량이 적다는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 IR-UWB 레이더 센서를 이용하여 드론 착륙 예정 지점의 지형 평탄도 측정 방법을 제안한다. 제안한 방법은 단일 시간 동안 취득한, 단일 레이더 수신 신호를 기반으로 데이터 처리를 수행하기 때문에 실시간으로 평탄도를 파악할 수 있다는 장점이 있다.

Keywords: IR-UWB radar, radar detection algorithm, RUAV safe landing, terrain roughness estimation

1. 서 론

드론 운용시 사고가 가장 빈번히 발생하는 상황은 이착륙 상황이다. 특히 착륙시에는 착륙 예정 지점의 지형의 상태를 온전히 파악해야 안전한 착륙이 가능하기 때문에 이와 관련된 다수의 연구가 진행된 바 있다 (Kendoul 2012). 그 동안 Vision과 LIDAR 센서를 이용한 착륙 지점 탐지 기법에 관한 연구가 진행되었으며 실제 다수의 실험을 통해 그 성능을 보여왔다 (Garcia-Pardo et al. 2002, Scherer et al. 2012). 하지만, 카메라 센서는 빛의 변화에 따라 안정적으로 탐지가 불가능한 상황이 존재한다는 단점이 있었고, LIDAR 센서는 안개나 비 등 날씨의 변화에 따른 성능 저하가 발생한다는 단점이 있었다. 이와 달리 IR-UWB 레이더는 날씨나 빛의 변화에 강인하며 거리 측정 정확도가 높으며 비용이 저렴하고 크기가 작다는 장점을 갖는다. 이러한 장점으로 인해 호흡수 측정, 벽 투과 탐지 (Soldovieri & Solimene 2007), 사용자 인터페이스 (Lien et al. 2016), 입모양 변화 감지 (Shin & Seo 2016)와 같은 다양한 용도로 연구되어왔다. 본 논문에서는 RUAV(Rotorcraft Unmanned Arial Vehicle)의 안전 착륙을 위해 IR-UWB 레이더 기반의 지형 평탄도 측정 방법을 제안한다.

2. IR-UWB 레이더를 이용한 평탄도 측정 방법

2.1 IR-UWB 레이더 수신 신호 모델

IR-UWB 레이더는 발신부와 수신부로 구성되어 있으며, 발신부에서 출력된 펄스가 목표물에 반사된 후 수신부에서 그 펄스를 수신하여 펄스가 이동한 시간을 측정하는 방식으로 목표물까지의 거리 값을 구할 수 있다. 이에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$r[t] = \sum_{i=1}^{N} A_i p[t - \tau_i] + n[t] \quad (1)$$

r은 수신된 신호, p는 발신부에서 출력된 펄스 신호, A_i는 각 펄스의 반사파의 세기, τ_i 는 각 출력된 펄스의 이동한 시간, N은 수신된 반사 펄스의 수, n은 노이즈 신호, 그리고 t는 임의의 시간을 의미한다. 이렇게 취득한 수신 신호에는 여러 노이즈 신호가 포함되어있으므로 이를 제거하기 위해 펄스의 주파수 대역과 같은 band-pass filter를 적용하였다.

2.2 목표물 위치 탐지 방법

수신된 신호에 Constant False Alarm Rate (CFAR) 기법을 적용하면 그 목표물들의 위치를 구할 수 있다. CFAR은 현재 cell 값을 주변 cell들의 평균값에 Scaling Factor를 곱한 임계값과 비교하여 목표물의 위치를 탐지해내는 방법이다 (Rohling 1983). CFAR은 노이즈가 많은 환경에서도 안정적으로 목표물을 탐지할 수 있다는 장점이 있기 때문에 이전에도 레이더 신호 탐지 목적으로 사용되어져 왔다. 일반적으로 Fig. 1a와 같이 목표물이 하나이거나 Fig. 1b와 같이 목표물들이 적절한 간격으로 떨어져 있을 경우에는 목표물에서 반사된 펄스 주변 cell들의 진폭 값이 매우 낮기 때문에 신호 탐지가 잘 되지만, Fig. 1c와 같이 목표물들이 서로 가까운 위치에 있을 경우에는 높은 진폭 값이 서로의 임계값을 높이기 때문에 두 신호 모두 탐지하지 못하는 상황이 발생한다. 이전 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 CFAR을 반복적으로 수행하며 가까이 위치한 장애물부터 순차적으로 탐지하는 방법을 통해 다수의 목표물들을 탐지해내었다 (Shin et al. 2017). 본 논문에서는 보다 계산량을 단축시키기 위해, guard cell의 크기를 크게 하여 CFAR을 한번 수행한 뒤 peak detection을 수행하는 방식으로 다수의 목표물을 탐지할 수 있는 방법을 제안한다. Guard cell을 크게 할 경우에는 대부분의 목표물들을 모두 탐지해 낼 수 있다는 장점이 있지만 그 외 잡음이나 multipath로 인한 신호까지 탐지할 확률이 높아진다. 따라서 이후, peak detection을 통해, 감지된 신호 중 높은 값들을 남기고 그 외의 값들을 제거하는 방법으로 잡음신호를 보정하는 방법을 제안한다. Fig. 1c와 같은 장애물은 기존의 CFAR을 이용할 경우 탐지가 되지 않지만, 제안한 방식을 적용할 경우에는 두 목표물이 모두 탐지 되었다.

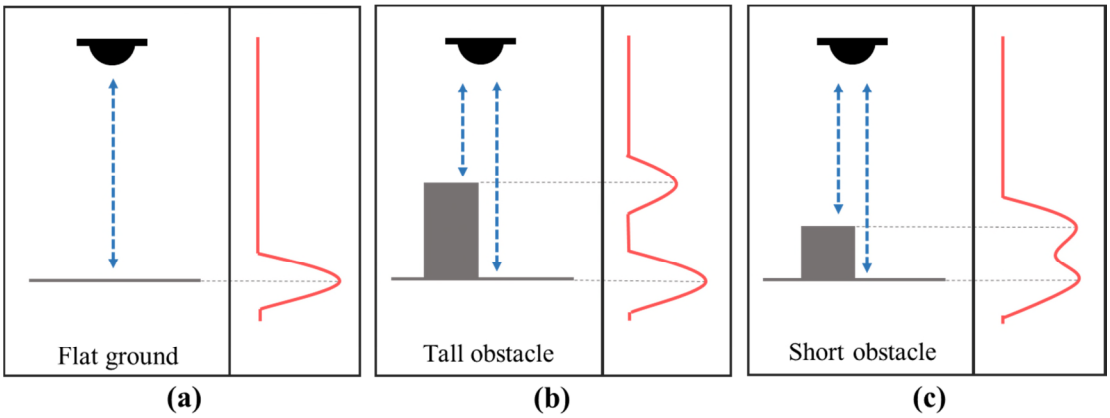


Fig. 1. Examples of the received signals (red) corresponding to the height of an obstacle on the ground; (a) Flat ground without an obstacle; (b) Tall obstacle; (c) Short obstacle.

2.3 지형 평탄도 측정 방법

탐지된 목표물 중 가장 거리가 먼 곳에 위치한 목표물은 지표면이고 그 목표물보다 가까이 위치한 목표물들은 장애물에 해당한다. 이때 지표면까지의 거리와 각각의 장애물들까지의 거리 차는 장애물들의 높이 값을 나타내며 이 중 가장 큰 값을 레이더가 탐지한 지형의 평탄도로 정의하였다 (Shin et al. 2017). 드론은 이렇게 구해진 평탄도 값을 미리 정해진 임계치와 비교하여 착륙 여부를 결정할 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 단일 IR-UWB 레이더를 이용한 지형 평탄도 측정 방법에 관한 연구이다. 드론을 안전하게 운용하기 위해서는, 적절한 착륙 지점을 스스로 찾아내는 기능이 필수적으로 갖추어져야만 한다. 착륙시 발생하는 사고는 기체의 파손뿐 아니라 충돌로 인해 주변 시설물에도 피해를 줄 수 있기 때문에 날씨와 빛의 환경이 변하더라도 안정적으로 적절한 착륙 지점을 찾을 수 있어야 한다. IR-UWB 레이더는 날씨와 빛과 같은 외부 환경의 변화에 따른 영향을 거의 받지 않기 때문에 야외 환경에서 활용하기에 적합하다.

지형 탐지 방법에 있어서 기존의 CFAR 탐지 기법을 적용할 경우에는 서로 가까이 위치한 목표물들을 잘 감지할 수 없기 때문에 본 논문에서는 이를 구분해 낼 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 통해 목표물들의 위치 값을 찾아내어 평탄도를 측정할 수 있으며, 드론은 측정된 평탄도 값을 기준으로 착륙 여부를 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2017-0-01015).

REFERENCES

Garcia-Pardo, P. J., Sukhatme, G. S., & Montgomery, J. F. 2002, Towards vision-based safe landing for an autonomous helicopter, Robotics and Autonomous Systems, 38, 19-29. https://doi.org/10.1016/S0921-8890(01)00166-X

Kendoul, F. 2012, Survey of advances in guidance, navigation, and control of unmanned rotorcraft systems, Journal of Field Robotics, 29, 315-378. https://doi.org/10.1002/rob.20414

Lien, J., Gillian, N., Karagozler, M. E., Amihood, P., Schwesig, C., et al. 2016, Soli: Ubiquitous gesture sensing with millimeter wave radar, ACM Transactions on Graphics, 35, 142. https://doi.org/10.1145/2897824.2925953

Rohling, H. 1983, Radar CFAR thresholding in clutter and multiple target situations, IEEE transactions on aerospace and electronic systems, AES-19, 608-621. https://doi.org/10.1109/TAES.1983.309350

Scherer, S., Chamberlain, L., & Singh, S. 2012, Autonomous landing at unprepared sites by a full-scale helicopter, Robotics and Autonomous Systems, 60, 1545-1562. https://doi.org/10.1016/j.robot.2012.09.004

Shin, Y. H. & Seo, J. 2016, Towards Contactless Silent Speech Recognition Based on Detection of Active and Visible Articulators Using IR-UWB Radar, Sensors, 16, 1812. https://doi.org/10.3390/s16111812

Shin, Y. H., Lee, S., & Seo, J. 2017, Autonomous safe landing-area determination for rotorcraft UAVs using multiple IR-UWB radars, Aerospace Science and Technology, 69, 617-624. https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.07.018

Soldovieri, F. & Solimene, R. 2007, Through-wall imaging via a linear inverse scattering algorithm, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 4, 513-517. https://doi.org/10.1109/LGRS.2007.900735

회전 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는 관성항법 알고리즘

이준학[1], 김혜원[1], 오상헌[2], 도재철[3], 남창우[3], 황동환[1*], 이상정[1],
[1]충남대학교 전자공학과, [2]㈜넵코어스, [3]㈜한화

A Gyro-free Inertial Navigation Algorithm for Roll Angle Estimation of Spinning Artillery Projectile

Junhak Lee[1], Heyone Kim[1], Sang Heon Oh[2], Jae Chul Do[3], Chang Woo Nam[3], Dong-Hwan Hwang[1*], Sang Jeong Lee[1]
[1]Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, [2]Navcours Co., Ltd, [3]Hanwha Co.

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 전자공학과
연락처 : 042-821-5670 이메일 : dhhwang@cnu.ac.kr

Abstract: 항체에 분산 배치한 가속도계를 이용하여 회전 가속도를 측정하고 이로부터 자세 변화율을 구하면 자이로스코프 없이 관성항법이 가능하다. 동작 범위가 넓은 가속도계를 이용하여 자이로스코프로 관성항법이 불가능한 고속 회전 포탄에 대하여 자세 변화율, 자세, 속도 그리고 위치를 구할 수 있다. 본 논문에서는 고속으로 회전하는 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는 관성항법 알고리즘을 제안하였다. 가속도계의 개수 및 배치에 따른 자이로 없는 관성항법시스템의 동특성 방정식을 유도하고, 이를 바탕으로 회전 포탄의 롤 각 변화율 및 롤 각을 추정하였다. 제안한 자이로 없는 관성항법 알고리즘은 가속도계의 출력으로부터 회전 포탄의 롤 각 변화율을 추정한 후 이것으로부터 회전 포탄의 롤 각을 추정한다. 가속도계 6개를 정육면체의 각 면의 중심에 배치했을 때와 원점과 세 축에 각각 3개의 직교한 가속도계 뭉치를 배치하였을 때의 자이로 없는 관성항법시스템의 동특성 방정식을 바탕으로 롤 각 변화율 및 롤 각 추정 알고리즘을 각각 구성하였다. 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 보이기 위해 가속도 데이터 생성기 S/W를 통해 고속으로 회전하는 포탄에 설치한 가속도계의 출력을 모사하고, 이것에 대하여 제안한 알고리즘으로 추정한 롤 각을 확인하였다.

Keywords: gyro-free, inertial navigation system, artillery projectile, roll angle estimation

1. 서 론

종래의 관성측정기(IMU, Inertial Measurement Unit)에서 각속도를 측정하기 위해 사용하는 자이로스코프는 일반적으로 동작 범위가 좁아서 고속으로 회전하는 항체의 각속도 측정에는 사용할 수 없다. 즉, 항체가 고속으로 회전운동할 경우 종래의 관성항법시스템으로는 자세 추정이 불가능하다(Hanson 2005). 일반적으로 가속도계는 넓은 동작 범위를 가지므로, 고속으로 회전하는 항체의 무게중심으로부터 일정한 거리에 분산 배치하여 회전운동에 의한 각 가속도를 측정하고, 이를 적분하여 항체의 각속도를 구할 수 있다(Schuler et al. 1967, Tan & Park 2002, Hanson 2005, Pachter et al. 2013). 본 논문에서는 고속으로 회전하는 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는(Gyro-Free) 관성항법 알고리즘을 설계하였다. 항체에 분산 배치한 가속도계의 출력으로부터 GF-INS 각속도 미분 방정식을 유도하고, 가속도계 6개를 정육면체의 각 면의 중심에 배치했을 때와 원점과 세 축에 각각 3개의 직교한 가속도계 뭉치(Triad), 즉 12개의 가속도계를 배치하였을 때 각속도 미분 방정식을 도출하였다. 각속도 미분 방정식으로부터 자세 미분 방정식, 속도 미분방정식, 그리고 위치 미분방정식을 도출하였다. 도출한 자이로 없는 관성항법 시스템의 운동 방정식을 바탕으로 각속도 추정 모듈, 자세 추정 모듈, 속도 추정 모듈, 그리고 위치 추정 모듈을 설계하였다. 본 논문에서 제시한 자이로 없는 관성항법 알고리즘의 유효성을 보이기 위해 가속도 데이터 생성기를 통해 고속으로 회전하는 포탄의 궤적과 포탄에 설치된 가속도계의 출력을 모사하고, 이것으로부터 포탄의 롤 각을 추정하였다.

2. 자이로 없는 관성항법시스템

2.1 자이로 없는 관성항법시스템 개요

항체에 설치한 N개의 가속도계와 이에 대한 자이로 없는 관성항법 알고리즘의 구조를 그림 1에 나타내었다. Fig. 1에 보였듯이 자이로 없는 관성항법시스템은 항체에 분산 배치한 가속도계의 출력으로부터 자세 변화율 미분방정식의 해를 구하여 항체의 각속도를 추정한다. 추정한 자세 변화율과 가속도로

부터 자세 미분방정식, 속도 미분방정식, 그리고 위치 미분 방정식으로부터 항체의 위치, 속도, 그리고 자세를 추정한다.

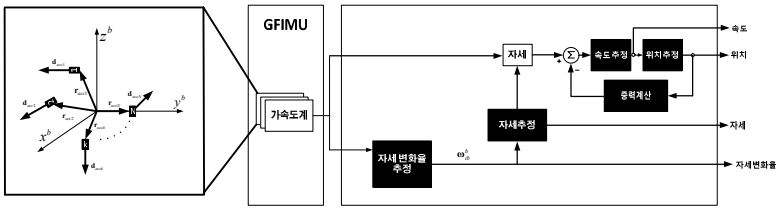


Fig. 1. Distributed accelerometers and gyro-free INS algorithm.

2.2자이로 없는 관성항법시스템 운동 방정식

항체가 운동할 때 그림 1에서 가속도계가 설치된 위치에서의 가속도는 식 (1)과 같다.

$$\boldsymbol{a}_{acc}^{b} = \boldsymbol{a}^{b} + \boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b} \times \mathbf{r}_{acc}^{b} + \boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times (\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times \mathbf{r}_{acc}^{b}) \tag{1}$$

가속도계의 감지축 방향을 나타내는 단위벡터를 $\mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}$ 라 하면 가속도계에 측정되는 값은 식 (2)와 같다.

$$y_{acc} = \mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}\mathbf{f}^{b} = \mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}(\boldsymbol{a}^{b} - \mathbf{g}^{b}) = \mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}\boldsymbol{a}^{b} + (\mathbf{r}_{acc} \times \mathbf{d}_{acc})^{\mathbf{T}}\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b} + \mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times (\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times \mathbf{r}_{acc}^{b})) - \mathbf{d}_{acc}^{\mathbf{T}}\mathbf{g}^{b}) \tag{2}$$

여기서 $\mathbf{f}^{b}$ 는 동체좌표계에서 나타낸 항체의 비력(Specific force)이며, $\mathbf{g}^{b}$ 는 동체좌표계에서 나타낸 중력이다. $\begin{bmatrix} y_1^b & y_2^b & \mathrm{L} & y_N^b \end{bmatrix}^{\mathbf{T}} = \mathbf{Y}$, $\begin{bmatrix} \mathbf{d}_{acc1}^{T}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times (\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times \mathbf{r}_{acc1}^{b})) & \mathbf{d}_{acc2}^{T}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times (\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times \mathbf{r}_{acc2}^{b})) & \mathrm{L} & \mathbf{d}_{accN}^{T}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times (\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b} \times \mathbf{r}_{accN}^{b})) \end{bmatrix}^{\mathbf{T}} = \mathbf{N}$, $\begin{bmatrix} \mathbf{d}_{acc1}^{T} & \mathbf{d}_{acc2}^{T} & \mathrm{L} & \mathbf{d}_{accN}^{T} \\ (\mathbf{r}_{acc1}^{b} \times \mathbf{d}_{acc1})^{T} & (\mathbf{r}_{acc2}^{b} \times \mathbf{d}_{acc2})^{T} & \mathrm{L} & (\mathbf{r}_{accN}^{b} \times \mathbf{d}_{accN})^{T} \end{bmatrix} = \mathbf{H}$, $\begin{bmatrix} \mathbf{d}_{acc1}^{T} \cdot \mathbf{g}^{b} & \mathbf{d}_{acc2}^{T} \cdot \mathbf{g}^{b} & \mathrm{L} & \mathbf{d}_{accN}^{T} \cdot \mathbf{g}^{b} \end{bmatrix}^{\mathbf{T}} = \mathbf{Dg}$ 라 하면 N개의 가속도계의 측정치를 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y} + \mathbf{D}g - \mathbf{N} = \mathbf{H}\begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b} \\ \boldsymbol{a}^{b} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$(\mathbf{H}^{\mathbf{T}}\mathbf{H})\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}\,3\times N} & \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}^{b}\,3\times N} \end{bmatrix}^{\mathbf{T}}$ 라 하면 식 (4)를 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b} \\ \boldsymbol{a}^{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}\,3\times N} \\ \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}\;3\times N} \end{bmatrix}(\mathbf{Y} + \mathbf{D}g - \mathbf{N}) = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{Y} + \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{D}g - \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{N} \\ \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}}\mathbf{Y} + \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}}\mathbf{D}g - \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}}\mathbf{N} \end{bmatrix} \tag{5}$$

여기서 $\mathbf{N}$ 은 $\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b}$ 의 함수이므로, $\mathbf{f}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b}) = \mathbf{D}g - \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{N}$, $\mathbf{f}_{\boldsymbol{a}}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b}) = \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}} \cdot \mathbf{N}$ 라 하면 식 (5)를 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b} = \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{Y} + \mathbf{A}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}\mathbf{D}\mathbf{g} - \mathbf{f}_{\boldsymbol{\omega}_{ib}^{\dot{b}b}}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b}) \tag{6}$$

$$\boldsymbol{a}^{b} = \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}}\mathbf{Z} + \mathbf{A}_{\boldsymbol{a}}\mathbf{D}\mathbf{g} - \mathbf{f}_{\boldsymbol{a}}(\boldsymbol{\omega}_{ib}^{b}) \tag{7}$$

가속도계 6개를 항체의 무게중심을 원점으로 하는 정육면체의 각 면의 중앙에 배치한 경우와 원점과

세 축에 각각 3개의 직교한 가속도계 뭉치를 배치한 경우를 Fig. 2에 나타내었다. 각각에 대한 자세 변화율 미분방정식은 식 (9), (10)과 같다.

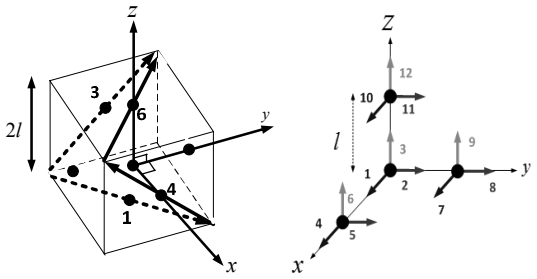


Fig. 2. GF-IMU configurations.

$$\begin{bmatrix} (\omega_{ib}^b)_x \\ (\omega_{ib}^b)_y \\ (\omega_{ib}^b)_z \end{bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{2}l} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{acc1}^b & y_{acc2}^b & y_{acc3}^b & y_{acc4}^b & y_{acc5}^b & y_{acc6}^b \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} (\omega_{ib}^b)_x \\ (\omega_{ib}^b)_y \\ (\omega_{ib}^b)_z \end{bmatrix} = \frac{1}{2l} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{acc1}^b & y_{acc2}^b & y_{acc3}^b & y_{acc4}^b & y_{acc5}^b & y_{acc6}^b & y_{acc7}^b & y_{acc8}^b & y_{acc9}^b & y_{acc10}^b & y_{acc11}^b & y_{acc12}^b \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{10}$$

자이로 없는 관성항법시스템의 자세 미분 방정식, 속도 미분 방정식, 그리고 위치 미분 방정식을 식 (11) ~ (13)에 나타내었다(Titterton & Weston 2004).

$$\dot{\mathbf{Q}}_b^n = \frac{1}{2}\mathbf{W}\mathbf{Q}_b^n \tag{11}$$

$$\dot{\mathbf{v}}_e^n = \mathbf{C}_b^n(\mathbf{A}_a\,\mathbf{Y} + \mathbf{A}_a\,\mathbf{Dg} - \mathbf{f}_a\,(\boldsymbol{\omega}_{ib}^b)) - (2\boldsymbol{\omega}_{ie}^n + \boldsymbol{\omega}_{en}^n) \times \mathbf{v}_e^n - \boldsymbol{\omega}_{ie}^n \times (\boldsymbol{\omega}_{ie}^n \times \mathbf{R}^n) \tag{12}$$

$$\dot{L} = \frac{(\mathbf{v}_e^n)_N}{R_m + h} \quad \dot{l} = \frac{(\mathbf{v}_e^n)_E}{(R_t + h)\cos L} \quad \dot{h} = -(\mathbf{v}_e^n)_D \tag{13}$$

3. 자이로 없는 관성항법시스템 기반 롤 각 추정 알고리즘

3.1 각속도, 자세, 속도, 위치 추정 알고리즘

식 (9), (10)을 기반으로 각속도를 추정하고, 식 (11) ~ (13)을 기반으로 자세, 속도, 그리고 위치를 추정하며 이를 Fig. 3에 나타내었다.

3.2 성능 평가 시스템 구성

제안한 자이로 없는 관성항법 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 구성을 Fig. 4에 나타내었다. 가속도 데이터 생성기를 통해 회전 포탄의 궤적을 생성하고, 가속도계의 측정치를 생성한 후 이를 제안한 자이로 없는 관성항법 알고리즘의 입력으로 하여 롤 각 추정 성능을 살펴보았다. 항체는 롤 Rate 30Hz로 회전하며, 초기 정렬 오차와 가속도계 오차는 없다고 가정하였다.

3.3 성능 평가 결과

가속도계 6개를 항체의 무게중심을 중심으로 하는 정육면체의 각 면의 중앙에 배치한 경우와 4개의 가속도계 Triad를 배치한 경우, 설계한 알고리즘을 통해 각각 Data sampling time이 0.01초일 때와 0.001초일 때 회전 포탄의 롤 각을 추정한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

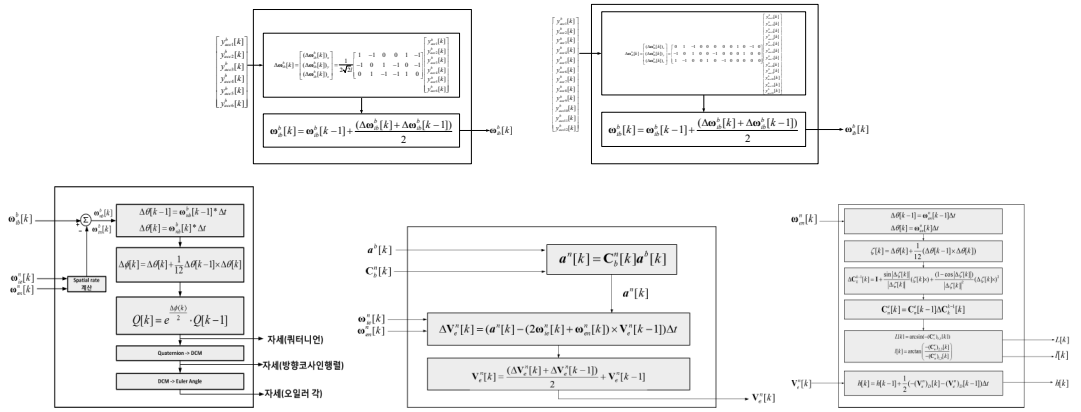


Fig. 3. Gyro-free inertial navigation algorithm.

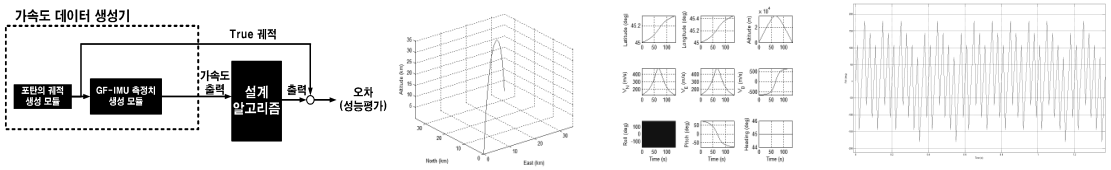


Fig. 4. Environment for Gyro-free inertial navigation algorithm performance evaluation.

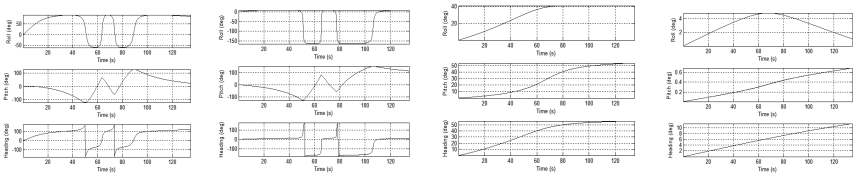


Fig. 5. Roll angle estimation error.

4. 결 론

본 논문에서는 회전 포탄의 롤 각 추정을 위한 자이로 없는 관성항법 알고리즘을 설계한 결과를 제시하였다. 가속도계 6개를 항체의 무게중심을 중심으로 하는 정육면체의 각 면의 중앙에 배치한 경우와 원점과 각 축에 4개의 가속도계 뭉치를 배치한 구조에 대해 자이로 없는 관성항법시스템의 운동방정식을 유도하고, 이를 바탕으로 자이로 없는 관성항법 알고리즘을 설계하였다. 가속도계 데이터 생성기 출력에 대해 설계 알고리즘의 성능 평가를 수행하였으며, 자이로 없는 관성항법 알고리즘을 통해 항체에 분산 배치한 가속도계의 출력으로부터 항체의 롤 각을 추정할 수 있음을 보였다. 추후 롤 각 추정에 특화된 자이로 없는 관성항법 알고리즘과 자이로 없는 관성항법시스템의 초기 정렬 알고리즘 연구를 수행할 계획이다.

REFERENCES

Hanson, R. 2005, Using Multiple MEMS IMUs to Form a Distributed Inertial Measurement Unit, Master's Thesis, Air Force Institute of Technology

Pachter, M, Welker. T. C., & Huffman, Jr. R. E. 2013, Gyro-Free INS Theory, Navigation, Journal of the Institute of Navigation, 60, 85-96

Schuler, A. R., Grammatikos, A., & Fegley, K. A. 1967, Measuring Rotational Motion with Linear Accelerometers, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-3, 465-472

Tan, C.-W. & Park, S. 2002, Design and Error Analysis of Accelerometer-Based Inertial Navigation Systems, Research Reports, California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH), Institute of Transportation Studies, UC Berkeley, Tech. Rep. UCB-ITS-PRR-2002-21

Titterton, D. & Weston, J. L. 2004, A Strapdown Inertial Navigation Technology, 2nd Ed. (Reston: AIAA)

개인병사를 위한 IR-UWB 기반의 실내 위치 인식

이철수[1*], 설동민[1], 조영호[2], 정성문[2]
[1]LIG넥스원 C4I연구소, [2]방위산업기술지원센터 지휘정찰기술팀

IR-UWB based Indoor Positioning for a Private Soldier

Chul-Soo Lee[1*], Dong-Min Seol[1], Young-Ho Cho[2], Sung-Moon Chung[2]
[1]C4I R&D Center, LIGNex1, [2]C4ISR Technical Team, ADD Defense Industry Technology Center

주소 : 성남시 분당구 판교로 333 LIG 넥스원
연락처 : 031-8026-4625 이메일 : chulsoo.lee@lignex1.com

Abstract: 현대전에서 개인병사는 산악지형뿐 아니라 시가전을 포함한 건물 내부에서도 작전을 수행하여야 하며 효율적인 작전을 위하여 실내에서도 자신과 아군에 대한 위치인식이 요구된다. 실내 위치인식을 위한 다양한 방법이 존재하나 Ultra-Wide Band (UWB) 기반의 실내 위치 인식 시스템이 이동시간에 관계없이 정밀한 위치인식 기능을 제공하고 있다. 본 논문에서는 Impulse Radio (IR)-UWB 기반의 실내 위치 인식 기술을 개인병사에게 적용하는 경우 고려해야 하는 설계 요소와 기술적 한계, 적용 가능성을 소개하고자 한다. 특히 사전에 Anchor가 설치되어야 하는 운용의 제한 요소를 극복하기 위해 Anchor 개수를 줄이기 위한 새로운 운용 개념과 설계 요소를 제안한다.

Keywords: IR-UWB, indoor positioning, anchor

1. 서 론

현대전에서는 개인병사가 독립적으로 전투를 수행하기 보다는 자신과 아군의 위치를 기반으로 작전을 수행하는 네트워크 기반의 작전으로 개념이 변해가고 있으며 이를 지원하기 위한 기술 연구가 계속해서 진행되고 있다. 위치 기반의 작전을 수행하기 위해 개인병사는 자신이 보유하고 있는 관성측정장치(IMU: Inertial Measurement Unit)와 지자기센서 등의 센서를 활용하거나, 주변으로부터 무선 신호를 수신해서 자신의 위치를 확보하고 이를 기반으로 통신 및 지휘통제 기능을 수행해야 한다 (Chae et al. 2012).

그러나 무선 신호를 활용한 위치기반 서비스는 Global Positioning System 위성으로부터 신호를 수신할 수 있는 야외에서만 서비스를 제공할 수 있으며, 실내에서도 이러한 서비스를 제공하기 위해 Bluetooth, WiFi, Ultra-Wide Band (UWB) 등 다양한 무선 신호를 기반으로 한 위치 인식 기술이 개발되고 있다 (Segura et al. 2010, Yoo 2013). 이중에서도 Impulse Radio (IR)-UWB 기반의 실내 위치 인식 시스템은 송수신기 간 짧은 펄스를 전송함으로 인해 거리 분해능이 뛰어나고, 실내에서 복잡하게 발생하는 다중 경로 환경에 강인하기 때문에 Bluetooth 및 Wifi 방식에 비해 정확한 위치 인식 성능을 제공한다. 다만 단말기에서 자신의 위치를 생성하기 위해서는 실내에 사전에 설치된 Anchor가 있어야 하며 건물 전체에 위치 인식 기능을 적용하기 위해서는 각 방과 복도에 많은 수의 Anchor를 설치해야 한다. 또한 개인병사가 작전을 수행하는 경우 작전 상황에 따라서 Anchor가 없는 건물에서도 작전을 수행해야 하기 때문에 운용에 제한을 받게 된다.

따라서 개인병사가 Anchor 등의 인프라가 설치되어 있지 않은 장소에서 작전을 수행하기 위해서는 건물의 외부에 Anchor를 설치하고 IR-UWB 신호를 건물 내부로 전송하여, 벽을 통과한 신호가 단말기에 도달될 수 있도록 하는 새로운 운용 방법이 필요하다. 본 논문에서는 IR-UWB 기반의 실내 위치 인식 기술을 개인병사에게 적용하기 위한 새로운 운용방법과 설계 요소, 기술적 한계, 적용 가능성을 소개하고자 한다.

2. IR-UWB 기반 실내 위치 인식

Anchor가 실내에 존재하지 않는 건물에서 단말기의 위치를 추적하기 위해서는 건물 외부에서 다수의 Anchor가 IR-UWB 신호를 전송해 주어야 한다. Fig. 1은 건물 외부에 4대의 Anchor가 존재하는 경우 단말기의 위치에 따른 사용 예를 보여 준다. 그림에서 보는 바와 같이 IR-UWB 위치 인식 시스템을 운용하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 고려해야 할 기술적 요소가 존재한다.

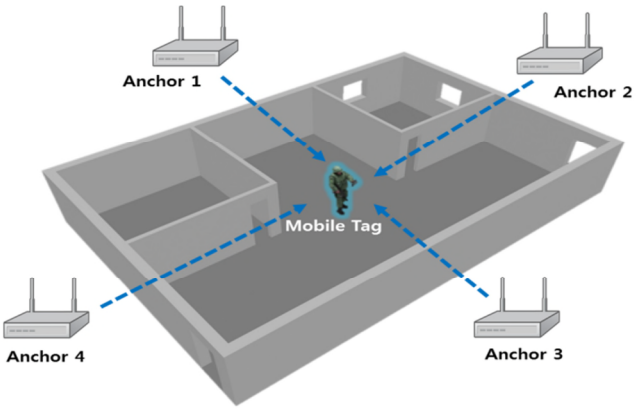


Fig. 1. A new IR-UWB application scheme.

신호전력: 신호가 벽을 투과하면서 벽의 재질에 따라서 급격한 신호 감쇄가 발생한다. 이를 보상하기 위해서는 송출 전력을 높여야 하는데 국내에서 IR-UWB의 사용은 -41.3dBm/MHz로 출력이 제한되기 때문에 출력을 높인 장비의 운용은 재해 및 전시에만 가능할 것이다.

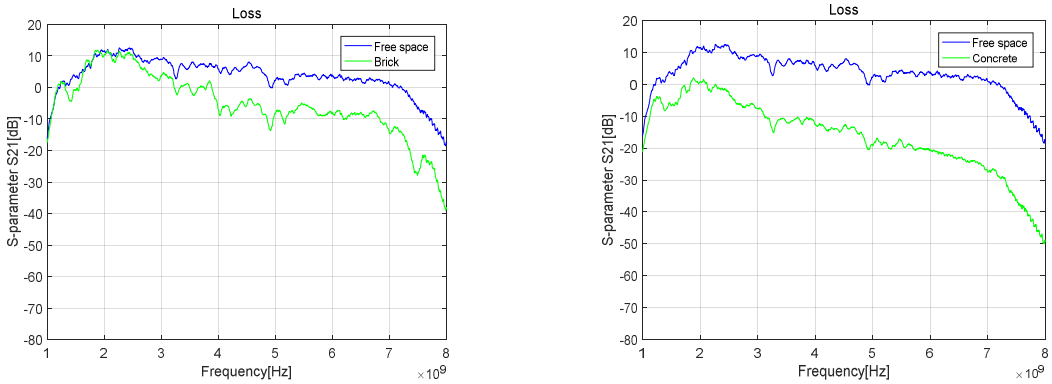
신호지연: 벽의 재질과 통과하는 벽의 두께에 따라서 신호의 전송 지연이 발생한다. 이를 해소하기 위해서는 벽을 통과해서 수신되는 신호의 특성을 분석하거나, 새로운 관점에서 신호 지연에 대한 정도를 검출하고 보상하는 알고리즘이 연구 되어야 한다.

다중경로간섭: Mobile Tag가 건물 내부의 어느 곳에 위치하느냐에 따라 IR-UWB 신호가 여러 벽을 통과하여 전송하게 되면서 다양한 형태의 다중경로 간섭이 발생하며, Direct 신호보다 먼저 도착하는 다중경로 신호가 발생할 수도 있다. 다양한 조건의 신호 특성 분석을 통해서 다중경로 신호를 사용하지 않도록 해야 한다.

3. IR-UWB 신호의 벽 투과 영향 분석

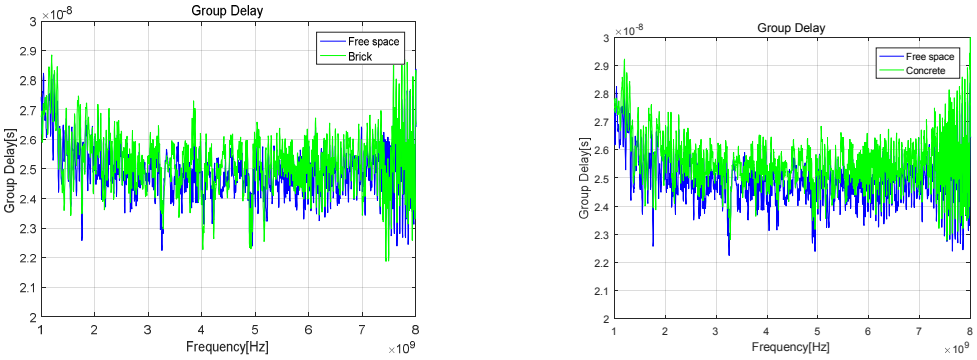
3.1 벽 투과 신호 전력 특성

Anchor가 건물 외부에 위치하는 상황에서 단말기의 위치를 인식하기 위해서는 먼저 IR-UWB 신호의 벽 투과 특성을 파악해야 한다. Fig. 2는 신호발생기를 사용하여 Continuous Wave (CW) 신호를 생성하고 송신 안테나를 통해 전송한 후 약 2m의 자유공간을 지나 수신안테나를 통해 수신하도록 시험 조건을 구성한 후, 자유공간에 IR-UWB 신호가 벽돌 및 콘크리트 벽을 투과하도록 구성한 경우 전력 감쇄를 스펙트럼분석기를 이용하여 측정 및 비교한 결과이다. 2GHz 이상의 주파수에서 벽돌의 경우 자유공간 대비 10dB 이상 감쇄가 증가하였으며, 콘크리트의 경우에는 자유공간 대비 30dB 이상 까지도 감쇄가 증가하는 것을 확인하였다.



(a) Brick 9cm (b) Concrete 10cm

Fig. 2. Power loss through a brick and a concrete.



(a) Brick 9cm (b) Concrete 10cm

Fig. 3. Group delay variation through a brick and a concrete.

3.2 벽 투과 신호 지연 특성

IR-UWB 신호가 벽을 투과하면서 발생할 수 있는 지연은 매질의 유전율과 두께에 따라서 변화하며, 아래의 수식으로 표현할 수 있다.

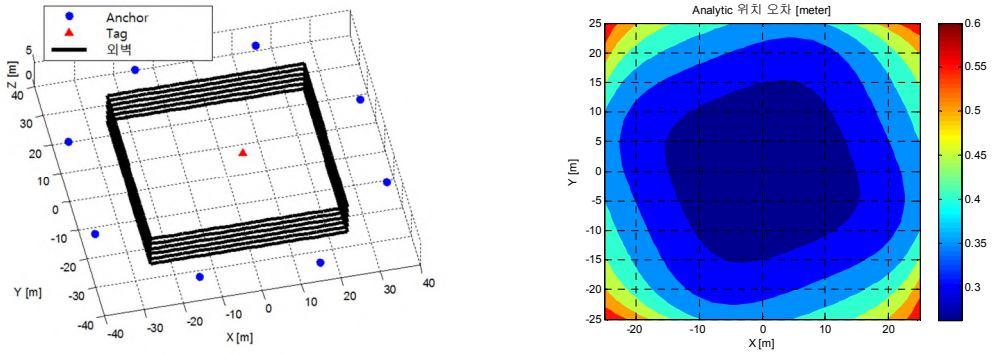
$$\text{Delay} = \frac{w}{\sin\theta}\left(\sqrt{D} - 1\right) \quad \text{where D: 유전율, w: 매질두께, } \theta\text{: 입사각도} \tag{1}$$

Fig. 3은 3.1절 벽 투과 신호 전력 측정 시험과 동일한 조건에서, 자유공간 대비 벽돌 및 콘크리트에 대한 신호 지연 특성을 측정하였다. 신호 지연은 벽돌의 경우 자유공간 대비 0.37ns 수준으로 지연이 증가하였으며, 콘크리트의 경우 벽을 투과한 신호가 자유공간 대비 0.6ns 지연되는 것을 확인하였다.

전력 감쇄가 주파수에 따라 증가하는 반면 지연은 주파수 변화에 영향을 받지 않으며, 자유공간과 비교해서 크게 오차가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

3.3 IR-UWB 기반 실내 위치 인식 오차 분석

벽의 전력 특성과 지연 특성에 대한 실험 결과를 기반으로 IR-UWB 신호체계를 실내 위치 인식 시스템에 적용하였을 경우의 위치 오차 분석을 수행하였다. Fig. 4는 콘크리트 100mm + 벽돌 90mm 벽 조건에 대하여, 50m X 50m의 건물 주변에 8개의 Anchor가 존재하는 경우, 건물 내부에서 Tag의 위치에 따른 위치오차 시뮬레이션 결과를 보여준다. Tag의 수신신호에는 다중경로로 인한 0.39m의 바이어스와 0.18m의 표준편차를 반영하였으며, 벽 투과로 인한 신호 전력의 감쇄는 Stone (1997)을 참조하였다. 또한 벽 투과와 거리에 따라 신호감쇄 및 지연으로 인한 거리추정 오차가 발생한다고 가정하였다.



(a) Simulation Setup (b) Simulation result

Fig. 4. Positioning error analysis for new IR-UWB application.

시뮬레이션을 통해 건물 내부의 가장자리에서는 Dilution of Precision가 좋지 않아서 건물 한가운데보다 위치오차가 크게 발생하지만, 건물의 전체 위치에 대하여 약 0.6m 이내의 위치 정확도를 확보할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 다만 건물 내부의 다양한 벽과 Tag의 이동성, 그리고 다양한 다중경로 환경으로 인해 실제 성능은 이보다 저하될 것으로 예상된다.

4. 결론

본 논문에서는 개인병사가 실내에서 작전을 수행하는 경우 실내에 Anchor 등의 인프라가 없는 상황에서도 위치 인식이 가능하도록 하기 위해서 건물 외부에 Anchor를 두고 Tag의 위치를 추정하는 개념을 제안하였다. 또한 이를 위해 IR-UWB 신호가 벽을 투과하면서 발생할 수 있는 신호의 전력 감쇄와 지연을 실험을 통해 분석하였다. CW 신호의 벽 투과 시험을 통해서 주파수 및 벽의 재질에 따라서 신호의 전력 감쇄가 10dB 이상 크게 발생하는 것을 확인하였으며, Tag의 전력소모와 UWB 신호의 출력 제한을 고려한다면 낮은 주파수를 사용하는 것이 보다 유리함을 확인하였다. 반면 신호의 지연은 주파수와 벽 재질에 따라 크게 증가하지 않는 것으로 확인하였다. 다만 이것은 신호가 벽을 수직으로 투과한 경우의 시험이며, Tag의 위치에 따라 벽을 투과하는 입사각이 변화하는 경우에 대해서는 추가적인 실험을 통한 고찰이 필요할 것이다.

IR-UWB 신호를 이용하여 건물 외부에 Anchor를 두고 건물 내부에 Tag를 운용하는 경우의 위치 오차에 대한 시뮬레이션에서는 건물의 가장자리로 갈수록 오차가 증가하지만 건물 내부에서 약 0.6m 이내의 위치오차가 발생할 수 있음을 확인하였다. 다만 건물의 외벽이 존재하는 경우만 가정한 시뮬레이션으로서 다양한 건물 내부 구성에 따른 영향성과 이에 따른 성능의 제한을 추가적으로 분석해야 할 것이다.

본 논문에서 제시한 방식을 통해 기존 시스템에서 설치해야 하는 Anchor의 수를 줄이거나 운용범위를 확장할 수 있는 IR-UWB 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

Chae, J.-W., Choe, E.-J., Kim, H.-J., Lee, J.-H., & Lee, S.-B. 2012, NCW based Research & Development Technology for Korean Future Soldier System, Joint Conference of Institute of Control, Robotics and Systems, pp.465-470.

Segura, M., Hashemi, H., Sisterna, C., & Mut, V. 2010, Experimental demonstration of self-localized ultra wideband indoor mobile robot navigation system, Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) 2010 International Conference on, 15-17 Sept. 2010, Zurich, Switzerland, pp.1-9. https://doi.org/10.1109/IPIN.2010.5647457

Stone, W. C. 1997, NIST construction automation program report no. 3: Electromagnetic signal attenuation in construction materials, Building Fire Res. Lab., Nat. Inst. Standards Technol., Gaithersburg, MD, Tech. Rep. NISTIR, 6055 (Gaithersburg: NIST)

Yoo, J.-J. 2013, Indoor Positioning based Service Technology and Service Development Trend, Weekly technology trend (NIPA), pp.14-26.



[C6] 과학응용

두 개의 GNSS 안테나를 써서 지질 구조면의 주향과 경사를 측정하기

임무택[1*], 박영수[1], 이윤수[1], 신영홍[1], 임형래[1], 지강현[1], 전태환[2]
[1]한국지질자원연구원, [2]서울대학교 지구환경과학부

Measurement of Strike and Dip of a Geological Structural Plane Using Two GNSS Antennas

Mutaek Lim[1*], Youngsue Park[1], Younsoo Lee[1], Younghong Shin[1], Hyoungrae Rim[1], Kanghyeun Ji[1], Taehwan Jeon[2]
[1]Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
[2]Seoul National University, School of Earth and Environmental Sciences

주소: 34132 대전시 유성구 과학로 124
연락처: 042-868-3157, 전자 우편: limmt@kigam.re.kr

Abstract: 지질 조사에서는 지구 자기장을 측정하는 것에 바탕한 나침반으로 지질 구조면의 주향과 경사를 측정한다. 그러나 예를 들어 자철광의 조사를 할 때는, 자철광이 만들어내는 자기장 때문에 주향과 경사를 정확히 측정할 수 없다. 이러한 환경에서도 지질 조사를 할 수 있는 방안으로서 주변의 자기장의 영향을 받지 않는 두 개의 GNSS 안테나를 가진 체계를 제안한다. 공간에서 세 점을 결정하면 그 세 점을 포함하는 평면은 하나밖에 없다. 이 평면이 수평면과 만나서 만드는 직선의 방위각이 주향(strike)이고, 이 주향에 수직이면서 지질 구조면 위에 있는 직선이 수평면과 이루는 각이 경사(dip)이다. 보이는 지질 구조면 위에서, 두 개의 GNSS 안테나를 가진 체계로, 되도록 서로 수직으로 만나는 두 기선에 대한 측정을 하여, 각각의 경우에 두 안테나의 위상 중심의 위치를 알아 낸다. 두 기선에 대한 측정에서 1 번 안테나가 (X, Y, Z) 좌표계의 같은 점, 예를 들면 원점 (0, 0, 0)에 있다고 생각하면, 이 두 번의 측정으로 그 지질 구조면 위에 있는 세 점의 위치를 측정한 것이 된다. 이 세 점으로 결정되는 평면의 방정식은 ax + by + cz = 0로 나타낼 수 있고, 이 평면에 수직인 법선 벡터는 $\vec{n} = a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z}$으로 나타낼 수 있으며, 단위 법선 벡터는 $\hat{n} = (a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z})/\sqrt{a^2+b^2+c^2}$ 으로 나타낼 수 있다. 법선 벡터 $\vec{n}$을 X-Y 평면 위로 투영한 벡터는 $\vec{n}_p = a\hat{x} + b\hat{y} + 0\hat{z}$ 이고, 법선 벡터 $\vec{n}$을 X-Y 평면 위로 투영한 단위 벡터는 $\hat{n}_p = (a\hat{x} + b\hat{y} + 0\hat{z})/\left|\vec{n}_p\right|$ 이다. 이 경우에, 벡터 $\hat{n}_p$와 Y 축 방향의 단위 벡터 $\hat{y}$ 사이의 각인 주향 β 는 $b = \cos^{-1}(\hat{n}_p \ \hat{y})$이다. 또, 수평면으로부터 기울어진 경사 θ와 단위 법선 벡터 $\hat{n}$과 Z 축 방향의 단위 벡터 $\hat{z}$ 사이의 각 a 사이에는 $q + a = 180$ 의 관계가 있고, 각 α 는 법선 벡터와 Z 축 방향의 단위 벡터의 내적으로부터 알아낼 수 있는데, $a = \cos^{-1}(\hat{n}\ \hat{z})$ 이므로 경사 θ는 θ = 180? $a = 180?\ \cos^{-1}(\hat{n}\ \hat{z})$이다. 이렇게 순수하게 기하학적으로 구한 각도와 지질학에서 쓰는 각도의 정의 사이에는 서로 약간의 차이가 있는데, 이 차이는 적절한 조정을 통하여 해소할 수 있다.

Keywords: strike, dip, geological structural plane, GNSS antennas

1. 서론

지질 조사에서는 나침반으로 지질 구조면의 주향과 경사를 측정하는데, 나침반이 주향을 측정하는 원리는 다음과 같다.

재래식 자침을 쓰든, 다발문(fluxgate) 자력계를 쓰든, 측정하는 지점 둘레에 있는 지구 자기장의 수평 성분의 방향을 측정하고, 이 방향을 자북 방향이라고 부른다(Jeong et al. 2016).

그 지역에서의 자북 방향과 진북 방향의 상관 관계는 그 지역을 나타내는 지형도에 " 도자각" 이라는 이름으로 표시되어 있는데, (-)는 자북 방향이 진북 방향보다 더 서쪽에 있다는 것을 뜻하고, (+)는 그 반대를 뜻하는데, 우리나라에서는 -8.0 ~ -6.0도 안에 분포한다.

나침반을 수평으로 하여 긴 축이 지질 구조면의 주향과 평행하도록 놓고, 자침의 방향을 읽었을 때, 그 각도가 +60.0도이며, 그 지역의 도자각이 -7.0도이면, 이 지질 구조면의 주향 즉, 진북으로부터의 사잇각은 60.0 - 7.0 = 53.0도가 되고 이를 N53E로 표기한다 (Hawk 1962).

또, 나침반이 경사를 측정하는 원리는 다음과 같다. 주향선에 수직이 되는 방향으로 나침반의 긴 축이

바닥으로 가도록 세우고, 추가 가리키는 숫자를 읽은 뒤, 그 숫자의 90에 대한 보수를 구하고, 내려가는 방향이 남쪽인지 북쪽인지를 알아서 보수N 또는 보수S 형식으로 표기한다. 주향이 N53E인 예에서, 읽은 숫자가 70이고, 북쪽으로 경사졌다면, 보수는 20이므로, 이 경우의 경사는 20N으로 표기한다.

그러나 종래의 나침반으로 주향을 측정할 수 있기 위해서는 주위에 자성 물질이 없어서, 그 지역의 지구 자기장의 방향을 정확히 측정할 수 있어야 한다.

그런데, 예를 들어 자철광을 대상으로 하여 지질 조사를 하는 경우에는, 그 자철광의 존재 때문에 그 주위의 지구 자기장이 왜곡되므로, 나침반을 써서 측정한 주향은 믿을 수 없다. 이러한 경우에는 측정 원리가 자기장과 관련없는 측정 기구를 써야 한다. 자기적 잡음을 일으키는 물질이 있는 지역에서도 주향과 경사를 측정할 수 있는 체계로서, 아래와 같은 "GNSS 나침반을 써서 어떤 지질 구조면의 주향과 경사를 측정(계산)하는 체계"를 제안한다. 그 개요는 다음과 같다.

가. 어떤 공간에서 세 점을 결정하면 그 세 점을 포함하는 평면은 하나밖에 없다.
나. 가.에서 구한 평면, 즉 지질 구조면이 수평면과 만나서 만드는 직선의 방위각이 주향(strike)이고,이 주향에 수직이면서 지질 구조면 위에 있는 직선이 수평면과 이루는 각이 경사(dip)이다(Fig. 1).
다. 보이는 지질 구조면 위에서, 두 개의 GNSS 안테나를 가진 체계로, 되도록 서로 수직으로 만나는 두 기선에 대한 측정을 하여, 각각의 경우에 두 안테나의 위상 중심의 위치를 알아 낸다. 두 기선에 대한 측정에서 1번 안테나가 (X, Y, Z) 좌표계의 같은 점, 예를 들면 원점 (0, 0, 0)에 있었다고 생각하면, 이 두 번의 측정으로 그 지질 구조면 위에 있는 세 점의 위치를 측정한 것이 된다.
라. 이 체계의 제한점은, 다중 경로(multi path)를 거치지 않은 좋은 GNSS 신호를 잡을 수 있는 장소에서만 쓸 수 있다는 것으로서, 하늘을 가리는 나무들이 많은 숲 속 같은 데에서는 쓸 수 없다는 것이다.

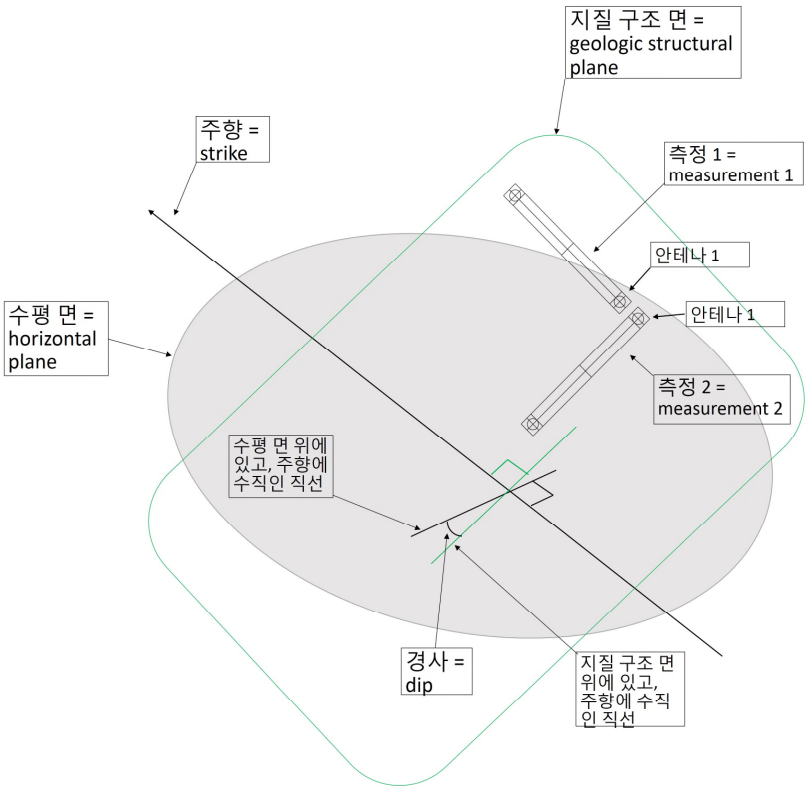


Fig. 1. System to measure strike and dip of a geological structural plane using two GNSS antennas.

2. 3 차원 공간에서 평면의 기하학적 위치

공간에서 어떤 평면은 세 개의 점, 혹은 꼬인 위치에 있지 않은 두 개의 직선 등 다양한 조건으로 표시할 수 있다. 평면을 묘사하는 방정식 또한 여러 형식이 있지만, 다음과 같은 3차원 공간 변수를 포함한 선형 1차 방정식이 많이 쓰인다.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

여기서 d는 평면의 수평 이동을 의미하며 평면 위 각 점의 절대값을 결정한다. 예를 들어 $d = 0$인 경우, 이 평면은 원점(0, 0, 0)을 지난다. 하지만 평면의 상대적 위치를 결정하고자 할 경우에는, 평면의 기울기를 결정하는 계수 a, b, c가 유용하다.

어떤 평면의 기하학적 위치가 유일하게 결정되었을 때, 그 평면에 수직인 법선 벡터(normal vector)를 그 평면을 나타내기 위해 사용하는데, 그 평면과 법선 벡터는 1:1로 대응하기 때문이다.

식 (1)과 같은 평면의 방정식에서 법선 벡터 $\vec{n}$은 다음과 같이 계수 a, b, c의 조합으로 얻을 수 있다(MSLC Workshop Series 2017).

$$\vec{n} = a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z} \quad (2)$$

여기서 $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$는 각각 X, Y, Z 축 방향의 단위 벡터(unit vector)이다. 이 법선 벡터의 크기를 1로 정규화한 단위 법선 벡터(unit normal vector) $\hat{n}$은 다음과 같이 표시한다.

$$\hat{n} = \frac{a\hat{x} + b\hat{y} + c\hat{z}}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (3)$$

법선 벡터는 평면이 각 축에 대해 어떠한 기울기로 이루어져 있는지 알려 준다. 한편, 평면의 방정식은 세 개의 점으로부터 곧바로 얻을 수 있다. 평면의 방정식으로부터 법선 벡터를 구하는 방법들 중 가장 직관적이고 간편한 방법은 세 점이 만드는 임의의 두 벡터의 외적을 이용하는 것이다. 두 개의 벡터는 모두 그 평면에 속해 있는 벡터들이며, 평면에 직교하는 법선 벡터는 두 벡터 모두에 직교하게 된다. 두 벡터의 외적도 두 벡터 모두에 직교하므로, 외적을 구한다는 것은 법선 벡터에 평행한 벡터를 구하는 것과 같다. 어떤 점 3개가 다음과 같이 주어졌다고 하자.

$$\begin{cases} P_1 = x_1\hat{x} + y_1\hat{y} + z_1\hat{z} \\ P_2 = x_2\hat{x} + y_2\hat{y} + z_2\hat{z} \\ P_3 = x_3\hat{x} + y_3\hat{y} + z_3\hat{z} \end{cases} \quad (4)$$

그러면 이 점들로부터 두 개의 벡터 $\vec{A}$, $\vec{B}$를 다음과 같이 만들 수 있다.

$$\begin{cases} \vec{A} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 \\ \vec{B} = \vec{P}_3 - \vec{P}_1 \end{cases} \quad (5)$$

이 때 두 벡터의 외적은 법선 벡터에 평행하므로 법선 벡터의 상수 배로 주어진다.

$$\vec{A} \times \vec{B} = c\hat{n} \quad (6)$$

여기서 c는 비례 상수이다. 만약 좌변을 외적의 크기로 나누어 주면, 단위 법선 벡터를 얻게 된다. 즉,

$$\frac{\vec{A} \times \vec{B}}{\left|\vec{A} \times \vec{B}\right|} = \hat{n} \quad (7)$$

이 결과를 식 (3)과 비교하면, 임의의 세 점으로부터 각각 두 점을 취해서 만든 두 벡터의 외적을 단위화(normalize)한 것, 그것이 바로 세 점이 속한 평면의 법선 벡터와 같다는 결론을 얻는다.

단, 어떤 한 평면에 대한 법선은 평면에 수직이면서 방향만 반대인 두 개가 있을 수 있으나, 설명의

편의를 위하여 하나의 법선 벡터만을 취하여 기준하겠다. 우선 위와 같은 방법으로 구한 법선 벡터의 z 성분 부호가 음일 때, 즉 법선 벡터가 하늘을 향하는 경우를 기본으로 하고자 한다. 만약 z 성분의 부호가 양이라면, 즉 법선 벡터가 땅 속을 향하는 경우, 식 (6)에서 $\vec{A}'\ \vec{B}$ 대신 $\vec{B}'\ \vec{A}$ 의 결과를 쓰는 방식으로 이를 적절하게 통일할 수 있다.

3. 평면, 즉 지질 구조면의 주향과 경사의 기하학적 뜻매김

주향(strike)과 경사(dip)는 지질학에서 어떤 지질 구조면의 방향과 기울기를 지리학적 좌표계 내에서 두 개의 각도로 서술하는 기준이다. 주향은 그 지질 구조면이 수평면과 만나는 직선의 방향을 가리키며, 경사는 그 구조면의 최대 경사를 뜻한다. 주향은 진북을 기준으로 수평면을 따라 회전한 방위각(azimuth)으로 표현되고, 경사는 수평면을 기준으로 아래로 기울어질수록 0 °로부터 90 °까지 증가한다.

만약 X-Y-Z의 3 차원 직교 좌표계 대신 North-East-Depth의 좌표계를 쓴다고 할 때, 주향은 진북으로부터 회전한 방위각으로 측정되고, 경사는 주향 방향에 수직인 수평선으로부터 아래로 기울어진 각을 양의 방향으로 하여 측정된다.

주향은 흔히 현재 위치한 사분원을 기준으로 예를 들어 N30E와 같이 쓰이는데, 이는 북쪽을 향하는 축으로부터 30 ° 떨어진 북동쪽 방향으로 지질 구조선이 달리고 있다는 뜻이며, 동시에 반대 방향인 남서쪽 주향선을 기준으로 S30W를 뜻할 수도 있다. 경사의 경우에는, 주향에 수직인 방향이 두 가지가 있을 수 있기 때문에, 각도와 함께 E-W 축을 기준으로 북쪽 방향으로 경사진 것인지 남쪽 방향으로 경사진 것인지를 표시한다. 예를 들어 N30E의 주향에 40S의 경사를 가진 지질 구조면이라면, 북동-남서로 달리는 주향을 기준으로 최대 경사는 주향선의 남쪽 방향인 남동 방향으로 40 ° 기울어져 있다는 것을 뜻한다.

4. 평면의 법선 벡터로부터 얻는 주향과 경사

Fig. 2는 어떤 평면의 주향과 경사, 그리고 법선 벡터의 기하학적 위치를 표현한다. 파란 원은 수평면인 X-Y 평면이며, 빨간 원은 기울어진 어떠한 평면이다. 기울어진 평면의 단위 법선 벡터는 분홍색 선으로 표시되어 있으며, 이 법선 벡터의 수평면으로의 정사영(projection)은 분홍색 점선으로 표시하였다.

수평면과 기울어진 구조면이 만나는 공통 교선인 파란 직선이 주향선이다. 또한 주향선과 수직이면서 기울어진 평면에 포함된 빨간색으로 표시된 선이 경사선이다.

그림에서 보듯이, 파란 색으로 표시된 주향선은 기울어진 평면이 수평면인 X-Y 평면과 만나는 교선으로 결정되는데, 주향선은 법선 벡터의 X-Y 평면으로의 정사영(분홍색 점선)과 수평면 위에서 항상 직교한다. 또한 경사는 주향선과 직교하면서 기울어진 평면에 포함된 직선인 경사선으로 측정할 수 있는데, 그림에서 보듯이, 경사선은 주향선 및 법선 벡터와 동시에 직교한다. 따라서 법선 벡터를 알면 주향과 경사를 얻을 수 있다.

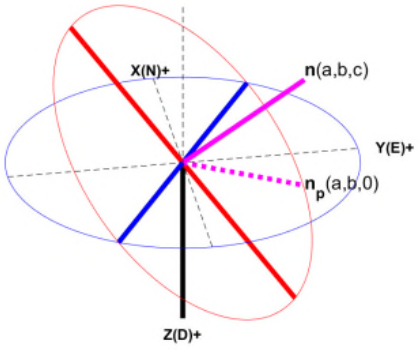


Fig. 2. Strike and dip of a geological structural plane or bedding plane.

한편, 주향은 X 축 혹은 Y 축 방향의 단위 벡터와의 상대적 관계로써 알 수 있다. 여기서 유의할 것은 법선 벡터는 3 차원 공간을 향하고 있으나 주향은 수평면 위에서의 방위각이라는 점이다. 따라서 평면의

법선 벡터를 X-Y 평면에 정사영한 벡터와의 관계를 얻어야 한다. 평면의 법선 벡터 $\hat{n}$ 을 X-Y 평면 위로 정사영한 벡터 $\vec{n}_p$ 는 식 (2)에서 z의 계수를 0으로 하여 다음과 같이 얻어진다. 즉,

$$\vec{n}_p = a\hat{x} + b\hat{y} + 0\hat{z} \tag{8}$$

또한 $\vec{n}_p$ 의 단위 벡터 $\hat{n}_p$ 는 다음과 같다. 즉,

$$\hat{n}_p = \frac{a\hat{x} + b\hat{y} + 0\hat{z}}{\left|\vec{n}_p\right|} \tag{9}$$

Fig. 3은 Fig. 2를 수직 위에서 내려다 본 그림이다. X-Y 평면 위에 법선 벡터를 정사영한 벡터는 $\vec{n}_p$ 로 표시하였다. 그림에서 벡터 $\hat{n}_p$ 가 Y 축 방향의 임의의 벡터와 이루는 사잇각 j 가 주향이다. 주향을 구하기 위해, Y 축 방향의 단위 벡터 $\hat{y}$ 와 벡터 $\hat{n}_p$ 사이의 각을 b 라 하면, 이는 내적의 정의에 따라 다음과 같이 구할 수 있다. 즉,

$$b = \cos^{-1}\left(\hat{n}_p \quad \hat{y}\right) \tag{10}$$

그리고 이 각은 주향의 기준이 되는 X 축과 주향선 사이의 각과 같다. 그러나 이렇게 얻은 b 는 벡터 $\hat{n}_p$ 의 위치에 따라서 0 도로부터 180 도까지의 사잇각으로 얻게 된다. 이렇게 얻은 각도와 지질학적인 주향의 표기 사이에는 약간의 차이점이 있다. 즉, 주향은 지질학적인 표기로서 동쪽으로는 최대 N90E(즉, EW)에서 서쪽으로는 N90W까지 얻으므로, 방위각 개념으로는 0 도인 진북을 기준으로 -90 도에서 +90 도까지로 나타내는 것과 같다. 그러나 식 (10)으로 얻는 각 b 는 $\hat{n}_p$ 의 상대적 위치에 따라서 0 도에서 180 도까지의 값으로 주어진다. 또한 코사인을 사용하기 때문에 b 가 음의 방위각과 양의 방위각을 구분하지 못하므로, 방향 또한 판정해야 한다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해, 주향 j 를 식 (10)으로 구한 b 로부터 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$j = \begin{cases} -sign(n_x)\text{柳} & (n_y \quad 0) \\ -sign(n_x)?(b \quad 180?) & (n_y \quad 0) \end{cases} \tag{11}$$

여기서 $\vec{n}_x$, $\vec{n}_y$, $\vec{n}_z$ 등은 각각 법선 벡터 $\vec{n}$ 의 X, Y, Z 축 방향의 성분을 뜻한다. 또한 $sign$ 연산자는 부호를 판정하는 것으로, 해당 변수가 양수일 때 +1, 음수일 때 -1을 낸다. 이 방식을 따르면, 주향 N30E는 +30 도로, N30W는 반대인 -30 도로 계산되며, EW의 경우는 +90 도 혹은 -90 도로 주어진다. 또한 지질학적 표기에서의 S40E와 같은 남쪽 방향 주향은 모두 N40W의 북쪽 방향 주향으로 변환되어 표현된다.

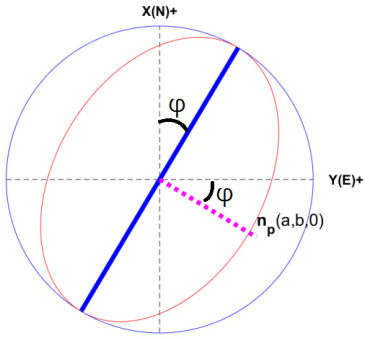


Fig. 3. Relation between strike and normal vector of a geological structural plane.

Fig. 4는 Fig. 2를 주향선과 나란한 방향에서 보았을 때 나타나는 측면도이다. 빨간 선은 주향선과 직교하는 경사선이며, 분홍 선은 평면의 법선 벡터이다. Fig. 4에서 보듯이, 수평면으로부터 기울어진 경사 q 와 단위 법선 벡터 $\hat{n}$과 Z 축 방향의 단위 벡터 $\hat{z}$ 사이의 각 a는 다음과 같이 일정한 관계를 가진다. 즉,

$$q + a = 180 \tag{12}$$

이때 각 a는 법선 벡터와 Z 축 방향의 단위 벡터의 내적으로부터 알아낼 수 있다.

$$a = \cos^{-1}(\hat{n}\ \hat{z}) \tag{13}$$

식 (13)에서도 식 (10)에서와 마찬가지로 방향을 구별할 수 없을 뿐만 아니라, 각도의 범위도 지질학적 경사의 범위와 다르다. 지질학적인 표기로는, 경사의 방향은 주향을 바라보고 섰을 때 기울어진 면이 오른쪽인지 왼쪽인지를 N 또는 S로 구별하게 되어 있으며, 그 경사각도 0도로부터 +90도까지만 주어진다. 이를 해결하기 위해 다음 식과 같은 방식을 택하여 경사 q 를 구한다.

$$q = sign(n_y)(180 - a) \tag{14}$$

이는 앞에서 언급한 것처럼 법선 벡터의 방향이 $\hat{n}_z < 0$인 것을 취했을 때의 계산이다. 만약 $n_z \geq 0$인 법선 벡터를 얻은 경우라면 다음과 같이 계산이 바뀐다.

$$q = sign(n_y)(a) \tag{15}$$

이 방식은 식 (11)로 구한 주향 j 가 북서 ~ 북동 방향 안에서만 주어진다는 것에 착안하여 항상 주향의 오른쪽 면의 경사만을 판정하게 된다. 이때 경사는 -90도로부터 +90도까지 나올 수 있는데, 양의 경사는 주향을 보는 방향에서 오른쪽 면이 내리막으로 기울어지는 경우이고, 음의 경사는 오른쪽 면이 오르막이므로 자연히 주향 방향의 왼쪽 면이 내리막으로 기울어지는 경사가 된다.

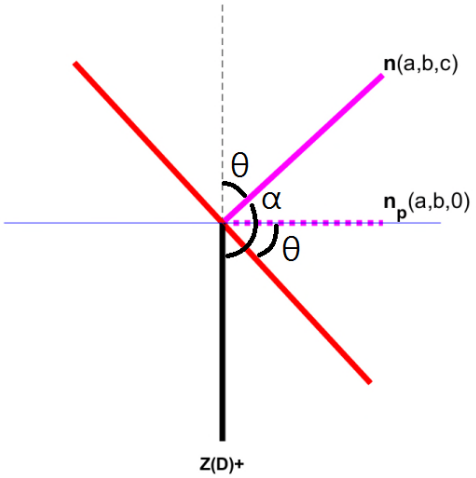


Fig. 4. Relation between dip and normal vector of a geological structural plane.

위와 같이 구한 주향과 경사의 표기는 실제 지질학적 표기와 간단한 관계로써 직관적으로 연결된다. 예를 들어, 지질학적 표기로 주향 N30W, 경사 50N인 지질 구조면은, 진북에서 반시계 방향으로 30도인 북서를 향하는 주향을 가지고, 주향선의 오른쪽인 북동 방향이 아래로 50도만큼 기운다는 뜻이 되며, 여기서의 방식대로 표기하면 주향 -30도, 경사 +50도로 표기된다. 거꾸로 말하면, 여기서의 방식대로 표기된 주향 -30도, 경사 +50도로 표기된 지질 구조면은, 지질학적 표기로는 주향 N30W, 경사 50N 으로 쉽게 변환할 수 있다.

다른 예를 들어, 지질학적 표기로 주향 N30E, 경사 50N인 지질 구조면은 진북에서 시계 방향으로 30도인 북동을 향하는 주향을 가지고, 주향선의 왼쪽인 북서 방향이 아래로 50도만큼 기운다는 뜻이므로, 여기서의 방식대로 표기하면 주향 +30도, 경사 −50도로 표기된다. 마찬가지로, 여기서의 표기법으로 주향 +30도, 경사 −50도인 지질 구조면은, 지질학적 표기로는 주향 N30E, 경사 50N으로 쉽게 변환할 수 있다.

5. 결론

지질 조사에서 주향과 경사를 재기 위해서 지금도 쓰고 있는 나침반이 잘 작동하지 않는, 자성 물질이 있는 장소에서도 작동하는, "두 개의 GNSS 안테나를 써서 지질 구조면의 주향과 경사를 재는 체계"를 제안하였다.

이 체계로 기하학적으로 구한 각도와 지질학에서 쓰는 각도의 정의 사이에는 서로 약간의 차이가 있는데, 이 차이는 적절한 알고리듬을 쓴 조정을 통하여 해소할 수 있다.

REFERENCES

Hawk, M. N. 1962, Chapter 9 Mining and Topographic Problems in Schaum's Outline of Theory and Problems of Descriptive Geometry (New York: McGraw-Hill Book Company). http://www.math.harvard.edu/~knill/history/darstellend/Schaum.pdf

Jeong, C.-H., Kim, J.-R., & Lee, Y.-I. 2016, Geology (Seoul: Bagyeongsa)

MSLC Workshop Series 2017, Calculus II/Calculus III, Planes and Surfaces, https://mslc.osu.edu/sites/mslc.osu.edu/files/Planes%20and%20Surfaces%20Online.pdf, 15/09/2017.

2011년 도호쿠 지진 이후의 한반도 지역별 이동속도 변동추이

손동효*, 박순천, 이원진, 이덕기
기상청 지진화산연구과

Trend of Crustal Deformation Velocities Before and After the 2011 Tohoku Earthquake

Dong-Hyo Sohn*, Sun-Cheon Park, Won-Jin Lee, Duk-Kee Lee
Earthquake and Volcano Research Division, Korea Meteorological Administration

주소 : 07062 서울시 동작구 여의대방로 16 길 61
연락처 : 02-2181-0067 이메일 : dhsohn5@gmail.com

Abstract: 2011년 3월 11일 동일본 도호쿠(Tohoku) 지역에서 발생한 규모 9.1 지진으로 인해 한반도가 동쪽으로 평균 28 mm 이동하였다. 특히, 진앙지와 가까운 독도는 56 mm 이동한 반면, 먼 연평도나 마라도는 10 mm 수준의 움직임을 보였다. 유라시아 지각판 위에 있는 한반도가 동일본대지진으로 인해 지역별 차이가 발생한 것이다. 일본의 경우에는 진앙지 방향으로 미터 수준의 수평이동과 수직하강이 나타났지만 최근 도호쿠 지역의 지반이 다시 올라오고 있는 것으로 나타났다. 이에 이 연구에서는 동일본대지진 발생 당시 나타난 한반도의 동서간 움직임 차이가 이후에 어떻게 변하였는지 분석하였다. 도호쿠 지진이 발생한 2011년 한 해에 대한 지각변동 분석에서 동쪽지역은 80 mm 수준, 서쪽지역은 50 mm 수준의 움직임을 보여 동서지역간 이동속도 차이가 발생하였다. 그러나 이듬해부터 지역별 차이 없이 전체적으로 비슷한 크기의 지각변동 추이를 보였다. 하지만 지각의 진행방향은 진앙지의 거리에 따라 관측소들의 전향각이 10도 정도 차이가 났고 그 영향이 이후의 결과에도 유사하게 나타났다. 전체적인 진행방향은 이전방향과 달리 동쪽으로 15도 정도 전향하였고, 복원각에 대한 안정성은 아직 진행하고 있는 형태를 보였다.

Keywords: GPS, trend, 2011 Tohoku earthquake, crustal deformation velocities

1. 서 론

2011년 3월 11일 14시 46분(현지시간) 발생한 동일본대지진은 일본 동북지방 오시카 반도에서 태평양쪽으로 70km 떨어진 해저에서 규모 9.1로 발생한 거대지진이다. 이것은 세계에서 4번째로 강한 지진으로(USGS 2017), 막대한 규모의 재산손실과 수 만 명의 인명 피해가 발생하였다. 이 뿐만 아니라 지각변동에도 큰 변화가 일어났다. 일본 국토지리원에 의하면 진앙지와 가까운 미야기현의 에노섬 삼각점이 수평방향으로 최대 5.85 m 이동하였고, 아유카마하마의 기준점이 수직으로 최대 1.14 m 침강하였다(GSI 2017a). 이런 큰 규모의 동일본대지진은 한반도의 지각에도 영향을 미쳐 큰 움직임을 야기하였다. 이는 한반도내 GPS 상시관측소 자료처리 결과를 통해 확인되었다. 지진발생 전후 관측자료를 이용한 지각변동속도는 진앙지와 가까운 독도가 56 mm, 먼 지역인 서해안 관측지점들이 10 mm 수준의 움직임이 나타나(Baek et al. 2012, Kim & Bae 2012, Ha et al. 2014), 평균 28 mm의 지표변위가 발생하였다. 이는 한반도의 연평균 지각변동속도와 유사한 값이다(NGII 2007).

최근 일본 국토지리원에 의하면 동일본대지진 당시 동쪽으로 이동하며 내려앉았던 도호쿠 등지의 해안 지반이 다시 올라오고 있어 지역에 따라 적은 곳은 14 cm, 많은 곳은 30 cm 상승하였고, 최대 40 cm 이상 상승한 곳도 있는 것으로 나타났다(GSI 2017b). 수평이동속도도 매해 줄어들어 2017년초 관측자료를 이용한 지각이동속도가 평균 2~6 cm를 보였다.

이에 이 연구에서는 동일본대지진 발생 당시 나타난 한반도의 동서간 이동속도 차이가 이후에 어떻게 변하였는지 분석한다. 이를 위해 국내 GPS 상시관측소 자료를 이용하여 시간 단위별 이동속도를 지점별로 산출하고, 지점별 이동속도의 변동추이와 동서간의 이동속도 차이에 대해 분석한다. 그리고 이를 바탕으로 한반도 지각에 나타나는 복원정도에 대해 해석한다.

2. 관측자료와 방법

국내 GNSS 상시관측망은 여러 기관의 활용목적에 맞게 운영되고 있다. 이 연구에서는 국토지리정보원에서 운영 및 관리되는 GNSS 관측소를 대상으로 각 지점의 자료를 이용하였다. Fig. 1은 대상 관측소의 위치와 동일본대지진의 진앙지로부터 거리를 색상별로 표시한 것이다.

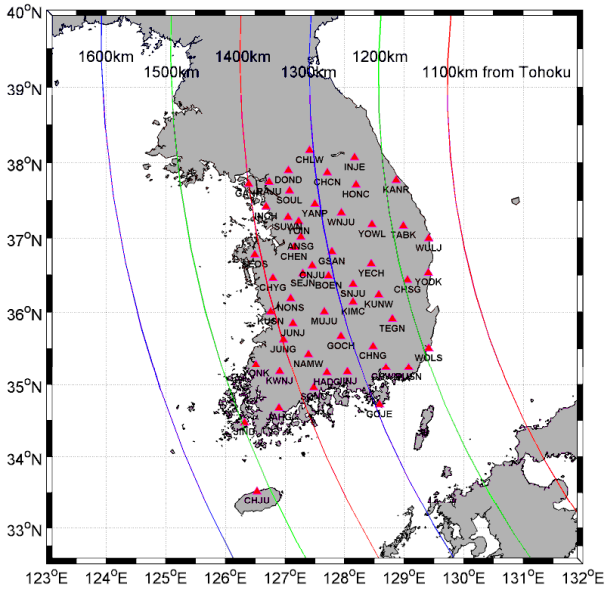


Fig. 1. Location of GPS stations. The colored lines represent the distance from the Tohoku earthquake epicenter.

관측소별 위치는 30초 간격의 1일 자료와 고정밀 자료처리 소프트웨어인 Bernese v5.2를 이용하여 1일 단위의 좌표값으로 계산되었다. 이때 IGb08 좌표계를 기반으로 IGS 정밀궤도력 및 시각정보, 전지구 전리층맵 정보, 안테나 위상중심변동 절대보정모델, FES2004 해양조석 모델 등을 적용하였다. 산출된 지구중심 좌표값은 지진에 의한 수평성분 변위만을 확인하기 위해 관측소 중심의 좌표계로 변환한 후 정규방정식과 선형회귀 방정식을 이용하여 동서 및 남북방향의 성분별 이동속도 값으로 계산되었다.

3. 결 과

3.1 한반도 이동속도 변동추이

대상기간은 2008년부터 2017년까지이고, 1년 단위로 지각의 이동속도 크기와 방향을 산출하였다. 이때 2017년 결과는 2016년 7월부터 2017년 6월까지 자료를 이용하였다. Fig. 2는 모든 관측소들의 연도별 평균 지각변동 속도벡터를 (a)크기와 (b)방향으로 나누어 점으로 표시하였고, 해당 연도의 표준편차값을 수직 오차막대로 표시하였다. 동일본대지진이 발생한 2011년에 큰 변동이 있었음을 알 수 있다. 이후 크기와 방향이 진동하며 안정성을 찾아가고 있는 형태를 보인다. 지각변동 속도의 크기는 지진전후 유사하게 30 mm 수준에 나타났지만, 이동방향은 지진전에 비해 약 15도 정도 동쪽으로 치우쳐 나타났다.

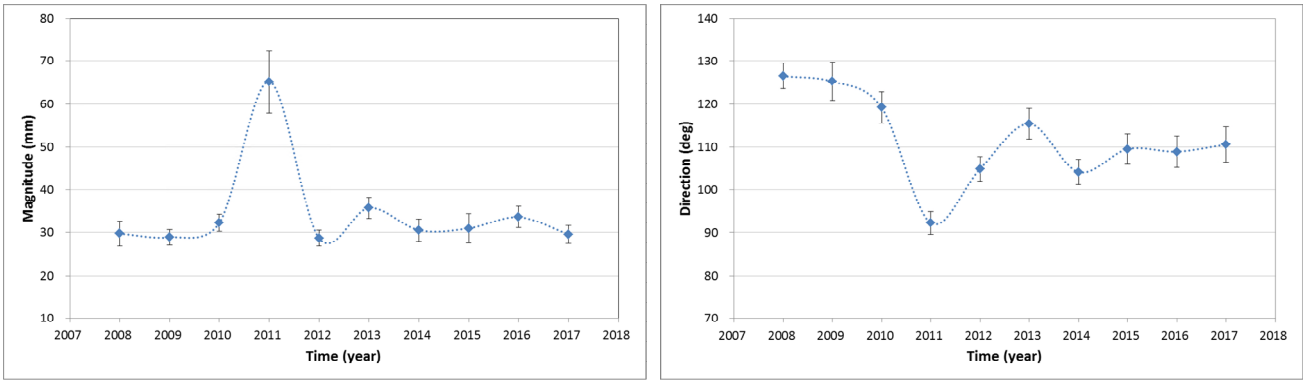


Fig. 2. Crustal deformation annual velocity. (a) Magnitude and (b) direction of velocity vector.

3.2 지역별 이동속도 변동추이

Fig. 3은 연간 이동속도를 관측소별로 도식화한 것이다. 동일본대지진 전에 한반도의 지각이 남동쪽 방향으로 연간 30 mm씩 움직였으나 규모 9.1의 대지진이 발생한 2011년에는 모든 관측소들이 진앙지가 위치한 동쪽 방향으로 평균 60 mm 움직인 것으로 나타났다. 특히 약 1,150 km 떨어져 진앙지와 가까운 울진, 강릉은 80 mm 수준으로 움직였고, 1,550 km 정도 떨어진 제주는 50 mm 정도 움직여 진앙지와의 거리에 따라 차등 이동한 것을 알 수 있다. 이듬해인 2012년에는 지진발생전인 2010년의 이동량에 비해 조금 줄어들었다. 그리고 진앙지와 가까워 큰 변위가 발생한 강원도 및 경상도의 관측소들이나 작은 변위가 나타난 전라도 및 제주도 관측소들의 이동속도 크기가 모두 유사하게 나타났다. 2013년 이후의 지각변동 속도 크기는 모든 관측소에서 30 mm 수준의 움직임을 보여 지역별 차이가 발생하지 않았다.

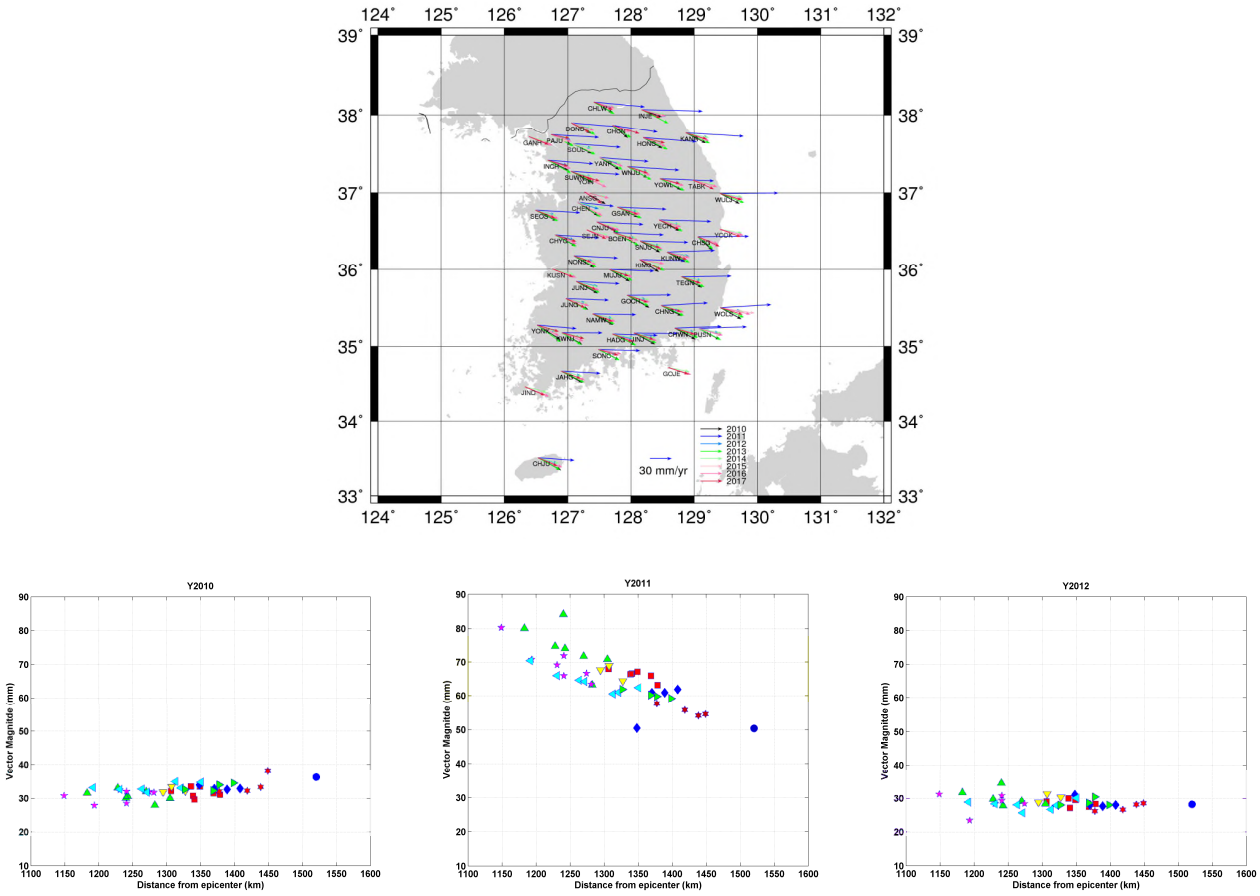


Fig. 3. Annual velocity per stations.

Fig. 4는 진앙지의 거리에 따라 선택한 5곳 관측소의 연도별 지각변동 속도의 크기와 방향에 대해 매년 차이값을 각각 나타낸 것이다. 선택된 5곳은 울진(WULJ), 예천(YECH), 남원(NAMW), 장흥(JAHG), 제주(CHJU) 관측소이다. 이들 관측소들의 속도크기 변화는 앞서 기술한 내용과 같이 2011년 지진에 의해 변위 차이가 거리에 따라 큰 차이를 보이지만, 이후에는 차이가 거의 나타나지 않았다. 방향의 변화는 거리차이에 따라 10도 정도 차이가 나타나고 이후에도 유사하게 나타난다. 그러나 복원각의 크기가 변화각에 비해 작게 나타나고, 2012년 이후에도 작은 변화가 진동형태로 나타났다. 지진 이후의 지각변동 방향은 지진발생전에 비해 15도 정도 동쪽으로 치우친 결과들을 보였다.

동일본대지진에 의해 짧은 시간에 지역별로 이동속도의 차이를 보이며 큰 움직임을 보인 한반도의 지표변위가 이후 지역별 변위 차이 없이 전체적으로 유사하게 나타나 안정성을 보이고 있다. 그리고 진행방향은 지역별로 10도 정도 차이가 나타났고 이후에도 유사한 결과를 보였다. 하지만 복원각의 안정성은 아직 진행하고 있는 형태를 보였다. Kim et al. (2016)은 동일본대지진에 의해 한반도 지각의 이동 방향은 지진 전에 비해 더욱 동쪽 방향으로 변경되었고, 지진 후 2013년까지 post-seismic 지각변위가 약 80% 진행되었다고 기술한 바 있다.

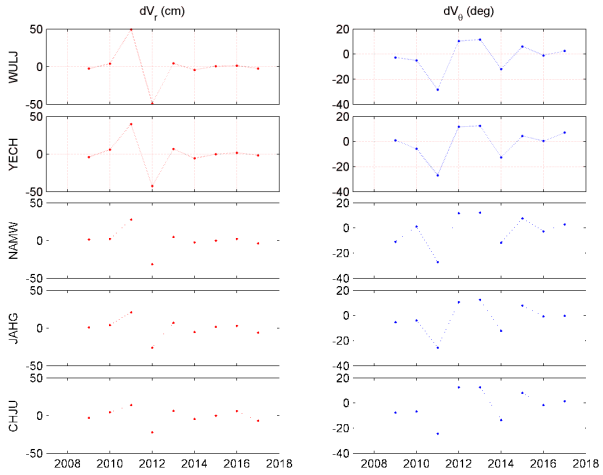


Fig. 4. (Left) Magnitude and (Right) direction of annual velocity for some stations.

4. 결 론

2011년 발생한 동일본대지진은 한반도 지각운동에 큰 영향을 주었다. 이 지진으로 인해 일시적으로 한반도가 동쪽으로 평균 28 mm 이동하였다. 2011년 한 해에 대한 지각변동 분석에서 동쪽지역의 관측소들은 80 mm 수준, 서쪽지역의 관측소들은 50 mm 수준의 움직임을 보여 동서지역간 이동속도 차이가 발생하였다. 그러나 이듬해부터 지역별로 큰 차이 없이 전체적으로 비슷한 지각변동 추이를 보였고, 크기도 지진발생전과 유사하였다. 하지만 이동속도의 크기와 달리 진행방향은 동서지역에 따라 10도 정도 차이가 났고 이후의 결과에도 유사하게 나타났다. 전체적으로 이전의 이동방향에 비해 15도 정도 동쪽으로 전향하였고, 복원각에 대한 안정성은 아직 진행하고 있는 형태를 보였다. 이에 대해 지속적인 장기관측이 이루어져 보다 많은 자료를 이용한 연구가 진행되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 기상청 기상업무지원기술개발연구(NIMS-2016-3100)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

Baek, J., Shin, Y.-H., Na, S.-H., Shestakov, N. V., Park, P.-H., et al. 2012, Coseismic and postseismic crustal deformations of the Korean Peninsula caused by the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake, Japan, from global positioning system data, Terra Nova, 24, 295-300, https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2012.01062.x

GSI 2017a, [Internet], cited 2017 Sep. 4, available from: https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60011.html

GSI 2017b, [Internet], cited 2017 Sep. 8, available from: https://www.gsi.go.jp/kanshi/h23touhoku_6years.html

Ha, J., Park, K.-D., Won, J., & Heo, M. B. 2014, Investigations into co-seismic deformation and strain in South Korea Following the 2011 Tohoku-oki Earthquake using GPS CORS Data, KSCE Journal of Civil Engineering, 18, 634-638.

Kim, D., Park, K.-D., Ha, J., Sohn, D.-H., & Won, J. 2016, Geodetic Analysis of Post-Seismic Crustal Deformations Occurring in South Korea due to the Tohoku-Oki Earthquake, KSCE Journal of Civil Engineering, 20, 2885-2892.

Kim, S.-K. & Bae, T.-S. 2012, Analysis of Crustal Deformation on the Korea Peninsula after the 2011 Tohoku Earthquake, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 30, 87-96.

NGII 2007, A study of the crustal deformation of the Korean Peninsula, No.1-1500714-000054-01, National Geographic Information Institute, Korea, pp.37-94.

USGS 2017, [Internet], cited 2017 Sep. 8, available from: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/largest-world.php

The High- and Low-latitudes Ionospheric Irregularities during the 2015 St. Patrick's Day Storm from GNSS Measurements

Jong-Kyun Chung[1*], Junseok Hong[1,2], Sung-Moon Yoo[1], Jeonghan Kim[3], Geonhwa Jee[3]
[1]Space Geodesy Group, KASI, [2]Department of Astronomy, Space Science and Geology, Chungnam National University, [3]Division of Polar Climate Sciences, KOPRI

Address: Korea Astronomy and Space Science Institute 776, Daedeokdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34055, Korea
Phone : 042-865-3239 Email : jkchung@kasi.re.kr

Abstract: : It is known that GNSS signals propagating through the Earth's ionosphere have rapid variation of their amplitude and phase referred as scintillation which is caused by ionospheric irregularities. The spatial and temporal dynamics of the ionospheric fluctuations depends on space weather conditions. Scintillation dominantly occur in the equatorial ionospheric anomaly (EIA) region and in auroral regions. We report the first results on the study of the high- and low-latitudes ionospheric irregularities measured from Korea Ionospheric Scintillation Sites (KISS) during the period of the 2015 St. Patrick's Day storm. In this paper, we present methodology for GNSS ionospheric irregularities related with ionospheric scintillation. The data for the ionospheric irregularities are collected from Kiruna (geographic: 67.9° N, 21.4° E; geomagnetic: 65.2° N 127.3° W) in Sweden in auroral oval and Chuuk (geographic: 7.5° N, 151.9° E; geomagnetic: 0.5° N 136.0° W) in Micronesia in equatorial region. We used GPS ROTI (Rate of TEC Index) values to study the occurrence of TEC fluctuations. The ROTI is defined as the standard deviation over 5 minutes of the rate of TEC change. The ROTI values are calculated over five minute period with running window for each stations. The ROTI values are generally corresponded to the GNSS signal phase fluctuations. We will discuss a mechanism sources for the occurrences and magnitude of GPS TEC fluctuations during the period of geomagnetic storm events.

Keywords: 2015 St Patrick's day storm, ionospheric irregularities, ROTI

1. INTRODUCTION

It is well known that the radio signals (L1=1.57542 GHz and L2=1.22760 GHz) of Global Positioning System (GPS) propagating through the ionosphere undergo rapid variations of their amplitude and phase referred as scintillations which are caused by ionospheric irregularities (Aarons 1997, Pi et al. 1997, Kintner et al. 2007, Li et al. 2010). The ionospheric irregularities can be observed with GPS Total Electron Content (TEC) fluctuations, which could be hazard in terms of the continuity and availability of GPS performance parameters (Cherniak et al. 2015, Bang et al. 2016). The availability is the percentage of time that the services are usable by the navigator and the continuity is the probability that the GPS performance is maintained for the duration of operation. All satellite navigation systems have their specific requirements for the availability and continuity during their operation phase (Langley 1999). Therefore, the measurements of GPS TEC fluctuations are especially important to monitor the operation performances of satellite navigation systems in the low and high latitudes where severe ionospheric irregularities mainly occur (Skone 2001, Jacobsen & Dähnn 2014, Jacobsen & Andalsvik 2016).

2. MEASUREMENTS

As a part of collaborative efforts to understand the space environments of the Earth and its global dynamical response to geomagnetic and atmospheric disturbances, the Korea Ionospheric Scintillation Sites (KISS) network have been installing. The KISS is the joint work between the Korea Astronomy & Space Science Institute (KASI) and the Korea Polar Research Institute (KOPRI). Table 1 is the GNSS site list of the KISS network. Data from KISS network are sampled every 1 second and 50 Hz. We select two sites of KIRN near auroral oval and CHUK at the magnetic equator which have been operating during the period of the 2015 St. Patrick's Day storm.

The Rate of TEC (ROT) changes of time deviation of TEC is useful for detecting the ionospheric irregularities. ROT is calculated using the algorithm that was proposed by Pi et al. (1997):

$$ROT = \frac{TEC_k^i - TEC_{k-1}^i}{(t_k - t_{k-1})} \quad (1)$$

where i is the measured satellites for the elevation angle of 30° and k is the epoch time. The ROTI Index (ROTI) is calculated:

Table 1. The GNSS site list of the KISS network.

Site	City, Country Geographic Location	Ionospheric Region Geomagnetic location	Target	Agency
CHUK	Chuuk, Micronesia Lat=7.5° N, Lon=151.9° E	EIA Trough Lat=0.5° N, Lon=136.0° E, I=0.7°	Geodesy	KASI
JEJU	JEJU, Korea Lat=33.2° N, Lon=126.7° E	Mid-latitude Lat=23.8° N, Lon=162.3° E, I=48.9°	Geodesy	KASI
DAEJ	Daejeon, Korea Lat=36.4° N, Lon=127.4° E	Mid-latitude Lat=27.1° N, Lon=198.1° E, I=53.0°	Geodesy	KASI
SHND	Sainshand, Mongolia Lat=44.9° N, Lon=110.1° E	Mid-latitude Lat=35.0° N, Lon=182.4° E, I=65.2°	Geodesy	KASI
KIRN	Kiruna, Sweden Lat=67.9° N, Lon=21.4° E	Auroral oval Lat=65.2° N, Lon=127.3° E, I=77.5°	Ionosphere	KOPRI
NYSD	Ny-Ålesund, Norway Lat=78.9° N, Lon=11.9° E	Polar Cap Lat=76.0° N, Lon=115.7° E, I=82.6°	Ionosphere	KOPRI
KSJ2	King Sejong Station, Antarctic Lat=62.2° S, Lon=301.2° E	Weddell Sea Anomaly Lat=52.6° S, Lon=10.6° E, I=-55.6°	Ionosphere	KOPRI
JBG2	Jangbogo Station, Antarctic Lat=74.6° S, Lon=164.2° E	Auroral Oval/Polar Cap Lat=77.0° S, Lon=274.4° E, I=-82.4°	Ionosphere	KASI

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle + \langle ROT \rangle^2} \quad (2)$$

ROTI can be regarded as an effective index of the phase scintillation in the high and low latitudes. We examine the ionospheric irregularities using the ROTI values measured from CHUK and KIRN sites in this paper.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 shows the variation of GPS ROTI from CHUK site which is located at the magnetic equator The same GPS ROTI values from KIRN site is presented in Fig. 2. The great fluctuations of GPS ROTI both two sites are measured during St. Patrick's storm day on 17 March 2015. The GPS ROTI show the higher values in KIRN than that of CHUK.

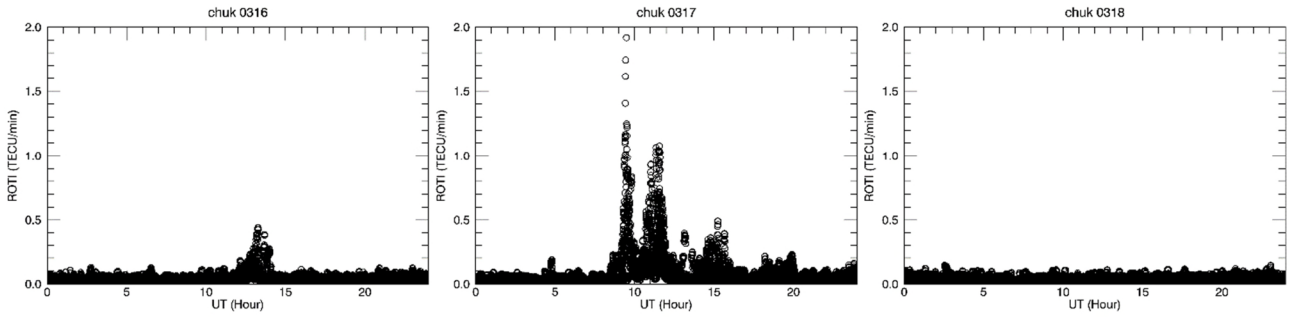


Fig. 1. The GPS ROTI variation at CHUK site at magnetic equator.

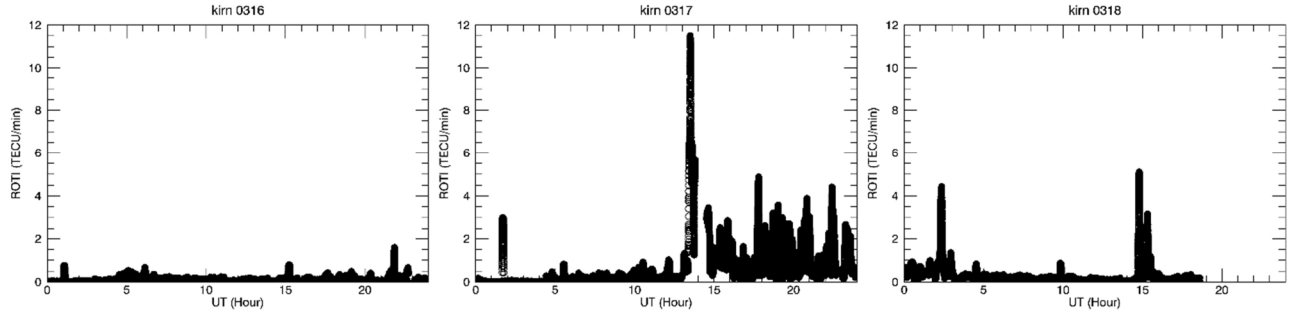


Fig. 2. The GPS ROTI variation at KIRN site near aurora oval.

Ionospheric irregularities frequently occur in the equatorial ionospheric anomaly (EIA) region, which has the largest electron density in the Earth. The intense ionospheric scintillation has been predominantly measured in the EIA crest region, which are located ~15° north and south latitudes of the magnetic equator (Magdaleno et al. 2017). The EIA crests are formed during the daytime when the thermospheric winds generate the eastward dynamo electric field. The electric field, $\vec{E}$ perpendicular to magnetic field, $\vec{B}$ at magnetic equator derives the upward plasma by $\vec{E} \times \vec{B}$ drift, which ensue to fall down along magnetic field lines to higher latitudes by gravity and pressure gradients. The electron density finally has the maximum in two bands with ~15° north and south latitudes called the EIA crests. Their shapes may not be symmetrical in the northern and southern hemisphere due to thermospheric winds. During the nighttime, the enhanced electron density in the EIA crests can be remained depending upon the recombination rate between electrons and neutral components with the altitudes, and the equatorial ionospheric bubbles of plasma depletion can occur after sunset. When the bubbles, which are initiated in the magnetic equator, move to the EIA crests, they can produce the intense ionospheric irregularities in the EIA crests with the high electron density. As a result, the high GPS ROTI of CHUK site values can be measured in the EIA crest at nighttime.

In polar region, ionospheric irregularities have been often measured in the polar cap and the boundary of the auroral oval (Cherniak et al. 2015). The polar cap patches with the horizontal size from 100 to 1000 km are the localized enhancement electron densities with 2-20 times larger than background F-region ionosphere (Kintner et al. 2007). These patches are known to be generated at the dayside cusp region, and then rapidly move with the polar background plasma convection velocity of ~500 m/s toward midnight. The ionospheric irregularities associated with the polar cap patches can also cause high GPS ROTI values due to their steep gradients of electron densities. In addition to polar cap patches in high latitudes, the enhanced GPS ROTI values can be measured by the electron precipitation with the energies from eV to tens of keV along the geomagnetic field. The high ROTI values at KIRN site are considered by the electron precipitation because this site is located at auroral region.

4. CONCLUSIONS

In this paper, the St. Patrick's Day storm on 17-18 March 2015 is examined to evaluate the first results from the Korea Ionospheric Scintillation Sites (KISS) network, which is the collaborative effort between Korea Astronomy & Space Science Institute (KASI) and Korea Polar Research Institute (KOPRI) to understand the ionospheric irregularities and their affection on GPS radio signals. The great fluctuations of GPS ROTI both CHUK and KIRN sites are measured during St. Patrick's storm day on 17 March 2015. The GPS ROTI show the higher values in KIRN near auroral region than that of CHUK at magnetic equator. The equatorial ionospheric anomaly is considered as the main source of GPS ROTI variation from CHUK site, and electron precipitations may cause the fluctuations of GPS ROTI from KIRN near auroral oval.
Ionospheric irregularities show daily variabilities depending upon local time, season, solar and geomagnetic activities. In further works, we will work the climatology of GPS ROTI using long-term GPS measurements, and then will examine the affection on the GPS positioning.

REFERENCES

Aarons, J. 1997, Global positioning system phase fluctuations at auroral latitudes, JGR, 102, 17219-17231. https://doi.org/10.1029/97JA01118

Bang, E., Lee, J., Walter, T., & Lee, J. 2016, Preliminary availability assessment to support single-frequency SBAS development in the Korean region, GPS Solut., 20, 299-312. https://doi.org/10.1007/s10291-016-0522-4

Cherniak, I., Zakharenkova, I., & Redmon, R. J. 2015, Dynamics of the high-latitude ionospheric irregularities during the 17 March 2015 St. Patrick's Day storm: Ground-based GPS measurements, Space Weather, 13, 585-597. https://doi.org/10.1002/2015SW001237

Jacobsen, K. S. & Andalsvik, Y. L. 2016, Overview of the 2015 St. Patrick's day storm and its consequences for RTK and PPP positioning in Norway, J. Space Weather Space Clim., 6, A9. https://doi.org/10.1051/swsc/2016004

Jacobsen, K. S. & Dähnn, M. 2014, Statistics of ionospheric disturbances and their correlation with GNSS positioning errors at high latitudes, J. Space Weather Space Clim., 3, A27. https://doi.org/10.1051/swsc/2014024

Kintner, P. M., Ledvina, B. M., & de Paula, E. R. 2007, GPS and ionospheric scintillation, Space Weather, 5, S09003. https://doi.org/10.1029/2006SW000260

Li, G., Ning, B., Ren, Z, & Hu, L. 2010, Statistics of GPS ionospheric scintillation and irregularities over polar regions at solar minimum, GPS Solut., 14, 331-341. https://doi.org/10.1007/s10291-009-0156-x

Magdaleno, S., Herraiz, M., Altadill, D., & de la Morena, B. A. 2017, Climatology characterization of equatorial plasma bubbles using GPS data, SWSC, 7, A3. https://doi.org/10.1051/swsc/2016039

Pi, X., Mannucci, A. J., Lindqwister, U. J., & Ho, C. M. 1997, Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network, GRL, 24, 2283-2286. https://doi.org/10.1029/97GL02273

Skone, S. H. 2001, The impact of magnetic storms on GPS receiver performance, J. of Geod., 75, 457-468. https://doi.org/10.1007/s001900100198

위도별/계절별/태양 활동기별 전리층 경향 분석 및 지진에 의한 전리층 교란 검출 기법 연구

강선호, 송준솔, 김오종, 기창돈*
서울대학교 기계항공공학부 및 정밀기계설계공동연구소

Analysis on Ionospheric Trend by Latitude/Season/Solar activity and Ionospheric Disturbances Detection Method

Seonho Kang, Junesol Song, Ojong Kim, Changdon Kee*
Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Institute of Advanced Machines and Design

주소 : 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 기계항공공학부
연락처 : 02-880-1912 이메일 : kee@snu.ac.kr

Abstract: 전리층의 Total Electron Content (TEC)는 지표면에서 전파된 충격파에 의해 교란된다고 알려져 있으며, GNSS로 추정된 TEC를 활용하면 지진 및 쓰나미의 전 지구적인 감시가 가능하다. 1995년 미국 노스리지에서 지진에 의한 전리층 TEC 교란이 처음 발견된 이후, 2004년 수마트라 대지진, 2011년 일본 도호쿠 대지진 등 다양한 지진에 의한 전리층 교란 연구가 이루어지고 있다. 전리층의 TEC는 태양활동, 지구 자기장, 위도, 계절, 시간 등 다양한 요인에 의해 영향을 받으므로, 지진과 같은 이상상황을 구분하기 위해서는 정상상황에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 지진에 의한 전리층 교란 기초연구로, IONEX 및 RINEX 데이터를 활용해 정상상황에서의 전리층 후처리 지연 값을 분석해보았다. RINEX 데이터의 경우, L1, L2 주파수에 대한 carrier phase 측정치를 차분하여 경사 전리층 지연값을 계산하였다. IONEX 데이터로 얻은 전리층 지연 값을 이용하여 태양 극대기 및 극소기, 위도, 계절 등에 의한 전리층의 변화 양상을 비교하였으며, 이를 1차, 2차, 3차 미분하여 비교한 결과 2차 및 3차 미분한 전리층 수직지연에 대해 정상상황 시의 경향성이 사라지는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 이상상황에 대한 감시값을 제시한다. 또한 앞서 분석한 정상상황 전리층 변화 특성을 활용하여, 이상상황을 검출할 수 있는 기준값(threshold) 설계 방법을 소개하고 제시하였다. 도출된 감시값 및 기준값에 대해 오경보율(false alarm rate)을 분석하였으며, 2011 도호쿠 지진 당시의 일본 및 한국의 기준국 데이터를 이용하여 전리층 이상상황 검출을 확인하였다.

Keywords: earthquake, tsunami, ionospheric disturbances, tec

1. 서론

GNSS 위성으로부터 얻은 측정치 내에는 궤도오차, 시계오차, 전리층 오차, 대류층 오차, 멀티패스 오차, 사이클슬립 등 다양한 종류의 오차가 포함되어 있다. 이중 전리층 오차는 대기가 X선, 자외선에 의해 플라즈마 상태를 이룬 영역에서 높은 전자밀도로 인한 신호의 굴절률 변화로 발생한다. 전리층 오차는 신호가 통과하는 경로상의 총 전자량(TEC)에 비례하므로, 전리층 지연 값을 이용하면 역으로 전리층의 전자밀도에 대한 추정이 가능하다.

1995년 노스리지 지진 당시, GNSS 신호를 이용해 얻은 TEC를 통해 지진에 의해 이상신호가 처음으로 관찰되었다 (Calais & Minster 1995). 지각에서 발생한 충격파는 지표면 이외에도 대기와의 coupling을 통해 전리층까지 전달되며, 고도에 따른 대기밀도 감소로 파동이 증폭되어 전리층에서의 전자밀도 분포에 교란을 발생시킨다. 규모 6.5 이상의 지진에 대해서는 GNSS 신호를 이용한 교란 검출이 가능하다고 알려져 있다 (Perevalova et al. 2014).

본 논문에서는 GPS 신호를 이용하여 이상상황을 검출하기에 앞서 IONosphere map Exchange (IONEX) 및 RINEX 데이터를 이용하여 정상상황에서의 전리층 특성을 파악하였다. 이후 기준값 및 감시값을 설정하여, 2011 도호쿠 지진에 대한 이상상황을 검출하고 오경보율에 대한 분석을 수행하였다.

2. IONEX 데이터를 이용한 정상상황 전리층 지연 분석

The International GNSS Service (IGS)에서는 일정한 격자점에 대한 2시간 간격 Vertical TEC (VTEC) 값을 IONEX 형식으로 제공하며, 이를 보간하면 특정 시간의 위도 및 경도에서 전리층 VTEC 및 수직 전리층 지연을 추정할 수 있다. Bias 성분을 제외한 경사 전리층 지연은 Eq. (1)을 통해 구할 수 있다.

$$\mathrm{STEC} = \left(\frac{f_1}{40.3}\right) \times \mathrm{I}_1 \qquad (1)$$

STEC는 GNSS 신호의 경로상 slant total electron content (STEC, unit: el/m^2)를 의미하며, f_1 및 I_1 은 L1 신호의 주파수(Hz) 및 전리층 지연(meter)을 나타낸다. IONEX 데이터의 경우 VTEC를 제공하므로, Eq (1)을 통해 수직 전리층 지연을 얻게 된다. 본 논문에서는 2시간 간격 IONEX 데이터를 1시간 간격으로 보간하여 사용하였으며, 정상상황에서의 전리층 분포를 알아보기 위해 다양한 환경에 대한 수직 전리층 지연을 계산하였다. 태양 활동기는 2001년 극대기와 2008년 극소기를 분석하였고, 각각의 태양 활동기에 대해 춘분, 하지, 추분, 동지 4절기 비교 및 적도, 저위도 중위도, 고위도 지역 기준국 위치에서의 수직 전리층 지연을 구하였다.

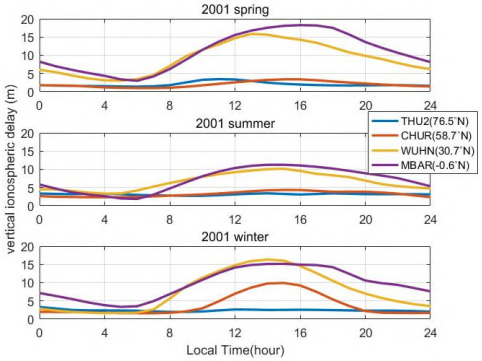


Fig. 1. 2001년(극대기) 수직 전리층 지연.

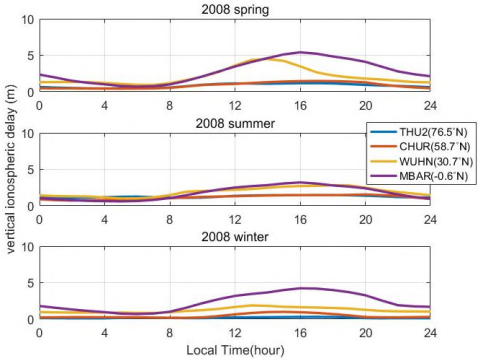


Fig. 2. 2008년(극소기) 수직 전리층 지연.

Fig. 1 태양 극대기의 수진 전리층 지연 값이 최대 20m 수준인데 비해 Fig. 2 태양 극소기기의 경우는 5m 수준을 보여 최대 약 4배의 차이를 보이고 있다. 위도상으로는 고위도로 갈수록 태양의 영향을 적게 받아 Local time에 따른 전리층 지연 변화가 감소하였다. 하루 중에는 Local time으로 12-16시 사이에 가장 큰 지연 값을 보였고 저위도로 갈수록 최댓값이 발생하는 Local time이 늦춰지는 경향을 보였다. 계절적으로는 봄의 전리층 지연이 여름, 겨울의 전리층 지연보다 높게 나타나는데, 이것은 equinox에서 O/N_2의 비율이 최대가 되는 semi-annual variation에 의한 것이라고 알려져 있다 (Titheridge 1974).

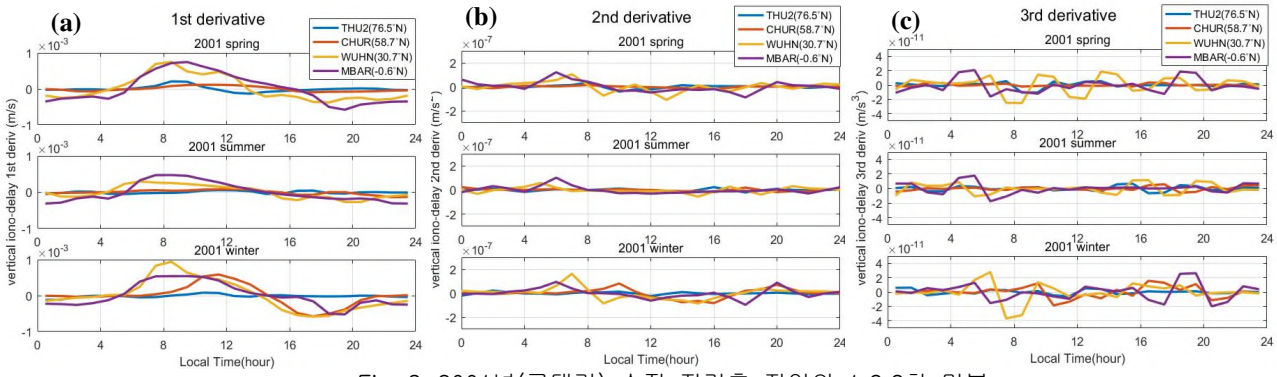


Fig. 3. 2001년(극대기) 수직 전리층 지연의 1,2,3차 미분.

Fig. 3a,b,c는 각각 극대기인 2001년에 대한 수직 전리층 지연의 1,2,3차 미분 값을 나타낸 것이다. Carrier phase의 경사 전리층 지연의 잡음 수준이 최대 3mm 수준인 것은 감안했을 때, 1차 미분의 결과는 1mm/sec수준으로 아직 Local time에 의한 전리층 지연 변화 경향성을 가지고 있다. 반면 2,3차 미분의 경우 scale이 1e-4mm/sec^2, 1e-8mm/sec^3 수준으로 감소하여 경향성이 사라졌다고 판단할 수 있다. 차분을 거듭할수록 잡음이 증가하므로, 2차미분을 통해 경향성이 사라졌다면 3차미분보다 2차미분값을 쓰는 것이 합당하다. 따라서 이상상황에 대한 감시값으로는 2차미분값 또는 Highpass filtering을 거쳐 경향성이 제거된 1차미분값이 적절하다고 판단할 수 있다.

3. RINEX 데이터를 이용한 2011 도호쿠 지진 이상상황 검출

3.1 Carrier phase를 이용한 경사 전리층 지연 추정 및 Noise modeling

전리층 지연은 신호의 주파수 제곱에 반비례한다. 따라서 서로 다른 주파수 L1, L2 Carrier phase를 이용하면 경사 전리층을 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned}\phi_1 &= d + B - b - I_1 + T + \lambda_1 N_1 + \epsilon_1 \\ \phi_2 &= d + B - b - \gamma I_1 + T + \lambda_2 N_2 + \epsilon_2\end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\phi_1 - \phi_2}{\gamma - 1} = I_1 + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{\gamma - 1} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\gamma - 1} \quad (3)$$

Eq. (3)은 Carrier phase의 전리층 조합으로, Eq. (2)의 ϕ_1과 ϕ_2를 차분하여 $(\gamma - 1)$로 나는 값이다. ϕ_1과 ϕ_2는 각각 L1, L2 carrier phase, I_1은 L1 carrier phase의 전리층 지연, γ 는 L1, L2 주파수 제곱의 비 $(f_1/f_2)^2$, ϵ_1과 ϵ_2는 각각 L1, L2 carrier phase의 잡음을 나타낸다. Eq. (3)에서 L1, L2의 미지정수에 해당하는 N_1, N_2가 포함된 우항의 두번째 성분은 상수 bias로, 차분하면 0이 된다. 따라서 전리층 조합의 미분값을 이용하면 I_1 및 noise의 미분값만을 추출할 수 있다.

이상 상황에 대한 검출을 위해서는 정상상황에서 carrier phase의 잡음수준을 modeling할 필요가 있다. 잡음수준은 수신기에서 바라본 GNSS 위성의 앙각(elevation angle)과 관련이 있으므로, 데이터를 수집하여 carrier phase L1, L2 신호의 앙각에 따른 잡음 modeling을 수행하였다. 데이터는 2017년 9월 10일 수원 기지국(SUWN)의 1초 간격 24시간 데이터를 이용하였으며, 수신기의 종류는 Trimble NetR9이다.

3.2 기준값 설계 및 도호쿠 지진 이상상황 검출

지진에 의해 전리층이 교란되면 GNSS 신호를 통해 추정한 전리층 TEC 값도 교란되게 되며, 진앙에 가까울수록 더 큰 교란이 나타난다. 따라서 threshold를 설정하여 앞서 modeling한 잡음 수준을 일정 이상 벗어나면 이상상황이 발생했다고 판단할 수 있다. 그러나 threshold를 높게 설정하면 이상상황에 대한 검출성능이 떨어지고, 낮게 설정하면 오경보율이 올라가는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 지진에 의한 전리층 교란이 일정기간동안 유지된다는 특성을 이용하여, 이상상황에 대한 검출성능을 유지하면서 오경보율을 낮추는 방안을 연구하였다. 즉, 일정 크기의 window를 통해, 처음 threshold를 넘은 시간으로부터 window 안에 N번 이상의 threshold를 넘는 것을 기준값으로 설정하기로 한다. 지진의 경우, 하나의 교란파동 peak는 15분의 duration을 가지고 있다 (Park et al. 2014). 따라서 Window size는 15분으로 설정한다. 30초 RINEX의 데이터의 경우 15분은 30개의 sample이므로, threshold를 3sigma로 설정한다면 N=n일 때의 오경보율은 Eq. (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\mathrm{P}_{FA} = {}_{30}\mathrm{C}_n (1 - p_{3\sigma})^n (p_{3\sigma})^{30-n} \quad (4)$$

$\mathbf{P}_{FA}$는 False alarm 확률을 의미하며, $p_{3\sigma}$는 측정치의 3sigma 확률로 0.9973이다. 이를 통해 N=1~5일 때의 $\mathbf{P}_{FA}$를 계산해보면 Table 1과 같다.

Table 1. N값 설정에 따른 false alarm.

N	1	2	3	4	5
$\mathbf{P}_{FA}$	7.49e-2	2.9e-3	7.43e-5	1.36e-6	1.91e-8

본 논문에서는 False alarm rate을 1e-5 이하 수준으로 만족시키기 위해 N=4로 설정하였다. 이는 30초 데이터를 기준으로 255일에 한번 오경보율이 발생하는 수준이다.

설계한 기준값을 바탕으로 2011 도호쿠 지진에 대한 이상 현상 검출을 수행하였다. 일본 기준국은 IGS 30초 데이터를, 한국 기준국은 국토지리정보원에서 제공하는 30초 데이터를 이용하였다. Fig. 4의 데이터는 iono-free carrier phase를 이용하여 cycle slip을 제거하고, carrier phase를 앞서 모델링을 거친 앙각에 따른 carrier phase 1sigma로 나눈 normalization 결과이다. 위성은 도호쿠 지진 당시 위성의 pierce-point가 진원지 근처를 지났던 PRN26번을 이용하였다. 1차미분의 Highpass filter의 cutoff

frequency의 경우, IONEX 데이터 분석을 통해 하루를 주기로 변하는 충분히 작은 주파수 특성을 확인하였으므로 1mHz를 사용하였다. 이는 30초 데이터 최대주파수의 6% 수준이다.

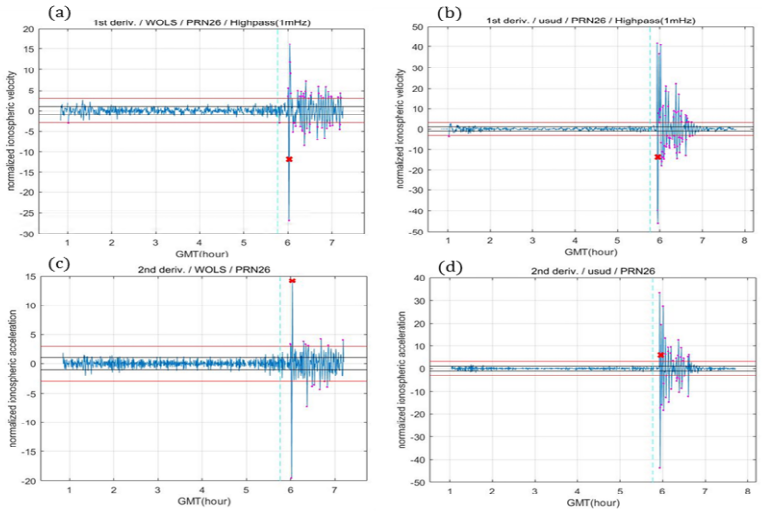


Fig. 4. 울산(WOLS) 기준국 및 일본 usud 기준국에서의 전리층 교란 검출.

Fig. 4에서 Magenta dot은 3sigma를 넘어간 측정치, vertical cyan dash line은 지진이 일어난 시점, black&red horizontal line은 각각 1sigma 및 3sigma, red X mark는 기준값에 의해 교란이 검출된 시점을 나타낸다. GMT 1hr 부근의 저앙각 부분을 보면 3sigma를 넘는 측정치가 있으나, 본 논문에서 설계한 기준값에 의해 False alarm이 일어나지 않았음을 확인할 수 있다. 진앙지에서 가까운 usud의 측정값이 울산(WOLS) 기준국보다 더 큰 교란값을 보이고 있다. 2차미분값을 활용하면 추가적인 Highpass filtering이 필요 없지만, 1차미분값의 잡음 수준이 더 작으므로 상호 보완적으로 사용할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 정상상황에서의 전리층 변화 특성을 알아보기 위해 IONEX 데이터의 위도별, 계절별, 태양 활동기별 전리층 특성을 분석하고, 이를 통해 얻은 특성을 바탕으로 이상상황의 감시값 및 기준값을 설계해 오경보율을 계산해보았다. 전리층 지연 값을 2번 이상 미분할 때 경향성이 사라지는 것을 확인하였고, 이를 통해 detrend된 1차 미분값의 값과 2차 미분 값을 이상상황의 감시값으로 설정하였다. 또한 복수의 threshold 초과 기준을 기준값으로 설정하여 1.36e-6 수준의 오경보율을 얻을 수 있었다. 이를 2011 도호쿠 지진 실측데이터에 적용하였을 때 지진에 의한 교란을 검출하고 저앙각에서 발생한 False alarm을 없앨 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 항공우주신기술연구소를 통해 계약된 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-우주핵심기술개발사업 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017M1A3A3A02016230).

REFERENCES

Calais, E. & Minster, J. B. 1995, GPS detection of ionospheric perturbations following the January 17, 1994, Northridge earthquake, Geophysical Research Letters, 22, 1045-1048.

Park, J., Grejner-Brzezinska, D. A., Frese, R. R., & Morton, Y. J. 2014, GPS Discrimination of Traveling Ionospheric Disturbances from Underground Nuclear Explosions and Earthquakes, Navigation, 61, 125-134.

Perevalova, N. P., Sankov, V. A., Astafyeva, E. I., & Zhupityaeva, A. S. 2014, Threshold magnitude for ionospheric TEC response to earthquakes, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 108, 77-90.

Titheridge, J. E. 1974, Changes in atmospheric composition inferred from ionospheric production rates. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 36, 1249-1257.



[C7] 측량과 공간정보 응용

소형무인기 기반 2D정사배치를 위한 영상데이터 획득 기법연구

정진호, 박용희, 박성현, 손형준
두시텍

A Study on Image Data Acquisition Method for sUAV Base 2D Mapper Layout

Jin-Ho Jeong, Yong-Hoi Park, Sung-Hyun Park, Hyung-June Son
DusiTech co., Ltd.

주소 : 대전 유성구 테크노 10 로 44-15(탑립동)
연락처 : 042-280-1400 이메일 jjh@dusi.co.kr

Abstract: 최근 소형무인기 시장의 급성장으로 무인기 영상데이터를 이용한 소프트웨어처리가 공간정보산업에 빠르게 적용되고 획득 영상은 2D/3D 지도제작(Mapping)과, 영상측량 등에 주로 활용 되고 있다. 그러나 무인기를 이용한 영상과 데이터 활용은 대부분 항법정보 기반으로 전용 소프트웨어에 의존하고 있어 무인기 GPS/IMU(위치/자세)정보가 소프트웨어 처리에 중대한 영향을 미치고 있다. 특히 무인기 센서정보 또는 영상 정밀도가 떨어지는 경우 낮은 품질과 위치오차가 크게 발생하는 문제가 발생하고 센서데이터와 같이 정사처리가 되지 않을 경우 정확한 위치보정 검증이 어려운 상황이다. 현재 공간정보산업에 활용되는 2D/3D 정사영상처리는 대부분 Pix4D mapper와 같은 전문 소프트웨어에 의존하고 있으며 다수 측지점 오차보정에 따라 정확도가 크게 좌우되고 있다. 지금의 무인기 운영시스템은 대부분 부정확한 GPS/IMU 데이터를 갖고 소프트웨어 후처리 보정으로 지도제작을 하고 있으며 부정확한 영상과 위치 정보 원인으로 장시간 소프트웨어 처리시간이 소요되는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제 해결을 위해서 무인기 비행체 센서오차, GNSS위치오차, 비행가속 위치오차, 고도오차, 지자기 센서오차, 비행제어오차, 짐벌 제어오차, 영상셔터오차의 최적화 기술은 꾸준히 제기되고 있다. 모든 오차 제거는 어려운 겠지만 물리적 최적 오차보정을 기반으로 영상데이터 소프트웨어가 병행되면 빠른 정사처리가 가능하다. 본 연구는 무인기 비행체의 위치결정 오류 최적화 검증에 필요한 영상데이터 Map matching 알고리즘과 준실시간 2D정사배치 위치검증 소프트웨어를 개발하고자 한다. 특히 무인기 항법정보와 영상데이터 배치결정 알고리즘은 Map matching 알고리즘을 결정하고 결정 기준점 Grid에 2D정사배치 할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 무인기 획득 영상의 위치, 각도 배치의 오차검증과 2D정사배치 기법을 연구한다.

Keywords: mapping, sUAV, complex navigation, mapper layout

1. 서 론

공간정보는 지상·지하·수상·수중 등 공간상에 존재하는 자연적 또는 인공적인 객체에 대한 위치정보 및 이와 관련된 공간적 인지 및 의사결정에 필요한 정보(「국가공간정보기본법」 제2조 제1항 및 「국토지리정보원 공간정보 표준화지침」 제2조 제1항)로 공간에 존재하는 자연적, 인공적인 물체에 대한 위치정보 및 속성정보의 서비스시장이다(Jeong 2017).

공간정보 구축기술의 발전과 함께 공간정보취득 및 활용의 범위는 갈수록 확대되고 있으며, 특히 3차원 국토공간정보 분야는 항공사진측량 기술의 발전과 함께 급속하게 성장하고 있다. 기존 위성 영상과 항공사진 래스터 데이터 등은 넓은 범위를 제공한다는 장점이 있지만, 소규모 특정지역만을 반복 촬영할 수 없다는 단점과 더불어 공간해상도는 주로 11cm~1m급 영상으로서 객체 판독에 한계가 있고 이를 극복하기 위한 각종 신기술이 개발되면서 공간정보 구축의 패러다임이 빠르게 변화하고 있다 (Kim 2013). 최근 국내에서도 위성과 항공에서 제공되지 못하던 5cm급 고해상도 영상을 무인기를 이용 편리하게 취득 할 수 있다는 장점이 있기 때문에 다양한 분야에서 기술개발이 진행되고 있다. 또한 급변하는 공간정보 수요 증가와 신속하고 높은 수준의 데이터 갱신이 요구되고 있고 적조, 녹조와 같은 지구온난화등 환경 GIS분야에서도 빠른 데이터 구축을 요구 하고 있다. 그러나 빠른 데이터 처리는 무인기 자체 센서오류제거의 한계로 획득 데이터의 빠른 정밀 배치는 많은 연구가 필요하다.

본 연구는 센서오류 최적화 단계에서 필요한 영상데이터를 가상 Map matching기법 알고리즘으로 준실시간 2D정사배치 가능한 소프트웨어를 개발하고 항공표적 기준의 정사배치 데이터를 통해 센서오류 문제를 단계적으로 개선할 수 있는 방안을 찾는데 우선 활용하고자 한다. 특히 항법정보 기반으로 영상데이터 자동배치 알고리즘과 준실시간 2D정사배치검증으로 2D정사영상 고속처리 기반을 마련하고자 한다.

2. 2D 정사배치 소프트웨어 개발

2.1 2D 정사배치 소프트웨어 개발의 필요성

무인비행기 개발에 있어 위성항법(GNSS), 관성센서는 자동비행에서 매우 중요하게 활용되고 있다. 그러나 무인기는 GNSS, 관성항법 이외 비행가속오차, 고도오차, 지자기오차, 비행제어오차, 짐벌제어오차, 영상셔터오차 요인 등으로 비행중 지상데이터의 정확한 위치정보 획득은 어렵기 때문에 실시간 처리를 위해서는 물리적 환경 최적화를 통한 소프트웨어 처리가 필요하다. 또한 실시간 처리는 빅데이터와 통신요인으로 실시간 정사배치가 어렵기 때문에 준 실시간 처리가 불가피하다. 준실시간 정사처리는 소프트웨어 후처리 의존보다 무인기 오차요인 최적화가 우선 필요하고 획득된 영상의 2D정사배치를 통해 보정 알고리즘이 꾸준히 개선될 경우 1m이내 정확도가 보장되는 2D정사배치가 가능할 것으로 예측된다. 하지만 무인기의 이동중 위성항법수신기와 관성항법 오차 검증이 어렵고 이동중 GPS 위치좌표 의존하는 영상처리는 수십 m 이상 큰 위치오차 발생이 예상되고 복합적인 지자기, 자세, 속도등 누적오차 요인으로 측지점 보정이 어려운 해상, 산림, 농사등의 GIS구축이 현실적으로 어려운 상황이다. 또한 소형무인기는 저가 항법정보를 통해 위치결정이 이루어지고 있어 물리적 오차제거가 우선되어야 한다.

이러한 물리적 오차요인을 빠르게 검증 가능한 가상 표적 Map matching기법 알고리즘으로 각각의 오차요인을 예측하고 획득된 영상의 준실시간 2D정사배치를 통해 정확도 검증이 가능한 소프트웨어 개발이 우선 필요하다.

2.2 2D 정사배치 소프트웨어 설계조건

물리적 오차요인을 검증하기 위한 가상 표적 Map matching 알고리즘 기법을 구현하기 위해 데이터 처리, 데이터 분석, 사용자 Grid Map GUI 항목으로 설계하고자 한다. 무인기 수집 데이터 처리는 정확도 향상을 위해 원시데이터 기반으로 벡터 위치정보 처리를 수행한다. 데이터 분석은 원시데이터 Image converting을 통해 알고리즘 배치 좌표 결정에 의해 사용자 Grid Map GUI에 2D정사배치되며 분석된 영상의 표출과 후처리 데이터는 위치정확도 항법좌표를 산출하는 구조를 갖는다.

소프트웨어 아키텍처는 여러개의 Function으로 구성되며 이미지에 Tagging된 EXIF(위치데이터)를 계산하고 처리 EXIF Function부와 영상에 포함된 Latitude(위도), Longitude(경도), Altitude(고도)정보를 기반으로 2D Pixel로 Converting 할 수 있도록 LLH to PIXEL Function처리와 이미지 Heading 정보를 기반으로 방향을 결정하여 물리적 배치좌표를 통해 2D정사배치를 하였다. 특히 영상의 Heading 정보를 기반으로 진북 방향 이미지 Rotate 처리루틴을 위한 Rotate Function이 구현되었다.

소프트웨어는 순차처리 다이어그램의 이미지 정보를 취합하여 한 개의 이미지를 만들 수 있도록 Image Processing Function을 두었고 2D정사배치 취합 이미지를 저장하는 구조로 처리하였다.

영상처리 와 센서데이터 처리는 각각 루틴을 가지고 정사 이미지 위치데이터 분석부와 영상데이터 이미지 분석부로 구성하였고 위치데이터 분석부는 무인기 영상촬영 정보와 위성항법 및 자세정보 분석구조를 갖고 있고 센서데이터 데이터 주로 열화상(IR) 데이터 분석부로 데이터 이미지변환 분석구조를 갖고 동일구조로 변환하여 두 모듈과 결과데이터를 통합 2D정사배치가 이루어지도록 설계하였다.

2.3 2D정사배치 알고리즘 구현

무인기를 이용한 영상/센서데이터는 Pixel 벡터이미지 패턴을 이용한 파노라마 사진배치 방식이 적용하기 어려운 구조이다. 무인기의 획득 정보는 Grid Map matching 배치를 위해 위/경도 및 고도, Heading을 이용하여 이미지 배치후 정사처리 소프트웨어 의존하는 것이 일반적이다. 그러나 준 실시간 Grid Map matching은 데이터 오차가 클수록 정사배치로 검증할 수 없다. 무인기의 물리적 최적화와 함께 획득된 데이터를 기반으로 정사배치 알고리즘 처리는 고도에 따른 Boundary 계산, 거리=고도x기울기 값에 중심(ECEF 36.000, 127.000)값으로 피타고라스의 정리 및 삼각 계산법으로 데이터 획득 사각정보의 네점 ENU를 산출하고 ENU to ECEF 값을 ECEF to LLH Convert 하고 GPS Data를 이용한 이미지 정사배치과정을 수행하면 처리가 가능하다. 정사배치를 위해서 Image와 Image 중심좌표 계산은 픽셀의 위경도 산출알고리즘을 Fig. 1과 같이 지심도위 산출, 극반지름 산출 하였고 관측지의 고도가 아닌 곳에서 지심거리 계산, 자전축과 관측지의 거리와 적도면 관측지 거리 산출, 피타고라스의 정리와 삼각법에 의한 관측지의 지심거리, 위도 산출 알고리즘을 수행 하였다.

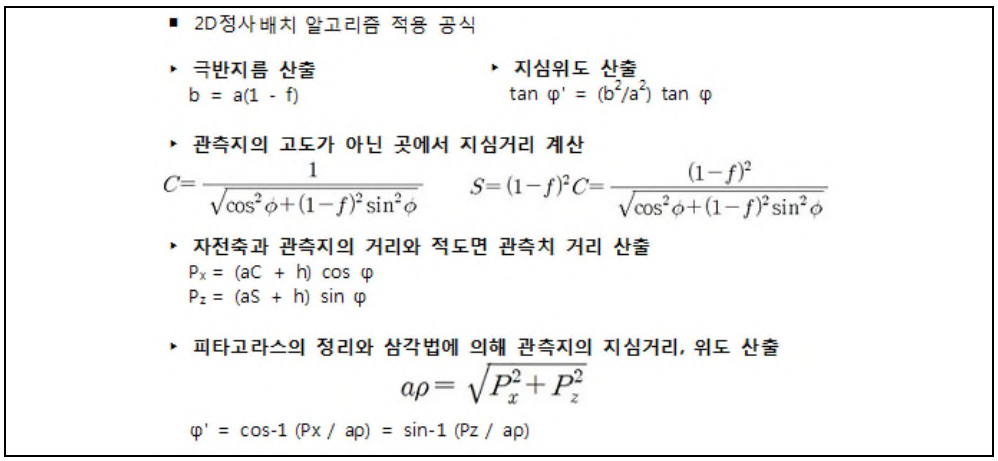


Fig. 1. Pixel 벡터이미지 grid map matching 위치결정 알고리즘.

3. 2D정사배치 시험

3.1 2D정사배치 무인기 비행정밀도 시험

2D정사배치 소프트웨어에 적용한 알고리즘 시험은 GNSS오차를 우선적용하기 위해 P1, P2의 측지점에서 실제비행경로를 GPS, DGPS, SBAS 비행데이터를 비교분석 하였고 기준점 측지는 RTK 지상기준점을 기반으로 상대비교 분석 하였다. 무인기 비행정밀도 검증은 DGPS 보정정보를 기반으로 5회 비행실험을 GPS단독 OEM-628, OEM-Star, U-Blox 실험과 DGPS실험 OEM-628(RMS <1m), OEM-Star(RMS<1m), U-Blox(RMS<2.2m) 비행실험을 하였다. 그러나 위성항법 이외 비행가속오차, 고도오차, 지자기 센서오차, 비행제어 동기오차는 정밀비행 측정이 어려워 영상획득 정사배치로 검증하였다. DGPS 오차는 Fig. 2과 같이 제조사별 약 1~3m 정확도 이내에서 측정되었고 비행 촬영위치 결정은 각각의 오차를 제거하기 이해 시각동기 위치결정 방법을 적용하였으나 꾸준한 최적화가 요구되고 있다.

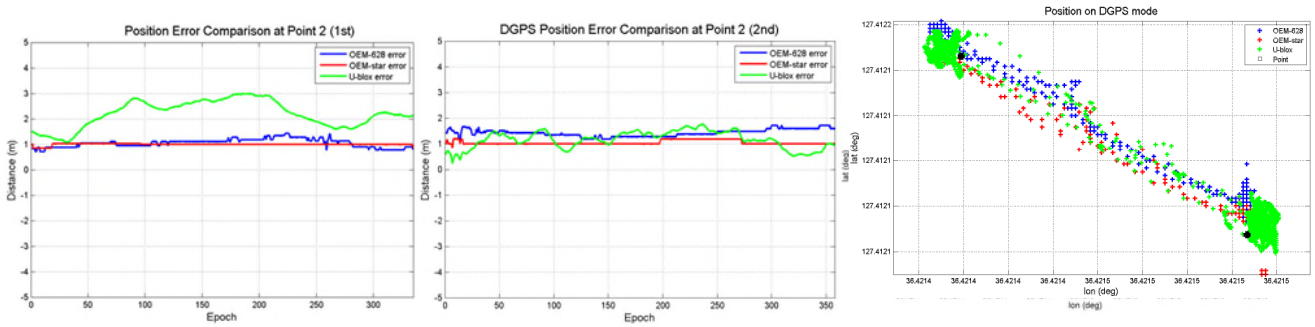


Fig. 2. 무인기 탑재 DGPS 실험을 통한 정확도 검증.

3.2 2D 정사배치 소프트웨어 개발

2D 정사배치 프로그램은 영상/센서데이터 포함된 Latitude(위도), Longitude(경도), Altitude(고도) 비행 Logging정보를 기반으로 Pixel 위치결정 알고리즘이 수행되며 계산식에 의해 한장씩 순차배치 된다. 데이터 처리부는 Pixel별 Raw Data의 위치데이터 생성과 위도, 경도의 최소, 최대값을 산출하여 이미지 자동 스케일을 결정한다. 각 위경도의 최대 최소값은 E/WS/N의 중심점을 구하고 Min/Max값을 기준으로 최종 이미지 스케일을 계산하며 이미지 처리부는 가로세로 Pixel값 계산과 Pixel 좌표계산, 실수보정, 진북 Heading 값의 회전을 보정하여 2D정사배치 위치를 결정한다. 영상 및 센서의 기본정보를 기반으로 정사배치를 반복처리 하는 구조를 가지며 Fig. 3은 삼각형 3km 해상을 비행하여 월성원전 해상위치에 열화상(IR)데이터를 2D 정사배치 하였다. 이미지 정사가 어려운 해상환경에서 획득된 데이터의 정사배치 정밀도는 데이터 분포도를 산출하는데 매우 중요하기 때문에 2D정사배치 프로그램이 매우 효율적 활용이 가능하다.

3.3 2D 정사배치 소프트웨어 실험

2D정사배치 소프트웨어는 해상, 산림, 농사등의 GIS구축에서 유용화게 활용될 예정이며 Fig. 4 해수온도 측정(우1) 및 해수온도 모델(우2)와 같이 센서정보의 이미지 정사가 어려운 해양에서 정밀배치가 가능하다.

정사배치 소프트웨어 운용은 무인기 탑재 임무장비의 제원을 입력하고 무인기로부터 전송된 이미지 또는 센서정보를 가상 Grid Map matching 알고리즘으로 분석하여 배치된다. Fig. 4의 2D정사배치(좌2)는 2개의 정밀측지점과 1회 15분(약 5km) 비행으로 UHD중첩도 70%, FOV 40도 영상 약200개를 획득하였다.

Fig. 4 3D모델링(좌1) 데이터는 대전 갑천(700m x 200m)을 비행하여 획득된 영상을 Pix4D Mapper 상용소프트웨어로 약 5cm급 3D 고해상도 영상을 확보 하였다.

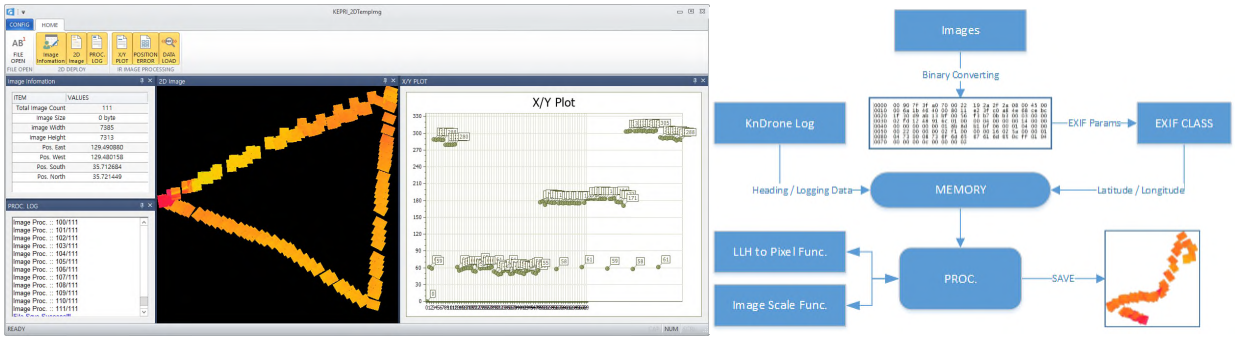


Fig. 3. 2D정사배치 소프트웨어 및 처리구조.



Fig. 4. 3D모델링(좌1), 2D정사배치(좌2), 해수온도 측정(우1), 해수온도 모델(우2).

4. 결론

본 논문은 무인기 영상 및 센서데이터를 정사영상이나 측지점 보정이 어려운 해상, 산림, 농사 GIS 구축에 활용 가능한 2D정사배치 소프트웨어를 구현하였고 해양환경의 Grid Map matching 데이터 검증과 영상 2D정사배치를 통해 3D모델링 과정을 수행 하였다. 해양환경과 같은 비행데이터 정사배치는 무인기의 물리적 오차보정 기능과 준 실시간 2D정사처리를 위한 정밀배치를 통해 해양온도 모델 알고리즘을 확인 하였다. 본 연구는 무인기에서 획득된 정보를 준 실시간으로 확인 검증하는 기능과 영상좌표의 오류점검을 빠르게 수행하는 기반을 확보하였고 앞으로 무인기의 물리적 환경개선과 빠르고 정밀한 2D정사배치 소프트웨어 개발을 위한 꾸준한 연구를 진행하고자 한다.

REFERENCES

Jeong, J.-H. 2017, A Study on the Success Strategies for Commercial sUAV Technology Commercialization, PhD Dissertation, Pai Chai University, Korea.

Kim, S.-K. 2013, A Study on Construction and Application of Spatial Information Utilizing Unmanned Aerial vehicle System, PhD Dissertation, Mokpo University, Korea.

SBAS 차폐지역에서의 드론 운용을 위한 서버 및 사용자 시스템 개발

윤효중[1], 박병운[1*], 임철순[1], 윤동환[2], 석효정[3]
[1]세종대학교 항공우주공학과, [2] 한국정보통신기술협회,
[3]한국항공우주연구원 무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단

Development of a Server and Drone System to be Operated in the SBAS-denied Area

Hyo-jung Yoon[1], Byung-woon Park[1*], Cheol-Soon Lim[1], Dong-hwan Yoon[2], Hyo-jeong Seok[3]
[1]Department of Aerospace Engineering, Sejong University, [2] Telecommunications Technology Association,
[3] Korea Aerospace Research Institute Unmanned Vehicle Advanced Research Center

주소 : 서울 특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 1001B 호 항법시스템연구실
연락처 : 02-3408-4385 이메일 : byungwoon@sejong.ac.kr

Abstract: 기존의 무인항공기 산업은 군사적인 목적에서 주로 활용되었으나, 최근 무인항공기의 플랫폼이 멀티콥터로 변화하면서 레저, 엔터테인먼트, 기술연구 등 민간분야에서도 활용하려는 시도가 점차 많아지고 있다. 민간분야에서 드론과 같은 소형 무인 항공기가 사용되기 위해서는 유인기 영역에서 운영되어야 하는데, 유인기 공역의 규정은 매우 엄격하게 적용되기 때문에 산업 활용은 현실적으로 매우 어렵다. 상업적 드론 활용이 이렇게 엄격한 규정을 만족하며 드론의 비가시 비행을 하기 위해서는 정확도 향상과 무결성 정보 획득이 필수적이다. 드론의 시스템 구성 요소들을 고려할 때, 항공용 위성 항법 보강시스템인 SBAS를 이용하는 것이 가장 현실적인데, 고층 건물이 많이 밀집해 있는 도심 지역은 SBAS용 정지궤도 위성 비가시 지역이므로, 도심지 운영은 매우 제한적이다. 도심지와 같은 SBAS 차폐 지역에서도 드론을 운용하기 위하여 본 논문에서는 서버를 통해 SBAS 보정정보를 재송출하여 정확도를 향상하고 무결성 정보 및 보호수준을 산출하여 저가형 드론의 항법 성능을 향상하는 것을 제안하고 이를 구현하였다. 저가형 GPS 수신기에 보정정보를 입력하기 위하여 SBAS 신호를 TCP/IP로 송출하는 서버와 수신한 SBAS 보정정보를 RTCM 형태로 변환하고 보호수준을 생성하는 사용자 알고리즘을 python으로 구현하였다. 국내에서 수신 가능한 정지궤도위성 PRN 137위성의 방위각과 고도각을 확인하였고, 이와 같은 방위각과 고도각 조건을 기준으로 세종대학교 근처의 SBAS 차폐지역을 찾아 실험장소로 선정하였다. 해당 실험 장소에서 DJI사의 Phantom 3 드론과 저가형 수신기인 U-blox를 대상으로 GPS 항법은 가능하면서 SBAS 항법이 불가한 환경에 대한 실험을 수행하였다. 본 연구에서 개발한 SBAS 재송출 서버와 사용자 프로그램을 이용해 정확도와 무결성 정보, 보호수준을 획득하였고, Septentrio 수신기의 정확도와 보호수준과 비교하여 그 성능을 비교하였다.

Keywords: drone, GPS, integrity, protection level

1. 서 론

기존의 무인항공기는 군사적 목적에 의해 개발되어 사용되었다. 그러나 지금은 민간 분야에서도 레저, 엔터테인먼트 등 많은 사용을 하고 있다. 선진국의 주요 드론 개발 기업들은 멀지않은 미래에 1인 1드론 시대를 맞이할 것이라고 한다. 이처럼 현재 드론 산업은 점점 더 발전하고 있지만, 소형 무인항공기에 대한 규제들이 발전 가능성을 낮추고 있다. 2015년 미국 Federal Aviation Administration(FAA)가 발표한 소형 무인항공기와 관련된 새로운 규정은 유인기 영역에서 혼용이 가능한 무인기의 조건을 엄격하게 규제하였고 그 결과 드론의 산업활용이 많은 제약을 받게 되었다(Kim 2015) 유인기 영역에서 비행하기 위해서는 유인기 수준의 엄격한 조건을 만족해야 한다. 하지만 대부분의 무인기는 저가형 GPS 수신기를 사용하고 있기 때문에 Satellite-Based Augmentation System (SBAS)을 통해 위치의 정확도는 확보할 수 있지만 무결성이나 보호수준을 생성하지 못하므로 해당 조건을 만족하는 것이 불가능 하다. 게다가 SBAS 위성은 정지 궤도 위성이기 때문에 고층 건물이나 산악지대가 많은 우리나라의 경우는 SBAS 보강 정보를 수신할 수 없는 경우도 많이 발생하다. 따라서 본 연구에서는 정지 위성 궤도 차폐 지역에서도 무인항공기가 SBAS 신호를 직접 받는 것과 같은 수준으로 무결성 정보, 보호수준인 Protection Level (PL)을 생성하였다.

2. SBAS 보강정보 생성

2.1 SBAS 보강정보 생성

SBAS는 위성을 기반으로 하는 보강 항법 시스템으로 넓게 흩어져 있는 지상 기준국을 기준으로 하여 GPS 오차를 보정한 뒤 정확성과 무결성이 확보된 정보를 생성하여 정지궤도 위성을 통해 사용자 에게 제공하는 시스템이다.

SBAS 사용자 보정정보인 의사거리 보정정보 Range Correction (RC)는 다음과 같은 정보 들을 이용해서 표현할 수 있다. Fast Correction (FC)은 빠르게 변화하는 위성시계오차, 특히 고의 잡음에 대한 보정정보이고, Long Term Correction (LTC)은 느리게 변화하는 위성궤도오차 및 위성시계오차에 대한 보정정보를 말한다. 또한 Ionospheric Correction (IC)는 전리층에 대한 보정 정보이며, Tropospheric Correction (TC)는 대류층 보정정보를 뜻한다. 이를 종합하면 의사거리 보정정보는 다음과 같은 수식으로 설명할 수 있다.

$$RC = FC + LTC + IC + TC \quad (1)$$

SBAS에서 얻을 수 있는 메시지 형식은 Table 1과 같이 구성되어 있다. 총 64개의 메시지 형식이 존재하지만 현재 사용하고 있는 메시지 형식은 19개 항목만 사용하고 있다. 이중에서 SBAS 보강정보를 생성하는데 필요한 메시지 형식은 Table 1의 음영 처리된 부분을 사용한다.

Fast Correction 은 Message Type 1, 2-5, 6, 7을 이용하여 계산한다. Message Type 2-5 에 포함된 PRC(pseudo range correction) 정보가 필요하고 연속된 데이터를 이용하여 RRC(range rate correction)를 이용하여 계산한다. Long Term Correction 는 Message Type 1, 25를 이용하여 계산하는데, Message Type 25 에는 위성의 ECEF 좌표계에서의 위성궤도오차와 위성시계오차에 대한 보정정보를 포함하고 있으며 Velocity Code 에 따라 메시지 형식이 달라진다. Ionospheric Correction 계산에는 Message Type 18, 26이 사용되는데, IPP (Ionospheric Pierce Point) 에서의 수직 지연 값은 인근 격자점에서의 지연 값을 보간하여 결정하고 이에 위성 앙각을 곱하여 산출한다. Tropospheric Correction는 SBAS에서 별도의 보정정보를 제공하지 않으므로 사용자가 위도와 위성 앙각을 이용하여 기존에 사용하고 있는 Modeling 식을 이용해서 직접 대류층 지연 값을 계산한다(Seok et al. 2017).

Table 1. SBAS message type.

MT	Contents
0	Don't use for safety applications
1	PRN mask assignments
2 ~ 5	Fast corrections
6	Integrity information
7	Degradation factor
8	Reserved
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, etc)
10	Degradation parameters
11	Reserved
12	SBAS network time / UTC offset parameters
13 ~ 16	Reserved
17	GEO satellite almanacs
18	Ionospheric grid point masks
19 ~ 23	Reserved
24	Mixed fast corrections/long term satellite error corrections
25	Long term satellite error corrections
26	Ionospheric delay corrections
27	SBAS service message
28	Clock-ephemeris covariance matrix message
29 ~ 61	Reserved
62	Internal test message
63	Null

2.2 SBAS 보호수준 산출

보호수준 Protection Level (PL)이란 현재 제공되어 있는 위치정보를 보장할 수 있는 범위를 원기둥 형상의 부피로 표현한 것이다. 수평 보호수준 Horizontal Protection Level (HPL), 수직 보호수준 Vertical Protection Level (VPL)은 식 (2), (3)을 따른다

$$\mathrm{HPL} = \mathrm{K_h} d_{major} \tag{2}$$

$$\mathrm{LPL} = \mathrm{K_v} d_v \tag{3}$$

이때 $\mathrm{K_h}$, $\mathrm{K_v}$는 상수이고, 그중 $\mathrm{K_h}$는 비정밀접근, 정밀접근 모드 수행 여부에 따라 두 가지의 다른 값을 갖는다. d_{major}와 d_v는 관측 행렬 H와 가중치 행렬(Weight Matrix) ***W***를 이용하여 계산한다.

$$(\mathrm{H}^{\mathrm{T}} W H)^{-1} = \begin{bmatrix} d_E^2 & d_{EN} & d_{EU} & d_{ET} \\ d_{EN} & d_N^2 & d_N & d_{NT} \\ d_{EU} & d_{UN} & d_U^2 & d_{UT} \\ d_{ET} & d_{NT} & d_{UT} & d_T^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

가중치 행렬 ***W***는 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$\mathrm{W}^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

d_v는 식 (4)의 d_U에 해당하고 d_{major}는 식 (6)으로 계산 할 수 있다.

$$d_{major} = \sqrt{\frac{d_{east}^2 + d_{north}^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{east}^2 - d_{north}^2}{2}\right)^2}} \tag{6}$$

식 (4)의 W 행렬에 정의된 위성별 가중치인 σ^2는 다음 식처럼 계산되는데 각각 σ_{fit}^2는 fast long term correction의, σ_{UIRE}^2 는 전리층 오차, σ_{air}^2 는 사용자 수신기 오차, σ_{tropo}^2 는 대류층 오차의 오차수준을 의미한다.

$$\sigma^2 = \sigma_{fit}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2 \tag{7}$$

3. SBAS 보강정보 전송 시스템

3.1 시스템 구성

SBAS 신호는 정지궤도 위성으로부터 수신되므로 해당 방향에서 시야각이 확보되지 않은 지역에서는 SBAS 정보를 획득 할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 1처럼 SBAS 신호가 들어오는 지역에 위치한 다른 수신기를 통해 SBAS 정보를 획득한 뒤, 별도의 서버를 통해 SBAS 보강정보를 전송하는 방법을 통해 SBAS 차폐 지역에서도 SBAS 보강정보를 직접 수신하는 것과 유사한 성능을 낼 수 있도록 고안 하였다.

이때 서버에서 전송되는 메시지는 Radio technical commission for maritime service (RTCM)의 보정정보로 변환시켜 전송한다. 이는 본 실험에서 사용하는 저가형 GPS 수신기에서 SBAS외에 RTCM 보정정보 적용이 가능하기 때문이다.

3.2 SBAS 보정정보의 RTCM 변환

SBAS 보정정보를 RTCM으로 변환하는 데에는 Table 2를 이용하였다. RTCM에서 PRC로 적용하는 값은 위성 궤도 및 시계오차 보정정보, 전리층 지연, 대류층 지연 보정정보까지 전부 포함한 값이지만, SBAS의 PRC는 고의잡음만을 보정한 값이므로 RTCM의 PRC는 항공용 RC를 사용 하였다. 또한 SBAS

에서의 UDRE는 항공분야의 특성상 매우 보수적으로 계산된 값이어서 RTCM의 UDRE보다 매우 큰 값이기 때문에 적절히 조절하여 사용하였다(Seok 2016).

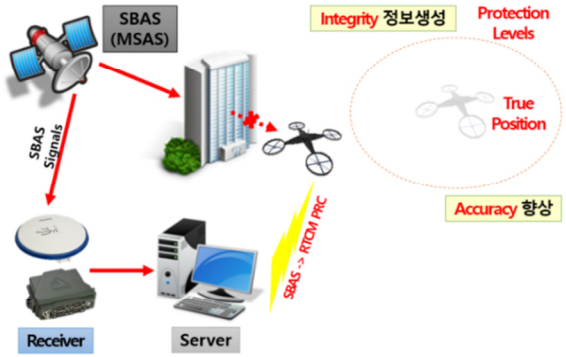


Fig. 1. Concept of suggested system.

Table 2. Conversion of SBAS message to RTCM format.

	항공용	비항공용
	SBAS correction information	RTCM correction message
Range correction (RC)	$RC = FC + LTC + IC + TC$	$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC(t - t_0)$
User differential range error (UDRE)	$\sigma^2 = \sigma_{fit}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$	$\sigma^2 = \alpha(\sigma_{fit}^2 + \sigma_{UIRE}^2)\,\sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$



Fig. 2. Configuration of experiment.

4. SBAS 차폐 지역 실험

4.1 실험 시스템 구성

해당 실험을 위한 시스템은 위의 Fig. 2와 같이 구성하였다. DJI사의 Phantom 3 드론과, 드론에 부착된 U-blox 수신기 및 Patch 안테나, U-blox 수신기의 신호를 저장하여 반복적인 실험 수행을 위한 LabSat 장비를 이용하였다. Labsat 장비를 이용하여 실시간으로 기록된 RF신호를 U-blox 수신기에 재방송하고, U-blox에서 처리된 측정치에 대하여 본 알고리즘을 적용하기 위하여 Python으로 실시간 처리 프로그램을 개발하였다.

4.2 실험 조건

2017년 5월 19일 5시 (UTC) 부터 5시 25분(UTC) 까지 약 25분간 세종대학교 운동장에서 실험을 실시했다. 실험 조건으로는 높은 건물에 의해 정지궤도위성의 신호가 가려져 SBAS 보강 항법을 수행할

수 없는 곳에서 약 10분간 호버링 한 뒤, OPEN SKY 환경으로 이동하여 5분간 착륙하였다가 해당 위치에서 약 10분간 호버링 하여 총 25분간 실험을 실시하였다. 실험을 위한 시스템은 DJI사의 Phantom 3 와 U-blox 수신기 및 Patch 안테나, LABSAT 장비로 구성하였다. 기존 GPS항법 불가 지역에서 SBAS 보강 항법 수행을 통해 GPS 차폐지역의 개선이 있는 것은 아니므로, GPS 항법은 가능하면서, SBAS 항법이 불가한 지역을 실험 장소로 선정하였다. 전체적인 실험 과정은 SBAS 신호 차폐지역에서 약 10분간 호버링 후, 위성 신호 수신 제약이 없는 Open Sky 환경으로 이동하여 약 5분 간 착륙하였고, 마지막으로 해당 위치에서 다시 약 10분 간 호버링하여 총 25분 간 SBAS 신호 차폐 환경 및 Open Sky 환경에서의 실험을 수행하였다. 그 후 해당 실험으로 얻은 신호를 방사하여 Septentrio와 U-blox 수신기, RTCM 변환 메시지를 적용한 U-blox 수신기 각각에서 신호를 수신한 뒤 분석하였다.

4.3 실험 결과

위와 같은 조건에서 실시간으로 테스트 결과 Septentrio 대비 STAND-ALONE 결과와 이번 실험에서 사용한 저가형 GPS 모듈에 적용된 시스템을 통한 결과의 ENU 방향 오차를 비교해 보았다. Figs. 3, 4의 결과를 확인하면 East 방향으로 5.0M의 오차가 1.9M로, North 방향으로 6.2M 의 오차가 2.2M로, Up 방향으로 12.6M의 오차가 3.7M 수준으로 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

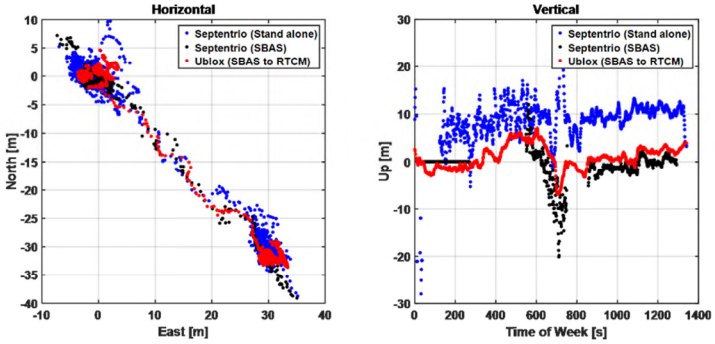


Fig. 3. Result of position accuracy (left: horizontal, right: vertical).

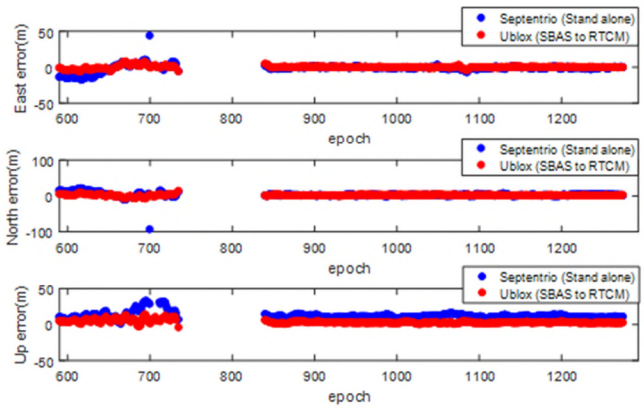


Fig. 4. Result of position accuracy (top: east, middle: north, bottom: up).

또한 이번 실험에서 제안한 방식으로 산출한 PL을 비교해 보았다. 2017년 5월 19일 5시 (UTC) 부터 5시 25분(UTC) 까지 약 25분간 저가형 U-blox 수신기에서 산출된 보호수준 그래프는 Fig. 5와 같다. 총 1342 Epoch 중 초반 26 Epoch을 제외한 98% 시간 구간에서 보호수준을 산출하였다.

특히 Fig. 6과 같이 저가형 U-blox 수신기에서 사용한 위성의 수와 Septentrio에서 사용한 위성의 수의 관계와 보호수준과의 관계를 확인하였다. 두 수신기의 위성 개수가 크게 다를 때, HPL의 경우 약 20M의 차이가 나고, VPL의 경우 약 30M의 차이가 났지만, 두 수신기의 위성의 개수의 차이가 2로 유사해질 때에는 HPL의 경우 약 10M, VPL의 경우 약 8M의 차이가 발생했다. 따라서 저가형 U-blox 수신기에서 사용한 위성의 수와 Septentrio에서 사용한 위성의 수가 유사한 구간에서는 보호수준의 값이 비슷하게 산출되는 것으로 확인할 수 있었다.

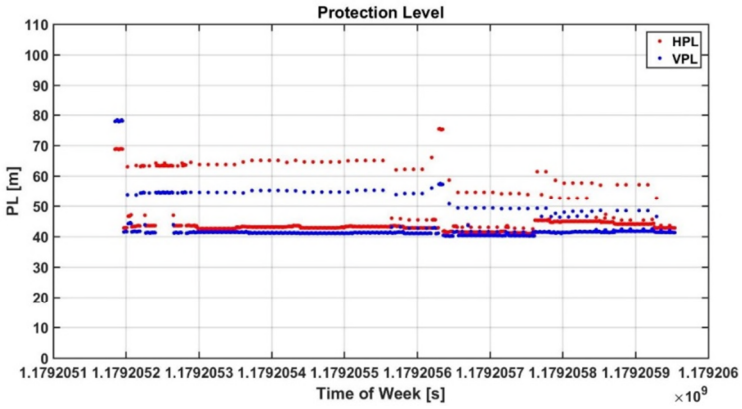


Fig. 5. Horizontal/vertical protection level.

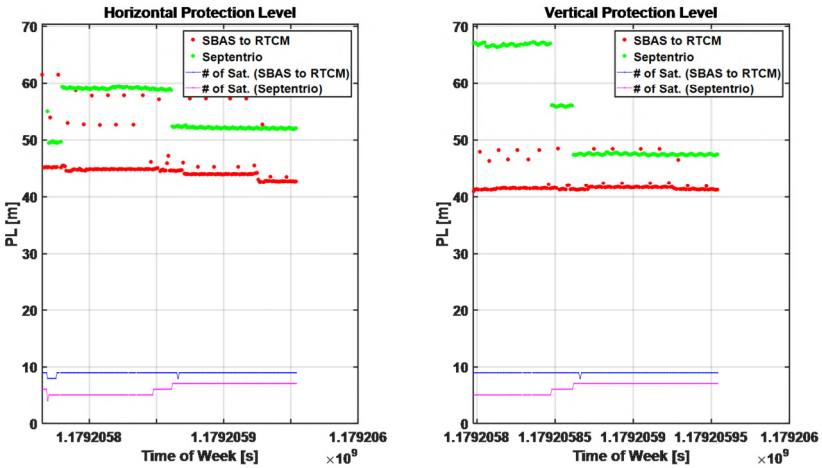


Fig. 6. Horizontal/vertical protection level with # of satellites.

5. 결 론

본 논문에서는 SBAS 차폐 지역에서도 SBAS 보정정보를 얻어서 드론을 운용할 수 있도록 하는 방법을 고안하여 실험한 뒤 그 정확도와 보호수준을 확인 하였다. 실험 결과 SBAS 신호 차폐 지역에서도 SBAS 보정정보를 받은 것과 비슷한 수준의 정확도를 얻을 수 있었고, 저가형 GPS 수신기에서도 총 실험시간의 98%에 해당하는 시간동안 무결성 정보, 보호수준을 생성할 수 있는 것을 확인하였다. 특히 사용하는 위성의 개수가 같을 때 고가의 항공용 수신기와 유사한 수준의 보호수준을 생성하는 것을 확인하였다. 이번 실험으로 후에 한국형 SBAS 시스템인 Korea augmentation satellite system(KASS)이 사용되었을 때, 고층 건물이나 산악 지형에 의해 SBAS 보강정보가 차폐되는 지역에서도 드론을 자유롭게 이용할 수 있는 방법으로써 도움이 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

Kim, S. H. 2015, Frustration of Amazon‘s Drones, [Internet], cited 2015 Feb. 17, available from: http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2015/02/17/2015021703046.html

Seok, H. J. 2016, Study on the Accuracy Improvement and Integrity Information Generation of the Low-cost GPS Receiver for the Expansion of Drone Operation, M.S. dissertation, Sejong University, Seoul, Korea, pp.13-18, 47-48, 53-55

Seok, H.-J., Yoon, D.-H., Lim, C.-S., & Park, B.-W. 2017, Suggestion on the SBAS Augmentation Message Providing System for the the Low-cost GPS Receiver of Drone Operation, The journal of Korea Navigation Institute, 21, 272-277

3차원 도시 모델과 그림자 맞춤 기법을 이용한 도심환경에서의 GNSS 측위 정확도 향상에 관한 연구

윤웅준[1*], 김혜인[2], 박관동[1]
[1]인하대학교 공간정보공학과, [2]㈜피피솔

A Study on the Improvement of GNSS Positioning Accuracy in Urban Environment Using 3D City Model and Shadow Matching

Woong-Jun Yoon[1*], Hye-In Kim[2], Kwan-Dong Park[1]
[1]Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea, [2]PPSoln Inc., Seoul, 08504, Korea

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 4 호관 310 호
연락처 : 032-873-4310 이메일 : yoongoodid@naver.com

Abstract: GNSS의 코드의사거리를 이용한 단독측위 정확도는 신호 차폐 요소가 없는 개활지 환경에서 1~3m 수준이지만, 도심환경에서는 주변 건물들에 의한 신호 차단으로 가시위성 확보가 어렵고 위성 신호가 건물에 반사되어 발생하는 다중경로 오차로 인해 많게는 수십 미터까지 오차가 커진다. 이런 문제를 보완하기 위해 고안된 그림자 맞춤 기법은 3차원 도시 모델을 이용하여 GNSS 위성을 가시위성과 비 가시위성, 신호가 회절된 위성으로 구분하고 이를 실제 수신기의 관측데이터와 비교 및 점수화를 통해 도심환경에서 사용자 위치를 보다 정확하게 추정하는 방법이다. 이 연구에서는 도심환경에서 GNSS 측위 정확도를 향상시키기 위해 3차원 도시 모델을 이용하여 그림자 맞춤 기법을 구현하고 그 성능을 분석하였다. 3차원 도시 모델은 인천의 송도신도시 건물 데이터를 이용하였고 도심환경에서의 가시위성 확보를 위해 GPS와 중국의 BDS를 통합하여 자료처리에 이용하였다. 또한 그림자 맞춤 기법에서 가시위성 예측 및 실제 관측 위성 비교 외에 위성의 신호의 회절, SNR등을 세분화하여 점수에 적용함으로써 위치 정확도를 향상시켰다. 정확도 검증을 위해 GNSS 코드의사거리 기반 단독측위로 추정된 사용자 위치 좌표와 그림자 맞춤 기법을 통해 추정된 좌표를 참값 좌표와 비교하여 수평방향 평균제곱근 오차를 산출하였다. 정확도 검증 결과 그림자 맞춤 기법을 적용한 측위는 단독측위에 비해 수평정확도가 40%~60% 향상되었다. 이 연구를 통해 도심환경에서 GNSS측위의 단점을 보완하는데 공간정보 데이터가 이용될 수 있고 이로 인해 GNSS 측위 정확도를 향상 시킬 수 있음을 확인하였다.

Keywords: global navigation satellite system, shadow matching, BeiDou, urban positioning

1. 서론

위치기반 서비스 산업이 발달함에 따라 지도 어플리케이션, 보행자 내비게이션 등 도심환경에서 Global Navigation Satellite System (GNSS) 측위를 이용하는 서비스가 늘어나고 있다. 그러나 도심환경은 밀집한 건물에 의하여 일어나는 GNSS 신호 차단, 회절 등의 이유로 가시위성의 수가 적고 다중경로 오차가 발생하여 GNSS 측위에 어려움이 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 고안된 그림자 맞춤 기법은 3차원 도시 모델을 측위에 적용하여 사용자 위치 주변의 여러 지점에서 사용자와 GNSS 위성 사이에 신호를 차단, 회절시키는 건물이 있는지 판별하고 이를 통해 가시위성과 비 가시위성을 예측한다. 예측된 위성과 실제 관측된 위성을 비교하여 각 분류에 따라 점수를 부여하고 지도화하여 지도상에 점수가 가장 높은 지점을 사용자 위치로 추정한다(Kim 2015).

이 논문에서는 3차원 도시 모델을 이용하여 그림자 맞춤 기법을 구현하고 그 성능을 평가하였다. 3차원 도시 모델은 인천 송도신도시 건물 데이터를 이용하였으며 가시위성 확보를 위해 Global Positioning System(GPS)와 중국의 BeiDou System(BDS)를 통합하여 자료처리에 이용하였다. 성능 평가는 그림자 맞춤 기법을 통해 추정된 사용자 위치의 수평방향 Root Mean Square Error(RMSE)와 GPS와 BDS를 통합하여 자료 처리한 코드기반 단독측위의 수평방향 RMSE를 비교하였다.

2. 그림자 맞춤 기법

그림자 맞춤 기법은 도심환경에서 3차원 도시 모델을 이용하여 사용자 위치를 결정하는 방법으로 Groves(2011)에 의해 처음 제안되었다. 이 기법은 가시성 예측과 점수화 지도 생성, 크게 두 단계로 이루

어져 있으며 첫 번째 단계에서는 3차원 도시 모델을 이용하여 GNSS 위성의 가시성 예측을 진행한다. 가시성 예측은 사용자 위치 주변 여러 지점에서 수행되며 각 지점에서 GNSS 위성 신호와 사용자 주변 건물과의 충돌검사를 통하여 가시위성과 비 가시위성, 신호가 회절된 위성을 구분한다. Fig. 1은 가시위성과 비 가시위성, 신호가 회절된 위성을 그림으로 나타낸 것이다.

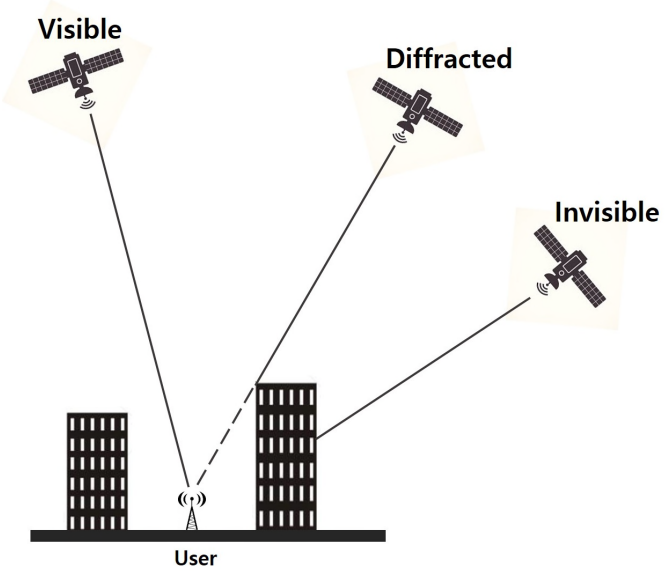


Fig. 1. Satellite visibility in urban environment.

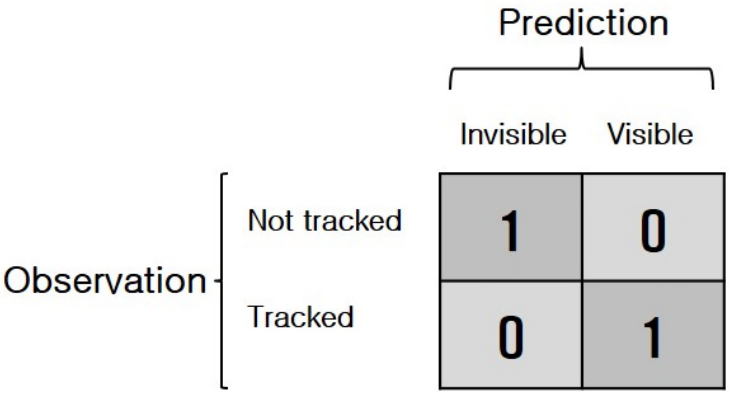


Fig. 2. Example of scoring scheme (Wang et al. 2013).

두 번째 단계는 점수화 지도 생성으로 가시성 예측 결과와 실제 관측된 위성을 비교하여 점수화하고 각 지점의 점수 분포를 지도화 한다. Fig. 2는 점수화 지도 생성단계에서 점수 부여 방식의 예시를 나타낸 것이며 가시위성으로 예측된 위성이 실제로 관측 됐으면 1점, 관측이 안됐으면 0점, 반대로 비 가시위성으로 예측된 위성이 실제로 관측이 됐으면 0점, 관측이 안됐으면 1점을 부여하여 각 지점의 점수 총합을 산출하고 가장 점수가 높은 지점이 사용자 위치로 결정된다.

3. 연구 결과

본 연구에서는 2016년 Day Of Year (DOY) 269일의 Universal Time Coordinated (UTC) 14시부터 15시까지 인천의 송도신도시에서 한 시간 동안 수신한 1초 간격 GPS, BDS 데이터를 이용하여 그림자 맞춤 기법을 구현하고 성능 평가를 위해 단독측위와 정확도를 비교하였다. 단독측위는 코드 기반으로 GPS와 BDS를 통합하여 자료처리 하였고 전리층 모델은 Klobuchar, 대류권 모델은 Saastamoinen을 사용하였다. 단독측위 오차는 참값 좌표와의 1시간 동안 수평방향 RMSE 평균으로 계산하였으며 측위 결과는 Fig. 3과 같다. 단독측위의 오차는 평균 30.48m를 나타냈으며 최대 오차는 약 150m를 나타냈다. 단독측위 오차 원인을 분석하기 위해 매 순간 가시위성의 개수를 산출하였다. 매 순간 10개 이상으로 가시위성 수는 부족하지 않았지만 가시위성 수의 변동 빈도가 높을 때 오차의 극단값이 나타났다. 이는 도심 환경에서 다중

경로 신호에 의한 정확도 저하로 GNSS 측위의 한계를 잘 나타낸다. 그림자 맞춤 기법의 성능 평가를 위한 점수 부여 방식은 Fig. 2와 동일하게 적용하였고 점수화 지도의 격자 크기는 사용자 위치 주변 100m까지의 범위를 2m 간격으로 분할하여 생성하였다. Fig. 4는 UTC 14시 53분의 점수화 지도를 나타낸 것으로 A는 추정된 사용자 위치를 나타내고 B는 참값좌표를 나타낸다. 추정된 사용자 위치 는 매 순간 변동되며 오차는 참값좌표와의 1시간 동안 수평방향 RMSE 평균으로 계산하였다. 그림자 맞춤 기법의 오차는 18.60m로 큰 오차를 보였지만 단독측위에 비해 40% 향상된 정확도를 나타냈다.

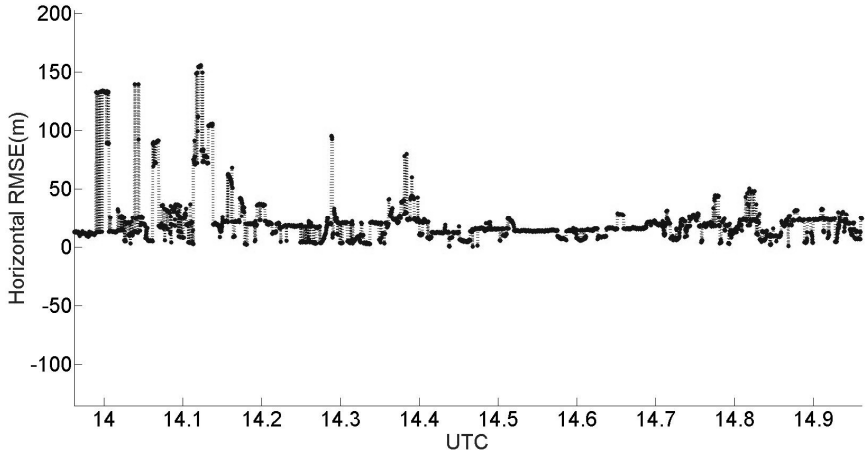


Fig. 3. Horizontal RMSE of Point Positioning at experimental site.

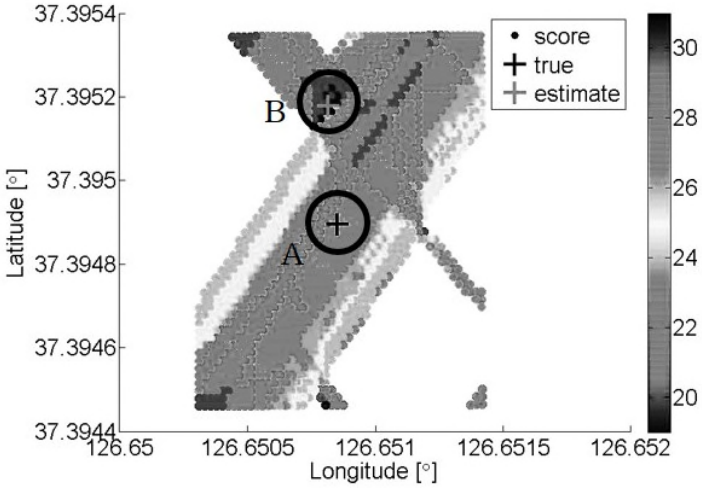


Fig. 4. Scoring map of experimental site.

		Prediction		
		Invisible	Diffracted	Visible
Observation	Not tracked	1	1	−1
	Weak Signal (low SNR)	0	2	0
	Strong Signal (High SNR)	−1	1	1

Fig. 5. Extended scoring scheme (Wang et al. 2013).

Wang et al. (2013)은 그림자 맞춤기법의 정확도를 향상시키기 위한 방법으로 점수 부여 방식 세분화를 제안하였다. 가시위성과 비 가시위성 예측 외에 추가로 신호가 회절된 위성을 예측하고 Signal Noise Ratio(SNR) 크기에 따라 점수를 부여하였다 Fig. 5는 세분화된 점수 부여 방식을 나타낸 그림으로 SNR 40을 기준으로 40보다 크면 강한 신호로, 같거나 작으면 약한 신호로 분류하였다. 세분화된 점수 부여 방식으로 그림자 맞춤 기법 수행 결과 오차는 13.70m로 기존 점수 부여 방식과 비교하여 정확도가 약 25% 향상되었고 단독 측위에 비해 약 60% 정확도 향상을 나타냈다.

본 연구 결과 도심 환경에서 측위 정확도 향상을 위해 그림자 맞춤 기법을 사용 할 수 있음을 보였고 점수 부여 방식의 세분화로 그림자 맞춤 기법의 정확도가 향상되는 것을 보였다. 차후 SNR의 표준 편차 적용 등 다중경로 신호를 모델링 하기 위한 추가적인 점수 세분화 연구와 러시아의 GLObal Navigation Satellite System(GLONASS)를 통합한 자료처리로 가시성 분석 및 점수화할 GNSS 위성의 수가 증가한다면 그림자 맞춤 기법의 정확도를 향상 시킬 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 인하대학교 World Class Smart Lab (WCSL) 연구지원 사업에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

Groves, P. D. 2011, Shadow Matching: A New GNSS Positioning Technique for Urban Canyons, The Journal of Navigation, 64, 417-430.

Kim H.-I. 2015, Improvement of the Real-Time Positioning Accuracy in Urban Canyons through Development of a New Weight Model based on GNSS Signal Strength, PhD Dissertation, Inha University, Incheon, South Korea

Wang, L., Groves, P. D., & Ziebart, M. K. 2013, GNSS Shadow Matching: Improving Urban Positioning Accuracy Using a 3D City Model with Optimized Visibility Prediction Scoring, NAVIGATION: Jounal of The Institute of Navigation, 23, 44-56.

안드로이드 N 기반 스마트기기에서 의사거리 보정정보 적용과 원시 측정치 스무딩을 통한 위치 정확도 향상 연구

신동현[1], 박병운[1*], 이종민[2], 강상구[2], 차득기[2]
[1]세종대학교 항공우주공학과, [2]LX국토정보공사 공간정보연구원

Study on Position Accuracy Improvement by Applying Pseudo Range Correction and Raw Measurement Smoothing Based on Android N Smart Devices

Dong-Hyun Shin[1], Byung-Woon Park[1*], Jong-Min Lee[2], Sang-Gu Kang[2], Deuk-Gi Cha[2]
[1]Department of Aerospace Engineering, Sejong University, [2]Spatial Information Research Institute, Korea Land and Geospatial Informatix Corporation

주소 : 서울 특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 1001B 호 항법시스템연구실
연락처 : 02-3408-4385 이메일 : byungwoon@sejong.ac.kr

Abstract: 스마트기기의 보급률과 사용자가 지속적으로 증가하고있고, 그에 따라 위치기반 서비스의 사용 또한 증대되고 있다. 이러한 위치기반 서비스는 스마트기기의 위치정보를 기반으로 제공되는데, 위치정보의 정확도가 높을수록 양질의 서비스 제공이 가능하다. 최근 Google사 에서는 안드로이드 N(Nougat) OS를 지원하는 스마트기기에서 GNSS 원시데이터를 제공하기로 발표하였다. 제공하는 데이터를 사용하여 원시측정치를 산출하는 것이 가능하고, 이를 이용한다면 사용자가 주도적으로 그 정확도를 향상시키거나 요구에 맞게 변경하여 사용하는 것이 가능하므로 스마트기기를 보유한 일반 사용자들의 위치 정확도 서비스 품질을 향상시키고 다양화 시킬 수 있다. 따라서 안드로이드 N OS 기반의 스마트기기에서 획득한 원시측정치를 이용하여 단독 측위 성능을 확인해 보고 측정치영역에서 수행하는 Local DGPS 및 측정치 스무딩 적용이 가능하기 때문에, Trimble NetR9 기준국용 수신기를 활용하여 Pseudo Range Correction을 생성하고 측정치 스무딩과 함께 적용해 봄으로써 위치 정확도 향상을 확인하였다.

Keywords: android N, GPS, smart devices, DGPS, hatch filter

1. 서 론

스마트폰의 보급률은 세계적으로는 70%, 국내는 90%까지 도달할 정도로 우리의 삶에 깊숙이 자리잡고 있다. 스마트폰의 사용자가 증가함에 따라, 교통정보서비스, 생활정보서비스, 날씨 서비스 등 위치기반 서비스(LBS : Local Based Service)의 사용 또한 증대되고 있다(Shin & Park 2016). 이러한 LBS 서비스는 스마트기기의 위치정보를 기반으로 제공되는데, 위치정보의 정확도가 높을수록 양질의 다양한 서비스 제공이 가능하다.

최근 Google사 에서는 안드로이드 N(Nougat) OS를 지원하는 스마트기기에서 GPS 관측데이터를 제공하기로 발표하였다(Google Android 2016). 이전까지는 스마트기기에서 주도적으로 계산한 위치정보를 NMEA 메시지 형태로 제공하였지만, 안드로이드 N 기반 스마트기기에서 제공하는 원시데이터를 이용한다면 사용자가 주도적으로 위치기반 서비스 품질을 향상시키고 다양화 시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 안드로이드 N 스마트기기의 원시 측정치를 이용하여 위치해를 계산하고, 의사거리 보정정보 적용 및 원시 측정치 스무딩을 통한 위치 정확도 향상을 확인해 보았다.

2. 실험 장비 및 구성

안드로이드 N 기술문서에 의하면 현재 Nexus 5X, Nexus 9, Galaxy s8, Pixel과 Huawei등의 스마트기기가 해당 OS를 지원하고 있다. 이 중에서 코드 측정치 스무딩에 사용되는 반송파 측정치는 Nexus 9, Galaxy s8과 Huawei에서만 제공되고 있기 때문에, 본 논문에서는 연구실에서 현재 보유하고있는 Nexus 9과 Galaxy s8을 실험 기기로 선정하였다(Google Android 2017).

Table 1은 실험 기기로 선정한 두 스마트 기기의 간략한 스펙이다. 두 기기 모두 GNSS Chipset을 스마트폰용 AP(Application Processor)에 결합하여 출시함에 따라 기능별로 나뉘어진 다양한 칩들을 하나의 Chipset으로 통합하는 System-on-Chip (SoC) 트렌드를 따르고 있다(Shin & Park 2016). Galaxy S8의 경우에는 아시아 지역에서는 Exynos 8895를 사용하고 그 외 지역에서는 Qualcomm MSM8998 Snapdragon 835를 사용하고 있으며, 반송파 측정치는 Exynos 8895 Chipset에서만 제공하고 있다.

Table 1. Test devices.

Device	Nexus 9 tablet	Galaxy s8 smart phone
OS	Android 5.0, upgradable to 7.1.1 (Nougat)	Android 7.0 (Nougat)
Chipset	Nvidia Tegra K1	Exynos 8895, Qualcomm MSM8998 Snapdragon 835
Constellation	GPS + GLONASS	GPS + GLONASS + BDS + Galileo

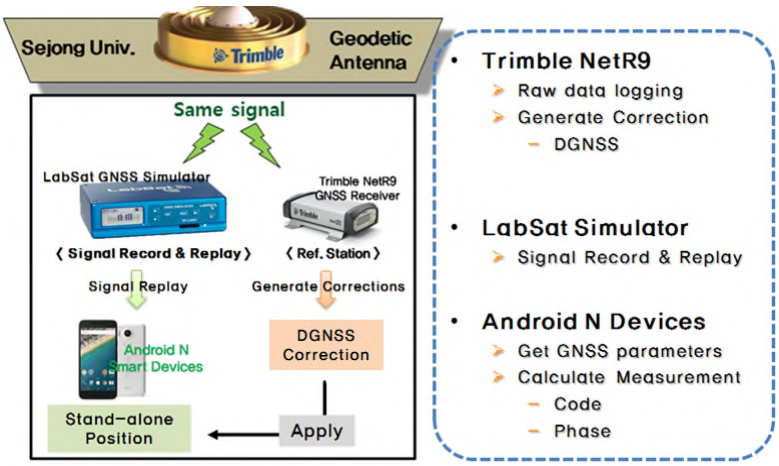


Fig. 1. Test configuration.

두 스마트기기의 원시 측정치를 사용하여 계산한 위치 성능을 확인하고 의사거리 보정정보 적용 및 측정치 스무딩을 수행하기 위하여 Fig. 1과 같은 영기저선(Zero-baseline) 실험 환경을 구성하였다. 먼저 세종대 충무관 옥상에 설치된 Trimble Choke Ring Antenna를 통해 위성항법 신호를 수신하고 Signal Spliter를 이용하여 LabSat GNSS Simulator와 Trimble NetR9 GNSS 수신기에 동일한 신호가 분배될 수 있도록 하였다. 이를 통해 기준국인 Trimble 수신기에서는 의사거리 보정정보를 생성하고, 사용자 부분의 스마트기기에서는 원시 데이터를 획득한다. LabSat GNSS Simulator의 Record&Relplay 기능은 동일 신호에 대한 반복적인 실험을 위해 사용되었다. 최종적으로 스마트기기의 원시 데이터를 이용하여 산출한 코드 및 반송파 측정치에 생성한 의사거리 보정정보와 측정치 스무딩을 적용하여 항법해를 계산한다.

3. 의사거리 보정정보 적용 및 측정치 스무딩

안드로이드 N 기반의 스마트기기에서 제공하는 데이터로 원시 측정치를 산출하는 것이 가능하기 때문에, 측정치영역에서 수행하는 Local DGPS 및 측정치 스무딩 적용을 통한 위치 정확도 향상도 기대할 수 있다. 이미 정확한 위치를 알고 있는 세종대학교 충무관 건물 옥상에 설치된 Trimble Choke Ring Antenna를 기준국으로 선정한다. 안테나를 통해 수신된 위성 항법 신호를 실험실 내의 Trimble NetR9 수신기로 수신한다. 기준국에서는 수신한 위성 항법 신호를 이용하여 측정치 영역의 위성 항법 보정정보를 생성하고, 사용자인 안드로이드 N 스마트기기에서 획득한 원시 측정치에 적용한다.

$$\rho = d + B + \delta R - b + I + T + \varepsilon \qquad (1)$$

식 (1)과 같이 오차를 포함하고 있는 코드 측정치에 보정정보를 반영하면 Fig. 2와 같은 관측행렬 구성을 통해 보다 정확한 위치해를 계산할 수 있다.

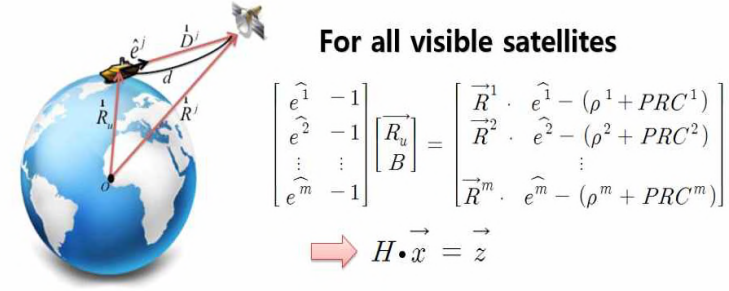


Fig. 2. Range domain DGPS.

안드로이드 N 에서는 반송파 위상 측정치도 제공하고 있기 때문에, 이를 사용하여 잡음이 많은 코드 의사거리 측정치의 품질을 향상시키는 Hatch filter기법을 적용할 수 있다. 코드 측정치는 사용자와 위성 간의 거리 외에 수신기와 위성의 시계오차와 기타 오차들로 이루어져 있고 반송파 측정치는 미지정수항과 관련된 항까지 추가한 값으로 이루어져 있다. 전리층 오차는 코드 측정치에서는 지연형태로, 반송파 측정치 에서는 앞섬 형태로 나타나기 때문에 따로 떼어서 각각 식(2), (3)와 같이 차분 한다.

$$\rho(t) - \rho(t-1) = \Delta d + \Delta i - \Delta b + \Delta B + \epsilon(t) - \epsilon(t-1) \quad (2)$$

$$\phi(t) - \phi(t-1) = \Delta d - \Delta i - \Delta b + \Delta B + \epsilon(t) - \epsilon(t-1) \quad (3)$$

전리층 지연오차는 천천히 움직이므로 $\Delta i \cong 0$ 이라고 할 수 있고, 식 (4)라고 할 수 있다.

$$\rho(t) - \rho(t-1) \cong \phi(t) - \phi(t-1) \quad (4)$$

Hatch filter 에서는 반송파의 정밀도가 코드 측정치의 정밀도에 비해 약 10배정도 정밀하기 때문에, 반송파 측정치의 차분을 사용한다. 최종적으로 측정치 스무딩을 통한 코드 측정치는 식(5)와 같이 계산 될 수 있다.

$$\tilde{\rho}^i(t) = \frac{1}{t}\rho^i(t) + \frac{t-1}{t}\{\tilde{\rho}^i(t-1) + \phi^i(t) - \phi^i(t-1)\} \quad (5)$$

안드로이드 N 스마트기기에서 획득한 원시 측정치에 앞서 언급한 두 가지 방법을 적용하여 위치 성능을 확인해 보았다. 실험은 2017년 5월 8일 16시 30분부터 약 2시간 수행하였다. Fig. 3과 Table 2는 Nexus 9에 대한 결과이고, Fig. 4와 Table 3은 Galaxy s8에 대한 결과이다.

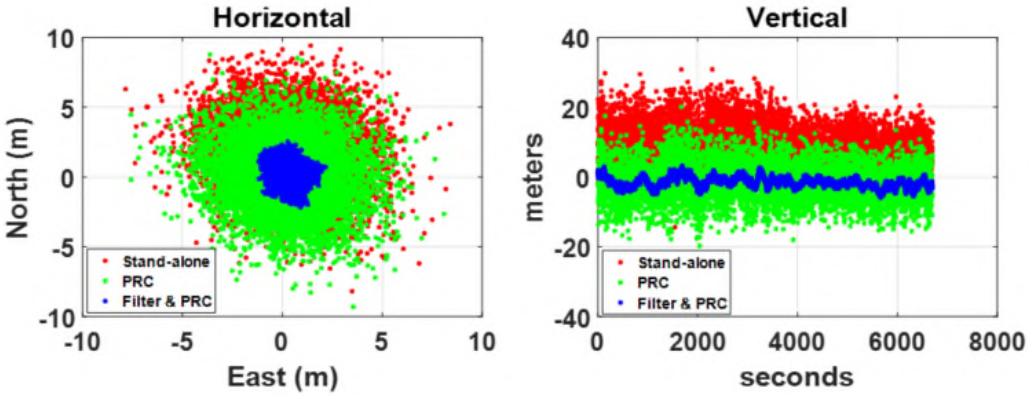


Fig. 3. Nexus 9 test result.

Table 2. Nexus 9 statistical result.

Statistical results		Max	Mean	STD	RMS	95%
Stand-alone	Horizontal	12.8253	1.8450	3.2677	3.7524	7.1859
	Vertical	30.8410	10.2056	5.7876	10.3535	19.8661
Apply PRC	Horizontal	10.3206	0.3605	3.1796	3.1998	6.2141
	Vertical	24.3595	-1.5091	5.2687	4.3904	10.8465
Apply filter & PRC	Horizontal	2.5498	0.3658	0.8885	0.9608	1.8236
	Vertical	5.9173	-1.5571	1.4550	1.7970	3.9069

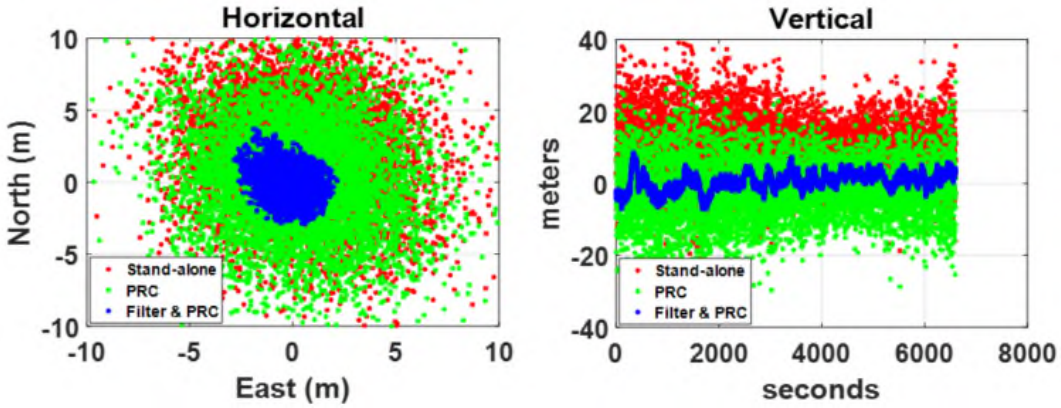


Fig. 4. Galaxy s8 test result.

Table 3. Galaxy s8 statistical result.

Statistical results		Max	Mean	STD	RMS	95%
Stand-alone	Horizontal	18.0593	2.0177	4.7849	5.1926	10.0188
	Vertical	40.4969	9.4934	8.4902	10.5572	23.9791
Apply PRC	Horizontal	16.6206	0.5094	4.7399	4.7669	9.3261
	Vertical	33.4391	-1.6713	8.3373	6.6852	16.8810
Apply filter & PRC	Horizontal	4.1565	0.3646	1.2487	1.3007	2.5438
	Vertical	8.5070	0.4946	2.5106	2.0572	4.8761

4. 결 론

안드로이드 N 스마트기기의 원시 측정치를 사용하면 수평으로는 Nexus 9은 4m 내외 Galaxy s8은 Galaxy s8은 5m 내외의 위치 정확도를 보이고, 수직으로는 두 기종 모두 10m 내외의 위치 정확도를 나타낸다. 여기에 의사거리 보정정보 적용과 측정치 스무딩 기법을 사용하면 두 기종 모두 수평 및 수직 정확도가 2m 수준으로 향상되는 것을 확인할 수 있다. 보정정보만 적용하면 측정치에 포함되어 있는 잡음 성분이 제거되지 않고 여전히 남아있기 때문에 사용자에게 제공할 위치 성능에 제한이 있을 수 있지만, 안드로이드 N에서 제공하는 반송파 측정치를 이용한 Hatch filter 기법을 통해 측정치에 포함된 잡음 성분을 제거한다면 보다 확실하게 위치 정확도를 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 LX국토정보공사 공간정보연구원의 연구비 지원(스마트폰 측정치 품질 분석 알고리즘 개발)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Google Android, [Internet], cited 2016, available from: http://gpsworld.com/google-opens-up-gnss-pseudoranges/
Google Android, [Internet], cited 2017, available from: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss.html
Shin, D.-H. & Park, B.-W. 2016, Study on the Development of DGNSS-CP Android Application, 2016 Korean GNSS Society Conference, 2-4 Nov. 2016, Jeju, Korea



[D1] 수신기와 안테나

GPS L2 신호추적 시뮬레이터 개발 및 결과 분석

김형필[1*], 정진호[2], 원종훈[1]
[1]인하대학교 전기공학과, [2](주)두시텍

Development of GPS L2 Signal Tracking Simulator and Analysis

Hyeong-Pil Kim[1*], Jin-Ho Jung[2], Jong-Hoon Won[1]
[1]Electrical Engineering, Inha University, [2]Dusitech Inc.

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : ajwlsfhtm264@gmail.com

Abstract: Global Positioning System (GPS) 에서 Anti-Spoofing 모드가 동작되면, L2 신호에 변조되어 있는 Precision (P) 코드는 W 코드에 의해 P(Y) 코드로 암호화된다. 따라서 W 코드 정보가 없는 사용자들은 L2 신호추적기술을 통해 이 코드의 영향을 제거해야만 이중주파 신호처리가 가능하며, 이를 위해서는 'Codeless 기법' 또는 'Semi-Codeless 기법'을 사용해야 하는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 Codeless 및 Semi-Codeless 기법 중 네 가지의 L2 신호추적기술을 소개하고, 이를 적용한 시뮬레이터의 개발 과정을 설명한다. 그리고 각 기법의 시뮬레이션에 따른 결과 값을 Stability Plot을 통하여, 이전의 연구결과로 제시된 이론적인 성능 값과 비교하고 그 결과를 분석한다.

Keywords: GPS L2 signal tracking technology, P(Y) code, codeless, semi-codeless

1. 서 론

Global Positioning System (GPS) 은 L1 및 L2 신호를 동시에 처리하여 하나의 신호만을 사용할 때보다 위치추적 성능을 개선한다. 그러나 GPS 에서 Anti-Spoofing 모드가 동작되면, Precision (P) 코드의 암호화 때문에 L2 신호의 위상 측정치 정보를 획득하지 못하여 수신기의 성능을 향상시키기 어렵다. 이때 L2 신호추적기술을 적용하면 암호화된 코드의 영향을 제거하고 위치추적 성능을 개선할 수 있다. 이 기술은 'Codeless 기법' 또는 'Semi-Codeless 기법'으로 분류되며, 대표적인 Codeless 기법에는 'L2 Squaring'과 'Cross-Correlation' 가 있고, Semi-Codeless 기법은 'Z-Tracking'과 'L2 Demodulation by Maximum A Posteriori (MAP)'가 있다 (Woo 2000, Kaplan & Hegarty 2006).

본 논문에서는 네 가지의 L2 신호추적기술을 소개하고, W 코드를 모르는 상황에서도 L2 신호의 위상 정보를 획득할 수 있는 것을 목표로 한 GPS L2 신호추적 시뮬레이터의 개발 과정을 설명한다. 그리고 시뮬레이터를 작동한 결과 값을 Stability Plot을 통해 도식화 하여 네 가지 기법의 성능을 비교한다. 이를 비교하는 기준은 L2 C/N_0 값에 따른 기법 별 Root-Mean-Square (RMS) 위상 오차의 크기로 정한다. 또한, 이전의 연구결과로 제시된 이론적인 성능 값과 Stability Plot을 비교하고 그 결과를 분석한다.

2. GPS L2 신호추적기술

2.1 L2 Codeless Techniques

L2 Codeless 기법은 P 코드를 알지못한 채, chip rate 정보만을 가지고 P(Y) 코드 영향을 제거하는 방식이다. 본 연구에서 다루는 L2 Codeless 기법에는 L2 Squaring 과 Cross-Correlation 이 있다.

L2 Squaring 기법은 P(Y) 코드 주파수 대역을 통과시키는 2개의 대역통과필터와 위상동기루프로 구성되며, L2 신호의 P(Y) 코드 영향을 제거하기 위한 동작으로 신호를 제곱한다. 구현이 쉬우나, 제곱을 했기 때문에 필터를 통과하는 노이즈 대역폭이 증가한다는 단점이 있다. 또한 출력 신호의 파장은 1/2배로 줄어들어 위치추적 성능의 저하를 유발하는 정수 모호성이 발생한다 (Ashjaee et al. 1990).

Cross-Correlation 기법은 3개의 대역통과필터와 위상동기루프로 구성되며, P(Y) 코드 영향을 제거하기 위한 동작으로 수신된 L1 신호와 L2 신호를 곱한다. 곱해서 생긴 L2-L1 주파수의 신호를 C/A 코드로 복원한 L1 신호 반송파와 곱하여 완전한 파장의 L2 출력 신호를 얻을 수 있으나, 대역폭이 넓어 노이즈 영향이 크고 이온 층 통과시 발생하는 L1 과 L2 신호의 수신 시간 차이를 완전히 제거하기 어렵다는 단점이 있다 (MacDoran et al. 1984).

2.2 L2 Semi-Codeless Techniques

L2 Semi-Codeless 기법은 암호화되지 않은 P 코드를 이용하여 수신기 입력 단에서 우선적으로 P 코드의 영향을 제거함으로써 Codeless 기법보다 나은 SNR 성능을 보인다. 본 연구에서는 Z-Tracking과 L2 Demodulation by MAP 을 다룬다.

Z-Tracking 기법은 Fig. 1 에서 블록 다이어그램으로 제시되었다. 복제 P 코드를 곱해주어 영향을 제거했기 때문에 신호의 대역폭은 W 코드의 대역폭인 약 1 MHz 로 줄어든다. 따라서 필터를 통과한 노이즈의 영향이 줄어드는 장점이 있다. 그리고 W-Rate integration & dump 필터를 통해 L1 신호 통로에서는 W 코드 비트의 부호를, L2 신호 통로에서는 증가된 세기의 신호를 출력함으로써 W 코드의 영향을 제거한다. Codeless 기법보다 크게 개선된 신호추적성능을 보이지만, W 코드의 비트 추정이 필터 출력의 부호에 기반한 단순한 방법이므로 최적의 성능을 제공하긴 어렵다 (Lorenz et al. 1992).

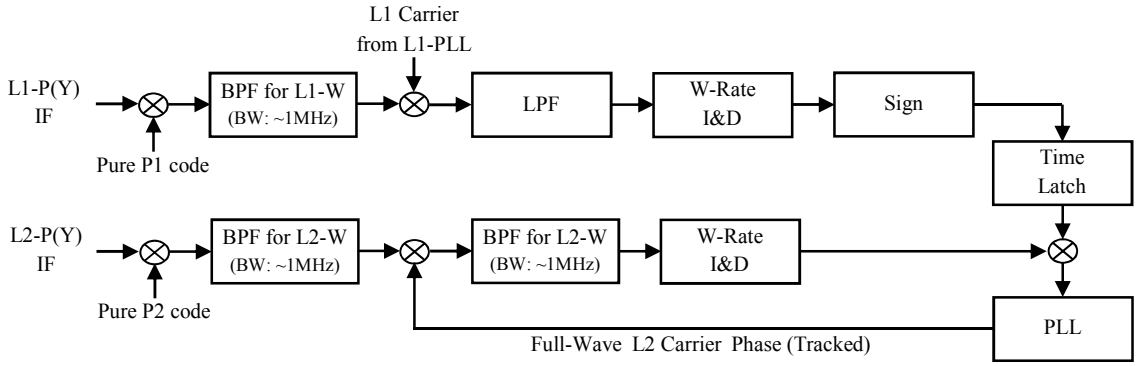


Fig. 1. Z-tracking technique block diagram.

L2 Demodulation by MAP 기법은 Fig. 2 에서 블록 다이어그램으로 제시되었다. 이 기법은 Z-Tracking 에 기반을 두지만, L1과 L2 신호의 조합을 고려하여 더 정확한 L2 신호 위상 정보를 찾아내는 MAP 추정기와 W chip duration의 불확실성을 줄일 수 있는 Costas-Loop를 사용함으로써 더 나은 신호추적성능을 제공한다. MAP 추정기는 W 코드가 임의의 비트 데이터를 가질 때 기저대역 신호 3개의 결합 확률 밀도 함수를 최대로 하는 L2 신호의 위상을 찾음으로써 얻어질 수 있다 (Woo 2000). 다른 기법들보다 복잡한 구조이며 연산을 더 많이 요하기 때문에, 시뮬레이터에서는 작은 값에 대해 tanh 함수를 선형 근사한 MAP 추정기를 적용하였다.

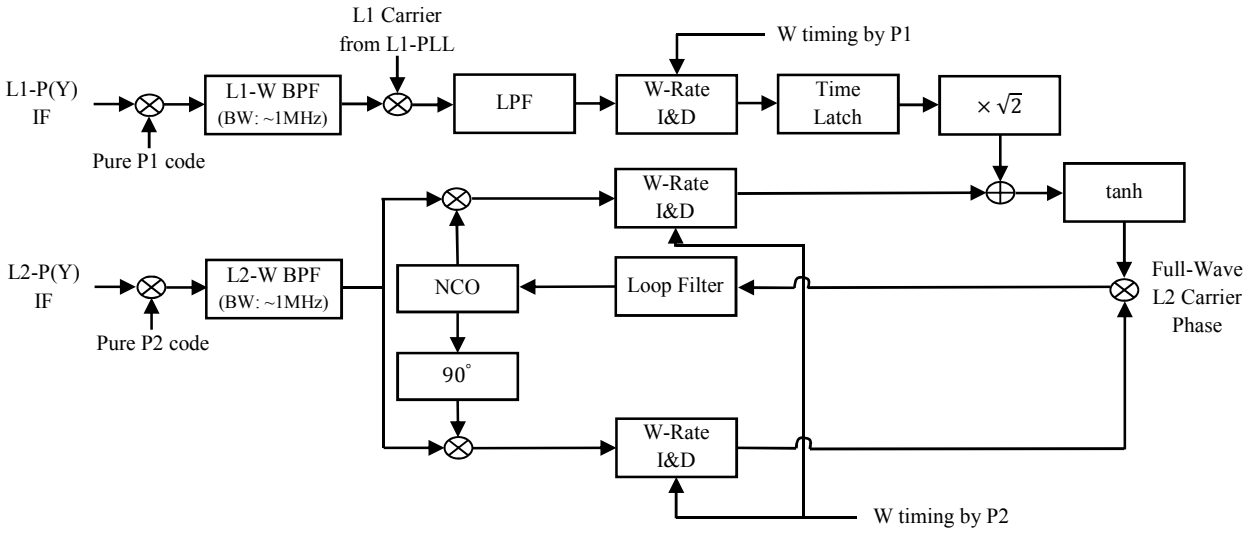


Fig. 2. L2 demodulation by maximum a posteriori technique block diagram.

3. GPS L2 신호추적 시뮬레이터 개발

시뮬레이터 개발 시 적용한 파라미터 설정 값들은 Table 1 에 정리하였다. User defined가 표기된 파라미터는 사용자가 직접 원하는 값으로 설정할 수 있다.

Table 1. Parameters of simulator.

Simulation parameters	Simulation values	Notes
Simulation time	30 seconds (running in 0 to 30)	User defined
L1-IF, L2-IF signal frequency	20.26 MHz, 28.12 MHz	
Chip-rate of C/A, P, W code	1.023 MHz, 10.23MHz, 511.5 KHz	
Sampling frequency	81.84 MHz	User defined
C/N_0 range	24 to 52 dB-Hz • 4 dB-Hz intervals	User defined
	• RF front-end noise bandwidth: 40 MHz	
L2 Doppler profile	15 to 75 Hz for 30 seconds • Initial L2 Doppler offset: 15Hz	User defined
	• Doppler rate: 2 Hz/s (increasing)	
Assumption	• Doppler offset difference between L1 and L2: 3Hz • Power ratio of L1/L2: 2 • Alignment of L1-P and L2-P code • W code is aligned with P code	
Simulation Tool	MATLAB R2017a	

3.1 L1 & L2 신호생성

L1 신호는 C/A 코드, P 코드 및 W 코드, 그리고 L2 신호는 P 코드와 W 코드를 포함하기 때문에 우선 한 개의 위성에 대한 코드를 생성했다. C/A 코드 및 P 코드 생성방법은 (CGSIC 2013)을 참고하였고, W 코드는 MATLAB의 randi 함수를 사용하여 임의로 +1, −1 값을 가진다 (Borio 2011). 그리고 총 32개의 GPS 위성을 구분할 수 있는 Pseudo Random Noise number를 적절한 shift에 따라 코드에 적용하여 Main 코드를 만들었다. 마지막으로, Table 1과 같이 위상이나 주파수 등의 파라미터들을 설정하여 Main 코드를 적용한 L1 & L2 신호를 생성하였다.

3.2 시뮬레이터 동작 Flow-chart

시뮬레이터는 Fig. 3 과 같은 순서로 동작한다. 샘플링 주파수는 81.84 MHz로 하여 시뮬레이션 루프의 시간 간격인 1ms 마다 81,840개의 L1 및 L2 신호 샘플을 생성하고 신호추적기법 동작을 실행한다. 신호추적기법은 앞서 설명한 것처럼 네 가지를 각각 적용할 수 있고, 위상동기루프를 통해 L2 신호로부터 위상 오차 및 도플러 오차 데이터를 획득한다. 그리고 30초로 설정한 시뮬레이션 동작이 끝나면, L2 신호 스펙트럼과 30초 동안 얻어진 위상 오차 · 도플러 · 도플러 오차 및 In-phase · Quadrature-phase 값을 도식화 하여 기법의 성능을 분석할 수 있다.

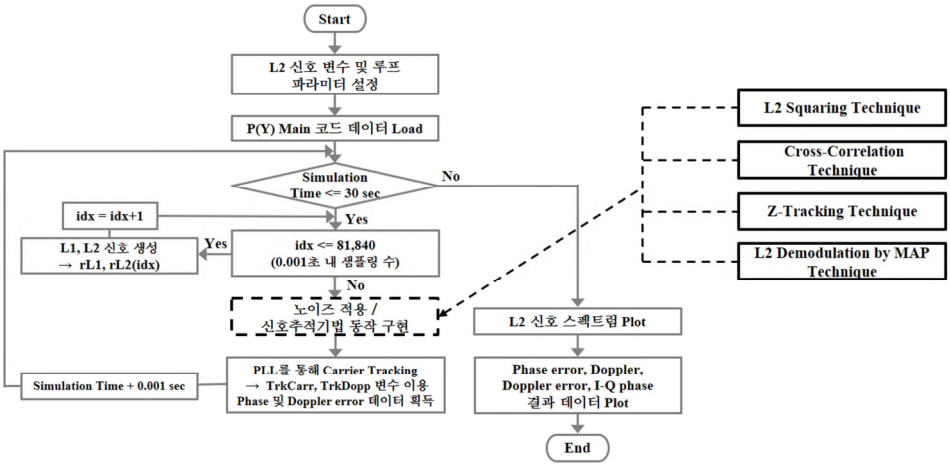


Fig. 3. Flow-chart of simulator operation with 4 techniques.

4. 시뮬레이션 결과 분석 및 고찰

시뮬레이터 작동 결과를 Fig. 4 와 같이 L2 C/N_0 값 범위에 따라 Stability Plot로 도식화 하여 네 가지 기법의 성능을 비교하였다. 실선은 시뮬레이션 결과이고, 점선은 (Woo 2000) 를 참고한 이론적인 결과이다. 실제 시뮬레이션 결과는 C/N_0 에 일정 수준의 바이어스를 보였으나, 이를 이후 일괄 차감하여 시뮬레이션 결과와 이론 값의 경향을 파악하여 비교하는 방식으로 분석을 수행하였다. 각 기법의 성능을 비교해

보면, 실선과 점선 모두에서 L2 Squaring – Cross-correlation – Z-tracking – L2 Demodulation by MAP 로 향상되는 순서가 동일하였다. 실선과 점선을 비교해보면, Z-tracking 기법은 시뮬레이션에서 성능이 조금 떨어진다. L1 과 L2 신호를 W-rate I&D 필터로 통과시킨 후 W 코드 영향을 제거하는 과정에서 더 정교한 연산이 필요할 것으로 보인다. 선형 근사한 MAP 추정기를 적용한 Approximate MAP 기법은 낮은 C/N_0 범위에서 시뮬레이션의 성능이 더 좋다. 실제 시뮬레이션에서는 기법마다 RMS 위상 오차 한계 값이 존재하여, 한계가 없는 이론 값보다 더 낮은 속도로 위상 오차가 증가하기 때문으로 사료된다.

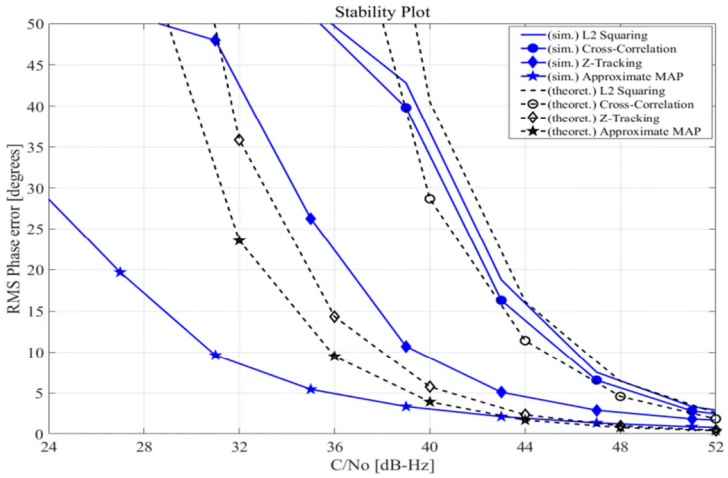


Fig. 4. Stability plot of 2 codeless and 2 semi-codeless techniques (solid line: simulation result, dotted line: theoretical result).

5. 결 론

본 연구에서는 W 코드로 암호화된 L2 신호를 추적하여 위상 정보를 획득할 수 있는 것을 목표로 한 GPS L2 신호추적 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터에는 총 네 가지의 L2 Codeless & Semi-Codeless 기법을 적용하였으며, 이를 동작 시켜 얻은 각 기법 별 신호추적성능은 Stability Plot을 통해 비교하였다. 시뮬레이터는 C/N_0 값의 증가에 따라 P(Y) 코드를 가진 L2 신호를 잘 추적하였으며, 신호추적기법이 고도화될수록 성능이 개선되는 것을 확인했다. 테스트 결과 값과 이론 값을 비교하였을 때, C/N_0 에 대한 일정 바이어스를 보상하고 Z-Tracking 의 성능을 개선하는 시뮬레이터 수정이 일부 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부가 지원한 '우주핵심기술개발사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제번호: 2015M1A3A3A03027531].

REFERENCES

Ashjaee, J., Helkey, R. J., Lorenz, R. G., & Sutherland, R. A. 1990, Global Positioning System Receiver with Improved Radio Frequency and Digital Processing, U. S. Patent No. 4,928,106

Borio, D. 2011, Squaring and Cross-Correlation Codeless Tracking: Analysis and Generalisation, IET Radar Sonar & Navigation, 5, 958-969. https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2011.0235

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. (Boston: Artech House Inc.)

Lorenz, R. G., Helkey, R. J., & Abadi, K. K. 1992, Global Positioning System Receiver Digital Processing Technique, U. S. Patent No. 5,134,407

MacDoran, P. F., Miller, R. B., Buennagel, L. A., Fliegel, H. F., & Tanida, L. 1984, Codeless GPS Systems for Positioning of Offshore Platforms and 3D Seismic Surveys, Journal of The Institute of Navigation, 31, 57-69. https://doi.org/10.1002/j.2161-4296.1984.tb00862.x

The Civil Global Positioning System Service Interface Committee(CGSIC). 2013, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces (IS-GPS-200H)

Woo, K. T. 2000, Optimum Semi-Codeless Carrier Phase Tracking of L2, Journal of The Institute of Navigation, 47, 82-99. http://dx.doi.org/10.1002/j.2161-4296.2000.tb00204.x

GNSS RF 신호 기록 및 재생시스템 설계

박귀우[1], 이민준[2], 박찬식[1]
[1]충북대학교 제어로봇공학과, [2]국방과학연구소

Design of a GNSS RF Record and Playback System

Kwi Woo Park[1], Min Joon Lee[2], Chansik Park[1]
[1]Dept. of Control and Robotics Eng. Chungbuk National University, [2]Agency for Defense Development

주소 : 충북대학교 제어로봇공학과
연락처 : 043-261-3259 이메일 : zumbox@naver.com

Abstract: 본 논문에서는 USRP를 활용하여 GNSS RF 신호를 기록하고 재생할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 범용시스템인 USRP의 특성을 고려하여 외부에 저 잡음 증폭기와, Bias-T 등을 추가하여 하드웨어를 구성하였고, 신호 재생 시 발생할 수 있는 잡음의 영향을 고려하여 각 USRP의 이득 및 감쇄를 결정하였다. USRP를 제어하기 위하여 PC에서 동작하는 신호 기록 및 재생 소프트웨어를 구현하였다. 제작된 시스템을 활용하여 실제 GNSS 신호를 수신 및 기록하고 기록된 신호를 다시 재생하는 실험을 수행하였다. 그 결과 두 신호는 약 2dB의 전력차이를 보였으며 각 위성 신호의 C/N0는 약 0.5dB의 오차가 발생됨을 확인하였다. 그리고 도플러 주파수 오차는 약 756Hz로 모든 위성신호에 동일하게 발생함을 확인하였다. 향후 본 논문에서 설계한 신호 기록 및 재생 시스템은 다양한 GNSS 수신 알고리즘 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: GNSS, signal record, playback, USRP

1. 서 론

위성항법신호 수신기술을 개발하는 과정에서 RF 신호를 기록하고 재생할 수 있는 시스템은 매우 유용하게 사용될 수 있다. 특수한 상황에서 기록된 RF 신호를 재생함으로써 반복적인 실험이 가능하고, 실내에서 알고리즘 개발 및 평가가 가능해진다(Ilie et al. 2015). L-band에 존재하는 GNSS RF 신호를 디스크에 저장하기 위해서는 IF 또는 기저대역으로 변환하고 Analog to Digital Convertor(ADC)를 통해 디지털 신호로 변환해야 한다. 이 과정은 Super-heterodyne형태의 수신기 설계와 유사하다. 신호를 재생하는 것은 저장된 IF 디지털 신호를 Digital to Analog Convertor(DAC)를 통해 아날로그 신호로 변환하고 다시 RF 대역으로 상향 변환하는 과정이 필요하다. 이 과정에서 신호에는 추가적인 잡음이 포함되고 ADC, DAC, 주파수 변조에 의한 신호손실 및 간섭이 발생할 수 있다. 신호 기록 및 재생 시스템은 기록할 때 수신한 실제 신호의 특성과 같은 신호를 재생하는 것이 중요하기 때문에 잡음에 의한 열화를 고려하여 설계해야 한다(Di et al. 2012, Ilie et al. 2015).

Universal Software Radio Peripheral USRP)는 증폭기, 주파수 하향 변환기, ADC를 이용하여 아날로그 RF 신호를 디지털 IF 신호로 수신하는 기능과 주파수 상향 변환기, DAC를 이용하여 디지털 IF 신호를 RF 아날로그 신호로 송신하는 기능을 지원한다. 또한 USRP를 구성하는 ADC, DAC, 증폭기, 주파수 변조기는 이득, 하향 주파수, 표본화 주파수 등을 가변할 수 있기 때문에 추가적인 하드웨어 개발 없이 다양한 송신 및 수신 시스템을 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 USRP를 GNSS Software Defined Radio(SDR)의 RF Front-end로 활용하는 사례가 증가함하고 있다(Di et al. 2012, Park et al. 2016). USRP를 통해 변환된 GNSS IF 디지털 신호를 다시 USRP의 송신기능을 통해 아날로그 RF 신호로 변환 및 송출 할 수 있다면, 복잡한 개발과정 없이 GNSS RF 신호 기록 및 재생시스템을 구현할 수 있다. 본 논문에서는 USRP를 이용하여 GNSS RF 신호를 기록 및 재생할 수 있는 송수신 시스템을 설계 및 구현하였다. 구현한 신호 기록 및 재생장치의 성능을 평가하기 위하여 실제 신호의 전력과 재생된 신호를 수신했을 때 전력을 비교하였으며 GNSS SDR을 이용하여 각 위성신호의 Carrier to Noise Ratio(C/N0), 도플러 주파수, 코드추적 오차의 분산을 측정 및 확인하였다.

2. USRP를 이용한 시스템 구성

USRP를 이용한 신호기록 및 재생 시스템은 Fig. 1과 같이 구성된다. 대부분의 GNSS 안테나는 Active 형태를 사용하기 때문에 입력된 신호에는 5v만큼의 오프셋이 존재한다. USRP는 다양한 통신시스템에 사용할 수 있는 범용장치이기 때문에 Active 안테나를 지원하지 않는다. 따라서 5v의 오프셋 제거를 위한 Bias-T가 필요하다. 전체 시스템의 Noise Figure(NF)를 낮추기 위해서는 첫 번째 증폭기의 NF가 낮을수록

좋다. USRP의 증폭기 외에 추가로 2dB 미만의 NF를 갖는 Low Noise Amplifier(LNA)를 사용하면 전체 NF는 3dB 미만이 된다(Tsui 2005). 안테나를 포함한 외부 RF소자의 출력은 수신용 USRP에 입력된다. GNSS의 RF 신호를 입력 받아 IF 디지털 신호로 변환하는 기능을 수행하게 된다.

USRP내부는 증폭기, 주파수 변조기, ADC 또는 DAC, 그리고 대역통과 필터로 구성된다. 사용자는 대역통과 필터를 제외한 USRP의 나머지 소자의 파라미터를 제어할 수 있다. 증폭기의 경우 이득을 0 ~ 31.5dB까지 조절이 가능하다(Park et al. 2016, Ettus 2017). USRP의 수신부에는 주파수 하향 변환기가 있으며 내부의 혼합기와 연결된 Local Oscillator(LO)의 주파수를 조절함으로써 입력된 RF 주파수 신호를 사용자가 원하는 IF 주파수로 변조할 수 있다. ADC는 IF 주파수로 변조된 신호를 디지털 신호로 변환한다. 이때 사용자는 표본화 주파수를 제어할 수 있다. 선택 가능한 표본화 주파수는 USRP의 동작 주파수와 관련이 있으며 200MHz로 동작 시 10Msps, 20Msps, 40Msps, 50Msps 등을 선택할 수 있다(Park et al. 2016). USRP X310의 경우 양자화 비트는 14bit로 고정되어 사용자가 변경할 수 없다(Ettus 2017).

디지털 신호로 변환된 GNSS 신호 데이터는 Ethernet을 통해 PC로 전송된다. PC에는 신호기록 소프트웨어, GNSS SDR, 신호재생 소프트웨어 등 총 3가지의 소프트웨어가 동작한다. PC의 신호기록 소프트웨어는 수신용 USRP의 파라미터를 제어, 신호 데이터 획득, 획득한 신호데이터 기록을 수행한다. 이때 디지털 GNSS IF 신호는 SSD로 구성된 디스크에 I-phase 신호와 Q-phase 신호를 각각 저장한다. Ethernet을 통해 PC로 전송된 신호데이터는 GNSS SDR에도 입력되어 C/N0, 도플러 주파수, 코드추적 정보, 위치 결과 등 수신결과를 출력한다. 마지막으로 신호재생 소프트웨어는 디스크로부터 저장된 신호 데이터를 읽어 USRP로 전달하는 기능과 사용자가 원하는 RF 대역으로 신호를 송출 할 수 있도록 USRP를 제어하는 기능을 수행한다. USRP로 신호를 전달할 때도 Ethernet을 사용하며 데이터 송신 및 수신을 실시간으로 수행할 수 있도록 10Gbit대역폭의 Ethernet을 사용한다.

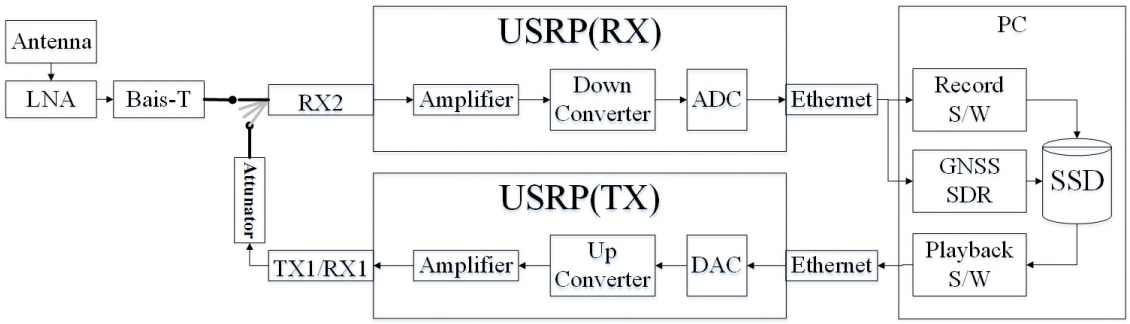


Fig. 1. A Configuration of GNSS signal record and playback system.

재생 소프트웨어로부터 신호데이터를 전달받은 USRP 송신부는 DAC를 통해 저장된 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환한다. 변환된 신호는 주파수 상향변환기를 거쳐 RF 주파수로 변조된다. 이때 사용자는 상향 변환기의 LO 주파수를 변경 함으로써 기록된 신호를 다른 대역의 RF로 송출하는 것도 가능하다. RF 주파수로 상향된 GNSS 신호는 TX1포트를 통해 송출된다. 이 과정에서 디지털 신호에는 추가적인 잡음이 포함될 수 있다. 이 영향을 최소화 하기 위해서는 디스크에서 읽어온 신호데이터를 증폭하여 전달하는 방법이 있다. 그리고 기존에 기록된 신호와 같은 전력을 갖도록 신호 송출 시 감쇄기를 추가로 활용한다. 이와 같이 USRP를 활용하면 별도의 하드웨어 설계 및 개발 없이 신호 기록 및 재생 시스템 구현이 가능하다. 다음 장에서는 GNSS 신호 기록 및 재생을 위한 각 요소의 파라미터 결정에 대하여 서술한다.

3. GNSS 신호 기록 및 재생을 위한 USRP 파라미터 결정

1575.42MHz를 중심으로 서비스되는 GPS L1 C/A는 최소 2MHz의 대역폭을 요구한다. USRP에서 GPS L1 C/A 신호를 수신하기 위해서는 GPS L1 C/A 신호를 수 MHz의 IF로 변환해야 한다. 이때 USRP에서 사용할 수 있는 최대 표본화 주파수가 200Msps임을 고려하면 100MHz의 IF까지 사용이 가능하다. 그러나 표본화 주파수가 50Msps 이상일 경우 데이터 전송에 높은 대역폭을 요구하여 PC로 원활히 데이터를 전송하기 어렵다. 따라서 표본화 주파수를 20Msps로 결정하고 IF와 약 4배의 차이를 유지할 수 있도록 GPS IF를 4.58MHz로 설계하였다. 이를 위해서는 LO 주파수가 1580MHz로 설정되어야 한다.

USRP의 증폭기 이득을 결정하는 것은 매우 중요하다. USRP에는 특정 시스템을 위한 AGC(Analog Gain Control)가 없기 때문에 GNSS 신호의 전력과 ADC의 성능에 맞춰 이득을 결정해야 한다. 일반적으로

알려진 GNSS 신호의 전력은 -130dBm이다(Tsui 2005). 이때 잡음은 열 잡음만 고려했을 때 -110dBm으로 알려져 있다(Tsui 2005). 한편 USRP ADC는 1vpp의 신호를 14bit로 표현한다. 그러므로 최하위 한 비트는 0.061mv의 전압을 표현하게 된다. 이 값은 USRP에서 1bit 이상으로 신호를 표현하기 위해서는 최소 -80dBm이상의 신호전력이 요구됨을 의미한다. 본 논문에서는 GNSS 신호를 최소 4bit 이상의 해상도로 표현할 수 있도록 -60dBm의 전력을 갖도록 이득을 결정하였다. 이때 USRP 외부의 LNA와 Bias-T에 의해 총 49dB의 이득을 갖고 있으므로 USRP의 증폭기는 3.5dB로 설정한다.

기록된 신호를 기존에 수신했던 RF 주파수로 다시 재생할 경우 GNSS 신호 재생을 위한 USRP의 설정은 수신 USRP의 설정과 동일하다. 만약 GPS L1 C/A 신호를 1575.42MHz가 아닌 다른 대역의 주파수로 송출할 경우 LO 주파수를 변경하면 된다. 신호 송출 시 신호는 30dB 감쇄되어 송출한다. 디지털 신호를 USRP로 전달하기 전에 30dB만큼 증폭하여 전달하기 때문이다. 그러나 디지털 신호를 30dB만큼 증폭하고 -30dB만큼 감쇄하면 실제 수신했던 전력을 그래도 재현하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 두 차이를 실험적으로 확인하고 USRP 송출부의 이득을 7dB로 설정하였다. 신호기록 및 재생을 위한 USRP의 각 설정은 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Parameters of USRP for GNSS signal record and playback.

Parameters for record		Parameters for playback	
Sampling rate [Msps]	20	Sampling rate [Msps]	20
LO freq.[MHz]	1580	LO freq.[MHz]	1580
GPS IF [MHz]	4.58	GPS IF [MHz]	4.58
Gain [dB]	3.5	Gain [dB]	7
Bit Length	14	Bit Length	16
		Attenuator [dB]	30

4. 실험 및 분석

2017년 9월 19일 충북대학교 옥상에 설치된 안테나로부터 GNSS 신호를 받아 약 10분간 저장하였다. 저장된 신호는 다시 재생 소프트웨어를 활용하여 USRP로 RF 신호를 송출하고, 이 신호를 다시 기록 소프트웨어와 USRP로 수신하여 신호 데이터 및 GNSS SDR의 측정치를 저장하였다. 신호 재생 시스템은 실제로 받은 신호의 전력을 그대로 재현하는 것이 중요하다. 이를 확인하기 위하여 저장된 두 신호의 전력과 히스토그램을 비교하였다. 두 신호의 히스토그램은 Fig. 2와 같다. 왼쪽 그림이 실제 신호의 히스토그램이며 오른쪽 히스토그램이 재생된 신호를 다시 수신한 결과이다. 두 신호 모두 유사한 형태의 분포가 나타남을 알 수 있다. 이때 재생된 신호의 전력은 -62.72dBm이고 실제 신호의 전력이 -60.62dBm으로 측정되어 약 2dB 오차가 발생하였다.

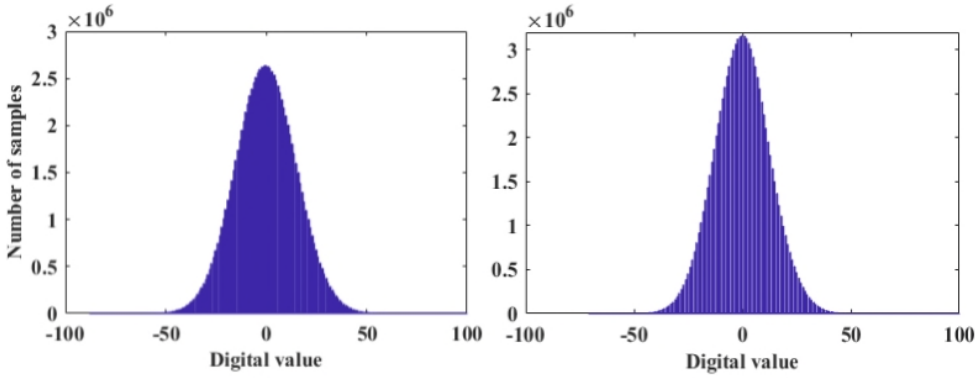


Fig. 2. Histograms of digital signal of live signal (left) and playback signal (right).

신호재생 시스템은 이미 잡음이 포함된 디지털 신호를 다시 송출하고, 또 이 신호를 다시 수신하는 과정을 거치기 때문에 추가적인 잡음이 중첩된다. 따라서 잡음에 의한 신호의 열화가 예상된다. 이를 확인할 수 있는 지표로 C/N0와 코드 추적 에러가 적합하다(Ilie et al. 2015). 또한 주파수 하향 및 상향 변조를 거치는 과정에서 주파수 오차가 발생할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 도플러 주파수를 측정하였다. 3가지 측정치는 GNSS SDR를 활용하여 1초 간격으로 각 위성 별로 측정하였다.

실제 신호와 재생된 신호는 동일하게 총 9개의 GPS L1 C/A 위성신호를 수신하였으며 각각의 측정치는 Table 2에 정리하였다. 실제 신호를 수신했을 때 각 위성신호의 C/N0와 재생신호를 이용해

수신한 C/N0를 비교하면 3번 위성을 제외하고 실제 신호의 측정치가 약 0.5dB 높게 측정됨을 알 수 있다. 또한 코드 추적오차의 분산을 보면 3번과 16번 위성을 제외하고 12% 이상 성능이 열화 됨을 알 수 있다. 잡음이 중첩되어 신호의 질이 열화 되었음에도 0.5dB 미만의 차이로 실제 신호와 유사하게 생성됨을 확인하였다.

Table 2. Performance comparisons of live signal and playback signal.

PRN No.	Live signal			Playback signal		
	C/N0 [dB-Hz]	Doppler [Hz]	Code error variance[rad]	C/N0 [dB-Hz]	Doppler [Hz]	Code error variance[rad]
3	34.03	411	0.012	34.38	1171	0.0046
14	47.71	-889	0.0007	47.06	-131.6	0.0011
16	44.62	3537	0.0015	44.09	4294	0.0015
23	41.75	4278	0.0027	41.56	5022	0.0045
25	41.90	-2565	0.0028	41.38	-1806	0.0033
26	51.52	1996	0.0004	50.61	2756	0.0007
29	49.40	-370	0.0005	48.63	388	0.0007
31	51.45	701	0.0004	50.51	1461	0.0005
32	48.21	-2152	0.0007	47.60	-1396	0.0008

실제 신호와 재생된 신호의 도플러 주파수 측정치를 비교하면 평균 -756Hz의 오차가 나타남을 알 수 있다. 두 신호의 도플러 측정치가 상수에 가깝게 차이가 발생하는 것은 두 가지 원인으로 볼 수 있다. 첫 번째는 USRP의 주파수 상향변환 및 하향변환 시 설정된 주파수에 오차가 발생한 것이다. 두 번째는 USPR의 내부 clock 성능 및 두 USRP 간의 시계 오차에 의해 발생된 주파수 오차로 분석할 수 있다. 이 오차는 향후 동일한 기준 clock을 USRP에 인가함으로써 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 USRP를 활용하여 GNSS RF 신호를 기록하고 재생할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 먼저 범용으로 사용되는 USRP의 특성을 고려하여 외부 LNA, Bias-T 등을 추가하여 하드웨어를 구성하였고, 신호 재생 시 발생할 수 있는 잡음의 영향을 고려하여 각 USRP의 이득 및 감쇄를 결정하였다. 그리고 PC에 신호 기록 및 재생 소프트웨어를 구현함으로써 USRP를 제어하고 신호를 기록 및 재생할 수 있는 시스템을 제작하였다. 제작된 시스템을 활용하여 실제 GNSS 신호를 수신 및 기록하고 기록된 신호를 다시 재생하는 실험을 수행하였다. 그 결과 두 신호는 약 2dB의 전력차이를 보였으며 각 위성 신호의 C/N0는 약 0.5dB의 오차가 발생하여 실제 신호와 재생신호가 유사하게 생성되었음을 확인하였다. 향후 도플러 주파수 오차를 보완할 수 있다면 설계한 신호 기록 및 재생 시스템은 다양한 GNSS 수신 알고리즘 연구에 적극 활용 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화센터사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Di, R., Peng, S., Taylor, S., & Morton, Y. 2012, A USRP-based GNSS and interference signal generator and playback system, in Position Location and Navigation Symposium, 2012 IEEE/ION , 23-26 April 2012, Myrtle Beach, SC, USA, pp.470-478. https://doi.org/10.1109/PLANS.2012.6236916

Ettus 2017, [Internet], cited 2017 April 13, available from: https://kb.ettus.com/UHD

Ilie, I., Hini, R., Cardinal, J. S., Blood, P., & France, P. 2015, Record and Playback System for GNSS: Real Performances for Real Applications, Averna, Montreal, Quebec, Canada, pp.1-10.

Park, K. W., Choi, Y. S., Lee, M. J., Lee, S. J. & Park, C. 2016, Implementation and Performance Analysis of Multi-GNSS Signal Collection System using Single USRP, JPNT, 5, 11-20. https://doi.org/10.11003/JPNT.2016.5.1.011

Tsui, J. B. 2005, Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach, vol. 173 (New York: John Wiley & Sons)

배열안테나 소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘 성능 분석

조광희[1], 최윤섭[1], 김준오[1,2], 이상정[1*]
[1]충남대학교 전자공학과, [2]국방과학연구소

Performance Analysis of MVDR Algorithm According to Spacing of Array Antenna

Gwang-Hee Jo[1], Yun-Sub Choi[1], Jun-o Kim[1,2], Sang-Jeong Lee[1*]
[1]Electronic Engineering, Chungnam National University, [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 공대 2 호관 477 호
연락처 : 042-825-3991 이메일 : eesjl@cnu.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 안테나 크기에 영향을 미치는 배열안테나의 소자 간격에 따른 Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) 알고리즘의 성능 변화를 비교한다. GPS 위성 한 대를 배치하고 재머의 입사방향이 위성 신호의 입사방향과 동일한 앙각에 위치할 때 방위각 차이를 1도부터 30도까지 1도 간격으로 배치하고 성능 변화를 분석했다. 배열안테나는 3개의 소자를 원형으로 배치하고 기준 소자를 그 중앙에 배치해 총 4개의 소자를 사용했다. 또한 각 소자가 이상적인 경우와 상호결합이 반영된 두 가지 경우를 가정하고 비교했다. 이때 위성과 재머의 사이각, 재밍신호 대 신호 비율(JSR, Jamming to Signal Ratio)에 따른 재밍 제거 성능을 비교하기 위해 형성된 방사 패턴에서 위성 신호 입사 방향과 재머 입사 방향에 대한 이득을 비교한다.

Keywords: MVDR algorithm, array antenna size reduction, anti-jamming, jamming mitigation

1. 서 론

GPS는 전 세계에 위치한 사용자에게 정확하고, 연속적인 3차원 위치, 속도 정보를 제공하여 민간용 뿐만 아니라 군용으로도 많이 사용되고 있다. 재머는 GPS 수신기에서 신호 획득과 추적에 영향을 주는 신호 대 잡음비를 떨어뜨린다. 그리고 수신기의 코드 추적 정확도에 영향을 주기 때문에 의사거리 측정치와 항법의 정확도가 낮아지게 된다. 그래서 항재밍 기술이 필요하다. 현재까지 다양한 항재밍 기술이 연구되었으며 그 중 배열안테나를 사용한 신호처리가 효과적이라고 알려져 있다. 원하는 신호의 입사 방향으로 빔 패턴을 형성해서 수신 전력을 향상 시키거나 원치 않는 신호의 입사방향으로 널 패턴을 형성해서 수신 전력을 낮춘다. 그러므로 수신하는 신호 중 원하는 수신 신호의 SNR을 최대화 하는 반면에 간섭 제거 이득으로 수신 신호 중 간섭을 받는 경로 신호에 감쇠를 준다. 배열안테나 시스템은 각각의 안테나 소자로 수신한 신호에 대해 소자 수만큼의 가중치를 계산하고, 입력 신호와 가중치 각각을 곱한 결과를 더해 수신기로 입력될 출력을 생성한다 이러한 가중치를 결정하기 위한 알고리즘 중 Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) 알고리즘은 위성신호의 입사 방향에는 단일 이득을 만들지만 배열안테나 시스템의 출력 전력을 최소화하는 가중치를 결정하고 재밍의 영향을 감쇠시킨다. 그러나 배열안테나를 사용할 경우 여러 개의 소자를 사용하므로 전체 안테나의 크기가 커진다. 시스템의 크기가 제한되는 응용에서는 사용이 제한될 수 있다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위해서는 배열안테나의 크기를 줄일 필요가 있다. 배열 안테나의 크기를 줄이는 방법 중에서는 각 소자의 간격을 줄이는 것이 가장 효과적이다. 그러므로 본 논문에서는 안테나 크기에 영향을 미치는 배열안테나의 소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘의 성능 변화를 비교한다. GPS 위성 한 대를 배치하고 재머의 입사방향이 위성 신호의 입사방향과 동일한 앙각에 위치할 때 방위각 차이를 1도부터 30도까지 1도 간격으로 배치하고 성능 변화를 분석했다. 배열안테나는 3개의 소자를 원형으로 배치하고 기준 소자를 그 중앙에 배치해 총 4개의 소자를 사용했다. 또한 각 소자가 이상적인 경우와 상호결합이 반영된 두 가지 경우를 가정하고 비교했다. 이때 위성과 재머의 사이각, 재밍신호 대 신호 비율(JSR, Jamming to Signal Ratio)에 따른 재밍 제거 성능을 비교하기 위해 형성된 방사 패턴에서 위성 신호 입사 방향과 재머 입사 방향에 대한 이득을 비교한다.

2. 배열안테나 신호처리 기법

N개의 소자 수를 갖는 배열안테나 시스템을 가정하면 복소 가중치를 적용하기 위해 각 소자로 입사한

신호를 동 위상과 직각 위상 채널의 복소 신호로 다운 컨버전하고, 복소가중치를 적용해 신호의 크기와 위상을 조절하여 이들의 합을 출력한다.

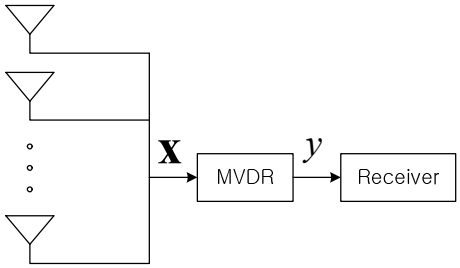


Fig. 1. Array antenna system model.

2.1 시스템 모델

배열안테나 시스템은 Fig. 1과 같다. 각각의 안테나 소자로 들어온 신호를 벡터로 표현하면 식(1)과 같고, $[\bullet]^T$는 전치행렬을 의미한다.

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \mathrm{L} & x_{N-1} & x_N \end{bmatrix}^T \tag{1}$$

L1대역을 사용하는 GPS C/A 코드를 수신하여 조향벡터를 구하고 각각의 안테나에서 수신한 신호의 가중치를 결정한다. 각각의 안테나 소자에서 입력된 신호와 가중치를 곱하여 수신기 입력 신호 y를 구한다.

$$y = \mathbf{w}^H \mathbf{x} \tag{2}$$

2.2 가중치 결정 기법

가중치 결정기법으로는 MVDR 알고리즘을 사용한다. MVDR 알고리즘은 위성 신호의 입사방향에 대해 단위이득을 갖도록 하며 배열안테나 출력전력을 최소화시키는 알고리즘으로 다음 조건 2개를 만족하는 $\mathbf{w}$(가중치)를 도출한다 (Lu & He 1993, Bell et al. 2000, Godara 2004, Kaplan & Hegarty 2005, Zheng 2008, Balasem et al. 2011).

$$\min_{w} \left\{ \mathbf{w}^H R \mathbf{w} \right\} \tag{3}$$

$$\text{such that } \mathbf{w}^H \mathbf{a} = 1 \tag{4}$$

식 (3), (4)를 만족하는 해를 구하기 위해 라그랑주 승수법을 이용하여 제한조건이 포함된 비용함수를 생성할 수 있다.

$$J(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \mathbf{w}^H R \mathbf{w} + \lambda \left(\mathbf{w}^H \mathbf{a} - 1 \right) \tag{5}$$

위 식을 계산하면 최적가중치를 식 (6)과 같이 구할 수 있으며, 알고리즘의 출력은 식 (2)과 같다.

$$w_{opt} = \frac{R^{-1}\mathbf{a}}{\mathbf{a}^H R^{-1} \mathbf{a}} \tag{6}$$

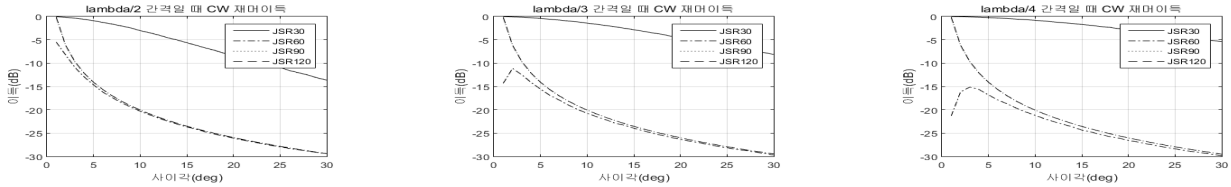
3. 성능분석

3.1 시뮬레이션 환경

소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘 성능 비교는 MATLAB을 이용하여 진행하였다. 안테나는 원형

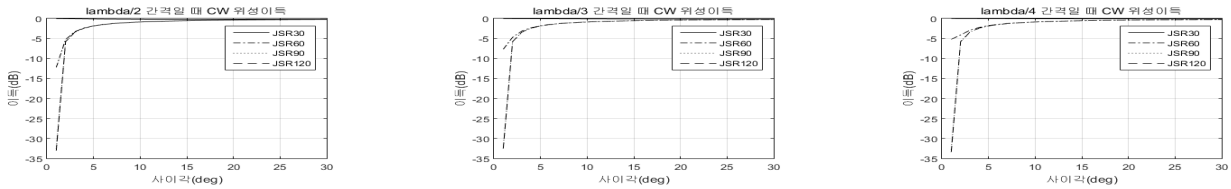
배열안테나로 소자 간격이 $\lambda/2$, $\lambda/3$, $\lambda/4$인 세 경우를 가정하였다. GPS 위성은 한 대만 배치하고 L1대역 신호를 송신한다. 재머는 지속파로 가정하였다. 재머의 입사방향은 위성 신호의 입사방향과 방위각 차이가 1도부터 30도가 될 때까지 1도 간격으로 배치하였다. 재밍신호 대 신호 비율(JSR)은 30dB부터 120dB까지 30dB간격으로 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과



(a) lambda/2 (b) lambda/3 (c) lambda/4

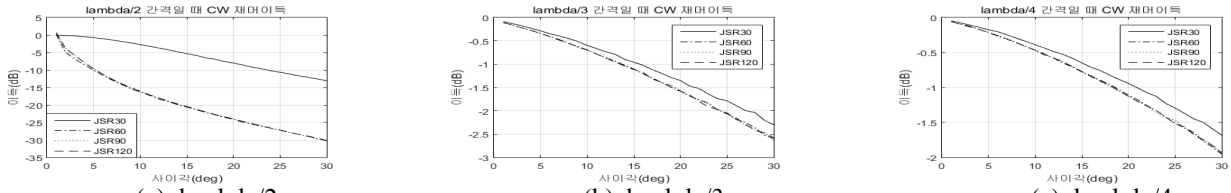
Fig. 2. Jammer gain with ideal antenna element.



(a) lambda/2 (b) lambda/3 (c)lambda/4

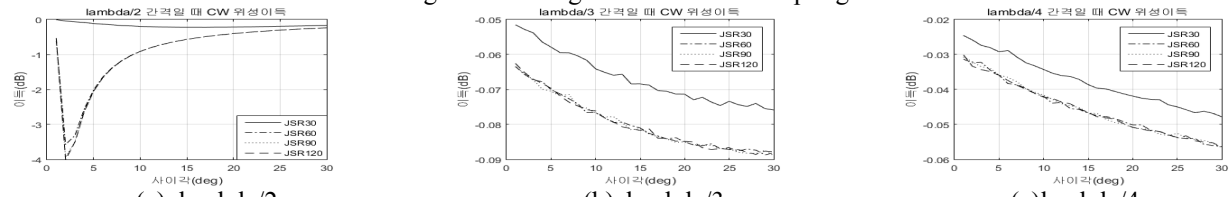
Fig. 3. SV gain with ideal antenna element.

Fig. 2와 3은 이상적인 소자를 사용하였을 때 위성과 재머 이득을 소자 간격별로 나타낸 것이다. 재밍 세기가 잡음과 비슷하여 영향이 거의 없는 JSR 30dB를 제외한 다른 경우에서는 재밍을 충분히 감쇠시키고 위성신호를 수신할 수 있다. Fig. 2를 보면 4°에서 재머 이득 -10dB로 충분히 재밍의 영향을 줄일 수 있다. 그리고 Fig. 3에서 위성이득이 -1dB이상으로 큰 변화를 보이지 않기 시작하는 사이각은 9°이다. 그러므로 위성 신호와 재밍의 입사각의 차이가 9°이상이면 재밍을 충분히 제거할 수 있다.



(a) lambda/2 (b) lambda/3 (c) lambda/4

Fig. 4. Jammer gain with mutual coupling.



(a) lambda/2 (b) lambda/3 (c)lambda/4

Fig. 5. SV Gain with mutual coupling.

Fig. 4와 5는 상호결합이 반영된 소자를 사용하였을 때의 결과를 보여주고 있다. 상호결합이 반영되었을 때 재머 이득이 -10dB이하로 되는 소자 간격은 $\lambda/2$ 밖에 없다. $\lambda/3$와 $\lambda/4$에서는 위성 이득이 0dB 근처에서 크게 변하지 않았지만 소자 간격이 줄면서 상호결합이 증가한 결과로 재머 이득 역시 크게 변하지 않았다. 소자 간격이 $\lambda/2$일 때 위성신호와 재밍의 입사각 차이가 6°이상이면 재머 이득은 -10dB이하로 낮아지고, 10°이상일 때 위성 이득은 -1dB 이상으로 된다. 이상적인 소자를 사용하였을 때와 유사하게 10°이상에서 재밍의 영향을 충분히 제거할 수 있다. 소자 간격이 $\lambda/3$, $\lambda/4$일 때는 위성과 재머 이득이 모두 0dB근처에서 머무르는 것으로 보아 재밍을 제거하는 성능이 현저하게 저하된 것으로 나타난다. 그러므로 소자 간격이 감소하고 상호결합이 증가함으로써 알고리즘 성능에 영향을 크게 미친다는 점을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 소자 간격에 따른 MVDR 알고리즘의 성능을 비교하였다. 소자 간격이 $\lambda/2$이고 JSR이 30dB보다 클 때 위성과 재머의 사이각이 10°이상이면 이상적인 소자뿐만 아니라 상호결합이 반영된 소자를 사용하였을 때도 재밍 제거가 가능하다. 소자 간격이 $\lambda/3$, $\lambda/4$로 작아졌을 경우에는 이상적인 소자일 때 재밍제거에 성공하였으나, 상호결합이 반영될 때 위성 이득뿐만 아니라 재머 이득 또한 0dB 근처로 재밍제거에 실패하였다. MVDR 알고리즘은 일반적으로 많이 사용하는 반파장 간격 배열안테나에서 가장 우수한 성능을 보여준다는 것을 확인하였다.

REFERENCES

Balasem, S., Tiong, S., & Koh, S. 2011, Beamforming Algorithms Technique by Using MVDR and LCMV. World Applied Programming, 2, 315-324.

Bell, K. L., Ephraim, Y., & Van Trees, H. L. 2000, A Bayesian approach to robust adaptive beamforming, IEEE Transactions on signal processing, 48, 386-398.

Godara, L. C. 2004, Smart Antennas (Boca raton: CRC Press)

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2005, Understanding GPS Principles and Applications (Norwood: Artech house)

Lu, M. & He, Z. 1993, Adaptive Beam Forming Using Split-Polarity Transformation for Coherent Signal and Interference, IEEE Transactions on antennas and propagation, 41, 314-324.

Zheng, Y. 2008, Adaptive Antenna Array Processing for GPS Receivers, MS Dissertation, The University of Adelaide, Australia.

상용 API를 이용한 개방형 Multi-GNSS 수신기 항법부 구현

한진수*, 원종훈
인하대학교 전기공학과

Implementation of Open Source Navigation Unit for a Multi-GNSS Receiver Using Commercial Off-the-Shelf API

Jin-su Han*, Jong-Hoon Won
Electrical Engineering, Inha University

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 하이테크센터 630 호
연락처 : 032-860-7406 이메일 : 22171373@inha.edu

Abstract: 본 논문에서는 독일 IFEN GmbH사의 상용 S/W GNSS 수신기인 SX3의 Application programming Interface (API) 플랫폼을 기반으로 다중 GNSS 수신기 항법부 구현을 목표로 한다. SX3는 수신기와 64 bit 컴퓨터 에서 동작할 수 있는 응용프로그램으로 구성되어 있으며, 다중주파수를 처리할 수 있는 RF Frontend가 탑재되어 있어, RF부, 상관기부, 항법부 등 모든 GNSS 신호처리에 관하여 접근이 가능한 구조를 갖고 있다. SX3의 API는 C, C++기반으로 S/W 수신기의 기능을 추가, 교체 또는 확장 할 수 있는 유연한 활용성을 지닌다. 또한, API 소프트웨어의 동작과정을 실시간 모니터링할 수 있으며, 이에 따른 수신기 내부의 데이터 접근 기능을 제공한다. 사용자는 Dynamic Link Library (DLL)파일을 이용하여 개발한 알고리즘을 적용 할 수 있다. 따라서 이러한 유연한 구조의 아키텍처를 활용함으로써 GNSS 수신기 개발에 필요한 비용 및 시간을 획기적으로 절약할 수 있다. 즉, 해당 논문에서는 API를 이용하여 단시간의 연구노력으로 다중 주파수 다중 GNSS 수신기 구현 및 개발을 수행한 연구결과를 다룬다.

Keywords: GNSS S/W receiver, API, navigation unit

1. 서 론

현재 GNSS 수신기는 육상과 항공 해상과 같은 다양한 환경에 적용되고 있다. 이에 GPS, Galileo, GLONASS 등 GNSS를 운영하기 위한 많은 위성들이 지구를 중심으로 공전하고 있다. 하지만 기존 H/W는 시시각각 변하는 환경에 따라 설계값을 바꿀 수 없는 단점이 존재한다. 반면 S/W GNSS 수신기 기술의 경우 많은 수의 설계값들이 변수화 가능하여 상이한 응용에 맞도록 가변할 수 있으며, 최근에는 수신기 아키텍쳐 구조(structure)도 가변할 수 있도록 설계 가능하도록 발전하고 있다. 즉, S/W GNSS 수신기는 많은 수의 설계값을 변수화 하여 유연하게 처리 할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 장점을 통해 수신기 시스템 성능 업그레이드가 편리해지며, 기본 아키텍쳐인 GPS L1 CA 코드 수신기를 기반으로 용이하게 GPS/Galileo/Glonass/Beidou 통합 수신기로 확장이 가능하다. 한편, 최근 상용 RF부 및 프로세싱부를 탑재하고 있는 범용 USRP를 기반으로 S/W GNSS 수신기가 연구・개발되는 추세이나, GNSS 수신기 개발은 RF부, 상관기부, 항법부 등 통신/항법기술을 아우르는 수신기 시스템 전반에 대한 개발이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 독일 IFEN GmbH사의 상용 S/W GNSS 수신기인 SX3의 API를 이용하여 Least Square Estimation 를 이용한 항법부를 구현하고 GPS L1 C/A. GPS L5, Galileo E1, GLONASS L1 C/A, Beidou B1 각각의 위성과 채널에 대하여 Positioning을 할 것이며, 더 나아가 5가지 위성을 종합하여 Multi-GNSS로 Positioning을 할 것이다.

2. SX3 GNSS 수신기

2.1 SX3 Program

SX3 GNSS가 제공하는 User Interface (UI)로 이루어진 프로그램들을 보여준다 (Fig. 1). 이 UI는 Fig. 1의 왼편에 있는 Property를 통해 사용자가 즉석에서 입출력을 설정할 수 있다. 하지만 사용자가 원하는 입출력이 (변수나 Chennel Mesurements과 같은) UI에 경우가 있다면 API를 통해 프로그래밍 하여 처리할 수 있다.

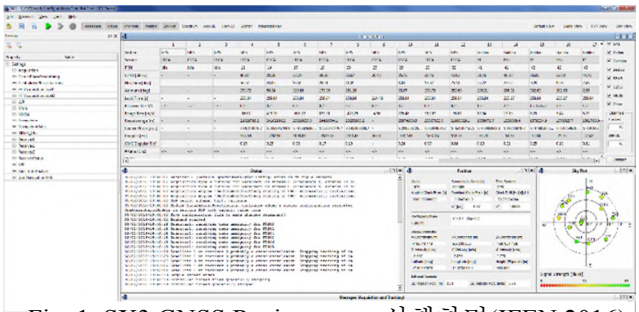


Fig. 1. SX3 GNSS Reciever.exe 실행화면(IFEN 2016).

2.2 SX3 API

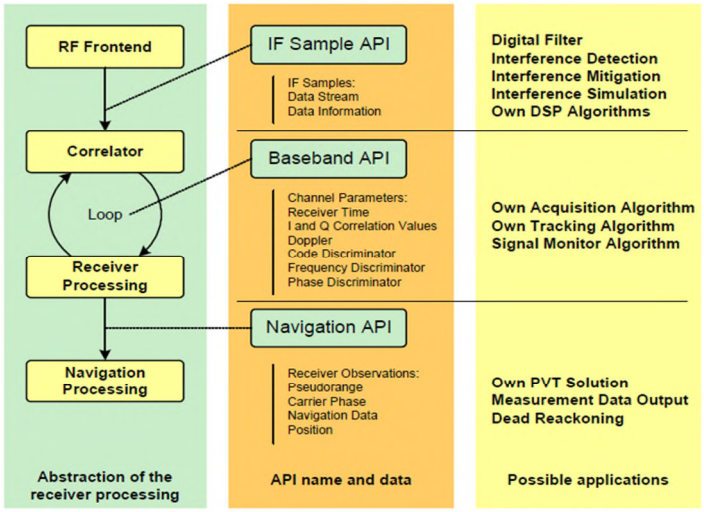


Fig. 2. Accessible data and possible application for the IF Sample API, the Baseband API and the Navigation API (IFEN 2016).

SX3 S/W 수신기는 GNSS의 처리단계에 따른 API를 제공한다. 처리하는 과정은 Fig. 2에 나타냈다. 수신기의 Processing 구조에 따라 단계적으로 처리가 가능하다. 처리를 하지 않으면 default로 설정된다. 본 논문에서는 우선 항법부를 구현하는 것이 목적이므로, Fig. 2에서 API name and data: Navigation API를 다루게 되고, Possible application에서 PVT Solution을 설계하여 Access하게 된다. API의 함수정의는 위의 Table 1, 2와 같다. Navigation 단계의 함수는 Table 2에서 초기화를 위한 InitNavigationApi, 들어온 값을 본격적 으로 처리하게 되는 processRawMeasurements, Navigation 단계가 끝날 때 실행하게 될 closeNavigationApi 이 세가지의 함수로 이루어 졌다. 이를 통해 Navigation 단계로 올 때의 입력을 이용하여 항법부를 구현할 수 있다.

Table 1. Application programing interface overview (IFEN 2016).

Number	Name	Description
1	IF Sample API	Gives access to the IF samples, which allows displaying, storing and analyzing the samples. Furthermore one may modify the IF samples (for interference mitigation, signal band limiting etc.).
2	Baseband API	Allows to control signal acquisition and tracking within the SX3 software receiver
3	Navigation API	Provides raw measurements which may be used to implement own PVT solutions or GNSS/INS integration schemes.
4	Assisted API	Offers an interface for extracting and providing navigation data bits.
5	Sensor API	Allows the retrieval of sensor data captured by the SX3 software receiver.
6	Utility API	Gives access to several software receiver internal parameters and functions. The data transfer gateway is located within this API as well.

Table 2. API function names (IFEN 2016).

Number	API Name	Init	Worker	Closing
1	IF sample	initIfSampleApi	processSamples	closeIfSampleApi
2	Baseband	initAcquisitionApi	acquire	closeAcquisitionApi
		initTrackingApi	track	closeTrackingApi
3	Navigation	initNavigationApi	processRawMeasurements	closeNavigationApi
4	Assisted	initAssistedApi	exportAssistanceData	closeAssistedApi
5	Sensor	initSensorApi	processSensorData	closeSensorApi

2.3 API 실행과정

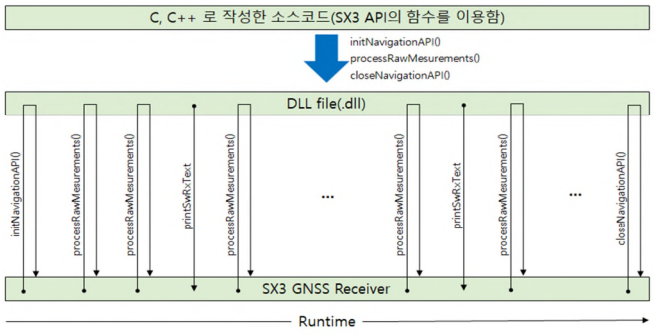


Fig. 3. Function sequence for SX3 API function "processRawMeasurement" (IFEN 2016).

C, C++기반의 SX3 API는 각 과정에 따라 제공하는 인터페이스와 함수가 정의되어 있다. 이중 항법부에는 Navigation API를 이용하여 구현을 하게 된다. Navigation API를 통해 initNavigationApi, processRawMeasurements, closeNavigationApi 세 함수를 제공받게 되며, 이 함수들은 C,C++ 기반으로 구성되어 있다. 이를 디버거를 통하여 DLL파일(.dll)을 생성한 다음 SX3 GNSS Receiver에 참조 시키면 SX3는 API에서 작성한 대로 작업을 수행하게 된다(Fig. 3).

3. NLSE(Nonlinear Least Square Estimation)

항법부를 구현하는데 있어서 최종 목적은 Positioning이 될 것이다. 본 논문에서 Positioning을 하는 과정은 NLSE를 적용하였다. NLSE는 여러 위성의 위치와 Pseudorange를 이용하여 수신기의 PVT Solution을 추정할 수 있으며 이는 Pseudorange를 표현하는 식을 이용하여 진행하게 된다. 가시위성이 N개 존재할 때, k번째 위성의 Pseudorange는 다음과 같이 정리된다 (Mendel 1995, Misra & Enge 2005).

$$\rho_c^{(k)} = \sqrt{(x^{(k)} - x)^2 + (y^{(k)} - y)^2 + (z^{(k)} - z)^2} + b + \tilde{\varepsilon}_\rho^{(k)} \tag{1}$$

$\rho_c^{(k)}$: Pseudorange of k-th satellite.
b : Clock bias.
$\tilde{\varepsilon}_\rho^{(k)}$: Combined effect of the residual errors.
$x^{(k)}, y^{(k)}, z^{(k)}$: Sattlite Position of kth satellite. (k = 1,2,3, … N)
x, y, z : User(or Receiver) Position.

가시위성이 N개 존재할 때, k번째 위성에 대한 측정식 $f(k)$는 식 (2)로 놓을 수 있다.

$$f(k) = \sqrt{(x^{(k)} - x^2) + (y^{(k)} - y^2) + (z^{(k)} - z^2)} + b \tag{2}$$

측정식 $f(k)$는 추정하고자 하는 파라미터(사용자 또는 수신기의 위치(x, y, z) 및 $Clock\ bias\ (b)$)에 대하여 비선형 방정식이다. 초기값 $\underline{\hat{\theta}}_0$부터 시작하여 다음 조건 식 (3)을 만족 할 때까지 식 (4)를 반복한다.

$$\left\|\underline{\hat{\theta}}_{i+1} - \underline{\hat{\theta}}_i\right\|_{w(weighting)} < \delta\ (\text{torerance}) \tag{3}$$

$$\underline{\hat{\theta}}_{i+1} = \underline{\hat{\theta}}_i - [H_i^T W H_i]^{-1} H_i^T W \underline{e}_i \tag{4}$$

$$(\text{단, } H_i = \left.\frac{\partial \underline{e}}{\partial \underline{\theta}}\right|_{\underline{\theta}=\underline{\hat{\theta}}_i} = \left.\frac{\partial}{\partial \underline{\theta}}(\mathrm{Z} - f(\underline{\hat{\theta}}))\right|_{\underline{\theta}=\underline{\hat{\theta}}_i} = -\left.\frac{\partial}{\partial \underline{\theta}} f(\underline{\hat{\theta}})\right|_{\underline{\theta}=\underline{\hat{\theta}}_i})$$

식 (4)의 변수들은 식 (5), (6)으로 정리 할 수 있다.

$$H_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(k_1)}{\partial x} & \frac{\partial f(k_1)}{\partial y} & \frac{\partial f(k_1)}{\partial z} & \frac{\partial f(k_1)}{\partial b} \\ \frac{\partial f(k_2)}{\partial x} & \frac{\partial f(k_2)}{\partial y} & \frac{\partial f(k_2)}{\partial z} & \frac{\partial f(k_2)}{\partial b} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f(k_N)}{\partial x} & \frac{\partial f(k_N)}{\partial x} & \frac{\partial f(k_N)}{\partial x} & \frac{\partial f(k_N)}{\partial x} \end{bmatrix}$$

$$= -\begin{bmatrix} (x^{(1)} - x)/l^{(1)} & (y^{(1)} - y)/l^{(1)} & (z^{(1)} - z)/l^{(1)} & -1 \\ (x^{(2)} - x)/l^{(2)} & (x^{(2)} - x)/l^{(2)} & (x^{(2)} - x)/l^{(2)} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (x^{(N)} - x)/l^{(N)} & (x^{(N)} - x)/l^{(N)} & (x^{(N)} - x)/l^{(N)} & -1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$where,$

$$l^{(k)} = \sqrt{(x^{(k)} - x)^2 + (y^{(k)} - y)^2 + (z^{(k)} - z)^2},\ k = 1,2,3, \ldots, N$$

$$\underline{e}_i = \left(Z - f(\underline{\hat{\theta}})\right),\ \mathrm{Z}\text{는 측정값} \tag{6}$$

4. 실측실험

4.1 작성한 프로그램 코드 설명

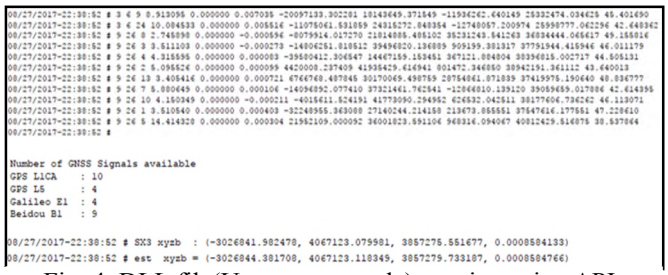
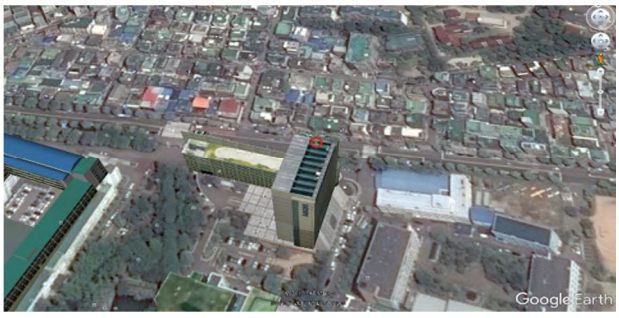


Fig. 4. DLL file(User source code) running using API.

API로 수신기에서 들어오는 모든 Channel measurement를 값으로 받아 이를 처리한후 NLSE 과정을 통하여 Positioning 하는 소스코드를 작성하여 항법부를 구현하였다. 항법부 소스코드는 범용 GNSS 측정치 처리가 가능하도록 일반화하여 설계하였다. 따라서 외부 Config 파일의 세팅을 조정하여 특정 GNSS 및 특정 주파수 수신기를 재구성 가능 (Reconfigurable)하도록 유연한 구조로 설계 하였다. 실행화면은 Fig. 4와 같다. 이 실행화면에 출력된 데이터는 모두 파일형태로 처리가 가능하며, 수신기에 들어오는 신호들을 개별적으로 처리하여 Position Solution을 구할 수도 있다. 처리과정에서 SPP Flag를 제공해주는데, SPP Flag는 각각의 위성에 대한 Range Check를 하여 OK(이상없음) 또는 Raw(충분히 신호를 받지 못함)를 반환한다. All GNSS의 경우 SPP Flag가 OK인 경우가 다소 많기 때문에 NLSE연산 시 최대한 SPP Flag가 OK인 데이터를 입력으로 받았다. SPP Flag로 return된 값으로 처리를 해도 또다른 문제가 발생했는데, 데이터를 처리하는 과정에서 수신기를 기준으로 방향이 비슷한 위성으로 인하여 NLSE를 위한 행렬식이 0에 가깝게 되는 경우가 있었다. 이는 연산에 심각한 문제가 발생하였고, 이 문제를 처리하기 위해 신호를 필터링 하였다. 즉, 비슷한 방향의 데이터는 종속성을 제거하여 처리하였기 때문에, All GNSS에서의 API는 tracking된 신호를 모두 이용한 것은 아니다.

4.2 Position solution

작성한 코드를 이용하여 실측실험을 하였고, 각 위성신호를 개별적으로 Positioning을 하여 파일형태로 처리하였으며, GPS L1 C/A, GPS L5, Galileo E1, GLONASS L1 C/A, Beidou B1 신호들을 모두 처리한 결과도 나타냈다. 인하대학교 하이테크 고층부(Fig. 5)에서 실측한 데이터를 가지고 API와 SX3자체내의 Position solution을 분석하였다. 결과는 Fig. 6과 Table 3과 같다.



◆실측장소: 인하대학교 하이테크 고층부 옥상 안테나

위도: 37.45053046°
경도: 126.65743787°
높이(해발): 106.217[m]

◆측정날짜: 2017.09.07

◆측정시간: 21:54~22:19

Fig. 5. Mapping experiment position using Google Earth

Table 3. Position solution error.

	GPS L1 C/A	GPS L5	Galileo E1	GLONASS L1 C/A	Beidou B1	All GNSS
SX3						
수평오차 [m]	1.064285	2.186328	2.186328	12.392302	3.285431	1.055545
수직오차 [m]	4.121846	7.349497	7.349497	0.215924	6.851322	5.300522
GDOP [m]	2.738	3.006	3.006	5.806	3.005	4.497
API						
수평오차 [m]	1.068228	2.445445	2.208260	12.380728	3.415090	2.605367
수직오차 [m]	4.241333	5.823666	7.168105	0.859982	6.504707	0.930254
GDOP [m]	2.791	1.895	2.704	5.764	3.060	4.423
평균 가시위성수 [개]	8.8	7.7	7.6	5.0	8.8	25.7

SX3보다 API에서 전체적으로 수평오차가 더 높고, GDOP는 SX3보다 API가 더 낮다. SX3와 API의 결과 모두 GDOP는 비슷한 양상을 보였고, 2D Scatter plot에서는 GLONASS(Fig. 6e)를 제외하면 평균값은 East와 North 모두 6[m]내로 SX3와 API로 항법부를 구현한 것의 위치 오차가 All GNSS를 제외한 시스템에서 모두 비슷한 양상을 보였다. 4.1에서도 언급했듯이, All GNSS를 처리하기 위해 신호를 필터링 하였다는 점에서 All GNSS에서의 API는 tracking된 신호를 모두 이용한 것은 아니다. 따라서 SX3와 API를 비교할 때, All GNSS의 경우에는 다른 단일 위성의 결과에 비해 SX3와 API간 평균 Position solution의 차이가 다소 존재하지만, GDOP는 API가 SX3 자체 Position solution보다 더 낮다. 따라서, 이는 API내부에서 행한 필터링이 Positioning 성능을 향상시킨 결과를 보인다. 그런데 API는 SX3보다 비교적 수직오차가 적으며 수평오차가 크다. 이는 SPP Flag가 반환하는 값을 어떻게 이용했는가에 따라서 차이가 보이는 것으로 판단된다. . SX3는 API에 비해서 위성신호를 많이 받아(SX3는 API에 비해 SPP Flag가 Raw인 신호를 더 많이 받아 처리한다.)수평오차가 적은 양상을 보였으며, 반면에 API는 SPP Flag가 OK인 신호를 많이 받아 비교적으로 신뢰성 있는 Pseudorange 값을 받았고 이에 따라 수직오차가 적은 양상을 보였다고 판단된다. 따라서, API에서는 SPP Flag에서 반환되는 값이 OK보다 Raw가 비교적 많다면, Raw를 값으로 받아 처리하는 SX3는 API보다 더 높은 Position solution 성능을 제공하는 것으로 판단된다.

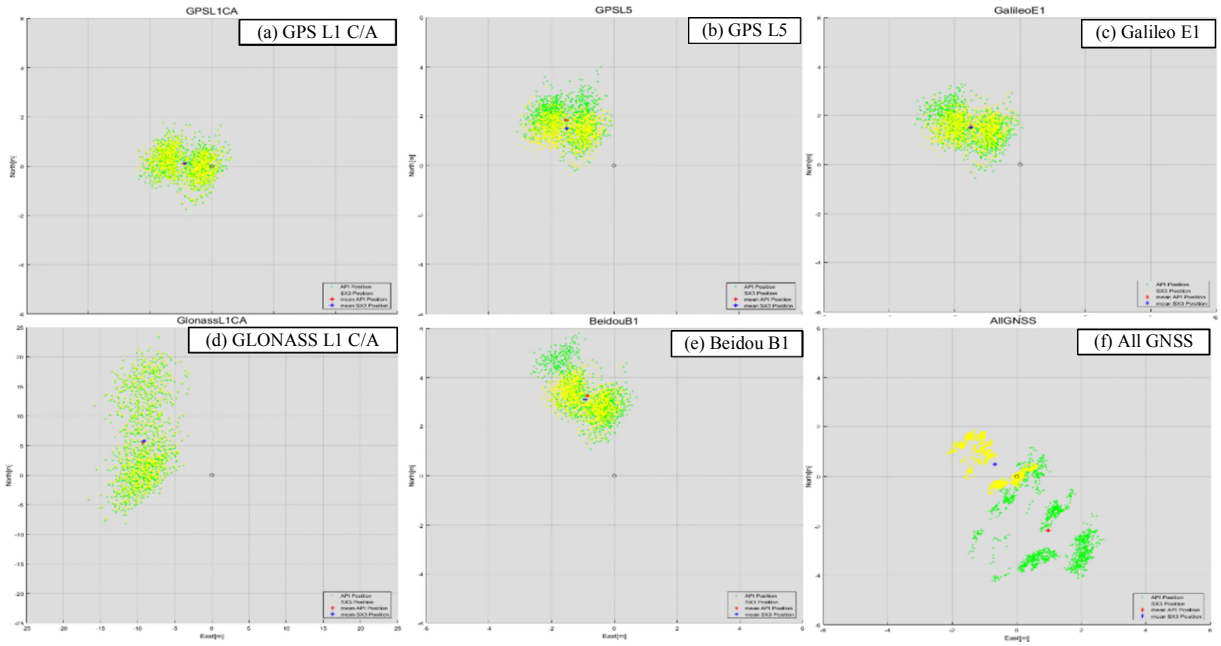


Fig. 6. (a)~(f) Plot of GNSS Data of API program: (a)(b)(c)(e)(f)의 Scale 은 -6[m]~6[m]이며 (d)의 GLONASS L1 C/A 결과의 Scale 은 -25[m]~25[m]이다.

5. 결 론

S/W 수신기의 API는 유연한 구조의 아키텍처이다. 본 논문에서는 API를 이용하여 항법부를 구현하는 것으로써 단시간의 연구노력으로 다중 주파수 다중 GNSS 수신기 구현 및 개발을 수행한 연구결과를 다루었다. 단일 신호일 경우, 실측한 데이터를 기반으로 API를 이용하여 처리를 한 결과는 SX3 자체내에서 제공한 Solution과 큰 차이가 없었으며, 다중 GNSS로 실행 할 때에는 필터링을 통한 Range Check와 종속성 제거로 SX3의 자체내의 Positioning보다 좋은 성능을 보였다. 이로써 API를 이용하여 GNSS 수신기 개발에 필요한 비용 및 시간을 획기적으로 줄일 수 있다는 결과를 보였다. 이는 시스템의 성능 업그레이드가 편리해 지는 것과 통합 수신기의 확장을 하는데 용이하다는 이점을 줄 것이다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 우주기술개발 사업의 일환입니다. (과제번호: 2017M1A3A9014637)

REFERENCES

Mendel, J. M. 1995, Lessons in Estimation Theory for Signal Processing, Communications, and Control (Prentice-Hall International, Inc.)

Misra, P. & Enge, P. 2005, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance (Massachusetts: Ganga-Jamuna Press)

IFEN GmbH. 2016, SX3 User Manual version:3.2 (Poing, Germany: IFEN GmbH company)



[D2] 육상과 해상 응용

MEOSAR COSPAS-SARSAT를 위한 모델링 및 시뮬레이션 툴 구현

이정훈[1*], 이상욱[2], 정인철[2], 안우근[3], 원종훈[1]
[1]인하대학교 전기공학과, [2]한국전자통신연구원, [3]국방과학연구소

Implementation of a Modeling and Simulation Tool for MEOSAR COSPAS-SARSAT

Jung-Hoon Lee[1*], Sang Uk Lee[2],In Cheol Jung[2] , Woo-Geun Ahn[3] Jong-Hoon Won[1]
[1]Electrical Engineering, Inha University, [2]Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI),
[3]Agency for Defense Development (ADD)

주소 : 인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 전기공학과
연락처 : 032-860-7406 이메일 : dobi899@hanmail.net

Abstract: COSPAS-SARSAT은 전세계적인 재난구조 통신 지원 프로그램이다. 기존에는 GEOSAR과 LEOSAR로 운용되었으나 2016년 12월을 기점으로 MEOSAR도 함께 운용되기 시작하였으며 2018년 완전한 시스템으로 운용 될 예정이다. 이에 MEOSAR만을 이용하였을 때 지상국의 파라미터에 따른 비콘의 위치추정 능력을 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 2세대 비콘과 MEOSAR를 기반으로 시스템에 필요한 기본 개념들을 소개하며 이를 기반으로 Matlab으로 구현된 모델링 및 시뮬레이션 툴을 설명한다.

Keywords: COSPAS-SARSAT, MEOSAR, cross ambiguity function

1. 서 론

COSPAS-SARSAT은 재난구조 통신 지원 프로그램이다. 위급 상황에 있는 사람이나 항공기, 선박 등이 406 MHz 비콘을 활성화 시켜 국가 및 기관에 수색 및 구조 신호를 보내는 것이다. COSPAS-SARSAT의 전체적인 시스템은 Fig. 1에서 도식화 하였으며 이는 Carney et al. (2016)에 나오는 그림을 인용하였다. COSPAS-SARSAT은 비콘, 신호 중계기 및 처리기, 수신 및 신호 처리 지상국, 구조 센터에 구조 데이터를 배포하는 임무 조정센터, 실 상황에 대응하는 구조 조정센터로 구성된다.

신호 중계기 및 처리기는 궤도와 고도에 따라서 LEOSAR, GEOSAR, MEOSAR로 나뉜다. 기존 시스템에서는 LEOSAR와 GEOSAR만 사용하였으나, LEOSAR는 지구 전역을 커버할 수 없으며 GEOSAR는 도플러 영향이 존재하지 않기에 MEOSAR도 함께 이용하기 시작하였다.

지상국은 비콘의 위치를 추정하기 위해서 Time difference of arrival(TDOA)와 Frequency difference of arrival(FDOA)를 사용한다. 두 신호의 TDOA와 FDOA는 Cross Ambiguity Function(CAF)을 이용하여 추정하며 추정된 TDOA와 FDOA로 위치를 주정할 때는 비선형 최소제곱기법을 이용한다.

본 논문에서는 중궤도 위성(GPS, GLONASS, Galileo)들을 이용하여 비콘의 위치를 추정할 수 있는 시뮬레이션을 위한 기본 개념 설명 및 Matlab을 이용한 툴 구현, 그 결과를 소개한다.

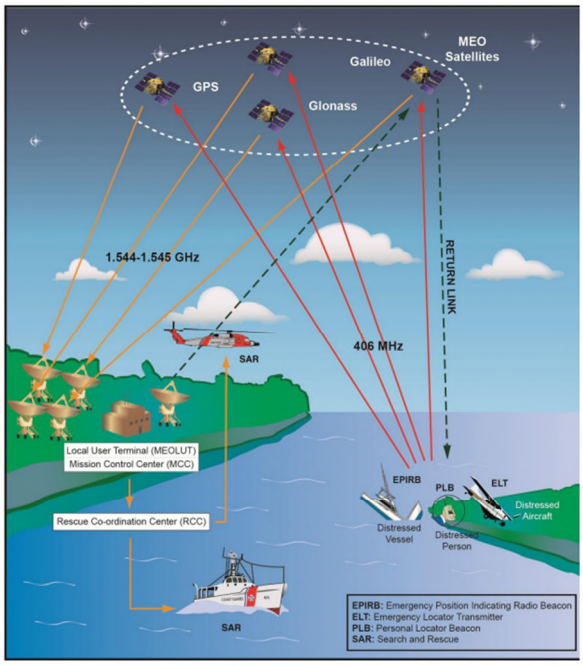


Fig. 1. The 406 MHz MEOSAR system concept.

2. 시스템 모델링

본 장에서는 지상국에서 수신 신호를 모델링하고 이를 처리하는 CAF관련 내용과 이를 통해 비콘의 위치를 추정하기 위한 방법들을 설명한다.

2.1 수신 신호 모델링

비콘에서 방사 된 신호는 위성을 거쳐 지상국에 도달하게 된다. 이는 총 2번의 방사를 의미하며 비콘에서부터 위성까지 시간 지연, 도플러 영향이 존재하며 위성에서 지상국까지 시간지연, 도플러 영향이 존재한다.

우선 지상국의 안테나는 각 위성을 Tracking하고 있으며 이로 인하여 위성과 지상국 사이의 시간지연과 도플러 영향을 알 수 있다고 가정하면 수신된 k번째 신호(r_k)는 다음과 같이 나타난다.

$$r_k(t) = A_k s(t-\tau_k) e^{j2\pi f_k(t-\tau_k)} + n_k(t) \quad (1)$$

여기서 τ_k는 비콘과 위성 사이의 시간지연이며 f_k는 비콘의 반송파 주파수와 위성간 상대속도로 인한 도플러 영향을 나타낸다.

2.2 Cross Ambiguity Function

주어진 신호를 통하여 TDOA와 FDOA를 결정하는 방법으로는 CAF가 있으며 이는 수신된 두 신호를 Correlation하여 두 신호의 유사성을 나타내는 함수이다.

$$CAF(\boldsymbol{\tau}_a, \boldsymbol{\tau}_b, f_a, f_b) = \int_0^T s_a(t+\boldsymbol{\tau}_a) s_b^*(t+\boldsymbol{\tau}_b) e^{-(j2\pi f_a t - \boldsymbol{j2\pi f_b t})} dt \quad (2)$$

T는 적산시간, τ_a와 τ_b는 각 신호의 시간 지연이며 f_a와 f_b는 도플러 영향을 받은 반송파 주파수이다. 두 신호 중 한 신호의 τ와 f를 변화시키며 두 사이의 유사성을 확인하며 그 중 가장 큰 값을 통하여 TDOA와 FDOA를 추정 할 수 있다. 두 신호로부터 CAF 결과는 Fig.2와 같이 나타나며 최대 값을 통하여 우리는 두 신호의 TDOA와 FDOA를 추정할 수 있다.

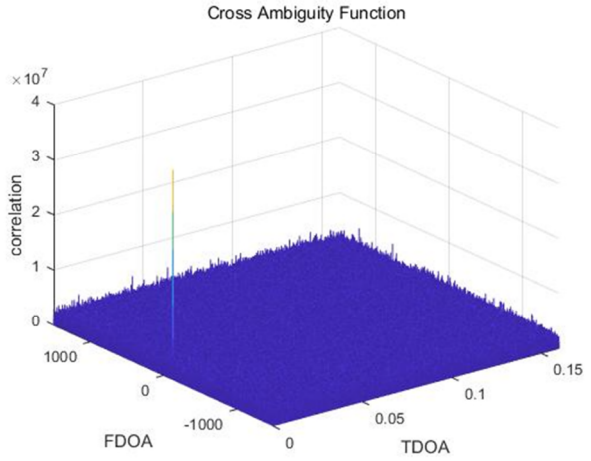


Fig. 2. CAF plane.

Johnson (2001)에 따르면 CAF를 계산하는 방법 중 가장 기본적인 방법은 Brute force로 모든 시간 지연 영역과 주파수 영역에서 계산 한 다음 가장 큰 값을 찾는 방법이다.

$$CAF(\tau, f) = \sum_{n=0}^{N-1} (s_1(n) s_2^*(n+\tau) e^{-j2\pi \frac{kn}{N}}) \quad (3)$$

그러나 이는 시간 지연 영역과 주파수 영역이 커지면 계산 양이 기하급수적으로 늘어나게 된다. 따라서 이 계산 양을 줄이는 방법은 Fast Fourier Transform (FFT)을 이용하거나 Fast Fourier Transform–Inverse Fast Fourier Transform (FFT-IFFT)기법을 이용하는 것이다.

FFT기법은 수신된 신호를 시간 지연을 준 후 Correlation을 하고 FFT를 취하여 FDOA를 측정하는 방법이다.

$$CAF(\tau) = FFT(s_1(n)s_2^*(n+\tau)) \quad (4)$$

FFT-IFFT는 수신 된 두 신호를 FFT취한 후 Correlation한다. 그 후 IFFT를 하여 모든 주파수 영역에서 TDOA를 찾는 방법이다.

$$CAF(f) = IFFT(FFT(s_1(n))FFT(s_2^*(n)e^{-j2\pi\frac{kn}{N}})) \quad (5)$$

TDOA와 FDOA를 예측하는 방법은 CAF를 통하여 계산된 값 중 가장 큰 값을 추정하는 방법이다. 그러나 신호의 잡음 성분이 상대적으로 커진다면 올바른 TDOA와 FDOA를 예측할 수 없다. 이는 비콘 위치 추정에 오차 성분이 되기 때문에 정확한 위치 추정을 위해서 지상국의 적산시간과 같은 파라미터들을 조절하여 CAF계산에서 잡음의 비율을 상대적으로 줄여야 한다.

2.3 비콘 위치결정

Hartwell (2005)에 따르면 CAF를 통하여 수신 받은 Signal의 TDOA는 Emitter에서 방사한 신호가 각 Collector에 들어오는 시간차이를 나타내며 FDOA는 Emitter와 Collector사이에 생기는 도플러 영향의 차이를 나타낸다.

Emitter의 위치를 (x,y,z), Collector A,B의 위치를 $(x_a,y_a,z_a),(x_b,y_b,z_b)$로 가정한다면 두 Collector의 TDOA(τ_{ba})는 아래와 같다.

$$\tau_{ba} = \frac{\sqrt{(x_b-x)^2+(y_b-y)^2+(z_b-z)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x_a-x)^2+(y_a-y)^2+(z_a-z)^2}}{c} \quad (6)$$

Emitter의 위치를 (x,y,z), Collector A,B의 위치를 $(x_a,y_a,z_a),(x_b,y_b,z_b)$, 각 상대속도를 (v_{xa},v_{ya},v_{za}), (v_{xb},v_{yb},v_{zb}) 가정한다면 두 Collector의 FDOA(f_{ba})는 아래와 같다.

$$f_{ba} = \frac{f_c}{c}\left(\frac{(v_{xb},v_{yb},v_{zb})\cdot(x_b,y_b,z_b)}{\sqrt{(x_b-x)^2+(y_b-y)^2+(z_b-z)^2}} - \frac{(v_{xa},v_{ya},v_{za})\cdot(x_a,y_a,z_a)}{\sqrt{(x_a-x)^2+(y_a-y)^2+(z_a-z)^2}}\right) \quad (7)$$

3차원의 위치를 잡기 위해서 측정값(τ,f)은 3개 이상이 필요하기 때문에 최소 4개 이상의 수신 신호가 필요하다. TDOA와 FDOA는 비선형이기 때문에 선형 최소제곱기법을 곧바로 이용할 수 없다. 따라서 이를 추정하기 위해서 수치적 기법 중 Gauss Iterative Method를 이용한다. 이는 기존 함수들을 추정할 파라미터들을 이용하여 H행렬을 Jacobian 행렬로 만든다.

3. 시뮬레이션

초기 설정은 비콘의 첫 방사시간, User의 위치, 지상국의 위치, 사용가능 GNSS이다. GNSS는 선택 된 위성만으로 진행 되며 각 위성(GPS, GLONASS, Galileo)의 위치는 비콘의 Signal 방사 시간과 Ephemeris를 이용하여 계산된다. 위성과 비콘, 지상국의 위치를 고려하여 사용 가능한 위성들을 선별하며 선별된 위성 중 4개만을 이용한다.

다음으로는 지상국에서 수신된 신호를 생성하는 과정에서 필요한 파라미터들과 CAF계산을 위한 파라미터들을 설정한다. 지상국에서 수신 받은 신호를 생성할 때는 Council (2017)에 정의된 2세대 비콘을 기반으로 만들어졌다. 지상국의 4개의 안테나는 각 위성을 공간적으로 Tracking하고 있다고 가정한다. 이를 통하여 안테나에서 위성과 지상국사이의 시간 지연, 도플러 영향을 추정하여 수신된 비콘 신호는 오직 위성과 비콘 사이의 시간 지연과 도플러 영향만 존재한다고 한다. 수신 받은 신호를 처리하는 과정에서는 적산시간은 0ms보다 크고 1000ms보다 같거나 작아야 한다. 사용 가능한 Calculation mode는 Brute force와 FFT-IFFT로 총 2가지 방법이 가능하다. 계산 방법이 선택되면 각 방법에 따른 Search grid와 Search bin을 설정할 수 있다.

마지막으로 결과 Plot은 예측 된 비콘의 위치를 참 값과 비교하는 Scatter그래프를 보여주며 CAF 평면과 예측 된 시간지연에서 바라본 CAF, 도플러 주파수 영역에서 바라본 CAF를 보여준다. Fig. 3은 전체적인 시뮬레이션의 Flow chart를 보여준다.

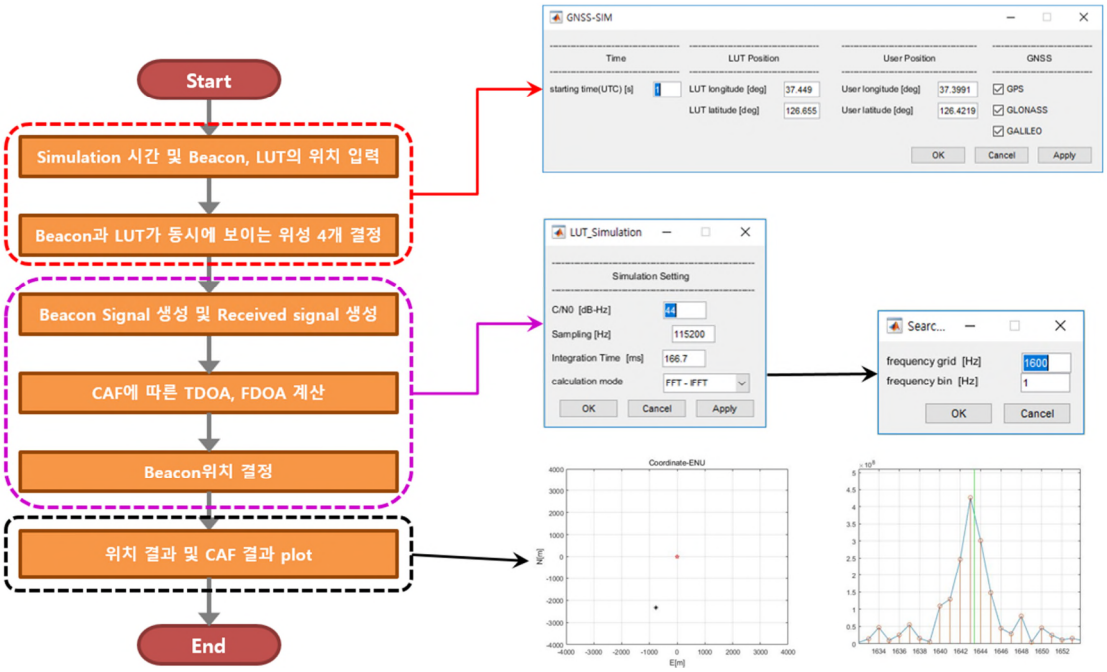


Fig. 3. Flow chart.

4. 결론

본 시뮬레이션은 COSPAS-SARSAT에서 MEOSAR가 사용되며 이에 따른 비콘의 위치추정 능력을 알아보기 위하여 제작되었다. 다양한 상황에 따라 분석할 수 있도록 GUI에 C/N0와 샘플링 주파수, 적산시간 등을 추가하였다. 앞으로는 이를 기반으로 다양한 상황에서의 비콘 위치추정능력을 분석하고 이를 보완하기 위한 알고리즘을 시뮬레이션에 업데이트해야 한다. 또한 현재는 모든 GPS, GLONASS, Galileo를 사용하지만 실제 COSPAS-SARSAT은 정해진 위성만을 이용하여 운용되기 때문에 이를 보완해야 한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Carney, W., Gal, C., King, J. V, Levesque, D., Ruark, W., et al. 2016, The History and Experience of the International COSPAS-SARSAT Programme for Search and Rescue (Paris: International Astronautical Federation). https://www.cospas-sarsat.int/en/documents-pro/history-and-experience-of-the-programme

Council, C. S. 2017, Specification for Second-Generation COSPAS-SARSAT 406-MHz Distress Beacon, https://www.cospas-sarsat.int/images/stories/SystemDocs/Current/CS-T018-MAY-2017.pdf

Hartwell, G. D. 2005, Improved geo-spatial resolution using a modified approach to the complex ambiguity function (CAF), Doctoral dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey California

Johnson, J. J. 2001, Implementing the cross ambiguity function and generating geometry-specific signals, Master's thesis, Naval Postgraduate School, Monterey California

해양 정밀측위 서비스를 위한 국제 표준화 동향 분석

박상현*, 서기열, 황태현
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 해양PNT연구센터

Trend Analysis on International Standardization of Services for Marine High Accuracy Positioning

Sang Hyun Park, Kiyeol Seo, Tae Hyun Fang
Maritime PNT Research Centre, Korea Reserch Institute of Ship & Ocean Engineering

주소: 34103 대전광역시 유성구 유성대로 1312 번길 32
연락처: 042-866-3681 이메일: shpark@kriso.re.kr

Abstract: 극소수의 일부 국가를 제외하고, 국제항로표지협회의 회원국으로 있는 대다수의 국가들은 선박의 안전한 항해를 위해 위성전파항법 보강서비스(DGNSS)를 제공하고 있다. 우리나라 대한민국도 1999년 서해안 위성전파항법 보강서비스를 시작으로 현재는 전국에 걸쳐 GPS 뿐만 아니라 GLONASS 이용자를 위한 보강정보를 다양한 매체를 통해 송신하고 있다. 현재 운영되고 있는 위성전파항법 보강서비스는 의사거리와 의사거리 변화율에 대한 오차 정보를 제공하는 방식을 채용하고 있다. 따라서 의사거리 기반의 보강서비스가 제공할 수 있는 측위 정확도의 한계 때문에 응용범위가 확대되고 있지 못한 실정이다. 나아가 4차 산업혁명 시대로 진입하는데 요구 되어지는 정밀성, 초-신뢰성을 제공하는 보강서비스의 필요성은 나날이 커가고 있는 실정이다. 본 논문에서는 해양 정밀측위 서비스 구현을 위해 최근 3년간 진행되고 있는 국제 표준화 동향에 대해 분석하고자 한다. 분석의 결과를 통해, 표준화 과정에서 논쟁이 되고 있는 사항이 무엇인지 알아 보고, 해양 정밀측위 기술을 연구개발하는 데 있어서 고려해야 할 사항을 식별하고자 한다. 마지막으로 본 논문은 향후 우리나라가 정밀측위 서비스를 제공하기 위해서 선제적으로 수행하고 확보해야 할 사항들을 제시한다.

Keywords: high accuracy positioning, RTK, PPP, standardization

1. 서 론

오늘날 위성전파항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)을 근간으로 하는 항해는 항해사들에게 없어서는 안 될 필수 항해법이 되었다. 항해사들은 GNSS을 이용한 다양한 항해장비로부터 자선의 위치뿐만 아니라 속도, 침로(COG)와 자세 정보를 손쉽게 획득하고, 이를 항해에 이용하고 있다. 우리나라도 회원국으로 가입하고 있는 국제항로표지협회(IALA: International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)는 생명을 담보로 하는 항해에 GNSS를 단독으로 이용하는 데 있어서 정확도와 신뢰도 면에서 문제가 있음을 인식하고, 회원국들로 하여금 위성전파항법 보강서비스(DGNSS: Differential GNSS)를 제공하도록 권고하고 있다(IALA 2012). 따라서 대부분의 GNSS 기반 항해장비는 DGNSS 정보를 이용할 수 있는 기능을 탑재하고 있고, 항해사들은 DGNSS 통해 정확도와 신뢰도 높은 자선 정보를 얻고 있다. 우리나라 대한민국도 1999년 서해안 위성전파항법 보강서비스를 시작으로 현재는 Fig. 1과 같이 전국에 걸쳐 GPS 뿐만 아니라 GLONASS 이용자를 위한 보강정보를 다양한 매체를 통해 송신하고 있다.

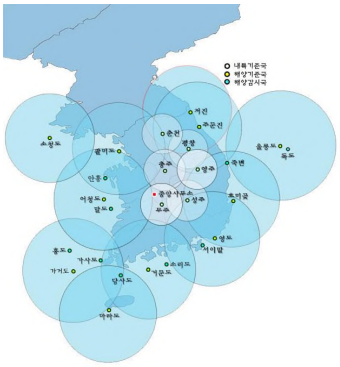


Fig. 1. DGNSS beacon coverage in ROK (National Maritime PNT Office 2017).

현재 해양에서 IALA의 권고에 따라 국제표준으로 서비스되고 있는 DGNSS는 의사거리와 의사거리 변화율에 대한 오차 정보를 제공하는 방식을 채용하고 있다. 의사거리 기반의 보강서비스는 다양한 접근법으로 향상되어 왔으나, 의사거리를 이용한다는 한계로 인해 정밀측위 응용분야로는 확대되지 못하였다. 여기서 해양분야에서의 정밀측위란, 센티미터 수준의 측위 정확도를 말한다. 나아서 해양분야에서도 4차 산업혁명 시대로 진입하는데 요구 되어지는 정밀성, 초-신뢰성을 제공하는 보강서비스의 필요성은 나날이 커가고 있는 실정이다. 본 논문에서는 해양 정밀측위 서비스 구현을 위해 최근 3년간 진행되고 있는 국제 표준화 동향에 대해 논하고자 하였다. 국제 동향을 통해, 표준화 과정에서 논쟁이 되고 있는 사항이 무엇인지 알아 보고, 해양 정밀측위 기술을 연구개발하는 데 있어서 고려해야 할 사항을 식별하였다. 마지막으로 본 논문은 앞으로 우리나라가 정밀측위 인프라를 구축하고 관련 서비스를 제공하기 위해서 선제적으로 수행하고 확보해야 할 사항들을 제안하였다.

2. 국제 표준화 동향

해양 정밀측위 분야의 국제 표준화는 크게 2가지로 분류된다. 하나는 정밀측위 보정정보 표준화이고, 다른 하나는 정밀측위 서비스 표준화이다. 정밀측위 보정정보에 대한 표준화는 Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM)에서 주도하고 있다. 전통적으로 육상의 측지, 측량분야에서 이용하였던 Real-time Kinematic (RTK)에서 최근에 이용되고 Network RTK, 그리고 Precise Point Positioning (PPP)에 이르기까지 RTCM은 GNSS 기반의 정밀측위 보정정보 표준화를 선도하고 있다. 최근 3년간, RTCM에서 정밀측위와 관련해 논의된 내용을 보면, GNSS 다원화에 따른 정밀측위 보정정보와 PPP 정보 표준이 주류를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 본 논문은 정밀측위 보정정보 표준과 함께 해양에서 어떻게 정밀측위 서비스를 구현할 것인지에 대해 최근부터 논의되고 있는 또 다른 표준화 분야인 정밀측위 서비스 표준화에 주목하였다.

정밀측위 서비스 표준화는 IALA에서 주도하고 있는 표준화 분야로서 e-Navigation이 대두됨과 함께 정밀측위에 대해 관심을 갖게 되었다. IALA는 3년 전부터 해양 정밀측위를 위한 인프라로서의 시스템과 서비스를 위한 지침서를 제정하기 위해 노력하고 있다. IALA가 제정하고자 하는 지침서는 정밀측위 필요한 해양 응용분야에 대한 식별에서부터 시작하고자 하였다. IALA에서 식별한 해양 정밀측위 응용 분야와 해양작업의 초안은 Table 1과 같다(IALA 2017).

Table 1. Example tasks and applications for high-accuracy positioning and ranging (draft).

Tasks and applications	Purpose of assistance or system function
Docking	During docking it is necessary to prevent collision of ship's hull with infrastructures.
Locking	During entry and exit of the lock it is necessary to prevent collision of ship's hull with the lock infrastructure.
Passage of Narrow channels	During the passage of narrow channels, it is necessary to prevent collision of ship's hull with side of channel.
Turning	Turning manoeuvres of ships are necessary in port and harbours to arrive or depart the shipping berth. Especially during the turning of large-size vessels in areas with limited manoeuvring space it is necessary to prevent groundings or collisions with harbour infrastructure.
Passage under bridges	The size of bridge arches determines the available passage width (similar to passage of narrow channels) as well as the available clearance. Size of bridge arches, varying water levels and load-dependent ship air draughts have to be taken into account to avoid collision.
Passage over shallows	Varying water levels and load-dependent ship draughts have to be taken into account to avoid groundings.
Track control	Track control systems serve the automatic steering in a variety of navigational situation ranging from sailing through narrow straits to transoceanic voyages. The demand for accurate positioning may increase to sub-metre level if ship navigation uses track control in areas temporary or permanently restricted by obstacles at sea or on ground.
Dynamic positioning (DP)	A dynamic position system maintains ship's position and heading in relation to a fixed point over ground (absolute) or to the position/attitude of an object (relative).

성능 사양은 해양 정밀측위 서비스 표준화를 위해 가장 필요한 목표라고 할 수는 항목이다. IALA는 성능 사양을 규정하기 위해 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서 제정한 문서(IMO 2001, IMO 2011)와 RTCM의 표준화 문서가 참고되었으며, 이를 통해 Table 2와 같은 항목에 대한 정의와

성능 규정이 필요함을 알게 되었다(IALA 2017). IALA는 2018년까지 정밀측위 서비스 관련 표준 지침서 제정을 위해 노력 중이다. 목표 성능 도출을 물론이고, 가용한 기술에 대한 분석과 이들 기술을 이용한 서비스 방법에 대한 고민이 이뤄지고 있다. 그리고 이러한 노력으로 해양 정밀측위 시스템과 이를 통한 서비스의 틀을 제시함으로써 해양 PNT 인프라 및 서비스의 국제적 통일성 및 안정성을 확보하고자 하고 있다.

Table 2. Performance parameters for high-accuracy positioning and ranging (draft).

Parameters	Description
Accuracy	The probability that the data provided is within the specified error threshold (e.g. horizontal position error should be below 10 m in 95% of all provided positions)
Latency	The maximum time delay between data surveying (time point of measuring) and providing (time point of provision or indication)
Continuity	The probability that in a certain (short) time period the data provision is performed continuously and meets the accuracy requirements
Availability	The percentage of time that in a certain (long) time period the data provision is performed and meets the accuracy requirements
Update rate	The fixing interval (time increment between data provided successively) to define the time resolution of data determined
Coverage	Specific area (e.g. geo-referenced parameters, co-ordinates) where high-accuracy positioning or ranging is required and supported
Alert limit	The Threshold to flag unfulfilled position accuracy requirements
Time to alarm	The tolerated time delay between the occurrence of a significant error and its indication
Integrity risk	The probability for a certain (short) time period that a violation of accuracy requirements remains undetected

3. 표준화 쟁점 사항과 해양 정밀측위 서비스를 위한 고려사항

정밀측위 서비스를 위한 표준화 쟁점은 다음의 5가지로 나눌 수 있으며, 본 논문은 중요도 순으로 나열하였다. 이 중에서도 우선순위가 높은 상위 3가지는 해양 정밀측위 서비스를 위해 우선적으로 고려되어야 할 사항이다.

- 어떤 기술을 이용할 수 있는가? 현 기술의 어떤 점을 발전시켜야 하는가?
- 목표 성능을 어떻게 규정하고, 검증할 것인가?
- 신뢰성을 보장하기 위한 방법은 무엇인가?
- 기존 DGNSS 서비스와의 연속성과 연계는 어떻게 형성할 것인가?
- 서비스 측면에서 통신 방법과 이용자 측면에서의 장비는 어떻게 규정할 것인가?

(*학술대회발표 지면 규정에 따라 중략함)

4. 결론

본 논문에서는 해양 정밀측위 서비스 구현을 위해 최근 3년간 진행되고 있는 국제 표준화 동향에 대해 논하고자 하였다. 국제 동향을 통해, 표준화 과정에서 논쟁이 되고 있는 사항이 무엇인지 알아 보고, 해양 정밀측위기술을 연구개발하는 데 있어서 고려해야 할 사항에 대해 설명하였다. 마지막으로 본 논문은 앞으로 우리나라가 정밀측위 인프라를 구축하고 관련 서비스를 제공하기 위해서 선제적으로 수행하고 확보해야 할 사항들을 제안하고자 하였다. 향후 해양 정밀측위기술과 서비스는 무인선을 포함한 자율운항 선박의 필수 항해 인프라로서 중요한 역할을 담당할 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “ 해양 정밀 임무수행용 GNSS/INS/eLoran 복합항법

기반기술 개발(1/3)” 에 의해 수행되었습니다(PES8970).

참고문헌

IALA 2012, World Wide Radio Navigation Plan, Edition 2
IALA 2017, ENAV21-13.3, Guideline Draft on Systems and services for high-accuracy positioning and ranging
IMO 2001, Resolution A.915(22), REVISED MARITIME POLICY AND REQUIREMENTS FOR A FUTURE GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GNSS)
IMO 2011, Resolution A.1046(27), WORLDWIDE RADIONAVIGATION SYSTEM
National Maritime PNT Office 2017, [Internet], cited 2017 Sep. 19, available from: http://www.nmpnt.go.kr/html/kr/index html

한국 Loran-C 주국의 송출 시각 조정으로 인한 수신기 영향 분석

손표웅[1,2], 서지원[1,2*]
[1]연세대학교 글로벌융합공학부, [2]연세대학교 글로벌융합기술원

Sudden Transmission Timing Transition of the Master Station of the Korean Loran-C Chain and its Effect on a Loran Receiver

Pyo-Woong Son[1,2], Jiwon Seo[1,2*]
[1]School of Integrated Technology, Yonsei University, [2]Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소 : 대한민국 인천시 연수구 송도과학로 85
연락처 : 032-749-5833 이메일 : jiwon.seo@yonsei.ac.kr

Abstract: Loran은 Long Range Navigation의 약자로, 세계 제 2차 대전 때 미국에 의해 개발되어 사용된 지상파 항법시스템이다. 그 후 전기, 전자 기술이 발달함에 따라 성능이 점점 개량되어 약 450m 정도의 측위 정확도를 갖는 Loran-C 시스템에 이르렀다. 주로 해상에서 활동하는 선박 등을 위한 항법시스템으로 기능하며, GPS가 널리 보급된 이후로 사용 빈도가 현저히 낮아졌으나 여전히 GPS의 백업 시스템으로서 효용가치가 높은 항법시스템이다. Loran-C 시스템은 최소 세 개 이상의 지상 송신국이 하나의 체인을 형성하여 전파를 송출하고, 수신기는 각 송신국으로부터 수신한 신호의 시간 차이(TDOA, time difference of arrival)를 이용하여 자신의 위치를 계산한다. 로란 송신국은 신호를 송출할 때 총 8개의 펄스를 송출하는데, 각 체인 별로 한 개의 주국은 9개의 펄스를 송출하여 해당 신호가 주국으로부터 송출된 신호임을 나타낸다. 각 종국은 주국의 송출 시각으로부터 정해진 송출 시각 간격(ED, emission delay)을 계산하여 그만큼 떨어진 시각에 신호를 송출하게 된다. 이런 일련의 과정을 일정 시간마다 반복하게 되고 그 반복 주기를 Group Repetition Interval (GRI)이라고 한다. 수신기는 수신한 Loran 신호에 위와 같은 규칙을 적용하여 자신의 위치를 계산하므로, 송출 시각에 관한 약속이 지켜지는 것이 측위를 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 최근 한국 Loran-C 시스템에서 발생한 포항 송신국의 송출 시각 조정이 수신기에 끼친 영향을 살펴보았다. 이를 통해 Loran-C 시스템 운영에 있어서 주국의 송출 시각이 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다.

Keywords: Loran-C, TOT control, emission delay, navigation

1. 서 론

Long Range Navigation (Loran) 시스템은 지상 송신탑에서 송출되는 고출력의 지상파를 기반으로 하는 항법시스템으로, 신호도착 시각의 차이를 이용한 쌍곡선 항법으로 측위가 가능하다. 주로 해양 분야에서 항법시스템으로 사용되었지만 훨씬 뛰어난 항법 성능을 보이는 GPS가 개발되면서 그 활용이 많이 줄어들었다. 하지만 GPS는 전파 교란에 취약하다는 약점을 가지고 있고 (Seo et al. 2011), 근래에 의도적인 GPS 전파교란 사례가 빈번하게 발생함에 따라 GPS의 취약점을 보완할 수 있는 보완항법시스템의 필요성이 대두되고 있다 (Inside GNSS 2013). 이에 각 국의 관련 기관과 국제기구 등에서는 GPS의 보완항법시스템에 대한 연구를 활발히 진행해 왔고 (Gerard et al. 2015), 그 결과 기존 Loran-C 시스템을 개량한 enhanced Loran(eLoran) 시스템을 가장 적절한 보완항법시스템으로 권고하고 있다. 기존 Loran-C 시스템을 운영 중인 한국은 현재 eLoran 시스템을 구축하고 시범운영하기 위한 기술개발사업을 진행하고 있다 (Inside GNSS 2017).

Loran-C 시스템에서는 세 개 이상의 송신국이 하나의 주국과 나머지 종국으로 체인을 이루고, 각 체인 내에서 송신국들은 정해진 송출 시각에 따라 신호를 송출하도록 되어있다. 수신기는 각 송신국으로부터 송출된 전파를 수신하고, 송신국들 간의 송출 시각 차이를 고려한 수신 시각의 차이를 계산함으로써 위치를 계산할 수 있다 (Lo et al. 2007). 따라서 수신기가 정상적으로 자신의 위치를 계산하려면 각 송신국에서 정해진 송출 시각 차이를 정확하게 지키면서 신호를 송출하여야 한다. 특히 Loran-C 시스템에서는 송출 시각 규칙의 기준이 되는 주국의 송출 시각이 정확하게 유지되는 것이 중요하다. 본 논문에서는 2017년 8월 중에 있었던 포항 송신국의 송출 시각 조정이 수신기에 미치는 영향을 실측 데이터를 활용하여 분석하였다. 주국의 신호 송출 시각이 갑자기 조정되는 경우, 수신기는 종국의 전파신호를 곧바로 인식하지 못해 측위가 불가능해지는 현상을 보였다.

2. 한국 Loran-C 체인 운영 현황

한국에서는 동아시아 지역에서 운영중인 3개 체인의 Loran-C 신호가 수신 가능하다. 그 중에 9930 Korea 체인의 경우, 한국의 포항 송신국(9930M)을 주국으로 하고, 광주 송신국(9930W)과 러시아의 우수리스크 송신국(9930Z)을 종국으로 하는 구성을 이루고 있으며 Fig. 1과 같은 규칙에 따라 신호를 송출한다.

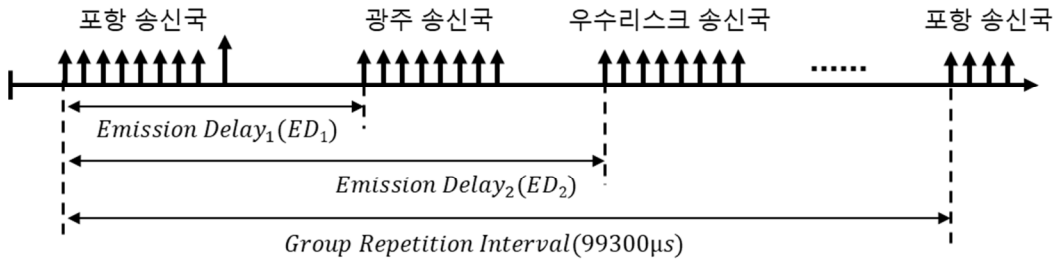


Fig. 1. 9930 Korea 체인의 신호 송출 규칙.

9930 Korea 체인 내에서, 주국이 신호를 송출하면 각 종국은 주국으로부터 송출된 신호를 수신한 후 일정 시간이 지난 시각에 자신의 신호를 송출하게 된다. 주국은 99300μs마다 일정하게 신호를 송출하고, 종국 역시 주국의 신호 송출 주기에 따라 규칙적으로 신호를 송출하게 된다.

3. 주국의 송출시각 변화로 인한 영향

인천에 위치한 연세대학교 국제캠퍼스에는 동북아 Loran-C 신호를 상시 수집할 수 있는 감시국이 설치되어있다. 4층 높이 건물 옥상에 약 3m 높이의 안테나 지지대를 설치한 후 Reelecktronika 사의 H-field 안테나와 수신기를 사용하여 신호를 수집하고 있다. 본 연구에서는 포항 송신국이 신호 송출 시각을 조정했다고 보고된 시각을 기준으로 약 2시간 내외 동안 연세대 감시국에서 수집된 신호를 분석하였다.

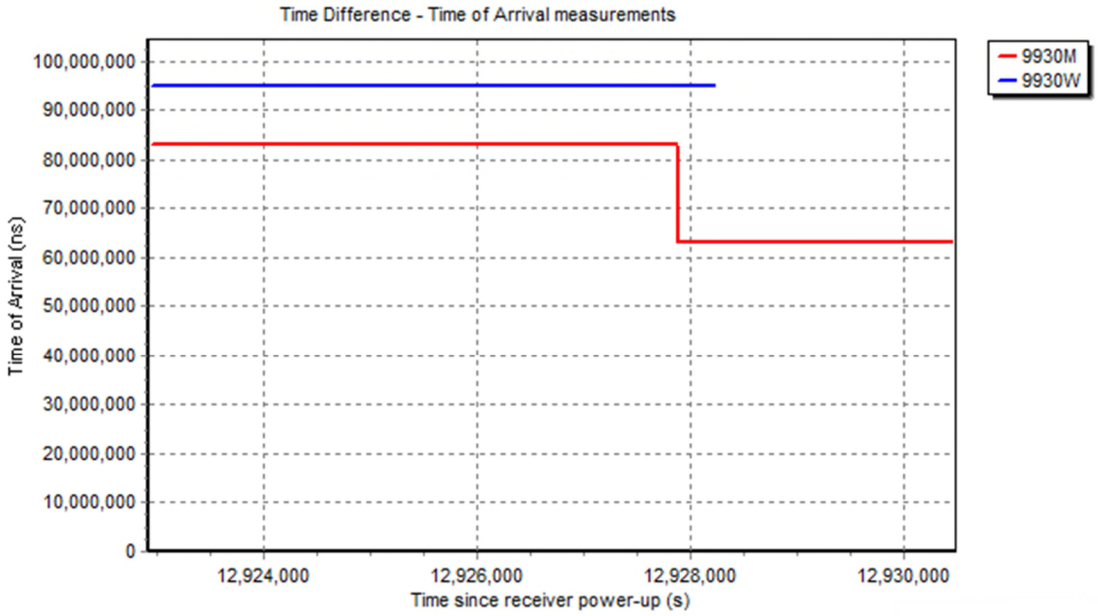


Fig. 2. 포항 송신국(9930M)의 송출 시각 변화 시점의 수신기 신호 수신 현황.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 9930 Korea 체인 내의 주국인 포항 송신국에서 송출 시각을 변화시켰을 때, 일정 시간 동안 종국인 광주 송신국(9930W)으로부터의 신호 수신 시각이 변하지 않았다. 이는 9930 Korea 체인이 실시간으로 서로의 송출시각을 인지하고 그에 맞추어 신호를 송출하는 형태로 운영되고

있지 않음을 나타낸다. 이런 문제는 보정국을 통해 실시간으로 그 차이를 보정해줌으로써 해결할 수 있다.

그리고 일정 시간 이후에는 수신기가 광주 송신국의 신호를 인지하지 못하는 현상이 발생했다. 수신기가 광주 신호를 인지하지 못한 시간 동안에도 광주 송신국에서 정상적으로 신호를 송출했다는 기록을 참고하면, 일반적으로 사용되는 상용 수신기의 경우, 주국 신호의 급격한 송출 시각 변화가 종국 신호의 수신을 어렵게 한다는 것을 알 수 있다.

현재 연세대학교 국제캠퍼스가 위치한 인천 지역에서는 중국의 3개 송신국(슈안청, 룽청, 허룽)과 한국의 2개 송신국(포항, 광주)의 신호가 안정적으로 수신 가능하다. 기본적으로 Loran-C 시스템에서는 동일 체인 내의 송신국에서 송출된 신호들만 측위에 활용할 수 있지만, 본 연구팀이 기존에 개발한 다중체인 측위 알고리즘(Son et al. 2017)을 사용하면 여러 체인의 신호를 동시에 측위에 사용할 수 있다. 즉, 인천에서는 중국 체인을 포함하여 총 5개 송신국의 신호를 동시에 측위에 사용할 수 있게 되고, 이로 인해 항법 성능이 대폭 향상될 수 있다. 하지만, 9930 체인 주국(포항)의 송출 시각 조정으로 인해 광주 송신국 신호를 수신하지 못하게 되는 경우에는 측위에 사용할 수 있는 송신국 신호의 수가 5개에서 4개로 줄어들기 때문에 정확도, 가용성 등 항법 성능이 상대적으로 낮아지는 현상이 발생하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 한국에서 운영중인 9930 Korea 체인의 주국인 포항 송신국의 송출 시각 변동이 수신기에 미치는 영향을 분석하였다. 실제로 6월 17일 오전 7시 경 포항 송신국의 송출 시각이 조정되었고, 이 경우에도 상용 수신기는 짧은 시간 동안 광주 송신국의 신호를 계속해서 수신하였으나 변화된 주국의 송출 시각을 반영하지 못하였다. 이후에는 수신기가 광주 신호를 전혀 수신하지 못하는 현상이 관찰되었다. 포항 송신국의 송출 시각 조정 이후에 광주 송신국 신호가 수신 가능했던 시간 동안에는 보정국에서 그 차이를 보정해준다면 정상적으로 측위가 가능할 수 있지만, 이후에는 수신기가 광주 송신국의 신호를 전혀 인식하지 못하는 현상이 발생했기 때문에 측위 성능이 저하될 수 밖에 없다. 즉, 주국의 송출 시각 조정은 상용 수신기의 항법 성능을 저하시키기 때문에 송신국 운영시 되도록이면 주국의 송출 시각 조정을 지양하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2017-0-01015).

REFERENCES

Gerard, O., Erik, J., Stephen, B., Charles, S., Andrei, G., et al. 2015, eLoran Initial Operational Capability in the United Kingdom – First Results, Proceedings of the 2015 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 27-39, Dana Point, California.

Inside GNSS 2013, North Korea's GPS Jamming Prompts South Korea to Endorse Nationwide eLoran System, available from: http://www.insidegnss.com/node/3532

Inside GNSS 2017, South Korea Developing an eLoran Network to Protect Ships from Cyber Attacks, available from: http://insidegnss.com/node/5598

Lo, S., Peterson, B., Enge, P., & Swaszek, P. 2007, Loran data modulation: extensions and examples, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 43, 628-644. https://doi.org/10.1109/TAES.2007.4285358

Seo, J., Chen, Y. H., Lorenzo, D. S., Lo, S., Enge, P., et al. 2011, A Real-Time Capable Software-Defined Receiver Using GPU for Adaptive Anti-Jam GPS Sensors, Sensors, 11, 8966-8991. https://doi.org/10.3390/s110908966

Son, P.-W., Rhee, J. H., & Seo, J. 2017, Novel Multi-Chain-Based Loran Positioning Algorithm for Resilient Navigation, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, submitted

Loran-C 신호 실측값을 바탕으로 개선된 한국 eLoran 시스템 정확도 시뮬레이션

이준효[1,2], 손표웅[1,2], 서지원[1,2*]
[1]연세대학교 글로벌융합공학부, [2]연세대학교 글로벌융합기술원

Improved Accuracy Simulation of Korean eLoran System Based on Actual Loran-C Measurements

Joon Hyo Rhee[1,2], Pyo-Woong Son[1,2], Jiwon Seo[1,2*]
[1]School of Integrated Technology, Yonsei University, [2]Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

주소 : 대한민국 인천시 연수구 송도과학로 85
연락처 : 032-749-5833 이메일 : jiwon.seo@yonsei.ac.kr

Abstract: 현재 가장 범용적으로 활용되고 있는 항법시스템인 GPS는 위성 신호를 이용하기 때문에 수신 신호의 세기가 약하다는 특성이 있다. 이 특성 때문에 GPS는 전파 교란에 취약하며 실내나 터널 등의 환경에서 위성이 수신기의 시야에 드러나지 않으면 이용하기 힘들다는 단점이 있다. eLoran 시스템은 기존 GPS만 사용할 때의 단점을 보완하고 항법 서비스의 부재로 인한 위험을 분산할 수 있도록 하는 보완항법시스템으로 개발된 지상파 기반 항법시스템이다. eLoran 시스템의 주요한 특징으로는 송신 출력이 매우 높아 전파 교란에 강인하며, 파장이 긴 지상파를 이용하기 때문에 시야(line-of-sight)가 확보되지 않아도 측위가 가능하다는 점 등이 있다. 영국 등의 해외에서는 이미 eLoran 시스템 시범 운영 및 성능 시험을 진행한 바 있으며, 한국 또한 현재 eLoran 시스템 연구 개발을 진행하고 있다. eLoran 시스템 운영을 위해서는 최소 3개의 송신국이 필요한데, 한국에는 기존 Loran-C 시스템의 송신국인 포항 송신국과 광주 송신국이 있기 때문에 이 시설을 eLoran 송신국으로 개량할 수 있으며, 여기에 최소 1개의 새로운 eLoran 송신국만 추가로 설치하면 해상의 일부 지역을 커버하는 독자적인 eLoran 시스템을 운영할 수 있다. eLoran 송신국은 100 m 이상의 높은 송신 안테나를 포함하는 송신 시스템을 필요로 하기 때문에 실제로 설치한 후에는 이전하거나 변경하기 위해 많은 비용이 요구될 수 있다. 이 때문에 실제로 시스템을 설치하기 이전에 다양한 eLoran 송신국 배치 상황에서의 eLoran 시스템의 정확도 성능을 예측하는 시뮬레이션이 필수적이다. 본 연구에서는 Loran-C 신호의 실측을 통해 수집된 SNR 데이터를 바탕으로 eLoran 정확도 시뮬레이션에 이용되는 SNR 예측값의 오차를 분석하였다. 또한 더 나아가 실측된 Loran-C 신호의 SNR을 이용해 신호의 표준편차를 얻고 이를 예측값과 비교하였다. 본 연구결과를 바탕으로 추후 eLoran 시스템의 성능 예측 시뮬레이션 과정에 SNR 실측값을 반영하는 것이 필요할 것으로 예상되며, 이를 통해 항법성능 예측 정확도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: eLoran, Loran-C, SNR, accuracy simulation

1. 서 론

현대 사회에서 GPS는 이미 일상에서 떼어 놓을 수 없을 정도로 널리 사용되고 있으며, 이에 따라 GPS의 취약성 또한 중요한 문제로 대두되고 있다. GPS는 위성에서 송신하는 신호를 지상에서 수신하는 방식을 이용하기 때문에 신호의 송신 출력에 한계가 있다. 이 때문에 터널이나 실내 등 위성이 수신기의 시야에서 드러나지 않는 환경에서는 서비스를 이용하기 힘들다는 단점이 존재한다. 이에 더하여, GPS 신호보다 더 높은 출력의 교란 신호를 이용하면 GPS 수신기가 GPS 신호를 수신하지 못하게 할 수 있다는 점 또한 GPS의 취약점으로 꼽힌다. 특히 휴전 상황인 한국에서는 전투기 및 헬기의 항법 시스템, 미사일의 유도 시스템 등 다양한 무기 체계들이 GPS에 의존하고 있기 때문에 전파교란의 위험성이 더욱 크다. 이미 한국은 북한의 의도적인 GPS 전파교란에 의해 수 차례 피해를 입은 사례가 있다. 2010년에 최초로 북한의 전파교란 사례가 발생하여 피해를 입은 바 있으며, 그 이후에도 피해가 점점 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 실제적인 사안의 심각성 때문에 GPS에만 의존적인 항법 시스템을 전파교란으로부터 방어할 수 있는 대안에 관한 연구가 활발하게 수행되어 왔다.

영국 등 몇몇 국가들과 더불어서, 한국 정부는 GPS의 취약성을 보완하기 위한 시스템의 하나로서 eLoran(enhanced Long Range Navigation) 시스템 구축을 추진하고 있다 (Williams et al. 2013, Seo & Kim 2013, Inside GNSS 2017). eLoran 시스템은 기존에 해상에서 사용되던 Loran-C 시스템을 개선하여 성능을 향상시킨 지상파 기반 항법시스템이다. eLoran 시스템은 전파를 이용한 측위 시스템이라는 점에서

GPS와 유사하지만, 인공위성이 아닌 지상의 송신국에서 신호를 송출한다는 점이 가장 큰 차별점이다. 지상의 송신국은 위성과 달리 전력 공급의 제한 및 안테나 제원의 제한이 없기 때문에 100 kHz 대역의 장파를 수십에서 수백 kW의 고출력으로 송출할 수 있다. 고출력으로 송출된 신호는 전파교란이 현실적으로 불가능하기 때문에 eLoran 신호는 의도적인 전파교란 시도에 영향을 받지 않고 안정적으로 서비스를 제공할 수 있다는 점이 큰 장점이다. 또한 실내와 같이 송신국으로부터 시야(line-of-sight)가 확보되지 않은 장소에서도 신호 수신이 가능하다는 점도 유용한 특성 중 하나이다.

eLoran 시스템의 도입에 발맞추어, eLoran 시스템의 성능을 예측하고 시뮬레이션 할 수 있는 소프트웨어의 필요성 또한 제기되어 왔다. 송신국을 설치해야 하는 eLoran 시스템의 구조 상, 초기 설치 비용이 많이 소요되고 설치 후 위치 변경도 현실적으로 쉽지 않기 때문에 본격적인 설치 및 운영 이전에 충분한 사전 조사와 성능 예측이 필수적이다. eLoran 시스템의 성능 예측 시뮬레이션 소프트웨어는 시스템의 설치 이전에 다양한 상황과 조건에 대한 사전 시뮬레이션을 가능하게 하여 최적화된 시스템을 구현할 수 있게 할 뿐 아니라, 설치 이후에도 정확도 및 무결성 성능 향상을 위한 지속적인 연구개발에 활용 될 수 있다.

본 논문에서는 eLoran 시스템의 성능 예측 시뮬레이션을 위한 기반 연구 중 하나로서, Loran-C 신호를 실측하여 이를 eLoran 시스템의 성능 예측 시뮬레이션 소프트웨어에 반영하여 그 정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다. 현재 아직 eLoran 신호가 송출되기 이전이기 때문에 Loran-C 신호를 이용해 연구를 수행하였다. Loran-C 신호를 실측하여 eLoran 시스템의 정확도 계산에 이용할 수 있는 이유는 Loran-C 신호의 전자기적 특성이 eLoran 신호와 동일하기 때문이다.

2. 시스템의 정확도와 신호대잡음비 (SNR)

eLoran 시스템의 정확도를 계산하기 위해서는 다양한 변수들이 고려되어야 한다. 대표적인 변수로는 송신출력, 신호를 감쇠시키는 지표면의 유효대지도전율, 신호가 전파될 때 혼합되는 대기잡음, 송신기의 지터(jitter) 등을 꼽을 수 있다. 이 중 신호의 송신출력과 유효대지도전율을 이용해 신호의 수신 세기를 계산할 수 있으며, 신호의 수신 세기와 대기잡음의 비율을 데시벨 단위로 계산하면 SNR을 얻을 수 있다. SNR 계산 과정 및 한반도 지역에서의 eLoran SNR 시뮬레이션에 관련된 내용은 선행 연구인 Rhee & Seo (2013)에 자세히 기술하였다. SNR을 이용하여 eLoran 시스템의 정확도를 계산하기 위해서는 먼저 eLoran 신호의 표준편차를 계산해야 하는데, 신호의 표준편차와 SNR 간의 관계는 다음과 같다 (Rhee & Seo 2014).

$$\sigma_i^2 = J_i^2 + (\sigma_{256}^2 \cdot \frac{256}{T_{avg} \cdot pps_i}) \times 10^{-\frac{SNR_i}{10}} \quad (1)$$

σ_i는 i번째 송신국에서 송신된 신호의 표준편차를 의미하며 J_i는 i번째 송신국의 지터를 의미한다. eLoran 시스템은 UTC 시각에 동기화된 송신기를 이용해 ns 단위의 정확한 타이밍에 신호를 송출하게 되는데, 송신국의 지터란 이 과정에서의 발생한 오차를 의미한다. 지터 값은 일반적으로 특정 대푯값을 고정하여 사용하는데, Lo et al. (2008)은 미국 내의 eLoran 송신기의 지터를 6 m로 가정하여 사용하였으며 Hargreaves et al. (2015)은 영국의 eLoran 송신기의 지터를 4 m로 가정하였다. 이에 본 연구에서는 송신국 지터를 6 m로 가정하였다. σ_{256}은 256개의 eLoran 펄스의 표준편차 값이며, 이 값과 데이터 수집 시간(T_{avg}), 그리고 초당 펄스 개수(pps_i)를 이용해 비례적인 방법으로 표준편차를 계산한다. SNR_i는 i번째 송신국의 SNR 값이며, 유효대지도전율에 따른 신호 감쇠와 대기 잡음 등을 모두 고려한 결과 항이다. 이 수식에 송신기의 지터 및 특정 수신기가 측정한 SNR 값을 대입하면 수신기에 도달한 eLoran 신호의 표준편차 값을 계산할 수 있다. eLoran 신호의 표준편차를 이용해 정확도를 계산하는 구체적인 과정은 Rhee & Seo (2014)에 자세히 기술되어 있다.

3. 실측된 SNR과 예측된 SNR

앞 절에서 설명한 바와 같이 시뮬레이션을 통해 SNR 값을 계산하는 방법이 있지만, 이를 검증 및 보완하기 위해서는 실측된 데이터와의 비교가 필수적이다. 현재 Loran-C 신호를 송출하는 국내 송신국으로는 포항 송신국과 광주 송신국이 있으며, 본 연구진은 인천 지역에서 주기적으로 Loran-C 신호 수집 및 분석 작업을 진행해왔다. Table 1은 포항과 광주 송신국으로부터 수집한 Loran-C 신호의 SNR과 시뮬레이션을 통해 예측된 SNR 값을 비교한 내용이다. 실측 SNR 값은 2016년 8월 9일 18시부터 2016년

8월 10일 15시까지 21시간동안 인천 지역에서 수집된 데이터를 바탕으로 하였다.

Table 1의 데이터는 예측된 SNR 값이 실제 측정되는 값에 비해 일정 수준의 오차를 가지고 있음을 보여준다. 이 오차는 결국 시뮬레이션 툴의 정확도 계산 결과에 영향을 미치는 요인이 된다. 한편, 수식 (1)을 이용하면 Table 1에 제시된 각 SNR 값을 이용해 인천 지역 eLoran 신호의 표준편차를 계산할 수 있다. 실측된 SNR 값을 이용해 계산된 표준편차와 예측된 SNR 값을 이용해 계산된 표준편차를 Table 2에서 비교하였다.

계산에 사용된 포항 송신국의 송신 출력은 150 kW, 초당 펄스 수는 180.2개이며, 광주 송신국의 송신 출력은 50 kW, 초당 펄스 수는 80.5개이다. Table 2의 결과를 통해 SNR 예측과정에서 발생한 오차가 표준편차의 계산에 영향을 미치며, 특히 상대적으로 SNR 측정 오차가 큰 광주 송신국의 경우 표준편차의 오차가 더 큼을 알 수 있다.

Table 1. Comparison between the measured and estimated average SNRs.

	Measured average SNR in summer (dB) (m)	Estimated average SNR in summer (dB) (m)	Error (%)
Pohang transmitter	10.78	10.19	5.81
Gwangju transmitter	8.23	6.93	18.74

Table 2. Comparison between signal standard deviations based on the measured and estimated average SNRs.

	Standard deviation based on measured average SNR in Summer (m)	Standard deviation based on estimated average SNR in Summer (m)	Error (%)
Pohang transmitter	6.22	6.25	0.48
Gwangju transmitter	6.83	7.09	3.67

4. 결 론

본 논문에서는 Loran-C 신호의 실측을 통해 eLoran 시스템의 정확도 시뮬레이션을 위한 SNR 예측 과정에서 발생하는 오차를 계산하고 그 영향을 분석하였다. SNR 값은 신호감쇠 특성과 유효대지도전율, 대기 잡음 등의 데이터를 바탕으로 하여 실제와 유사하게 예측할 수 있는 변수이다. 하지만 날씨 또는 지형 변화 등 다양한 요인으로 인해 데이터에 오차가 포함될 수 있으며, 그 결과 SNR의 오차는 정확도 시뮬레이션 결과의 오차로 이어지기 때문에 최소화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 포항 송신국과 광주 송신국에서 송신하는 Loran-C 신호를 실측하여 평균 SNR 데이터를 수집하였고, 이를 이용해 각 송신국 신호의 표준편차 값을 계산할 수 있었다. 그 결과 SNR 예측 과정에서 발생한 오차가 표준편차 계산에도 영향을 주며, 특히 포항 송신국보다 상대적으로 SNR 예측 오차가 큰 광주 송신국의 경우, 표준편차의 오차가 더 크게 발생함을 알 수 있었다. 본 연구 결과를 바탕으로, 실측값을 반영할 수 있는 SNR 시뮬레이션 방식을 개발한다면 더 정확하게 eLoran 시스템의 성능 예측이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2017-0-01015).

REFERENCES

Hargreaves, C., Williams, P., Safar, J. & Bransby, M. 2015, Radio-Navigation System Coverage Modelling Software, 2015 International Association of Institutes of Navigation World Congress (IAIN), 20-23 Oct. 2015, Prague, Czech Republic.

Inside GNSS 2017, South Korea Developing an eLoran Network to Protect Ships from Cyber Attacks, available from: http://insidegnss.com/node/5598

Lo, S. C., Peterson, B. B., Boyce, C. O. L., Jr. & Enge, P. K. 2008, Loran Coverage Availability Simulation Tool, Proceedings of the Royal Institute of Navigation NAV 08/ International Loran Association 37th Annual Meeting, 28-30 Oct. 2008, London, UK.

Rhee, J. H. & Seo, J. 2013, eLoran Signal Strength and Atmospheric Noise Simulation over Korea, Journal of the Korean GNSS Society, 2, 101-108. https://doi.org/10.11003/JKGS.2013.2.2.101

Rhee, J. H. & Seo, J. 2014, Performance simulation of the Future Korean eLoran System, Proceedings of the IALA Conference, 25-31 May 2014, A Coruna, Spain.

Seo, J. & Kim, M. 2013, eLoran in Korea – Current Status and Future Plans, Proceedings of the European Navigation Conference, 23-25 Apr. 2013, Vienna, Austria.

Williams, P., Last, D., & Ward, N. 2013, eLoran in the UK - Leading the Way, Proceedings of the ION 2013 Pacific PNT Meeting, 23-25 Apr. 2013, Honolulu, HI, USA, pp.451-462.



Proceedings

– Poster –

GPS와 Theodolite를 결합한 시스템의 측지 기법 연구

장석원
국방과학연구소 제3기술연구본부

Study on the Survey Method of GPS and Theodolite Integrated System

Sukwon Jang
The 3rd R&D Institute, Agency for Defense Development

주소 : 대전 유성구 수남동 111 번지 국방과학연구소
연락처 : 042-821-4933 이메일 : feldspar1@add.re.kr

Abstract: 측지장비는 작전지역의 정확한 측지 제원을 산출하기 위한 장비로서, 현재 군은 자동측지장비로 재래식 측지장비를 대체하고 있다. 재래식 측지장비는 사용하기가 불편하며, 측지 제원 산출에 소요되는 시간이 매우 길다는 단점이 있다. 자동측지장비는 관성항법장치와 total station을 결합한 장비로서 우수한 성능과 신속성을 보유하고 있으나, 상대적으로 장비가 크고 무거우며 초기 정렬을 위한 시간이 필요하다는 단점이 있다. 재래식 측지장비의 핵심 장비인 theodolite와 GPS를 결합하면, theodolite의 각도 결정능력과 GPS의 위치 결정능력을 이용하여 다양한 측지기법을 구현할 수 있다. 이 논문에서는 두 시스템을 결합한 간단한 장비에 의해 진지지역 측지, 표적지역 측지와 같은 고급 측지 기술이 실현 가능함을 보이고, 측지 제원을 산출함에 있어 발생할 수 있는 문제점에 대해 살펴본다.

Keywords: GPS, theodolite, position area survey, target area survey

1. 서 론

군에서 수행하는 측지임무는 일반측지, 원격측지, 진지지역 측지, 표적지역 측지로 나눌 수 있다. 현재 군은 작전 지역 내 현 위치, 방위각 등 측지 제원을 정확하게 산출함으로서 포병의 정확성 및 신속성을 제공하는 측지장비로서 자동측지장비를 운용하고 있다 (Jang 2013).

자동측지장비는 편제차량에 탑재가 가능한 일체형 장비로서 정밀한 좌표와 표고, 방위각을 제공하는 관성항법 측지체계이다. 편제차량의 진입이 가능한 지역은 편제차량을 운행하면서 측지점을 확장하는 임무를 수행할 수 있고, 원거리에 대해서는 total station과 연동을 통해 원거리 지점의 좌표를 산출할 수 있다 (Jang et al. 2011). 그러나 이 장비는 고가이며, 상대적으로 크고 무겁다. 재래식 측지 방식은 광파거리 측정기와 theodolite를 이용하여 제원을 산출하는데, 절차가 복잡하고, 오차가 큰 단점이 있다.

GPS는 위성신호를 이용하여 위치를 결정할 수 있는 매우 효과적인 시스템이다. GPS는 위치 획득이라는 관점에서 관성항법장치보다 작고 저렴하며, 재래식 장비에 비해 빠르고 정확한 장점을 갖는다. 그러나, 방향에 관한 측지임무를 수행하는데 어려움이 있을 수 있다. GPS를 재래식 장비에 결합한 시스템을 고려했을 때 가격은 저렴하고 정확도가 높으며 다양한 측지임무를 수행할 수 있는 장점을 기대할 수 있다.

2. 시스템 구성

측지 임무를 수행하기 위한 시스템은 아래와 같이 구성된다. GPS는 위치를 구하게 되고, GPS로 산출된 두 점의 좌표로부터 해당 기선의 방위각을 구할 수 있다. Theodolite는 구해진 방위각을 이용하여 각도를 확장하는데 이용할 수 있다. 다양한 측지작업의 효율성을 높이기 위해서 여러 대의 GPS와 theodolite를 사용할 수도 있다.

- GPS : 위치좌표 획득
- T-2 theodolite : 수평각, 수직각을 측정하는 4급 측각기재
- 반사경 : 각도측정을 위한 보조기구

T-2 theodolite은 군에서 사용하고 있는 재래식 측지장비 중 하나인 Leica사에서 제작한 각도를 측정할 수 있는 기재로서 측정된 각도는 표준편차 0.8", 최소 읽음단위 0.1"인 분해능을 갖는다. 주요 구성품은 theodolite 몸통, 삼각대, 부수기재 및 휴대통으로 구성되어 있으며, 수평분도원과 수직분도원을 구분하여 읽도록 분도원 선택 손잡이가 있고 조명거울 2개와 분도원 멈치나사가 부착되어 있으며, 그 외 외부명칭은 Fig. 1과 같다.

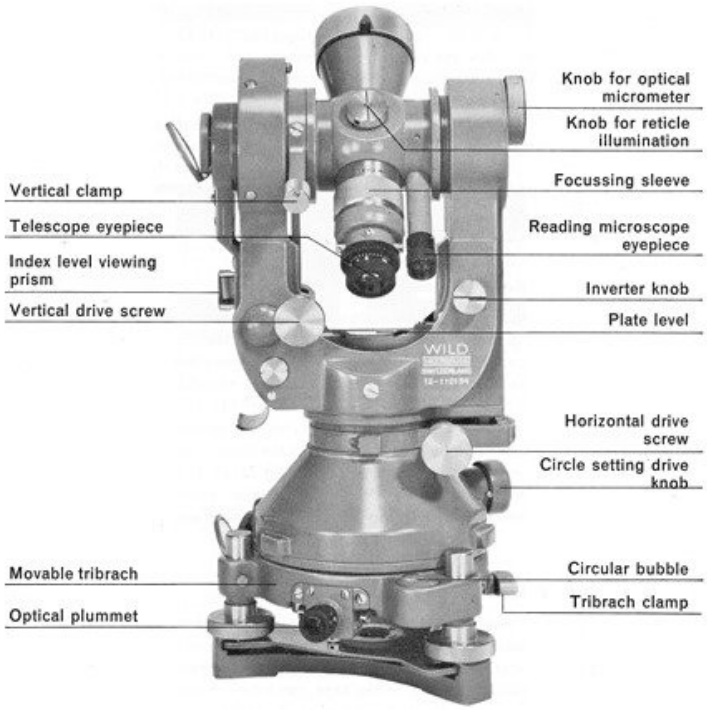


Fig. 1. T2-theodolite.

3. 측지 임무 분석

GPS를 이용한 측지임무 수행을 위해서는 측지업무에 대한 분석이 선행되어야 한다. Fig. 2는 측지작업을 구분한 것으로 진지지역 측지, 표적지역 측지, 연결측지로 구성된다. 재래식 측지장비와 관성항법을 사용하는 자동측지장비는 연결측지를 수행함으로 측지점을 확장해 나간다. 이것은 현재의 측지점을 구하기 위해서는 과거의 측지점이 필요한 것을 의미한다. 그러나 GPS를 사용하게 된다면 현재의 위치획득과 과거의 위치획득이 별개이므로 연결측지를 수행할 필요가 없다.

진지지역 측지는 포병대대의 진지지역을 측지하는 임무로서 방향부여점, 포대중앙 좌표, 방향기선을 산출하는 것이 목적이다. 진지지역에 존재하는 포대중앙(BC; Battery Center)의 좌표는 GPS를 통해 쉽게 산출할 수 있다. 방향부여점(OS; Orienting Station)의 좌표는 방향부여점에 GPS를 위치시켜 얻을 수 있다. 방향부여점에서 방위기준점(AZMK; Azimuth Mark)까지의 방향기선(OL; Orienting Line)을 설정하기 위해서는 방향부여점을 기준으로 포대중앙에서 방위기준점까지의 수평각을 이용한다.

수평각을 측정하기 위해서 OS점에 theodolite를 설치한다. OS점에서 BC점을 바라본 방위각은 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 그리고 나서 theodolite를 돌려서 AZMK점을 조준하면 구해지는 각도가 수평각이다. 측정된 각도들을 이용하면 식 (2)에 의해 OL 방위각을 계산할 수 있다.

$$\angle\left[\overset{\mathrm{r}}{V}_{BC\rightarrow OS}\right] = \tan^{-1}\left[\frac{OS_{\text{북거}} - BC_{\text{북거}}}{OS_{\text{동거}} - BC_{\text{동거}}}\right] \tag{1}$$

$$\angle OL = \angle\left[\overset{\Gamma}{V}_{BC\rightarrow OS}\right] + \text{수평각} \tag{2}$$

표적지역에 대한 측지는 10km 이상 이격된 원거리 표적을 5급 측지 정확도 이상으로 산출하는 것이다. Fig. 2에서 O1점과 O2점의 좌표를 GPS를 통해서 산출한다. O1에서 O2를 바라보는 방위각은 식 (3)과 같이 구할 수 있다. O1과 O2에서 식별이 가능한 표적이 설정되면, 각 점에서 표적을 바라본 방위각을 산출한다. O1에 theodolite를 설치하여 O2와 표적 간의 수평각을 측정하면 식 (2)와 유사한 방식으로 O1에서 표적을 바라본 방위각을 구할 수 있다. 이러한 방법을 O2에 대해 적용하면 O2에서 표적을 바라본 방위각 또한 구할 수 있다.

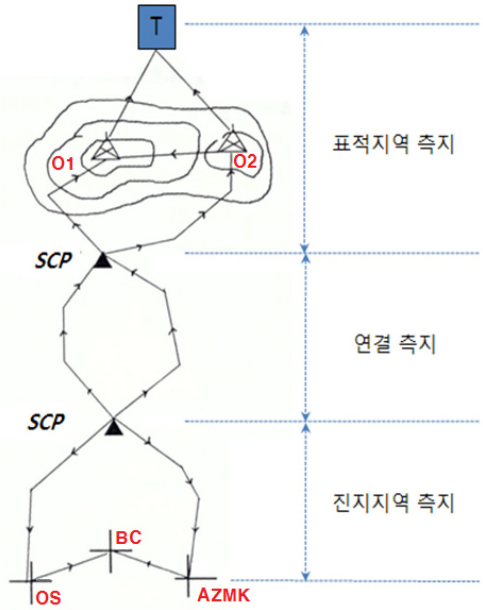


Fig. 2. Survey mission.

$$\angle\left[\overset{r}{V}_{O1\to O2}\right]=\tan^{-1}\left[\frac{O2\,북거-O1\,북거}{O2\,동거-O1\,동거}\right] \tag{3}$$

O1점과 O2점에 대한 좌표($(E_{O1},N_{O1}),(E_{O2},N_{O2})$)와 그 점에서 표적을 바라본 방위각(H_{O1},H_{O2})을 알고 있다면 표적의 좌표를 구할 수 있다. 지구의 표면은 지도와 같은 평면이 아닌 불규칙한 곡면으로 되어 있다. 하지만 지구의 반경은 대략 6400km 이므로 수 km 지역에 대해서는 평면을 가정하더라도 큰 무리가 없다 (Yu 2005). 이 같은 이유로 표적 측지를 수행하는 삼각형의 세 점이 한 평면 내에 있다고 가정하면, 각 점에서 표적을 바라본 방향은 그 점에서의 방위각이 된다. 즉 점과 그 점에서의 방위각이 주어져 있으므로 평면상에서 방향기선의 방정식을 구할 수 있다. O1점에서 표적을 향하는 방향기선의 방정식은 아래와 같다.

$$N-N_{O1}=\frac{1}{\tan H_1}\times(E-E_{O1}) \tag{4}$$

방위각은 진북을 기준으로 시계방향으로 정의되며, 같은 방식으로 O2점에서 표적을 향하는 방향기선은

$$N-N_{O2}=\frac{1}{\tan H_2}\times(E-E_{O2}) \tag{5}$$

이다. 두 방향기선의 교점은 표적(Fig. 2의 T)이 되며, 표적의 좌표를 (E_{TG},N_{TG})이라 하면, 표적 좌표는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{bmatrix}E_{TG}\\N_{TG}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\dfrac{(N_{O1}-N_{O2})-(E_1/\tan H_1-E_2/\tan H_2)}{1/\tan H_2-1/\tan H_1}\\[2ex]\dfrac{(E_{O1}-E_{O2})-(N_1\tan H_1-N_2\tan H_2)}{\tan H_2-\tan H_1}\end{bmatrix} \tag{6}$$

4. 시스템 오차 분석

GPS를 이용한 측지임무 수행을 위해서 theodolite를 결합하였다. GPS를 이용한 측지점의 좌표 오차는 GPS의 오차와 같다. 진지지역이나 표적지역 측지의 방위각 결정은 방향기선을 결정하는 두 점의 좌표오차와 방위각을 확장하는데 필요한 시준오차, 그리고 theodolite의 장비오차가 영향을 미친다. 이러한 오차들은 장비의 특성에 기인한 오차들이다. 그러나 표적지역 측지에서는 구조적인 오차가 존재한다. 표적지역의 오차는 관측점(O1, O2)의 좌표오차와 방위각 오차에 의해 결정되나 O1과 O2 사이의 거리가 가까우면 관측점의 좌표오차에 의해 비선형적으로 큰 오차를 유발할 수 있다 (Jang et al. 2015). 즉, Fig. 2에서 점 O1, O2, T로 이루어진 삼각형에서 점 T에서의 각도를 정각이라 하는데 정각의 크기가 작으면 식 (6)으로 구한 표적 좌표의 오차가 매우 커지게 되는데 이것은 GPS 오차가 위성배치에 의해 영향을 받는 것과 같은 구조적 유형의 오차라 할 수 있다. 정각의 크기가 20도 이하의 작은 각으로 표적을 바라볼 때에는 매우 정확도가 높은 GPS를 사용하여 관측점의 오차를 최대한 줄여야만 한다.

5. 결 론

군에서 사용하는 재래식 측지장비의 효용성을 증대시키기 위해 GPS 기반 측지시스템을 설계하고, 그 운용방법을 설명하였다. GPS의 우수한 위치결정능력은 재래식 장비가 갖는 방향결정능력과 결합하여 측지임무를 수행하기에 부족함이 없음을 확인하였다. 측지임무를 수행함에 있어서 좌표오차는 GPS 오차에 의해, 방위각 오차는 GPS 좌표오차와 theodolite의 오차가 결합되어 나타날 수 있음을 알아보았고, 표적지역 측지에서는 정각이 작을 때 정확도가 높은 GPS를 사용해야 함을 제안하였다.

참고문헌

Jang, S. W. 2013, The Analysis of Automatic Geodetic Survey System Development Trend, Analysis of Defense New Technology Trends, 30, 39-41

Jang, S. W., Lee, T. G., & Lee, J. S. 2015, Target Positioning Error Analysis of Automatic Survey System, Journal of the KIMST, 18, 1-7

Jang, S. W., Park, C. J., & Baik, B. S. 2011, Harmonization Angle Compensation between Inertial Navigation System and Total Station, the 18th GNSS Workshop, Jeju, NOV 2011

Yu, B. M. 2005, Geodesy (Seoul, Korea: Dong-Myung Sa)

고충격 MEMS-IMU 개발 및 가스건 시험

김준형*, 김현기, 배정태, 홍정근, 김정원, 남창우
㈜한화 종합연구소

Development of High-g MEMS-IMU and Gas-gun Test

Jun Hyung Kim, Hyun Ki Kim, Jeong Tae Bae, Jeong Geun Hong, Jeong Won Kim, Chang Woo Nam
Hanwha Corp. R&D Center

주소 : 대전광역시 유성구 외삼로 8 번길 99(외삼동)
연락처 : 010-4404-5110 이메일 : kjhlite@hanwha.com

Abstract: 최근 지능탄과 같은 새로운 개념의 무기체계 등이 개발되고 있다. 이러한 체계에서 요구되는 항법장치의 주요 성능 중 하나가 수만 g의 포발사 충격에 견딜 수 있는 내 고충격성이다. 기존의 광학식이나 기계식 자이로가 적용된 IMU는 이러한 규격을 만족할 수 없어 MEMS기반의 IMU가 적용되고 있다. 본 논문에서는 포발사 충격에 생존 가능한 국산 MEMS-IMU의 개발에 대해서 기술하고자 한다. 내고충격성을 위한 설계, 제작 방법을 제시하고, 가스건 시험을 통하여 OO,OOOg 이상의 충격에서 IMU가 생존하는 것을 보였다.

Keywords: smart munitions, MEMS-IMU, high-shock

1. 서 론

기술이 발전함에 따라 최소한의 화력으로 적 주둔지를 정밀 타격하여 전력을 극대화하는 추세로, 재래식탄에 유도/항법 기능이 추가되어 정밀타격이 가능한 지능탄에 대한 연구가 이루어지고 있다. 지능탄에 적용하기 위해서는 소형, 저가, 저전력, 내충격성을 가져야하기 때문에 광학식, 기계식 자이로는 적용하기 어렵다.

Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) 센서는 반도체 공정을 이용하여 대량생산이 용의하며 다른 센서에 비해 저가이며 내충격성을 가지고 있어 지능탄에 적합하다. 해외에서도 HG1930, SilMU02등 MEMS 관성센서를 적용한 고충격용 IMU를 개발하였으며, Excalibur등 일부 체계에 적용 중이다. 포발사에 적용되는 고충격용 IMU는 충격 후 바이어스, 환산계수 등 성능 변화가 적어야 한다. 본 논문에서는 포발사용으로 개발된 MEMS IMU를 소개하고 Gas-Gun 시험을 통해 시험 전후의 주요 성능변화를 확인하여 내 고충격성을 검증한 결과를 제시하였다.

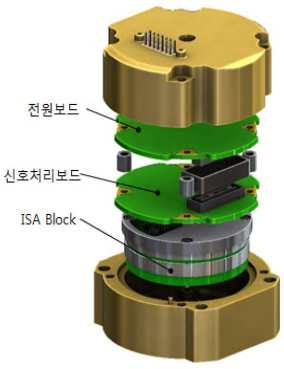


Fig. 1. Gun hard MEMS IMU.

2. 고충격용 MEMS-IMU

고충격용 MEMS IMU는 포발사시 발생하는 고충격(00,000G)에 대한 내구성을 가져야 한다. MEMS IMU는 Fig. 1과 같이 가속도, 자이로로 구성된 Inertial Sensor Assembly Block과 신호처리보드, 전원 보드 등으로 구성된다. 충격에 대한 내구성을 확보하기 위해 전자보드는 소형으로 구성하며 소자의 무게 배분 및 에폭시 계열의 몰딩제를 적용한다. 몰딩시 내부의 기포 및 빈공간 제거를 위해 압력챔버를 이용하며,

전자보드 커넥터 내부에 몰딩액이 침투로 인한 단선을 방지하고자 몰딩 전 전처리를 통해 기판의 Via를 막아주며 별도의 CAN으로 보호한다.

관성센서는 세라믹패키지 내에 장착되어 있고 밀폐되어 있기 때문에 몰딩을 적용할 수 없어 MEMS 센서 자체의 강성으로 충격에 생존해야한다. 공진형 MEMS 자이로의 경우 수~수십 kHz의 공진주파수로 설계되어 구조적으로 강인하며, 충격에 대한 내구성을 가지지만, 가속도 센서의 경우 수백~수천 Hz의 공진주파수로 인해 자이로에 비해 상대적으로 취약한 구조를 가지기 때문에 가속도계 내부의 적절한 설계 요소를 선정을 통해 내충격성을 확보해야 한다(Tanner et al. 2000).

관성센서는 기준 전압과 Pre-amp를 구성하는 수동 소자의 변화에 민감하기 때문에 몰딩제로 도포할 경우 열팽창 계수의 차이에 의한 열응력으로 센서의 성능에 영향을 미치게 됨으로 센서에 영향을 미치지 않는 부분을 선별 몰딩 및 보호캡을 통해 몰딩에 의한 영향을 최소화 한다.

3. 고충격 시험

3.1 GAS GUN 시험

포발사용 MEMS IMU를 검증하기 위하여 Gas-Gun 시험기를 이용하였다. Gas-Gun 시험기는 Fig. 2와 같이 압축된 질소가스를 순각적으로 방출하여 충격자를 발사하고 99.9% 납봉에 충돌할 때 발생하는 감가속도를 이용하여 충격을 인가하는 시험기이다. 충격량은 충돌 직전에 측정된 속도와 시뮬레이션으로 계산된 충돌시간으로 구할 수 있다. 실제 포발사와 충격 시간의 차이가 있으나 저 비용으로 유사한 충격량을 인가할 수 있다.

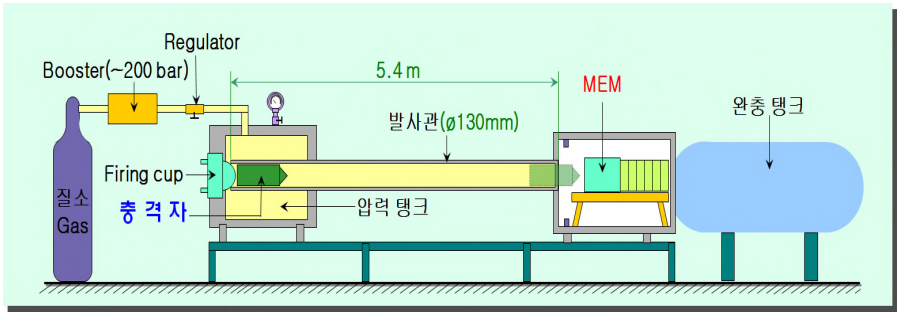


Fig. 2. Configuration of gas gun equipment.

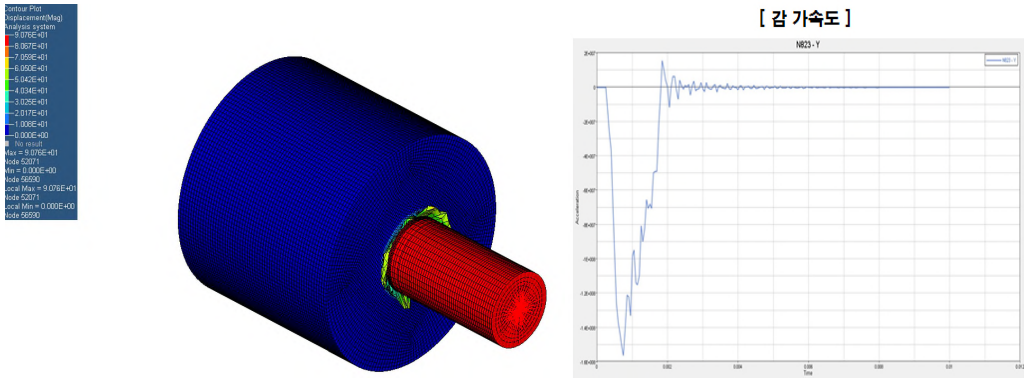


Fig. 3. Simulation of gas gun equipment.

3.2 GAS GUN 시뮬레이션

Gas Gun 시험기의 충돌 시간을 구하기 위해 상용 프로그램인 Hyperworks의 Hypermesh와 RADIOSS를 이용하여 구성하였으며 충격자는 강체 요소를 적용하고 납은 비선형 물성 모델인 Steinberg-guinan 모델을 사용하였다. 충돌 속도는 130~135m/s이며 무게는 10kg이다. 해석결과 Fig. 3의 그래프와 같이 약 1.5ms의 충돌 시간 및 00,000G의 충격이 인가됨을 확인하였다.

3.3 시험 후 IMU 성능

포발사 충격이 후 가속도계, 자이로 3축 모두 정상적으로 모션을 감지하였으며 성능을 확인하기 위하여 바이어스 반복도, 환산계수, 비안정도, Random walk등을 측정하였다. 반복도는 30초 간격으로 30초 측정치의 평균값을 10회 측정하여 표준편차로 계산하였으며, 환산계수는 100deg/s, 1g 조건으로 10분간 10회 측정치의 표준 편차이다. 잡음 및 비안정도는 1시간 정지상태의 데이터를 이용하여 계산하였다. 포발사 시 발생하는 충격은 센서의 바이어스, 환산계수 등에 영향을 미치며 항법 수행시 오차요인으로 발생한다(Yun & Park 2015). 본 시험에서는 Gas gun 시험 후 Tables 1, 2, 3과 같이 바이어스 반복도는 10deg/hr, 3mg 이내 이며, 비안정도는 2deg/hr, 1mg 이하, Random walk은 0.2deg/rt-hr, 0.05m/s/rt-hr로 충격 후에 성능의 큰 변화가 없음을 확인하였다.

Table 1.Bias repeatability after high shock.

		시제1		시제2	
		Bias (deg/hr,mg)	SF (ppm)	Bias (deg/hr,mg)	SF (ppm)
Gyro	X	3.83	65	3.20	50
	Y	2.17	41	2.16	40
	Z	5.01	34	2.17	31
Acc	*X*	0.39	166	0.51	152
	Y	0.80	47	2.77	71
	Z	0.51	44	0.72	29

Table 2. In stability after high shock.

	Gyro(deg/hr)			Acc(mg)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
IMU 1	0.88	0.97	0.89	0.11	0.13	0.11
IMU 2	1.47	1.09	1.07	0.11	0.13	0.06

Table 3. Random walk after high shock

	ARW			VRW		
	X	Y	Z	X	Y	Z
IMU 1	0.09	0.10	0.10	0.03	0.05	0.05
IMU 2	0.15	0.10	0.13	0.03	0.04	0.04

4. 결 론

본 논문에서는 포발사 탄에 항법 장착을 목적으로 제작한 MEMS IMU에 대하여 Gas Gun 시험을 통하여 충격 내구성을 확인하고 바이어스 반복도, 환산계수, 비안정도, Random walk 등의 성능이 유지됨을 확인하였다. 추후 Soft Cat test 등을 통하여 실제 포발사 환경에서 생존성과 성능을 확인할 계획이다.

REFERENCES

Tanner, D. M., Walraven, J. A., Helgesen, K., Irwin, L.W., Brown, F., et al, 2000, MEMS reliability in shock environments, Presented at IEEE International Reliability Physics Symposium in San Jose, CA, April 10-13,.129-138. https://doi.org/10.1109/RELPHY.2000.843903

Yun, S. J. & Park, U. S. 2015, Design and Analysis of MEMs Vibrating Ring Gyroscope Considering High-g shock reliability, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers 64, 1440-1447. http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.10.1440

장기저장을 고려한 항공 장착물 GPS/INS 통합항법장치 설계방안

정철주, 서병일
국방과학연구소

GPS/INS Integrated Navigation System Design Considering Long-Term Storage

Chul Joo Chung, Byung-il Seo
Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 수남동 111 국방과학연구소
연락처 : 042-821-3397 이메일 : repairer@add.re.kr

Abstract: GPS 수신기는 Temperature-Compensated Crystal Oscillator(TCXO)로부터 기준 클럭을 입력 받아 로컬 클럭을 생성하여 이용한다. 위성 신호 추적 시 위성과 항체의 상대 속도에 의하여 위성 신호의 주파수가 변화하게 되므로 기준 주파수의 정확도 및 항체의 동특성 고려가 요구된다. 또한 GPS 수신기는 Time To First Fix(TTFF)를 줄이기 위한 방안으로 측정한 동특성을 이용하여 주파수 검색 범위를 줄이고 있다. 하지만 장기 저장이 필요한 항공장착물의 경우, 시간에 따라 TCXO의 기준 주파수가 표류하게 되므로 이를 고려한 설계가 필요하게 된다. 이에 따라 본 논문에서는 장기 저장이 필요한 항공 정착물에 GPS 수신기의 주파수 검색 설계 시 TCXO의 기준 주파수 표류를 고려한 설계 방안을 제시하였다.

Keywords: TCXO, frequency search range, long-term storage, frequency drift

1. 서 론

GPS 수신기는 Temperature-Compensated Crystal Oscillator(TCXO)로부터 기준 주파수를 생성하여 신호 추적에 이용한다. 위성과 항체의 상대 속도에 따라 위성 신호의 주파수가 도플러 효과에 따라 변화함에 따라 GPS 수신기는 일정 범위의 탐색 범위를 설정하여 주파수를 탐색하게 된다. 탐색 범위의 크기에 따라 신호 추적에 소요되는 시간이 결정되고 이는 최초 위성신호 추적 시간에 영향을 미치는 되어 탐색 범위와 최초 위성 신호 소요시간은 trade-off 관계를 가지게 된다(Spilker Jr. et al. 1996). 따라서 항체의 위치 및 속도와 같은 동특성 정보를 사용할 수 있는 hot start의 경우 탐색 범위를 좁게 하여 Time To First Fix(TTFF)를 단축시킬 수 있다.

하지만 장기 저장 후 사용하는 장착물의 경우처럼 GPS 수신기는 시간에 따라 TCXO의 기준주파수가 변화하는 특성(Frequency Drift)을 고려해야 한다(Filter & Vig 1993, Cartright 2008). 따라서 본 논문에서는 이러한 장기 저장에 따른 기준 주파수 변화에 따른 신호 추적 탐색 범위와 TCXO Aging에 따른 고장여부 설계 방안에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 기준주파수 생성과 주파수 검색

GPS 수신기는 TCXO로부터 기준 클럭(10MHz)을 입력 받아 RF 부의 Local 클럭을 생성하여 신호 추적 시 TCXO의 정확도와 항체의 동특성을 고려하여 주파수를 검색한다. 일반적으로 cold start의 경우 위성과 항체의 상대 운동에 의하여 위성 신호의 주파수의 변화(도플러 주파수)가 발생하므로 항체의 최대 동특성을 고려한 넓은 주파수 탐색 범위를 설정하게 된다. 하지만 주파수 탐색 범위가 넓을수록 최초로 GPS 신호를 fix하기까지의 시간인 TTFF가 길어지게 된다. 반면에 Hot start를 이용하는 경우 항체의 위치 및 속도와 같은 동특성 정보를 사용할 수 있으므로, 주파수 변화를 계산하여 검색 범위를 감소시킬 수 있다. 이 경우 검색 범위를 줄임으로써 TTFF를 줄일 수 있는 장점이 있다. Fig. 1은 기준주파수를 생성하여 GPS 위성 신호를 탐색하는 GPS 수신기의 개념도를 나타낸다.

하지만 TCXO의 기준 주파수는 주파수 안정도 사양에 따라 시간이 지나면서 주파수 변화가 발생한다. 이에 대하여 Fig. 2와 같이 제조사에서는 스펙 성능에 TCXO Aging에 따른 주파수 표류을 공개하고 있으며, Fig. 3과 같이 Rakon 사의 PCXO IT7510DGE 1MHz 제품인 경우, 최대 1년에 1ppm, 10년에 2ppm의 주파수 변화가 발생함을 확인 할 수 있었다 (Rakon 2003). 이는 장기저장이 필요한 장착물에서 TTFF 성능의 개선을 위하여 주파수 탐색 범위를 좁게 설정할 경우, 기준 주파수의 변화로 탐색 범위를 벗어나 GPS 수신이 불가능한 경우가 발생 할 수 있음을 나타낸다.

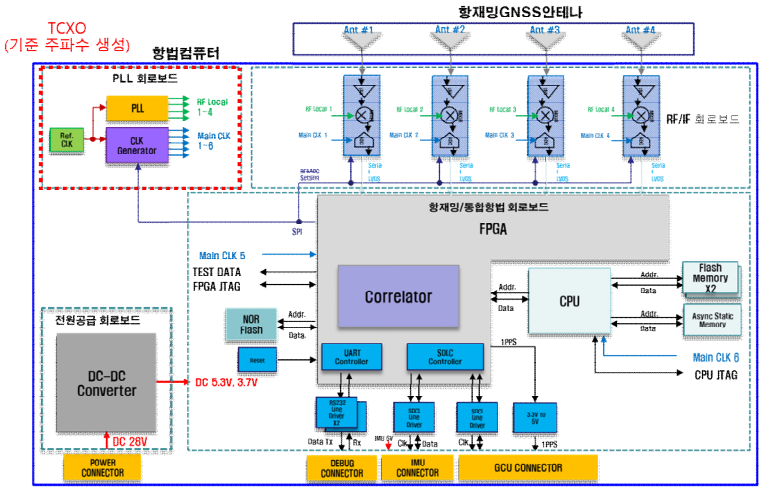


Fig. 1. Clock generation.

2.0	FREQUENCY CHARACTERISTICS				
Line	*Parameter*	*Test Condition*	*Min.*	*Max.*	*Units*
2.1	Nominal Frequency			10.0	MHz
2.2	Nominal frequency tolerance	Frequency at 23°C ±2°C. sixty minutes after reflow		2.0	±ppm
2.3	Frequency stability over temperature B	Over operating temperature range (Note 2)		1.0	±ppm
2.4	Temperature range	The operating temperature range over which the frequency stability is measured (Note 3)	-40.0	85.0	°C
2.5	Frequency slope of perturbations	Minimum of 1 frequency reading every 2°C, over the operating temperature range		0.1	ppm/°C
2.6	Static temperature hysteresis	Frequency change after reciprocal temperature ramped over the operating range. Frequency measured before and after at 25°C		0.6	±ppm
2.7	Supply voltage stability	Supply voltage varied ±5% at 25°C (Note 1)		0.1	±ppm
2.8	Load sensitivity	±10% load change		0.2	±ppm
2.9	Root Allan Variance	1 second Tau. (Note 1)		1.0	ppb
2.10	Long term stability	Frequency drift over 1 year (Note 1)		1.0	±ppm
2.11	G Sensitivity	Gamma vector of all three axes from 30Hz to 1500Hz, typical values (Note 1)		0.6	ppb/G
2.12	G-Shock recovery	Referenced to frequency reading at 25°C prior to G-Shock measured 2 seconds past G-Shock (Note 5)	0.0	1.5	±ppm
Note 1		The maximum value is the specification. A minimum value, if present, indicates the tightest specification available.			

Fig. 2. TCXO spec.

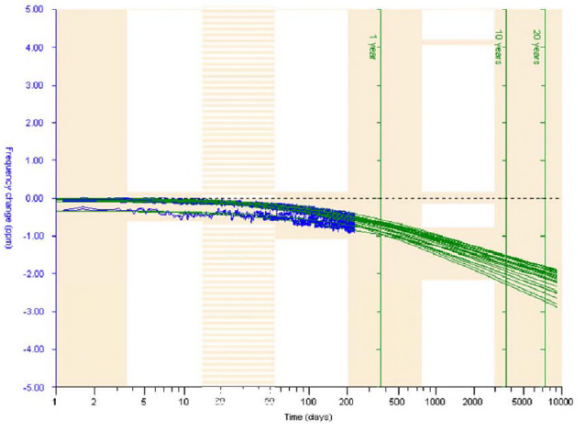


Fig. 3. TCXO frequency drift.

2.2 장기저장 장착물 GPS 수신기의 TCXO 설계방안

Table 1은 40개월 이상 저장한 GPS 수신기의 주파수 표류량을 측정한 결과이다. 제품 1의 경우 1.85ppm의 변화가 발생하였다.

Table 1. frequency drift by products stored for 40 months.

제품	저장기간(월)	주파수 표류량 (ppm)
1	40	-1.85
2	40	+0.01
3	40	-1.14
4	40	-0.75
5	40	-0.72
6	40	+0.02

실제로 빠른 TTFF를 고려하여 탐색 범위를 좁게 설정(1.8ppm)한 경우 Table 2와 같이 신호 추적이 불가능한 경우가 발생하였다. 따라서 주파수 탐색 범위는 장착물의 저장 시간을 고려한 TCXO 기준 주파수 표류량과 TTFF 성능을 종합적으로 고려하여 설정하였다.

이에 따라 주파수 검색 범위를 11ppm으로 조정하였고, Table 2의 결과와 같이 TTFF가 평균적으로 약 3초 증가하였지만 정상적으로 신호 추적함을 확인하였다.

Table 2. TTFF according to frequency search range.

시험 회수	강결합 통합 항법 소요 시간			
	제품 1		제품 2	
	1.8 ppm	11 ppm	1.8 ppm	11 ppm
1	(신호추적불가)	12	9	12
2	9	13	10	14
3	(신호추적불가)	13	10	12
4	10	13	7	14
5	10	11	13	11
평균	9.7	12.4	9.8	12.6

2.3 GPS 3D 항법을 이용한 TCXO 정상동작 확인

장기 저장 시 TCXO Aging을 고려한 주파수 검색 설계에도 불구하고 GPS 수신기의 안정적인 신호 추적을 위하여 장비의 주기 점검 단계에서 TCXO 정상동작 여부를 확인하는 일이 필요하다.

TCXO 정상동작 여부 파악을 위하여, GPS 수신 상태 점검 시 Cold Start 모드에서의 3D 항법을 수행하여 3D Fix 시 기준 주파수(10MHz) 대비 TCXO 표류량을 측정한다. 측정 결과가 특정 ppm 이상인 경우, TCXO의 고장으로 판단할 수 있도록 설계하였다.

3. 결 론

GPS 수신기는 항체의 위치 및 속도와 같은 동특성 정보를 사용할 수 있는 Hot start의 경우 탐색 범위를 좁게 하여 TTFF를 단축시킬 수 있다. 하지만 장기저장 후 사용하는 장착물의 GPS 수신기는 시간에 따라 TCXO의 기준주파수가 변화하는 특성을 가지고 있다. 이에 따라 탐색 범위를 저장 기간에 따른 주파수 표류량보다 좁게 설정할 경우 위성 추적 자체가 불가능 한 경우가 발생하게 된다. 그러므로 장착물과 같이 오랜 기간 저장 후 사용하는 GPS 수신기의 주파수 탐색 범위는 저장 기간 동안의 주파수 변화량을 분석하여 그보다 넓은 범위를 설정하여야 한다. 따라서 장기저장을 고려한 장착물의 GPS 수신기의 탐색 범위를 설정할 때와 GPS 수신 상태 점검 시 TTFF 뿐만 아니라 저장 기간에 따른 주파수 표류량을 고려하여야 한다.

REFERENCES

Cartright, J. 2008, Aging Performance in Crystals – Connor-Winfield [Internet], cited 2017 Sep. 10, available from http://www.conwin.com/pdfs/aging_perf_crystals.pdf

Filter, R. L. & Vig, J. R. 1993, Long-Term Aging of Oscillators, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 40, 387-394. https://doi.org/10.1109/58.251287

Rakon 2003, PCXO IT7510DGE 10.0 MHz Specification (Auckland: Rakon Limited)

Spilker Jr., J. J., Axelrad, P., & Parkinson, B. W. 1996, Global Positioning System: Theory and Applications, Volume1 (Washington, DC: AIAA). https://doi.org/10.2514/4.866388

MEMS-IMU의 성능 비교 분석

배정태*, 홍정근, 김정원, 남창우
㈜한화 종합연구소

Comparative Performance Analysis of MEMS Based IMU

Jeong Tae Bae, Jeong Geun Hong, Jeong Won Kim, Chang Woo Nam
Hanwha Corp. R&D Center

주소 : 대전광역시 유성구 외삼로 8 번길 99(외삼동)
연락처 : 010-4818-8773 이메일 : fgtmenot@hanwha.com

Abstract: MEMS-IMU는 소형, 저전력, 저비용의 장점을 갖고 있어 최근 활용 분야가 증가하고 있다. MEMS-IMU는 기존의 광학식 또는 기계식 IMU와 다른 측정원리를 사용하고 있어 특성이나 성능에 차이가 있으며 통상적으로 상대적으로 성능이 낮아 항법시스템을 구성하기 위해서는 MEMS-IMU의 특징을 정확히 파악할 필요가 있다. 본 논문에서는 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS-IMU에 대한 성능 비교 분석 결과를 제시하고자 한다. 주요 성능인 바이어스, 환산계수, 랜덤 워크 오차에 대한 특징과 환경적인 요인에 의한 성능 영향 대해서 비교 분석한 결과를 제시하였다.

Keywords: MEMS-IMU, bias, scale factor, random walk

1. 서 론

MEMS의 기술의 발달로 MEMS 관성센서를 이용한 관성측정기(MEMS-IMU)의 적용이 다양한 분야로 확대되고 있다. MEMS-IMU는 다른 광학식, 기계식 센서와 다른 특징을 가지고 있기 때문에 체계요구조건에 만족하는 항법시스템을 구성하기 위해서는 MEMS-IMU 성능에 대한 분석이 필요하다. 또한 GPS 또는 다른 보조센서와 연동하여 항법 시스템을 구성하데 있어 오차 특성과 잡음에 대한 정보가 필요함으로 사전에 MEMS-IMU의 성능에 대한 정확한 분석이 요구된다. 본 논문에서는 국내에서 개발한 MEMS-IMU의 성능에 대해 기술하였으며 성능의 수준을 확인하기 위해 해외 MEMS-IMU와 비교 분석하였다. 해외 MEMS-IMU로는 이미 많은 체계에서 적용 중인 UTC사의 SiIMU02을 선정하였다. 성능 항목은 2축 레이트 테이블을 이용하여 바이어스 반복도, 환산계수 반복도, 잡음(Random Walk, Power spectrum density)을 측정하고 분석하였으며 이것들의 성능 차이에 대해 비교 기술하였다.

2. 성능 비교

2.1 주요 성능 지표 비교

국산 MEMS-IMU는 2006년부터 산학연 주관으로 국내 개발 중인 제품으로 국내 체계 개발에 적용 중 또는 적용 예정이다. SiIMU02는 UTC사에 개발한 MEMS 타입의 IMU로 유럽시장을 중심으로 많은 체계에 탑재되어 사용 중에 있다. Table 1은 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS-IMU의 대표적인 성능을 비교하였다.

Table 1. The comparison of MEMS-IMU performance.

	Developed MEMS-IMU		Aboard MEMS-IMU	
Performance	Gyro	Accelerometer	Gyro	Accelerometer
Bias repeatability	00 deg/h	0 mg	50 deg/h	2.5 mg
SF repeatability	000 ppm	000 ppm	250 ppm	300 ppm
Noise	0.0 deg/√hr	0.0 m/s/√hr	0.5 deg/√hr	0.5 m/s/√hr

2.2 바이어스 반복도

바이어스는 입력과 상관없는 고정오차를 말한다. 바이어스를 측정하는 하기 위해서는 먼저. +방향으로 각속도 또는 가속도 입력(I+)을 가한 후 출력(O+)을 획득한다. 이후 -방향으로 입력을 가한 후 출력(O+) 획득하여 식(1)과 같이 바이어스를 계산한다. 이는 환산계수 및 비정렬에 의해 발생할 수 있는 오차 분리하기 위함이다. 같은 방법으로 0시간 간격으로 ON/OFF하면서 반복하여 측정하였다.

$$Bias = \frac{O_+ + O_-}{2} \qquad (1)$$

Fig. 1과 Table 2는 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS-IMU 바이어스 반복도 시험 결과를 보여준다. 측정한 바이어스와 표준편차(1σ) 모두 국산 MEMS-IMU의 결과가 우수함을 확인할 수 있다. 특히 SiIMU02의 자이로 바이어스는 약 -100 ~ 22 deg/h까지 많은 편차를 가짐을 확인하였다.

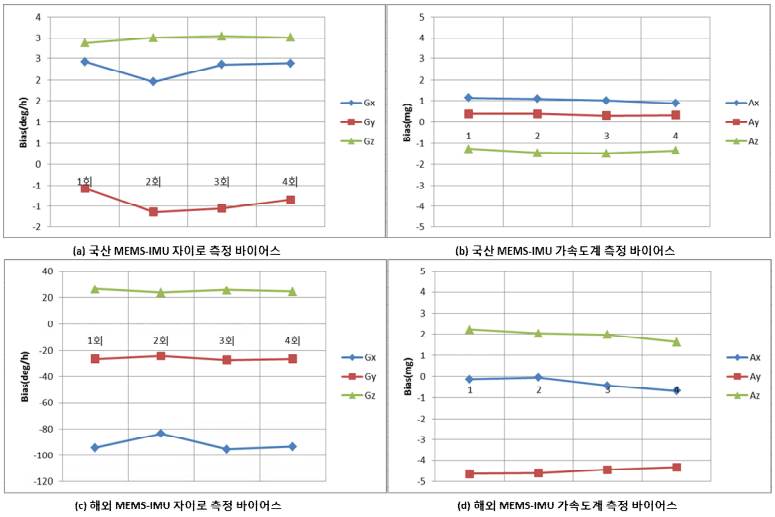


Fig. 1. The bias measurement.

Table 2. The results of bias performance.

Units: deg/h, mg	Developed MEMS-IMU						Aboard MEMS-IMU					
Performance	Gyro			Accelerometer			Gyro			Accelerometer		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Bias repeatability	0.2	0.3	0.1	0.1	0.04	0.1	5.4	1.3	1.2	0.3	0.1	0.3

추가로 바이어스의 편류 현상을 확인하기 위하여 정지 상태에서의 바이어스를 측정하기 위해 정지 상태에서 0시간 간격으로 측정하였다.

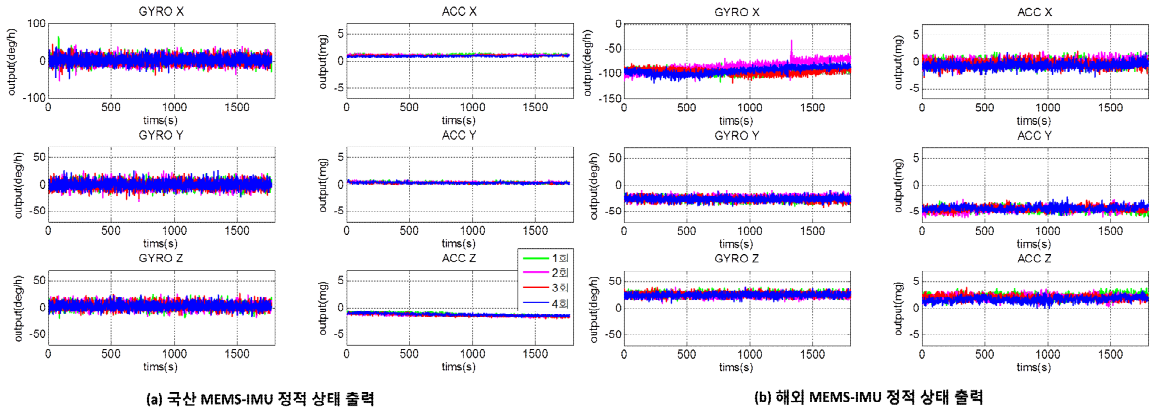


Fig. 2. The Bias measurement under static status.

Fig. 2는 정지상태의 바이어스 측정결과를 보여준다. 이전 바이어스 반복도 측정 결과와 비슷한 결과를 얻었으나 SiIMU02 자이로 X의 편류 형태와 잡음 크기가 회차 때마다 다르게 측정됨을 확인하였다. 국산 MEMS-IMU 가속도계 잡음는 월등히 낮음을 알 수 있다.

2.3 환산계수 반복도

환산계수는 입력 대 출력 비율을 나타낸다. 따라서 입력 크기에 비례하여 오차가 증가한다. 측정 방법은 바이어스와 같은 방법으로 측정하여 계산식은 식(2)와 같다. 또한 환산계수의 비선형도을 측정하기 위해 ±00, ±000, ±000 deg/s 에 입력에 출력을 측정하였으며 계산식은 식 (3)과 같다.

$$SF = \frac{O_+ - O_-}{I_+ - I_-} \quad (2)$$

$$SF_{nonlinearity} = \frac{|O - I|}{|I|} \quad (3)$$

Fig. 3과 Table 3은 환산계수 반복도 및 환산계수 비선형도 측정결과를 보여준다. 바이어스와 마찬가지로 환산계수의 결과도 국산 MEMS-IMU가 우수함을 알 수 있고 비선형도 경향도 SiIMU02와 같이 입력 각속도별로 특정한 경향 없이 ±250ppm 이하의 안정적인 성능을 가짐을 알 수 있다.

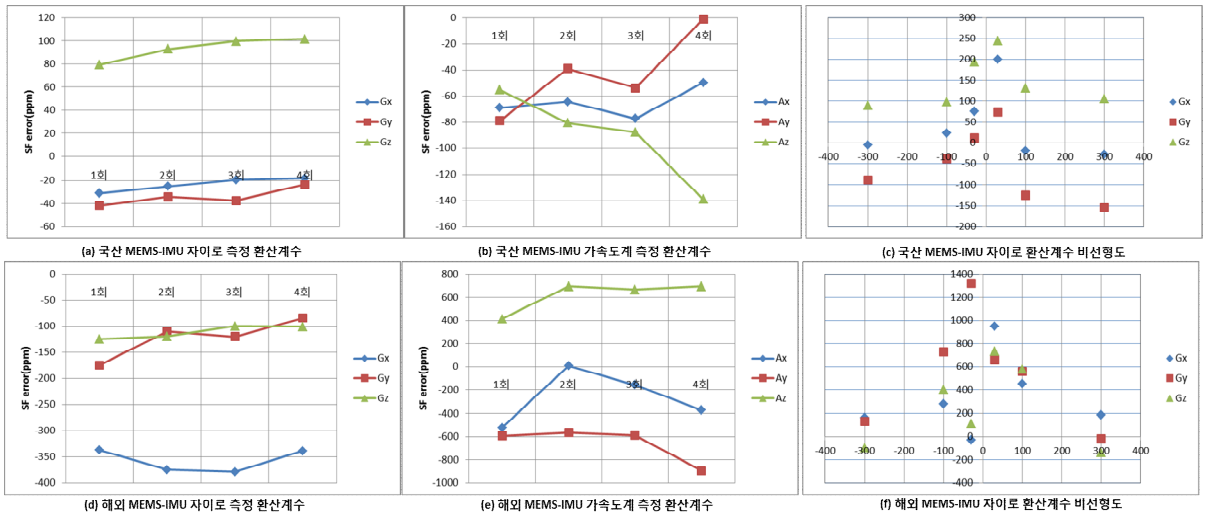


Fig. 3. The Scale factor measurement.

Table 3. The results of Scale factor performance.

Units: ppm	Developed MEMS-IMU						Aboard MEMS-IMU					
Performance	Gyro			Accelerometer			Gyro			Accelerometer		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
SF repeatability	6	8	10	11	33	35	22	38	13	233	156	137

2.4 잡음

잡음는 크게 표준편차(standard deviation), Allan variance, PDS(Power spectrum density) 등의 방법으로 분석할 수 있다. 표준편차는 잡음의 크기를 쉽게 구하고 평가할 수 있으나 다양한 형태의 잡음과 오차를 특성을 가지는 경우 잡음의 영향과 편류의 영향을 구분하지 못하는 한계가 있다. Allan variance는 모든 잡음특성이 포함된 정보를 제공하여 잡음별로 특성 분석이 가능하다. 또한 그 특성을 직관적으로 평가할 수 있는 장점이 있다. PSD는 Allan variance와 유사하게 잡음 특성별 분석이 가능하며 서로 상호 변환이 가능하다. Allan variance에서 잡음 특성이 불분명하고 특성이 보이는 구간이 짧은 경우는 PSD 분석 기법을 사용하면 잡음 분석에 용이하다. Allan deviation과 PSD 계산은 Witt(2001)에 기술된 내용을 참고하였다.

Fig. 4는 자이로의 allan deviation, PSD 결과를 보여준다. 국산 MEMS는 14초, SiIMU02는 40초 이전까지의 cluster time에서는 양자화 잡음 특성이 주로 나타나며, 이후 국산 MEMS-IMU는 1000초까지, SiIMU02는 100초까지 불규칙 잡음 특성을 가짐을 볼 수 있으며 -1/2선이 SiIMU02가 낮게 형성되어 있음을 볼 수 있다. Fig. 5는 가속도계 노이즈 특성을 보여준다. 국산 MEMS-IMU가 모든 cluster time 구간에서 8~10배정도 성능이 우수함을 확인할 수 있다. Table 4는 RW 결과를 보여준다. 자이로는 해외 MEMS-IMU가 가속도계는 국산 MEMS-IMU가 좋은 성능을 가짐을 확인하였다.

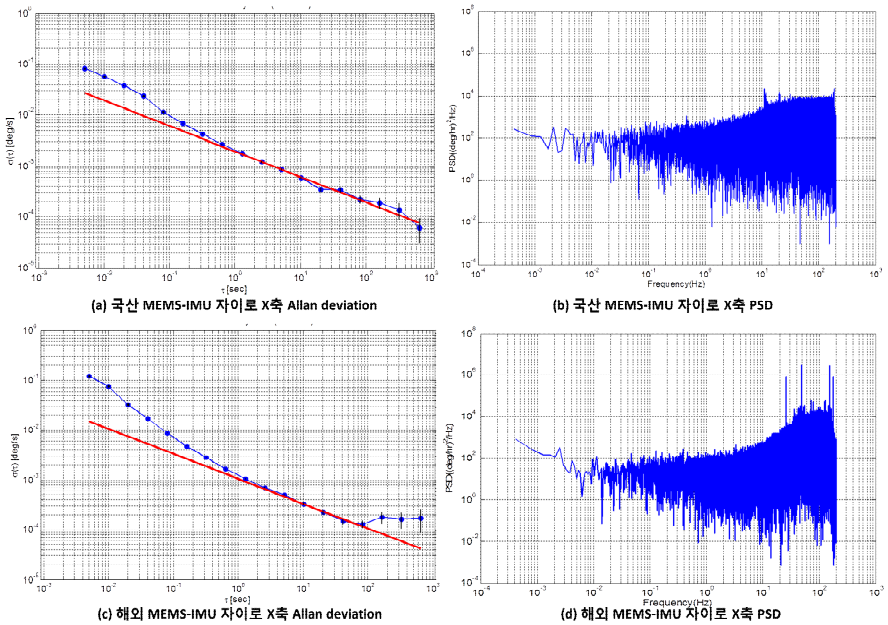


Fig. 4. The gyro results of allan deviation and PSD.

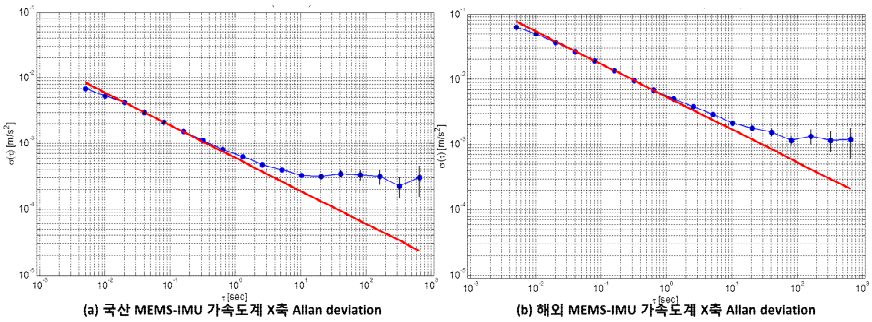


Fig. 5. The accelerometer results of allan deviation.

Table 4. The results of random walk performance.

Units: deg/√hr, m/s√hr	Developed MEMS-IMU						Aboard MEMS-IMU					
Performance	Gyro			Accelerometer			Gyro			Accelerometer		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ARW, VRW	0.17	0.12	0.11	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.32	0.21	0.18

3. 결 론

본 논문에서는 국산 MEMS-IMU와 해외 MEMS-IMU의 성능을 직접 측정하고 분석하였다. 성능 항목으로 바이어스 반복도, 환산계수 반복도, 잡음을 측정하였다. 시험결과, 국산 MEMS-IMU가 바이어스 반복도, 환산계수 반복도 높은 성능을 가짐을 확인하였고 잡음은 자이로의 경우에는 SiIMU02가, 가속도계는 국산 MEMS-IMU의 성능이 우수함을 확인하였다. 본 논문에서는 센서의 대표적인 큰 오차들에 대해서는 측정하였으나 이 항목 이외에도 가속도 및 진동에 대한 오차, 온도에 의한 오차 등의 환경적인 오차에 대한 추가 분석이 필요하다.

REFERENCES

Witt, T. J. 2001, Using the allan variance and power spectral density to characterize DC nanovoltmeters, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 50, 445-448. https://doi.org/10.1109/19.918162

선형 배열 센서망을 이용한 도달각 기반 송신기 위치 추정 연구

임형수[1*], 최상혁[2], 이상욱[1], 신천식[1]
[1]한국전자통신연구원 방송·미디어연구소 전파·위성연구본부 위성기술연구그룹
[2]한국전자통신연구원 방송·미디어연구소 자율무인이동체연구본부 무인자율운행연구그룹

A Study on Localization of a Transmitter Based on Angles of Arrival Using a Linear Array Sensor Network

Hyoungsoo Lim[1*], Sang Hyouk Choi[2], Sang-Uk Lee[1], Cheon Sig Sin[1]
[1]Satellite Technology Research Group, Radio & Satellite Research Division, Broadcasting & Media Research Laboratory, ETRI, [2]Unmanned Autonomous Operation Research Group, Autonomous Unmanned Vehicle Research Division, Broadcasting & Media Research Laboratory, ETRI

주소 : 대전광역시 유성구 가정로 218
연락처 : 042-860-1608 이메일 : lim@etri.re.kr

Abstract: 본 논문에서는 복수개의 도달각(Angle of Arrival) 센서를 일렬로 배열한 선형 배열 센서망을 이용해 단일 주파수의 톤(tone) 신호를 송신하는 무선 송신기의 위치 추정 기술 연구를 소개한다. Monte Carlo 시뮬레이션 결과와 Cramér-Rao 하한을 비교함으로써 이론적 한계치에 어느 수준까지 근접하여 구현할 수 있는지를 살펴본다. 또한, 센서망의 센서 개수 및 센서 분포 밀도의 설계가 위치 추정 성능에 미치는 영향을 도출하고, 배열 센서와 단일 톤 신호 송신기의 상대적 방향에 따른 위치 추정 성능을 분석한다.

Keywords: localization, sensor network, angle of arrival

1. 서 론

측위 기술은 최근 많은 발전을 이루어 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히, 자율주행차와 IoT (Internet of Things) 기술이 실현되기 위해서는 대부분의 경우 정밀한 위치 추정이 필수적이어서 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 본 논문에서는 특정 신호를 송신하는 송신기의 위치를 다수의 도달각(Angle of Arrival, AOA) 센서를 통해 정밀하게 탐지하는 경우에 대한 성능을 살펴본다. 이때, 다수의 센서들로 구성된 센서망의 형태는 송신기의 위치를 포함한 넓은 영역에 걸쳐 2차원적으로 분포한 것이 아닌, 송신기의 위치와 떨어진 위치에 선형으로 배치된 형태를 고려한다.

2. 송신기 위치 추정 시스템 개요

본 논문에서는 복수개의 도달각 센서를 일렬로 배열한 선형 배열 센서망을 이용해 단일 주파수의 톤(tone) 신호를 송신하는 무선 송신기의 위치 추정 기술 연구를 소개한다. 일반적인 위치 추정 시스템에서는 각 센서에서 신호의 도달각 외에도 도달시간(Time of Arrival)과 수신 신호 강도 등을 함께 측정하여 위치 추정에 활용하며 (Ravindra & Jagadeesha 2013, Zhu & Feng 2013), 이동형 송신기의 위치 추정이 필요할 경우에는 도달주파수(Frequency of Arrival)도 측정하여 활용한다 (Nicolau et al. 2013). 그러나, 송신기의 이동성이 낮으며 송신기의 구분이 불필요하고 송신 신호간 충돌이 발생할 확률이 매우 낮은 경우에는 송신기와 센서의 구현 복잡도를 최소화한 시스템 설계가 가능하다. 즉, 송신기에서는 단일 톤 신호를 송신하고 각 센서에서는 도달각만 측정하여 위치 추정에 이용함으로써 동기화 등의 복잡한 절차 (Wang et al. 2015)를 피할 수 있어서 위치 추정 시스템의 구현 및 구축 비용 효율을 높일 수 있다.

Fig. 1은 선형 배열 도달각 센서망을 이용한 송신기 위치 추정 시스템의 개념도를 도시한 것이다.

3. 송신기 위치 추정 성능 및 알고리즘

M개의 도달각 센서에서 관찰된 도달각 측정값 벡터 $\boldsymbol{x}$로부터 송신기 위치 좌표 벡터 $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1(\boldsymbol{x}) \; \theta_2(\boldsymbol{x})]^T$를 추정한 결과를 $\boldsymbol{e}(\boldsymbol{x}) = [e_1(\boldsymbol{x}) \; e_2(\boldsymbol{x})]^T$로 나타내면 위치 추정 정확도와 직결되는 $\boldsymbol{e}(\boldsymbol{x})$의 분산에 대한 이론적 하한인 Cramér-Rao Lower Bound (CRLB)는 다음과 같이 계산된다 (Bobrovsky et al. 1987).

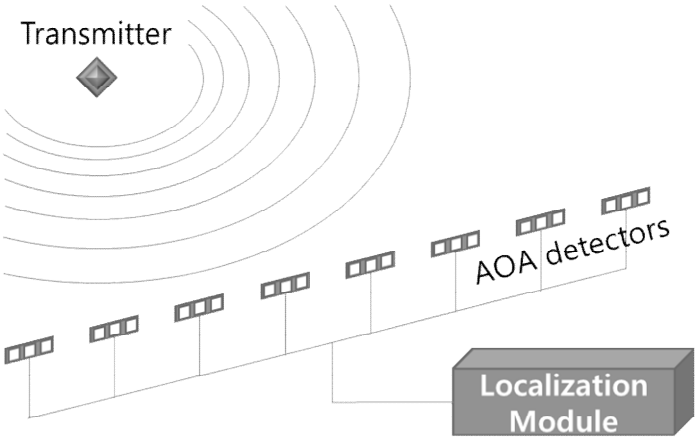


Fig. 1. AOA sensor network configuration for transmitter localization.

$$\mathrm{var}_{\boldsymbol{\theta}}\{e_m(\boldsymbol{x})\} = [\mathrm{cov}_{\boldsymbol{\theta}}\{\boldsymbol{e}(\boldsymbol{x})\}]_{mm} \geq [\boldsymbol{I}(\boldsymbol{\theta})^{-1}]_{mm} \tag{1}$$

여기서 $[\cdot]_{mk}$는 행렬의 (m, k)번째 원소를 나타내며, $\boldsymbol{x}$의 조건부 확률분포함수 $f(\boldsymbol{x};\ \boldsymbol{\theta})$에 대한 Fisher 정보 행렬(information matrix) $\boldsymbol{I}(\boldsymbol{\theta})$는 다음과 같이 정의된다.

$$[\boldsymbol{I}(\boldsymbol{\theta})]_{mk} = \mathrm{E}\left\{\frac{\partial}{\partial\theta_m}\log\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x};\boldsymbol{\theta})\left[\frac{\partial}{\partial\theta_k}\log\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x};\boldsymbol{\theta})\right]^T\right\} \tag{2}$$

실제 적용 환경에서 얻어진 $\boldsymbol{x}$에 대해 우도함수(likelihood function) $f(\boldsymbol{x};\boldsymbol{\theta})$가 최대가 되는 $\boldsymbol{\theta}$를 찾기 위해서는 closed-form의 해를 구하기가 어려우므로 $\partial f(\boldsymbol{x};\boldsymbol{\theta})/\partial\boldsymbol{\theta} = 0$이 되는 $\boldsymbol{\theta}$를 단계적으로 찾아가는 Quasi-Newton 방법을 적용했다 (Broyden 1969).

4. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 Quasi-Newton 방법을 적용한 송신기 위치 추정 시뮬레이션 결과를 분석하며, 이론적 한계값인 CRLB와 비교한다. 도달각 센서의 개수는 총 20개로, 일직선 상에 설치되어 있으며, 송신기는 도달각 센서망의 중심으로부터 500m 거리에 있다고 가정한다.

4.1 위치 추정 성능과 CRLB의 비교

본 절의 시뮬레이션에서는 송신기가 선형 배열 센서망의 중심에서 센서 배열 방향과 수직방향에 위치한 경우를 가정한다. 선형 배열 센서망은 5m 간격으로 설치된 도달각 센서들로 구성되어 있으며, 각 도달각 센서의 측정 잡음은 평균이 0이고 표준편차가 1°인 가우시안(Gaussian) 분포를 가진다고 가정한다.

Fig. 2는 Quasi-Newton 방법에 BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) 알고리즘 (Broyden 1969, Fletcher 1970, Goldfarb 1970, Shanno 1970)을 적용하여 송신기 위치 추정 시뮬레이션을 1,000회 수행한 결과를 CRLB와 함께 보인 것이다. 이 결과에서 점들은 1,000개의 송신기 위치 추정 결과들이며, 모든 위치 추정 결과의 평균을 별표로 표시하였다. 선형 센서망의 센서 배열 방향을 X축으로 생각하면 송신기의 위치 좌표가 (0, 500)m이며, 평균 추정 위치는 (0.029, 501.6)m로 관찰되었다. 즉, X축 방향 좌표값은 사실상 비편향된(unbiased) 분표를 보이는 반면, Y축 방향 좌표값은 1.6m만큼 더 큰 값으로 편향(bias)을 보임을 알 수 있다. 이는 도달각 센서들이 송신기 주위에 분산되어 있지 않고 한 방향으로 멀리 위치하고 있기 때문이며, 센서망과 송신기의 거리가 멀수록 Y축 방향 편향은 증가하게 된다.

또한, Fig. 2에는 1,000개의 송신기 위치 추정 결과들의 분포를 2차원 가우시안 분포로 모델링할 경우 95% 신뢰구간에 해당하는 영역을 실선으로 표시하였으며, CRLB로부터 계산된 95% 신뢰구간 영역을 점선으로 표시하였다. 그 결과, 이론적인 95% 신뢰구간의 최대 위치 추정 오차가 X축 및 Y축 방향으로 각각 3.837m, 66.72m로 계산되었으며, Quasi-Newton 방법을 적용한 결과는 각각 3.919m, 69.09m로 관찰되었다. 이로부터 Quasi-Newton 방법을 적용하여 이론적인 최고 성능인 CRLB를 매우 근접한 성능을

얻을 수 있음을 알 수 있다. 마찬가지로, Quasi-Newton 방법 적용시 해가 수렴하지 않고 발산하는 경우를 제외하고는 시뮬레이션을 CRLB 계산으로 대신할 수 있어서 성능 분석과 파라미터 설계에 소요되는 노력을 크게 줄일 수 있다.

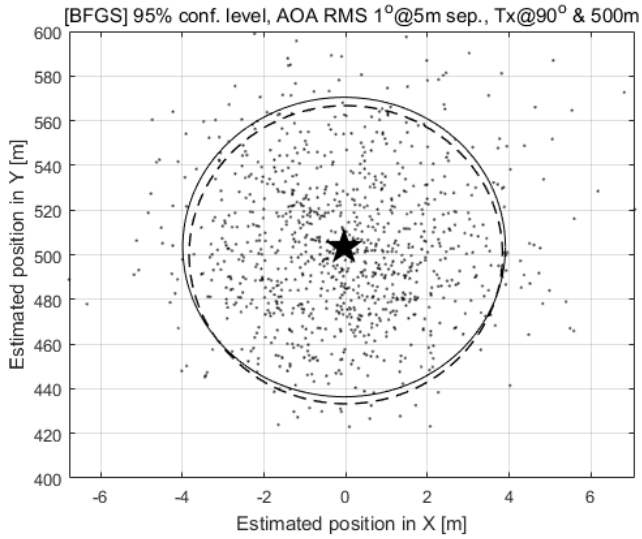
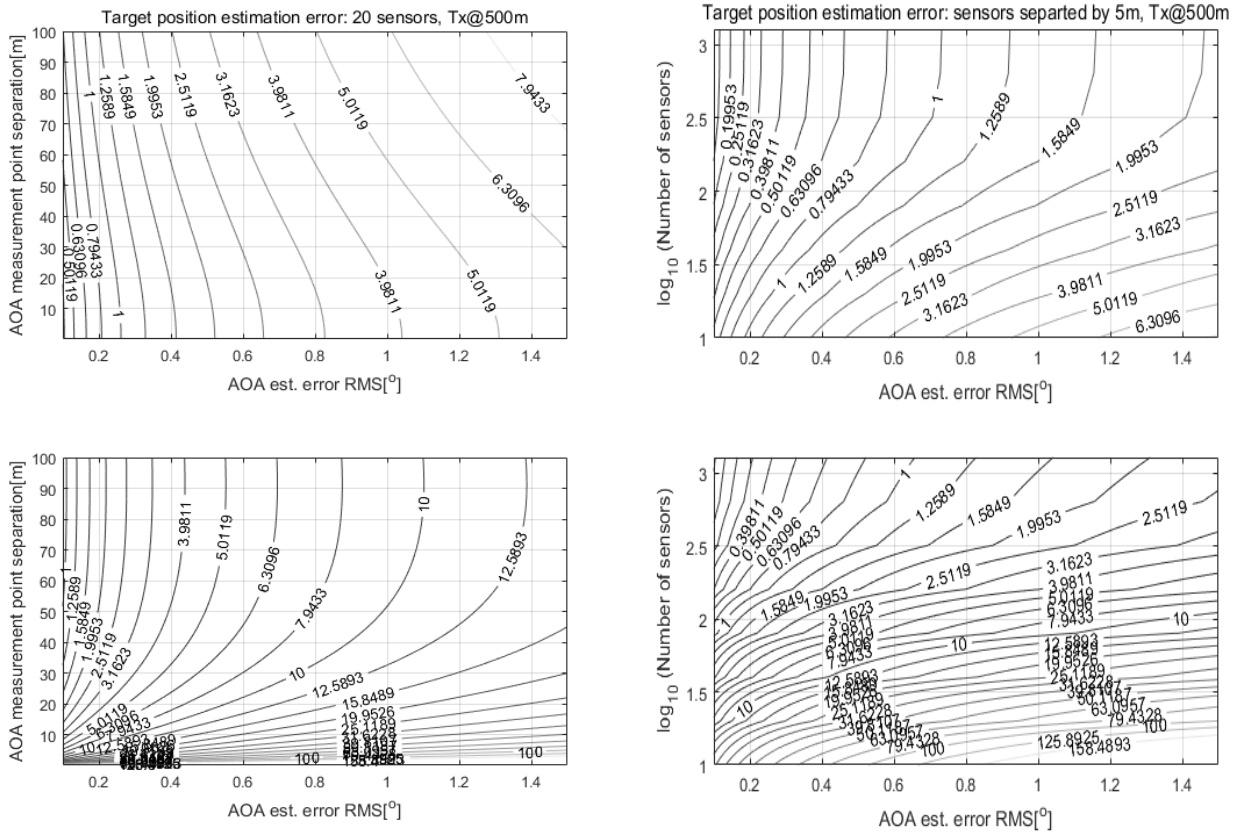


Fig. 2. Localized transmitter positions for a transmitter at (0, 500)m.



(a) For the number of sensors fixed to 20. (b) For the sensors equally separated by 5m.

Fig. 3. Localization error with respect to sensor network configuration and AOA estimation accuracy.

4.2 주요 시스템 파라미터 설계 방법

Fig. 3은 일부 시스템 파라미터가 주어졌을 때 나머지 파라미터들에 따른 95% 신뢰간 위치 추정

오차의 CRLB 등로선도를 보인 것이다. Fig. 3a는 도달각 센서의 개수가 20개로 고정된 경우에 대해 센서간 간격과 각 센서별 도달각 추정 정확도에 따른 CRLB이며, Fig. 3b는 도달각 센서간 간격이 5m로 고정된 경우에 대해 센서의 개수와 각 센서별 도달각 추정 정확도에 따른 CRLB이다. 이 결과는 주어진 송신기 위치 추정 목표 성능을 만족시키기 위한 시스템 파라미터의 최소 요구사항을 도출하는 데 활용될 수 있다. Fig. 3a를 예로 들면, 도달각 센서의 개수가 20개로 제한된 경우 각 도달각 센서의 측정 오차 RMS가 1°일 때 신뢰수준 95% X축 방향 오차 5m 이하를 달성하기 위해서는 센서간 거리를 57.8m 이하로 설계되어야 하며, 이때 Y축 방향 오차는 9.65m 이상이 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 각 센서에서 송신기 신호의 도달각만을 측정하는 선형 배열 센서망을 통한 송신기 위치 추정 시스템을 고려하며, Quasi-Newton 방법을 적용하여 CRLB에 매우 근접한 성능을 얻을 수 있음을 확인했다. 또한, CRLB 분석을 통해 시스템의 주요 파라미터들을 설계하는 방법들을 제시하였다. 이 결과는 최소한의 센서들을 이용하여 목표 성능을 구현 가능한 효율적인 설계를 가능하게 하며, 더 나아가서는 위치 추정 성능을 더욱 높일 수 있는 센서망 설계 개선 방향을 제시해줄 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-01077, 무인비행체 기반 GPS 전파교란원 정밀탐지 기술 개발)

REFERENCES

Bobrovsky, B. Z., Mayer-Wolf, E., & Zakai, M. 1987, Some Classes of Global Cramer-Rao Bounds, The Annals of Statistics, 15, 1421-1438

Broyden, C. G. 1969, A New Double-rank Minimization Algorithm, Notices of the American Mathematical Society, 16, 670

Fletcher, R. 1970, A New Approach to Variable Metric Methos, Computer Journal, 13, 317-322

Goldfarb, D. 1970, A Family of Variable Metric Methods Derived by Variational Means, Mathematics of Compuation, 24, 23-26

Nicolau, V. B., Coulon, M., Gregoire, Y., Calmettes, T., & Tourneret, J.-Y. 2013, Performance of TOA and FOA-based Localization for Cospas-Sarsat Search and Rescue Signals, IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing, pp.312-315

Ravindra, S. & Jagadeesha, S. N. 2013, Time of Arrival Based Localization in Wireless Sensor Networks: A Linear Approach, Signal & Image Processing: An International Journal, 4, 13-30

Shanno, D. F. 1970, Conditioning of Quasi-Newton Methods for Function Minimization, Mathematics of Compuation, 24, 145-160

Wang, Y., Huang, J., Yang, L., & Xue, Y. 2015, TOA-based Joint Synchronization and Source Localization with Random Errors in Sensor Positions and Sensor Clock Biases, Ad Hoc Networks, 27, 99-111

Zhu, X. & Feng, Y. 2013, RSSI-based Algorithm for Indoor Localization, Communications and Network, 5, 37-42

이중 주파수 측정치를 이용한 단일/이중 차분 측위 GPS 오차 분석

전종화[1], 임정민[2], 유상훈[2], 이종혁[1], 성태경[1*]
[1]충남대학교 정보통신공학과, [2]㈜와이파이브

Analysis of Dual Frequency GPS Measurements Error in Single/Double Differencing Positioning

Jong-Hwa Jeon[1], Jeong-Min Lim[2], Sang-Hoon Yoo[2], Jong-Hyuk Lee[1], Tae-Kyung Sung[1*]
[1]Information Communication Engineering, Chungnam National University, [2] WiFive Co. Ltd.

주소 : 대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 공대 3 호관 308 호
연락처 : 042-821-5660 이메일 : tksaint@cnu.ac.kr

Abstract: 최근 스마트 자동차, 무인 자동차 등 차량 항법에서 고정밀 위치가 중요한 이슈로 대두 된다. 고정밀 위치를 구하기 위해서는 Global Positioning System (GPS)의 코드 측정치가 아닌 반송파 측정치를 이용해야한다. 반송파 측정치를 이용하여 고정밀 위치를 구하기 위해서는 측정치에 포함된 미지정수를 구해야 하는데, 이를 위해서는 측정치에 포함된 오차 요소가 완전히 제거 되어야 한다. 오차를 제거하기 위해서 일반적으로 International GNSS Services (IGS), Jet Propulsion Laboratory (JPL) 등에서 보정 정보를 수신하는 방법과 이중 차분(Double Difference) 측정치를 이용하는 방법이 많이 사용된다. 또한 측정치의 오차 요소 중 가장 큰 오차 요소인 전리층 지연 오차를 효과적으로 제거하기 위해 이중 주파수 측정치를 이용한 Ionosphere-free의 방법이 이용된다. 따라서 본 논문에서는 단일 차분(Single Difference), 이중 차분 각각의 경우에서 이중 주파수 수신기를 이용한 오차 보정 방법을 소개하고, 오차 보상 정도를 비교하기 위해 User Equipment Range Error(UERE) 관점에서 결과를 분석 하였다.

Keywords: GPS, dual-frequency, ionosphere-free, single difference, double difference

1. 서 론

Precise Point Positioning (PPP)는 기준국이 필요한 Real Time Kinematic (RTK)와 달리 단독 수신기로 cm급의 정확도를 얻는 측위 방법이다(Li et al. 2016). 측정치에 포함된 오차를 제거 하기 위해 IGS의 정밀 궤도력, 전역 전리층 맵(Global Ionosphere Map) 등의 보정정보를 제공받는다(Won 2015). 따라서 기준국 측정치와 차분 없이 수신기 단독으로 위치를 구하며 지구 전지역이 서비스 지역이다. 또한 반송파 측정치를 이용하면 cm급의 정확도를 얻을 수 있다. 반면 RTK는 기준국의 측정치를 이동국의 측정치와 차분하여 측정치의 오차를 제거하여 cm급의 정확도를 얻는 측위 방법이다(Won 2015). 기준국의 측정치와 차분을 하므로 측정치의 오차 요소 중 거리의 영향을 받는 전리층, 대류권 지연 오차로 인하여 거리에 따른 제약 조건을 가진다(Enge & Misra 2011).

일반적으로 PPP의 경우 단일 차분(위성간 차분) 측정치를 이용하여 수신기 시계 오차를 제거하고, RTK의 경우 이중 차분(위성간 차분, 수신기간 차분) 측정치를 이용하여 대부분의 오차를 제거한다(Won 2015). PPP에서는 측정치의 오차 요소 중 가장 큰 오차 요소인 전리층 오차를 소거하기 위해 이중 주파수 측정치를 이용한 Ionosphere-free 조합을 사용한다(Li et al. 2016). 또한 RTK에서는 미지정수 검색 시간을 줄이기 위해 이중 주파수 측정치를 이용한 확장 파장(Wide-lane) 조합을 사용한다.

본 논문에서는 이중 주파수 측정치 조합법의 성능을 분석하기 위해 단일/이중 차분 각각의 경우에서 오차 보정 방법을 제시하고 오차 제거 정도를 비교하기 위해 UERE관점에서 결과를 분석하였다.

2. 단일/이중 차분 측위에서 오차 보정 방법

위성에서 송출된 신호가 수신기까지 도달하면서 발생하는 오차는 위성 시계 오차, 위성 궤도 오차, 전리층 지연 오차, 대류권 지연 오차, 수신기 시계 오차, 다중 경로 오차, 수신기 열잡음 등으로 구분된다.

전리층 총 전하량을 고려한 L1 코드 측정치와 반송파 측정치는 다음과 같이 나타낸다(Enge & Misra 2011).

$$\rho_i = r_i + c(dt_r - dt_i^s) + \frac{40.3}{f_{L1}^{\ 2}} TEC + T_i + d_{orb} + \upsilon_\rho \quad (1)$$

$$\Phi_i = r_i + c(dt_r - dt_i^s) - \frac{40.3}{f_{L1}^2} TEC + T_i + d_{orb} + \lambda N_i + \upsilon_\Phi \quad (2)$$

여기서 ρ_i, Φ_i는 i 위성의 코드와 반송파 측정치이고, r_i는 기하학적 거리, c는 광속, dt_r은 수신기 시계 오차, dt_i^s는 위성 시계 오차, f_{L1}은 L1 주파수(1575.42MHz), TEC는 총 전하량, T_i는 대류권 지연 오차, d_{orb}는 위성 궤도 오차, λ는 반송파의 파장, N_i는 미지정수, v_ρ, v_Φ는 코드와 반송파의 다중 경로 오차 및 측정 잡음을 나타낸다.

이중 주파수 측정치를 이용한 단일/이중 차분 측위에서 식 (1)과 (2)의 오차를 보정하는 방법은 Table 1과 같다.

Table 1. Error correction method in single/double difference positioning.

오차 요소	보정 방법	
	단일 차분	이중 차분
수신기 시계	위성간 차분(단일 차분)	위성간 차분(단일 차분)
위성 시계	SBAS 보정 정보	수신기간 차분(Short base line)
위성 위치	SBAS 보정 정보	수신기간 차분(Short base line)
전리층 지연	Ionosphere-free, SBAS Grid 모델	수신기간 차분(Short base line)
대류권 지연	Hopfield, Saastamoinen 모델	수신기간 차분(Short base line)

3. 이중 주파수 측정치를 이용한 오차 보정 결과

단일/이중 차분 측위에서 오차 보정 정도를 비교하기 위해서 정지상태의 데이터를 수집하여 측위 결과를 비교했다. 실험은 2017년 8월 10일 충남대학교 공과대학 3호관에 설치되어 있는 측지점에서 약 15분간의 데이터를 수집하였다.

3.1 단일 차분 측위 결과

단일 차분 측위에서 대부분의 오차는 SBAS 보정 정보를 이용하여 보정한다. 전리층 지연 오차를 보상하는 방법이 SBAS Grid 모델을 적용하는 방법과, Ionosphere-free 방법을 이용하는 두가지 경우로 나뉜다.

Fig 1은 SBAS Grid 모델을 적용한 코드 측정치 결과이고, Fig 2는 Ionosphere-free 방법을 적용한 코드 측정치 결과이다.

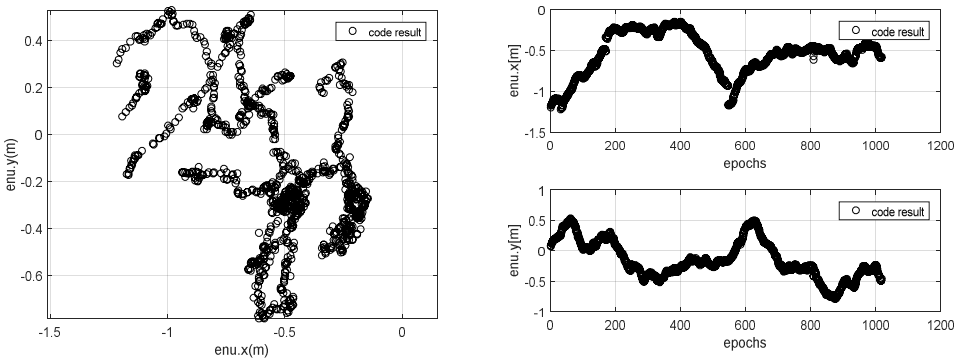


Fig. 1. Error correction result in single difference positioning (Using SBAS Grid model).

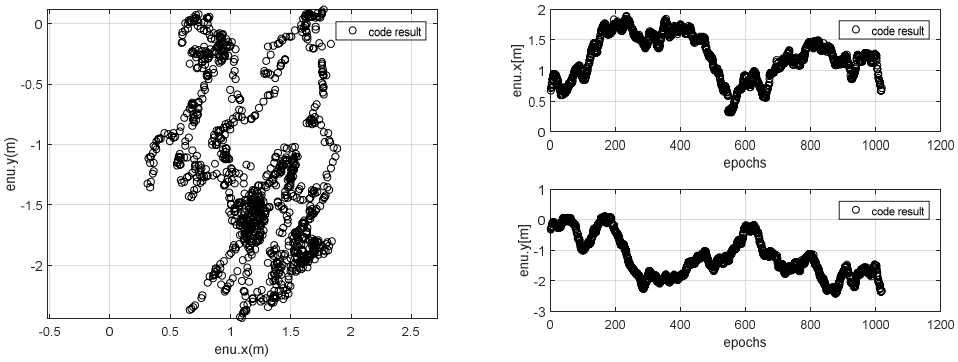


Fig. 2. Error correction result in single difference positioning (Using Ionosphere-free).

SBAS Grid 모델을 적용한 경우와, Ionosphere-free 방법을 적용한 경우에서 ENU position의 표준편차와 UERE는 Table 2와 같다.

Table 2. The standard deviation of ENU position and UERE in single difference positioning

(m)	SBAS Grid 모델	Ionosphere-free
σ_x	0.2913	0.3587
σ_y	0.4094	0.6776
σ_z	0.9429	1.0022
UERE	0.7696	2.1949

일반적으로 이중 주파수 측정치를 이용하여 Ionosphere-free 방법을 적용하면 전리층 지연 오차를 소거 가능 하다고 한다(Hofmann-Wellenhof et al. 2001). 하지만 실험 결과 Ionosphere-free 방법을 적용한 경우 표준편차와 UERE가 증가했다. 그 이유는 단독 차분 측위의 경우 오차 보정 후에도 잔여 오차가 남아서 Ionosphere-free 조합 시 잔여 오차가 증폭되기 때문이다. 이를 수식으로 살펴보면 다음과 같다.

단독 측위의 경우 식 (1)에서 전리층 오차를 제외한 나머지 오차 보정 후 잔여 오차의 영향을 고려한 L1, L2 코드 측정치는 식 (3), (4)와 같다.

$$\rho_{i,L1} = r_i + c(-\Delta dt_i^s) + \frac{40.3}{{f_{L1}}^2} TEC + \Delta T_i + \Delta d_{orb} + \upsilon_{\rho,L1} \quad (3)$$

$$\rho_{i,L2} = r_i + c(-\Delta dt_i^s) + \frac{40.3}{{f_{L2}}^2} TEC + \Delta T_i + \Delta d_{orb} + \upsilon_{\rho,L2} \quad (4)$$

여기서 $\Delta\delta t_i^s$ 는 위성 시계 잔여 오차, ΔT_i 는 대류권 지연 잔여 오차, Δd_{orb} 는 위성 위치 잔여 오차를 나타낸다.

식 (3)과 (4)의 조합으로 구할 수 있는 ionosphere-free 측정치(ρ_{IF})는 다음과 같다(Enge & Misra 2011).

$$\frac{{f_{L1}}^2\rho_{L1} - {f_{L2}}^2\rho_{L2}}{{f_{L1}}^2 - {f_{L2}}^2} = \rho_{IF} = r_i + c(-\Delta t_i^s) + \Delta T_i + \Delta d_{orb} + \frac{1}{{f_{L1}}^2 - {f_{L2}}^2}({f_{L1}}^2 v_{\rho,L1} - {f_{L2}}^2 v_{\rho,L2}) \quad (5)$$

IF 조합 결과 전리층 지연 오차는 완벽히 소거가 되었지만, 잔여 오차는 증폭되는 문제점이 발생한다.

그리고 반송파 측정치를 Ionosphere-free 조합하게 되면 미지정수의 정수성을 잃는 문제점이 발생한다(Hofmann-Wellenhof et al. 2001).

3.2 이중 차분 측위 결과

Short base line 이중 차분 측위의 경우 대부분의 오차가 소거된다. 이중 차분을 위해서 충남대학교

공과대학 3호관 측지점에서 약 5km 떨어진 국립 해양측위정보원 대전 감시국 데이터를 이용하였다. 실험 결과는 Fig. 3과 같고, 표준편차와 UERE는 Table 3과 같다.

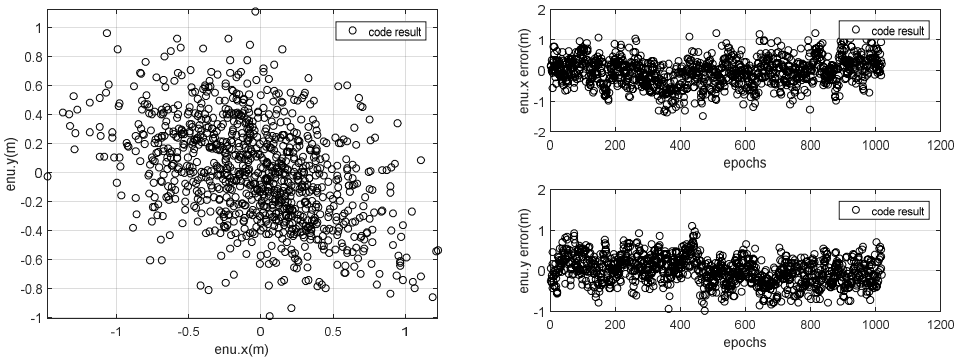


Fig. 3. Error correction result in double difference positioning.

Table 3. The standard deviation of ENU position and UERE in double difference positioning.

(m)	Double difference result
σ_x	0.4060
σ_y	0.3481
σ_z	0.7170
UERE	0.5077

이중 차분 측위의 경우 단일 차분 측위의 경우보다 표준편차와 UERE 값이 작게 나온 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 이중 주파수 측정치를 이용한 단일/이중 차분 측위에서 오차 보정 방법을 소개하고 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다. 이중 차분의 경우 대부분의 오차가 소거되어 표준 편차와 UERE가 단독 측위의 경우보다 작게 나온 것을 확인하였다. 그리고 단독 측위의 경우 이중 주파수 측정치를 이용한 Ionosphere-free 조합 시 잔여 오차가 증폭되는 문제점을 확인하였다. 따라서 단일 차분 측정치로는 반송파 측정치에 포함된 미지정수를 효율적으로 못 찾는다는 결론을 도출하였다. 향후 연구는 이중 차분 측정치를 이용하여 반송파 측정치에 포함된 미지정수를 이동 중에도 결정할 수 있는 방법이 연구되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 자율주행자동차핵심기술개발사업으로 수행된 연구결과 입니다.

REFERENCES

Enge, P. & Misra, P. 2011, Global positioning system: Signals, Measurements, and Performance, 2nd ed. (Lincoln/Massachusetts: Ganga-jamuna press)

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. 2001, Global Positioning System Theory and Practice (Berlin/Heidelberg: Springer)

Li, L., Jia, C., Zhao, L., Cheng, J., Liu, J., et al., 2016, Real-Time Single Frequency Precise Point Positioning Using SBAS Corrections, Sensors, 16, 1261, 1-13, https://doi.org/10.3390/s16081261

Won, J.-H. 2015, Development of PPP-RTK Algorithms for Moving Platforms Using Combined GPS/GLONASS Measurements, PhD Dissertation, Inha University, South Korea

도심환경 모델링을 이용한 GNSS와 Vision 융합 위치 오차

박지호*, 한중희, 최진옥
대구경북과학기술원

GNSS and Vision System Integration Positioning Error Using Urban Environment Modeling

Chi-ho Park*, Joong-hee Han, Jin-Ok Choi
Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

주소 : 대구광역시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333
연락처 : 053-785-4441 이메일 : chpark@dgist.ac.kr

Abstract: 본 논문에서는 dense urban canyon 환경에서 발생하는 음영지역 문제와 위치오차 문제를 해소하고, 열악한 환경에서도 신뢰성있고, 안정적인 위치결정을 할 수 있는 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 vision system 융합 고정밀 측위 기술을 제안한다. 본 연구를 위해서는 실제 도심 환경을 구축하고, 모델링 후 landmarks의 기하학적 배치에 따른 GNSS와 vision system을 융합한 항법오차를 분석하였다. 일반적인 도심환경은 고층 건물들로 인해 가시위성의 확보가 어렵고, 위성의 기하학적 배치가 고려되지 않은 환경이 대부분이다. 이러한 도심환경에서 GNSS만을 이용한 위치결정은 신뢰성과 안정성 확보에 어려움이 많다. 따라서 GNSS와 vision system을 융합하여 부족한 가시위성을 대신할 landmarks를 설정하고, vision system으로 landmarks로부터 위치결정에 필요한 거리 값을 취득한다. GNSS와 vision system은 서로 다른 환경적 영향을 받으므로, 두 시스템의 융합은 환경 변화에 강인한 고정밀 위치결정이 가능하다. 환경변화에 따른 위치오차 분석은 GNSS의 C/A코드와 vision system에서 인식된 landmarks와의 거리 데이터를 융합한 3차원 고정밀 위치결정 simulator를 사용한다. 또한 landmarks의 기하학적 배치에 따른 측위 정밀도를 향상시키려고 한다. Dense urban canyon 환경에서 발생하는 음영지역 문제와 위치오차 문제를 해결하기 위하여 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 vision system 융합 고정밀 측위 기술을 제안하였고, 그 결과 신뢰성과 안정성이 확보된 측위 결과를 얻을 수 있었다. 또한 오차 분석을 위해 직접 field test를 하지 않고도 제작한 simulator를 사용하여 원하는 지역의 오차를 확인할 수 있었다.

Keywords: satellite navigation system, vision system, GNSS

1. 서 론

급속한 산업화 발전에 따른 차량의 증가는 편리성의 다른 측면으로 교통 혼잡과 교통 사고 발생이 심각한 사회문제로 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 방법이 제안되고 있고, 대표적인 방법이 안전하고 편리하게 이동할 수 있는 무인 자율주행 시스템이다. 무인 자율주행을 위해서는 주행방향 결정과 장애물 검출 등 여러 분야로 나눌 수 있지만 핵심 기술은 차량의 정확한 위치결정이다. 하지만 도심의 복잡한 환경에서 위치결정은 센서들간의 간섭 및 반사파 그리고 여러 장애요소로 고정밀 측위가 어렵다. 현재 위치결정에 사용되는 가장 일반적인 시스템은 GNSS(Global Navigation Satellite System)이다. GNSS는 위치결정의 기반기술로 차량, 항공기, 통신, 과학, 농업 및 탐사 등에 많이 사용되고 있고, GNSS를 응용한 많은 연구가 진행되고 있다(Tsui 2000, Prasad & Ruggieri 2005). 또한 최근에는 GNSS와 융합한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다(Knight 1996, Yun et al. 1999, Shengbo et al. 2003). 본 논문에서는 GNSS와 vision system을 융합한 위치결정 연구로 위치결정의 높은 정확도로 항법해를 계산할 수 있다(Cohen & Koss 1992, Betke & Gurvits 1997). 지난 논문 precise and reliable positioning based on the integration of navigation satellite system and vision에서는 위성항법시스템과 비전시스템 융합 위치오차 연구를 하였다(Park & Kim 2012). 하지만 개활지에서는 확연하게 위치오차를 줄일 수 있었으나 dense urban canyon 환경에서는 위치오차 향상에 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 지난 논문에 이어서 도심환경 모델링을 통한 landmarks의 기하학적 배치에 따른 GNSS와 vision system 융합 항법오차를 분석하고, 음영지역에서도 실시간으로 차량의 위치를 보정할 수 있는 고정밀 측위 방법을 제안한다.

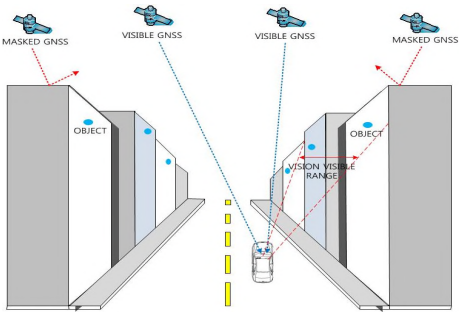


Fig. 1. Dense urban canyon environment.

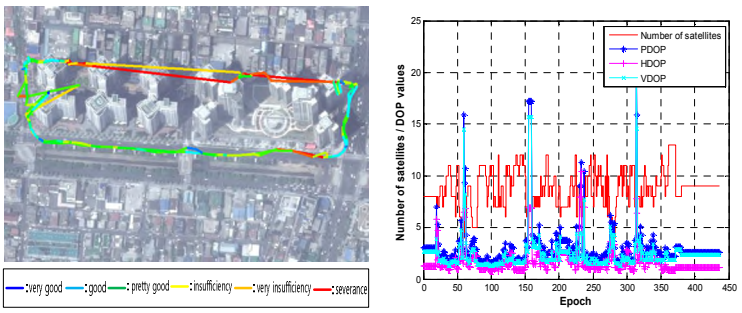


Fig. 2. DOP status according to number of satellites in urban environment.

2. 본론

2.1 Dense urban canyon 환경에서 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 Vision system 융합 고정밀 측위 알고리즘

Fig. 1은 dense urban canyon 환경에서 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 vision system을 융합한 위치결정 방법을 나타내고 있다. Dense urban canyon 환경에서는 고층 건물들에 의해 위성이 가려지거나, 신호가 반사된다. 가시위성 수가 부족하면 위치결정을 할 수 없고, 신호가 반사되면 위치오차가 커지게 된다. 도심의 도로환경은 이동 차량의 앞뒤 시야가 확보되어 위성 신호를 수신할 수 있으나, 좌우방향은 고층 건물들에 의해 위성이 가려진다. 이러한 환경적 문제를 해결하기 위하여 vision system을 이용하여 미리 정확한 위치 값이 결정된 landmarks를 인식하고, landmarks로부터 이동체의 거리를 계산하게 된다. 이동체는 위성으로부터 받은 신호와 landmarks의 거리 값을 융합하여 자신의 위치를 계산하게 된다. 하지만 위치결정의 정밀도를 높이기 위해서는 위성의 기하학적 배치와 landmarks의 위치가 중용한 요소가 된다. 따라서 GNSS와 vision system의 landmarks의 기하학적 배치를 고려하여 위성을 가리는 건물이나 차량의 좌우측 도로에 landmarks를 설치한다. Fig. 2는 일반적인 도심환경에서 가시위성 수 변화에 따른 Dilution of Precision (DOP) 변화와 위치결정 결과를 보여주고 있다.

2.2 GNSS와 vision system 융합 simulator

본 논문에서 개발한 simulator는 GNSS의 C/A코드와 vision system에 인식된 landmarks의 거리 데이터를 융합하여 시간과 장소에 상관없이 주변환경 변화에 따른 수신기의 3차원 고정밀 위치 결정 분석을 위해 제작되었다. Fig. 3은 GNSS와 vision system 융합 simulator 처리과정을 나타낸다.

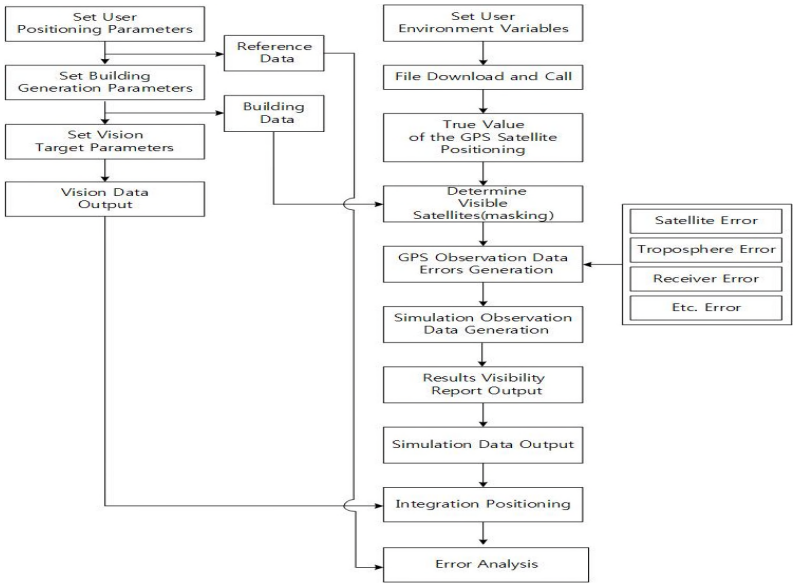


Fig. 3. GNSS and vision system integration simulator.

최종적으로 integration positioning에서는 vision system으로 관측된 landmarks의 거리 데이터를 로딩하고, 최소제곱법(least square method)으로 GNSS 관측 데이터와 융합 측위를 한다. 마지막으로 final result에서는 GNSS와 vision을 융합한 시스템의 수신기 위치 오차를 계산하고, 오차분석 그래프 및 다양한 분석 데이터를 출력한다.

3. 실험

3.1 실험 환경

Dense urban canyon 환경 구축을 위해 대구경북과학기술원에서 진행하였으며, 시간은 2016년 10월 28일 오전 11시부터 13시까지 진행하였다. Landmarks 위치는 total station을 이용하여 front의 실험에서는 차량의 직진방향으로 10m 좌우에 10곳을 지정하였고, 기하학적 배치(geometry arrangement) 실험에서는 길이 100m 건물 벽면에 11곳을 지정하였다.

3.2 일반적인 환경에서의 GNSS와 vision system 융합 항법오차 분석

본 실험에서는 dense urban canyon환경에서 landmarks가 차량의 진행방향(front)에 있는 경우 static 상태와 kinematic 상태의 실험 결과와 simulation 결과를 비교 분석하였다. “G”는 가시위성 수를 나타내고, “V”는 vision system으로 인식된 landmarks의 수를 나타낸다. Fig. 4는 front_static상태에서의 가시위성 수 변화와 landmarks 수 변화에 따른 horizontal positioning error를 나타내고 있고, Fig. 5는 Front_kinematic 상태에서의 가시위성 수 변화와 landmarks 수 변화에 따른 horizontal positioning error의 실험 결과와 simulation 결과를 비교하여 나타내고 있다.

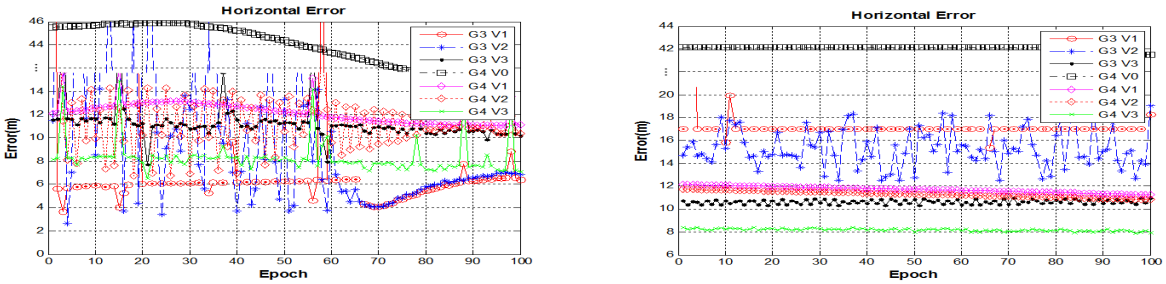


Fig. 4. Experiment results in the front static state and horizontal positioning errors of simulation results.

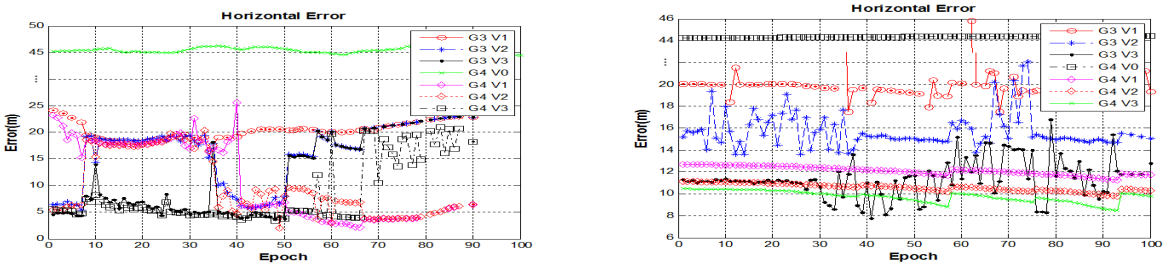


Fig. 5. Experiment results in the front kinematic state and horizontal positioning errors of simulation results.

3.3 기하학적 배치를 고려한 환경에서의 GNSS와 vision system 융합 항법오차 분석

Dense urban canyon 환경에서 가시위성이 건물에 가려져 위성의 기하학적 배치 상태가 나쁜 경우 landmarks를 기하학적 배치를 고려하여 가시위성을 가린 건물에 배치한 경우 static상태와 kinematic 상태의 실험결과와 simulation결과를 비교 분석하였다. Fig. 6은 geometry arrangement_static 상태에서의 가시위성 수 변화와 landmarks 수 변화에 따른 horizontal positioning error를 나타내고 있다.

Fig. 7은 geometry arrangement_kinematic 상태에서의 가시위성 수 변화와 landmarks 수 변화에 따른 horizontal positioning error의 실험 결과와 simulation 결과를 비교하여 나타내고 있으며, Table 1은 Fig. 4부터 7이 대한 결과를 나타내고 있다.

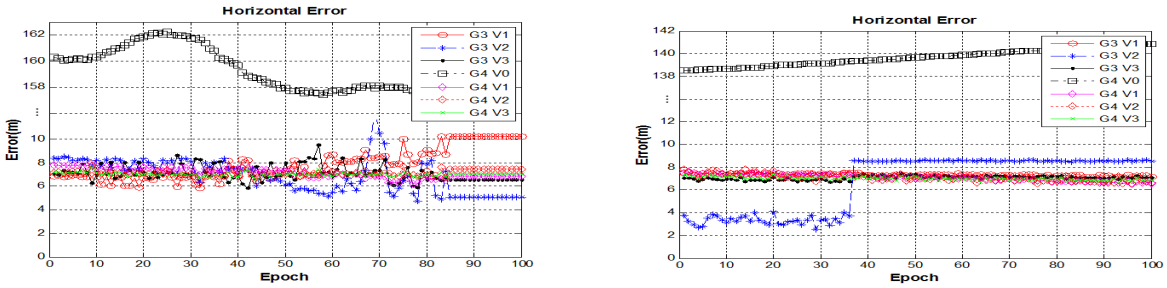


Fig. 6. Experiment results in the geometry arrangement ststic and horizontal positioning errors of simulation results.

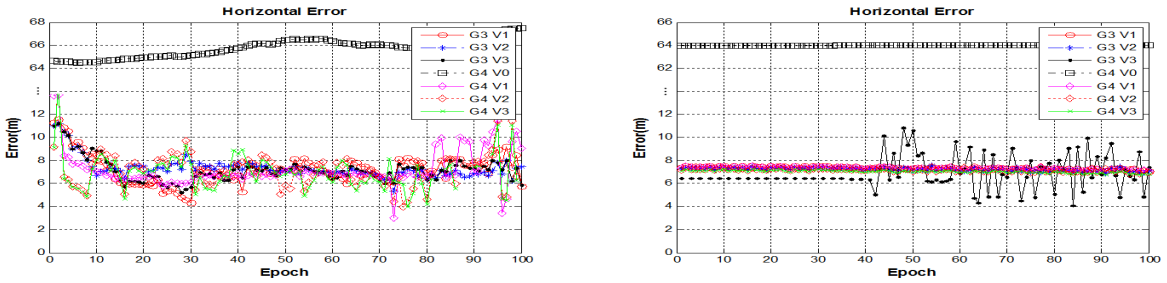


Fig. 7. Experiment results in the geometry arrangement kinematic and horizontal positioning errors of simulation results.

Table 1. Experiment results.

No	FFS_RMS	SFS_RMS	FFK_RMS	SFK_RMS	FGS_RMS	SGS_RMS	FGK_RMS	SGK_RMS
G3V1	18.91	17.89	20.32	20.77	7.57	7.39	7.40	7.39
G3V2	16.52	15.48	16.68	15.84	7.37	7.17	7.42	7.26
G3V3	11.58	10.68	12.75	11.53	7.29	7.11	7.28	7.29
G4	44.02	41.95	45.64	44.56	159.27	140.38	66.07	64.34
G4V1	12.31	11.77	13.24	12.17	7.24	7.12	7.38	7.33
G4V2	11.69	11.34	11.49	10.64	7.13	7.10	7.32	7.19
G4V3	8.45	8.22	10.24	9.82	7.05	7.03	7.11	7.06

FFS(Field test Front Static), SFS(Simulation Front Static), FFK(Field test Front Kinematic), SFK(Simulation Front Kinematic), FGS(Field test Geometry arrangement Static), SGS(Simulation Geometry arrangement Static), FGK(Field test Geometry arrangement Kinematic), SGK(Simulation Geometry arrangement Kinematic)

4. 결론

본 논문에서는 dense urban canyon 환경에서 발생하는 음영지역 문제와 위치오차 문제를 해결하기 위하여 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 vision system 융합 고정밀 측위 기술을 제안하였다. Dense urban canyon 환경에서 GNSS와 vision system 융합 위치결정 결과 위치오차가 대략 10-20m 발생하였고, 주변 환경 변화에 따라 위치오차가 심하게 변하였다. 하지만 landmarks의 기하학적 배치를 고려한 GNSS와 vision system 융합 위치결정 결과에서는 위치오차가 대략 7m로 향상되었으며, 주변 환경변화에 위치오차는 변동 없이 일정한 오차를 유지하는 안정적인 결과를 나타내고 있다. 이러한 결과로 보아 본 기술은 고정밀 측위에 적합한 안정적인 시스템임을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the DGIST R&D Program of the Ministry of Science and ICT (17-NT-01)

REFERENCES

Betke, M. & Gurvits, L. 1997, Mobile robot localization using landmarks, IEEE trans on Robotics and Automation, 13, 251-263. https://doi.org/10.1109/70.563647

Cohen, C. J. & Koss, F. V. 1992, A Comprehensive Study of Three Object Triangulation, Proc. SPIE 1831, Mobile Robots VII, 1831, 95-106, Boston, MA. https://doi.org/10.1117/12.143782

Knight, D. T. 1996, Rapid Development of Tightly-coupled GPS/INS System, IEEE Position Location and Navigation

Symposium, pp.300-305. https://doi.org/10.1109/PLANS.1996.509092

Park, C. H. & Kim, N. H. 2012, A Study of an External (Outdoor) Shadow Area Solution Based on Global Navigation Satellite System and Vision System Convergence Technology, 19th ITS World Congress, Vienna, Austria, 22-26 October 2012, AP-00047

Prasad, R. & Ruggieri, M. 2005, Applied Satellite Navigation Using GPS, Galileo, and Augmentation Systems (London: Artech House)

Shengbo, Q., Keliang, D., & Qingli, L. 2003, An effective GPS/DR device and algorithm used in vehicle positioning system, IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings, 1, 632-636. https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252029

Tsui, J. B. 2000, Fundamentals of Global Positioning System Receivers, A Software Approach (New York: John Wiley & Sons, Inc.), 2, 10-27

Yun, X., Bachmann, E. R., McGhee, R. B., Whalen, R. H., Roberts, R. L., et al. 1999, Testing and evaluation of an integrated GPS/INS system for small AUV navigation, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 24, 394-404

모바일 매핑 시스템으로 측정한 도로시설물의 정확도 평가

최진옥*, 박지호, 한중희
대구경북과학기술원 지능형소자융합연구실

Accuracy Evaluation of Road Facilities Measured by Mobile Mapping System

Jin Ok Choi*, Chi-Ho Park, Joong-hee Han
Intelligent Devices & Systems Research Group, DGIST

주소 : 대구시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333 DGIST
연락처 : 053-785-4443 이메일 : jochoi@dgist.ac.kr

Abstract: 자동차 제조업체 및 관련 연구기관에서는 자동차에 첨단 센서를 장착하고 IT 신기술을 접목하여, 주행의 안전성과 편의성을 향상시키기 위한 자율주행기술 개발에 매진하고 있다. 최근 자율주행기술이 센서 중심에서 지도와 센서 융복합 기반으로 개발됨에 따라 자율주행기술을 보조하기 위한 정밀 지도 구축의 중요성이 높아지고 있다. 따라서 우리나라의 국토지리정보원에서는 2016년부터 국내 자율 주행 상용화 기술 개발을 지원하기 위하여 차선, 도로시설, 표지시설 등이 포함된 정밀 도로 지도 구축을 진행하고있다. 그러나 정밀 지도 구축에 중점을 두어 연구를 진행하고 있어, 구축된 정밀 도로 지도에 대한 신뢰성 평가가 미진하다. 따라서 본 연구에서는 현재 구축되고 있는 정밀 도로 지도의 정밀도를 살펴보기 위하여, 정밀 도로 지도 구축에 사용되는 모바일 매핑 시스템을 이용하여 도로시설물 정보를 직접 구축하고, 위치 정밀도를 평가하였다. 이를 위하여 모바일 매핑 시스템을 이용하여 대구광역시 달성군 현풍면 일대의 새주소 표지판, 신호등, 노면 화살표 등 도로시설물에 대한 절대 위치 DB를 구축하였다. 구축된 도로시설물의 위치 정밀도 평가는 토탈스테이션 측량을 통해 획득된 절대 좌표를 이용하여 실시하였다. 본 연구의 도로시설물의 위치 정밀도 평가 결과는 최근 주목 받고 있는 정밀 도로 지도의 위치 정밀도를 가늠하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

Keywords: mobile mapping system, precise road map, road facility

1. 서 론

최근 자동차 관련 기업 및 연구기관에서 가장 활발히 개발되고 있는 것은 자율주행 자동차이다. 자율주행 자동차 기술은 주행 정보 수집을 위하여 여러 종류의 센서를 차량에 부착하고 이 센서로부터 주행에 필요한 데이터를 수집한 후, 수집된 데이터를 기반으로 운전자의 눈과 귀 역할을 대신하여 자동차가 스스로 달리는 기술이다(Park 2016). 여러 가지 센서와 정밀 지도를 통해 획득한 정보를 이용하여 주변환경을 인식함으로써 자율주행 자동차의 안전한 주행이 가능해진다. 자율주행 기술이 발전함에 따라 여러 자동차 관련 업계 또는 연구기관에서는 안전한 주행과 소비자의 편의성을 향상시키기 위해 자율주행기술을 보조하기 위한 정밀 지도 구축의 중요성 또한 높아지고 있다. 정밀 도로 지도는 기존의 내비게이션 항법 지도나 노드-링크 지도와는 다른 새로운 개념의 전자지도 이다. 정확한 차로정보를 포함한 3차원 정치 정보를 기반으로 하여 자동차 운행에 필요한 각종 정보들, 예를 들어 신호등의 위치나 정지선의 위치, 차로변경이 가능한 구간인지 아닌지, 좌회전이 허용되는 교차로인지 아닌지 등의 상세한 도로정보와 도로운행정보를 함께 제공하는 지도이다(Kim & Moon 2016). 현재 우리나라 국토지리정보원에서는 정밀 지도 구축을 진행하고 있다. 국토지리정보원은 2015년부터 정밀도로지도의 구축 항목, 방법, 기술 등에 대한 기초 연구와 시범구축을 착수하였으며, 해당 성과를 관련 민간 기업, 연구기관 등 약 40여 기관, 기업에 제공하여 자율주행 기술 개발 등을 지원하고 있다(NGII 2016). 국토지리정보원에서는 도로 정밀 지도 구축에 중점을 두어 연구하고 있으며 구축된 정밀 지도의 도로시설물 정확도에 대한 평가에 대해서는 부족한 실정이다. 본 논문에서는 정밀 지도의 도로시설물 위치 정밀도를 가늠하기 위해 대구광역시 달성군 현풍면 일대를 연구 지역으로 선정하여 모바일 매핑 시스템을 이용하여 도로시설물 절대 좌표를 취득하고, 토탈스테이션 측량으로 획득한 위치를 기준으로 오차를 비교하여, 모바일 매핑 시스템으로 구축된 도로시설물 위치 정확도 평가를 수행하였다.

2. 연구내용

2.1 데이터 취득 및 처리

모바일 매핑 시스템으로 측정한 도로시설물 정확도 평가를 위한 연구흐름도는 Fig. 1과 같다. 연구지역은 대구광역시 달성군 현풍면 일대의 포산네거리 교차로를 일대로 선정하였다. 정확도 평가를 위한 도로시설물은 교차로의 각 방향에 위치한 도로표지판, 신호등, 도로노면에 표시된 화살표로 Fig 2와 같다. 데이터 취득을 위하여 대구경북과학기술원이 보유하고 있는 모바일 매핑 시스템을 이용하였다. 상기 모바일 매핑 시스템에는 GNSS(Global Navigation Satellite System)/INS(Inertial Navigation System)/DMI(Distance Measurement Instrument) 기반의 항법시스템인 Applanix사의 POS LV 520과 LiDAR(Light Detection And Ranging) 센서인 Velodyne사의 HDL-64E S2가 탑재되어 있다. 모바일 매핑 시스템을 이용한 도로시설물 데이터는 선정된 연구지역의 도로시설물이 모두 측정될 수 있도록 교차로의 모든 방향을 주행하여 취득하였다. 차량의 위치 및 자세 정보는 GNSS, INS, DMI 원시데이터를 Applanix사의 POSPac MMS 소프트웨어를 이용한 후 처리를 통해 생성하였다. 차량의 위치 및 자세 정보와 LiDAR 데이터를 이용한 Direct Georeferencing 수행하여 절대 좌표가 태깅된 라이다 기반 포인트 클라우드 데이터를 생성하였다. 본 연구의 대상 데이터인 모바일 매핑 시스템을 이용한 도로시설물에 대한 중심 좌표는 라이다 기반 포인트 클라우드 데이터를 이용하여 각 객체의 꼭짓점에 대한 절대 좌표를 추출하고 기하학적인 중심을 계산하여 산출하였다. 모바일 매핑 시스템으로 측정한 도로시설물의 정확도 평가를 위한 기준 데이터는 토탈스테이션 측량을 통하여 획득하였다. 토탈스테이션 측량을 위한 기계점 및 후시점 좌표는 공공측량작업규정(제2017-1323호)의 네트워크 RTK 측량 기준을 준용하여 산출하였다. 토탈스테이션 측량을 통한 도로시설물 측정 및 중심 좌표 계산은 라이다 클라우드 데이터를 이용한 방법과 동일한 방법으로 수행하였다. 마지막으로 모바일 매핑 시스템으로 획득한 도로시설물의 정확도 평가를 위하여 토탈스테이션 측량으로 획득한 각 객체의 중심 좌표를 기준으로 모바일 매핑 시스템으로 획득한 각 객체의 중심 좌표의 오차를 계산하였다.

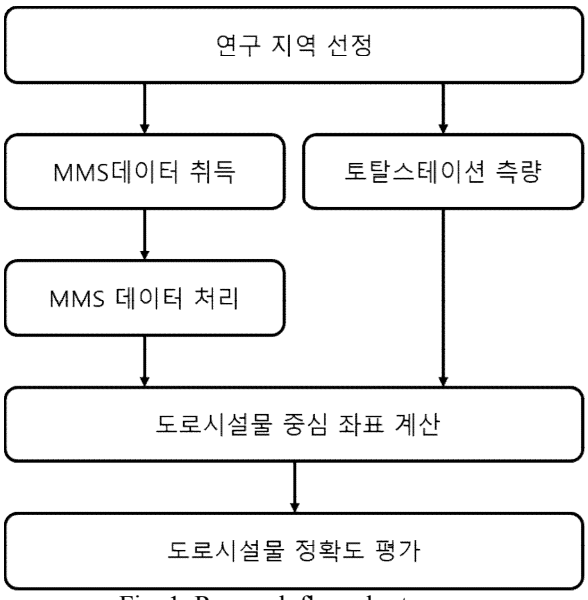


Fig. 1. Research flow chart.

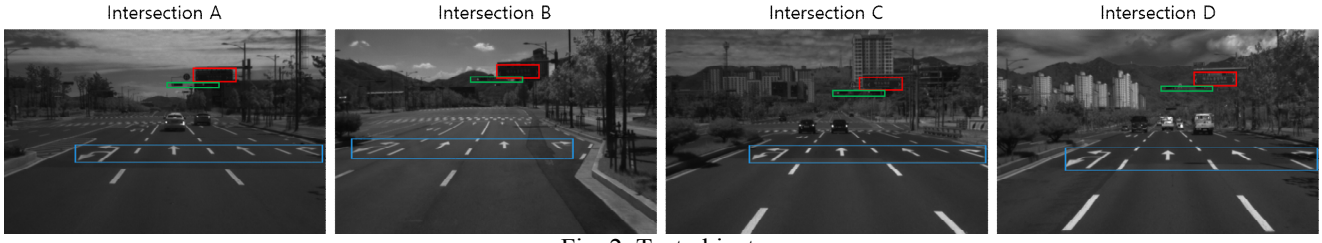


Fig. 2. Test object.

2.2 평가 결과

모바일 매핑 시스템으로 측정한 총 4개의 도로표지판에 대한 중심 좌표의 오차와 정확도를 정리한 것은 Table 1과 같다. 수평 위치 오차는 수 십 cm 정도의 오차가 포함되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 높이의 경우에는 수 십 cm에서 1m 이상 오차가 포함된 것으로 나타났다. 또한 토탈스테이션으로 측량한 중심 좌표를 기준으로 도로시설물의 정확도를 계산하였다. 도로표지판 수평 위치와 높이의 위치 정확도는 수 십 cm 수준으로 확인하였다.

Table 1. Position error statistics for traffic sign.

	Sign		
	Easting (m)	Northing (m)	Elip height (m)
Sign A	-0.645	0.482	0.871
Sign B	-0.064	0.738	-0.605
Sign C	-0.571	-0.051	1.167
Sign D	-0.066	-0.263	0.158
RMS	0.434	0.461	0.792

Table 2. Position error statistics for traffic light.

	Traffic light		
	Easting (m)	Northing (m)	Elip height (m)
Light A-1	-0.679	0.135	0.717
Light A-2	-0.667	0.185	0.637
Light B-1	-0.025	0.687	-0.621
Light B-2	-0.093	0.694	-0.602
Light C-1	-0.584	0.226	0.958
Light C-2	-0.563	0.368	1.068
Light D-1	0.240	-0.282	0.243
Light D-2	0.165	-0.314	0.424
RMS	0.455	0.414	0.704

Table 3. Position error statistics for arrow mark on the road surface.

	Road arrow mark		
	Easting (m)	Northing (m)	Elip height (m)
Arrow A-1	-0.912	0.248	0.591
Arrow A-2	-0.959	0.093	0.672
Arrow A-3	-0.952	0.131	0.758
Arrow A-4	-0.982	0.261	0.947
Arrow B-1	-0.308	0.490	-0.249
Arrow B-2	-0.382	0.555	-0.094
Arrow B-3	-0.416	0.431	-0.038
Arrow B-4	-0.524	0.421	0.090
Arrow C-1	-0.552	0.484	0.330
Arrow C-2	-0.488	0.492	0.408
Arrow C-3	-0.503	0.495	0.433
Arrow C-4	-0.447	0.461	0.527
Arrow D-1	-0.125	-0.128	-0.278
Arrow D-2	0.048	-0.075	-0.358
Arrow D-4	0.000	3.252	-0.127
RMS	0.596	0.916	0.470

신호등 중심점 오차와 정확도를 정리한 것은 Table 2와 같으며 표와 같이 수평 위치 오차는 20cm에서 1m 수준의 오차가 포함된 것으로 나타났다. 신호등 수평 위치와 높이의 위치 정확도는 40cm에서 70cm 사이 수준이며 도로표지판과 신호등의 경우 대부분 수평 위치 오차는 10cm에서 60cm 정도의 오차가 포함되어 있지만 높이의 경우 수평 위치 오차 보다 다소 큰 것으로 나타났다.

도로 위 노면 화살표의 중심점 오차와 정확도를 정리한 것은 Table 3 과 같으며 수평 위치 오차는 10cm 에서 3m 수준의 차이를 보이고 있지만 교차로 D 지역의 노면 화살표에서 큰 차이를 보이고 있다. 교차로 D 지역의 화살표를 제외한 수평 위치 오차는 0cm 에서 1m 의 오차를 보이고 있다. 노면 화살표 수평 위치와 높이의 위치 정확도는 40cm 에서 90cm 정도 수준인 것으로 나타났다.

3. 결 론

현재 자율주행 기술이 발전함에 따라 정밀 지도 구축에 대한 관심이 높아지고 있다. 정밀 지도의 구축에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며 이미 구축된 정밀 지도의 도로시설물에 대한 정확도 평가가 부족하다. 따라서 정밀 지도의 도로 시설물에 대한 정확도를 평가하기 위해 토탈스테이션과 모바일 매핑 시스템을 이용하여 실험 지역의 도로시설물 중심 좌표를 획득하였다. 획득한 데이터의 후 처리를 통해 위치 오차를 비교 및 분석 하였다. 결과적으로 도로 시설물 중 표지판, 신호등, 노면 화살표 수평 위치와 높이의 오차범위는 수 십 cm에서 약 1m 수준으로 나타났다. 도로 시설물 정확도의 경우 40cm에서 90cm의 수준으로 나타났다. 분석된 도로 시설물의 객체 수가 부족하여 정확도를 평가하는 것에 한계가 있는 것으로 사료되며 추 후 보다 많은 도로 시설물의 중심 좌표를 획득하여 분석 할 것이다. 본 논문을 통해 현재 구축되는 정밀 지도의 도로시설물 정밀도를 파악하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 과학기술정보통신부에서 지원하는 DGIST 기관고유사업에 의해 수행되었습니다. (17-NT-01)

REFERENCES

Kim, J.-S. & Moon, B.-S. 2016, Contents and Accuracy of Lane-level Road Map for Autonomous Driving, Transportation Technology and Policy, 13, 42-50, http://www.newnonmun.com/article=10764925

NGII 2016, [Internet], cited 2016 Sep. 27, available from: https://www.google.co.kr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFjM7kgKbWAhXHKpQKHV4mA2EQFghDMAU&url=https%3A%2F%2Feiec.kdi.re.kr%2Fskin_2016%2Fcommon%2Fepicdownload.jsp%3Fnum%3D158375%26filenum%3D1&usg=AFQjCNEyGDpm89--LudyuKk0mu9iVFA3zA

Park, E.-S. 2016, Study on security technology of traveling information sensor of autonomous driving car, Master Dissertation, Korea University, Seoul, Korea

KASS 기준국 후보지 GPS 전파환경 조사 방법

손민혁*, 이재은, 장현진, 조성룡, 최종연, 남기욱
한국항공우주연구원 SBAS사업본부

Method of GPS Radio Environment Survey for KASS Reference Station Site Selection

Minhyuk Son*, Jae-Eun Lee, Hyun-Jin Jang, Sung-Lyong Cho, Jong-Yeoun Choi, Gi-Wook Nam
SBAS R&D Head Office, Korea Aerospace Research Institute (KARI)

주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-870-3991 이메일 : mhson@kari.re.kr

Abstract: 한국형 SBAS 시스템인 KASS 시스템은 기준국, 중앙처리국, 통합운영국, 위성통신국으로 구성되어 있다. 기준국은 GPS 및 GEO 데이터를 수신하여 보강정보를 생성하는 중앙처리국으로 전달하는 기능을 수행한다. 기준국에서 획득된 GPS 및 GEO 데이터의 품질은 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 이에 따라 기준국 사이트 선정 시에 일반적인 환경 요구조건에 대한 고려와 더불어 전파환경 및 다중경로 등에 대한 정밀한 조사가 필요하다. 본 논문에서는 KASS 기준국 사이트 선정을 위한 GPS 전파환경 조사 방법 및 실제 후보지에서 수행한 결과를 제시한다.

Keywords: SBAS, reference station, sites, EMI

1. 서 론

전세계적으로 위성항법보강시스템에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 미국의 WAAS, 유럽의 EGNOS 등은 대표적인 위성기반의 위성항법보강시스템이며 기능적으로 기준국, 중앙처리국 및 통합운영국, 위성통신국으로 구분한다. WASS의 경우 Wide area Reference Station, Wide area Master Station, GEO Uplink Station로 구분되며 EGNOS의 경우 Ranging and Integrity Monitoring Station, Mission Control Centers, Navigation Land Earth Stations로 지칭한다(Gauthier et al.1999, Lawrence et al. 2007). 여기서 기준국은 GPS 측정치 획득을 주요 기능으로 하고 있으며 획득 데이터의 품질은 전체 SBAS 성능에 중요한 영향을 미친다. 이러한 품질을 확보하기 위해서는 기준국 설치 사이트에 대한 사전 조사 및 정밀조사가 반드시 필요하며 객관적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 기준국 후보지 선정을 위한 GPS 전파환경 조사 방법 및 실제 사이트에서의 수행 결과를 제시한다.

2. KASS 시스템 및 기준국 후보지

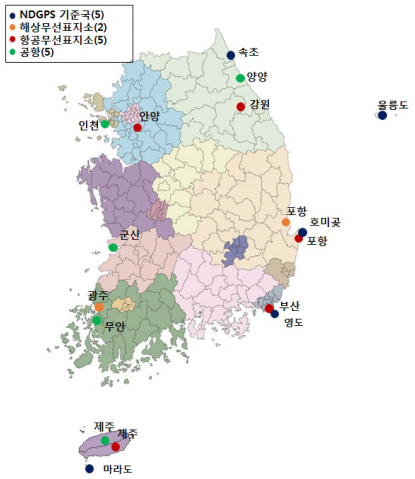
2.1 KASS 시스템 및 기준국 시스템

Korea Augmentation Satellite System (KASS)는 한국형 SBAS를 지칭한다. 시스템 구성은 GPS 및 GEO 데이터를 획득하기 위한 다수의 기준국(KRS, KASS Reference Station)과 이러한 데이터를 가공하여 보정정보를 생성하는 중앙처리국(KPS, KASS Processing Station), 생성된 정보를 정지궤도 위성으로 전달해주는 위성통신국(KUS, KASS Uplink Station), 이러한 시스템을 감시하거나 제어하는 통합운영국(KCS, KASS Control Station)으로 구분된다. 여기서 기준국은 양질의 데이터를 획득하기 위한 센서의 역할을 하는 시스템으로서 여기서 획득하는 데이터의 품질은 KASS 전체 성능에 큰 영향을 미친다.

기준국 하드웨어는 Brocard et al. (2000)과 같이 위성항법 안테나, 위성항법 수신기, 처리 소프트웨어를 포함하는 중앙 컴퓨터, 원자시계, 전원, 네트워크 등으로 구성된다.

2.2 KASS 기준국 후보지 구성

KASS 시스템의 성능을 보장하기 위해서는 전 국토에 고루 분포되어 기준국이 구축되어야 한다. 이에 국토교통부, 해양수산부 관련 후보지를 대상으로 사전검토를 수행하였다. 그 결과 정밀조사를 수행 후보지는 Fig 1과 같이 최종 17개소로 결정되었다. 후보지는 NDGPS 기준국 5개소, 해상무선표지소 2개소, 항공무선표지소 5개소, 공항 5개소로 구성된다.



순번	사이트 종류	사이트 이름	사이트 아이디
1	AP	Incheon	INC_AC
2	NDGPS	Yeong-do	YDO_ND
3	NDGPS	Mara-do	CJU_ND
4	NDGPS	Ulleung-do	ULG_ND
5	AP	Muan	MWX_AP
6	AP	Yangyang	YNY_AP
7	VOR	Jeju	CHJ_VO
8	VOR	Gangwon	KAW_VO
9	VOR	Anyang	AYG_VO
10	VOR	Pohang	KPO_VO
11	LORAN	Pohang	KPO_LO
12	AP	Jeju	CHJ_AP
13	NDGPS	Homigot	KPO_ND
14	VOR	Busan	PUS_VO
15	AP	Gunsan	KUV_AP
16	NDGPS	Sokcho	SHO_ND
17	LORAN	Gwangju	KWJ_LO

Fig. 1. KRS Site Configuration

3. 기준국 사이트 정밀조사

기준국 사이트 후보지 선정을 위한 정밀조사는 사이트 접근, 사이트 보안, 내부 공간, 외부 공간, 유지보수, 소방안전, 전원공급, 접지 및 낙뢰보호, 배관 및 케이블 통로, 네트워크 및 통신, GNSS 안테나 조사, 하위시스템 관련 조사로 구분되어 수행한다. 이중 GNSS 안테나 조사는 실 안테나 설치 위치에서 수행되며 수평앙각, 다중경로, 전파환경 조사로 구분된다. 수평앙각 조사는 GNSS 안테나의 위성 가시성 보장에 목적이 있으며 설치 예상위치에서 앙각 측정장비를 활용하여 전 방위각으로 측정한다. 다중경로 조사는 신호의 왜곡 가능성을 판단하기 위한 목적이 있으며 위성항법안테나와 수신기를 활용하여 데이터를 획득, 분석프로그램을 통해 분석을 수행한다. 전파환경 조사는 GNSS 신호의 방해 가능성을 판단하기 위한 목적이며 전파환경 측정도구를 활용하여 GPS L1, L2, L5 대역 및 주변 대역을 측정한다.

4. 전파환경 측정 방법 및 결과

전파환경 조사 방법을 결정하고 마라도 사이트에서 측정된 데이터를 활용하여 그 결과를 제시하였다.

4.1 전파환경 장비 구성 및 조사 방법

전파환경 측정을 위하여 전 방향 안테나와 측정대역(800MHz~2,000MHz)을 충분하게 측정을 수 있도록 Table 1과 같이 장비를 구성하였다. 또한 측정대역과 겹치는 전파원(라디오주파수, LTE 이동통신 및 군 통신 주파수 등)을 고려하였다.

Table 1. Actual configuration of EMI measurement.

순번	종류	모델	제조사
1	Analyzer	FSP 7	Rohde & Schwartz
2	RF pre-amplifier	ZHL-1217HLN+	Mini circuit
3	Low pass band filters	NLP-2400+	Mini circuit
4	High pass band filters	NHP-500+	Mini circuit
5	Antenna	EVD2-TRI-S2/929	European antennas

전파원을 효과적으로 검출하기 위해서는 장시간 측정이 필요하나 17개소의 사이트를 한정된 시간 안에 조사하기 위하여 측정방법을 최적화하였다. 측정은 본측정과 미세측정으로 구분된다. 본측정은 전 대역(800MHz~2000MHz), GPS L1(1,517MHz), GPS L2(1,227MHz), GPS L5(1,176MHz)를 15초간 높은 값 고정방법(MAXHOLD)으로 순차적으로 24시간 수행한다. 본측정이 완료된 이후 그 결과를 분석하고 방해 전파라고 판단되는 경우 측정범위, 분해대역폭(RBW), 비디오대역폭(VBW) 등을 조정하여 미세측정을 수행한다. 아래는 그 방법을 Table 2와 같이 정리하였다.

측정된 값은 바닥잡음(noise floor) 및 장비손실에 대한 보상을 통하여 최종 결과를 도출한다.

Table 2. EMI test procedure.

순번	본측정 (24 시간)	미세측정(12 시간 이내)
1	Full band (800 ~ 2,000MHz)	Fine EMI analysis
2	GPS L1 band (1,565.42 ~ 1,585.42MHz)	
3	GPS L2 band (1,217.60 ~ 1,237.60MHz)	
4	GPS L5 band (1,166.45 ~ 1,186.45MHz)	

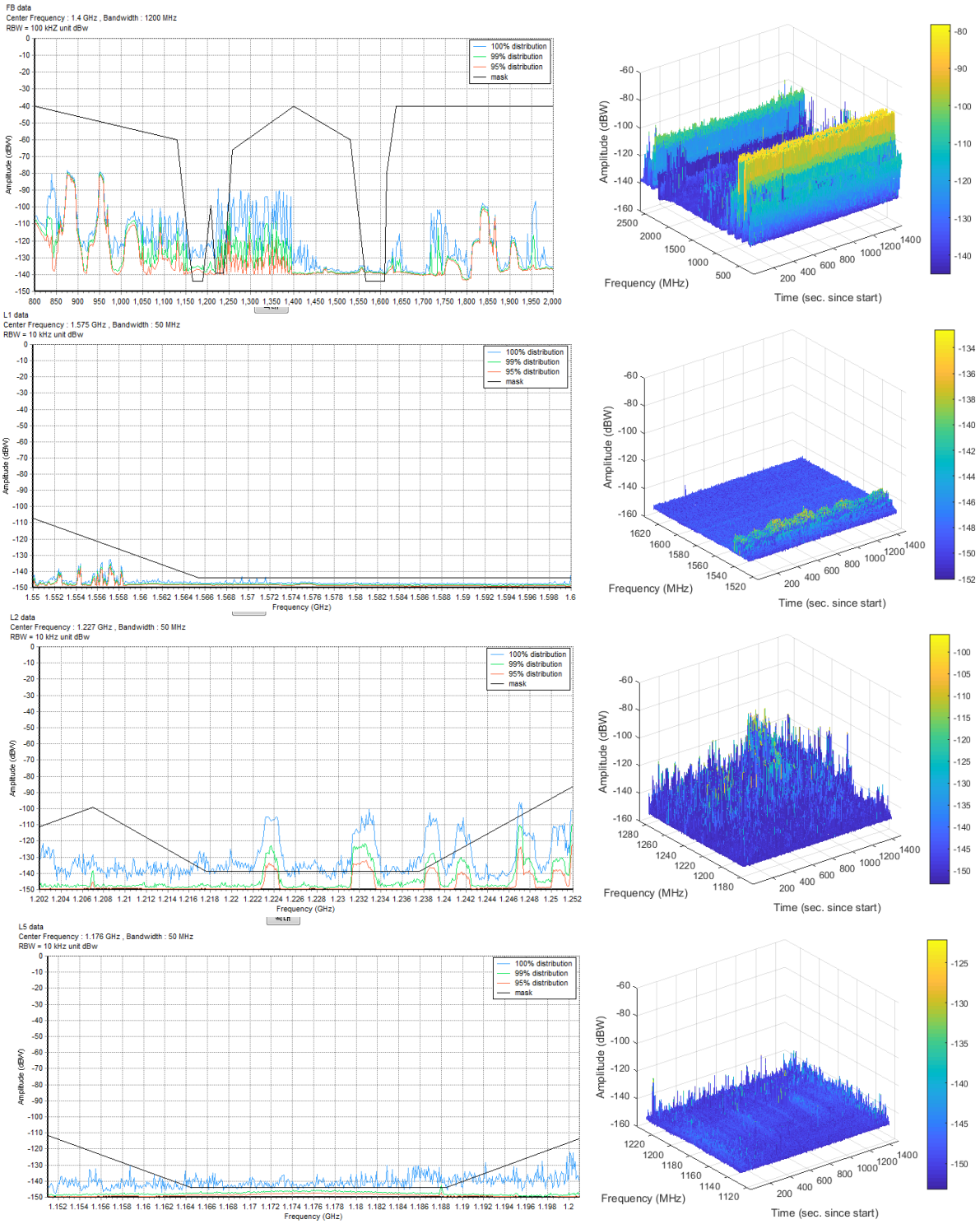


Fig. 2. Analysis of EMI (FB, L1, L2, L5).

4.2 측정 결과

4.1절에 제안한 장비구성과 절차를 통하여 실제 기준국 후보지 중 하나인 마라도 NDGPS 기준국 사이트에서 측정을 수행하였다. Fig 2는 전파환경 측정 결과를 나타내고 있다.

좌측 열은 주파수 단위 최대 전파강도를 나타내며 우측 열은 시간단위 전파 강도의 변화를 나타낸다. 분석결과 GPS L2 대역에서 방해 전파가 있음을 알 수 있다. 해당 방해전파의 세밀한 측정을 위하여 측정범위, 분해대역폭, 비디오대역폭을 조정하여 관심주파수 외곽(Out of Band), 관심주파수 주변(Near Band), 관심 주파수(In Band)에 대한 분석을 수행하였다. 그 결과 전파강도는 -109.73dBW로 검출되었으며 IS-GPS-200H. (2013)에서 언급한 일반적인 GPS L2신호 -161.5dBW 대비 초과되는 값은 51.77dBW 판별되었다. 이는 GPS L2 신호에 대한 허용 임계치인 27dBW를 초과하였으므로 방해 전파로 판별되었다.

5. 결 론

지금까지 KASS 시스템의 하위시스템인 기준국 시스템과 후보지 구성, 후보지 선정을 위한 기준국 사이트 정밀조사 항목을 제시하였으며 이중 전파환경 측정 방법에 대하여 제시하였다. 제안한 구성과 방법으로 마라도 NDGPS 기준국 후보지에서 실 측정을 수행하였다. 측정결과를 분석한 결과 일정대역에서 방해전파가 식별됨을 확인할 수 있었다. 추후 이러한 결과를 추가 분석하여 전파환경에 대한 판단을 수행할 계획이며 최종 사이트를 선정할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(다목적 위성항법보정시스템 기준국 기술개발).

REFERENCES

Brocard, D., Maier, T., & Busquet, C. 2000, EGNOS Ranging and Integrity Monitoring Stations (RIMS), in proceeding of GNSS 2000 Conference, Vol.3, Edinburgh, Scotland, UK

Gauthier, L., Michel, P., & Ventura-Traveset, J. 1999, EGNOS: The first European implementation of GNSS, Project status overview

IS-GPS-200H. 2013, [Internet], cited 2013 Sept. 24, available form: http://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200H.pdf

Lawrence, D., Bunce, D., Mathur, N. G., & Sigler, C. E. 2007, Wide area augmentation system (WAAS)-program status, In Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation , ION GNSS 2007, Fort Worth, TX, pp.892-899

다중 기준국 기반 전리층 수직 지연량 모니터링 기법

안종선*, 이상우, 임성혁, 손은성, 허문범
한국항공우주연구원 SBAS 사업본부 위성항법팀

Monitoring of Vertical Ionosphere Delay based on Multiple Reference Stations

Jongsun Ahn*, Sangwoo Lee, Sunghyuck Im, Eunseong Son, Moonbeom Heo
Satellite Navigation Team / SBAS R&D Head Office / KARI

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-860-3506 이메일 : jsever@kari.re.kr

Abstract: 전리층은 위성항법시스템 분야에 무결성 측면에서 반드시 모니터링 되어야 할 고장 요인으로, 폭풍 형태로 발생시 예상치 못한 국지적인 양상을 나타낸다. 위성항법보강시스템이 광역으로 운용 될 때는 단일 기준국을 가지고는 국지적인 형태의 전리층 폭풍을 감지하기 어려워 사용자단에서 다중 주파수 기반으로 검출하는 방법이 제시되고 있다. 하지만 다중 주파수의 수신기는 고가로 인해 실제 활용성 측면에서 떨어지게 된다. 그리하여 본 논문에서는 인프라 형태로 구축된 위성항법용 기준국의 이중주파수 반송파 측정값을 활용한 검출 기법을 제안하였다. 검출 기법은 개별 기준국에서 계산된 전리층 수직 지연량 변화율을 다중 기준국간 상호 비교하여 고장 여부를 판단하며, 코드 측정값 활용에 비해 정상상태에서 검정통계량 정밀도 향상과 한계치 감소로 인해 무결성 향상을 기대할 수 있다.

Keywords: vertical ionosphere delay, multiple reference stations, DFCD

1. 서 론

전리층 폭풍은 위성항법시스템의 무결성 확보에 가장 큰 걸림돌이 되는 요인이다. 태양활동에 민감하게 반응하며 발생 지역, 발생 시간, 폭풍의 정도를 예측하기 어렵다. 이로 인해 미국의 SBAS 시스템인 Wide Area Augmentation System (WAAS)에서는 전리층 폭풍으로 인해 CAT-I을 만족시키지 못한 상태이다. 전리층 폭풍 관련 연구로는 개별 기준국에서 전리층에 서로 다른 영향을 받는 코드 (지연), 반송파 (앞섬) 기반 Code Carrier Divergence (CCD), 다중 주파수 기반 연구 및 전리층 오차 모델 (위협모델)을 보수적으로 개발하여 항공기 위치 오차에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 위에서 설명한 것과 같이, 전리층 폭풍 발생시 예상치 못한 국지적인 양상을 나타낸다. 본 논문에서는 국지적으로 발생하는 전리층 폭풍을 모니터링하기 위해서는 단일 광역지역에 분포된 각 기준국 상공의 전리층 상태를 상호 공유하면서 대처해 나가는 방향을 제시하였다.

2. Dual Frequency Carrier Divergence (DFCD)

Datta-Barua et al. (2010)에 의하면 전리층은 지구표면으로부터 50~2000km 고도에 분포되어 있으며 태양의 자외선에 의해 이온화된 층이며, 위성항법시스템 신호들은 전리층 내의 자유전자와 이온들로 인해, 굴절이 발생하고, 이에 따라 신호의 지연현상으로 나타난다. 전리층 지연은 주파수에 따라 달리 나타나며 식 (1)과 같다. 또한 식 (2)와 같이, 위성항법시스템에 미치는 영향은 Simili & Pervan (2006)에 의하면 주파수별 (L1/L2/L5..), 측정값 종류 (코드/반송파) 별로 달리 나타나게 된다.

$$I_j = \frac{40.3}{f_j^2} VTEC \tag{1}$$

$$I_{\rho,j} = -I_{\Phi,j} \tag{2}$$

j : 주파수 인덱스, $VTEC$: Vertical Total Electron Content (TEC)
ρ : 코드 측정값, Φ : 반송파

논문에서 제안하고자 하는 DFCD를 유도과정을 살펴보면 다음과 같다. DFCD는 서로 다른 주파수의 반송파 측정값의 Geometry Free 측정값의 시간 변화율을 의미한다. 본 논문에서는 L1, L2의 반송파

정보를 기반으로 Hoffmann-Wellenhof et al. (2008)의 수식을 참조하여 식 (3), (4)와 같이 전개하였다.

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= \frac{1}{\lambda_1}R + \frac{c}{\lambda_1}\Delta\delta + N_1 - \frac{1}{\lambda_1}I_1 \\ &= \frac{f_1}{c}R + f_1\Delta\delta + N_1 - \frac{f_1}{c}I_1\end{aligned} \tag{3}$$

f_1 : L1 주파수 (1575.42MHz), $\Delta\delta$: 전리층을 제외한 지연 오차 (m)

I_1 : L1 전리층 지연 오차 (m)

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= \frac{1}{\lambda_2}R + \frac{c}{\lambda_2}\Delta\delta + N_2 - \frac{1}{\lambda_2}I_2 \\ &= \frac{f_2}{c}R + f_2\Delta\delta + N_2 - \frac{f_2}{c}I_2\end{aligned} \tag{4}$$

f_2 : L2 주파수 (1227.60MHz), I_2 : L2 전리층 지연 오차 (m)

식 (3)과 식 (4)에 상대 주파수값을 곱하게 되면 식 (5), (6)과 같다.

$$f_2\Phi_1 = f_1\frac{f_2}{c}R + f_1f_2\Delta\delta + f_2N_1 - f_2\frac{f_1}{c}I_1 \tag{5}$$

$$f_1\Phi_2 = f_1\frac{f_2}{c}R + f_1f_2\Delta\delta + f_1N_2 - f_1\frac{f_2}{c}I_2 \tag{6}$$

식 (5)와 식(6)을 차분하고 L2 반송파의 주파수로 나누면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned}\Phi_1 - \frac{f_1}{f_2}\Phi_2 &= N_1 - \frac{f_1}{f_2}N_2 - \frac{1}{c}\left(1 - \frac{f_1^2}{f_2^2}\right)\frac{40.3}{f_1}F_{pp}VTEC \\ &= DFC_1\end{aligned} \tag{7}$$

Ahn (2015)에 따라, 식 (7)을 시간 차분하고 Obliquity Factor의 시간에 따른 변화가 미비하다가 가정하고, 수직 지연 변화율로 정리하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned}DFCD_1(k) &= \frac{DFC_1(k) - DFC_1(k-1)}{b \times f_1 \times F_{pp}(k) \times dt} \\ &\approx \frac{\left(\frac{40.3}{f_1^2}VTEC(k) - \frac{40.3}{f_1^2}VTEC(k-1)\right)}{dt} \\ &= \frac{\left(I_{1,vert}(k) - I_{1,vert}(k-1)\right)}{dt} \approx \dot{I}_{vert}^{DFC}\end{aligned} \tag{8}$$

$$b = -\frac{1}{c}\left(1 - \frac{f_1^2}{f_2^2}\right), \quad F_{pp}(k) \approx F_{pp}(k-1)$$

본 논문에서는 식 (8)에서 유도된 값을 전리층 수직 지연 변화율로 활용하였다. DFCD 검정통계량의 정밀도를 분석하기 위해, Fig. 1에서와 같이 유사한 물리량으로 사용되는 CCD 값과 비교하였다.

표준편차 관점에서 비교하면 확연하게 DFCD가 정밀한 값을 도출해 내는 것을 확인할 수 있다. 수직 지연 변화율을 추정하기 위해, CCD나 DFCD 모두 반송파 측정값을 활용하게 된다. 이에 미지정수 영향을 상쇄하기 위해 시간에 따른 차분 과정 중에, 간과했던 부분이 Slant 방향의 전리층 지연 변화를 수직축으로 변화하기 위해 사용되었던 Obliquity Factor의 시간 변화량을 무시하였다. 이에 본 논문에서는 데이터 간격에 따른 Obliquity Factor의 변화를 관찰하였다. 실제 24시간 동안의 GPS 데이터를 활용하여, 변화량 살펴본 결과 예상대로, 시간간격이 작을수록 변화량 역시 감소하는 경향을 나타내었다. 이를 다양한 시간간격으로 확장하고, 각 데이터 시간 간격의 결과 중 최대값을 확인해본 결과가 Fig. 2와 같다.

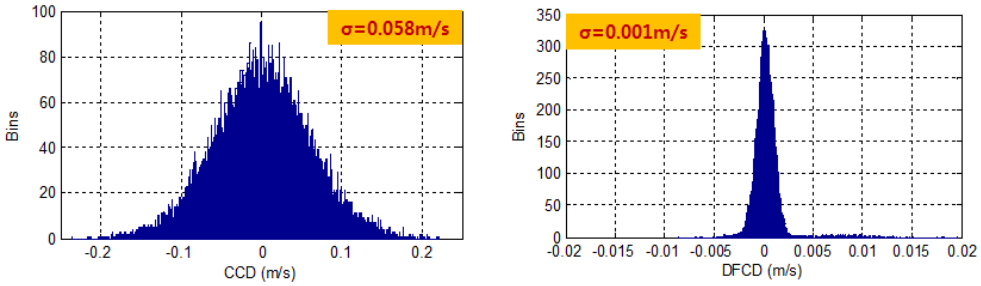


Fig. 1. Histogram of CCD and DFCD in normal condition.

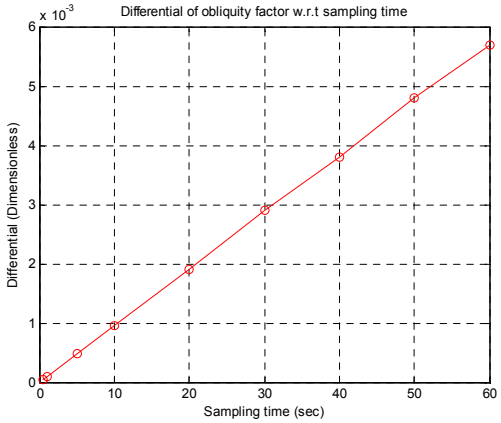


Fig. 2. Maximum obliquity factor variance with respect to time interval.

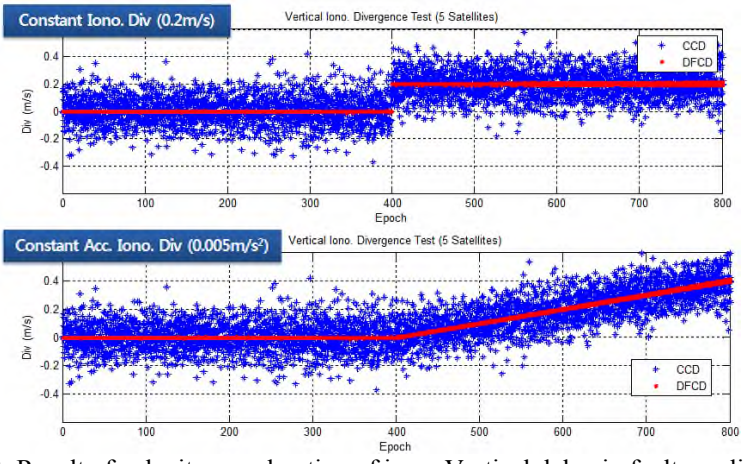


Fig. 3. Result of velocity, acceleration of iono. Vertical delay in fault condition.

최대 변화량은 선형 관계를 나타내며, 대략적인 크기는 10^{-3}~10^{-4} 범위로 수직 지연 변화율에 적용하였을 때 그 오차는 10^{-6}~10^{-7}m/s의 오차를 유발할 것으로 판단된다. Hoffmann-Wellenhof et al. (2008)에 따르면, 코드 및 반송파의 측정값 노이즈 레벨이 코드는 4~8cm, 반송파는 0.5~1mm을 감안하였을 때는 무시할 만한 수준으로 가정하였다.

추정 정확성 측면에서 살펴보면 먼저 동일한 위성 (5개)에 일정한 전리층 수직 지연량 (0.2m/s)과 일정 가속도의 수직 지연량 (0.005m/s^2)을 삽입하고 그 추이를 살펴보면 Fig. 3과 같다. CCD 및 DFCD 모두 고장 삽입에 따른 변화량 추이는 유사하나 DFCD가 CCD에 비해 정밀한 성능을 나타낸다. 이는 고장 검출 측면에서 분산이 저감된 검정통계량을 활용함에 따라, 보다 엄격한 한계치 적용이 가능하여 고장 검출 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

3. 결 론

전리층의 지연에 의한 오차 발생은 위성항법시스템 신호 관점에서 필연적으로 발생하나, 전리층 두께의 크기와는 상관없이 위성항법보강시스템 운용 지역에 고르게 분포가 되어 있다면 공통오차의 성격을 띄게 되어 단일 주파수 측정값만 가지고도 예측, 보정이 손쉽게 가능하다. 하지만 그 시기를 예측하기 어려운 극한 태양활동으로 인해, 지구에 미치는 영향은 국지적으로 발생하게 된다. 이로 인해 위성항법보강시스템을 활용하는 사용자의 무결성이 훼손될 우려가 있다. 이에 본 논문에서는 이중주파수 반송파 기반 전리층 두께의 변화량을 모니터링 할 수 있는 검정통계량인 DFCD값을 제시하였다. 성능의 비교를 위해 코드 측정치를 활용한 CCD와 검정통계량의 정밀도를 분석하였으며, 임의의 전리층 변화율을 반영하여 반응 여부를 확인하였다. 분석한 결과 DFCD가 정밀한 검정통계량 생성하여 이로 인해 고장 검출 성능이 향상되며, 엄격한 한계치 설정이 가능하여 가용성 향상도 기대할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by a grant (17TLRP-C113269-02) from Transportation Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

REFERENCES

Ahn, J. 2015, Integrity and Availability of Extended, Ph.D Dissertation, Konkuk University, pp.20-28.

Datta-Barua, S., Lee, J., Pullen, S., Luo, M., Ene, A., et al. 2010, Ionospheric Threat Parameterization for Local Area Global-Positioning-System-Based Aircraft Landing Systems, Journal of Aircraft, 47, 1141-1151. https://doi.org/10.2514/1.46719

Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. 2008, GNSS - Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, Galileo & more (New York: SpringWien), pp.269-273

Simili, D. V. & Pervan, B. 2006, Code-Carrier Divergence Monitoring for the GPS Local Area Augmentation System, Proceedings of the IEEE Position, Location, and Navigation Symposium (PLANS 2006), April 25-27, Coronado CA. https://doi.org/10.1109/PLANS.2006.1650636

KASS 위성통신시스템 RF 성능 분석

유문희*, 신천식
한국전자통신연구원 위성기술연구그룹

RF Performance Analysis on the KASS Satellite Communication System

Moonhee You*, Cheon-Sig Sin
Satellite Technology Research Group, ETRI

주소 : 대전광역시 유성구 가정로 218
연락처 : 042-860-6456 이메일 : moon@etri.re.kr

Abstract: Satellite Based Augmentation System (SBAS) 위성통신시스템은 SBAS Geostationary Earth Orbit (GEO) 위성들과 각 위성들에 대응되는 위성통신국 (Uplink Station)들로 구성되어, Global Navigation Satellite System (GNSS) 사용자들에게 GNSS 무결성 및 정정 데이터를 방송해 준다. 국내에서 한국형 SBAS 시스템 개발/구축 사업으로 진행되고 있는 Korea Augmentation Satellite System (KASS) 시스템은 현재 SBAS GEO 위성으로 Inmsarsat 4F1 위성과 Inmsarsat 4F2 위성을 고려 중에 있다. 또한 Inmsarsat 4F 위성들의 잔여 수명이 짧은 관계로 후속 위성으로 신규 호스트 위성도 고려하고 있다. 이러한 상황에서 KASS 위성통신국은 현재 정지궤도 상에 있는 Inmsarsat 4F 위성의 성능과 후속 신규 위성의 성능을 모두 고려하여 설계되어야 할 것이다. 본 논문에서는 KASS GEO 위성으로 Inmarsat 4F1 및 4F2 SBAS 탑재체 및 KASS GEO 위성 요구사항을 만족하는 신규 SBAS 탑재체를 적용한 RF 링크버짓을 분석하여, KASS 정지궤도 위성으로 Inmarsat 4F1과 4F2를 사용하였을 경우, KASS Uplink Station (KUS) Radio Frequency Section (RFS) 규격의 요구사항을 만족할 수 있는지의 여부를 확인하고, Inmarsat 위성이 아닌 신규 위성을 사용할 경우에도 동일한 RFS를 적용가능한지 RF 신호 레벨 차원에서 확인한다. 본 RF 링크버짓 결과를 활용하여 효율적인 KUS/ RFS 설계가 될 수 있도록 할 예정이다.

Keywords: SBAS, satellite communication systems, GEO, RF link

1. 서 론

Satellite Based Augmentation System (SBAS) 위성통신시스템은 SBAS Geostationary Earth Orbit (GEO) 위성들과 각 위성들에 대응되는 위성통신국들로 구성되어, Global Navigation Satellite System (GNSS) 사용자들에게 GNSS 무결성 및 정정 데이터를 방송해 준다. 국내에서 한국형 SBAS 시스템 개발/구축 사업으로 진행되고 있는 Korea Augmentation Satellite System (KASS) 시스템은 현재 SBAS GEO 위성으로 Inmsarsat 4F1 위성과 Inmsarsat 4F2 위성을 고려 중에 있다. 또한 Inmsarsat 4F 위성들의 잔여 수명이 짧은 관계로 후속 위성으로 신규 호스트 위성도 고려하고 있다. 이러한 상황에서 KASS 위성통신국은 현재 정지궤도 상에 있는 Inmsarsat 4F 위성의 성능과 후속 신규 위성의 성능을 모두 고려하여 설계되어야 할 것이다.

본 논문에서는 GEO 위성으로 Inmarsat 4F1 및 4F2 SBAS 탑재체 및 KASS GEO 위성 요구사항을 만족하는 신규 SBAS 탑재체를 적용하여 KASS의 RF 링크버짓을 분석한다. KASS 정지궤도 위성으로 Inmarsat 4F1과 4F2를 사용하였을 경우, , KASS Uplink Station (KUS)/Radio Frequency Section (RFS) 요구사항을 만족할 수 있는지의 여부를 확인하고, Inmarsat 위성이 아닌 신규 위성을 사용할 경우에도 동일한 위성통신국을 적용가능한지 RF 신호 레벨 차원에서 확인한다.

2. RF 링크 설계에 적용되는 KASS 규격 및 요구사항

KASS 위성통신 RF 링크 버짓에 적용되는 KASS GEO 위성 요구사항과 KUS/RFS 요구사항은 다음과 같다.

KASS GEO 위성 항법 탑재체의 항법 신호 EIRP는, KASS 서비스 커버리지 내에서 위성 수명동안 지상 사용자 수신신호 전력으로 L1 신호는 최소 -158.5 dBW, L5 신호는 최소 -155.5 dBW이 제공되도록, 최소 L1 EIRP 32 dBW, 최소 L5 EIRP 32.5 dBW 이 되어야 한다.

대한민국에 위치한 KUS로부터 C 대역 상향링크 신호를 수신하는 KASS GEO 위성 항법 탑재체의 C 대역 수신 G/T는 -8.6 dB/°K보다 좋아야 한다. 이 때, L1 신호와 L5 신호에 대해 수신 KUS/SGS C/No >= 70 dBHz와 L1 신호 수신 사용자 C/No >= 44 dBHz를 보장해야 한다.

KUS/RFS 전송 C 대역 EIRP는, 0dBi RHCP 안테나를 가진 사용자 수신기의 신호 레벨이 지표면 5도 이상의 앙각에서 -131dBm 이상 (L1 및 L5 신호), -119.5dBm 이하 (L1 신호) 또는 -123dBm 이하 (L5 신호) 이 가능한 KASS GEO 중계기 신호 송출을 보장해야 한다.

KUS/RFS는 L1에서 3.3 dB/°K, L5에서 1 dB/°K의 최소 수신 G/T를 제공해야 하며, L1 신호와 L5 신호에 대해 하향링크 수신 KUS/SGS C/No >= 70 dBHz를 만족해야 한다.

3. 링크버짓 분석에 고려된 파라미터

현재 KASS용 항법 탑재체로 우선 고려중인 후보 GEO 위성은, GEO-1 위성으로 Inmarsat 4F1, GEO-2 위성으로 Inmarsat 4F2이다. Inmarsat 4F1 위성은 현재 동경 143.5도의 정지궤도에 위치하고, Inmarsat 4F2 위성은 현재 동경 64도에 위치하고 있으며, 각 위성들 모두 동일 규격을 사용하여 제작되었다.

Inmarsat 4F1 위성 항법탑재체의 자료 (Soddu 2005, 2015)에서 제시된 RF 신호 전력 성능은 다음과 같다.

- G/T = -7.25 dB/°K (C): 앙각 41도 by Inm4F1
- G/T = -9.55 dB/°K (C): 앙각 5도 by Inm4F1
- EIRP > 30.2 dBW (L1): KASS 커버리지 기준 by Inm4F1@143.5°E
- EIRP > 29.6 dBW (L1): KASS 커버리지 기준 by Inm4F1@64°E

또한 Inmarsat 위성의 수명이 종료된 경우 그 후속으로 운영될 신규 위성은 현재 우리나라가 보유하고 있는 위성 정지궤도인 116°E에 위치하며 KASS GEO 위성 요구사항을 모두 만족하는 위성으로 가정한다.

이 때, 링크 설계에 적용된 KUS의 위치는 KUS 후보 지역들 중에서 각 위성들과의 앙각이 최저인 최악의 경우를 고려한 지역으로 Table 1과 같이 선정하였다. 또한 Fig. 1의 KASS 서비스 커버리지(인천 FIR)를 고려하여 각 위성별 KASS 사용자에게 제공되는 최소 앙각과 최대 앙각은 Table 2와 같다.

Table 1. KUS site location applied for link budget.

	경도 (°E)	위도 (°N)	앙각 (°)	비고
KUS site for Inm-4F1	126.4	37.5	43.0	인천공항
KUS site for Inm-4F2	127.5	36.7	12.5	청주공항
KUS site for NewSat@116	126.8	37.6	45.0	김포공항

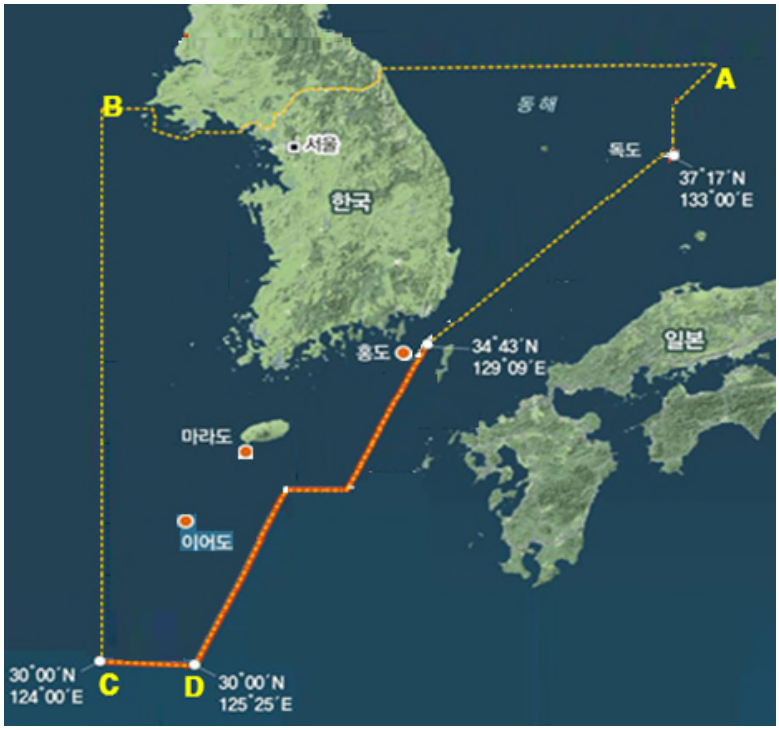


Fig. 1. KASS service coverage (Incheon flight information region).

Table 2. Elevation angle.

	Inmarsat 4F1 (°)	Inmarsat 4F2 (°)	NewSat@116 (°)
Position A	44.05	7.34	41.73
Position B	41.47	14.80	45.18
Position C	49.03	17.36	53.94
Position D	49.72	16.27	53.59
최소앙각	41.47	7.34	41.73
최대앙각	49.72	17.36	53.94

Table 3. C1-L1 RF link budget.

파라미터	Inm-4F1	Inm-4F2	NewSat	단위
상향링크 중심주파수	6.53	6.53	6.53	GHz
하향링크 중심주파수	1.58	1.58	1.58	GHz
앙각	43.0	12.5	45.0	degree
<KUS 상향링크 송신기>				
전송 EIRP	74.0	74.0	74.0	dBW
<상향링크 전파손실>				
자유공간손실	200.2	200.9	200.2	dB
대기 손실	0.5	0.5	0.5	dB
기타 손실	1.0	1.0	1.0	dB
<위성 수신기>				
IPFD	-90.0	-90.6	-90.0	dBW/m^2
위성 G/T	-7.3	-9.6	-8.5	dB/°K
상향링크 C/No	93.6	90.7	92.4	dB-Hz
<위성 송신기>				
위성 EIRP	30.2	29.6	32.0	dBW
C/No degradation	2.5	2.5	2.5	
Transmit C/No	91.1	88.2	89.9	
<하향링크 전파손실>				
자유공간손실	187.9	188.5	187.9	dB
대기 손실	0.5	0.5	0.5	dB
기타 손실	0.8	0.8	0.8	dB
<KUS 하향링크 수신기>				
IPFD	-133.6	-134.8	-131.8	dBW/m^2
Power near ground	-159.0	-160.2	-157.2	dBW
KUS G/T	4.4	4.4	4.4	dB/°K
하향링크 C/No	74.0	72.8	75.8	dB-Hz
Received C/No	73.9	72.7	75.7	dB-Hz

4. KASS 위성통신시스템 RF 링크 버짓

3장에서 보인 KUS/RFS 규격 및 GEO 요구사항과 4장에서 보인 위성의 성능 및 KUS 사이트 데이터를 적용하여 다음과 같이 각 RF 링크 대한 RF power 버짓을 분석하였다. 지상이나 지상 부근에 있는 사용자 수신기가 요구하는 RF 전력 레벨에 대한 요구사항은 MOPS 문서(RTCA 2013) 2.1.1.10절의 내용을 근거로 한다.

우선 L1 대역 사용자 링크에서 상기 수신 전력 요구사항을 만족하는지를 분석해 본다. 위성과 수신기 사이의 무선 공간의 손실은 자유공간 손실과 대기 손실 및 기타 편파 및 포인팅에러 등에 의한 손실을 고려하여 KASS 시스템의 서비스 커버리지 내에서의 최대 수신 전력과 최소 수신전력을 분석하였다. 분석 결과, 고려되는 각 위성들은 KASS 서비스 커버리지 내에서 최저 0.7dB의 마진으로 수신 장비의 요구 SIS 전력 범위 내의 RF 신호들을 송출할 수 있음을 알 수 있다. 그러나, Inmarsat 4F1 위성과 4F2 위성은 모두, 수신 장비가 SBAS 신호를 추적할 수 있도록 하는 요구 SIS 전력 레벨을 만족하지 못하였다. 그 의미는 KASS 시스템에 Inmarsat 4F1 위성과 4F2 위성을 사용할 경우 사용자 수신 장비에 따라 SBAS SIS 신호를 수신할 수는 있지만 SBAS 위성을 추적하는 데 실패할 수 있다는 뜻이다.

또한 사용자 수신 C/No에 대한 성능도 분석하였다. 상향링크 C/No 값이 매우 커서 수신 C/No 성능에서 무시할 만하므로 하향링크 C/No 만 고려하여 평가한다. MOPS(RTCA 2013) 2.1.1.10절에 제시된 기준 열잡음 밀도 -172.5 dBm/Hz를 고려했을 때, Inmarsat 4F1 위성과 4F2 위성 링크가 수신 전력레벨의 요구 성능을 만족하지 못한 것처럼 사용자 수신 C/No도 만족하지 못 하였다.

다음으로 각 위성과 KASS 위성통신국간의 RF 링크버짓을 분석한다. Table 3은 각 위성과 최저 앙각을

이루는 후보 위성통신국간의 C1-L1 RF 링크버짓을 제시한다.

KASS 시스템이 후보로 고려하고 있는 Inmarsat 4F1 위성과 Inmarsat 4F2 위성의 EIRP는 KASS GEO 위성 EIRP 요구사항 (≥32dBW @L1, ≥32.5dBW@L5)를 만족하지 못하고, Inmarsat 4F2 위성은 제공 앙각이 매우 낮아서 G/T 성능도 요구사항(>-8.6dB/°K)을 만족하지 못하고 있다.

KUS/RFS의 경우 전송 EIRP ≥ 74 dBW, 수신 G/T ≥ 4.4dB/°K @L1, ≥1.9dB/K @L5으로 설계할 경우 수신기 신호레벨 요구사항 및 수신 C/No 요구사항을 모두 만족함을 볼 수 있다.

KASS GEO 위성의 신호전력 요구사항을 모두 만족하는 신규 위성을 고려할 경우, Inmarsat 4F 위성에 적용된 KUS/RFS의 전력 성능을 적용하더라도 충분히 요구사항을 만족함을 보인다.

5. 결 론

본 논문에서는 KASS 정지궤도 위성으로 Inmarsat 4F1과 4F2를 사용하였을 경우, KUS/RFS 규격의 요구사항을 만족할 수 있는지의 여부를 확인하고, Inmarsat 위성이 아닌 신규 위성을 사용할 경우에도 동일한 위성통신국을 적용가능한지 RF 신호 레벨 차원에서 확인하였다.

현재 64°E 궤도에 위치한 Inmarsat 4F2 위성을 KASS 시스템의 GEO 위성으로 사용할 경우, 제공 앙각이 매우 낮아서 KASS GEO 위성 요구사항에서 제시하는 최소 지상 신호 레벨을 만족하지 못하고 있다. 이는 KUS/RFS의 성능과 무관한 파라미터이므로 위성의 성능을 향상시키지 못 하는 한 만족시킬 수 없는 요구 파라미터이다. 만약 KASS GEO 요구사항을 만족하는 새로운 GEO 위성을 사용하게 된다면, 이 위성이 최악의 경우 5° 앙각을 제공할지라도, 동일한 위성통신국을 사용할 수 있음을 보였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(과제번호 17ATRP-A087579-04)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

RTCA 2013, Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, DO-229D (Change 1), http://www.rtca.org/store_product.asp?prodid=1101

Soddu, C. 2005, Inmarsat-4 First L1/L5 Satellite: Preparing for SBAS L5 Services, ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, 2304-2315, https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6436

Soddu, C. 2015, Space Capacity for SBAS, SBAS 2015 Workshop, Canberra, 24-25 March 2015, https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/day_2_-_16.05_inm_-_inmarsat_sbas_capacity_for_sbas_australia_new_zealand_-_march_2015_-_final_v2.pdf

SBAS 이온층 추정 방법에 관한 조사

윤영민, 이백준, 이병석, 허윤정, 최종연, 남기욱
한국항공우주연구원 SBAS 사업단

A Survey of SBAS Ionospheric Estimation

Young Min Yoon, Baeckjun Yi, ByungSeok Lee, Youn-Jeong Heo, Jong-Yeoun Choi, Gi-Wook Nam
SBAS R&D Head Office, KARI

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-870-3991 이메일 : youngmin@kari.re.kr

Abstract: 위성기반 위성항법보강시스템(SBAS, Satellite Based Augmentation System)은 정지궤도를 통해 전공역에 GPS 보정 및 무결성 정보를 제공한다. SBAS의 특성상 전공역에서 수신되는 모든 지역에 그에 맞는 정보를 제공하기 위해서 관련 정보를 수집, 처리 및 제공하기 위한 절차를 수행한다. 그 중 무결성 정보에 큰 영향을 끼치는 이온층 보정 및 무결성에 대해 고려하는 것이 필요하고 관련 연구를 조사해 국내가 구축 중인 SBAS에 적합성을 검토해야 한다. 기존 SBAS의 이온층 추정 방법을 조사하여 국내 적용에 타당한 방안을 제시하려 한다.

Keywords: SBAS, ionosphere, integrity

1. 서 론

SBAS의 목적은 충분한 무결성, 정확성, 연속성 및 가용성을 상업용 항공기에 제공하여 GPS 위치 서비스를 강화하는 것이다. 무결성은 사용자가 보정 혹은 특정 위성을 항법에 사용하지 말아야 하는 경우에 적절한 주의 또는 경보를 제공하는 능력으로 정의된다. 즉, 위험 오정보(HMI, Hazardously Misleading Information)가 사용자에게 전달되는 것을 막는 것이다. 시스템은 하드웨어, 소프트웨어 또는 환경 오류/오차(error, "계산, 관찰, 측정 값 또는 지정된 정확한 값/조건과의 차이"로 정의)가 사용자에게 직접적으로 노출되거나 혹은 무결성 감시로부터 HMI가 인지가 안되는 경우에 항법에 사용되어서는 안된다. SBAS 무결성은 운영환경에서 오류가 감지되거나 혹은 보정되지 않으면 무결성 위협이 될 수 있고 만일 완화되지 않으면 사용자에게 위협이 될 수 있다는 것을 전제로 한다.

인증은 광범위한 안전 보정 분석의 최정점으로 SBAS가 무결성 요구사항을 만족하는지 증명하는데 필요하다. 구체적으로 안전성 보증은 식별 되어야 하고 잠재적으로 무결성 위협(threats)이 될 수 있는 많은 오류 소스들을 완화해야 한다. SBAS 설계는 이런 주요 데이터 오류들을 보정으로 완화하고, 남아있는 오류들은 통계적으로 유도된 오류 경계(bound)를 가져야 한다. SBAS 보정치는 GPS의 정확성을 향상시키고 무결성 데이터는 잔차 오류가 경계치에 의해 보증되어야 한다. SBAS 무결성 감시는 무결성 데이터가 SBAS 고장(failure, "필요기능을 수행할 수 있는 능력이 종식된 것"으로 정의)에 의해 손상되지 않도록 확인한다. 본 논문에서는 데이터 오류/오차의 종류 및 주요 무결성 오차 요인인 이온층 오차에 대한 사항을 조사하고자 한다.

2. 무결성 개념

SBAS는 GPS 위치 서비스를 상업용 항공기에 충분한 추가적인 무결성, 정확성, 연속성 및 가용성을 제공하여 강화한다. 정확성은 4가지 특성 중 가장 쉽게 만족된다. 미국의 SBAS인 WAAS의 위치 오차는 전체 시간의 95% 이상이 수평적으로 1m, 수직적으로 2m 이내 이다. 무결성, 연속성 및 가용성은 다른 문제이다. 일반적으로 시스템 무결성 요구사항이 보다 엄격하면 거짓 경보 발생이 많고 이는 두 연속성 및 가용성 특성의 손실을 가지고 온다. 항공항법시스템에서는 무결성이 가장 중요하며 양 가용성과 연속성의 패널티로 나타나지만 요구되는 무결성을 획득하기 위해 반드시 획득 되어야 한다.

SBAS 무결성 요구사항은 어떤 실제 입력 데이터라도 항법에 사용되어서는 안 될 경우, 사용자에게 인지시키도록 요구한다. 만일 보정치에 경계치가 없는 오류를 사용자에게 인지시키는 것을 실패할 경우, HMI가 발생 가능하다. HMI는 경보 시간(time to alarm)으로 알려진 6.2초 넘게 수평/수직 오차가 수평/수직 오차 경계치보다 벗어날 경우 발생한다. 사용자 오차 경계치는 UDRE(User Differential Range Error)와 GIVE(Grid Ionospheric Vertical Error) 추정치를 사용해 구하는데 추정치는 위성과 이온층 보정

오차의 1 시그마 추정을 나타낸다.

HMI 결과는 치명적이다. 조종사는 실제 위치를 구한다고 생각하지만 사실은 아니다. 이런 이유로 HMI와 관련된 위험은 위험한/중대한 상황으로 분류된다. 무결성 요구사항은 사용자가 접근 절차(또는 항로상 1시간) 동안 10^{-7} (1/10,000,000) 확률보다 낮아야 한다고 명시한다. 확률은 시간 혹은 위치의 평균에 의해 계산될 수 없다는 것에 주목해야 한다. 만일 어느 한 곳의 HMI 확률이 9×10^{-8} 이고 다른 한 곳은 1.1×10^{-7}인 경우, 전체 HMI 확률은 1.0×10^{-7}이 아니다.

국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)는 무결성 요구사항은 다음과 같은 전제에 기반한다. 감지 안되거나 혹은 운영 환경에서 보정된 오류/오차는 무결성에 위협이 될 수 있으며 만일 완화되지 않을 경우, 사용자에게 치명적인 위험이 될 수 있다. 또한, 운영 환경에서의 이런 데이터 오류는 사용자와 SBAS 시스템에 영향을 줄 수 있다.

SBAS 무결성은 각 보정치 혹은 특정 위성이 항법에 사용되어서는 안 될 경우 적절한 경보를 제공하는 시스템 능력으로 정의된다. 즉 SBAS가 비 경계된 경우 6.2초 이내에 사용자에게 경보하는 것이 실패할 확률이 접근 절차 혹은 항로상 1시간 동안 10^{-7} 보다 낮아야 함을 말한다. 이런 엄격한 요구사항을 만족하는 증거는 시스템 결함(fault) 트리에 포함된다. 결함 트리는 모든 주요 컴포넌트와 알고리즘을 나타내는 노드들을 포함한다. 주의 깊은 분석으로 각 모든 노드들의 실패 확률을 정의한다. 각 분석들은 위협 정의, 완화 요소 분석, 결과에 대한 동료 검토 및 정규(formal) 문서화 등을 포함한다. Grewal et al. (2003)의 기술 내용에 따르면 무결성 개념에 대한 이해와 세심한 오차 모델링이 필요하다.

무결성 절차에서 첫째로 가장 중요한 단계는 무결성 고장 원인이 될 수 있는 위협에 대한 세심한 설명이다. 하드웨어 컴포넌트의 경우 이 기능은 무결성 고장 및 영향 분석(IFMEA, Integrity Failure Modes and Effects)으로 수행된다. 소프트웨어의 경우 각 입력 소프트웨어의 오차 모델을 특징 짓는 것부터 시작한다.

위협이 식별되면, 세심한 위협 완화 분석이 수행되어야 한다. 결함 트리 할당이 매우 작기 때문에 ($<<10^{-7}$) 분석 기술은 위협이 미 감지되는 확률을 결정하는 것을 요구한다. 몬테카를로 기술은 이런 노력에 소용없고 시뮬레이션의 경우 모든 가능한 입력 조합을 샘플링 할 수 없다. 일반적으로 무결성 위협 완화는 실패 확률을 분석적으로 정성화하는 세심한 알고리즘을 통해 수행되어야 한다.

동료 검토와 기술 감독이 프로그램 위험 감소와 적절히 특징되고 완화될 모든 위협을 보증하는 주요 요소이다. SBAS 같은 큰 규모의 시스템은 한 팀에 의해 완전히 이해되고 분석되기에 매우 복잡하다. 이런 경우에 평가를 위해 미국의 경우 WAAS 무결성 및 성능 위원회(WIPP, WAAS Integrity and Performance Panel)를 구성하여 알고리즘 개발에 대한 기술적 감독을 제공했다. WIPP은 각 산학연 전문가들로 구성하였고 그 중 FAA와 개발업체가 미진한 결함 트리와 안전성 보증 산출물들을 완성하는 책임을 가지고 있었다.

2.1 결함 vs. 미결함

일부 소프트웨어, 하드웨어 또는 환경 상태가 해당 오류들이 이들을 설명하기 위해 구성된 모델들과 일치할 경우에만 미결함으로 고려된다. 일부 소프트웨어, 하드웨어, 또는 환경 상태가 미결함이 아닌 경우 결함으로 고려된다. 모델들은 관측 데이터, 이론적 도출 또는 실시간 소프트웨어 계산에 의해 도출 될 수 있다. 많은 경우 결함이 있는 컴포넌트의 오류를 모델화 하는 것이 불가능하다. 컴포넌트가 결함으로 가정되거나 감지되면, 무결성 기능은 오류 분포에 대한 어떤 사전 가정도 가질 수 없다.

2.2 신뢰성 vs. 무결성

신뢰성은 무결성이 아니다. 하드웨어 컴포넌트의 경우, 데이터는 신뢰성, 유지성 및 가용성(RMA, Reliability, Maintainability, and Availability) 분석의 일부로 수집된 데이터는 무결성 분석에 활용될 수 있다. 컴포넌트가 안전에 실패하게 설계되고 이런 고장에 대비한 시스템이 보수적인지에 의해 제공된 무결성 분석을 의미한다. 소프트웨어가 강화된 복잡한 시스템 컴포넌트들의 경우, RMA 데이터는 몇 가지 이유에 의해 무결성 계산에 소용 없다.

2.3 경험 데이터

무결성 증명의 핵심은 모델이다. 잠재된 모델들이 맞는 경우에만 증명이 가치가 있다. 10^{-8} 보다 작은 고장 확률을 정의하기 위해 충분한 독립적인 데이터를 수집하는 것은 불가능하다. 일부 복잡한 소프트웨어의 모든 고장 모드들을 물리적으로 시험하는 것도 불가능하다. 장시간 수집이 모든 시공간상

HMI 확률에 대한 많은 정보를 제공하지 못한다. 이유는 오차는 평균에 의해 제거되기 때문이다. 경험적 데이터에 의한 모델들은 모든 감춰진 고장 모드를 데이터로 표현할 수 있는지를 결정하기 위해 세심하게 조사되어야 한다.

3. 이온층 오차

이온층 오차는 SBAS의 주요 에러 요인이다. 보호 수준(Protection Level) 계산시 주요 요소로 항공기의 수직 유도의 가용성을 향상시키기 위해 보호 수준의 이온층 구성요소를 줄이기 위해 알고리즘이 설계되어야 한다. 구체적으로 공간적 이온층 위협 모델과 관련하여 잔차 에러를 오버바운딩해야 하며, 이온층의 공간적 위협 모델이 알고리즘에 의존하기 때문에 위협 모델 설계가 중요하다. 일본의 SBAS인 MSAS는 이온층 오차에 의해 APV-I의 가용성을 만족 못하고 있는 상황이다. 이온층 오차에 대한 무결성 정보를 만족하기 위해 생성되는 보호수준의 큰 부분을 이온층 오차가 차지하는 있기에 이를 줄이지 않고는 신뢰도를 만족 못 시키고, 가용성이 요구사항을 만족시키지 못하고 있다.

Walter et al. (2000)에 기술된 내용에 따르면 이온층 보정을 위해서는 3가지 절차에 대한 문제를 고려해야 한다. 첫째는 추정 문제로 이온층 모델을 구축하고 모델과 측정치 간의 적합 및 잔차 에러의 신뢰구간을 생성해야 한다. 둘째는 SBAS가 생성한 보정 및 무결성 정보를 전달하는 부분으로 현재는 전달 메세지에 대해 국제적 표준으로 진행되고 있는 상황이라 큰 이슈가 없는 상황이다. 셋째는 예측 문제로 상태 추정치(이온층, 위성 시각 및 궤도)를 사용자 관측 행렬에 투사하는 내용이다. 이는 이온층 지연값을 시선벡터(LoS)에 따라 예측하며, 예측치와 실제 지연값과의 잔차 에러에 대한 신뢰 구간을 생성하는 것이다. 구체적으로 살펴보면, 추정 문제에서 도출된 모델 하에 이온층 비상관구조를 구체화하는 것이다.

이온층 추정에 있어서 SBAS 기준국에서 측정한 이온층 지연량을 통해 사용자의 지연량을 예측하는데 상당부분 사용자와 기준국 측정치 간의 직접적인 상관관계가 있다. 면밀히 말하면 예측시 잔차 에러에 동일하게 직접적인 상관이 없더라도 상관관계가 크다고 할 수 있다. 여기서 어려운 점은 실제 데이터에서 상관 구조를 도출하기 어렵고 센서의 노이즈와 바이어스를 제거해야 한다. 이를 해결하기 위해 supertruth 데이터가 존재한다.

현재 SBAS의 이온층 모델은 thin-shell 형태로 고도 350km의 얇은 막에 이온층 지연값을 매칭시키는 형태이다. 이는 이온층 전자밀도 분포의 변화를 방사형 impulse 함수 형태로 만들며, 기울기 함수를 통해 각 IPP 지점의 이온층 수직 지연값을 도출한다. IPP 지점은 기준국과 GPS 위성간의 시선벡터가 이온층 thin-shell과 만나는 지점을 말한다.

$$\sigma_{decorr}(el, d_{i,j}) = b \qquad (1)$$

이온층 모델의 공간적 상관 구조는 이온층 수직 지연값(IPP)과 GIVE 생성에 중요한 역할을 한다. 구체적으로 IPP 측정치는 IGP에 기여하는 결정적 추정자의 역할을 수행한다. IPP 측정치의 신뢰 구간이 GIVE 생성에 관여하게 된다. 즉 IGP 모니터링시 이온층 상관함수가 점검 기준의 역할을 하게 된다.

비상관함수는 상관함수의 역수로 기준국에서 측정한 이온층 지연값과 예측한 사용자가 가질 이온층 지연값의 상관 관계를 나타낸다. 전체적인 지연값은 평면 적합에 의해 지연량을 추정하게 되는데 구체적인 식은 다음과 같다.

$$\hat{I}_{v,IGP}(x,y) = \hat{a}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \left[\left(G \cdot W \cdot G^T \right)^{-1} \cdot G \cdot W \cdot I_{v,IPP} \right] \quad (2)$$

위의 과정을 통해 도출된 이온층의 상관 표준편차는 35cm이고, 이는 정상상태의 이온층을 잘 추정하지만 불규칙적일 경우 만족을 못하므로 그에 따른 검증 도구가 요구된다.

이온층의 불규칙성은 이온층 폭풍, 이온층의 불규칙적인 분포, scintillation 등 다양한 요인이 있다. 여기서 이온층의 불규칙성은 선형성을 띄는 이온층 폭풍의 급격한 기울기가 아닌 측정이 불가한 형태로 신뢰성을 만족 못시키는 상황을 말하며, 이를 감지하기 위한 수단이 요구된다. 이와 관련하여 알고있는 모델, 측정치 및 분산 정보를 통해 관련 잔차의 신뢰도를 검증하는 방법이 존재하며 미국의 SBAS는 이 방법을 사용하고 있다. 카이제곱 일치성 검증이란 방법은 불규칙성을 감지하기 위한 다른 방법 등이 있으나 threshold와 에러와의 분석적 접근을 통해 더 적합하다고 할 수 있다.

4. 결론

최악의 이온층 오차 감지의 어려운 점은 이온층의 비평면적 활동, 일부 분산이 증가할 경우 카이제곱 분포도 증가하지만 한계점 아래에 존재하여 감지를 못할 가능성 등 다양한 이유가 있다. 이를 위한 비중앙 카이제곱 분포를 사용할 필요가 존재한다. 이는 모든 분포에 동일한 요소를 곱함으로써 해결할 수 있다. 또한 다른 해결해야 할 문제들이 있다. 공간적 에러에 의한 문제는 경계 부분의 부족한 관측치로 인해 불확실성이 증가하는 것을 말하며, 측정되는 기준국의 갯수와 위치와 관계가 있는 비샘플랭 위협도 존재한다.

본 연구를 통해 조사한 바에 의하면, 국내 적합한 SBAS를 개발하기 위해 지속적인 연구가 필요하다. 여러 해결해야 할 문제들이 있으며 기존 개발된 연구 사례들을 분석하여 국내 적합한 이온층 모델을 도출해야 한다. 또한 시뮬레이션 등을 통해 국내 환경에 적합한 기준국의 갯수와 위치 선정을 시스템 관점에서 접근할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비 지원(17ATRP-A087579-04)에 의해 수행되었으며, 지원에 감사 드립니다.

REFERENCES

Grewal, M. S., Habereder, H., & Schempp, T. R. 2003, Overview of the WAAS Integrity Design, ION GPS/GNSS, September 9-12, 2003, Portland, OR, pp.2750-2759.

Walter, T., Hansen, A., Blanch, J., Enge, P., Mannucci, T., et al. 2000, Robust Detection of Ionospheric Irregularities, ION GPS, pp.209-218.

DMB TPEG 채널을 위한 다중 네트워크 RTK 보정정보 전송 프로토콜

이상우*, 안종선, 허문범
한국항공우주연구원 위성항법팀

A Messaging Protocol for Simultaneous Transmission of Multiple Network RTK Corrections over a DMB TPEG Channel

Sangwoo Lee*, Jongsun Ahn, Moon-Beom Heo
Satellite Navigation Team, Korea Aerospace Research Institute

주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84 한국항공우주연구원
연락처 : 042-870-3992 이메일 : lswoo@kari.re.kr

Abstract: 본 논문에서는 Digital Multimedia Broadcasting (DMB) Transport Protocol Expert Group (TPEG) 채널을 통해 다중 네트워크 Real-Time Kinematic (RTK) 보정정보를 사용자에게 동시에 전송하기 위한 전송 프로토콜을 제안한다. 국내 DMB 채널은 도 단위로 구성되어, 각 DMB 권역은 약 8,000~17,000km^{2}의 영역에 서비스를 제공한다. 반면, 단일 네트워크 RTK(한국항공우주연구원 교통인프라 기준)은 이보다 작은 5,000km^2 수준의 영역을 포함하기에, 각 DMB 권역에서는 적게는 2개, 많게는 4개의 네트워크 RTK 보정정보를 전송할 수 있어야 한다. DMB TPEG 채널은 상시적으로 교통정보 제공에 사용되고 있어, 다른 통신 채널에 비해 유효 대역폭이 제한적이다. 이에 제안하는 프로토콜에서는 제한된 대역폭을 이용하여 다중 네트워크 RTK 보정정보를 동시에 전송하고, 다양한 타입의 메시지를 연속적으로 전송할 수 있도록 메시지 포맷을 구성한다. 기존 프로토콜과 제안하는 프로토콜의 요구 대역폭과 전송효율 비교, 분석을 통해 제안하는 프로토콜의 우수성을 검증한다.

Keywords: network RTK, correction transmission, messaging protocol, DMB TPEG

1. 서 론

차세대 육상교통시스템/서비스 도입 단계에 접어듦에 따라, 육상교통 환경에서 차로 구분이 가능한 수준의 위치정보를 제공할 수 있는 위치결정 기술이 요구되고 있다. 이러한 요구에 앞서, 국토교통부는 2009년부터 2015년까지 교통물류연구사업의 일환으로 Global Positioning System (GPS) L1 신호의 반송파 위상을 이용하여 저가의 GPS L1 수신기에서도 차로 구분 수준의 위치정보를 획득할 수 있는 교통인프라 기술(한국항공우주연구원 주관)을 개발하였다(Son et al. 2013). 교통인프라 기술은 미리 정확한 위치를 알고 있는 다수의 수신국/기준국에서 수집한 GPS 정보로부터 위성 및 대기권에서 야기되는 위상 오차를 감지하고, 사용자가 직접 측정한 GPS 정보와 오차정보(보정정보)를 결합하여 위치를 찾는 기술로, 네트워크 Real-Time Kinematic (RTK) [1] 분류에 속한다. 네트워크 보정정보는 다수의 사용자에게 보정정보를 무상으로 제공하기 위해 Digital Multimedia Broadcasting (DMB) Transport Protocol Expert Group (TPEG) 채널을 사용하며, 전송 프로토콜은 (Son et al. 2014)을 따른다.

현재는 교통인프라 가용성 확대라는 목표를 가지고, 단일 네트워크에서 다중 네트워크 시스템으로 확장, 개발 중에 있다. 교통인프라 시스템에서 단일 네트워크가 커버하는 서비스 영역(보정정보의 유효 범위)은 5,000km^2 수준이며, 단일 DMB 권역의 서비스 면적은 8,000~17,000km^{2}에 이른다. 따라서 다중 네트워크 시스템에서는 단일 DMB 권역에서 최대 4개의 다중 네트워크 RTK 보정정보 제공이 가능해야 한다. 그러나 연구개발용으로 개발된 기존 프로토콜(Son et al. 2014)은 많은 오버헤드와 바이트(byte) 단위 정보 패킹으로 전송효율이 낮으며, 단일 네트워크 정보 전송에 4~15 kbps의 대역폭 [2] 이 필요하다. 네트워크 RTK 서비스를 위한 TPEG 채널의 총 가용 대역폭이 32 kbps 수준(문화방송 DMB 기준)인 점을 고려했을 때, 하나의 DMB 권역이 서비스할 수 있는 교통인프라 네트워크는 2개로 제한된다.

본 논문에서는 TPEG 채널의 대역폭 제한 하에서 다중 네트워크 보정정보 동시 전송을 위한 메시지 전송 프로토콜을 제안한다. 하나의 메시지를 통해 많은 양의 데이터를 보다 효율적으로 전송하기 위해 비트(bit) 단위로 정보를 패킹(packing)하는 메시지 포맷을 제안한다. 또한, 메시지 헤더에 프로토콜 버전 필드와 확장형 메시지 구성 필드를 추가로 포함함으로써, 프로토콜 변환이 용이하고, 여러 종류의 정보를

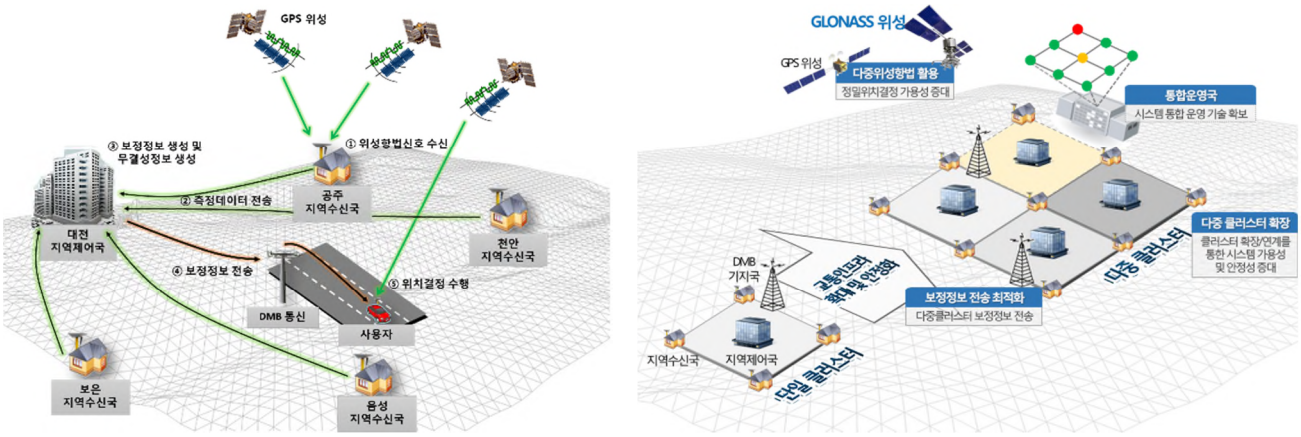
[1] 네트워크 RTK에서 네트워크는 다수의 수신국 간 논리적 연결 구성을 의미하며, 보정정보의 유효 범위는 네트워크를 구성하는 수신국 기하 구조로부터 그려지는 다각형 내부로 한정된다.
[2] 요구 대역폭은 메시지에 포함되는 위성의 개수, 수신국 개수에 따라 변화한다.

동시 전송이 가능하도록 한다. 메시지의 헤더 필드 예제를 통해 메시지 송수신 방법을 설명하고, 기존 전송 프로토콜과 제안하는 전송 프로토콜의 요구 대역폭과 전송 효율을 비교, 분석한다.

2. 교통인프라 시스템

2.1 시스템 구성

위성항법 기반 정밀위치결정을 위한 교통인프라 시스템 구성은 Fig. 1과 같다. 시스템은 다시 인프라 단과 사용자 단으로 구분된다. 인프라 단은 위성항법 정보를 감시/감지하는 복수개의 지역수신국, 지역수신국의 정보를 이용하여 지역수신국이 구성하는 네트워크에 대해 보정정보 및 무결성정보[3]를 생성하는 지역제어국, 지역제어국의 정보를 사용자에게 전달하는 DMB 기지국으로 구성된다. 사용자 단은 위성항법 코드 및 위상파 반송 기반 거리측정이 가능한 위성항법 수신기와 인프라 정보를 수신 및 처리할 수 있는 DMB 수신기로 구성된 무선단말을 의미한다. 다중 네트워크 시스템의 인프라 단에는 전체 시스템을 통합 운영, 관리를 위한 통합운영국이 추가 구성된다.



(a) 단일 네트워크 시스템 (b) 다중 네트워크 시스템

Fig. 1. 네트워크 규모에 따른 교통인프라 시스템 구성 (출처: 한국항공우주연구원 내부자료).

2.2 단일 네트워크 메시지 전송 프로토콜

본 절에서는 기존 단일 네트워크 시스템에서 사용하던 교통인프라 메시지 전송 프로토콜(Son et al. 2014)을 설명한다. 기본 메시지 구성은 Fig. 2와 같이 메시지 분석을 위해 필요한 내용을 포함하는 헤더(header)와 실질적으로 데이터를 실어 나르는 페이로드(Payload), 그리고 데이터 오류 유무 검사를 위한 Cyclic Redundancy Check (CRC) 블록으로 구성된다. 헤더와 CRC 블록은 각각 11 bytes, 4 bytes로 항상 동일하며, 페이로드는 데이터의 양에 따라 그 길이가 변한다. 헤더는 메시지의 시작을 알리는 프리앰블(Preamble), 메시지 생성시각(Time Stamp), 메시지 형태(Message Type), 그리고 메시지 길이(Message Length) 필드를 포함한다.

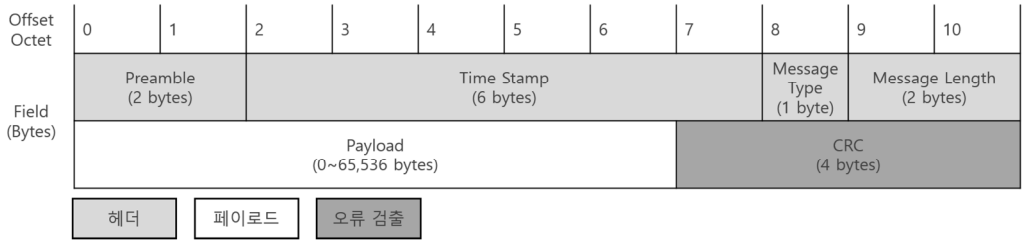


Fig. 2. 단일 네트워크 메시지 구조.

페이로드는 위성별 또는 수신국별 정보를 포함하는 세그먼트(segment)로 구성되며, 페이로드 및 세그먼트 구조는 메시지 형태에 따라 상이하다. 이때, 세그먼트 내 각 정보는 바이트 단위로 패킹된다. 메시지 형태에는 주 수신국 측정 정보, 보정정보, 무결성정보, 시스템 정보가 있으며, 각각의 페이로드

[3]무결성정보는 사용자에게 제공하는 보정정보에 대한 신뢰성을 나타내는 정보이다.

길이는 $(5+33N_S)$ bytes, $\left(6+10N_S(N_R-1)\right)$ bytes, $\left(6+15N_S(N_R-1)\right)$ bytes, $(5+24N_R)$ bytes이다. 여기서 N_S와 N_R은 각각 메시지 내 포함되어 있는 위성 개수와 수신국 개수를 나타낸다. T초당 주 수신국 측정 정보는 A회, 보정/무결성정보는 B회, 시스템 정보는 C회 전송한다 하면, 총 전송량은 $(20A+42B+20C+(33A-25B)N_S+25BN_SN_R+24CN_R)$ bytes이며, 요구 대역폭은 $0.008(20A+42B+20C+(33A-25B)N_S+25BN_SN_R+24CN_R)/T$ kbps이다. 논문의 분량 제한으로 메시지 형태별 페이로드 포맷에 대한 자세한 설명은 생략한다.

3. 다중 네트워크 메시지 전송 프로토콜

DMB TPEG 총 대역폭은 문화방송 수도권 기준으로 248 kbps이다(MBC & FORMAX 2017). 교통정보와 기타 정보의 채널 점유율을 고려하면, 교통인프라 정보 전송에 사용 가능한 대역폭은 32 kbps 내외이다. 다중 네트워크 시스템에서는 하나의 DMB 권역에서 최대 4개의 교통인프라 네트워크를 서비스해야 하기에, 단일 네트워크 당 대역폭은 8 kbps로 제한된다.

본 장에서는 다중 네트워크 메시지를 TPEG 채널을 통해 동시 전송하기 위한 메시지 전송 프로토콜을 제안한다. 기존 프로토콜이 많은 대역폭을 요구하는 가장 큰 이유로는 바이트 단위의 데이터 패킹으로, 제안하는 프로토콜에서는 비트 단위 패킹을 통해 데이터 양을 크게 감소시킨다. 또한, 프림앰블과 CRC와 같이 응용계층에서는 불필요한 정보는 삭제하여 대역폭을 확보한다. 제안하는 프로토콜의 메시지 구조는 헤더와 페이로드만으로 구성된다. 헤더의 주요 변경사항으로는 프로토콜 버전을 나타내는 버전(Version) 필드와 확장형 메시지 사용을 위한 EOM(End-Of-Message) 필드, 그리고 어느 네트워크로부터 메시지를 수신하는지 구별하기 위해 클러스터 ID 필드를 새로 정의하였다(Fig. 3 참조). 메시지 형태는 주 수신국 측정 정보, 보정/무결성정보, 시스템 정보로 나뉜다.

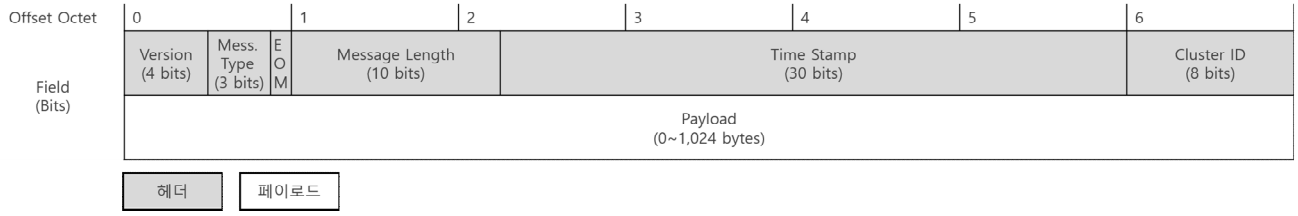


Fig. 3. 다중 네트워크 메시지 구조.

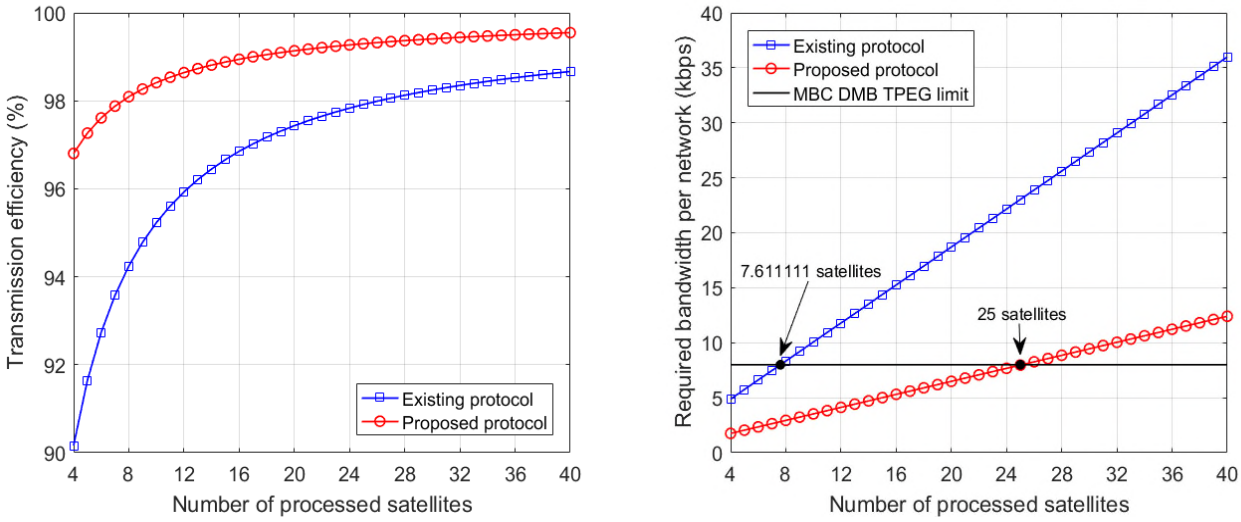
페이로드는 복수 개의 세그먼트로 구성되며, 세그먼트는 단일 위성 또는 수신국 정보를 포함한다. 메시지 형태별 세그먼트는 Table 1와 같이 정의된다. 기존 프로토콜과 마찬가지로, T초당 주 수신국의 측정치는 A회, 보정/무결성정보는 B회, 시스템 정보는 C회 전송한다 하면, 총 전송량은 $(7A+7B+7C+9AN_S+7BN_SN_R+16CN_R)$ bytes이고, $0.008(7A+7B+7C+9AN_S+7BN_SN_R+16CN_R)/T$ kbps의 대역폭이 요구된다.

Table 1. 메시지 형태별 세그먼트 정의.

메시지 형태	세그먼트 정보 (bits)	세그먼트 길이 (bytes)	페이로드 길이 (bytes)
주 수신국 측정 정보	GNSS Type (3), PRN (5), L1 Pseudorange Measurement (40), L1 Phaserange-Pseudorange (24)	9	$9N_S$
보정/무결성 정보	GNSS Type (3), PRN (5), Auxiliary Station ID (7), Valid Flag (1), Delta CPC (16), CPC Residual (16), Sigma Delta CPC (8)	7	$7N_SN_R$
시스템 정보	Station ID (7), Valid Flag (1), Station (x,y,z)-coordinates (120)	16	$16N_R$

4. 성능평가

본 장에서는 프로토콜별 전송 효율과 요구 대역폭을 비교, 분석한다. 전송 효율은 총 메시지 길이 대비 유효 데이터 길이의 비율이며, 요구 대역폭은 전체 전송 주기(T 초)동안 전송하는 초당 평균 데이터량으로 정의할 수 있다.



(a) 전송 효율 (b) 요구 대역폭

Fig. 4. 위성 개수에 따른 전송 효율 및 요구 대역폭.

Fig. 4은 다중 네트워크 시스템에서 각 교통인프라 네트워크를 구성하는 수신국 개수가 4개이고, 매초마다 모든 형태의 메시지를 전송하는 시스템에서 위성 개수에 따른 프로토콜별 전송 효율과 요구 대역폭을 보인다. 그림을 통해 알 수 있듯이, 위성 개수가 적은 경우에 제안하는 프로토콜은 기존 프로토콜에 비해 뚜렷하게 높은 전송 효율을 갖는다. 그러나 헤더 및 CRC 블록은 그 길이가 고정적이므로, 두 프로토콜은 위성 개수 증가(페이로드 길이 증가)에 따라 전송 효율은 증가하고, 그 차이는 감소한다. 위성 개수에 따른 요구 대역폭 결과, 8 kbps 채널에서 기존 프로토콜은 최대 7.61111개의 위성 정보를 실어 나를 수 있는 반면에, 제안하는 프로토콜은 최대 20개의 위성 정보를 전송할 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 하나의 DMB 권역에서 여러 개의 보정정보를 동시에 전송하기 위한 메시지 전송 프로토콜을 제안하였다. 기존 메시지의 불필요한 필드를 제거하고, 비트 단위 패킹을 통해 전송 효율을 높이고, 요구 대역폭을 대폭 감소시켰다. 위성 개수에 따른 프로토콜의 전송 효율과 요구 대역폭 분석을 통해 제안하는 프로토콜은 기존 프로토콜에 비해 3배 이상의 위성 정보를 전송할 수 있음을 보였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 “차로구분 정밀위치결정 교통인프라 기술 실용화 연구”의 연구비지원(17TLRP-C113269-02)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

MBC & FORMAX 2017, [Internet], cited 2017 Sept. 14, available from: http://www.mbctpeg.com/main

Son, M., Son, E., Lee, E., Heo, M.-B., & Nam, G.-W. 2013, Configuration of network based GNSS correction system for land transportation navigation, Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation, 21, 17-26.

Son, M. H, Son, E. S., Im, S. H., Lee, E. S., & Heo, M. B. 2014, System and method for improving positioning precision of land transportation user, 10-2014-0184475.

KASS 기준국 선정을 위한 사이트 후보지 조사

이재은, 손민혁, 장현진, 조성룡, 최종연, 남기욱
한국항공우주연구원 SBAS 사업단

Survey of Site Candidates for KASS Reference Station Selection

Jae-Eun Lee, Minhyuk Son, Hyun-Jin Jang, Sung-Lyong Cho, Jong Yeoun Choi, Gi-Wook Nam
SBAS R&D Head Office, KARI

주소 : 34133 대전광역시 유성구 과학로 169-84
연락처 : 042-870-3526 이메일 : jlee10@kari.re.kr

Abstract: 한국항공우주연구원 SBAS 사업단에서는 한국형 SBAS 시스템인 KASS를 개발하고 있으며 이 중 기준국은 GPS 및 정지궤도 위성 데이터를 수신하여 다른 서브시스템에 전달하는 기능을 갖는다. KASS 시스템에서 요구하는 성능을 만족시키기 위해서는 기준국의 위치 및 사이트 환경이 중요한 요소이므로 최적의 기준국 사이트를 선정하기 위해 사이트 환경 요구사항을 정의하고 사이트 조사 절차를 수립하였다. 수립된 절차에 따라 총 17개 기준국 사이트 후보지의 일반적인 환경 및 전파 수신 환경을 조사하였다. 본 논문에서는 KASS 기준국 선정 진행과정을 설명하고 사이트 조사 결과를 정리한다. 추후 본 조사를 통해 선정된 사이트에 기준국을 설치할 예정이다.

Keywords: SBAS, KASS, reference station, site survey

1. 서 론

Satellite Based Augmentation System(SBAS)는 위성항법시스템(Global Navigation Satellite System; GNSS)을 보강하기 위한 시스템으로 중앙처리국, 통합운영국, 위성통신국, 기준국, 정지궤도위성으로 구성되어 있다(ICAO 2012). 이 중 기준국은 GPS 및 정지궤도위성 데이터를 수신하여 다른 서브시스템에 전달하는 기능을 갖고 있으며 기준국의 지정학적인 위치는 SBAS의 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다(Lee et al. 2015). 그러나 기준국의 지정학적인 위치가 좋다 하더라도 기준국 시스템이 설치되는 시설 환경과 주변 전파환경 등이 좋지 않으면 기준국 시스템 운용에 영향을 미치므로 기준국을 선정할 때 이를 고려해야 한다. 따라서 최적의 기준국을 선정하기 위해서는 사이트 요구사항이 필요하며 사이트 조사 절차에 따라 이러한 요구사항의 만족 여부를 조사해야 한다. 현재 개발중인 한국형 SBAS인 Korea Augmentation Satellite System(KASS) 역시 기준국 사이트를 선정하기 위해 사이트 요구사항과 사이트 조사 절차가 정의 되어 있으며 수립된 절차에 따라 총 17개 기준국 사이트 후보지의 요구사항 만족 여부를 조사하였다. 본 논문에서는 이러한 조사 과정을 설명하고 결과를 정리한다.

2. 기준국 사이트 선정 절차

기준국 사이트 선정 절차는 크게 사이트 조사 준비, 사이트 조사, 사이트 조사 결과 검토, 최종 사이트 선정으로 이루어진다. 사이트 조사 준비 과정에서는 기준국 사이트 요구사항 및 사이트 조사 절차를 정의하고 사이트 조사를 위한 후보지를 선정한다. KASS의 경우 사이트 조사 후보지는 국토교통부와 해양수산부가 관리하고 있는 공항 5개소(인천, 무안, 양양, 제주, 군산), Nationwide DGPS(NDGPS) 사이트 5개소(영도, 마라도, 울릉도, 호미곶, 속초), 항공무선표지소(VHF omnidirectional radio range; VOR) 5개소(제주, 강원, 안양, 포항, 부산), 해상무선표지소(Long RAnge Navigation; LORAN-C) 2개소(포항, 광주)를 기준국 사이트의 후보지로 선정하였다.

사이트 조사과정에서는 선정된 사이트 후보지에 대하여 준비과정에서 정의된 요구사항의 만족 여부를 사이트 조사 절차에 따라 리포트로 작성한다. 사이트 조사 리포트는 각 사이트 별로 작성되며 이를 바탕으로 KASS 시스템의 성능분석을 진행하여 최종 사이트를 선정하게 된다. 최종 사이트가 선정되면 사이트 Interface Control Document(ICD)를 작성하게 되고 사이트 준비 및 수락과정을 진행한 후 기준국 시스템 구축을 할 수 있게 된다.

3. 사이트 요구사항 및 조사 절차

사이트 요구사항은 일반적인 시설 환경(사이트 접근, 사이트 보안, 실내공간, 실외공간, 네트워크 및

통신, 기타)에 관한 것과 GNSS 신호 환경(수평 앙각, Electromagnetic Interference(EMI), 다중경로)과 관련된 것으로 구분된다. 이와 관련하여 주요 요구사항은 Table 1과 같다.

Table 1. Site requirements.

항목		요구사항
1	사이트 접근	장비 운반트럭(4톤) 접근, 군사지역 여부
2	사이트 보안	경비, 펜스 유무
3	실내 공간	천고: 2.3m, 면적: 32m^2 이상
4	실외 공간	안테나간 이격거리: 120m 이상
		안테나-장비 케이블 길이: 80m 이내
5	네트워크 및 통신	광케이블/유선전화 유무
6	기타	유지보수/화재/전원/접지/배관 유무
7	GNSS 신호 수평앙각	수평 앙각 > 5도 이상 방해물 유무
	EMI	전파 간섭원 유무
	다중경로	다중경로 소스 유무

사이트 조사 절차는 각 사이트 요구사항의 만족 여부를 체크하는 것을 기반으로 이루어져 있으며 조사 절차에 따라 진행한 사이트 조사 결과를 리포트로 작성한다. GNSS 신호 환경 조사의 경우 위성 가시성이 가장 필수적이므로 수평앙각 조사를 첫번째로 수행한다. 그렇지만 시스템 성능에 미치는 영향을 기반으로 사이트가 선정되므로 수평 앙각 조건이 만족되지 않는다 해서 EMI 및 다중경로 조사를 수행하지 않는 것은 아니다. EMI는 다중경로 조사를 수행하기 위해 좋은 신호 수신이 필요하므로 수평앙각 조사 이후에 수행된다. 다중경로는 안테나 높이를 다르게 하여 2시간씩 데이터를 획득하여 빠른 진단 평가를 진행 한 후에 평가 결과에 따라 최종적인 위치에서 24시간의 데이터를 획득하도록 한다.

4. 사이트 조사 결과

4.1 일반 시설 환경 요구사항 조사 결과

총 17개소의 사이트에 대하여 일반 시설 환경 요구사항 조사 결과는 각 요구사항에 따른 만족여부를 백분율로 나타내어 Fig. 1과 같이 사이트 별로 값을 비교하였다. 모든 요구사항을 만족하는 사이트는 없었지만 공항의 경우 상대적으로 시설 구축이 잘 되어 있어 요구사항 만족 여부가 다른 사이트에 비해 높음을 알 수 있었다. 그러나 일반 시설 환경 요구 사항은 추후 시설물의 보완 등을 통해 만족시킬 수 있으므로 현재 만족여부가 좋지 않더라도 사이트 선정 과정에서 주요 요인으로 반영되지는 않는다. 단, 안테나간 이격거리 및 안테나-장비 케이블 길이는 기준국 시스템 성능에 영향을 미치는 요소이므로 요구사항이 만족되지 않을 경우 사이트 선정에서 제외된다.

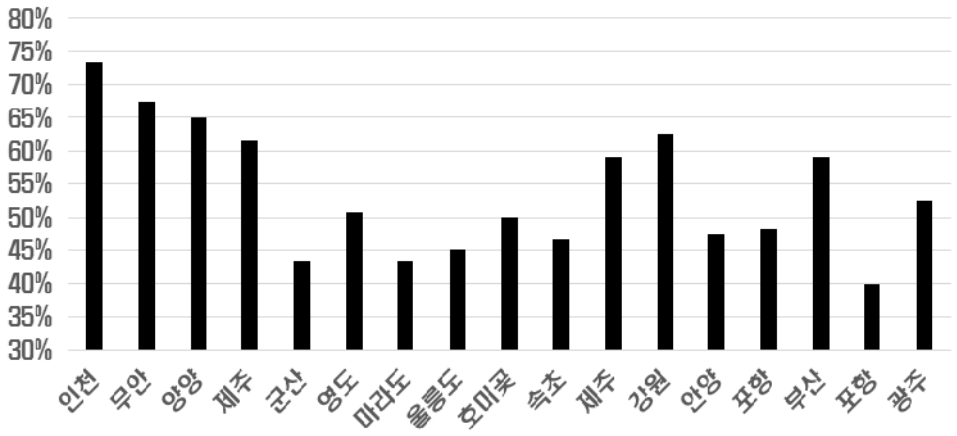


Fig. 1. Site survey results of general environment.

4.2 GNSS 신호 환경 요구사항 조사 결과

GNSS 신호 환경에 대해서는 3장에서 설명한 것처럼 수평 앙각의 방해물 존재 유무, 전파 간섭원 유무, 다중경로 소스 유무에 대하여 조사하였다. 각 사이트마다 2개의 안테나를 설치할 예정이므로 각각의

위치에 대하여 조사를 진행하였다. 수평 앙각의 경우 요구사항은 5도 이상에 방해물이 없어야 한다. 따라서 Fig. 2에서 보이는 것처럼 5도 이상의 방해물이 있는 경우, 이에 대한 면적을 계산하여 방해 정도를 퍼센트로 표시하였으며 결과는 Table 2와 같다.

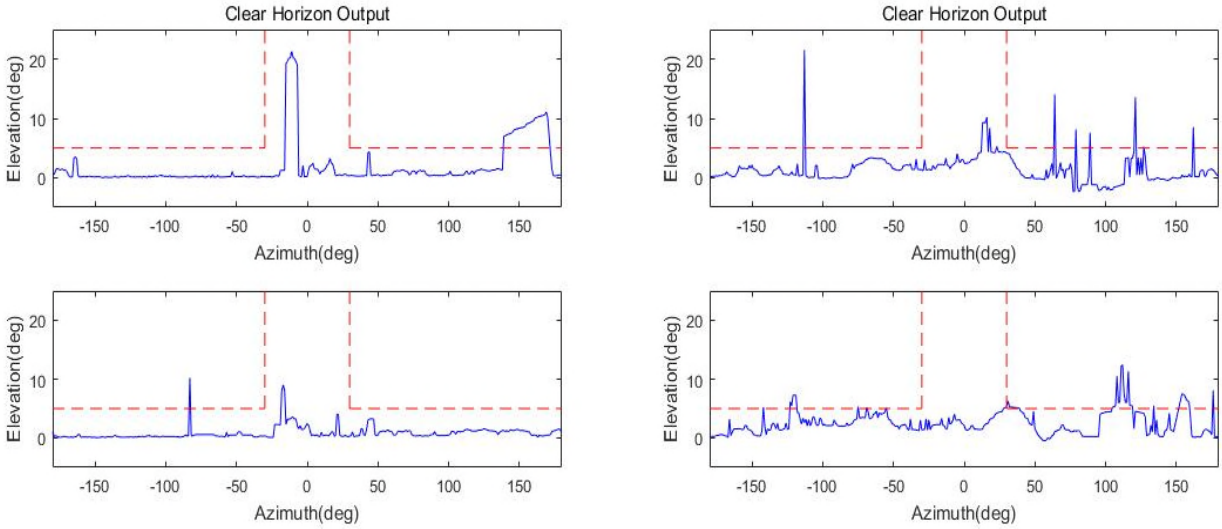


Fig. 2. Clear horizon output (Left: Muan AP, Right: Gangwon VOR).

Table 2. Clear horizon output (masking percentage).

#	사이트 타입	사이트명	안테나 1 (%)	안테나 2 (%)	#	사이트 타입	사이트명	안테나 1 (%)	안테나 2 (%)
1	공항	인천	0.08	0.16	11	VOR	제주	1.53	4.51
2		무안	2.85	0.12	12		강원	0.94	1.44
3		양양	1.45	2.16	13		안양	0.55	1.08
4		제주	1.45	0.71	14		포항	0.27	0.38
5		군산	0.35	1.68	15		부산	0.13	6.73
6	NDGPS	영도	0.05	0.00	16	LORAN-C	포항	14.01	18.85
7		마라도	7.28	3.85	17		광주	7.43	7.43
8		울릉도	30.64	70.25					
9		호미곶	1.51	1.43					
10		속초	18.83	0.00					

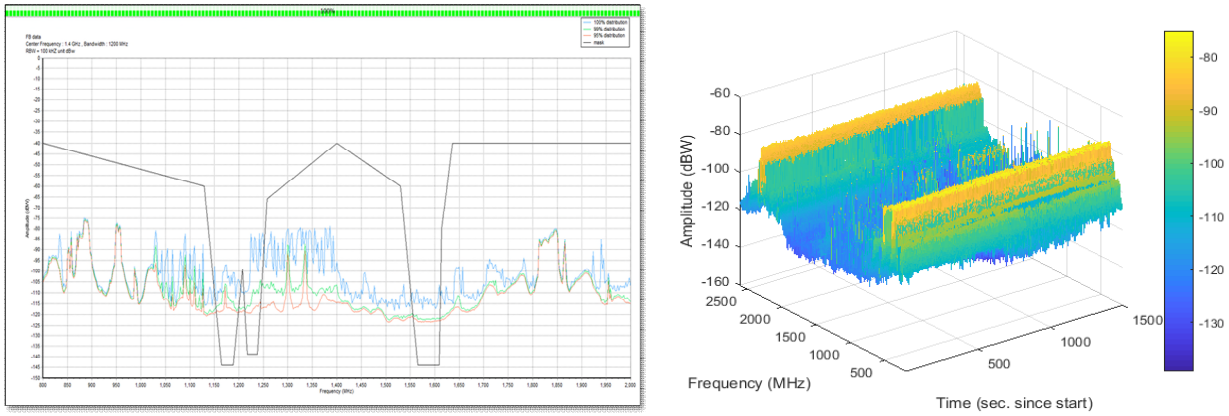


Fig. 3. EMI output (Incheon AP).

전파 간섭원 유무를 조사하기 위해서 800~2000 MHz 및 GPS L1(1565.42~1585.42 MHz), L2 (1217.6~1237.6 MHz), L5(1166.45~1186.45 MHz) 대역에 대하여 24시간 동안 EMI를 측정하였다. 측정 결과 방해 전파가 있는 경우 추가로 미세 측정을 수행하였다. 17개소 사이트 조사 결과 요구사항을 100% 만족하는 사이트가 없어 측정값을 상대적으로 비교하여 결과를 분석하였다. 측정 방법 및 결과에 대한 자세한 내용은 Son et al. (2017)에 기술되어 있으며 Fig. 3은 인천공항에서의 EMI 측정 결과 예시를 보여준다.

다중경로 소스 유무를 조사하기 위해서는 3장에서 설명한 것처럼 먼저 빠른 진단 평가를 수행하였다.

안테나 높이를 다르게 하여 2시간씩 데이터를 획득한 후 평가 결과에 따라 최종 위치를 결정해서 24시간 GNSS 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 사용하여 Desired signal power/Undesired signal power(D/U) 값을 계산하여 분석하였다. 17개소 사이트 조사 결과 요구사항을 100% 만족하는 사이트가 없어 측정값을 상대적으로 비교하여 결과를 분석하였다. 측정 방법 및 결과에 대한 자세한 내용은 Cho et al. (2017) 에 기술되어 있으며 Fig. 4는 포항 VOR에서의 다중경로 측정 결과 예시를 보여준다.

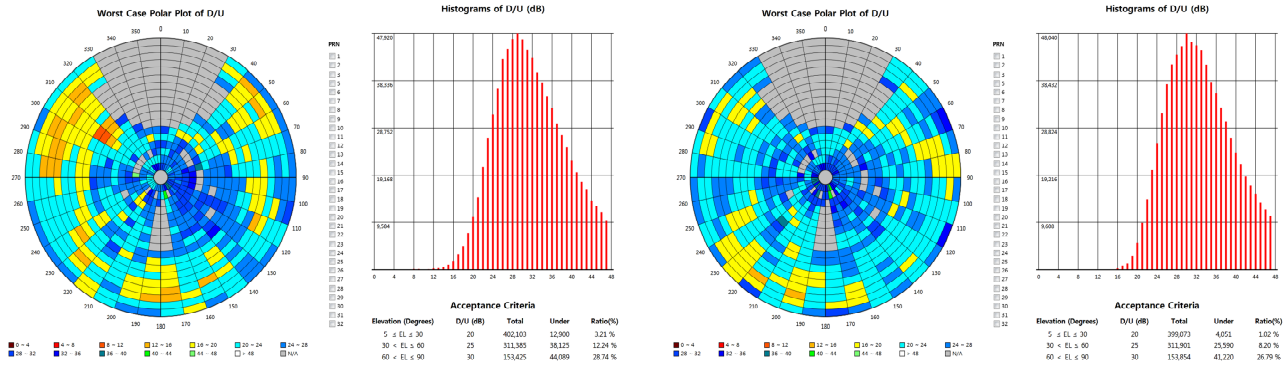


Fig. 4. Multipath output (Pohang VOR).

5. 결 론

지금까지 KASS 기준국 사이트 선정 절차 및 주요 요구사항을 설명하고 사이트 후보지 조사 결과를 정리하였다. KASS 시스템에서 요구되는 성능을 만족시키기 위해서는 최적의 배치뿐만 아니라 정의된 사이트 요구사항을 만족시킬 수 있는 사이트를 선정해야 한다. 본 논문에서는 사이트 요구사항을 일반시설 환경에 관한 것과 GNSS 신호 환경에 관한 것으로 구분하였으며 이에 대한 만족 여부를 각 사이트 별로 분석하였다. 분석 결과, KASS 시스템에서 요구하는 모든 사이트 요구사항을 100% 만족하는 사이트가 없음을 확인하였으며 따라서 상대적인 비교를 통해 결과를 정리하였다. 추후 본 논문에서 정리한 17개소 사이트 조사 결과 및 기준국 사이트 배치에 따른 KASS 시스템 성능 분석을 바탕으로 최종적인 기준국 사이트 7개소를 선정할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비 지원(17ATRP-A087579-04), 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양수산과학기술진흥원의 지원(과제명: 다목적 위성항법보정시스템 기준국 기술개발)에 의해 수행 되었으며, 지원에 감사 드립니다.

REFERENCES

Cho, S. L., Jang, H.-J., Son, M. H., Lee, J.-E., Choi, J.-Y., et al. 2017, A Study on the Multipath Effect of Infrastructure for KASS Reference Station, in proceeding of 2017 IPNT conference, Jeju, Korea

ICAO 2012, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I – Radio Navigation Aids, International Standards and Recommended Practices, Amendment 87

Lee, J.-E., Choi, H. H., Choi, C.-H., Lee, E. S., & Nam, G. W. 2015. A Study on Simulation Platform Design for KASS Availability Analysis, in proceeding of 2015 KGS conference, Jeju, Korea

Son, M. H., Lee, J.-E., Jang, H.-J., Cho, S.-L., Choi, J.-Y., et al. 2017, Method of GPS radio environment survey for KASS Reference Station site selection, in proceeding of 2017 IPNT conference, Jeju, Korea

강결합 기반 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘 개발

한중희*, 박지호, 최진옥
대구경북과학기술원 지능형소자융합연구실

Development of Tightly-Coupled GPS/On-board Vehicle Sensors Integration Positioning Algorithm

Joong-hee Han*, Chi ho Park, Jin Ok Choi
Intelligent Devices and Systems Research Group, DGIST

주소 : 대구광역시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333 DGIST
연락처 : 053-785-4442 이메일 : jhhan@dgist.ac.kr

Abstract: 현재 대부분의 상용 자동차 내비게이션은 GPS 측위 기술을 이용하여 자동차의 위치를 결정한다. 자동차는 빌딩 숲이나 터널등과 같이 GPS 신호 수신이 불량하거나 차단되는 지역을 자주 주행함에 따라 GPS 측위 기술만으로는 안정적이고 신뢰성 있는 위치 결정의 한계가 존재한다. 최근 자동차 주행의 안정성과 편의성 향상을 위해 다양한 센서들을 자동차 내부에 부착하여, 외부환경정보 및 차량상태정보를 제공하는 첨단운전자보조시스템이 자동차에 적용되고 있다. 첨단 운전자 보조 시스템 구동을 위해 탑재된 센서 중 차량의 동적 움직임을 측정하는 센서는 차량의 속력, 방향에 대한 정보를 제공할 수 있으므로 자동차 측위에 적용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 GPS 측위 기술의 한계를 보완하기 위하여 자동차 내부 센서와 GPS 의사거리를 결합한 강결합 방식의 자동차 측위 알고리즘을 개발하고, 실 주행 데이터를 이용하여 측위 성능을 평가하였다. 본 연구에서 사용한 자동차 내부 센서는 바퀴 속력 센서, 선회 속도 센서, 중력 센서이며, 상기 센서에서 제공하는 측정치 정보를 기반으로 총 2가지 추측항법 방법을 정의하였다. GPS/자동차 내부 센서 기반 측위 알고리즘은 총 두 종류로 정의된 자동차 내부 센서 기반 추측항법과 GPS 의사거리 관측치를 강결합 방식의 확장형 칼만필터를 기반으로 구현하였다. 구현된 측위 알고리즘은 2차원 측위 알고리즘인 GPS/바퀴 속력 센서/선회 속도 센서 결합과 3차원 측위 알고리즘인 GPS/바퀴 속력 센서/선회 속도 센서/중력 센서 결합이다. 본 연구에서 개발된 두 종류의 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘의 성능은 실 주행을 통해 획득된 데이터를 이용하여 GPS 기반 측위 결과와 비교하여 도출하였다.

Keywords: GPS, on-board vehicle sensors, tightly coupling, land vehicle positioning

1. 서 론

현재 대부분의 자동차 내비게이션은 Global Positioning System (GPS) 측위 기술을 적용하여 자동차의 위치를 결정하고 주행 안내 정보를 제공한다. 그러나 자동차는 빌딩 숲이나 터널 등과 같이 GPS 신호 수신이 불량하거나 차단되는 지역을 자주 주행함에 따라 GPS 측위 기술에만 이용할 경우에는 위치를 적절히 결정할 수 없거나 결정된 위치의 신뢰도가 매우 낮아지는 문제점이 존재한다. 따라서 자동차 내비게이션에서 신뢰성 있는 주행 경로 안내를 위해서는 GPS 신호 수신 환경에 구애받지 않고 안정적인 위치를 추정할 수 있는 자동차 측위 기술 개발이 필요하다. 최근 MEMS(Micro Electro-Mechanical System) 기술의 발달로 자동차에 장착할 수 있는 저렴한 MEMS 기반 IMU(Inertial Measurement Unit)가 개발됨에 따라 GPS 측위 기술의 한계를 보완하기 위한 GPS와 MEMS-IMU 결합 기반 측위 연구가 활발히 진행되었다(Godha & Cannon 2007, Zhou et al. 2010, Quinchia et al. 2013). 그러나 장시간의 GPS 신호단절 상황에서는 MEMS-IMU의 낮은 성능으로 인하여 측위 오차가 급격하게 저하되는 문제점이 여전히 존재한다. 또한 MEMS-IMU를 기반으로 한 자동차 측위 시스템은 센서 구입에 따른 비용 문제가 발생될 수 있으며, 안정적인 측위 결과를 산출할 수 있는 IMU는 고비용임에 따라 자동차 내비게이션을 위해 탑재하기에는 경제적인 한계가 있다.

최근 들어 주행 안전성 향상을 위하여 대부분의 자동차에는 Anti-lock Brake System, Electronic Stability Control 등과 같은 첨단 운전자 보조 시스템 (ADAS: Advanced Driver Assistant System) 기능이 탑재되어 있다(Barbosa et al. 2016). 첨단 운전자 보조 시스템 구동을 위한 탑재된 센서 중에 바퀴 속력 센서 (WSS: Wheel Speed Sensor), 중력 센서(GS: Gravity Sensor), 선회 속도 센서(YRS: Yaw Rate Sensor)는 외부에서 제공하는 정보 없이 자체적으로 차량 움직임을 측정하므로 추측항법을 통해 자동차 측위에 적용할 수 있다. 또한 상기 센서들을 자동차 측위에 적용하여 신뢰성 있는 측위 결과를 획득할 수 있다면 추가적인 센서 탑재 없이 GPS 측위 기술의 한계를 보완할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차

내비게이션에 적용되고 있는 GPS 측위 기술의 한계를 보완하기 위하여, GNSS와 자동차 내부에 장착된 센서에서 취득된 데이터를 융합한 측위 알고리즘을 개발하고 성능을 분석하고자 한다.

2. GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘

2.1 자동차 내부 센서 기반 추측항법

본 연구에서는 바퀴 속력 센서, 중력 센서, 선회 속도 센서를 이용하여 각 센서에서 제공하는 정보가 중복되지 않도록 2가지의 자동차 내부 센서 기반 추측항법을 정의하였다. 자동차 내부 센서 조합에 따른 추측항법 구현 전략을 정리한 것은 Table 1과 같다. 자동차 내부 센서 기반 추측항법에 대한 상세한 설명은 Han(2016)를 참고하기 바란다.

Table 1. On-board vehicle sensors integration strategies.

센서 조합	설명
WSS/YRS	- 2차원 추측항법 - 좌우 뒷바퀴속력센서의 평균으로 종 방향 속도 정의 - 차량에 횡 방향 힘이 발생되지 않는다는 가정하에 횡 방향 속도 0으로 설정 - 선회속도센서에서 측정된 선회속도를 적분하여 Yaw 각 계산
WSS/YRS/GS	- 3차원 추측항법 - 좌우 뒷바퀴속력센서의 평균으로 종 방향 속도 정의 - 차량에 횡 및 수직 방향 힘이 발생되지 않는다는 가정하에 횡 및 수직 방향 속도를 0으로 설정 - 종 방향 및 횡 방향 중력 센서를 이용하여 Roll 및 Pitch 각 계산 - 선회속도센서에서 측정된 선회속도를 적분하여 Yaw 각 계산

2.2 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘

본 연구에서는 추측항법에 이용되는 자동차 내부 센서의 조합에 따라 2 종류의 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘을 개발하였다. GPS/자동차 내부 센서 측위 알고리즘은 강결합 방식의 확장형 칼만필터(EKF: Extended Kalman Filter)를 이용하였으며, 추정된 센서 오차를 보상하는 폐쇄 루프(closed loop) 형식으로 구현하였다. 구현한 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘은 GPS/WSS/YRS 결합 2차원 측위 알고리즘과 GPS/WSS/YRS/GS 결합 3차원 측위 알고리즘으로 개략도는 Fig. 1과 같다.

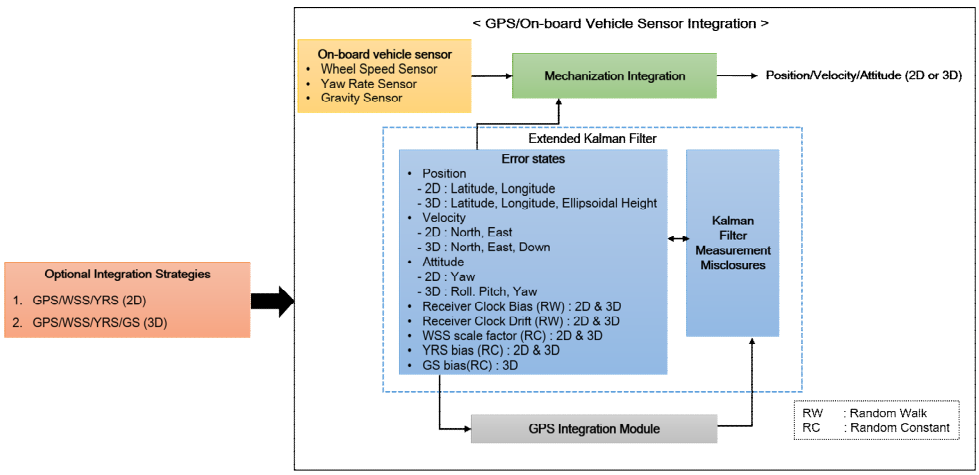


Fig. 1. GPS/on-board vehicle sensor integration statregies.

개발된 측위 알고리즘인 자동차 내부 센서 기반 추측항법을 통해 0.02초 간격으로 항법해를 출력하게 된다. 만약 GPS에서 수신기에서 GPS C/A 코드 기반 의사거리가 제공되면 측정치 보정을 통해 항법해 및 센서 오차를 보상하게 된다. GPS/WSS/YRS 결합 알고리즘에서의 오차상태변수는 총 9개로 측지 좌표계로 표현된 위도 및 경도 오차, 항법 좌표계로 표현된 북쪽 및 동쪽 방향 속도 오차, 자세인 Yaw 오차, 랜덤 상수(random constant)로 모델링된 좌우 바퀴 속력 센서의 스케일 팩터 평균과 선회 속도 센서의 편이,

랜덤 워크(random walk)로 모델링된 GPS 수신기의 시계 편이 오차와 시계 편이 변화율 오차이다. GPS/WSS/YRS/GS 결합 알고리즘에서의 오차상태변수는 총 14개로 3차원 위치(위도, 경도, 타원체고) 오차, 3차원 속도(북쪽, 동쪽 아래쪽 방향) 오차, 자세(Roll, Pitch, Yaw) 오차, 좌우 바퀴 속력 센서의 스케일 팩터 평균, 선회 속도 센서의 편이, 횡 및 종 방향 중력 센서의 편이 오차와 랜덤 워크로 모델링된 GPS 수신기의 시계 편이 오차와 시계 편이 변화율 오차이다.

3. GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘 성능 평가

3.1 성능 평가 개요

강결합 기반 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘 성능 평가를 실시하여 개발된 측위 알고리즘이 적합하게 구현되었는지를 확인하고, GPS만을 이용한 단독측위 결과와 비교하여 자동차 내부 센서 기반 추측항법 적용에 대한 효용성을 도출하였다. 실험차량은 대구경북과학기술원이 보유하고 있는 MMS(Mobile Mapping System) 차량을 이용하였다. 실험차량은 ADAS 기능이 탑재되어 본 연구에서 이용하는 자동차 내부 센서가 장착되어 있으므로, Controller Area Network 통신을 통해 자동차 내부 센서 데이터를 취득하였다. GPS C/A 코드 기반 의사거리 측정치는 Novatel DL-V3-GENERIC 수신기를 통해 획득하였다. 성능 평가를 위한 기준데이터는 Applanix사의 POS LV 520를 통해 취득한 데이터를 후처리하여 생성하였다. POS LV 520를 통해 계산된 위치 정밀도는 수평 2cm, 수직 5cm이다.

측위 성능 분석을 위한 실험 데이터는 대구광역시 테크노폴리스 일대를 약 21분동안 주행하여 취득한 데이터로 출발 및 도착 지점은 대구경북과학기술원 정문 인근 도로이다. 차량 주행 경로는 회전 및 경사 구간이 모두 포함되며, 주행한 도로 표면에는 과속방지턱과 맨홀 등 다양한 시설물들이 존재한다. 차량 속도는 도로 상황에서 따라 0 ~ 65km/h이며, 정지 신호로 인해 9번 정지하였다.

3.2 성능 평가 결과

본 연구에서 구현한 두 종류의 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘과 GPS만을 이용한 단독 측위 알고리즘으로 추정된 이동 경로를 도시화한 것은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 GPS만을 이용한 단독측위 알고리즘보다 자동차 내부 센서 기반 추측항법을 적용한 GPS/자동차 내부 센서 결합 측위 알고리즘이 명확하게 안정적인 위치를 산출하는 것을 확인할 수 있다.

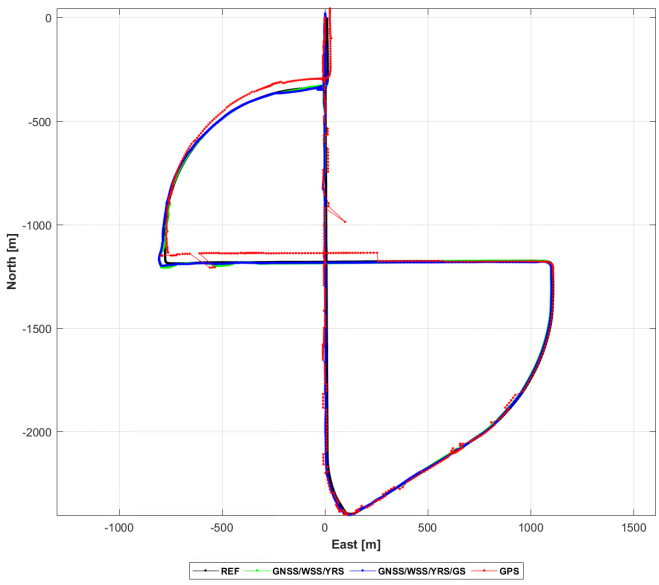


Fig. 2. Estimated position of GPS and GPS/on-board vehicle sensor integrations.

GPS와 자동차 내부 센서 조합에 따른 수평 및 수직 위치 오차 통계량은 Table 2와 같다. GPS만을 이용하는 경우보다 자동차 내부 센서를 추가적으로 결합하는 경우가 확연히 수평 및 수직 위치 오차를 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 상기 결과에 미루어봐 GPS만을 사용한 경우보다 자동차 내부 센서를 추가적으로 결합하는 것이 GNSS 신호 환경에 구애받지 않고 안정적인 측위 결과를 산출할 수 있을

것으로 사료된다. 자동차 내부 센서 조합에 따른 수평 위치 오차의 평균 및 표준편차는 수 cm 수준으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 최대 수평 위치 오차의 크기는 GPS/WSS/YRS/GS 결합이 GPS/WSS/YRS 결합에 비해 약 4m 작은 것으로 나타나 3차원 측위 알고리즘이 2차원 측위 알고리즘에 비해 최적의 측위 결과를 산출할 것으로 사료된다.

Table 2. Position error statistics.

Type	Horizontal Position Error (m)			Vertical Position Error (m)		
	Max	Mean	STD	Max	Meat	STD
GPS/WSS/YRS	35.13	9.71	4.30	-	-	-
GPS/WSS/YRS/GS	31.15	9.75	4.32	10.19	-1.90	2.91
GPS	126.05	26.94	22.06	156.40	26.55	56.20

4. 결론

본 논문은 GPS 측위 기술을 한계를 보완하기 위하여 강결합 방식의 GPS/자동차 내부 센서 결합 알고리즘을 구현하고 성능을 평가하였다. 자동차 내부 센서를 측위에 적용하기 위하여, 자동차 내부 센서인 바퀴속력센서, 선회속도센서, 중력센서 조합에 따른 2종류의 추측항법을 정의하고, 강결합 방식의 GPS/자동차 내부 센서 결합 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 2차원 측위 알고리즘인 GPS/WSS/YRS 결합과 3차원 측위 알고리즘인 GPS/WSS/YRS/GS 결합이며, 강결합 방식의 확장형 칼만필터를 이용하여 구현하였다. 개발된 알고리즘의 성능평가는 약 21분동안 주행한 데이터를 이용하여 실시하였다. 성능 평가 결과, GPS만을 이용하는 경우보다 자동차 내부 센서를 추가적으로 결합하는 것이 정확한 위치를 추정할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 3차원 측위 알고리즘인 GPS/WSS/YRS/GS 결합이 2차원 측위 알고리즘인 GPS/WSS/YRS 결합에 비해 최대 수평 위치 오차 크기가 작은 것으로 확인되었다. 상기 결과로 미루어봐, GPS만을 이용하는 경우보다 자동차 내부 센서를 추가적으로 결합한 것이 안정적인 측위 결과를 산출할 수 있는 것으로 사료된다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 추가적인 센서 설치없이 GNSS 측위 기술의 한계를 보완할 수 있는 대안이 될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 과학기술정보통신부에서 지원하는 DGIST 기관고유사업에 의해 수행되었습니다(17-NT-01).

REFERENCES

Barbosa, D., Lopes, A., & Araújo, R. E. 2016, Sensor fusion algorithm based on Extended Kalman Filter for estimation of ground vehicle dynamics, In Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE, 22 December 2016, Florence, Italy, pp.1049-1054. https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793145

Godha, S. & Cannon, M. E. 2007, GPS/MEMS INS integrated system for navigation in urban areas, GPS Solutions, 11, 193-203. https://doi.org/10.1007/s10291-006-0050-8

Han, J.-H. 2016, Performance Analysis of Positioning through the Integration of GNSS and On-board Vehicle Sensors, PhD Dissertation, University of Seoul, Korea

Quinchia, A. G., Falco, G., Falletti, E., Dovis, F., & Ferrer, C. 2013, A comparison between different error modeling of MEMS applied to GPS/INS integrated systems, Sensors, 13, 9549-9588. https://doi.org/10.3390/s130809549

Zhou, J., Edwan, E., Knedlik, S., & Loffeld, O. 2010, Low-cost INS/GPS with nonlinear filtering methods, In Information Fusion (FUSION), 2010 13th Conference on IEEE, 10 February 2011, Edinburgh, UK, pp.1-8. https://doi.org/10.1109/ICIF.2010.5712023

MATLAB 기반의 소프트웨어 수신기를 이용한 GPS 신호 추적 성능 분석

류경돈[1], 소형민[2], 박흥원[2*]
[1]과학기술연합대학원대학교, [2]국방과학연구소

Tracking Performance Analysis of GPS Signal Using MATLAB-based SDR

Kyeong-Don Ryu[1], Hyoung min So[2], Heung-Won Park[2*]
[1]University of Science and Technology, [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성우체국 사서함 35 호
연락처 : 042-821-3249 이메일 : hwpark@add.re.kr

Abstract: Research on SDR for satellite navigation has been drawing growing attention, thanks to advances in digital signal processing and computer hardware. Algorithms for hardware receivers can hardly be modified. In contrast, users can make changes to SDR algorithms. The flexibility can be greatly useful when conducting research. This paper will use the MATLAB-based SDR. It accurately tracks carrier signals and C/A codes by using IF signals sampled from RF Front-End. The SDR consists of signal acquisition and tracking loop, and tracks carrier signals and C/A codes. Its performance of tracking carrier signals and C/A codes was compared with that of theoretically known. In addition, analyzed was the SDR's performance of tracking GPS signals when given different parameters of the signal tracking loop. Further, theoretical properties of loop bandwidth and damping ratio were compared to their actual tracking performance. Finally, correlation between the control parameters and the tracking performance was analyzed.

Keywords: GPS, signal tracking, software-defined receiver

1. 서 론

최근 컴퓨터 프로세서의 발달로 인해 위성항법 연구에서 소프트웨어 수신기를 활용하는 비중이 높아지고 있다. 자체적으로 내장된 알고리즘을 통해 항법 데이터를 계산하는 하드웨어 수신기와 달리 소프트웨어 수신기는 내부의 신호처리 알고리즘을 쉽게 수정할 수 있다는 장점이 있다. 수신기의 신호처리 알고리즘은 크게 신호 획득과 추적 알고리즘으로 구성되어 있고, 획득된 신호를 바탕으로 얼마나 정밀한 추적을 하는지가 항법 해 성능에 많은 영향을 미친다.

본 논문에서 사용한 SDR은 FFT를 이용한 Parallel Code Phase Search 기법을 신호 획득 알고리즘으로 사용하였다. 여기서 획득한 대략적인 Doppler와 Code delay 정보를 추적 알고리즘의 초기 값으로 사용하고, 최종적으로 Phase Lock Loop(PLL), Delay Lock Loop(DLL) 을 통해 Doppler와 Code delay를 정밀 추적한다. 신호 추적에 사용되는 PLL, DLL은 일종의 피드백 제어로서 설계 변수인 Bandwidth와 Damping ratio 에 따라 추적성능이 달라지게 되므로 제어 루프 설계 시, 조건에 맞는 최적의 추적 성능을 보장하는 변수를 찾는 것이 중요하다. 이러한 최적의 설계 변수들은 선행연구들을 통해 이론적으로 알려져 있지만, 설계 변수들 간에 얼마만큼 추적성능의 차이가 생기는지 실험적으로 검증해 볼 가치가 있다. 본 논문에서는 정지상태의 안테나를 통해 IF Sampled 데이터를 사용하여 제어루프 변수들이 변함에 따라 추적 성능에 얼마나 큰 차이가 생기는지 MATLAB 기반의 소프트웨어 수신기를 통해 분석하였다. IF data의 주파수는 5.000445MHz 이고, Sampling 주파수는 20MHz 이다. Fig 1은 하드웨어 수신기와 소프트웨어 수신기의 대략적인 구조를 나타낸다.

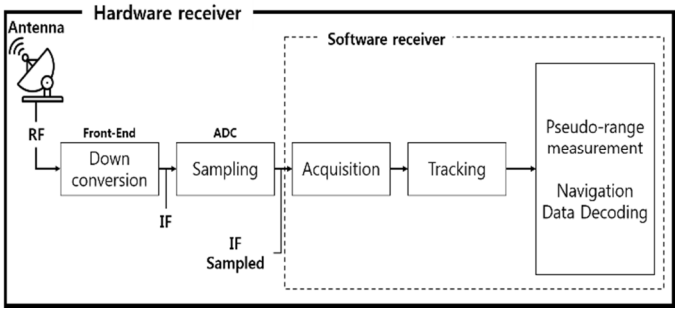


Fig. 1. Structure of hardware & software receiver.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 GPS 위성인 PRN 1~32번의 위성 신호를 획득한 결과를

간단히 도시하였다. 3장에서는 신호 추적 루프의 전달함수를 나타내고 전달함수의 내부 변수들과 설계 변수 사이의 상관관계를 유도하였다. 4장에서는 획득된 PRN 중 신호의 세기가 가장 큰 PRN을 가지고 Tracking을 수행한 결과를 도시하고, 성능 분석 방법과 기준을 제시하였다. 이 때, PLL과 DLL 에 사용되는 제어 루프 설계 변수는 기존에 이론적으로 최적이라고 알려진 값을 사용하였다. 5장에서는 설계 변수에 따라 추적 성능이 어떻게 변하는지 분석하였다. 마지막으로 6장에서는 분석된 결과를 정리하고 요약하였다.

2. GPS 신호 획득 결과

Fig. 2는 미국 콜로라도 대학의 Dennis M. Akos 교수가 만든 MATLAB 기반 SDR의 신호처리(획득) 결과이다. 초록색 막대기는 신호 획득에 성공했음을 나타내고, 총 8개의 GPS 신호가 획득 되었음을 알 수 있다. 여기서, 신호세기가 가장 큰 PRN 14번 위성을 가지고 Tracking 성능을 분석한다.

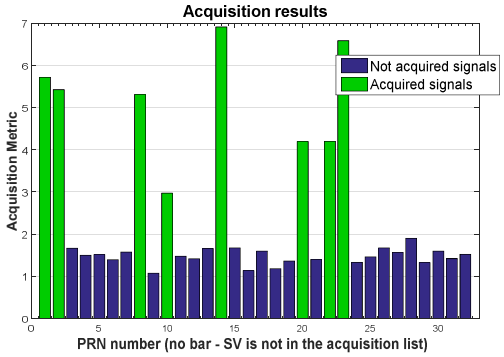


Fig. 2. Acquisition result processed by SDR (Developed by Akos).

3. 신호 추적 알고리즘

본 논문에서는 신호 추적을 위해 Fig. 3 과 같은 2차 모델을 사용하였다.

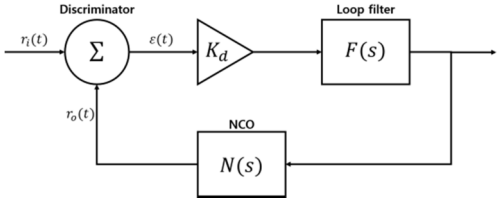


Fig. 3. Second order PLL/ DLL model.

위 모델을 바탕으로 시스템 전달함수를 유도할 수 있다. 다음은, Akos et al. (2007) 이 저술한 문헌으로부터 인용한 2차 전달함수 식을 나타낸 것이다.

Fig. 3과 같은 모델을 만들기 위해 먼저, Filter와 NCO 함수를 정의하면 식 (1)과 같다.

$$F(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{\tau_2 s + 1}{\tau_1}, \qquad N(s) = \frac{K_o}{s} \tag{1}$$

한편, Loop 전달함수는 $r_i(t)$와 $r_o(t)$ 사이의 관계로 표현된다. 이들 관계를 주파수 영역에서 일반적인 2차 전달함수 모델로 표현하고, 각각의 계수를 정의하면 식 (2)와 같다.

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2-1}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_o K_d}{\tau_1}}, \qquad \zeta = \frac{\tau_2 \omega_n}{2} \tag{2-2}$$

여기서, ω_n은 natural frequency 로서, 본 논문에서는, Parkinson & Spilker Jr.(1996) 에서 식 (3)과 같이 정의한 것을 사용하였다.

$$\omega_n = \frac{8\zeta B_L}{4\zeta^2 + 1} \tag{3}$$

여기서 B_L은 Loop noise bandwidth 를 의미한다.

4. 신호 추적 결과

Figs. 4-5는 PRN 14번 위성을 기준으로 0.5초 동안 Tracking 한 결과를 나타내는 그래프이다. 이 때 Loop의 Damping ratio 와 Noise bandwidth는 각각 $\zeta = 0.7$, $B_L = 20Hz$로 설정하여 나타내었다.

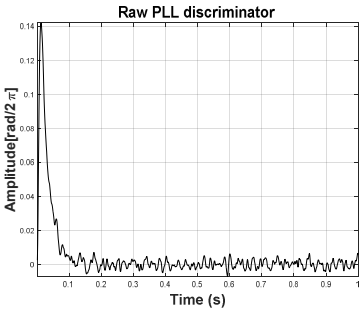


Fig. 4. Discriminator output of PLL.

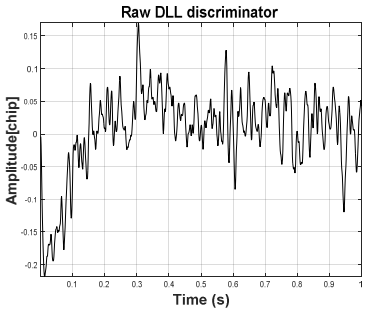


Fig. 5. Discriminator output of DLL.

위 결과를 통해 Tracking을 성공적으로 수행했음을 확인하였다. 여기서, Damping ratio와 Noise bandwidth가 변함에 따라 추적 성능이 어떻게 달라지는지 분석하기 위해 PLL의 Settling time을 기준으로 분석하고자 한다. Settling time의 기준은 C/A code를 기준으로 code 오차가 3m 이내로 들어왔을 때를 추적 안정기에 들어왔다고 판단하였다. 다시 말해, 제어 목표 값의 1% 이내에 들어왔을 때를 기준으로 하였고, PLL discriminator 값이 목표 값 0을 기준으로 ± 0.001 이내에 안정적으로 들어왔을 때를 Settling time으로 하였다.

5. 성능 분석 결과

Fig. 6은 Noise Bandwidth가 10~30Hz 구간에서 0.5Hz씩 증가함에 따라 Settling time이 어떻게 변하는 지 도시한 결과이다. Damping ratio와 상관 없이 Bandwidth가 증가하면서 Settling time이 빨라지는 것을 알 수 있다. 한편, Damping ratio가 작을 때, 그래프 상에 불규칙한 부분이 더 심하게 나타나는 원인은, 감쇠 효과가 작아서 생기는 진동 때문인 것으로 판단하였다. Fig. 7은 Fig. 6과 같은 조건에서 Settling time이 아닌 Overshoot의 변화를 도시한 것이다. Overshoot은 Bandwidth가 커짐에 따라 증가하는 것이 일반적이지만, 실험결과 오히려 감소하는 것으로 확인되었다. 둘의 관계 비교를 통해 최적의 Bandwidth를 찾는 것이 목표였지만, 이 실험 결과만으로 최적의 Bandwidth를 찾는 것은 불가능했다.

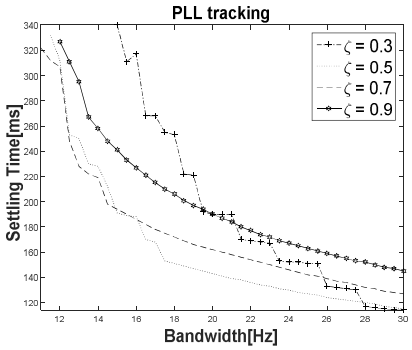


Fig. 6. Variation of settling time according to increase of bandwidth.

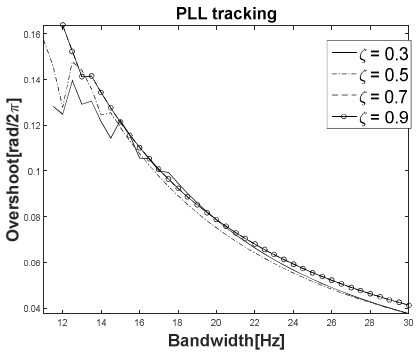


Fig. 7. Variation of overshoot according to increase of bandwidth.

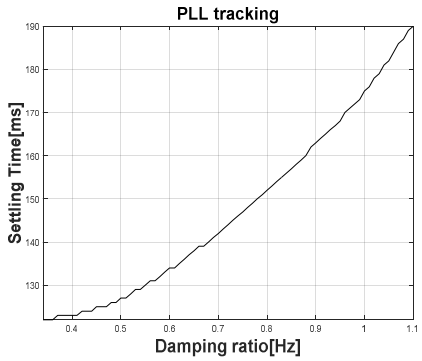


Fig. 8. Variation of settling time according to increase of damping ratio.

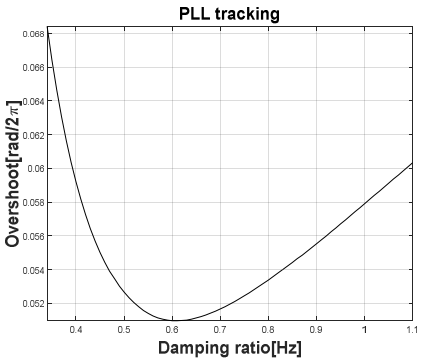


Fig. 9. Variation of overshoot according to increase of damping ratio.

Figs. 8-9는 Noise bandwidth를 25Hz로 고정한 상태에서, Damping ratio가 0.35~1.1 구간에서 0.01씩 증가함에 따라 Settling time과 Overshoot이 어떻게 변하는지 도시한 결과이다. 그래프를 통해 알 수 있듯이 Settling time은 Damping ratio와 함께 증가하는 경향을 보이고, Overshoot은 Damping ratio가 0.6보다 작을 때는 급격하게 감소하다가 0.6 이상에서 다시 증가하는 경향을 보였다. 따라서, Settling time과 Overshoot을 기준으로 보면, $0.5 < \zeta < 0.7$ 일 때가 가장 최적의 성능을 가진다고 판단할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 MATLAB 기반의 소프트웨어 수신기를 사용하여 추적 루프의 제어 설계 변수와 추적 성능 사이에 어떠한 상관관계가 있는지 분석하였다. 일반적으로 최적의 설계 변수는 $\zeta = 0.7$, $B_L = 20Hz$로 알려져 있지만 (Akos et al. 2007), 실제 실험을 통해 이론 값이 정확한지 또는 더 최적의 설계 변수가 있는지 확인하고자 하였다. 실험 결과, Damping ratio 기준으로 $\zeta \cong 0.6$이 Overshoot이 작으면서 Settling time 이 빠른 최적 값이라고 판단하였다. 반면, Bandwidth의 경우 Overshoot과 Settling time의 경향이 같아서 본 논문의 실험결과만으로는 최적의 Bandwidth를 찾을 수 없었다. 이 현상에 대해서는, 본 논문에서 사용한 데이터가 정적 환경에서 얻은 실험 데이터이기 때문에 설계 변수가 추적성능에 큰 영향을 미치지 않았을 것이라 추정이 가능하다. 추후 동적 환경에서 같은 실험을 통하여, Bandwidth가 추적 성능에 미치는 영향을 확인할 계획이다.

REFERENCES

Akos, D. M., Borre, K., Bertelsen, N., Rinder, P., & Jensen, S. H. 2007, A software-defined GPS and GALILEO Receiver: A Single-Frequency Approach (Berlin: Springer Science & Business Media), pp.75-96.

Parkinson, B. W. & Spilker, J. J. 1996, Global Positioning System: Theory and Applications, vol.1 (Washington, D.C: AIAA)

MIL-STD-1553B의 TM/CM을 이용한 EGSE(Electrical Ground Support Equipment) 수신기 성능 분석 시스템 구현

박성현[1*], 박용희[1], 하준[1], 권기호[2]
[1]㈜두시텍, [2]한국항공우주연구원

Implementation of EGSE Receiver Performance Analysis System Using TM / CM of MIL-STD-1553B

Sung-Hyun Park[1*], Yong-Hee Park[1], Jun Ha[1], Ki-Ho Kwon[2]
[1]DusiTech, [2]Korea Aerospace Research Institute

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 10 로 44-15(탑립동)
연락처 : 010-9270-2050 이메일 : enoid00@gmail.com

Abstract: 지상 시험 지원 장비(Electrical Ground Support Equipment, EGSE)는 위성 전자장치의 지상 시험을 지원 하는 장치로 지상에서 조립/통합하여 계측 장비를 포함한 각종 하드웨어와 이 하드웨어를 제어하여, 위성 의 성능 시험을 수행한다. 위성을 실제로 발사하기 전 지상에서 수행한 수신기의 시험 결과 데이터를 저장, 분석할 수 있는 EGSE는 위성을 발사하기 전 필수적인 요소로 작용하고 있다. 하드웨어의 기능 및 성능을 분석하고, 소프트웨어의 설계 상 결함을 도출하여, 우주에서의 원활한 임무 수행을 하기 위해 필요한 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 위성체에 설치가 되는 수신기의 정확도 및 신뢰도를 측정할 수 있는 시스템을 구축하며, 이미 우주환경에서 사용되는 Space급 Reference Receiver와 새롭게 개발되는 수신기의 데이터를 50MHz로 수신기의 데이터를 수집하여 성능을 비교 분석 할 수 있는 소프트웨어를 개발한다. 이에 따라, 주요 통신방식은 신뢰성이 높은 MIL-STD-1553B를 이용하고, MAJOR/MINOR FRAME의 TM(Telemetry Message)/CM(Command Message)을 이용한다. 이는 데이터의 출력 빈도 및 통신 빈도를 조절할 수 있으며, Jung et al. (2017)에 의해 연구된 8Hz Time Division Frame Scheduling 시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

Keywords: electrical ground support equipment, MIL-STD-1553B, data acquisition, telemetry command

1. 서 론

지상 시험 지원 장비(Electrical Ground Support Equipment, EGSE)는 위성 전자장치의 지상 시험을 지원하는 장치로 지상에서 조립/통합하여 계측 장비를 포함한 각종 하드웨어와 이 하드웨어를 제어하여, 위성의 성능 시험을 수행한다.

위성을 실제로 발사하기 전 지상에서 수행한 수신기의 시험 결과 데이터를 저장, 분석할 수 있는 EGSE는 위성을 발사하기 전 필수적인 요소로 작용하고 있다. 하드웨어의 기능 및 성능을 분석하고, 소프트웨어의 설계 상 결함을 도출하여 우주에서의 원활한 임무 수행을 하기 위해 필요한 요소 중 하나이다. 또한, 소프트웨어는 유동적으로 시험지원을 해야 하며, 시험에 따른 데이터 검증이 이루어져야 한다.

이에 본 논문에서는 EGSE의 성능 테스트 중 하나인 수신기의 성능 분석을 위한 데이터 수집 및 모니터링 시스템을 구성하였다. MIL-STD-1553B 통신 프로토콜의 시분할 프레임 스케줄링을 통해, 실제 위성에 사용되고 있는 수신기와, 위성에 탑재되는 개발 수신기의 데이터를 비교 분석 및 데이터 수집과 검증 위한 알고리즘 및 UI를 구현하였다.

본 시스템 구현을 위한 통신 프로토콜은 미해군과 공군에서 사용하기 위해 개발된 필드버스로 버스토플로지 구조의 통신망을 이용하며, 1MHz의 반이중 전송방식을 사용한다.

2. 시스템 구성 및 설계

EGSE의 기능 중 하나인 수신기 성능테스트를 위하여, 본 논문에서는 상용 우주급 수신기 중 하나를 비교 대상 수신기로 선정하였으며, 가상의 임무수행을 위하여 상용 시뮬레이터 두대에 동일한 시나리오를 저장하여 Input Signal을 생성하였다. 각 수신기는 재생되는 시나리오를 수신하여, 항법 정보를 생성하고, 생

성된 항법정보는 MIL-STD-1553B를 이용하여 소프트웨어를 통해 모니터링 되고, 동시에 SERIAL 통신을 이용하여 50MHz로 데이터를 저장 및 항법정보를 모니터링한다. 실험을 위한 전체 구성은 아래 Fig. 1과 같다.

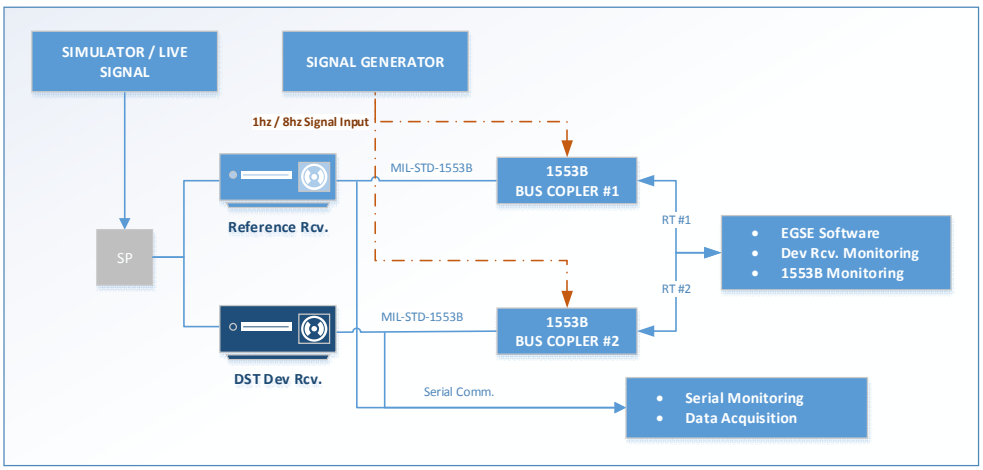


Fig. 1. System configuration.

개발 된 EGSE는 위성항법 신호 시뮬레이터 시나리오를 지정하고, 이를 원격으로 제어하게 되며, 복합 위성 항법 수신기의 인터페이스 시험을 위한 통신 모듈을 지원한다. 또한 복합 위성 항법 프로토콜은 ASCII 형태로 12초마다 출력하며, 1PPS 실시간 데이터 수집을 통하여 통신 오류 및 항법데이터 오류를 검출하게 된다.

2.1 수신기 및 하드웨어, 통신 구성

위성 항법 복합 수신기의 성능 시험 및 환경 시험을 지원하기 위해 저궤도 환경의 위성 항법 모사를 위한 시뮬레이터를 구축하였다.

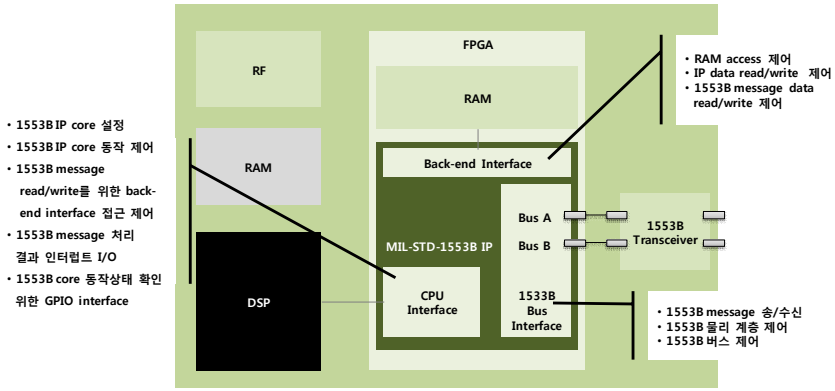


Fig. 2. Dev. EM Rcv. comm. module.

GPS RF 신호는 위성 안테나로 수신, 또는 GNSS Simulator로 생성하며, RF Splitter를 통해 Reference 위성 수신기와 GNSS EM Board로 연결한다. Reference 위성 수신기와 EM Board는 MIL-STD-1553B를 통해 EGSE 서버와 연결되며, rs-422 및 can Serial 포트를 통해 데이터 수집용 서버와 연결된다. EM Board의 통신 모듈 구성은 Fig. 2와 같다.

또한, 시뮬레이터 및 항법 데이터의 신뢰성 높은 비교 분석을 위하여, 각기 다른 제조사의 시뮬레이터 두 대를 이용하였으며, 저궤도 환경의 위성 항법 시뮬레이션을 레코딩 하여, 항법 데이터를 생성하였다. MIL-STD-1553B 프로토콜은 위에서 생성 된 시나리오를 토대로 데이터의 손실이 없게 송신하였으며, MIL-STD-1553B 데이터 검증을 위해 Serial 통신을 이용하여 데이터 로깅이 가능하게 구성하였다.

2.2 EGSE 소프트웨어 구성 및 설계

소프트웨어부는 총 3개 분리되어 있다. 두개의 수신기의 데이터 및 Serial로 출력되는 데이터를 모니터링을 할 수 있는 시리얼 모니터링부, 수신 된 항법 데이터를 50MHz로 저장 및 분석할 수 있는 분석부, Reference 수신기와 EM 수신기의 항법 데이터를 실시간으로 비교할 수 있는 데이터 분석부로 나뉘어져 있으며, 각 소프트웨어는 독자적으로 운용된다.

2.2.1 EGSE(Electrical Ground Support Equipment) Server

EGSE의 사용자 소프트웨어 구성은 수신기의 성능 비교 분석을 위한 문자열 가시화 위주로 구현 하였으며, RT#1(Reference 수신기) 및 RT#2(EM 수신기)의 데이터 로깅을 내부적으로 판단하기 위해 로그 컨트롤러를 배치하였다. 1553B의 TM/CM을 이용하기 위해 Command 생성부와 수신부 모듈을 구성하였으며, 1553B MSG는 CM을 통해 명령을 받으면 원하는 항법데이터를 출력해주는 방식을 사용한다.

EGSE Server의 블록 다이어그램과 구조는 Fig. 3과 같이 구성되어 있다.

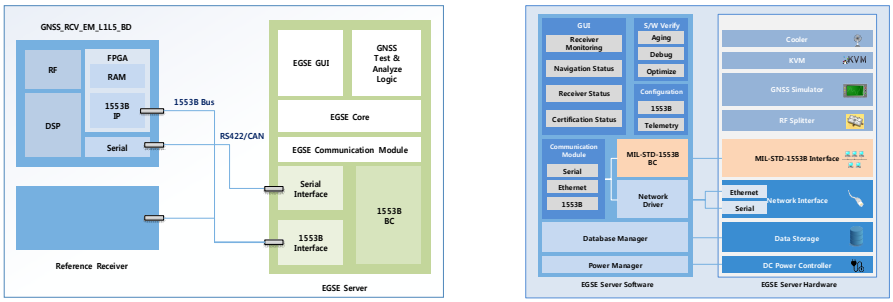


Fig. 3. EGSE server block diagram & struct.

2.2.2 항법 데이터 수집 및 모니터링 소프트웨어

항법 데이터 모니터링부는 저궤도 환경의 위성 항법 시나리오의 항법 데이터를 실시간 모니터링 및 Telemetry Data를 수신하여 상태감시 한다. 시험 시, 실시간 위성 항법 신호의 상태를 감시하고 시나리오 진행 시 간섭신호 유무 판단을 위해 데이터 수신 및 분석 기능을 수행, 위성 항법 Reference 수신기와 항법신호의 상태를 비교한다.

GNSS 위성 정보를 처리, 저장하며 통신 인터페이스를 구성하였으며, 수신기 원시데이터 처리 및 Position, Velocity, Time을 계산한다. 항법데이터 모니터링 부 소프트웨어의 GUI는 Fig. 4와 같이 구성되어 있다.



Fig. 4. RT#1, RT#2 Monitoring software & serial data monitoring.

3. 시스템 통합 미션 시험

3.1 통합 미션시험 개요

통합 미션 시험은 Reference 수신기와 EM 수신기의 시험 데이터를 비교 분석한다. 우주용 시나리오를 이용해 실시간 항법 데이터를 이용하여 모니터링, 및 실시간 비교 검증을 실시하며, 약 30분의 로깅 데이터를 비교 분석하며, 개발 수신기의 정확도와 시나리오의 Reference Data와 비교 검증을 한다.

3.2 통합 미션시험

통합 미션 시험은 RT#1과 RT#2에서 수신 된 데이터를 실시간으로 모니터링 하며, 수집된 데이터를 이용하여 비교분석을 실시하였다. Fig. 4는 실시간으로 수집되는 RT#1과 RT#2의 모니터링 소프트웨어이다.

위성용 시나리오 데이터는 모니터링 소프트웨어를 이용하여 표출되며, 동시에 데이터 수집 소프트웨어를 이용하여 바이너리 데이터를 수집한다. 수집된 로그데이터의 후처리 결과는 Fig. 5와 같이 출력된다.

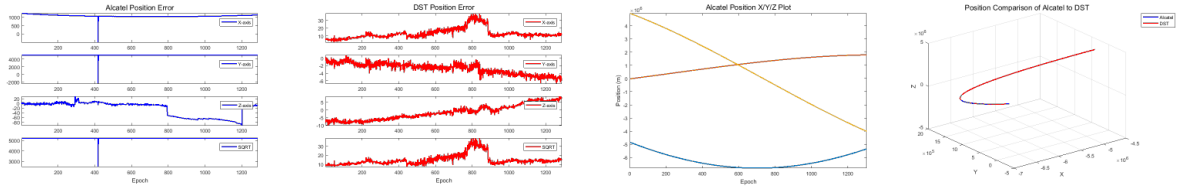


Fig. 5. EGSE integration test result.

4. 결 론

지상 시험 지원 장비가 구축되지 않을 시, 위성 수신기의를 디버깅하여 변경할 수 있을 수 없다. 이러한 이유 때문에 EGSE 시험은 매우 엄격하고 중요하다. 따라서 수신기의 신뢰도 향상은 위성의 매우 중요한 부분을 차지하고 있다.

이에 본 논문의 핵심 사항인 수신기성능 분석을 위하여 MIL-STD-1553B 및 Serial 통신을 이용하였다. MIL-STD-1553B를 이용하여 RT#1, RT#2의 Clock 동기화 시켰으며, 1PPS신호에 따라 두 수신기의 성능 분석을 하였다. EGSE Server를 이용하여 각 프로토콜 별 비교분석에 유연한 실험이 가능하였으며, 수신기 모듈 간 데이터 분석이 용이했다. 이에, 본 논문에서 사용 된 개발 수신기는 Reference 수신기와 비교 했을 때, 위치 오차범위 15m 내, 속도 오차 범위 0.3m/s의 오차를 보였으며, EGSE를 이용하여 만족할 만한 결과를 보였으며, 실시간 데이터의 정상적인 항법해 계산 결과를 얻었다.

향후 본 소프트웨어는 개발되는 수신기 테스트에 매우 중요한 부분을 차지할 것으로 보이며, 타 수신기와의 성능 비교 분석 테스트에 대하여 상당부분 기여할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 과학기술정보통신부가 지원한 '우주핵심기술개발사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다 (과제번호: 2015M1A3A3A03027531).

REFERENCES

Jung, J. H., Ha, J., Kwan, K. H., & Park, S. H. 2017, Receiver Time Division Frame Scheduling and Development of receiver performance analysis S/W Using MIL-STD-1553B in 2017 KSAS Spring Conference, Apr 2017, Samcheok, SB, pp.634-645

다층구조의 삼중대역 GPS 안테나 설계

박진모[1*], 이근희[1], 권기호[2], 박주호[3], 김동호[4]
[1]㈜두시텍, [2]한국항공우주연구원, [3]㈜GT전자, [4]세종대학교

Design of Multi-Layer Triple-Band GPS Antenna

Jin-Mo Park[1], Geun-Hee Lee, Ki-Ho Kwon[2], Joo-Ho Park[3], Dong-Ho Kim[4]
[1]DusiTech Inc., [2]KARI(Korea Aerospace Research Institute), [3]GT Electronics, [4]Sejong University

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 10 로 44-15(탑립동)
연락처 : 042-280-1420 이메일 : pjm@dusi.co.kr

Abstract: 본 논문에서는 독립 패치 적층 구조를 가지는 삼중대역 GPS 패치안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 GPS L1, L2, L5 대역에서 각각 공진하는 3개의 독립 원형 편파 패치를 세라믹 기판에 구현하고 상하 적층 구조를 가지며, Teflon 레이돔을 장착하고 상하 안테나간 패턴 왜곡과 간섭을 최소화하도록 패치의 급전부를 동일한 위치에서 삽입하였다. 설계된 다층구조의 삼중대역 GPS 안테나의 전면 방향 이득은 L1, L2, L5 대역에서 각각 5.3dBi, 4.5dBi, 5.2dBi이며, 축비는 모두 3dBi 이하임을 확인하였고, 또한 제작된 안테나를 상용 위성항법 수신기에 장착하여 실제 GPS 위성 신호를 수신하여 정상적인 항법유무를 확인하였다. 이를 통해 제안된 삼중대역 GPS 안테나가 상용 다중대역 GPS 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

Keywords: multi-band, multi-layer, GPS, patch antenna

1. 서 론

위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)은 위성의 전파를 수신하여 전세계의 모든 지역에서 언제 어디서든지 위치, 속도 및 시간 정보를 얻을 수 있다. 이를 활용하는 항공기, 선박, 자동차와 같은 항체의 항법장치 뿐만 아니라 스마트이나 태블릿 PC를 활용한 개인 항법 장치까지 응용 범위를 넓히고 있고, 항법 및 시각 동기 정보를 필요로 하는 시설이나 군무기 체계에도 다양하게 적용되고 있다, 이와 같이 전파 항법에 대한 수요가 늘어나고, 좀 더 정확한 항법 정보가 요구되어짐에 따라 최근에는 하나의 신호뿐만 아니라 GPS L1, L2, L5 및 GLONASS 신호들을 통합한 다중대역 위성 항법 장치의 개발 및 적용이 확산되어지고 있으며, 이를 수신하기 위한 안테나 또한 소형화, 경량화되면서 단일 안테나로 다중대역 특성을 수신할 수 있도록 요구되어지고 있다(Kim et al. 2013).

GPS L1, L2, L5 신호의 통합 수신을 위한 다중대역 안테나는 각각의 대역별 동작 주파수에 맞도록 공진부에 직접 급전하는 방안과 특정 대역의 공진부에 직접 급전하고 다른 대역의 공진부에 상호 결합 형태로 간접 급전하는 방안 등으로 설계, 제작 가능하다. 본 논문에서는 독립 패치 적층 구조를 갖는 삼중대역 GPS 패치안테나를 설계하였으며, GPS L1 대역의 공진부에 직접 급전하고 GPS L2, L5 대역의 공진부에 간접 급전하는 구조를 설계하였다. 제작된 GPS 안테나의 성능 측정과 함께 상용 위성항법 수신기에 장착하여 실제 GPS 위성 신호를 수신하여 정상적인 항법유무를 확인하였다.

2. 본론

2.1 안테나 설계

본 논문에서 제안된 다층 구조의 다중대역 GPS 안테나는 사각 패치 안테나 형태를 유지하며 각각의 독립 패치 안테나는 GPS 다중대역 구현을 위해 각 패치 안테나에 직간접 급전 구조를 갖도록 설계하였다. Huynh & Lee (1995)과 Gafarov & Salomatov (2010)에서 기술한 내용을 참고하여 최상부에 위치한 패치 안테나는 GPS L1 대역에서 공진하도록 직접 급전하고 하부에 위치한 패치 안테나는 각각 GPS L2, L5 대역에서 공진하도록 두 패치 사이에 상호 결합을 통해 간접 급전하도록 하였다. Fig. 1은 제안된 패치 안테나의 기본 구조와 다중대역 안테나의 적층 구조를 나타낸다. 제안된 안테나의 급전 구조는 각각의 공진 대역에 모두 직간접 급전하기 위하여 최상에서 하부 패치 사이에 위치하고 하단 급전 프로브가 최상위 패치에 직접 연결되고 하부 패치에 직접 연결되지 않는 구조를 갖는다. 상위 기판에는 GPS L1 대역 공진을 위한 패치가 위치하며 하부 기판은 각각 GPS L2, GPS L5 대역에서 공진하는 패치로 구성된다. 안테나는 James & Hall (1989), Pozar & Duffy (1997), Karmakar & Bialkowski (1999)에서 기술한

내용을 참고하여 설계하였으며, 상부, 하부 기판은 유전체 기판 TRF-45(εr = 4.5), RF-35(εr = 3.5)을 적층한 형태로 각 층의 두께는 1.574mm이다.

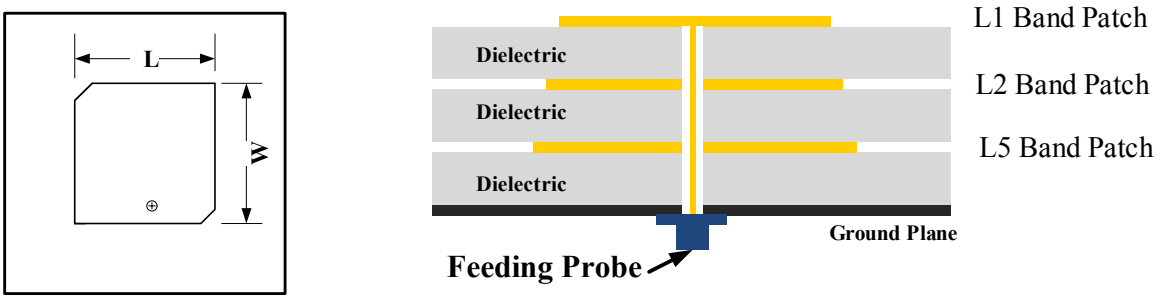


Fig. 1. GPS L1/L2/L5 patch antenna design.

Table 1. Optimized values of the designed GPS antenna.

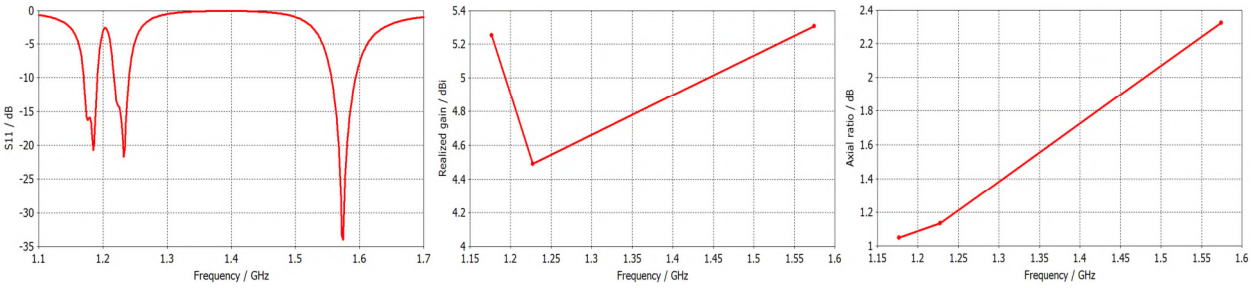
Design Parameters	Design Values	
	L	W
GPS L1(1575.42 MHz)	44.62 mm	44.62 mm
GPS L2(1227.6 MHz)	55.8 mm	55.8 mm
GPS L5(1176.45 MHz)	65.35 mm	65.35 mm

안테나 방사 패치의 최적화된 크기는 GPS L1/L2/L5 대역의 관내 파장을 고려하여 각 주파수 대역에서 $L \approx 0.49\lambda_d = 0.49\frac{\lambda_o}{\varepsilon_r}, W \approx 0.49\lambda_d$ 약 반 파장의 크기를 가지며, 자세한 설계 값을 Table 1에 정리하였다.

안테나 제작에 사용된 기판은 TRF-45, RF-35로 각 층의 두께가 1.574mm가 되도록 하였고, 공진패치는 각 세라믹 기판에 구현하고 정확한 급전 지점 확보와 상하부 기판간 상호 간섭을 최소화하고 분리도 특성을 최대화하기 위해 각 기판의 모서리에 고정 홀을 추가하여 상하부 기판을 적층 하였다.

GPS 안테나의 주파수 범위 GPS L1/L2/L5 다중대역(1.1 ~ 1.6GHz 주파수대역) 사양은 각 동작 주파수 대역에 대하여 Fig. 2의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 반사계수(Reflection Coefficient)가 -10dB 이하를 기준으로 GPS L1(1,575.42MHz)는 -35dB, GPS L2(1,227.6MHz), GPS L5(1176.45MHz)은 대략 -20dB 특성을 보이며, 편파 특성은 원형편파특성으로 축비는 최대 3.0dB 목표로 설계하였다. Fig. 2는 설계된 GPS L1/L2/L5 안테나의 형상과 함께 모의시험 결과를 보여주고 있다.

Fig. 3은 제안된 GPS 안테나의 전면방향 이득에 대한 모의시험 결과를 나타낸다. GPS L1 대역에 대해 x-z 평면에서 5.3dBic, y-z평면에서 5.31dBic 특성을 보여주며, GPS L2 대역에서는 x-z 평면에서 4.49dBic, y-z평면에서 4.49dBic, GPS L5 대역에서 x-z 평면에서 5.25dBic, y-z평면에서 5.25dBic 특성을 확인할 수 있다.



(a) Reflection coefficient (b) Gain(2D) (c) Axis ratio

Fig. 2. GPS L1/L2/L5 antenna simulation results.

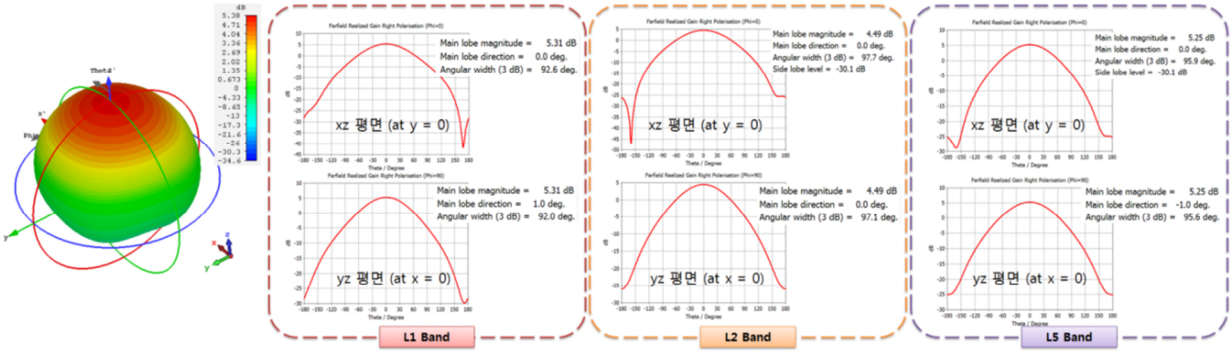


Fig. 3. GPS L1/L2/L5 3D gain.

2.2 안테나 제작 및 측정결과

설계된 안테나의 성능을 검증하기 위하여 제작된 안테나는 TRF-45(εr = 4.5), RF-35(εr = 3.5) 기판을 사용하여 Fig. 4와 같이 GPS L1/ L2/ L5 대역에서 공진하도록 독립 단일 Pach 형태의 안테나로 제작하였고, 상하부 동일 접점을 기준으로 적층시켜 최종 다중대역 안테나를 구현하였다.

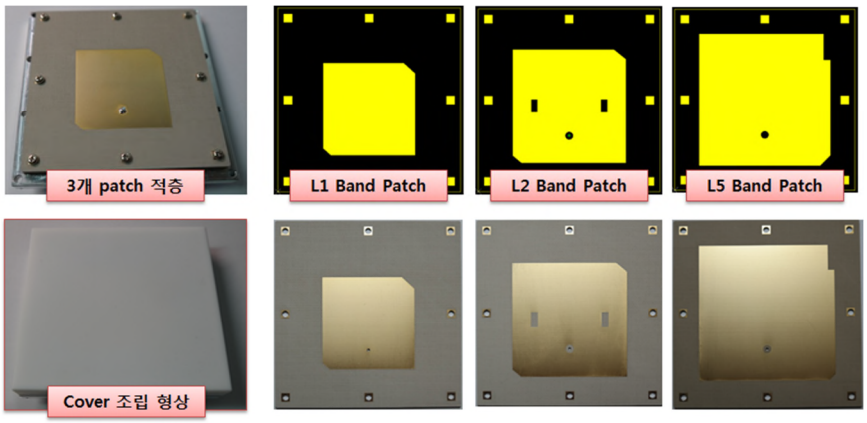
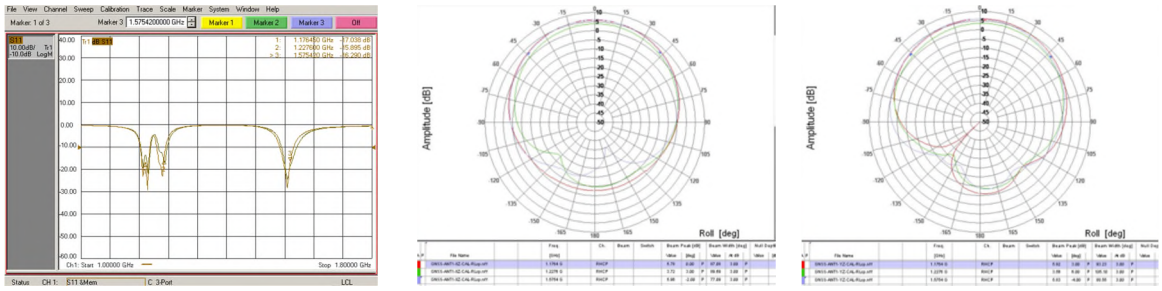


Fig. 4. GPS L1/L2/L5 antenna pattern and fabricated substrates.

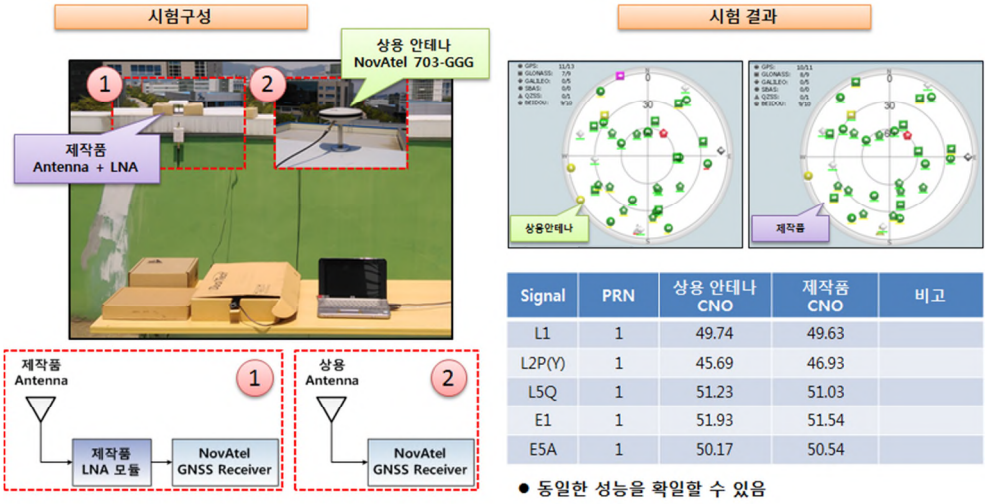


(a) Reflection Coefficient (b) E--plane (c) H-plane

Fig. 5. Test results of GPS L1/L2/L5 antenna.

Fig. 5는 제작된 GPS 안테나의 반사계수와 이득 특성 측정 결과를 나타낸 것으로, 각 중심 주파수대역 GPS L1(1,575.42MHz), GPS L2(1,227.6MHz), GPS L5(1176.45MHz)에서 반사계수 -15dB 이하의 특성을 보여주고 있고 이득 특성은 5dBic 를 나타내고 있다.

제작된 안테나를 상용 위성항법 수신기에 장착하여 실제 GPS 위성 신호를 수신하여 정상적인 항법유무를 확인하였으며, Fig. 6에서와 같이 위성배열 및 신호 레벨의 차이가 상용 안테나와 차이가 없음을 확인하였다. 이를 통해 최종적으로 제안된 다중대역 GPS 안테나가 상용 다중대역 GPS 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.



Signal	PRN	상용 안테나 CNO	제작품 CNO	비고
L1	1	49.74	49.63	
L2P(Y)	1	45.69	46.93	
L5Q	1	51.23	51.03	
E1	1	51.93	51.54	
E5A	1	50.17	50.54	

● 동일한 성능을 확일할 수 있음

Fig. 6. Performance comparison test of GPS L1/L2/L5 antenna and commercial antenna.

3. 결론

본 논문에서는 독립 패치 적층 구조를 활용하여 GPS L1/L2/L5 대역을 포함하는 삼중대역 GPS 패치 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 GPS L1, L2, L5 대역에서 각각 공진하는 3개의 독립 원형 편파 패치를 세라믹 기판에 구현하고 상하 적층 구조를 이루며 상층 패치에 직접 급전 프로브를 연결하고 하부 기판 사이에 상호 결합 특성에 의한 간접 급전 형태로 동작되도록 하였다. 또한 상하 패치 안테나간 패턴 왜곡과 간섭을 최소화하도록 패치의 급전부를 동일한 위치에서 삽입하였다. 설계된 다층구조의 삼중대역 GPS 안테나의 전면 방향 이득은 L1, L2, L5 대역에서 각각 5.3dBi, 4.5dBi, 5.2dBi이며, 축비는 모두 3dBi 이하임을 확인하였고, 또한 제작된 안테나를 상용 위성항법 수신기에 장착하여 실제 GPS 위성 신호를 수신하여 정상적인 항법유무를 확인하였다. 이를 통해 제안된 삼중대역 GPS 안테나가 상용 다중대역 GPS 안테나로 사용 가능함을 확인하였다. 향후 단일 안테나로 다양한 위성항법시스템에 응용하여 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

Gafarov, E. R. & Salomatov, Y. P. 2010, Circular Polarized Dual Band Microstrip Antenna for Application in GLONASS/GPS, Microwave and Telecommunication Technology, 2010 20th International Crimean Conference, 13-17 Sept. 2010 , Sevastopol, Ukraine , pp.571-572. https://doi.org/10.1109/CRMICO.2010.5632454

Huynh, T. & Lee, K.-F. 1995, Single-layer single-patch wideband microstrip antenna, Electron. Lett., 31, 1310-1312. https://doi.org/10.1049/el:19950950

James, J. R. & Hall, P. S. 1989, Handbook of Microstrip Antennas, IEE Electromagnetic Waves Series;28, 393-422, (London: Peter Peregrinus Ltd.)

Karmakar, N. C. & Bialkowski, M. E. 1999, Circularly polarized aperture-coupled circular microstrip patch antennas for band applications, IEEE Trans. Antennas Propag., 47, 933-940. https://doi.org/10.1109/8.774159

Kim, H.-Y., Byun, G.-I., Son, S.-B., & Choo, H.-S. 2013, Design of a Dual-Band GPS Array Antenna, The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 24, 678- 685, https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2013.24.7.678

Pozar, D. M. & Duffy, S. M.1997, A dual band circularly polarized aperture coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite, IEEE Trans. Antennas Pro- pag., 45, 1618-1625. https://doi.org/10.1109/8.650073

재밍 신호가 직접 RF 표본화 GNSS 수신기의 성능에 미치는 영향

최종원[1*], 홍석준[1], 이민준[2], 박찬식[1], 서보석[1]
[1]충북대학교 전자정보대학, [2]국방과학연구소

Effects of Jamming Signal on the Performance of a Direct RF Sampling GNSS Receiver

Jong-Won Choi[1*], Seokjun Hong[1], Minjun Lee[2], Chansik Park[1], Bo-Seok Seo[1]
[1]Collage of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National University, [2]Agency for Defense Development

주소 : 충북 청주시 서원구 충대로 1
연락처 : 043-261-3267 이메일 : cjw442@cbnu.ac.kr

Abstract: 이 논문에서는 재밍 신호가 직접 Radio Frequency (RF) 표본화 Global Navigation Satellite System (GNSS) 수신기의 성능에 미치는 영향에 대해서 서술한다. 아날로그 변조 신호를 RF 대역으로 방사하여 GNSS 신호와 결합된 환경을 구성하고 직접 RF 표본화 수신기로 GNSS 신호를 수신한다. 발생한 재밍 신호는 Continuous Wave (CW), Analog Modulation (AM), Frequency Modulation (FM) 및 Phase Modulation (PM) 신호이고 Jamming to signal power ratio (JSR)을 0부터 60dB까지 증가한다. 신호 전력을 증가시키면서 각 신호가 직접 RF 표본화 GNSS 수신기의 신호 취득, 추적부분에서 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다.

Keywords: direct RF sampling, GNSS, jamming, performance

1. 서 론

GNSS는 신뢰할 수 있는 위치 정보 제공 기능을 가지고 있으며 이를 이용한 응용 프로그램들이 상용화되고 있다. GNSS 기반 기술은 기본적으로 위치 정확도를 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라 위협 신호에 대해 적절한 대응을 할 수 있어야 한다. GNSS 신호는 고도 약 10,800 km 위에서 방사되며 수신기에서 측정할 시 잡음 아래에 묻혀 있을 정도로 전력이 낮다. GNSS 신호의 전력이 낮음에도 불구하고 신호를 수신할 수 있는 이유는 GNSS 시스템이 대역확산 방식을 사용하기 때문이다. GNSS 위성에 해당하는 Pseudo Random Noise (PRN) 코드의 복제 코드와 수신한 위성 신호 사이에서 상관을 취하여 신호의 도플러 주파수와 코드 지연값을 취득하고 이를 Phase Locked Loop (PLL)과 Delay Locked Loop (DLL)에서 추적한다. 하지만 대역 확산을 사용하여 넓게 깔려있는 잡음에 대해서는 강인할 수 있으나 의도적이거나 의도하지 않은 간섭 신호에 매우 취약하다. 이 때, 의도적인 간섭 신호를 재밍 신호라고 하는데 재밍 신호가 GNSS 수신기에 미치는 영향을 분석한 연구가 이루어지고 있다. Deshpande (2004)는 아날로그 변조 신호가 상용 GPS 수신기에 미치는 영향을 분석하였으며, Borio et al. (2016)은 상용 GPS 재머와 수신기에 미치는 영향을 분석하였다.

재밍 신호는 GNSS 수신기의 각 단계마다 다른 영향을 끼친다. 첫 번째로, Front-end의 AGC 단계와 ADC 직후 단계에 미치는 영향이 있다. 재밍 신호가 존재할 때, Automatic Gain Control (AGC)에서는 들어오는 신호를 압축하고 ADC의 동적 구간과 맞춘다. 이 과정에서 GNSS 신호의 진폭이 감소되고 신호 사용이 불가능해질 수도 있다. ADC 직후에는 AGC에서 이미 입력 신호를 압축하였기 때문에 양자화 단계가 낮아지며 표본화 이후 신호 처리 단계에서 양자화 단계가 낮은 신호를 처리하게 한다. 마지막으로, 취득 및 추적 단계에서는 위성 취득을 어렵게 하며 측정한 의사 거리에 직접적인 영향을 미친다. 특히, 간섭 신호는 수신기의 상관 이후 반송파 대 잡음 밀도 비율인 C/N0 에 영향을 미치며, 여기서 N은 간섭 신호를 포함하는 잡음을 나타낸다. 이는 측정 및 위치 정확도에 직접적으로 영향을 미치며 수신기가 위성 신호를 완전히 잃어버리게 할 수 있다.

이 논문에서는 일반적인 GNSS 수신기가 아닌 직접 RF 표본화 GNSS 수신기에 재밍 신호가 미치는 영향을 알아보고자 한다. 직접 RF 표본화 수신기는 안테나와 증폭기만을 거친 RF 대역의 수신신호를 직접 표본화하여 복조한다. 1 GHz 이상의 높은 표본화 주파수로 표본화 하며 표본화 이후 신호 처리는 모두 Personal Computer (PC) 또는 Digital Signal Processor (DSP)에서 한다.

이 논문에서는 재밍 신호가 방사되는 전파 환경을 구성하고 재밍 신호의 형태에 따른 GNSS 직접 RF 표본화 수신기에 미치는 영향을 알아본다. 2장에서는 직접 RF 표본화 수신기의 설계 조건과 구조에 대해 서술하고, 3장에서는 실험 환경과 실험 조건에 대해 설명하고, 4장에서는 재밍 신호의 형태가 신호 취득, 추적에 미치는 영향을 결과로 나타내고, 5장에서 결론으로 마무리한다.

2. 직접 RF 표본화 수신기의 설계 조건

직접 RF 표본화 수신기는 1차적으로 안테나의 대역폭 특성에 의해 대역통과 여파가 된 신호를 수신한다. 이후 Low Noise Amplifier (LNA)에서 신호를 증폭하고 ADC에서 표본화 한다. 표본화 이후의 모든 과정은 PC 또는 DSP에서 이루어진다. 이 장에서는 수신기의 구조와 디지털 신호 처리 과정에 대해 서술한다.

직접 RF 표본화 수신기는 Vaughan et al. (1991)의 통과대역 신호의 표본화 정리를 이용하므로, 표본 신호의 스펙트럼이 서로 겹치지 않게 하는 것이 중요하다. 이를 위해 몇 가지 조건을 만족하는 표본화 주파수를 계산해야 한다. Akos (1999)에서 GPS 신호를 수신하기 위해서 처음으로 이 수신기를 사용하였는데 이 때는 앨리어싱을 피하기 위하여 표본화 주파수를 선택하는 것이 주요한 논점이었다. 그러나 현재는 ADC와 PC의 성능이 향상하여 높은 표본화 주파수를 사용하고 이후 디지털 신호 처리를 사용하는 방법이 많아지고 있다. 저자는 Choi & Seo (2016)의 다중대역 GNSS 직접 RF 표본화 수신기를 기본으로 하고 1 GHz의 높은 표본화 주파수를 적용하였다. 실험에 사용한 직접 RF 표본화 수신기의 구조는 Fig. 1과 같다. 수신기는 안테나, 저잡음 증폭기 및 AD 변환기의 아날로그 장치 부분과 대역통과 필터, 간축 및 Digital Down Converter (DDC)를 다루는 디지털 신호 처리 부분으로 구성된다. 이 수신기는 다중대역 GNSS 신호를 수신하지만 이 논문에서는 GPS L1 신호만 수신하며 항법 데이터 추출은 다루지 않는다. 수신기의 AD 변환기로는 TI사의 AD 변환기 개발 보드인 ADC12J4000EVM과 데이터 수집 보드로 TSW14J56을 사용하였다.

디지털 신호 처리 부분에서는 두 번의 간축과 간축 직전에 사용하는 대역통과 필터 그리고 DDC를 통해 IF 대역 신호로 변환한다. AD 변환기에서 표본화한 신호는 표본화 주파수를 1 GHz로 사용하여 이후 신호 처리 부분에서 계산량이 많기 때문에 때문에 첫 번째 간축을 통해 표본화 주파수를 낮춘다. 첫 번째 간축 이전에 디지털 대역통과 필터를 사용하였다. 첫 번째 간축 이후 DDC를 통해 반복 스펙트럼이 중첩하지 않도록 대역의 위치를 옮겨준 후에 대역제한을 위해 두 번째 간축을 한다. 이 때, 두 번째 필터의 중간주파수는 최종 IF 대역 신호의 주파수가 된다.

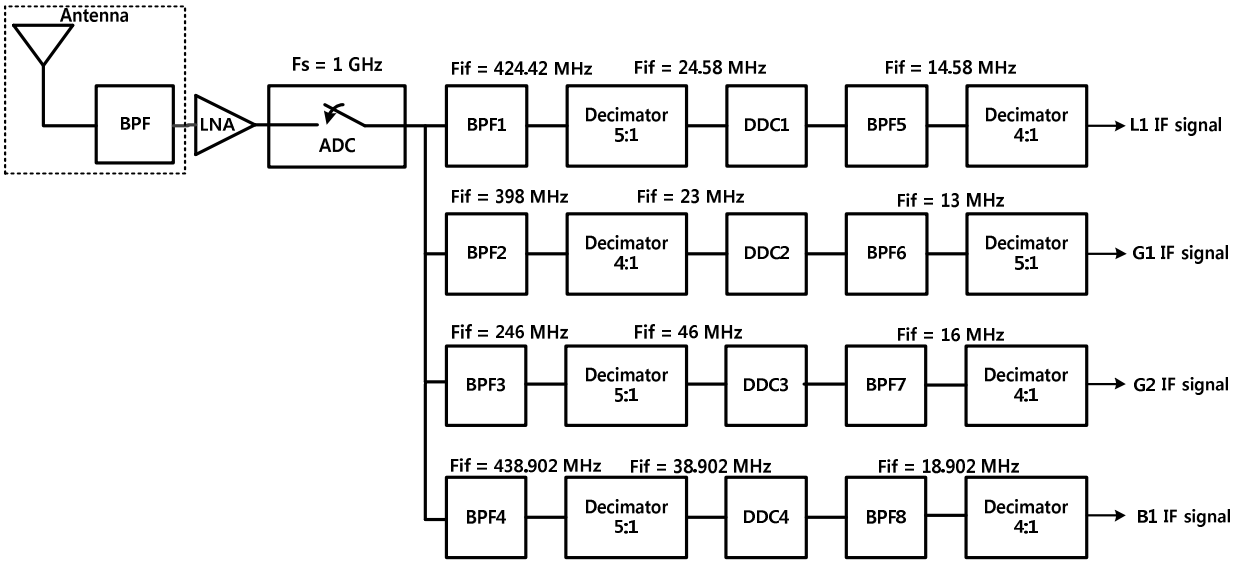


Fig. 1. A structure of direct RF sampling GNSS receiver.

3. 재밍 실험 환경과 실험 조건

재밍 신호가 들어오는 환경을 완벽하게 구성하려면 재밍 신호를 IF 대역에서 입력하지 않고 RF 대역에서 GNSS 신호와 함께 수신을 해야 한다. Fig. 2는 재밍 신호 실험 환경 구조이다. 재밍 신호 발생 소프트웨어에서 재밍 신호를 발생하여 USRP를 통해 GPS L1 대역으로 발생한 신호를 송출한다. 송출한 신호는 GPS L1 신호와 함께 RF 대역에서 결합되어 직접 RF 표본화 수신기에서 수신한다. 이후 AD 변환기에서 표본화하여 표본화한 RF 신호는 PC에서 디지털 신호 처리 부분을 수행한 후 디지털 IF 대역 신호로 변환된다. 디지털 IF 대역 신호는 이후 신호 취득과 추적을 진행한다.

재밍 신호는 USRP에서 발생하였으며 발생한 신호는 CW, AM, FM 및 PM 신호이다. 모든 발생 신호는 GPS L1 대역의 중심주파수인 1575.42 MHz의 중심주파수를 가지며 각 신호마다 전력 이외의 파라미터는

고정하였다. 모든 변조 신호의 메시지 신호는 1 kHz의 사인파형을 사용하였다. 이후 AM 신호의 변조 지수는 100%로 고정하였으며 FM 신호의 주파수 편차를 1 MHz로 고정하였다. 마지막으로 PM 신호의 위상 편차는 10°를 사용하였다. 그 후 변조 신호의 전력을 감쇠기로 조절해가며 변조 신호의 형태마다 신호 취득과 추적에서 어떠한 영향을 미치는지 관찰하였다.

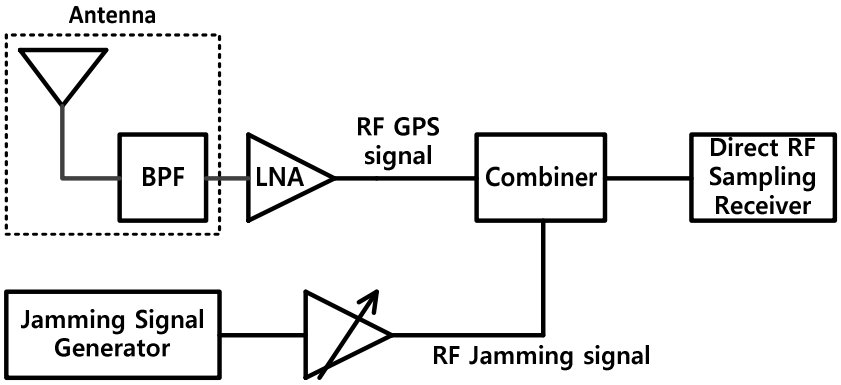


Fig. 2. Jamming signal experiment environment.

4. 재밍 신호의 형태에 따른 신호 수신 성능

발생시킨 각 변조 재밍 신호의 전력 변화에 따른 직접 RF 표본화 수신기에서의 신호 취득과 추적에 미치는 영향을 결과로 나타낸다. 획득한 신호는 2017년 9월 15일 오후 2시에 측정하였고 CW, AM, FM 그리고 PM 신호를 발생하여 GPS L1 신호와 각각 결합하여 수신하였다. Fig. 3은 각 재밍 신호의 전력에 따른 취득한 GPS L1의 위성 개수를 그래프로 나타낸 것이다. 신호 취득의 임계치는 3으로 하였고 취득 구간은 -7 kHz에서 7 kHz까지 500Hz 구간으로 취득하였다. 실험 결과, CW, AM 그리고 PM 신호는 신호 전력이 -80 dBm에서도 수신이 되는 반면에 FM 신호는 -80 dBm에서 신호를 취득하지 못했다. 이는 FM 신호가 GPS 수신기의 상관기에 더 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 말한다.

Fig. 4는 각 재밍 신호의 전력에 따른 C/N0 값을 그래프로 나타낸 것이다. -130 dBm에서 -70 dBm까지 신호 전력을 증가시키면서 계속 추적이 되는 GPS 위성에 대해 C/N0 값을 측정하였다. CW, AM 그리고 PM 신호의 경우 -100 dBm까지 일정한 C/N0 값을 보이다가 이후 30 dB-Hz 즈음으로 떨어지는 모습을 보였다. FM 신호는 -110 dBm부터 떨어지는 모습을 보이는데, 이는 주파수 편차가 큰 FM 신호의 대역폭이 다른 신호보다 크기 때문에 추적 과정에서 잡음이 증가한 것을 뜻한다.

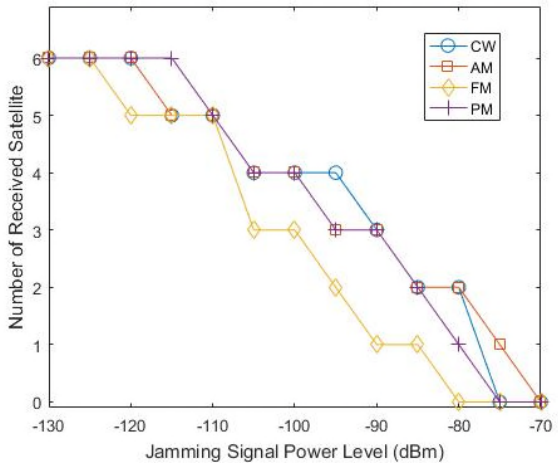


Fig. 3. Number of received satellites.

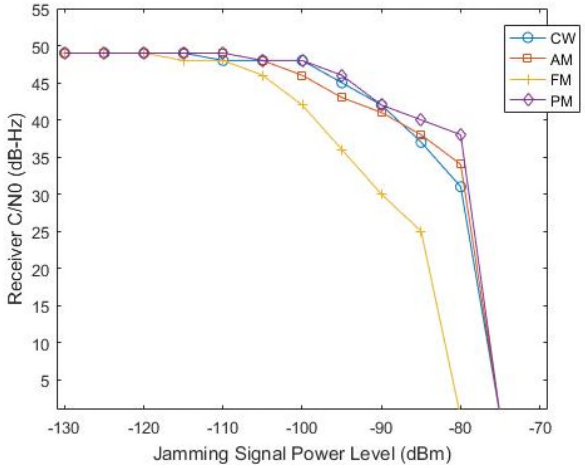


Fig. 4. C/N0 of jamming signals.

5. 결론

이 논문에서는 직접 RF 표본화 GNSS 수신기에 아날로그 변조된 재밍 신호가 신호 취득과 추적에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 실험 결과, 주파수의 변화폭이 적은 CW, AM 및 PM 신호보다 FM 신호

가 취득과 추적 모두 영향을 더 크게 주는 것으로 나타났다. FM 신호의 경우 주파수가 변하는 범위에 따라서 대역폭 또한 증가한다. 그래서 상관기에서는 주파수의 변동이 크기 때문에 상관값의 피크가 여러 개 생기고, 대역폭이 증가하여 수신기에 들어가는 잡음이 다른 신호들보다 많아 추적에 어려움을 준다. 이 논문에서는 신호 전력 외의 파라미터를 고정시키고 실험을 하였으나 차후에는 어떤 변조 파라미터가 수신기에 더 큰 영향을 주는지 알아보고, 각 재밍 신호에 대한 재밍 완화 기술을 적용하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Akos, D. M. 1999, Direct bandpass sampling of multiple distinct RF signals, IEEE Trans. on Communications, 47, 7, 983-988

Borio, D., Dovis, F., Kuusniemi, H., & Presti, L. L. 2016, Impact and Detection of GNSS Jammers on Consumer Grade Satellite Navigation Receivers, Proceedings of IEEE. Invited Papers, 104, 8, 1233-1245

Choi, J. W. & Seo, B. S. 2016, Design and Performance of a Direct RF Sampling Receiver for Simultaneous Reception of Multiband GNSS Signals, JBE, 21, 803-815. https://doi.org/10.5909/JBE.2016.21.5.803

Deshpande, S. 2004, Modulated Signal Interference in GPS Acquisition, Proceedings of ION GNSS, 21-24, Sep. 2004, Long Beach, CA, USA

Vaughan, R. G., Scott, N. L., & White, D. R. 1991, The theory of bandpass sampling, IEEE Trans. on Signal processing, 39, 1973-1984. https://doi.org/10.1109/78.134430

GPS 동시관측을 이용한 실시간 시각전송 동기기법 개발

김경수[1], 윤상준[1*], 김산해[2], 송규하[2]
[1]넵코어스㈜, [2]국방과학연구소

Development of Real-time Time Transfer and Synchronization Method Using GPS Common-View

Kyoung-Su Kim[1], Sang-Jun Yun[1*], San-Hae Kim[2], Kyu-Ha Song[2]
[1]Nacours Co., Ltd., [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6(관평동 713)
연락처 : 042-363-9170 이메일 : sjyun@navcours.com

Abstract: GPS 수신기와 원자시계를 이용하여 GPS Common-View 시스템을 구현하고, IP를 기반으로 하는 시각전송 망을 구축하여 주국(Master Station)의 시각을 종국(Slave Station)에 실시간으로 전달하는 방안을 개발하였다. 주국의 시각을 다수의 종국에서 실시간 동기를 유지하기 위해서 칼만필터를 이용하여 동기 오차를 추정하고 이 추정오차 값을 바탕으로 PI형태의 시각 추적 루우프를 구현하여 원자시계를 제어하여 실시간 시각동기를 구현하였다. 또한 주국으로부터 시각전송을 위한 측정치가 수십 초의 지연을 갖고 종국으로 전달될 경우 문제점을 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 검토하고 이때 동기 안정도를 유지하기 위한 요구조건을 도출하였다.

Keywords: time and frequency transfer, disciplined oscillator, common-view, GNSS-CVDO, GPS-CVDO

1. 서 론

Global Navigation Satellite System (GNSS)을 이용한 시각분야를 고려함에 있어서 각각의 GNSS의 신호체계는 상이하지만 Positioning, Navigation, Timing (PNT)를 구현하는 기본 원리는 동일하게 시스템에 적용될 수 있으므로 본 논문에서는 대표적으로 Global Positioning System (GPS) 동시관측을 이용한 시각동기 기법을 다루었다(Yun et al. 2011, 2012).

본 논문에서 제시하는 GPS Common-View Disciplined Oscillator (GPS-CVDO)는 GPS 수신기의 구조를 그대로 활용하였으며, Lombardi & Dahlen (2008)가 제시한 구조와 달리 별도의 시간계수기를 사용하지 않음으로써 시각전송에 수반되는 GPS수신기에서 기인하는 오차 요인을 배제 하였다. 제시한 GPS-CVDO는 GPS-CV로 측정한 오차가 0이 되도록 비례적분 제어기로 루비듐 국부 발진기의 주파수를 정밀 제어한다.

GPS 수신기와 원자시계(루비듐)을 이용하여 GPS 동시관측 시각동기 시스템을 구현하였고 시각데이터를 다수의 종국으로 전송하기 위해 Internet Protocol(IP)을 기반으로 하는 시각 전송망을 구축하였다. 또한 GPS-CVDO 시각 동기망에서 시각의 기준이 되는 주국으로부터 측정치가 수십초의 지연을 갖고 종국으로 전달될 경우와 비정상 수신되는 위성의 데이터를 CV에 사용하는 경우의 문제점등이 시스템 운용시 성능저하를 유발하였다. 정량적 분석을 위하여 GPS-CVDO 시스템의 모델을 만들고 시뮬레이션을 하여 유효성 검증을 하였다. 본 논문에서는 지연 시간에 따른 성능저하를 시뮬레이션으로 확인할 수 있음을 보여주었다.

2. GPS CV를 이용한 시각전송 시스템 구성

2.1 GPS Common-View 기반 시각동기

GPS-CV 시각동기화 시스템은 동일한 GPS 위성 신호를 사용하여 이격간 시각차를 측정하는 방식으 Fig. 1과 같이 구성된다. 다음은 GPS 측정치를 토대로 시각차를 구하는 수식이다(Imae et al. 2004).

$$T_A = \frac{1}{C}\sqrt{(x-x_A)^2+(y-y_A)^2+(z-z_A)^2} + \text{GPS time - clock A} \quad (1)$$

$$T_B = \frac{1}{C}\sqrt{(x-x_B)^2+(y-y_B)^2+(z-z_B)^2} + \text{GPS time - clock B} \quad (2)$$

$$\Delta AB = \text{clock A} - \text{clock B}$$
$$= \frac{1}{C}\left(\sqrt{(x-x_A)^2+(y-y_A)^2+(z-z_A)^2} - \sqrt{(x-x_B)^2+(y-y_B)^2+(z-z_B)^2}\right) + (T_B - T_A) \quad (3)$$

안테나 좌표 P_A와 P_B는 측지된 좌표이고, P_s는 GPS 위성의 좌표이며, C는 빛의 속도이다. P_A와 P_B 위치 각각의 시각은 식 (1)과 (2)이며 두 지점 A-B의 시각차는 식 (3)이다.

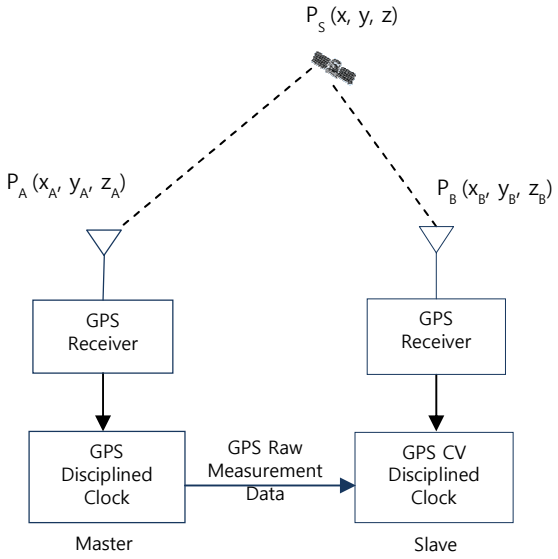


Fig. 1. GPS common-view time transfer.

2.2 Real Time GPS Common-View 시스템 구현

Fig. 2의 GPS 수신기에서 루비듐 원자시계로부터 10MHz 기준 신호를 수신기에 인가 후 수신기에서 만들어지는 1PPS 시각 신호를 기준으로 측정한 GPS 원시 측정치 데이터를 Processor Board에서 주국/종국 설정상태에 따라 1초 단위로 Ethernet을 통해 데이터를 송/수신 하며 해당 GPS-CV 결과를 매초 출력한다.

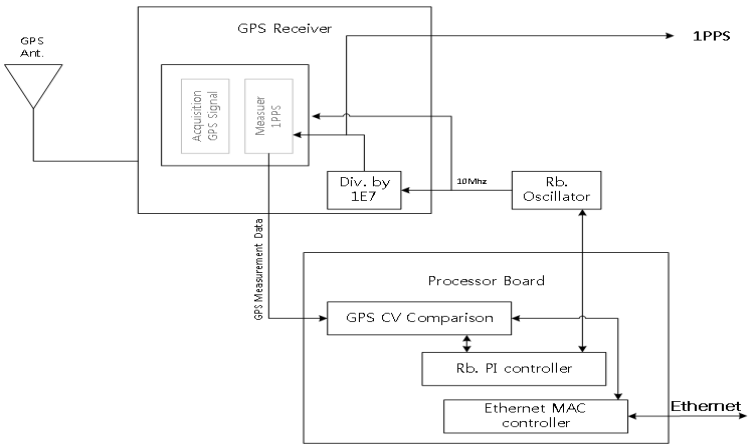


Fig. 2. GPS common-view system structure.

3. GPS-CVDO 시험

3.1 GPS-CVDO 시각전송 시험 구성

GPS Common View 시스템은 External 10MHz 주파수 입력이 가능한 Novatel사의 OEM-V2 수신기를 사용하였다. Fig. 3과 같이 시험을 구성 하였다. 각 시스템의 기준 시계로 MicroSemi사의 CsIII Model 4310B 세슘 원자 시계를 사용 하였고 실제 시각차를 측정하기 위해 시간 계수기(Time Interval Counter)로 측정 하였고 이때 연결 케이블은 동일한 길이로 하여 케이블 지연 오차를 배제하였다. 시각 전송 시험은 1초 단위로 GPS L1 신호 측정치만 사용하여 수행하였다. Fig. 4는 Master와 Slave간 TIC 측정치와 GPS-CVDO의 그래프이다.

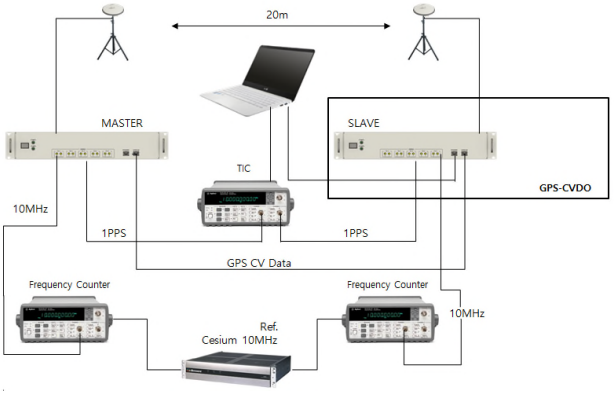


Fig. 3. GPS-CVDO test setup.

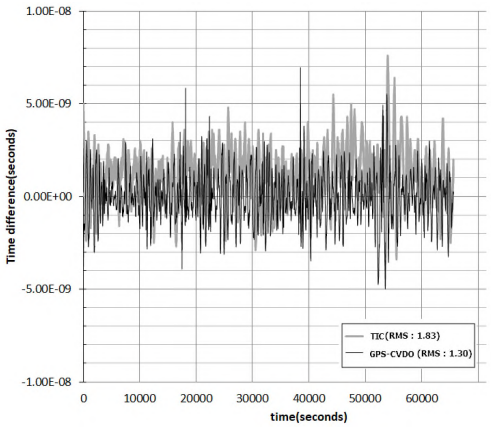


Fig.4. Time difference of TIC & GPS-CVDO.

3.2 GPS-CVDO 시험 결과

시각 전송시험은 약 18시간 동안 수행하였으며, Fig. 3에서 GPS 시각전송을 통한 주국(Master)와 종국(Slave)의 시각오차 비교치와 계측기를 이용한 시각오차 측정치를 비교하였다. 본 측정결과는 후 처리를 한 것이지만 IGS의 후처리 정보를 사용한 것이 아니므로 1초 간격으로 실시간 측정한 결과와 동일한 것으로 간주할 수 있다. Table 1은 시간계수기(TIC)의 측정치와 GPS CVDO의 계산치를 비교한 결과이다.

Table 1. GPS-CVDO test result.

	TIC (ns)	GPS-CVDO (ns)
RMS	1.83E-09	1.30e-09
Average	1.25E-09	2.48E-11
Min	-3.40E-09	-6.95E-09
Max	7.60E-09	5.00E-09

3.3 GPS-CVDO 시험 분석

TIC와 GPS-CVDO의 측정 동기가 정확하게 일치하지 않으므로 측정 차이가 발생하지만 RMS 차이는 4.7E-10(ns)으로 GPS-CVDO의 시각동기 측정은 TIC와 동일한 것으로 간주 할 수 있다.

4. GPS-CVDO 시스템의 모델링

Ethernet으로 구성된 시각동기망에서 Master가 상태에 따라 GPS 원시 측정치 데이터의 전송 주기를 변경할 경우, Slave 시각 대비 과거의 데이터를 수신하게 된다. 데이터 전송 지연 모델링을 통해 GPS 원시 측정치 데이터의 효율적인 전송 주기 추정과 제어를 시뮬레이션 하였다. GPS 원시 측정치 데이터 획득을 위해 Fig. 3의 시험환경에서 zero base line 시험환경을 구성하였고 Master의 GPS 원시측정치 데이터/10MHz, Slave GPS 원시측정치 데이터/10MHz, Master to Slave 1PPS Time Interval 을 획득 하였다. 데이터 획득시 Slave는 시각동기 제어하지 않았다. Master와 Slave의 측정된 10MHz 상대주파수의 차이는 약 5.5E-10 차이를 보였다(Fig. 5). 획득된 데이터를 바탕으로 전송지연에 따른 CV 결과의 RMS는 Fig. 6이다. 내부 제어 방식의 변화가 없음에도 전송 주기가 커질수록 RMS 값은 증가하는 양상을 보였다.

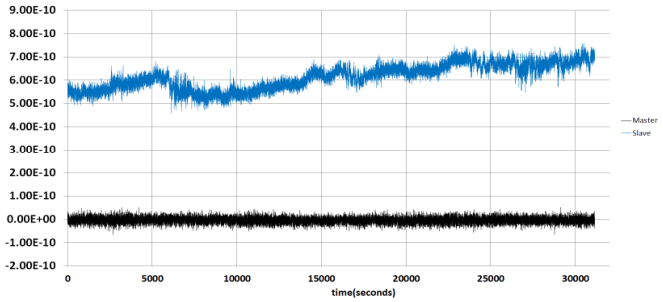


Fig. 5. Master & Slave 10MHz accuracy.

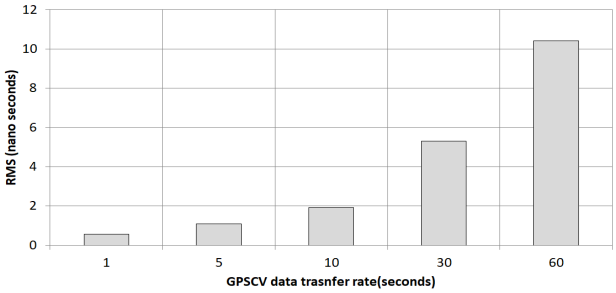


Fig. 6. Simulation result of GPS-CVDO modeling.

5. 결 론

본 논문에서는 GPS-CV 시각전송 망을 구현하였고 시각전송에 있어서 GPS 원시 측정치 데이터 전송 주기가 동기 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 GPS-CVDO를 모델링 및 시뮬레이션 하였다. GPS 수신 등 외부 환경적인 오차요인에 대해서는 고려되지 않았다. 본 논문에서는 GPS-CVDO 모델링 및 시뮬레이션을 통해 종국의 동기 성능을 결정할 수 있는 주국의 데이터 전송 주기와 제어 매개변수의 범위를 추정하였다. 추후 연구과제로는 주국과 종국의 비주기적인 측정치 전송 환경을 반영하고, GPS 측정치와 GPS 반송파 측정치 추가 및 원자시계 대비 저사양인 OCXO급의 국부발진기를 모델링하고 시뮬레이션하여 시각동기망 구축전에 동기 정확도를 예측 하는 방안을 제시 하겠다.

REFERENCES

Imae, M., Suzuyama, T., & Hongwei, S. 2004, Impact of satellite position error on GPS common-view time transfer, Electronics Letters, 40, 709-710. http://ieeexplore.ieee.org/document/1302823/

Lombardi, M. A. & Dahlen, A. P., 2008, Locking a Rubidium Oscillator to A Remote Time Scale Using Real-Time Common-View Gps Measurements, Proceedings of the 40th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, December 1-4, 2008, Reston, Virginia, USA, pp.527-542.

Yun, S.-J., Lee. S.-I., Park, B.-K., & Song, K.-H. 2011, Error Analysis on GPS Common-View Time Transfer: I, The 18Th GNSS WORKSHOP, 3-4 Nov. 2011, Jejuo, Korea.

Yun, S.-J., Lee. S.-I., Park, B.-K., & Song, K.-H. 2012, Error Analysis on GPS Common-View Time Transfer: II, KGS Conference, 8-9 Nov. 2012, Jejudo, Korea, p.42

구면좌표계와 직교좌표계 상 eLoran 측위방법의 시뮬레이션 기반 성능 비교

김영기*, 황태현, 서기열, 김동현
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Simulation based Performance Comparison of eLoran Positioning Method in Spherical Coordinate System and Cartesian Coordinate System

Youngki Kim*, Tae Hyun Fang, Kiyeol Seo, Don Kim
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO)

주소 : 대전시 유성구 유성대로 1312 번길 32
연락처 : 042-866-3676 이메일 : ykkim@kriso.re.kr

Abstract: eLoran 시스템은 GNSS에 비하여 전파간섭에 강인한 것으로 알려져 있다. 이러한 장점을 활용하여 복합항법의 성능향상을 목표하는 연구가 많이 진행되고 있다. eLoran은 본래 수평위치만 제공하는 시스템이기 때문에 eLoran 데이터를 가지고 3차원 직교좌표계 상에서 최소제곱방법으로 위치를 측정하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 가정이 위치 측정에 미치는 영향의 크기를 가늠하기 위한 시뮬레이션을 구상하고 수행하였다. 그 결과, PF, SF, ASF 없이 각 측정치가 평균 0m, 표준편차 6m의 정규분포를 따르는 오차를 가지고, HDOP이 1.1875 인 상황에서 3차원 직교좌표계 상 위치측정 결과는 구면좌표계 상 위치측정 결과에 비하여 약 1.2m (2DRMS) 더 정밀하지 못 한 것을 확인하였다.

Keywords: eLoran, positioning, vincenty, Gauss mid-latitude

1. 서 론

eLoran 시스템은 Global Navigation Satellite System (GNSS)에 비하여 전파간섭에 강인한 것으로 알려져 있다. 이러한 장점을 활용하여 복합항법의 성능향상을 목표하는 연구가 많이 진행되고 있다. 또한, eLoran 시스템을 이용한 항법은 GNSS에 비하여 협소한 범위 내에서만 활용이 가능하기 때문에 일반 사용자를 위한 eLoran 수신기는 eLoran 단독항법이 아닌 eLoran/GNSS 복합항법을 지원할 것으로 예상한다.

eLoran 시스템을 복합항법에 활용하기 위해서는 두 가지 특징이 고려되어야 한다. 첫 번째 특징은 eLoran 신호가 지표면을 따라 전파되기 때문에 eLoran 신호에 대한 Time of Arrival 측정치는 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 3차원 직교좌표계 상의 직선거리가 아닌 구면좌표계 상에서의 직선거리를 의미하며, 이 측정치는 3차원 직교좌표계 상에서는 곡선거리가 된다는 점이다. 두 번째 특징은 eLoran 시스템의 데이터 방송을 위해서 Eurofix와 9th pulse 방식이 제안되었는데, 이들 데이터 포맷은 송신 안테나의 고도는 고려하지 않고 위도와 경도만을 방송하도록 설계되었다는 점이다. 즉, eLoran 측정치와 GNSS 측정치를 함께 활용하여 위치를 측정하기 위해서, GNSS는 3차원 위성위치와 직선거리 측정치를 제공하고 eLoran은 2차원 송신국 위치와 곡선거리 측정치를 제공한다는 점이 고려되어야 한다. 이와 관련하여 Song et al. (2011)은 eLoran과 GPS의 통합 항법 알고리즘에 대한 연구를 수행한 바 있다.

본 논문에서는 3차원 직교좌표계 상에서 최소제곱방법으로 eLoran 데이터를 이용하여 위치를 측정하기 위해서 어떠한 가정이 필요한지 살펴보고 이러한 가정이 최종적으로 계산된 사용자의 수평위치 정확도에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하고자 한다. 이를 위하여 시뮬레이션 실험을 구상하고 수행한다. 다음으로 구면좌표계 상에서의 최소제곱방법과 3차원 직교좌표계 상에서의 최소제곱방법을 이용하여 위치를 측정하고 그 성능을 분석한다. 최소제곱방법을 이용한 위치 측정은 몇 가지 구면거리 계산방법을 이용하여 각기 수행한다.

2. 시뮬레이션 실험

eLoran은 여러 송신국에서 송신한 신호를 사용자의 수신기가 받아 해석함으로써 각 송신국의 위치와 해당 송신국과 수신기 사이의 거리 측정치 데이터를 획득하고 이 데이터를 이용하여 위치를 측정하는 시스템이다. 이와 같이, 본 시뮬레이션 실험은 수신기로부터 획득한 송신기의 위치 및 거리 측정치를 모사한 데이터를 생성하는 부분과 생성된 데이터를 여러 거리계산 방법 및 위치측정 방법에 활용하는 부분으로 구성된다. 최종적으로는 여러 방법을 이용하여 측정된 위치에 포함된 오차의 크기를 서로 비교한다.

2.1 송신국 위치 및 거리 측정치 데이터 생성

송신국의 수는 3차원 직교좌표계 상에서 위치를 계산하기 위하여 4점으로 정하였다. 먼저, 4점의 송신국과 1점의 수신기의 위치를 정하고 그 사이의 구면거리를 구하였다. Table 1은 생성한 송신국 4점의 송신국 위치와 수신기의 위치 그리고 송신국과 수신기 사이의 구면거리 측정치를 나타낸다. 구면거리를 구하기 위해서는 WGS84 기준 타원체를 고려한 Vincenty 방법을 이용하였다. 계산된 구면거리를 송신기와 수신기 간 구면거리의 참 값으로 정하고 평균 0 m, 표준편차 6 m의 정규분포를 따르는 오차를 인가하였다.

송신국과 수신기 사이의 HDOP은 1.1875였고, 최종적인 위치오차에는 거리측정 방법과 위치계산 방법만이 영향을 미칠 수 있도록 거리 측정치의 생성에 Primary Factor (PF), Secondary Factor (SF)와 Additional Secondary Factor (ASF)는 제외하였다. eLoran 측정치를 모사한 총 1000 회의 데이터가 생성되었다.

Table 1. Positions of eLoran transmitter and distance to receiver.

No	Latitude (°)	Longitude (°)	Spherical range (m)	Cartesian range (m)
1 (Receiver)	36.3969672	127.3648248	-	-
2 (Transmitter)	36.1848472	129.3409555	179,068.916	179,064.863
3 (Transmitter)	35.0399999	126.5409152	168,004.578	168,001.412
4 (Transmitter)	37.6151666	126.5282222	154,340.769	154,338.570
5 (Transmitter)	37.2393244	131.8698684	412,635.613	412,567.896

2.2 생성된 데이터를 이용한 위치측정

생성된 데이터를 이용하여 3차원 직교좌표계 상에서 최소제곱법을 이용한 위치를 측정하고 구면좌표계 상에서 최소제곱법을 이용한 위치를 측정한다.

3차원 직교좌표계 상에서 최소제곱 방법으로 eLoran 데이터를 이용하여 위치를 측정하기 위해서는 세 가지 가정이 필요하다. 첫째, 3차원 직교좌표계 상 H 매트릭스를 구성하기 위해서 먼저 위도와 경도만 존재하는 각 송신기의 위치 데이터에 고도를 추가해야 한다. 본 논문에서는 0m로 입력하였다. 이 과정에서 실제 송신기의 고도를 알 수 없을 경우 오차가 발생한다. 둘째, 구면거리 측정치와 계산된 구면거리의 차이 값을 구하여 선형시스템 $H \times x$=Residual의 해를 구하는 과정에서 Residual은 계산된 호의 거리와 측정된 호의 거리의 차를 의미하므로 곡선거리가 되며 3차원 직선거리를 이용한 최소제곱방법과는 차이가 있다. 이 차이로 인한 오차는 반복 계산 과정에서 위치 추정치가 수렴함에 따라서 감소할 것으로 판단된다. 셋째. 매 반복의 마지막 과정에서 구해진 위치 추정치는 반드시 지표에 위치하지는 않아 고도값이 0이 아닐 수 있다. 그러나 지구타원체면에서 호의 거리를 계산하기 위해서 고도값을 0으로 변환하게 되어 본래 추정한 위치와는 차이가 발생한다. 최종적으로 측정된 위치에는 위와 같은 가정에 따른 추가적인 오차가 포함될 것으로 예상한다.

구면좌표계 상에서 위치를 계산하는 방법으로는 Groves (2013)의 저서에 설명된 방법을 이용하였고, 구면거리를 계산하는 방법은 Vincenty (1975)가 제안한 Vincenty 방법, Groves (2013)의 방법 그리고 Celmins (1998)가 제안한 Gauss Mid-Latitude 방법을 이용하였다.

3. 실험결과 분석

앞서 설명된 시뮬레이션 실험을 수행하였고, 그 결과를 Table 2와 같이 정리하였다. 3차원 직교좌표계 상 위치측정 결과는 구면좌표계 상 위치측정 결과에 비하여 약 0.1m 부정확하며 약 1.2m (2DRMS) 부정밀한 것으로 나타났다. Vincenty 방법과 Gauss Mid-Latitude 방법을 이용하여 계산된 거리를 위치측정에 이용한 경우의 정확도와 정밀도는 서로 큰 차이를 보이지 않았으나 Groves 방법을 이용한 경우와는 약 36cm 정도의 정확도 차이를 보였다. 1000번의 위치 계산에 소요된 시간을 보면, Vincenty 방법을 이용한 경우에 소요된 시간이 다른 방법을 이용한 경우보다 매우 큰 것을 확인하였다.

Fig. 1의 좌측 그림은 Groves의 방법을 이용하여 거리를 계산하고 계산된 거리 값을 구면좌표계 상 위치측정 방법에 적용한 결과를 보여준다. Fig. 1의 우측 그림은 3차원 직교좌표계 상 위치측정 방법에 적용한 결과이다. Fig. 2는 거리계산 방법으로 Vincenty 방법을 이용한 결과를 보여주고 Fig. 3은 Gauss Mid-Latitude 방법을 이용한 결과를 보여준다. 각기 좌측은 구면좌표계 상에서의 위치측정 방법을 이용한 결과를 보여주고 우측은 3차원 직교좌표계 상에서의 위치측정 방법을 이용한 결과를 보여준다.

Table 2. Result of simulation test.

LSQ method	Geodesic method	Response time (sec/epoch)	Horizontal bias (m)	Horizontal 2DRMS (m)
Groves (2D)	Groves	0.019	0.436	12.531
Groves (2D)	Vincenty	0.550	0.074	12.531
Groves (2D)	Gauss mid-latitude	0.027	0.070	12.531
Conventional (3D)	Groves	0.003	0.179	13.753
Conventional (3D)	Vincenty	0.030	0.158	13.752
Conventional (3D)	Gauss mid-latitude	0.003	0.158	13.752

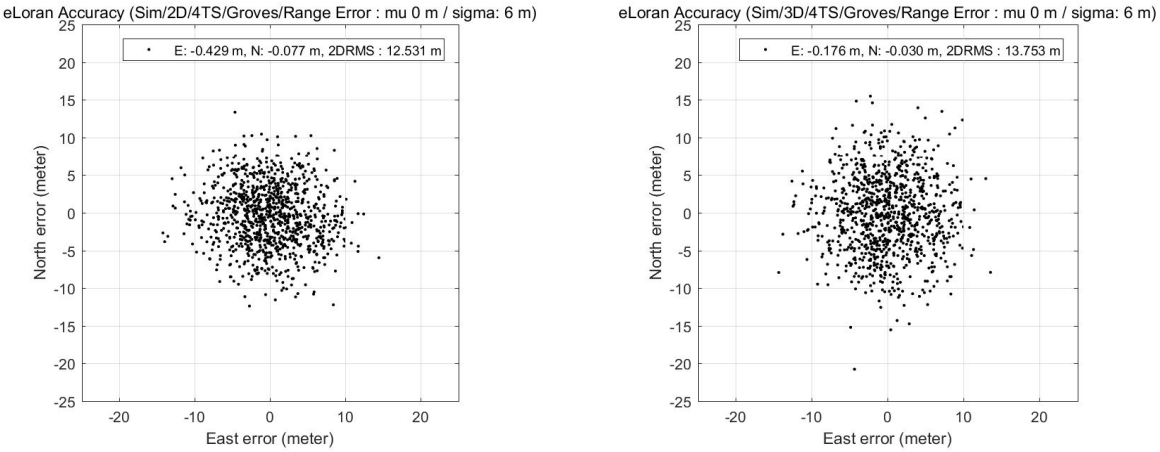


Fig. 1. Position accuracy using the Groves's method (Left: Spherical, Right: Cartesian).

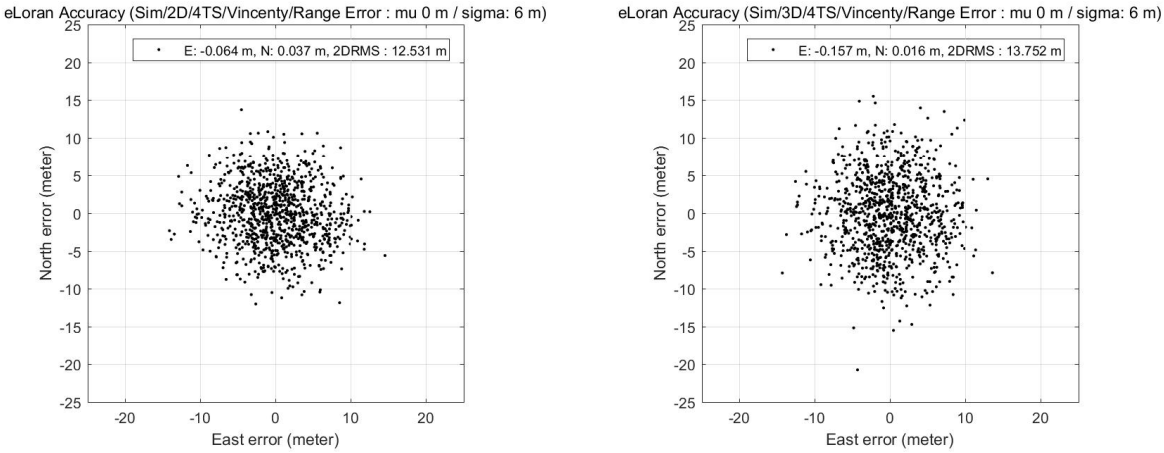


Fig. 2. Position accuracy using the vincenty method (Left: Spherical, Right: Cartesian).

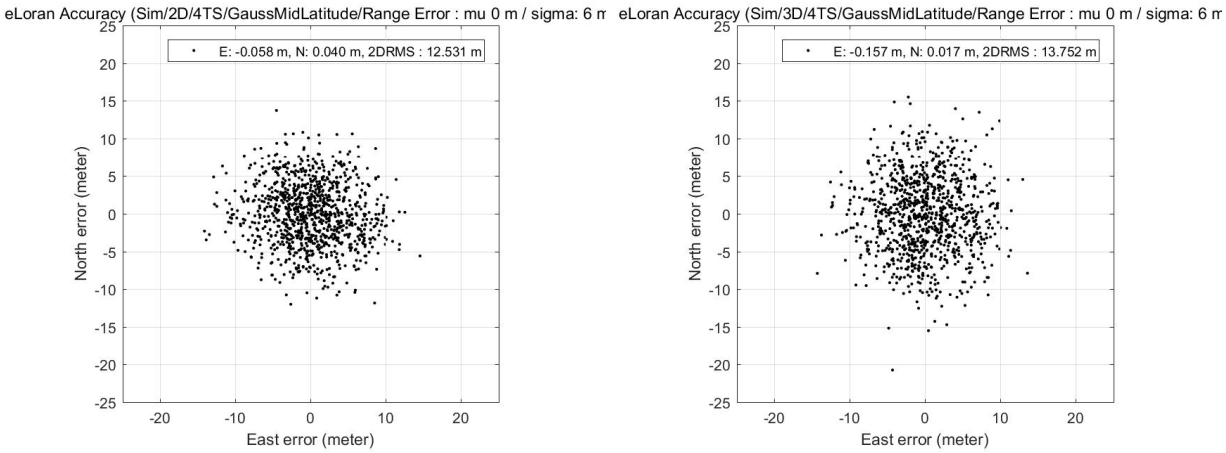


Fig. 3. Position accuracy using the Gauss mid-latitude method (Left: Spherical, Right: Cartesian).

4. 결 론

본 논문에서는 3차원 직교좌표계 상에서 최소제곱 방법으로 eLoran 데이터를 이용하여 위치를 측정하기 위하여 필요한 가정을 설명하였고 구면좌표계 상에서 위치를 측정하는 방법을 소개하였다. eLoran 송신기와 수신기 사이의 구면거리를 계산하기 위한 세 가지 방법을 소개하였다.

또한, 이들 방법의 성능을 비교하기 위하여 시뮬레이션 실험을 수행하였고 그 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 결과 Gauss Mid-Latitude 방법을 이용한 측위결과는 Vincenty 방법을 이용한 측위결과와 유사한 수준의 정확도를 보이면서 계산에 소요된 시간은 상대적으로 적은 것을 발견하였다. 또한, 3차원 직교좌표계 상 위치측정 결과는 구면좌표계 상 위치측정 결과에 비하여 약 1.2m (2DRMS) 부정밀한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 선박해양플랜트연구소(KRISO)의 지원으로 수행중인 연구개발과제(PES8970)의 연구성과 중 일부입니다.

REFERENCES

Celmins, A. 1998, The Method of Gauss in 1799, Statistical Science, 13, 123-135.

Groves, P. D. 2013, GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems (Boston: Artech House), pp.484-487.

Song, S.-P., Shin, M.-Y., Sohn, S.-B., Kim, Y.-B., Lee, S,-J., & Park, C.-S., 2011, The Integrated eLoran/GPS Navigation Algorithm for Reduced Calculational Complexity and High Accuracy, Trans, KIEE, 60, 612-619.

Vincenty, T. 1975, Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations, Survey review, 23, 88-93. https://doi.org/10.1179/sre.1975.23.176.88

육상 교통 환경의 네트워크 RTK를 위한 지역수신국 간 공간이격 오차 경향성 분석

신미리, 이정훈, 안종선, 허문범
한국항공우주연구원

Analysis of Spatial Residual Between Receiver Stations for Network RTK on Land Transportation

Mi-Ri Shin, Jung-Hoon Lee, Jong-Sun Ahn, Moon-Beom Heo
Korea Aerospace Research Institute

주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84, 한국항공우주연구원 위성항법팀
연락처 : 042-870-3987 이메일 : maryshin@kari.re.kr

Abstract: 본 논문에서는 육상교통 환경에서 정밀위치결정을 위한 광역 위성항법 보정 시스템의 지역수신국 간 공간 이격 오차를 분석하고, 이를 토대로 새로운 클러스터의 최대 보정정보 공간 이격 오차 기준을 제시하였다. 육상교통 환경에서 다변화된 교통 환경과 교통 수요에 따른 교통 혼잡으로 교통의 효율성과 안정성을 향상시키기 위하여 다양한 분야에서 육상교통 관련 연구개발이 진행 중에 있다. 그 중 고정확, 고신뢰 위치정보 제공을 위한 차로구분 수준의 정밀 위치 결정 교통인프라 기술 개발에서는 광역 위성항법 보정 시스템을 구축하여 활용하고 있다. 광역 위성항법 보정 시스템은 4~5기의 지역수신국으로 구성되고, 이를 하나의 클러스터로 고려한다. 기 구축된 안성, 보은, 대전, 음성, 공주 지역의 지역수신국간 의사거리 측정값 오차의 차이를 공간 이격 오차로 정의하고 향후 클러스터 구축에 활용할 수 있도록 클러스터 공간 이격 오차 유사성 요구조건을 제시하였다.

Keywords: network-RTK, GPS, spatial residual

1. 서 론

최근 육상교통에서 차량 위치결정에 대한 관심이 높아지며, 위성항법시스템을 도로교통정보 수집, 자동요금징수, 차로별 차량 통행, 자율 주행에 활용하고 있다. 이러한 지능형 교통시스템의 구현을 위해서는 차로구분 수준의 위치결정기술이 필요하다 (Kim et al. 2016).

이러한 요구를 충족시키기 위하여 우리나라에서는 차로구분 수준의 정확도를 갖는 위성항법기반 정밀위치결정 교통인프라 실용화 기술 및 첨단 육상교통체계 적용 기술 개발이 진행 중이다. 이 중 위성항법 보정 시스템은 Fig. 1과 같이 4~5기의 지역수신국을 최대 거리 70km 내로 설치하여 클러스터 내의 사용자 단말에 정밀 위치결정 보정정보를 제공한다. 이러한 정밀 위치결정 서비스를 보다 넓은 지역에 제공하기 위하여 Fig. 2와 같이 다중 클러스터 구성이 필요하다. 다중 클러스터를 구성하기 앞서, 보다 좋은 성능의 정밀 위치결정 보정정보를 생성하기 위하여 클러스터 내의 지역수신국 간의 오차, 즉 공간 이격 오차를 분석하고, 원인을 추정하여 공간이격 오차가 보다 작도록 클러스터 선정 기준을 제시하였다. 이는 수많은 지역수신국 후보를 선정해야 되는 다중 클러스터 설계의 기준 중 하나로 사용될 수 있다.

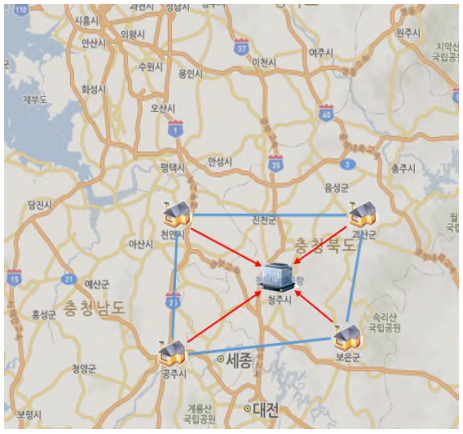


Fig. 1. An example of single cluster.

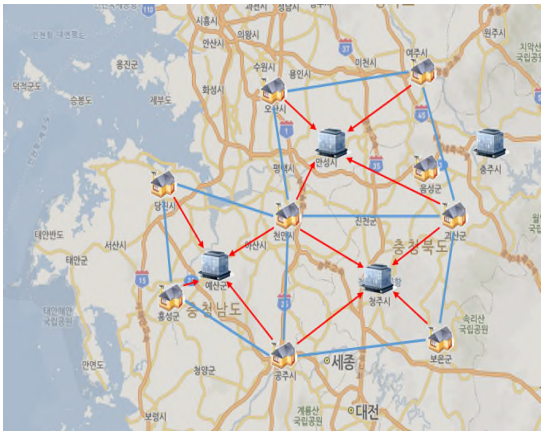


Fig. 2. An example of multiple cluster.

본 논문의 2장에서는 공간이격 오차의 정의와 분석 방법에 대하여 상세히 설명하였고, 3장에서는 분석한 공간이격 오차 결과에 대하여 나타내고 설명하였으며, 마지막으로 4장에서 공간이격 오차를 줄이기 위한 클러스터 선정 기준을 제시하였다.

2. 공간이격 오차 분석 방법

본 논문에서 육상교통 환경의 공간이격 오차를 위성항법 광역 보정 클러스터의 지역수신국 사이의 의사거리 측정값 오차의 차이로 정의한다. 본 논문에서는 반송파 측정치의 이중차분을 이용하여 지역수신국의 유사성 즉, 공간이격 오차를 분석하였다. 반송파 측정치는 식 (1)과 같다.

$$\phi_i^p = \rho_i^p + \lambda N_i^p + c(t_i - t^p + T_i^p - I_i^p) + \varepsilon_i^p \qquad (1)$$

여기서, ϕ_i^p 는 수신국 i에서 수신한 위성 p의 반송파 측정치이며, ρ_i^p 는 수신국 i와 위성 p의 기하학적 거리, λ 는 반송파 파장, N_i^p 는 미지정수, c는 광속, t_i 와 t^p 는 각각 수신국 i와 위성 p의 클락 오프셋이며, T_i^p 와 I_i^p 는 각각 대류층, 이온층 지연이며, ε_i^p 는 다중경로 오차, 하드웨어 오차와 같이 모델링 되지 않은 오차이다.

두 번의 차분을 통해 수신국 및 위성 시계 바이어스를 제거할 수 있으며, 수신국 기전선이 짧은 경우, 두 수신국의 동일 위성의 신호가 동일하다는 가정하에 대류층과 이온층 지연 오차를 제거할 수 있다. 이와 같이 이중 차분된 반송파 측정치는 식 (2)와 같다 (Hofmann-Wellenhof et al. 2000).

$$\nabla\Delta\phi_{ij}^{pq} = \Delta\phi_{ij}^{p} - \Delta\phi_{ij}^{q} = \nabla\Delta\rho_{ij}^{pq} + \lambda\nabla\Delta N_{ij}^{pq} + \Delta\varepsilon_{ij}^{pq} \qquad (2)$$

반송파 이중차분을 통해서 남은 바이어스는 코드기반 공간 이견오차로 보상하여 최종 반송파 기반 공간이격 오차 데이터를 생성하였다. 마지막으로 본 논문에서 사용한 데이터는 정밀위치결정 교통인프라를 위하여 기 설치된 안성, 대전, 보은, 공주, 음성 지역수신국의 2015년 1월부터 12월까지 기간의 데이터이다. 이 중 일주일에 하루씩 총 54일의 데이터를 선별하여 분석하였다. 여기서 주기준국(Master Reference Station)은 안성 지역수신국으로 정하였으며 나머지는 부 수신국으로 안성 지역수신국 사이의 공간이격 오차 분석과 지역적 편차와 공간이격 오차의 상관성을 분석하였다.

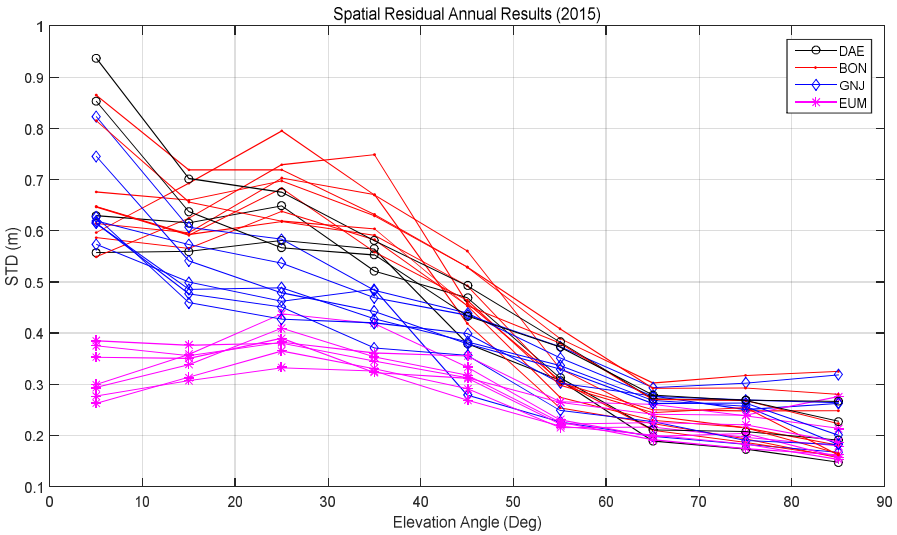


Fig. 3. Spatial residual similarity analysis by elevation angle.

3. 공간이격 오차 분석 결과

본 장에서는 2장에서 설명한 데이터 선별과 수식을 이용하여 공간이격 오차 분석 결과를 그래프와 표를 통해 확인하였다.

Fig. 1은 안성 지역수신국을 주기준국으로 설정하였을 때, 각 지역수신국 별 위성 앙각에 따른

공간이격 오차를 나타낸다. 고앙각 위성신호 수신시 저앙각 위성보다 신호품질이 좋고 다중경로 오차의 영향이 적기 때문에 수신국에 관계 없이 앙각이 클수록 공간이격 오차의 분산이 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 각 지역수신국의 지도 상 위치를 나타내며 Table 1은 ENU 좌표계 상에서 안성수신국과 각 지역수신국의 수평거리 및 고도 차이를 나타낸다. 안성 지역수신국과 수평거리 및 고도차이가 가장 적은 음성 지역수신국의 공간이격 오차 분산이 가작 적게 나왔으며, 고도 차이와 수평거리 차이가 큰 대전, 공주 수신국 분산이 가작 큰 것을 확인할 수 있다. 앙각이 클수록, 주기준국과 거리가 가까울수록 공간이격 오차가 적은 경향을 보인다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 안성 지역수신국을 주기준국으로 설정하였을 때 각 지역수신국 별로 2015년 월간의 공간이격 오차를 나타낸다. 다중경로의 영향을 최소화하기 위해 70~90°의 고앙각 데이터만 분석하였고 0.1~0.3m의 공간이격 오차가 발생한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6는 Fig. 3의 결과를 바탕으로 위성 앙각에 따라 공간이격 오차의 최대, 최소값을 모델링한 결과이며, 공간이격 오차의 최대값 및 최소값의 모델 식은 각각 식 (3), (4)와 같다.

$$Y_{\max}(Elev) = 1.013\exp^{-0.0142\cdot Elev} \quad (3)$$

$$Y_{mi\,\mathrm{x}}(Elev) = 0.3416\exp^{-0.007511\cdot Elev} \quad (4)$$

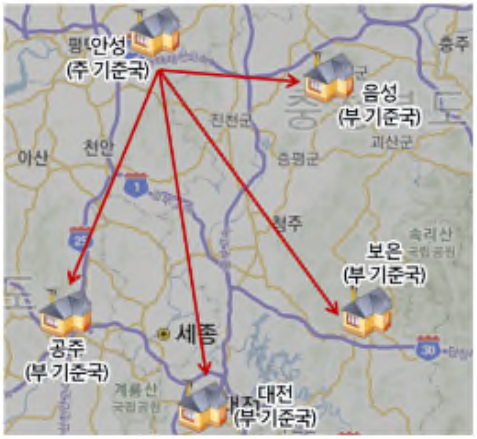


Fig. 4. The cluster map for precise positioning.

Table 1. Distances from An-sung Station to each local reference station.

Station name	Horizontal difference (ENU) (km)	Altitude difference (ENU-UP) (m)
Dae-jeon	70	-371
Bo-eun	69	-256
Gong-ju	63	-327
Eum-seong	37	9

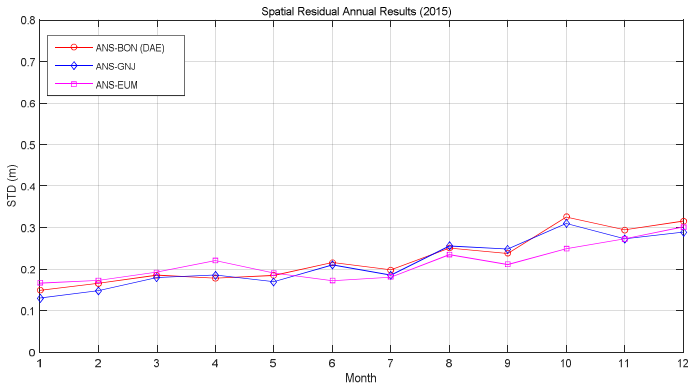


Fig. 5. Spatial residual annual results.

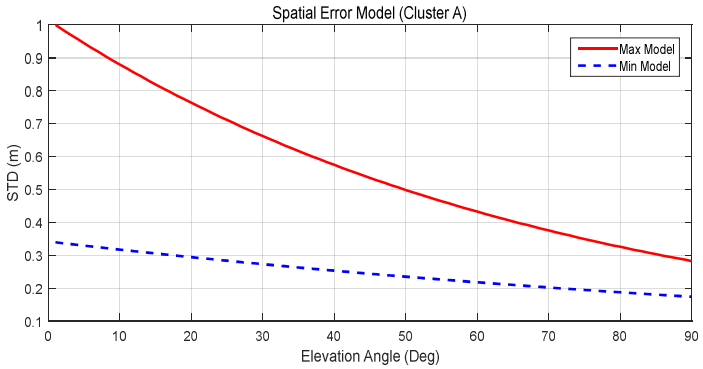


Fig. 6. Spatial error model.

4. 결 론

본 논문에서는 반송파 이중차분을 기반으로 정밀위치결정 보정정보 생성을 위한 클러스터의 지역수신국 사이의 공간이격 오차를 계산 및 분석하였다. 2015년 연간 지역수신국 데이터를 앙각에 따라, 시간에 따라 분석하였다. Fig. 5를 통해 연간 공간이격 오차는 0.1m~0.3m 정도이며, Table 1과 Fig. 5를 통해 지역수신국의 ENU 좌표상의 위치오차 및 수직 오차가 클수록 공간이격 오차가 큰 경향성이 있는 것을 확인하였다. 또한, 앙각에 따른 공간이격 오차의 최대값, 최소값 모델링 식을 도출하였다. 이는 앙각이 작아질수록 공간이격 오차는 기하급수적으로 커지는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 향후 다중 클러스터를 위한 지역수신국 선정 시, 공간이격 오차의 요구조건을 최대 0.3m 이하로 제시할 수 있다.

REFERENCES

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. 2000, Global Positioning System Theory and Practice Fifth, revised edition (Vienna: Springer), pp.190-197

Kim, K., Lee, J., Son, E., Im, S., & Heo, M., 2016, Performance Analysis of GPS Position Accuracy to the Type of Low-cost Receiver, in 2016 KGS Conference, Jeju Island, Rep. of Korea, 02-04 Nov 2016, pp.510-514

해상 (D)GPS 사용자의 측정치 품질 검사 기법 설계

한영훈*, 김영기 , 서기열 , 황태현
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Design a Measurement Quality Monitoring Technique for Maritime (D)GPS User

Young-Hoon Han*, Young-Ki Kim, Ki-Yeol Seo, Tae-Hyun Fang
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

주소 : 대전광역시 유성구 유성대로 1312 번길 32
연락처 : 042-866-3686 이메일 : yhhan@kriso.re.kr

Abstract: 선박으로 대표되는 해양 사용자는 정확한 위치 정보 획득을 위하여 GPS를 이용한다. 그리고 연안에서는 DGPS 보정 서비스를 이용하여 더 정확한 위치를 획득할 수 있다. 하지만 GPS는 위성으로부터 신호를 수신하므로 수신신호 전력이 매우 낮고 따라서 간섭 및 주변환경에 영향을 많이 받는다. 따라서 정확하고 신뢰성 있는 위치를 획득하기 위해서는 위성항법시스템의 신호에 대한 품질검사와 원시측정치의 품질검사, DGPS 보정 서비스에 대한 품질검사가 수행되어야 한다. 이와 같은 품질검사는 위치가 고정된 기준국의 경우 다양한 기법들이 연구되었고 실제 활용하고 있다. 하지만 위치가 고정되지 않은 사용자의 경우 기준국에서 사용하는 기법들을 그대로 적용하는데 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 위치가 고정되지 않은 사용자 환경에서의 위성항법시스템의 측정치 품질검사 기법을 제안한다. 제안한 기법은 기준국에서 사용하는 기법들을 토대로 사용자 환경에 맞게 변경하고 추가하였다. 그리고 해상 실험을 통하여 취득한 데이터를 이용하여 제안한 기법의 성능을 검증하였다.

Keywords: measurement quality monitoring, (D)GPS, maritime user

1. 서 론

GPS는 해상교통안전 분야에서 필수적으로 활용되는 위치정보를 제공하는 대표적인 시스템이다. 근래 GPS를 기반으로 하는 위치정보의 정확도는 해상에서 중파 보정정보를 수신 할 경우 m 수준을 만족한다. 이와 같이 GPS를 활용할 경우 해상환경에서 높은 위치 정확도를 얻을 수 있지만 외적인 요인에 의해 신뢰할 수 있는 정확도를 얻기는 쉽지 않다. GPS 는 수신 신호전력이 매우 미약하므로 간섭신호 및 주변환경에 의해 성능이 좌우된다. 근래 안전에 대한 중요성이 크게 부각되면서부터 정확성과 더불어 신뢰성에 대한 사회적 요구가 증대되고 있다. 따라서 해상 GPS 사용자들은 정확하고 믿을 수 있는 위치정보를 제공받을 수 있기를 기대하고 있다.

따라서 본 논문에서는 GPS 또는 DGPS 해상 사용자의 위치정확도의 신뢰성을 향상 시키기 위한 방안 중의 하나로 GPS 수신 신호 측정치의 품질검사 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기준국에서 많이 활용하는 측정치 품질 감시 기법 중 사용자 환경에서 활용 가능한 기법들을 기반으로 하였다. 또한 여러가지 검사 기법들 간의 적용 절차를 제안함으로써 효과적으로 측정치 품질 감시를 수행할 수 있도록 하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 기법들은 실제 해상 실험을 통하여 검증하였다.

2. 측정치 품질 검사 기법

사이클 슬립은 수신기 내에 반송파 추적 루프(Phase Lock Loop)의 추적 손실로 인한 반송파 측정치의 도약 현상으로 위성신호의 일시 단절 및 낮은 신호전력, 수신기 내부 신호처리 오류 등으로 발생할 수 있다. 본 연구에서는 사이클슬립 검출을 위하여 반송파 위상과 도플러 측정치의 변화율을 이용한 기법을 사용 하였다. 본 기법은 반송파 위상 측정치의 변화량에서 잔여 오차 성분인 위성과 수신기 사이의 기하학적 거리 변화량을 도플러 측정치의 적분값을 사용하여 제거한 후에 사이클 슬립을 검출한다. 도플러 측정치는 사이클 슬립에 무관하므로 사이클 슬립 검출에 효과적이다(Xu 2007). 임계치는 설계 파라미터로 요구에 맞게 설정 가능하다.

Code-Carrier Divergence(CCD) 검사는 이온층의 영향이 각 측정치에 반대되는 특성을 이용하여 이온층의 변화를 확인하고, 코드와 반송파 측정치의 품질을 검사한다. 현 시점과 이전 시점의 코드 측정치와 반송파 측정치 차분 값을 이동평균 필터를 이용하여 처리한다. 임계치 설정은 정상환경에서의 장시간 데이터 수집을 통하여 결정이 필요하며, 임계치 이상의 CCD 검사 결과 시 해당 위성의 이상 판단 플래그를 발생한다.

Innovation 검사는 코드 측정치의 품질을 검사하는 기법으로 코드 측정치의 임펄스 및 스텝 에러를 체크한다. 현 시점의 코드 측정치와 반송파 측정치, 이전 시점의 스무딩된 코드 측정치와 반송파 측정치를 이용한다. CCD 검사와 마찬가지로 정상환경에서의 장시간 데이터 수집을 통하여 임계치가 결정되어야 하며, 임계치 이상의 검사 결과에 대해서는 해당 위성의 이상 판단 플래그 발생한다.

Pseudorange Fault Detection(PFD) 검사는 코드 측정치의 이상을 검사하는 기법으로 도플러 측정치를 이용한다. 도플러 측정치의 변화량을 활용하여 이전 시점의 의사거리 측정치로부터 현 시점의 의사거리 측정치를 예측하고 실제 값과 비교함으로써 이상을 감시한다(Yoo et al. 2012).

3. 측정치 품질 검사 절차

본 논문에서 제안하는 측정치 품질 검사 기법은 앞서 2장에서 설명한 기법들을 활용하며, Fig. 1과 같은 절차로 수행한다. CCD 검사와 Innovation 검사를 위해서는 반송파 측정치가 요구되므로 반송파 측정치에 대한 검사 기법인 사이클슬립 검사를 우선 수행한다. 이후 CCD 검사를 통하여 이온층 변화에 대한 품질을 검사하고, 이후 Innovation 검사와 PFD 검사를 통하여 코드 측정치의 품질을 검사한다.

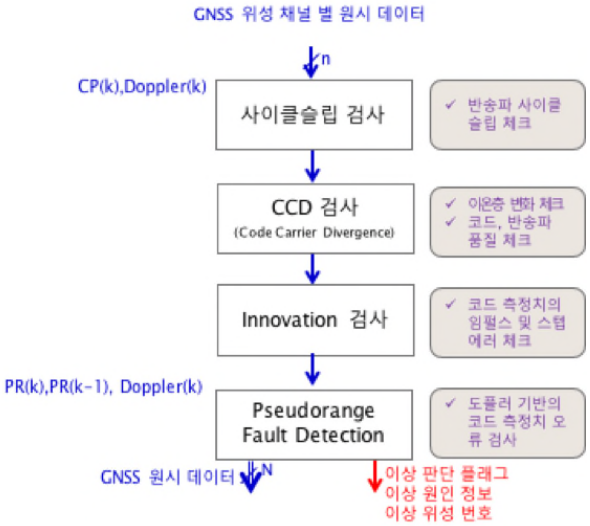


Fig. 1. The proposed measurement quality monitoring techniques.

4. 성능평가 및 검증

4.1 실험환경

제안한 기법에 대한 성능평가 및 검증은 해상 실험을 통하여 수행하였다. 해상 실험은 2016년 9월 2일 평택항에서 Fig. 2와 같이 진행하였으며, 평택항 내 구역을 2차례 선회하였다. 수신장비는 보트 위에 안테나 플랫폼을 활용하여 탑재하였다.

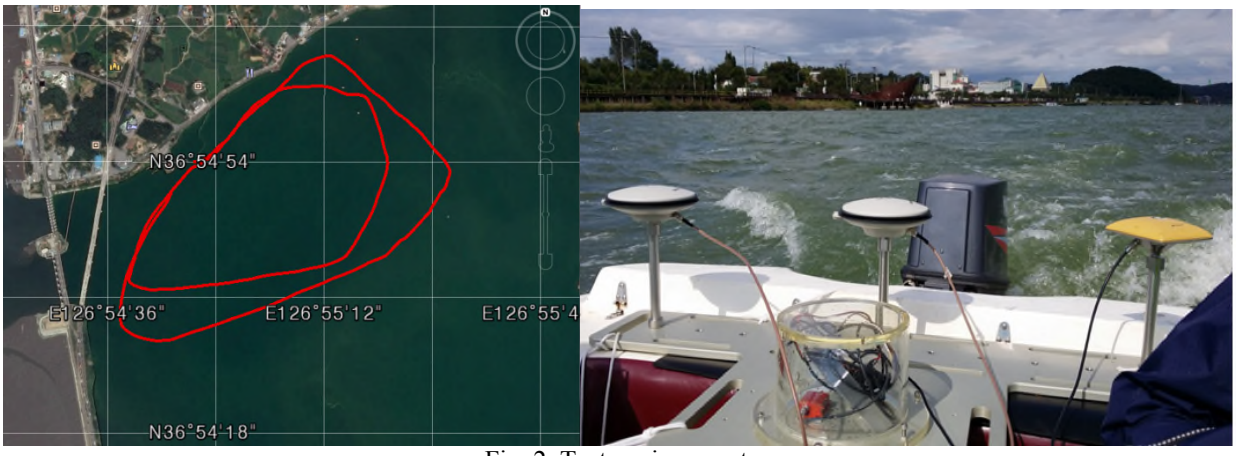


Fig. 2. Test environment.

4.2 성능평가 및 검증 결과

각 기법 별 성능평가 및 검증결과는 Fig. 3에서 Fig. 6과 같다. 본 실험에서는 사이클 슬립은 발생하지 않았으며, CCD 검사에서도 이상은 발견되지 않았다. Innovation 검사와 PFD 검사결과에서 동일한 위성에 대하여 이상이 감지 되었으며, 저앙각에 따른 저감도 신호에 의한 코드 측정치의 품질저하로 판단된다.

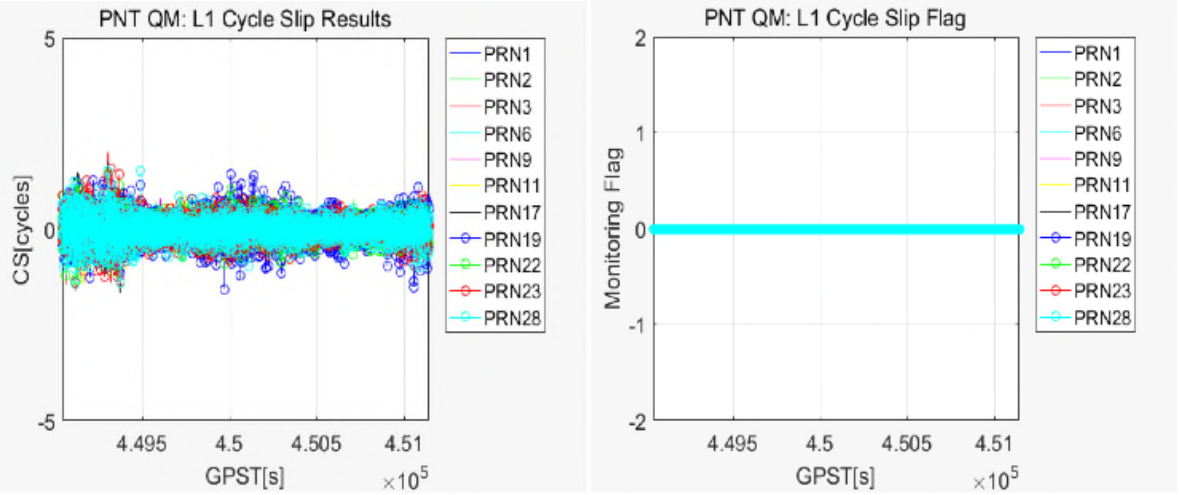


Fig. 3. Cycle slip results (Left: Technique results, Right: Monitoring results).

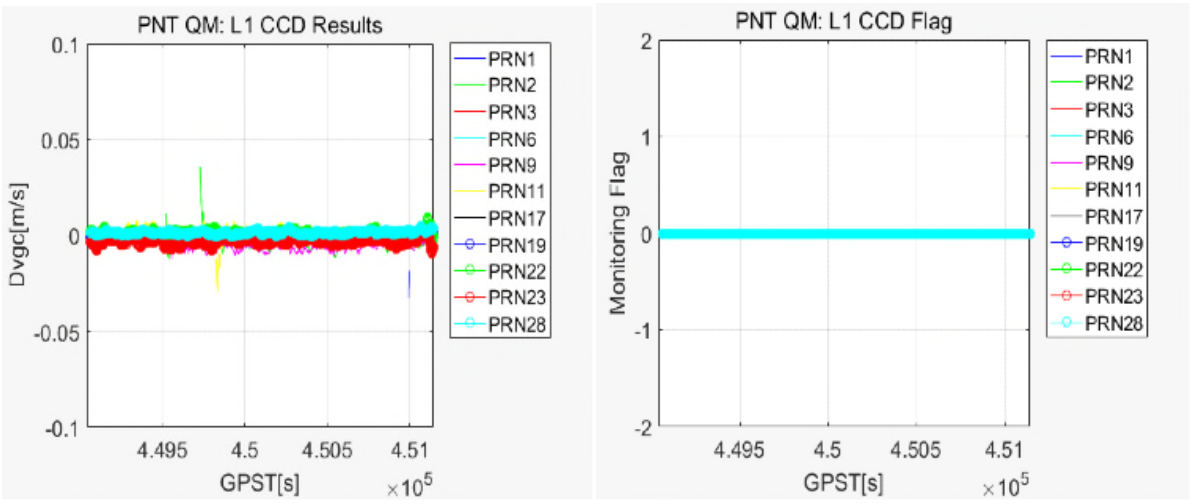


Fig. 4. CCD results (Left: Technique results, Right: Monitoring results).

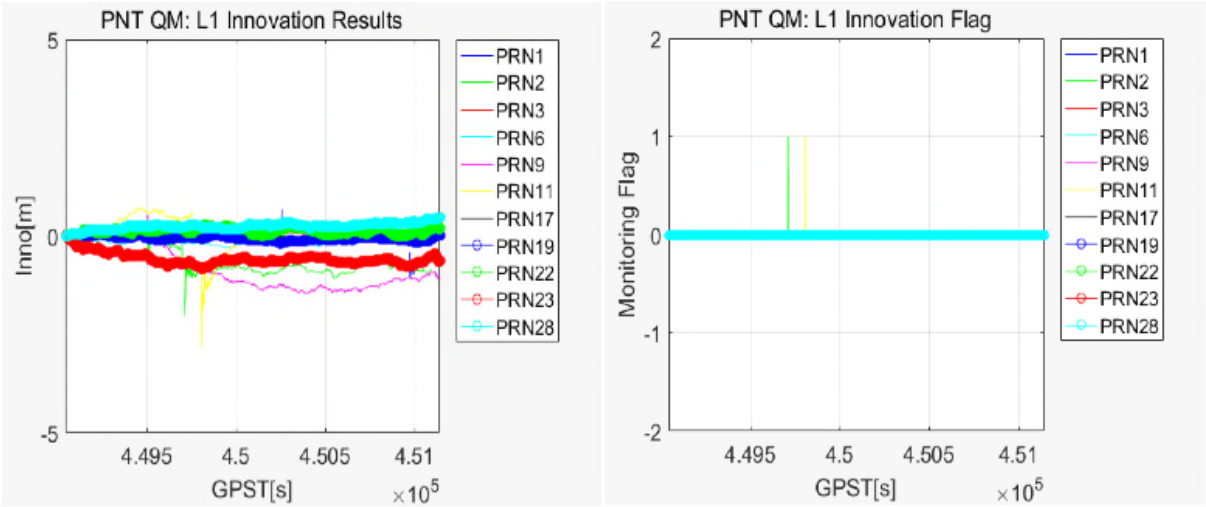


Fig. 5. Innovation results (Left: Technique results, Right: Monitoring results).

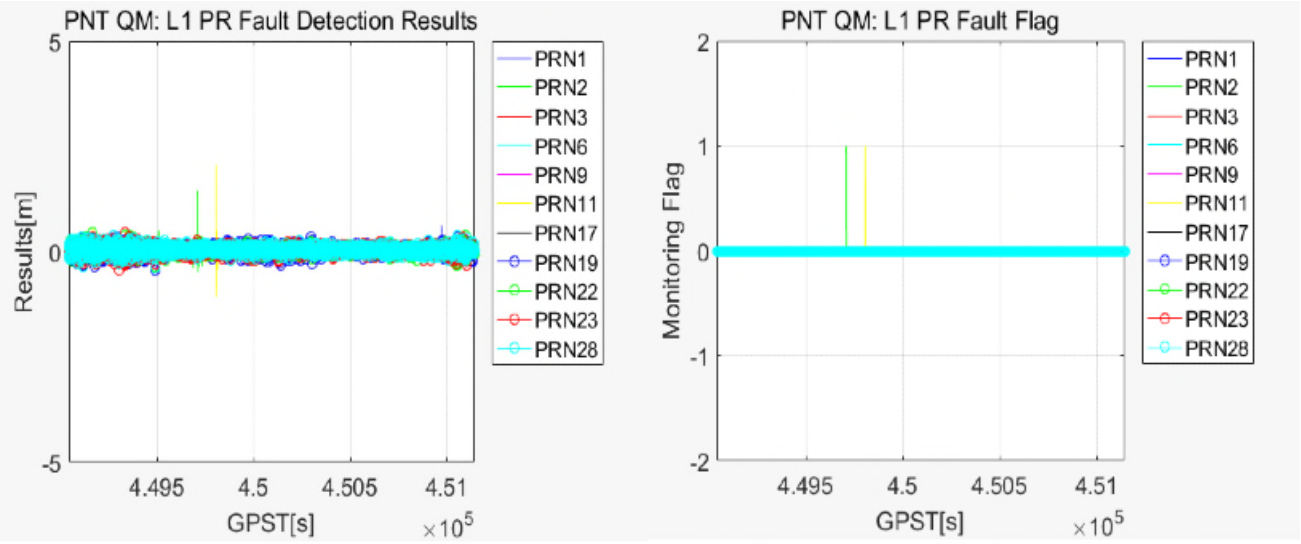


Fig. 6. PFD results (Left: Technique results, Right: Monitoring results).

5. 결 론

본 논문은 해상 DGPS 또는 GPS 사용자의 위치 정확도뿐만 아니라 신뢰성을 향상시키기 위한 방안으로 GPS 수신기 원시측정치에 대한 품질검사 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 정확한 위치를 알고있는 기준국에서 사용하는 측정치 품질 검사 기법을 기반으로 사용자가 활용 가능한 기법들을 적용하였다. 특히 각 기법들의 효과적인 품질 검사를 위해 제안한 측정치 품질 검사 절차는 실제 환경에서 적용 시 많은 참고가 될 것으로 기대한다. 추후 장시간 동안 축적한 실험 데이터를 기반으로 임계치 설정 방안에 대한 연구와 위치결정성능과의 연동을 통한 분석을 진행 할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 선박해양플랜트연구소의 지원으로 수행중인 기본연구과제(PES8970)의 연구성과 중 일부임.

REFERENCES

Xu, G. 2007, GPS Theory, Algorithms and Applications, 2nd ed. (New York: Springer)

Yoo, J., Ahn, J., Lee, Y. J. & Sung, S., 2012, Performance Comparison of GPS Fault Detection and Isolation via Pseudorange Prediction Model based Test Statistics, Journal of Electrical Engineering & Technology, 7, 797-806

FPGA 기반 GPS 기만/재밍신호 발생기에 대한 연구

김두원[1], 엄용섭[1], 안명수[1], 최채택[2*]
[1]㈜넷커스터마이즈, [2]국방과학연구소 제2기술연구본부

A Study on the GPS Spoofing and Jamming Signals Generator Based on FPGA

Doo-Won Kim[1], Yong-Seob Eom[1], Myung Soo Ahn[1], ChaeTaek CHOI[2*]
[1]Network Customizing Technologies Inc, [2]The 2nd R&D Institute C/EW DTR, Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 유성대로 1184 번길 29
연락처 : 042-821-3578 이메일 : ctmarine@naver.com

Abstract: 본 논문에서는 FPGA를 이용하여 실시간 GNSS 위성항법 신호 생성이 가능한 하드웨어에 부가 구현된 잡음재밍, 미코닝, 기만신호 발생 기법에 대해 기술한다. GPS 신호 생성은 환경오차 및 노이즈 모델들이 적용되어 실제 GPS와 매우 유사한 신호를 생성할 수 있으며 실시간으로 16개 위성 채널 모의가 가능하다. 잡음재밍은 CW 등 몇가지의 재밍신호 생성이 가능하며, 미코닝신호는 실제 위성으로부터 수신된 신호를 저장하여 재송신 가능하다. 신호발생기 제어 소프트웨어에서는 전자지도를 기반으로 기만 및 재밍기법 설정이 가능하고 기법에 따른 대상수신기 이동 경로 모니터링이 가능하다. 본 논문에서 소개된 신호발생기는 상용항법수신기의 성능 검증은 물론 항재밍/항기만 수신기 개발에 활용될 수 있고 복합 형태의 교란/기만 기술 연구에 적용이 가능하다.

Keywords: GNSS, GPS, jamming, spoofing, signal generator

1. 서 론

위성항법 시스템은 민간, 군사 분야에서 다양한 시스템에 필수적으로 사용되고 있으며 응용분야가 점층적으로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 이러한 위성항법 시스템은 매우 낮은 신호전력을 사용하며 내부구조가 일반인에게 공개되어 있어 교란신호에 취약한 특성을 가지고 있다. 위성항법 전파교란의 종류로는 항법수신장치가 위성항법 신호를 수신하지 못하도록 높은 파워의 신호로 교란하는 잡음재밍 교란, 위성항법신호와 유사한 신호를 발생하여 대상 항법수신장치의 위치를 기만시키는 기만재밍교란, 위성항법신호를 수신하여 시간만 지연시킨 다음 미코닝하는 미코닝교란 등으로 나누어 볼 수 있다(Kim & Sin 2016). 최근 이러한 위성항법 교란 문제가 사회적 이슈로 부각되고 있으며 다양한 형태의 위성항법교란에 대한 영향을 시험할 수 있는 통합 테스트베드가 요구되고 있는 상황이다.

본 논문에서는 GPS기만/재밍신호 발생장치에서 3종의 전파교란 신호 생성을 구현하여 상용항법 수신기를 대상으로 교란성능시험 결과를 기술하였다.

2. 본 론

2.1 교란발생기 개요

GPS 기만/재밍신호 발생기는 GPS L1, L2, GLONASS L1 대역에 대하여 기만재밍신호, 잡음재밍신호, 미코닝신호를 복합적으로 생성할 수 있는 하드웨어 플랫폼으로 자체 제작 되었다. 기만/재밍신호 발생기의 하드웨어 구성은 디지털신호생성 모듈, RF모듈, 미코닝 RF모듈과 사용자제어기로 구성되어 있다. 디지털 신호생성 모듈은 잡음/기만재밍 신호를 생성하고 RF모듈은 디지털신호생성 모듈에서 생성된 신호를 RF신호로 변환한다. 미코닝 RF모듈은 위성항법신호를 수신하고 다시 송출하여 미코닝신호를 생성한다. 그리고 기만/재밍신호 발생기 제어를 위한 사용자제어기로 구성되어 있다. 사용자제어기는 전자지도를 기반으로 장치를 제어하고 대상 수신기의 이동 경로를 모니터링할 수 있다. Fig. 1은 GPS 기만/재밍신호 발생기의 구성도를 나타낸 것이다.

2.2 기만재밍신호 생성

기만재밍신호 생성모듈은 GPS L1대역에 대하여 live와 동기화된 기만재밍신호를 생성하고 실시간으로 기만위치를 제어할 수 있다. live항법신호와 동기화된 신호를 생성하기 위하여 live항법신호를 수신 받아 분석한다. 수신된 항법신호를 활용하여 현재 가시위성을 파악하고 항법메시지를 디코딩하여 Ephemeris 정보를 추출한다. Ephemeris를 이용하여 현재 GPS위성의 위치를 계산하고 사용자로부터 입력 받은

기만위치와의 Range를 계산하여 PRN Code Delay를 결정한다. 계산된 PRN Code Delay는 위성과의 거리에 따른 전파지연효과에 활용된다. 또한 주파수 동기화를 위하여 위성궤도와 기만위치의 이동방향 및 속도를 상대적으로 계산하여 도플러 주파수를 결정하고 Carrier생성에 반영한다.

기만재밍신호 생성에 활용될 항법메시지는 수신 받은 live항법신호에서 추출한 Ephemeris 정보와 과거 항법정보를 저장한 RINEX데이터의 Almanac정보를 추출하여 항법메시지를 생성한다. 그리고 CA 코드계산기를 이용하여 위성별로 할당된 고유의 PRN Code를 생성한다. 항법메시지와 PRN Code를 Bit Rate에 맞게 Spreading하고 결정된 Carrier주파수를 적용하여 IF신호를 생성한다. 생성된 IF신호는 RF모듈에서 Upconvertion하여 RF신호로 변환한다. live신호와 타이밍 동기를 위하여 1PPS Trigger를 사용한다. Fig. 2는 기만재밍신호 생성부의 구성도를 나타낸 것이다.

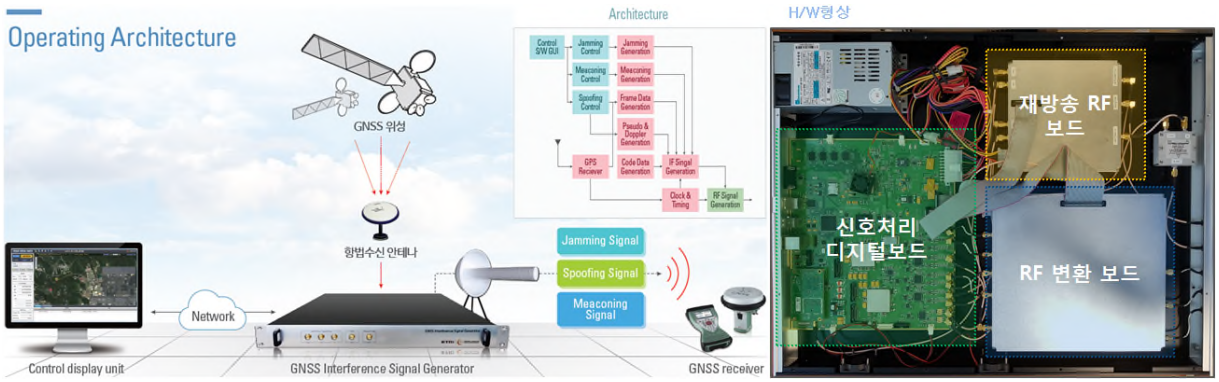


Fig. 1. FPGA 기반 GPS 기만/재밍신호 발생기 구성도.

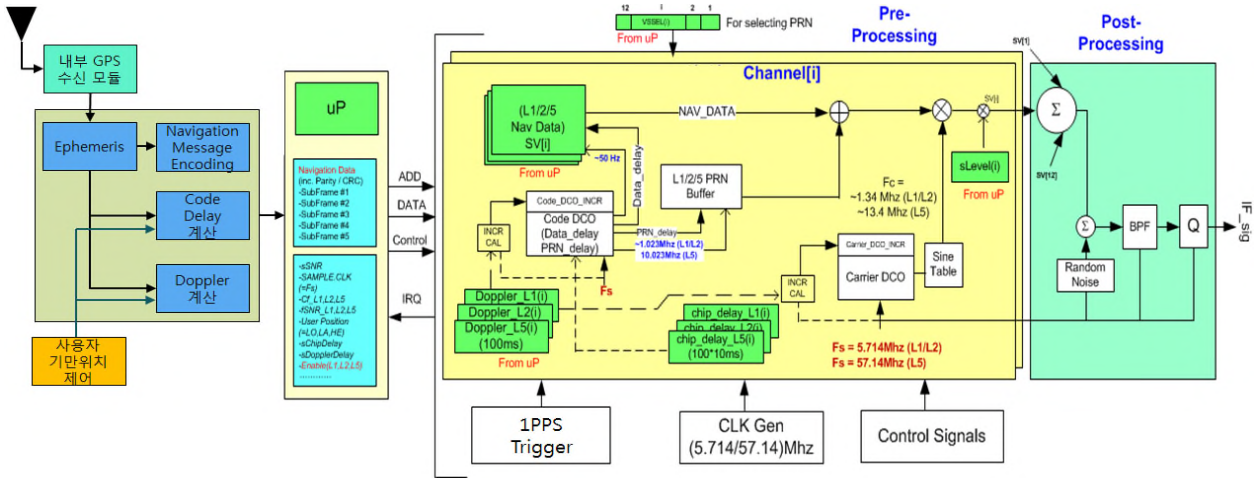


Fig. 2. 기만재밍신호 생성부 구성도.

기만재밍신호를 생성하여 live항법신호로 동작중인 상용항법수신기(uBlox)와 스마트폰을 대상으로 기만하여 성능을 검증하였다. 6채널의 기만재밍신호를 생성하였고 신호세기는 live항법신호 수신세기보다 약10dB 높게 설정하였다. 최초 기만위치는 대상수신기 위치와 10m 이내로 설정하였으며 기만 이동속도는 시속 40km/h로 설정하였다. 상용항법수신기 기만 시험결과 항법수신기의 FixMode가 3D Fix 유지된 채 기만되었고 기만재밍 신호발생기가 제어하는 기만위치와 동일하게 항법수신기 항법좌표 및 속도가 출력됨을 확인하였다. 스마트폰 기만 시험결과 FixMode가 일시적으로 NoFix로 변경되었다가 다시 3D Fix로 변경되어 기만 되었고 상용항법수신기와 마찬가지로 기만위치와 동일하게 항법좌표 및 속도가 출력됨을 확인 하였다. Fig. 3은 상용항법수신기 기만결과를 나타낸 것이다.

2.3 잡음재밍신호 생성

잡음재밍신호 생성모듈은 GPS L1, L2 GLONASS L1 대역에 대하여 잡음재밍신호를 생성한다. 잡음재밍 세부 종류로는 CW SingleTone, CW Multitone, CW Sweep, Pulse, 협대역, 광대역, AWGN으로 7종의 잡음재밍신호를 생성할 수 있다. 또한 Multi-Functional DDS를 활용하여 여러 종류의 잡음재밍신호를 복합적으로도 생성 가능하다. Fig. 4는 잡음재밍신호 생성부의 구성도이다.

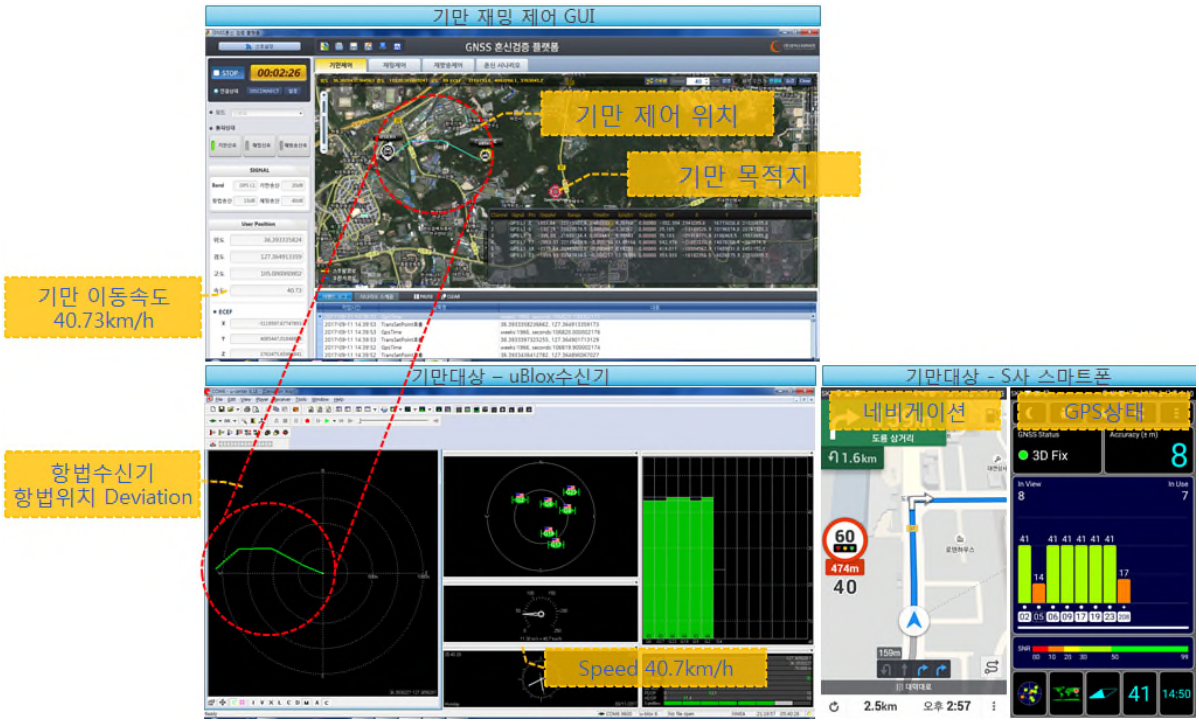


Fig. 3. 항법수신기 기만재밍 결과.

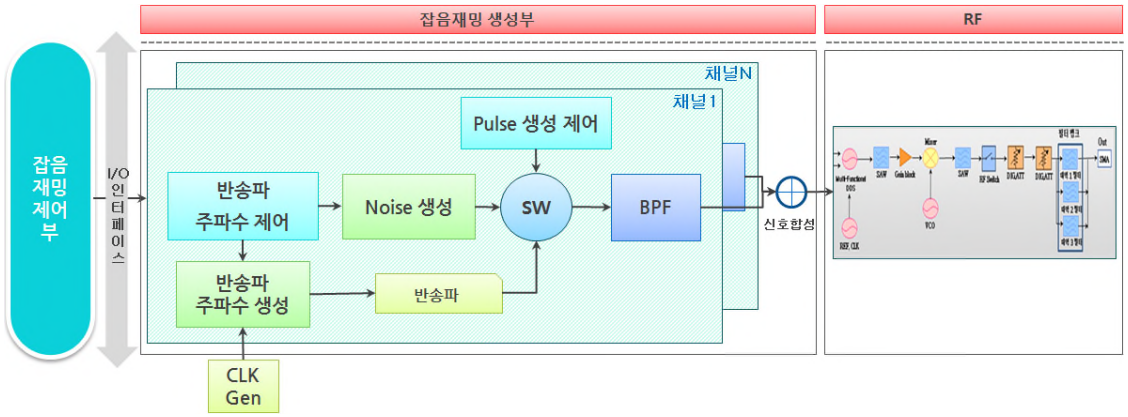


Fig. 4. 잡음재밍신호 생성부 구성도.

사용자제어기를 통하여 7종의 잡음재밍신호를 생성할 수 있으며 잡음재밍 종류별로 다양한 재밍파라미터를 사용자가 설정할 수 있다. 설정 가능한 재밍파라미터는 CW Single의 경우 중심주파수를 설정할 수 있다. CW Multitone의 경우 최대 10개의 Tone개수, Tone별 중심주파수를 설정할 수 있다. CW Sweep의 경우 Sweep시작주파수, Sweep종료주파수, Rate, Sweep이동폭을 설정할 수 있다. Pulse의 경우 중심주파수, Pulse주기, 10%단위의 Width률을 설정할 수 있다. 협대역/광대역과 같은 대역재밍의 경우 대역폭을 설정할 수 있다. AWGN의 경우 24MHz 전대역에 해당하는 광대역 재밍신호를 생성 한다. 출력신호세기는 -130dBm ~ -20dBm까지의 범위로 1dB 단위로 설정할 수 있다. 7종의 잡음재밍 종류별로 신호를 생성하여 스펙트럼분석기를 이용하여 측정 결과를 확인 하였다. CW계열 재밍신호는 설정한 신호세기 레벨과 동일하게 Peak신호레벨 신호세기가 측정되었다. 대역계열 재밍신호는 설정한 신호세기 레벨과 동일하게 channel power가 측정되었다. Fig. 5는 생성된 잡음재밍신호를 종류별로 스펙트럼분석기를 이용하여 측정한 것으로 각 재밍 종류별 고유의 스펙트럼 형태를 보이고 있다.

2.4 미코닝신호 생성

미코닝신호 생성모듈은 GPS L1, L2, GLONASS L1 대역에 대하여 미코닝신호를 생성한다. 수신 받은 Live항법신호를 버퍼에 일시적으로 저장하고, 사용자제어기에서 설정한 Delay시간 만큼 신호를 지연하여 재방송한다. Delay는 수 nsec이내의 지연 오차로 재방송 가능하다. 상용항법수신기를 대상으로 미코닝교란

시험결과 실험환경에서 대상 수신기보다 15m 이격된 미코닝용 수신안테나 위치로 대상수신기의 위치가 이동됨을 확인 하였다. Fig. 6은 미코닝신호 생성부 구성도 및 항법수신기 미코닝 결과를 나타낸 것이다.

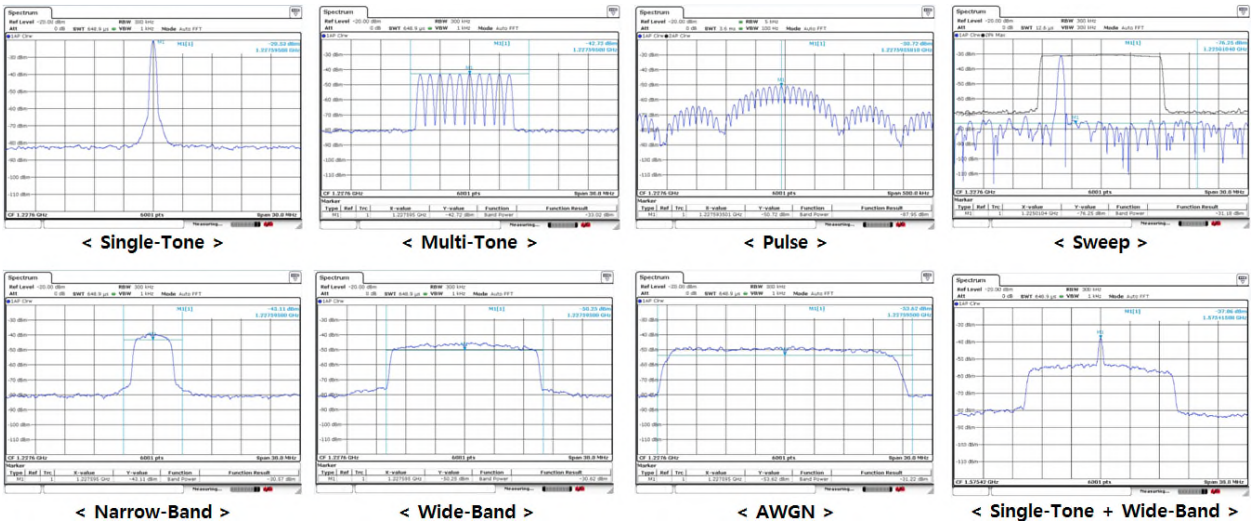


Fig. 5. 잡음재밍 스펙트럼 분석기 측정 결과.

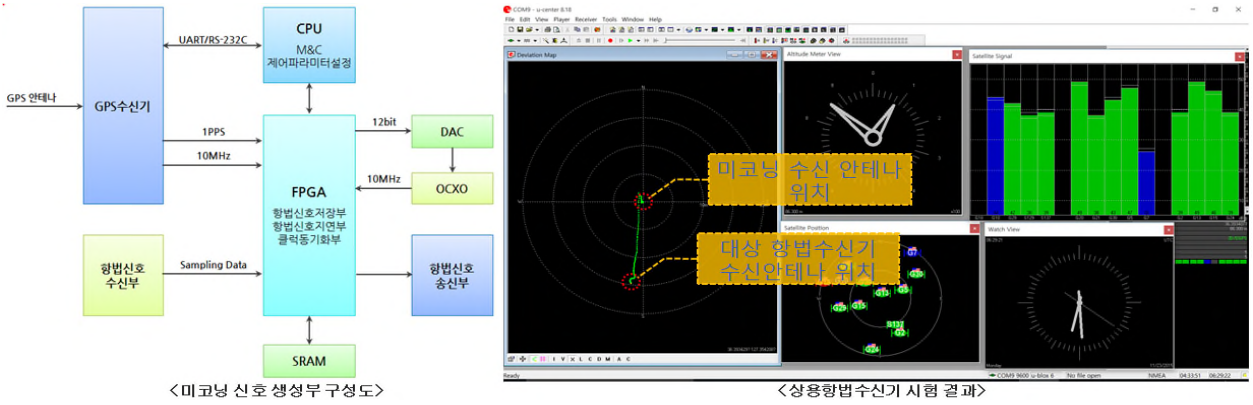


Fig. 6. 미코닝신호 생성부 구성 및 시험 결과.

3. 결 론

본 논문에서는 FPGA 기반 GPS 기만/재밍신호 발생기의 교란성능 및 효과를 상용항법수신기를 대상으로 연구하였다. 소개된 GPS 기만/재밍신호 발생기는 항재밍 기술 및 교란탐지 기술개발을 위한 테스트베드로 활용될 수 있고 복합 형태의 교란 기법 효과 연구에도 활용 가능할 것으로 기대 된다. 향후 다양한 종류의 상용항법수신기를 이용하여 성능을 추가 연구할 예정이다.

참고 문헌

Kim, T.-H. & Sin, C.-S. 2016, The performance verification of Jamming Signal for GNSS RF Interference Signal Generator, 2016 KGS Conference, 2-4 Nov 2016, Jeju, Korea, pp.463-466

GPS 수신기 전파혼신 실험환경 구축

김태희*, 신천식
한국전자통신연구원 위성기술연구그룹

Establishment of Experimental Environment for GPS Receiver Interference

Taehee Kim*, **CheonSig Sin**
Satellite Technology Research Team, ETRI

주소 : (34129) 대전광역시 유성구 가정로 218
연락처 : 042-860-6706 이메일 : thkim72@etri.re.kr

Abstract: 본 논문은 한국형 전파교란신호 검출 및 경감체계 기술개발 과제에서 GPS 수신기의 전파혼신 환경에서의 재밍 및 기만신호에 대한 영향을 파악하기 위한 시험환경 구축에 관한 것이다. 전국적으로 위성신호에 대한 정밀측위 서비스를 제공하기 위하여 상시관측소를 운영하고 있다. 이러한 상시관측소에 설치된 수신기의 측정값을 기반으로 전파혼신신호에 대한 특성을 분석하고자 한다. 시험환경 구축에 앞서 전파혼신은 불법적인 신호로 전파송출에 많은 제약이 있어 실제 GPS환경과 유사하게 실험실에 Live GPS 신호를 리피터를 이용하여 수신기에 인가한 후 안테나를 통하여 수신기가 신호를 처리하도록 한다. 수신기의 전파혼신 특성을 분석하기 위하여 전파혼신 신호 또한 Live 신호와 동기시켜 생성한 후 Live 신호와 동일하게 송신안테나를 신호를 수신기 안테나에 송출한다. 이렇게 본 논문에서는 Live GPS 신호와 전파혼신 신호를 생성하여 수신기에 인가하였을 때 수신기의 전파혼신에 따른 영향을 분석하였다.

Keywords: GPS, interference, jamming, spoofing

1. 서 론

최근 무인자동차, 드론과 같이 위성항법 시스템을 이용하여 사람이 탑승 또는 제어하지 않는 장치에서 자신의 위치를 파악하기 위하여 필수적으로 사용하고 있다. 그러나 GPS와 같은 위성항법 시스템은 위성에서 전송하는 신호세기가 낮아 의도적 또는 비의도적 전파혼신에 영향을 쉽게 받을 수 있으며 이는 무인시스템에 치명적으로 작용할 수 있다(Hu & Wei 2009). 수신기 검증을 위한 RF 시뮬레이터의 신호가 외부로 유출될 경우 GPS 수신장치에 영향을 주는 비의도적 전파혼신 경우가 있으며, 의도적 전파혼신의 경우 어떠한 목적을 가지고 GPS 수신장치에 영향을 주는 경우로, 북한에서 현재까지 총 4차례(2010, 2011, 2012, 2016년) 재밍 형태의 전파교란이 발생한 바 있었고 교란의 발생가능성이 상존해 있는 상황이다(Etnews 2016). 그러나 이러한 전파교란을 감시할 수 있는 시스템은 북한지역에서 발생된 재밍신호의 위치파악을 위해 주로 접경지역 위주로 설치 운영 중에 있다. 따라서 접경지역 이외의 지역에서 재민신호가 발생할 경우 이에 대한 감지 및 전파교란원의 위치를 파악할 수 있는 시스템이 없다. 본 논문에서는 기존에 설치된 GPS 수신시스템을 이용하여 전국적인 전파교란 감시 시스템에 대해 설명하고 전파교란신호가 불법신호이기 때문에 어떤 방식으로 GPS 수신시스템의 전파혼신 영향을 측정할 수 있는 시험환경 구축 및 시험결과를 제시한다.

2. 본론

2.1 개요

한국형 전파교란신호 검출 및 경감체계 기술은 GPS 신호감시 연계 사이트로부터 수신된 GPS 원시데이터를 활용하여 GPS 전파교란을 검출하고 대응할 수 있는 경감정보를 제공하는 기능을 수행하며 구성 시스템 별 제공 기능은 Fig. 1과 같다.

GPS 원시데이터 연동 시스템은 GPS 신호감시 연계 사이트와 연동을 통해 GPS 측정 데이터를 수집하여 GPS 전파교란 신호검출을 위한 원시데이터 처리한다. GPS 원시데이터는 위성별 신호세기, 의사거리, 도플러와 같은 정보로 이루어지며 이를 실시간으로 DB로 변환하여 GPS 전파교란 신호검출시스템에서 활용하도록 한다. 또한 GPS 신호감시 연계 사이트에서 수신되는 사이트별 위성 측정정보는 후처리 및 경향을 분석하기 위하여 주기적으로 저장하여 사용자에게 제공된다. GPS 전파교란 검출시스템은 원시데이터 처리정보를 이용하여 GPS 전파교란 신호를 검출하는 기능으로 GPS 전파교란 검출시간 단축 및 검출정확도를 향상시키는 기능을 수행한다. GPS 전파교란을 판단하기 위하여 사이트별 구축된 수신기의 교란신호

대비 항법신호세기의 특성을 측정 데이터 DB로 생성하고 이에 맞는 전파교란 검출 및 판단 알고리즘을 구축할 예정이다. GPS 전파교란 경감체계 운용시스템은 사이트별 측정데이터 DB 기반 교란신호세기 추정을 통하여 GPS 전파교란원의 위치를 파악하고 지형정보 기반으로 GPS 전파교란원의 위치 추정정보를 향상시키는 기능을 가지며 또한 GPS 전파교란원으로 인한 피해범위를 파악하고 GPS 전파교란 경감정보 생성할 수 있는 기능이 있다.

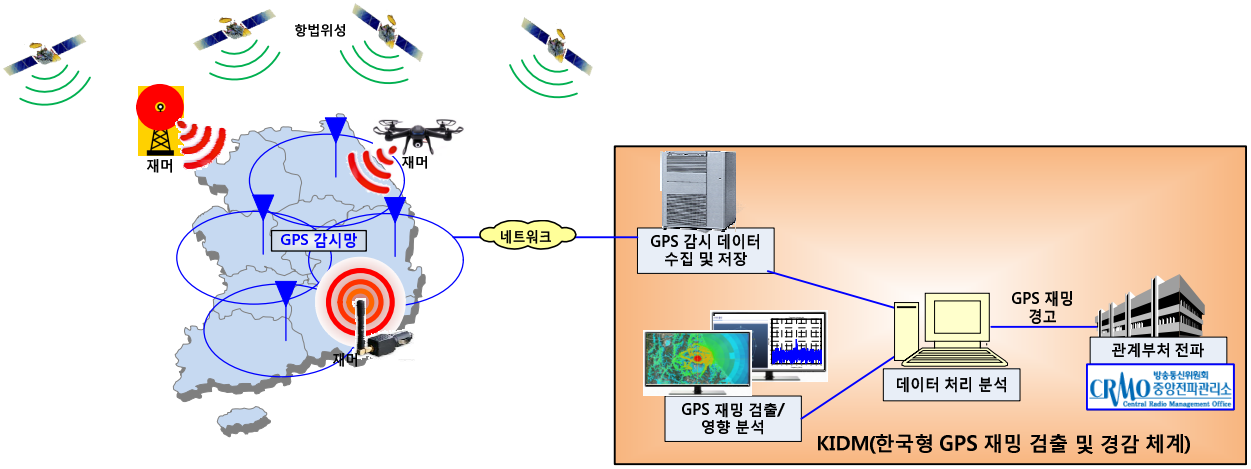


Fig. 1. GPS 전파교란신호 검출 및 경감체계 기술 개념도.

2.2 GNSS 전파혼신 시험환경 구축

본 논문에서는 GPS 전파교란 검출을 위하여 사이트에서 운용되는 수신기의 전파교란 신호에 대한 특성을 분석하기 위한 실험환경을 Fig. 2와 같이 구성한 후 GPS 전파교란 신호인 재밍 및 기만신호에 대한 수신기의 영향을 분석하였다. GNSS 전파혼신 실험은 옥외에서 진행할 경우 다른 시스템에 전파혼신을 발생할 우려가 있어 Fig. 3과 같이 옥내에 구축하였다.

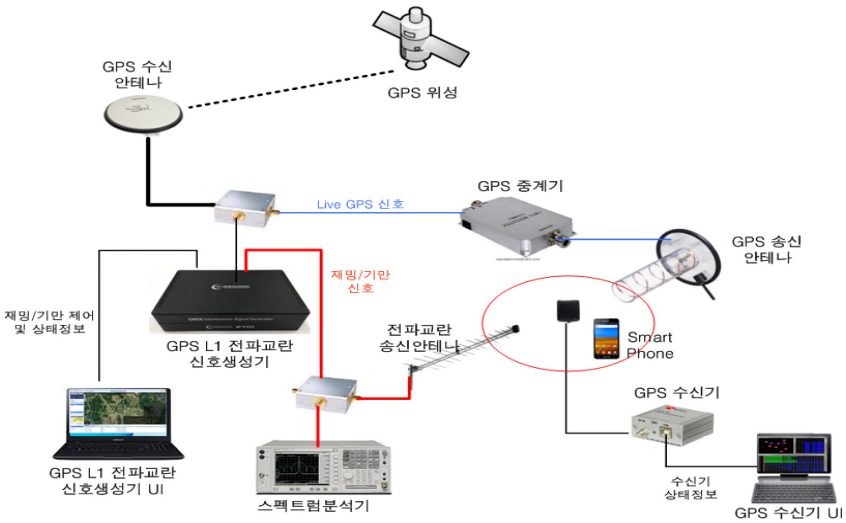


Fig. 2. GNSS 전파혼신 실험환경 구축 구성도.

실험환경을 옥내에 구축함으로써 Live GPS 신호에 대한 단절을 피하기 위하여 옥외에 안테나를 설치하고 안테나로부터 수신된 신호를 분배기를 통하여 GNSS 전파혼신 신호발생기 및 GPS 중계기로 전송하였다. 전파혼신신호를 생성하는 GNSS 전파혼신 신호발생기는 수신된 Live GPS 신호를 이용하여 Live GPS 신호와 동기된 기만신호를 생성할 수 있으며 또한 다양한 종류의 재밍신호를 생성할 수 있다. 이렇게 생성된 전파혼신 신호는 RF 케이블이 아닌 송출안테나를 통하여 수신기의 안테나로 신호를 송출하게 된다. GPS 중계기를 통한 Live GPS 신호는 신호를 증폭하여 안테나를 통하여 수신기의 안테나로 신호를 방사하게 된다. 부가적으로 생성된 전파혼신의 파형 및 신호세기를 분석하기 위하여 스펙트럼

분석기를 이용하였다. 전파혼신 신호 및 Live GPS 신호의 송출을 위하여 LP 타입의 안테나를 사용하였으며 수신기는 수신기는 U-Blox 6T evolution 수신기를 사용하였으며 수신 안테나는 패치타입의 안테나를 사용하였다. 본 논문에서는 전파혼신신호로 재밍 신호 및 고정형 기만신호를 이용하여 수신기의 영향을 분석하였다.

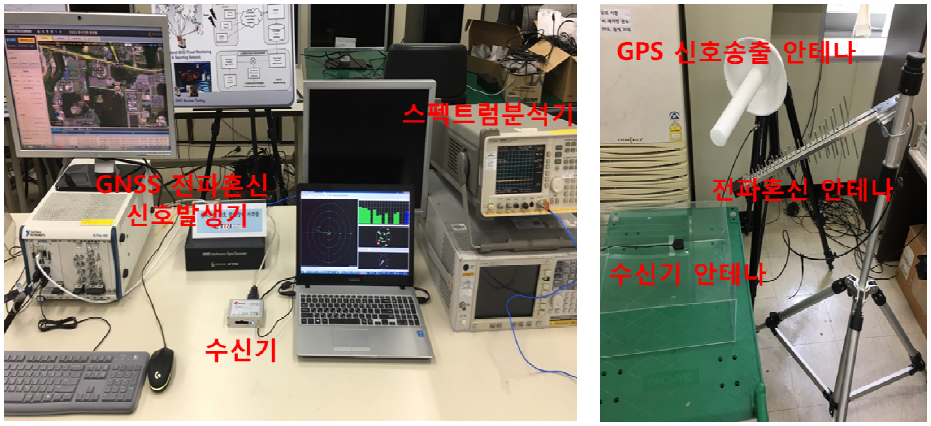


Fig. 3. GNSS 전파혼신 시험환경 구축.

3. 실험 및 분석

3.1 GNSS 재밍신호 영향 분석

재밍신호 영향을 분석하기 위하여 전파혼신발생기에서 재밍신호의 형태 및 특성에 따라 재밍신호를 생성하여(Kim & Sin 2016). 신호를 송출하고 수신기에 대한 영향을 분석하였다. 전파혼신발생기에서 사용자가 입력한 재밍신호의 특성 및 형태를 스펙트럼분석기를 통하여 확인하고 재밍신호에 따라 수신기에서 측정한 항법해, C/No 등의 값을 확인하여 재밍신호의 영향을 측정하였다.

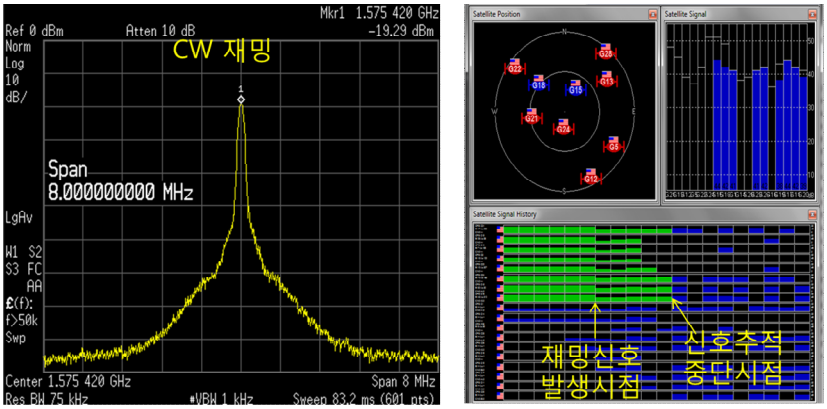


Fig. 4. 재밍 신호에 따른 수신기 영향 분석.

Fig. 4에서 보면 재밍신호의 형태를 CW 신호로 선택하고 재밍신호세기를 -20dBm까지 신호를 안테나를 통하여 출력하였을 경우 수신기의 영향을 분석하였다. 수신기에서 재밍신호가 발생된 시점부터 측정되는 C/No값이 영향을 받고 있으며 일정 시간이 흐른 뒤 모든 채널에 신호추적이 끊어지는 현상을 확인할 수 있었다. 신호추적이 중단되면서 위성의 Sky Plot 및 신호레벨, 항법해의 측정이 중단되었다.

3.2 GNSS 기만신호 영향 분석

기만신호 영향을 분석하기 위하여 전파혼신발생기에서 Live GPS 신호를 수신하여 Live GPS 신호와 동기된 기만신호를 생성하였다. 이때 Live 신호와 동기는 최대 100nsec 이하까지 유지시켰으며 생성 채널의 수는 Live 신호와 동일한 수로 신호를 생성하였다. 기만신호에 대한 실험방법은 우선 GPS 중계기를 통하여 송출되는 신호를 수신기에 인가하여 Live 신호를 정상적으로 처리하게 한 후 기만신호를 생성하여 기만신호를 송출하였을 때 수신기의 영향을 분석하였다. 일반적으로 Live GPS 신호를

처리하였을 때 위성별 거리에 따라 신호세기의 차이를 가지고 있다. 이를 구분하기 위하여 생성된 기만신호의 신호세기를 모든 채널에서 동일한 크기를 갖게 하였다. 또한 초기 기만신호의 생성 위치는 옥외에 설치된 안테나의 위치와 동일하게 생성하였다. 이에 따라 기만신호의 영향에 대한 판단은 수신기에서 측정되는 신호세기가 모든 채널에서 생성된 신호의 신호세기를 갖는 것과 수신기의 위치좌표가 동일한 지점으로 측정하고 있는지 확인하였다. 이렇게 기만신호의 영향으로 수신기가 기만될 경우 수신기의 위치 좌표를 그림과 같이 이동시켰다. Fig. 5에서 보듯이 수신기의 위치좌표가 옥외 안테나의 고정된 위치좌표가 아니라 GPS 전파혼신발생기에서 이동시킨 위치 좌표로 수신기가 항법해를 산출하는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 5. 기만신호에 따른 수신기 영향 분석.

4. 결 론

본 논문에서 한국형 전파교란신호 검출 및 경감체계 기술개발 과제에서 GPS 전파교란 신호검출을 위하여 전파혼신 신호에 따른 수신기 영향을 분석할 수 있는 실험환경을 구축하였다. 구축된 실험환경에서는 GPS 전파혼신 신호를 다양한 재밍형태 및 특성에 따라 수신기의 영향을 분석할 수 있으며 또한 Live GPS 신호와 동기된 기만신호의 형태도 분석할 수 있다. 향후 GPS 신호감시 사이트에 설치된 수신기인 Trimble 사의 NetR9 수신기 및 초크링과 같은 안테나 특성에 따른 재밍 및 기만신호에 대한 영향을 분석할 예정이다.

AKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-01067 한국형 전파교란신호 검출 및 경감체계 기술개발).

REFERENCES

Etnews 2016, [Internet], cited 2016 Apr. 5, available from: http:// http://www.etnews.com/20160405000068

Hu, H. & Wei, N. 2009, A study of GPS jamming and anti-jamming, in Proc. 2009 2nd Int. Conf. Power Electron. Intell. Transportation Syst. (PEITS), pp.388-391. https://doi.org/10.1109/PEITS.2009.5406988

Kim, T.-H. & Sin, C.-S. 2016, The performance verification of Jamming Signal for GNSS RF Interference Signal Generator, 2016 KGS Conference, pp.463-466

GNSS 소프트웨어 수신기를 이용한 재밍 영향 분석

채정근[1*], 송세필[1], 손석보[1], 최승호[2]
[1]넵코어스(주), [2]국방과학연구소

Analysis of Jamming Effect using GNSS Software Receiver

JeongGeun Chae[1*], Sephil Song[1], Seok Bo Son[1], Seungho Choi[2]
[1]NAVCOURS Co., Ltd., [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6 넵코어스(주)
연락처 : 042-363-9034 이메일 : jgchae@navcours.com

Abstract: GNSS는 지구 상에서 편리하게 사용 가능한 대표적인 전파항법 시스템이다. GNSS 위성 신호는 매우 약하기 때문에, 이를 수신하는 GNSS 수신기는 간섭 신호에 취약하다. 특히, 재밍 신호는 GNSS 수신기를 무력화하는 간단하면서도 유효한 공격 수단으로 많이 이용되고 있다. 따라서, GNSS 수신기와 관련된 연구 기관에서는 재밍 신호에 대한 경감 기법을 꾸준히 연구하고 있으며, 이를 위해서는 재밍 신호에 대한 GNSS 수신기의 동작을 분석하여야 한다. 본 논문에서는 CW, AWGN, PRN 등 기존에 알려진 다양한 재밍 신호를 생성하고, 이를 GNSS 소프트웨어 수신기를 이용하여 수신한다. 그리고 GNSS 소프트웨어 수신기의 신호 품질 및 항법 결과와 관련된 파라미터를 활용하여 재밍 신호가 항법에 끼치는 영향을 분석한다.

Keywords: jammer, GNSS, interference

1. 서 론

GNSS (Global Navigation Satellite Systems)는 인공위성을 기반으로 하는 전파 항법 시스템이다. 이 시스템은 정확한 위치, 시각 추정이 가능한 장점이 있어 개인, 기업, 국방 등 다양한 분야에서 활용된다. 지상에서 수신되는 위성항법 신호의 세기가 매우 약한 특성으로 인해, 간섭 신호에 취약한 단점이 있다.

GNSS 간섭 신호는 크게 비고의적 간섭 신호와 고의적 간섭 신호로 나눌 수 있다. 타 대역의 신호에 의한 불요 신호가 GNSS 대역을 간섭 하는 것을 비고의적 간섭이라고 하는데, 미국 메사추세츠 지역의 텔레비전 방송국에서 782MHz~788MHz 대역의 주파수를 2,000KW급 Effective Radiated Power (ERP)로 송출하여 1.564GHz~1.576GHz 대역의 불요 간섭 신호가 GPS 신호를 교란한 것이 대표적인 비고의적 간섭 사례이다 (Kim 2013). 반면에 고의적 간섭 신호는 GPS 교란 장치를 이용하여 임의로 간섭 신호를 발생함으로써 GNSS 수신기를 의도적으로 무력화한다(Jeon 2011).

재머를 이용한 고의적인 GNSS 신호 간섭은 수신기를 간단히 무력화할 수 있기 때문에 이를 완화 또는 회피하여 수신기를 보호하는 항재밍 알고리즘은 중요한 연구 분야 중 하나이다.

항재밍 알고리즘을 개발하기 위해서는 대상 재밍 기술에 대한 분석이 선행되어야 하므로, 간섭 신호를 수신한 GNSS 수신기의 내부 동작 상태, 파라미터들을 수집하고 이를 확인할 수 있어야 한다. 위성항법 Software Defined Radio (SDR)은 일반적인 하드웨어 기반의 수신기보다 자유롭게 수신기 내부 파라미터를 변경하고 동작 상황을 확인할 수 있기 때문에 항재밍 알고리즘 연구에 보다 적합하다.

재밍 신호를 생성하여 GNSS 신호를 공격하는 방법은 다양한 알고리즘이 알려져 있다. Gregory (1997)의 Continuous Wave (CW)와 같이 좁은 대역의 강한 간섭 신호를 신호 대역에 인가하거나 GNSS 신호의 PRN 코드를 이용하여 간섭신호를 GNSS 신호 대역에 확산하는 Pseudo Random Noise (PRN) 코드 재밍 방법, 넓은 GNSS 신호 대역에 잡음 신호를 인가하는 Additive White Gaussian Noise (AWGN) 재밍 또는 잡음 재밍, 그리고 이미 방송된 GNSS 신호를 수신한 다음 이를 지연 송출하는 미코닝 또는 재방송 재밍 방식도 있다 (Kim et al. 2016).

SDR은 일반적인 하드웨어 수신기와 달리 안테나와 RF 신호의 전처리부 외의 신호처리 및 항법 관련 모듈을 소프트웨어로 구성한 수신기이다. 소프트웨어로 구성된 거의 모든 부분을 사용자가 조정하거나 각종 파라미터를 모니터링 할 수 있기 때문에 기본적인 GNSS 항법 기능 외에 항재밍 알고리즘 개발에도 활용 되고 있다. 본 논문에서는 USRP를 RF 전처리부로 사용하고, 신호처리를 위하여 Graphic Processing Unit (GPU) 기반 신호처리를 수행하는 GNSS SDR을 신호 분석에 활용하였다(Park et al. 2016).

본 논문에서는 CW, AWGN, PRN Code 재밍 신호를 생성하고 이를 GNSS 시뮬레이터의 위성항법 신호와 결합하여 재밍 환경을 모의한 신호를 생성한다. 그리고 GPS, GLONASS, Beidou L1 대역 신호를 수신할 수 있는 소프트웨어 기반 수신기에 모의 신호를 입력하고 PLL, DLL, C/N0 등의 내부 파라미터 변화를 확인한다.

2. 재밍 신호 분석 시험

2.1 시험 방법

본 논문에서는 GNSS SDR에 위성항법 신호와 CW, AWGN, Code 재밍 신호를 다음과 같이 각각 인가하였다. 시뮬레이터를 이용하여 GPS, GLONASS, Beidou L1 대역의 위성항법 신호를 생성하였으며, Table 1의 재밍 신호를 Fig. 1의 시나리오에 따라 각 위성항법 신호의 대역을 기준으로 구분하여 3분간 인가하고, 다시 정상신호를 3분간 수신하도록 하였다. 수신기에 인가할 재밍 신호를 생성하였다. 그리고 생성된 위성항법 신호와 재밍신호를 결합하여 SDR에 입력하였으며, SDR에서 출력된 PLL, DLL 값과, C/N0를 확인함으로써 재밍 신호가 인가된 시점에서의 수신기 동작 상황을 확인하였다.

Table 1. Jamming signals.

Type	Relative signal power [dB]	Specifications
CW	+55	-
AWGN	+55	Bandwidth [MHz]: GPS 4, GLO 8, Beidou: 8
PRN	+55	Code: GPS 15, GLO 14, BDS 17

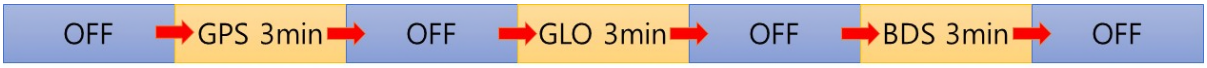


Fig. 1. The Jamming scenario with 6 phases.

2.2 시험 결과

Fig. 2는 CW 재밍 신호를 인가하였을 때의 DLL, PLL Discriminator 출력 그래프이며, Fig. 3은 C/N0 결과이다. GPS 대역에 CW 재밍 신호가 인가되었을 때, GPS나 GLONASS 신호 채널의 PLL, DLL에서는 신호를 잃었지만, Beidou 신호는 C/N0가 약간 감소되었음을 확인할 수 있다. 그리고 GLONASS 대역에서 CW 신호가 인가되었을 때는 GPS, GLONASS, Beidou 신호를 획득하지 못하였고, Beidou 대역에 CW 신호를 인가했을 경우에는 Beidou 신호만 수신하는 것을 확인할 수 있다.

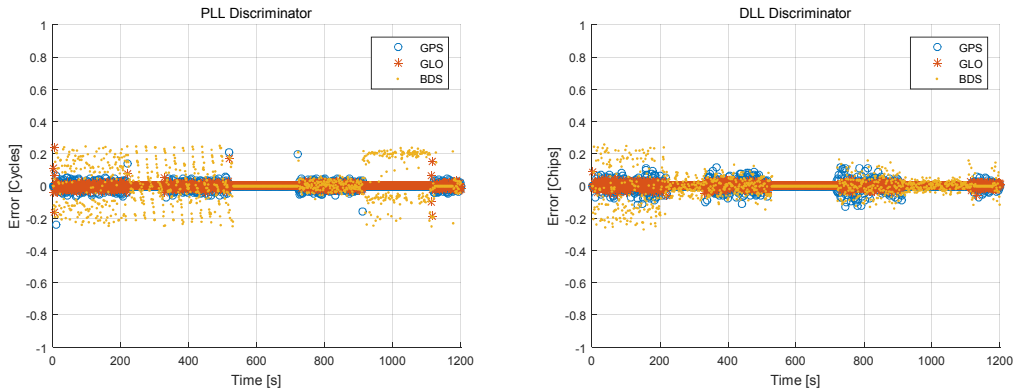


Fig. 2. DLL & PLL discriminator (GPS L1 C/A-26, GLONASS G1-02, Beidou, B1I-05, CW jamming).

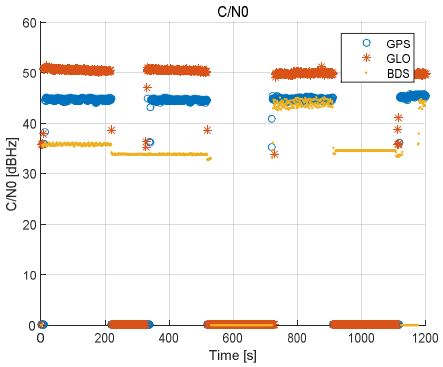


Fig. 3. C/N0 (GPS L1 C/A-26, GLONASS G1-02, Beidou, B1I-05, CW jamming).

PRN 코드 재밍 신호가 GPS 및 Beidou 대역에 인가되었을 경우에는 Figs. 4-6의 그래프와 같이 GPS, GLONASS, Beidou 신호를 모두 수신하지 못하였으나, GLONASS 대역에 재밍 신호가 인가되었을 경우에는 GPS, GLONASS 신호는 수신하지 못한 반면에 Beidou 신호는 수신하였음을 확인하였다.

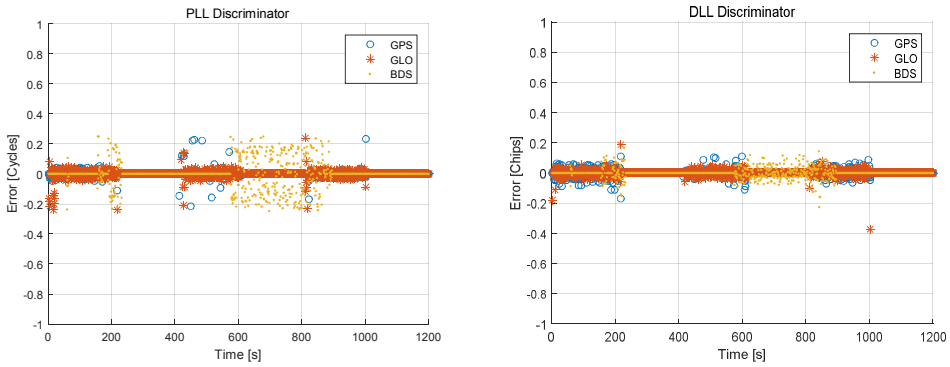


Fig. 4. DLL & PLL discriminator (GPS L1 C/A-06, GLONASS G1-05, Beidou, B1I-04, PRN Code jamming).

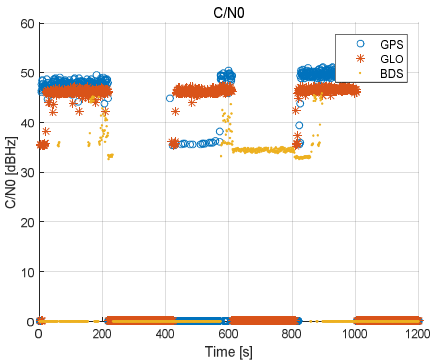


Fig. 5. C/N0 (GPS L1 C/A-06, GLONASS G1-05, Beidou, B1I-04, PRN code jamming).

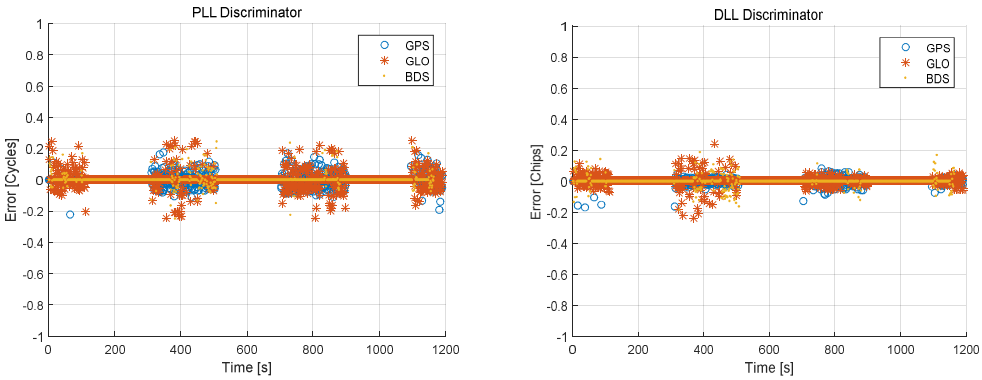


Fig. 6. DLL & PLL discriminator (GPS L1 C/A-15, GLONASS G1-07, Beidou, B1I-05, AWGN jamming).

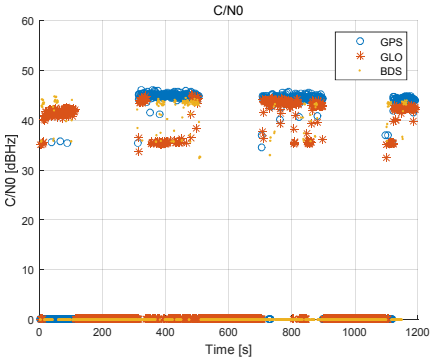


Fig. 7. C/N0 (GPS L1 C/A-15, GLONASS G1-07, Beidou, B1I-05, AWGN jamming).

Fig. 6과 Fig. 7은 AWGN 잡음 재밍 신호를 인가하였을 때의 결과이다. 각 위성 채널에서의 DLL, PLL Discriminator 출력과 C/N0를 보면 재밍이 인가된 시점에 각 채널에서 위성 신호를 수신하지 못하였음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 CW, AWGN, PRN Code 재밍신호를 수신한 GNSS 수신기의 동작 상태를 확인하였다. 이를 위하여 고성능 PC와 범용 RF Front-end로 구성된 GNSS SDR을 이용하였으며, PLL 및 DLL Discriminator 값과 C/N0 출력을 토대로 각 재밍 신호의 재밍 성능을 확인할 수 있었으며, 재밍 신호 송출 종료 후 다시 정상적으로 수신기가 동작하는 것을 확인하였다. 향후에는 GNSS SDR에 미코닝 신호를 인가하거나, 항재밍 또는 항기만 알고리즘을 적용한 다음 재밍 신호를 인가하였을 때의 동작 결과를 확인하는 등, GNSS SDR 기반의 재밍 또는 항재밍 알고리즘 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

Jeon, D. H. 2011, [Internet, cited 2011 Jun. 01, available from: http://news.donga.com/It/3/08/20110601/37686479/1

Kim, H., Choe, Y. E., Yoo, S., Jee, G.-I., Yeom, D.-J., el al. 2016, A Study on the Repeat-Back Jamming Effects of GPS L1 C/A Signal through a Field Experiments, KICS, 2016, 60, 6, 283-284. https://summer.kics.or.kr/storage/paper/event/2016summer/publish/8A-5.pdf

Kim, K. 2013, Analysis of Anti-Jamming Techniques for Satellite Navigation System, J-KICS, 38C, 1216-1227. https://doi.org/10.7840/kics.2013.38C.12.1216

Park, K. W., Lee, S., Lee, M. J., & Park, C. 2016, Design of a Buffer Management Algorithm for USRP Based Real-time GNSS SDR, KGS, 2016, C7-2, 344-348

태양활동이 SBAS 시스템 성능에 미치는 영향 분석

신천식*, **염인복**
한국전자통신연구원 위성기술연구그룹

An Impact Analysis on SBAS Performance Due to Solar Event

Cheon Sig Sin*, **In Bok Yom**
Satellite Technologies Research Group, Radio & Satellite Research Division, Broadcasting & Media Research Laboratory, ETRI

주소 : 대전광역시 유성구 가정로 218 한국전자통신연구원
연락처 : 042-860-6580 이메일: cssin@etri.re.kr

Abstract: 본 논문은 태양활동으로 인해 전지구 위성항법시스템 중 하나인 GPS 항법신호를 지상에서 보정해 정지궤도 위성을 통해 방송하는 SBAS 시스템 성능에 미치는 영향이 무엇인지를 도출하고 이를 해소하는 방안에 대해 살펴보고자 한다. 지금까지의 태양활동에 대비하기 위한 방안으로 SBAS 시스템 차원에서는 어떤 방안들이 연구되고 있는지 와 태양활동과 같은 우주전파 재난에 대비하기 위한 국가별 정책 등이 어떻게 추진되고 있는지를 분석함으로써 향후 SBAS 시스템 차원에서의 추가적인 기술개발 필요성을 제시하는데 기여하고자 한다.

Keywords: sbas, KASS, space weather, solar event, GEO

1. 서론

GPS를 포함한 전지구 위성항법시스템이 방송해주는 항법신호의 이용분야가 확대되고 있는 상황하에서 태양활동과 항법신호간의 연관성 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 태양활동은 약 11년을 주기로 태양흑점이 많아지는 극대기와 태양흑점이 줄어드는 극소기를 반복하는데 2013년이 가장 최근의 태양활동 극대기 해였던 것으로 알려져 있다. 태양흑점폭발로 인해 다양한 분야에서의 영향이 발생되는데 그 중 위성항법신호에 실제로 어느 정도 영향이 미치는 지에 대한 국외 사례를 통해 알아보고 이를 해소하기 위한 방안이 무엇인지를 파악해보고 GPS 신호를 기반으로 하는 위성기반보정시스템인 Satellite Based Augmentation System (SBAS)에서 태양활동에 따른 대비책 강구를 위한 관련 연구들이 진행되고 있는지를 파악해보고자 한다.

2. SBAS시스템 개요

SBAS 시스템은 항공분야의 안전운항을 위한 기반인프라 중 하나로 미국의 Wide Area Augmentation Satellite System (WAAS), 유럽의 European Geostationary Navigation Overlay Service, 인도의 GPS Aided Geo Augmented Navigation 등이 대표적이다. 이들 국가들은 위치정보가 다양한 분야에서 활용도가 증가 추세인 점을 고려해 GPS 위성이 제공하는 위치 정보를 보정해 보다 정밀한 위치정보를 제공하고 있다. 국내에서도 Korea Augmentation Satellite System (KASS) 개발을 2022년까지 개발 구축을 통해 위성을 통해 보다 정밀한 위치정보를 방송할 계획으로 그림 1과 같이 구축될 예정이다.



그림 1. KASS 시스템 예상 구성도 및 활용개념도.

그림 1에서와 같이 KASS 시스템은 크게 우주부문과 지상국 부문으로 나누어지고 우주부문은 2개의 정지궤도 위성(적도상의 고도 약 36,000km)으로 구성되고 지상국 부문은 GPS 신호를 수신하는 기준국, GPS 오차계산 및 SBAS 신호를 생성하는 중앙 처리국, 정지궤도 위성으로 SBAS 신호를 송신하는 위성 통신국, 지상국을 서로 연결해주는 네트워크, 지상국을 통합 관리하는 통합 운영국으로 구성된다. 위성이 갖는 동보성 및 광역성을 활용할 수 있는 우리나라 전역에서 SBAS 신호를 수신할 수 있어 현재 GPS위성이 방송해주는 항법신호를 수신 처리해 얻을 수 있는 위치정보의 정확도 향상은 도모할 수 있음은 물론 항법신호에 대한 이상유무를 알려주는 무결성 정보기능까지 제공되어 다양한 분야에서의 활용도가 활성화 될 것으로 판단된다.

3. 태양활동이 GPS 신호성능에 미치는 영향

태양활동에 대한 문헌상의 기록 중 가장 활발한 태양활동 중 하나가 리챠드 캘링턴에 의해 1859년 8월 28일부터 9월 4일간에 발생된 백색광 플레어에 대한 최초로 관측자료로 알려진 캘링턴 이벤트이다. 캘링턴은 그림 2와 같이 런던 근교 Kew 지역 관측소에서 지자기 폭풍 및 X선 기록을 관측장비를 통해 관측된 결과를 제시하였고, 유사 기간 동안에 인도 봄베이의 관측소에서도 유사한 기록 결과가 제시되었다(Berger 2015).

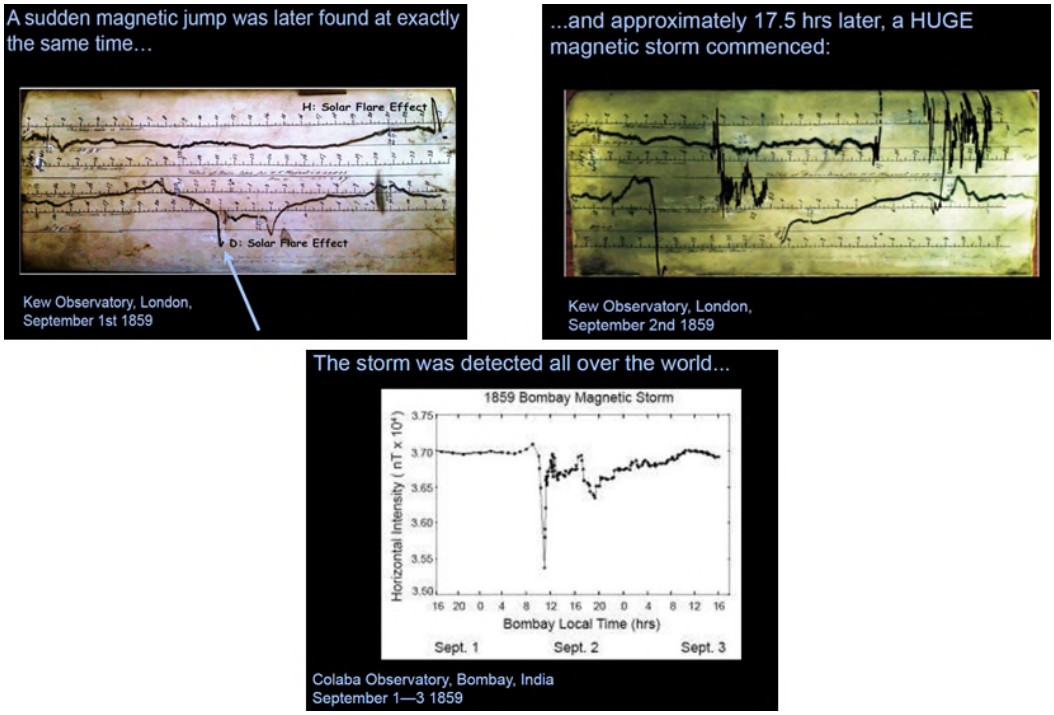


그림 2. 태양활동에 대한 기록 - 캘링턴 이벤트.

그림 3은 향후 대규모의 태양활동으로 인한 흑점폭발 가능성을 전망한 것이고(https://solarscience.msfc.nasa.gov), 향후 10년이내 캘링턴과 같은 태양활동 발생 가능성을 6.3%부터 최대 12%까지로 전망하고 있다(Roodman & Givewell 2015).

태양활동으로 인한 흑점폭발이 발생되면 코로나 질량방출, 태양 X선 및 극 자외선인 플레어 발생, 태양양성자 유입 및 태양풍 등으로 인해 통신관련 장비 및 다양한 분야에 영향을 초래한다(Comberiate et al. 2012).

2000년에 들어서는 2003년 10월에 플레어로 인해 일본의 미도리(Midori) 위성에 피해를 포함해 30개 위성이 장애를 초래하였고, 미 항공 우주국(NASA) 보유 위성의 약 70%가 영향을 받았으며 미국의 위성기반보정시스템인 WAAS에서 제공하는 위치오차가 100 m를 초과했었던 것으로 알려져 있다. 그 외에도 스웨덴에서는 전력망 고장이 발생했던 것으로 알려져 있다(Groves et al. 2016).

태양활동으로 인해 발생되는 지자기 폭풍으로 인한 지자기교란발생 및 플레어로 인한 신틸레이션으로 인해 전리권에서의 이온층 변화로 GPS 레인징 오차 및 GPS 신호에 대한 수신 신호세기 열화로 GPS 신호획득 및 추적과정에 영향을 초래하게 된다. 그림 4a는 GPS 신호가 전리권에서의 영향을 도식화 한 것이다(Fisher 2011).

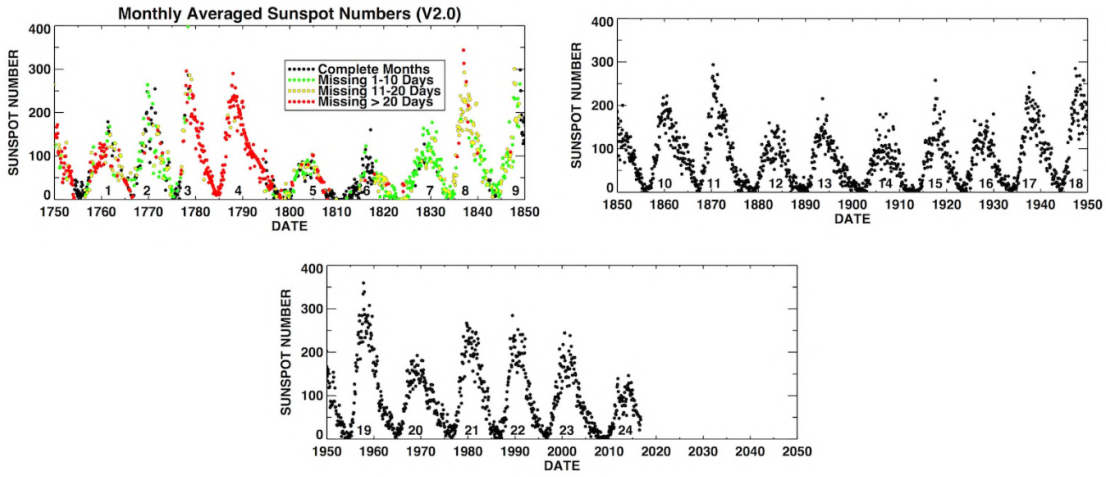
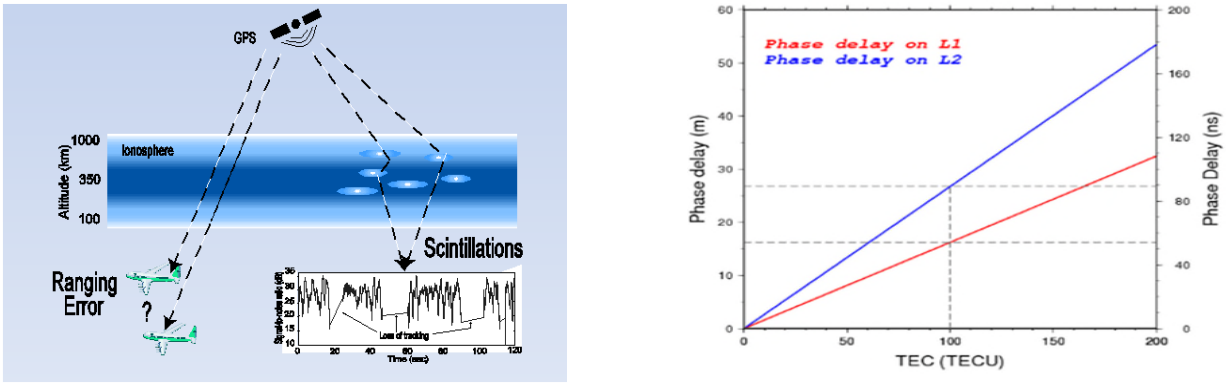


그림 3. 대규모 태양활동 발생 가능성 전망결과.



(a) (b)

그림 4. 태양활동으로 인해 GPS 신호에 미치는 영향 개념도.

전리권에서의 GPS 신호에 영향이 발생하는 이유는 태양흑점폭발 등 태양활동으로 전리권에 존재하는 전자밀도의 변화로 전파속도의 변화 및 Total Electron Content (TEC) 변화로 인해 레인징 오차가 발생되며 레인징 오차는 TEC 값에 비례됨을 식 (1)을 통해 알 수 있다(Doherty & Radicella 2009).

$$\text{레인징 오차(m)} = \text{광속} * dt_{ione} = (40.3/f^2) * \text{TEC} \quad \cdots\cdots (1)$$

가령, TEC값이 60 이 발생할 경우, GPS L1 신호의 경우, 위치오차가 10m 가량 발생하는 것을 유추할 수 있다. 전리권의 신틸레이션으로 인해 GPS 위성에서 방송한 항법신호의 신호진폭 및 위상이 갑작스럽게 변화되어 항법수신기의 안테나 입력단에 유입되는 수신신호 세기가 열화되어 그로 인해 항법수신기에서의 항법신호 추적 기능이 상실할 가능성이 초래될 수 있다. 그림 5는 2006년 6월 남미 페루 Ancon 지역에 설치된 Ashtech사 제품 항법수신기가 태양활동으로 영향으로 5분동안 신호추적이 불가능했던 것으로 알려져 있다(Groves et al. 2016).

태양활동으로 인한 전리권에서의 이온층 변화가 GPS 신호에 영향을 주고 그로 인해 레인징 오차 발생 및 신호추적 기능에 영향을 주므로 이를 위해 국외에서는 GPS 신호에 대한 이중주파수 처리 수신기 개발, GPS 이외의 타 항법시스템이 방송하는 항법신호 처리 기능을 갖춘 다중항법 수신기 개발, Klobuchar 계수, 국제적 기준 이온층(International Reference Ionosphere) 등 경험적 모델개발, Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics Model 등 물리적 기반 수치모델 및 US-TEC 등과 같은 데이터 동화 기법 등을 개발중인 것으로 파악되었다.

따라서 현재 구축 운용중인 SBAS 시스템은 GPS 신호를 보정해 L1 신호대역을 통해 보정정보가 생성되므로 태양활동으로 인해 GPS 신호에 영향을 받을 경우, SBAS 시스템도 영향을 받을 수 밖에 없을 것이다. 하지만 2017년 9월 현재, 총 30개 위성 중 L1, L2 및 L5 신호 방송이 가능한 Block-IIF 위성이 12개 배치되었고 향후 추가배치 등이 이루어질 것인바, L5 신호에 대한 보정기능도 함께 이루어질 전망이다. SBAS 시스템을 구축운영중인 미국이나 유럽에서도 현재의 GPS L1 신호뿐 만 아니라 L5 신호에 대한 GPS 보정

신호 제공을 위한 Dual Frequency Multi Constellation에 대한 연구개발 되고 있어, 2020년 이후에는 SBAS 시스템에서도 이중주파수를 활용한 GPS 보정신호 방송이 될 것으로 전망된다.

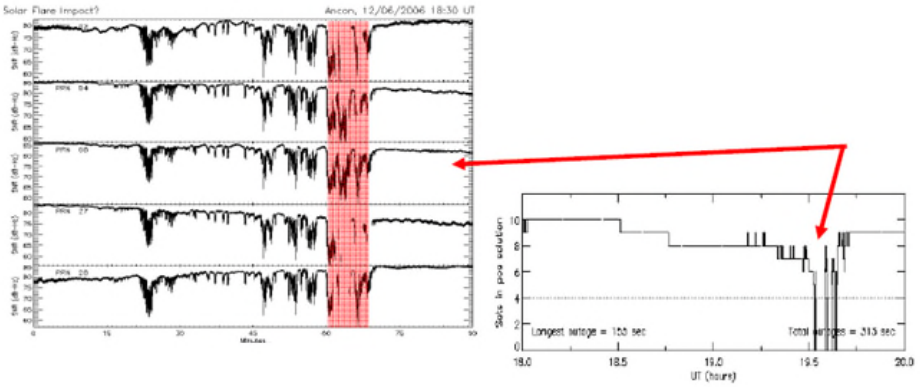


그림 5. 태양활동으로 인한 GPS 항법수신기 신호추적에 미치는 영향(예).

4. 결론

본 논문에서는 태양흑점폭발 등 태양활동으로 GPS 신호에 미치는 영향을 살펴보았고, 전리권에서의 이온층 총 전자량으로 인해 GPS 신호의 위상지연 발생에 따른 의사거리 변화량을 추정 방법에 대해 살펴보았다. 또한 태양활동으로 인한 전리권에서의 영향을 줄이기 위한 국외 연구개발 방향 및 SBAS 시스템에서 연구개발 방향에 대해서도 분석하였다. 2022년 이후 구축 운영예정인 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS) 개발 이후에도 태양활동에 따른 영향을 최소화하기 위해 필요한 기술개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(과제번호 17ATRP-A087579-04)에 의해 수행되었음.

REFERENCES

Berger, T. 2015, The history and future of space weather, HAO 75th Anniversary, Sept. 2, 2015.

Comberiate, J., Kelly, M., Dyrud, L., & Weaver, G. 2012, Space weather effects on GPS systems, 17 Sep. 2012, Applied Physics Laborstory, Johns Hopkins University

Doherty, P. H. & Radicella, S. M. 2009, Satellite navigation science and technology for Africa, 23 March to 9 April 2009, Miramare, Trieste, Italy

Fisher, G. 2011, Satellite navigation & space weather understanding the vulnerability & building resilience, American Meteorological Society policy workshop report, March 2011.

Groves, K., Carrano, C., & Doherty, P. 2016, Space weather effects on global navigation satellite systems, UN/Nepal Workshop on the Applications of GNSS, 12-16 Dec. 2016, Kathmandu, Nepal

Roodman, D. & Givewell 2015, A preliminary review-The risk of geomagnetic storms to the grid, pp. 40-41.

5소자 기반 다중 빔조향 기능을 구비한 항재밍 GNSS 수신기 개발

조종철*, 김병균, 서흥석, 윤상준
넵코어스㈜

Development of Multi-Beam Forming Anti-Jam GNSS Receiver Based on 5-elements CRPA

Jong Chul Cho*, Byeong Gyun Kim, Hung Seok Seo, Sang Jun Yun
Navcours Co., Ltd.

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6(관평동 713)
연락처 : 042-363-9251 이메일 : nix4102@navcours.com

Abstract: 위성항법신호 교란에 대응하는 항공용 EGI 통합항법장치의 구성품인 5소자 배열 안테나를 사용하여 GPS/GLONASS를 수신할 수 있는 24채널 이상의 빔조향 기능을 갖는 항재밍 GNSS 수신기를 개발하였다. 본 논문에서는 빔조향 항재밍 GNSS 수신기의 구조와 알고리즘에 대해 기술하였고, 빔조향 이득, 실제 교란 대응, 최대 JSR 성능을 측정하여 성능을 평가하였다.

Keywords: anti-jam GNSS receiver, CRPA, beam forming, nulling

1. 서 론

GNSS 신호는 직접 대역 확산의 프로세싱 이득을 가지나, 군사 목적의 재밍에는 매우 취약하다 (Kaplan & Hegarty 2006). 이와 같은 GNSS 신호의 재밍을 줄이기 위해 위성 항법 시스템에서는 항재밍 안테나 기술, 프론트 엔드(Front-end) 필터링 항재밍 기술, 디지털 항재밍 신호처리기술 등 다양한 재밍 감쇄 기술이 적용되고 있다. 항재밍 안테나 기술은 적응형 배열 안테나를 사용하여 위성 신호 방향에는 빔을 형성하여 이득을 높이고 재밍 방향에 널(null)을 형성하여 재밍을 감쇄하는 기술이다. 본 논문은 5소자의 배열 안테나를 사용하여 GPS/GLONASS 24채널 이상의 실시간 빔 조향과 재밍 제거 기능을 갖는 GNSS 수신기를 개발한다. 이를 위해 높은 동적 영역을 갖는 컴포넌트 기반의 RF부를 설계 하였고, 협대역, 광대역 재밍 제거 알고리즘을 구현하기 위한 디지털 신호처리부와 항법 알고리즘 기능을 갖는 위성항법수신부를 구현하였다. 빔조향과 항재밍 알고리즘은 다양한 야외시험을 통해 확인하였다.

2. 빔조향 항재밍 GNSS 수신기 설계

5소자 기반의 빔조향 항재밍 GNSS 수신기는 크게 RF부와 항재밍 디지털 신호처리부, 위성항법 수신부로 구성된다. Fig. 1은 빔조향 항재밍 GNSS 수신기의 구성도와 형상을 나타낸다.

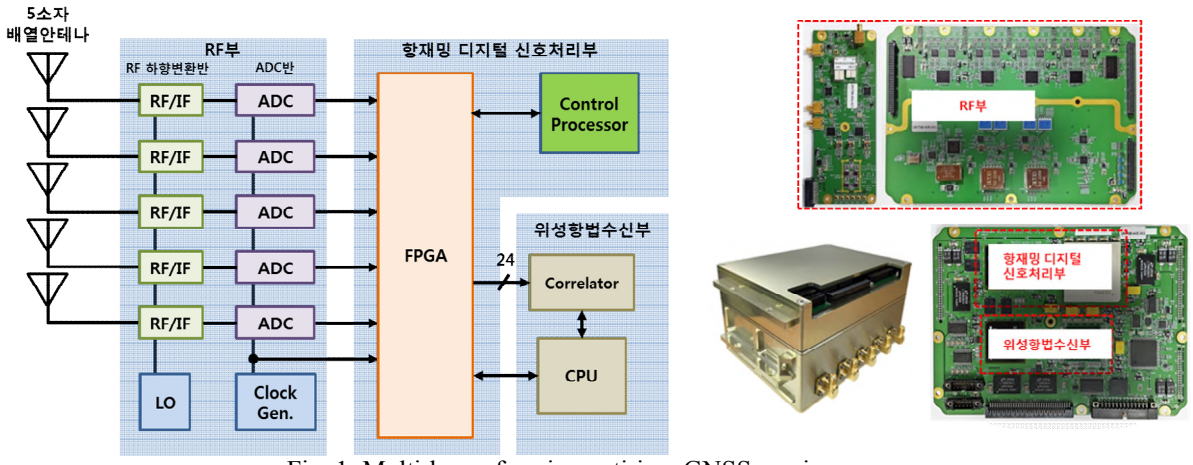


Fig. 1. Multi-beam forming anti-jam GNSS receiver.

2.1 RF부 설계

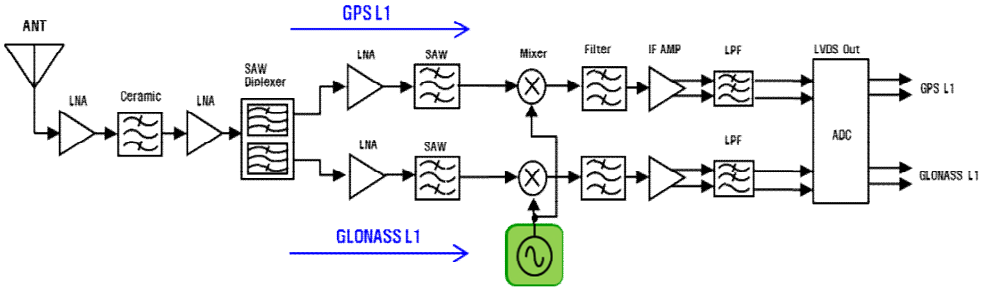


Fig. 2. RF block diagram.

RF부는 5소자 배열안테나에서 입력되는 RF 신호를 IF로 주파수를 낮추고 디지털 신호로 변환하는 기능을 한다. RF부는 RF 하향변환반, PLL반, ADC반, LO반, 클럭생성반으로 구성된다. Fig. 2는 RF의 주파수 하향변환반과 ADC반의 구성도를 나타낸다. 입력되는 RF 신호는 GPS L1(SBAS 신호 포함) 신호 및 GLONASS L1 신호에 대한 처리가 가능하도록 하고 항재밍을 고려해 높은 동적 특성을 갖는 소자들을 선택하여 큰 신호까지 왜곡 없이 동작하도록 설계했다. Fig. 2에서와 같이 입력되는 RF 신호는 저잡음 증폭기와 RF 대역통과필터를 통해 증폭 및 필터링되고 SAW 다이플렉서에서 GPS L1 신호와 GLONASS L1 신호로 분리된다. 그리고 혼합기를 통해서 IF 대역으로 주파수 하향 변환을 하게 되고 IF 대역통과 필터와 증폭기, ADC를 거쳐서 디지털 신호가 된다.

2.2 항재밍 디지털 신호처리부

항재밍 디지털 처리부는 협대역 항재밍부와 광대역 항재밍부로 구성된다. Fig. 3은 항재밍 디지털 신호처리부의 구성을 나타낸다. 협대역 항재밍부는 주파수 영역에서 협대역만 선택하여 제거하는 OFFT(Overlapped FFT)로 구성되어 있으며, 안테나 개수에 상관없이 많은 수의 협대역 재밍을 제거할 수 있다. 광대역 항재밍부는 MVDR(Minimum Variance Distortionless Response Beamforming) 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘은 입력신호의 공분산행렬과 공분산역행렬, 그리고 입력되는 자세 정보와 위성 위치를 이용하여 빔조향 벡터를 통해 가중치 값을 결정하게 되며, 24채널 위성까지 빔 조향하도록 구현하였다. 광대역 항재밍부의 구성은 Fig. 4와 같다.

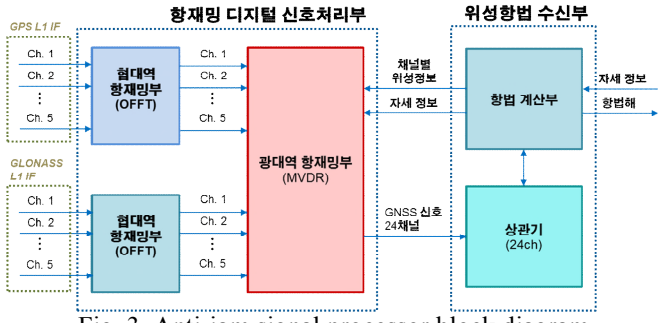


Fig. 3. Anti-jam signal processor block diagram

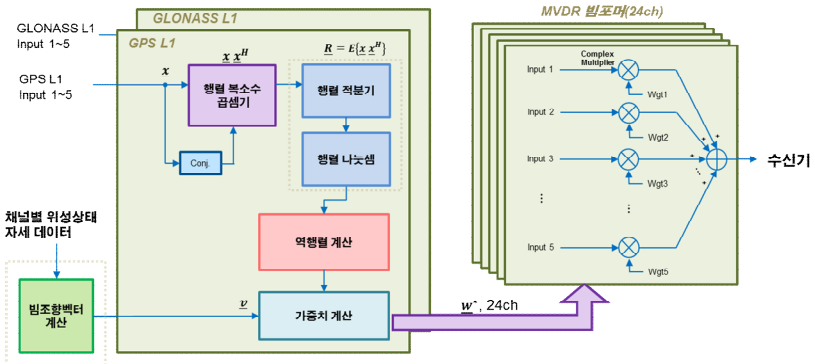


Fig. 4. MVDR beamformer block diagram

2.3 위성항법 수신부

위성항법 수신부는 항재밍 디지털 신호처리부에서 출력되는 24채널의 GPS 또는 GLONASS 신호를 고속으로 획득하고 복조하여 항법해를 구하는 기능을 한다. 일반적인 수신기와 달리 빔조향 채널만큼의 상관기 입력을 가지며, 항법해를 구한 후에 위성의 다양한 정보를 항재밍 디지털 신호처리부로 전달하여 빔조향이 가능하게 한다.

3. 빔조향 항재밍 GNSS 수신기 성능 평가

3.1 빔조향 동작 확인

빔조향 항재밍 GNSS 수신기의 동작을 확인하기 위해 우선 기존의 널링 방식의 수신기와 CNR(Carrier to noise ratio)의 향상 정도를 비교하였다. 5배열 안테나를 사용할 경우 이론적으로는 약 6.98dB의 CNR 향상이 있어야 하며(Petovello & Lachapelle 2006), 그 결과는 Fig. 5와 Table 1과 같다.

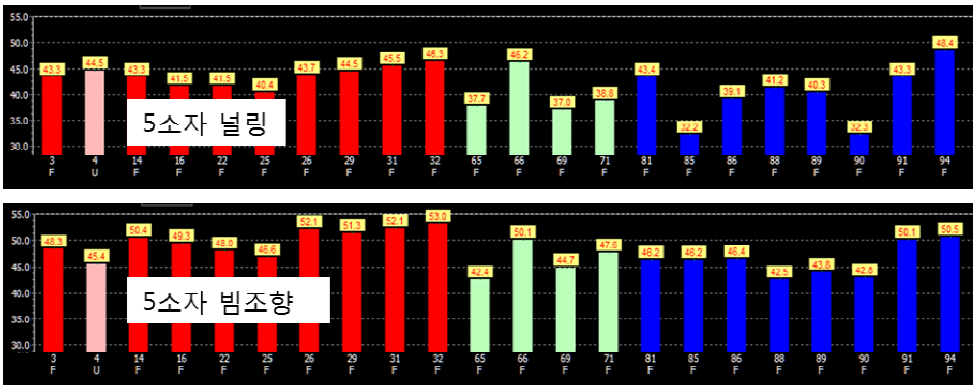


Fig. 5. Comparison of CNR values between nuller and beamformer.

Table 1. Comparison of average CNR between nuller and beamformer.

항목	대역	널링 평균 CNR(dB-Hz)	빔포밍 평균 CNR(dB-Hz)	평균 CNR 증가치 (dB)
5소자 배열안테나	GPS	43.5	49.5	+6.0
	GLONASS	40.0	46.1	+6.1

3.2 전파 교란 대응 확인

2016년 4월 2일에 우리나라 서해 교동도에서 GPS, GLONASS 신호의 전파 교란이 있었다. 이때 교동도에서는 JSR 약 60dB의 전파 교란이 수신되었고, 본 논문의 항재밍 GNSS 수신기로 전파 교란에 정상적으로 동작 하는지 확인하였다. Fig. 6은 전파 교란의 스펙트럼 출력과 실험 환경이고, Fig. 7은 전파 교란 상황에서 정상적으로 동작하는 GNSS 수신기의 출력 화면이다.

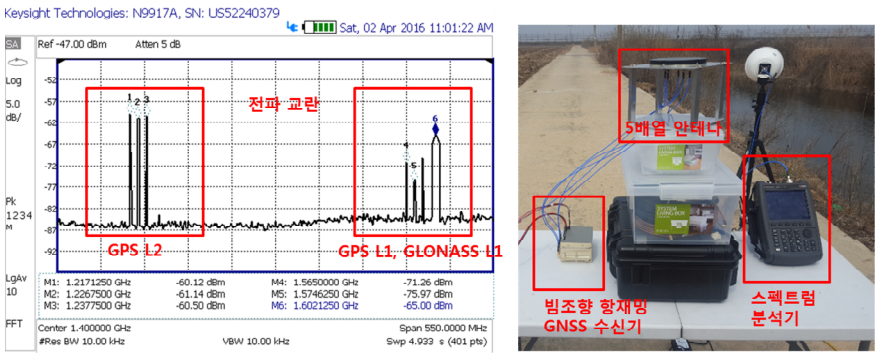


Fig. 6. Measured spectrum of GNSS jammer signals.

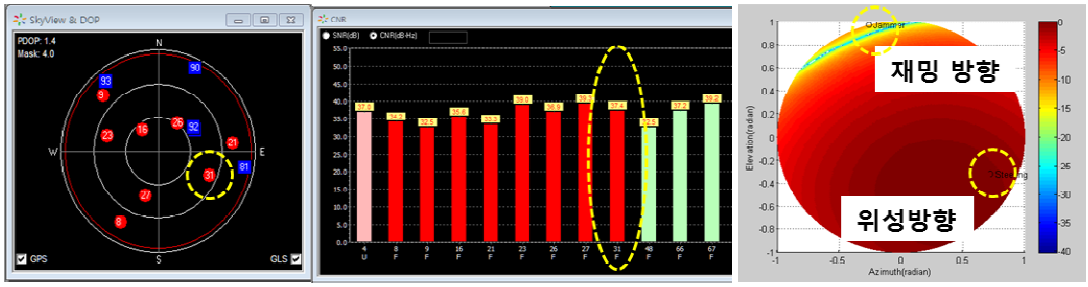


Fig. 7. CNR values of GNSS receiver under GNSS jamming conditions.

3.3 최대 항재밍 성능 확인

빔조향 항재밍 GNSS 수신기의 최대 성능을 확인하기 위해 야외에서 시험을 하였다. 재밍은 GPS L1대역의 1575.42MHz CW와 대역폭 2MHz의 AWGN에 대해서 최대 JSR 성능을 측정하였으며 시험 환경은 Fig. 8, 그 결과는 Table 2와 같다.

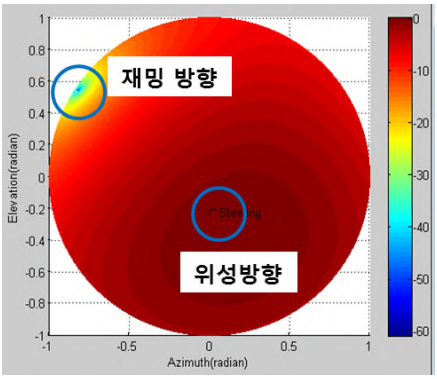


Fig. 8. Array reception pattern when jamming were present.

Table 2. JSR values of Anti-jam GNSS receiver.

항재밍 성능	CW	AWGN 2M
JSR (dB) GPS Power: -128.5 dBm	> 110	> 105

4. 결 론

본 논문에서는 5소자 배열 안테나를 사용하는 GPS/GLONASS 24채널의 실시간 빔 조향과 재밍 제거 기능을 갖는 GNSS 수신기를 개발하였다. 이를 위해 RF부를 설계 하였고, 협대역, 광대역 재밍 제거 알고리즘을 구현하기 위한 디지털 신호처리부와 항법 알고리즘 기능을 갖는 위성항법수신부를 구현하였다. 본 논문의 GNSS 수신기는 널링과 빔조향의 평균 CNR의 증가치와 실제 전파 교란에서의 동작 상태, 최대 항재밍 성능을 측정하여 평가하였다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10050551).

REFERENCES

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: principles and applications, 2nd ed. (Boston: Artech House), p.243

Petovello, M. & Lachapelle, G. 2006, GNSS Solutions: Adaptive antenna arrays, multi-GNSS tropospheric monitoring and high-dynamic receivers, Inside GNSS. http://www.insidegnss.com/auto/Apr06GNSSSolutions_secured.pdf

비동기 위성항법 기만신호의 영향성 분석

이치헌[1*], 이상정[2]
[1]국방과학연구소 제2기술본부, [2]충남대학교 전기정보통신공학부

Influence Analysis of Satellite Unsynchronized Spoofing

Chi-Hun Lee[1*], Sang Jeong Lee[2]
[1]The 2nd R&D Institute C2/IW DTR, Agency for Defense Development, [2]Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

주소 : 대전 광역시 유성구 수남동 111 번지
연락처 : 070-4001-4719 이메일 : cameleon10@naver.com

Abstract: 최근 북한 무인기의 출현 빈도가 높아짐에 따라 위성항법 기만 신호의 영향성에 대한 관심도가 높아지고 있는 추세이다. 기존에 연구된 위성항법 기만 신호는 미코닝 신호와 스푸핑 신호로 구분하여 영향성을 분석하였다. 기만 신호 생성 기술이 발달함에 따라 스푸핑 신호 또한 비동기 스푸핑 신호와 동기 스푸핑 신호로 구분할 수 있다. 스푸핑 신호의 동기성은 크게 분류하여 메시지 동기, 코드지연 동기, 도플러 동기로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 코드지연 동기 일치 여부에 따른 기만 영향성에 대해서 시험한 결과를 분석하고 일반적인 비동기 스푸핑 신호가 영향을 줄 수 있는 범위를 고찰하였다.

Keywords: GPS, spoofing, synchronized, unsynchronized

1. 서 론

위성항법 수신기의 재밍과 미코닝의 영향성은 Lee et al. (2013, 2016)에 기술된 바 있다. 스푸핑은 수신기를 사용자가 의도적으로 위치와 속도를 기만할 수 있는 기만 방법이지만, 구현상의 기술적 난이도가 높아 몇가지 기술적인 난점이 있다. 스푸핑 신호는 수신기가 위성신호와 스푸핑 신호를 같은 신호로 인식하기 위해서 위성신호와의 동기가 필요하다. 위성신호와의 동기는 메시지 동기, 코드지연 동기, 도플러 동기로 구분할 수 있고, 3가지 동기 중 하나라도 맞지 않으면 비동기 스푸핑 신호라 할 수 있다. 최근 무인기 등을 대응하기 위한 장비로 국내외에서 알려진 위성항법 기만신호 발생장치들은 비동기 스푸핑 신호 생성장치에 가깝다고 말할 수 있다. 이는 그러한 장비들이 기본적으로 가질 수 밖에 없는 오차 요인을 내포하기 때문이다. 기만 장비는 스푸핑 신호를 발생하기 전에 기만 대상체의 위치와 속도 정보가 필요하다. 위치와 속도 정보는 레이더와 같은 측정장비를 통하여 얻는다. 레이더는 기본적으로 추적 오차가 존재하고, 레이더와 기만장비와 연동을 하게 되면 이에 따른 지연오차도 존재한다. 여기에 발생장치에서 만들어진 기만신호가 공간을 통해 전파하게 되면 전파 지연으로 인한 오차 및 신호 발생장치 내부 오차도 더해진다. 본 논문에서는 비동기 스푸핑를 실험실에서 생성하여 몇 가지 경우에서 비교 시험한 결과를 제시하고 영향성을 살펴보았다.

2. 기만 신호 동기

2.1 메시지 동기

위성항법 메시지 동기 여부는 실제 위성 메시지와 기만 신호의 메시지가 동일한가를 판단하는 것이다. 위성항법 메시지와 기만신호의 메시지가 동일하지 않으면 수신기에 따라 기만신호를 추적하였다 하더라도 기만 신호로 받은 메시지 정보가 항법 해를 도출하는데 오류로 발생하여 사용하지 않을 수 있다. 메시지 동기가 맞지 않은 경우 위성 메시지 내 시간 정보 또는 위성의 Ephemeris 정보가 상이할 수 있다. 본 논문에서는 시간 정보를 달리하여 메시지 동기가 맞지 않는 상황의 비동기 기만신호를 생성하였고, 몇 가지 경우에 기만신호를 추적하여 항법해를 구하는지 시험하였다.

2.2 코드지연 동기

위성항법 코드지연 동기 여부는 실제 위성으로부터 수신기까지의 의사거리와 기만신호에서 생성하는 의사거리가 동일한지를 판단하는 것이다. 코드지연 동기가 되기 위해서는 수신기의 위치정보가 있고, 정확도도 높은 수준이어야 한다. 뿐만 아니라 현재 위성신호의 시각에 대한 동기도 맞아야 한다. 수신기는

1ms 단위로 위성신호를 추적한다. 코드지연 동기가 1ms가 넘어서 반복되어도 같은 신호로 인식하지만 항법 결과를 도출함에 있어서 모호성이 발생하지는 않음을 의미한다. 삼각측량 방법으로 위치를 도출한다면 1ms를 거리로 환산시 300km에 해당하므로 지구표면에서 동일 위치로 인식하지 않기 때문이다. 코드 지연이 다름은 위치해가 다름을 의미하므로 위치를 달리하는 상황에서 비동기 기만신호를 생성하였고, 마찬가지로 몇가지 경우에서 기만신호를 추적하여 항법여부를 시험하였다.

2.3 도플러주파수 동기

위성항법 신호의 도플러주파수 동기 여부는 실제 위성과 수신기의 상대속도에 의해서 발생하는 도플러 주파수가 동일한지를 판단하는 것이다. 마찬가지로 도플러 주파수 동기가 되기 위해서는 수신기의 속도 정보가 있어야 된다. 수신기의 위치 정보와 속도 정보는 고정 위치가 아니면 대상을 측정하는 장비의 측정 오차를 고려하여야 하고, 도플러 주파수는 위성을 바라보는 방향으로 생기는 상대 속도가 주효하므로 본 논문에서는 고정위치에서 위치를 다르게 하는 상황에서 비동기 기만신호를 생성하여 시험하였다.

3. 시험 조건

시험 시나리오는 고정위치의 수신기를 대상으로 수행하였다. Fig. 1과 같은 시험환경 구성하였고, 위성항법신호 모의기(1)에서는 수신기의 고정 위치에 대한 항법 신호를 생성하고, 위성항법신호 모의기(2)에서는 기만신호를 생성하였다. 이때 기만 비동기 스푸핑 조건을 시간적인 비동기 신호화 위치적인 비동기 신호를 고려하였다. 시간적인 비동기 신호는 임의로 수십 초에서 수일 정도 다른 시간으로 신호를 생성하여 비교하였고, 위치적인 비동기는 수백 미터에서 수십 킬로미터 이격된 신호를 생성하여 비교 시험을 수행하였다. 앞서 설명한 메시지 동기와 코드지연 동기, 도플러 주파수 동기 모두 맞지 않는 조건에서 강제적인 스푸핑이 가능한지를 살펴보았고, 기만신호의 레벨을 노이즈 차폐가 가능한 수준으로 높였을 시 기만 가능 여부를 살펴보았다.

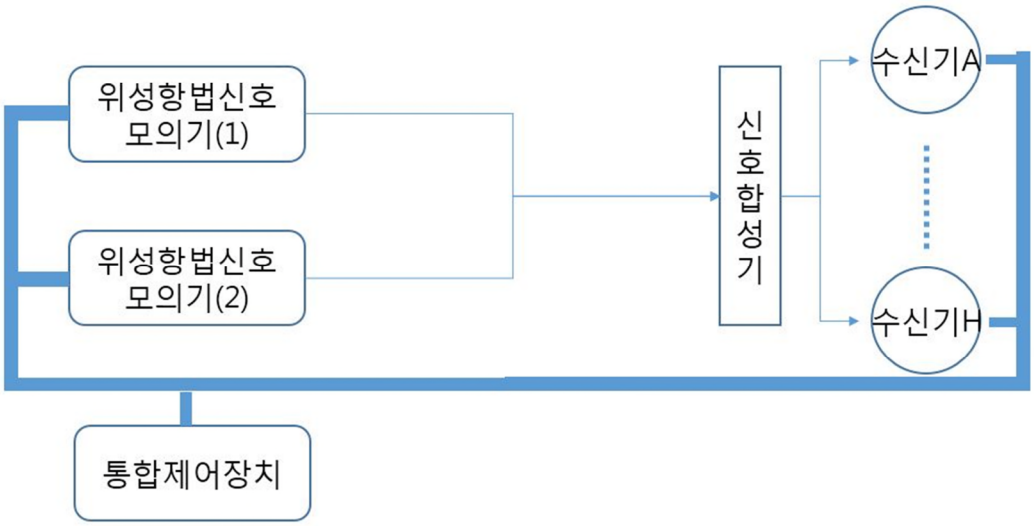
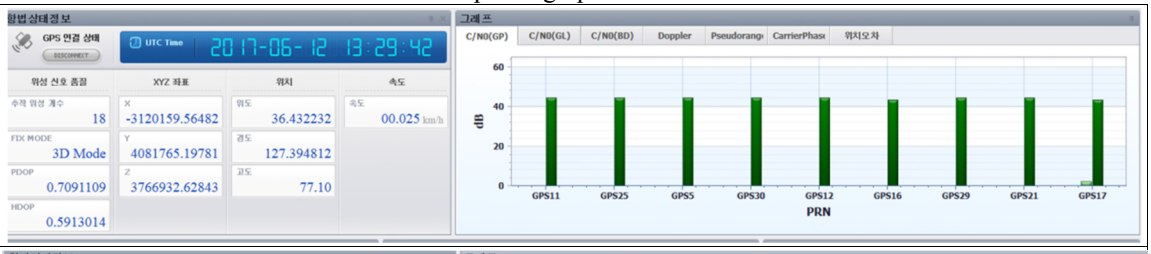
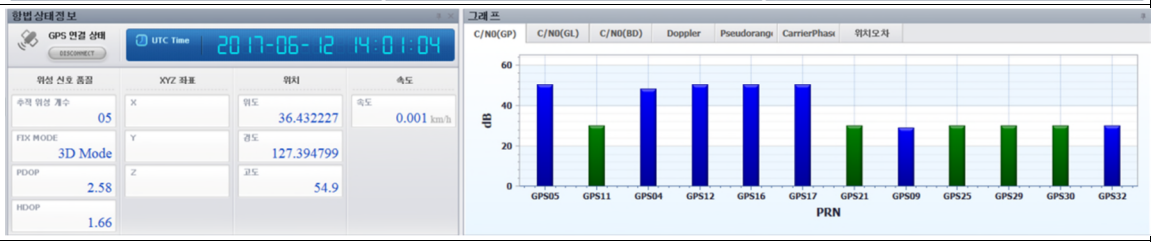
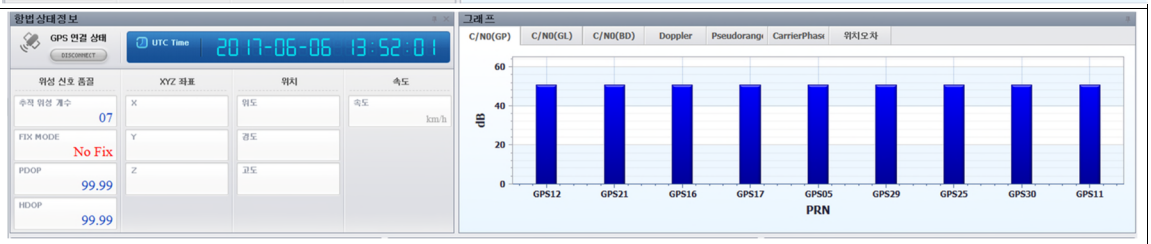
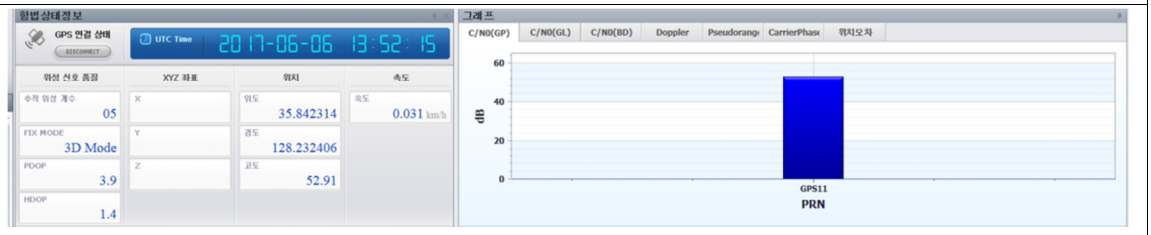
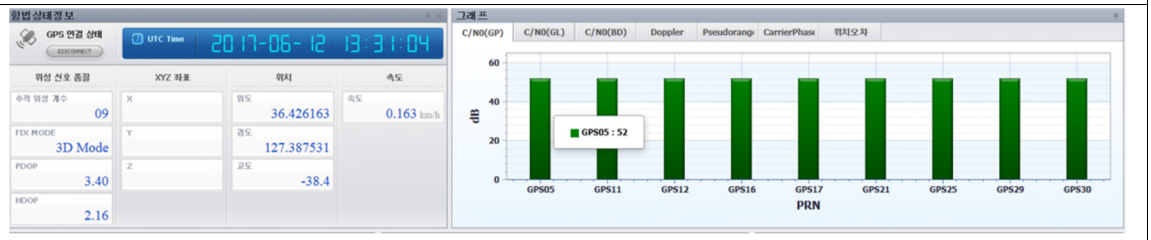


Fig. 1. The test environments diagram.

4. 시험 결과

비동기 스푸핑 기만 후 수신기에서의 반응은 크게 4가지로 나뉘어지고, 동작 모드를 Table 1과 같이 구분하였다. 첫 번째는 기만신호 인가에도 불구하고 항법을 유지하는 Mode 1과 같은 경우이다. 이런 경우는 비교적 기만신호 레벨이 기존 항법 신호보다 크지 않은 경우에 해당하고, 높은 기만 신호는 searching은 하지만 기존의 항법 결과를 유지하면서 동작한다. 기만이 되지 않은 수신기 상태도 Mode 2와 Mode 3로 나뉘어진다. Mode 2는 항법을 하지 못하는 상태이나 기만 신호를 search는 하지만 tracking은 하지 않는 경우이다. 기만 신호의 항법 메시지의 오류 또는 수신기 내부 알고리즘으로 기만 신호를 이용하지 않는 경우로 추정된다. 지속적으로 기만 신호를 주입하여도 항법 불능 상태에서 기만 신호로 항법을 하는 경우가 드물게 발생한다. Mode 3는 항법 불능 상태로 기존 위성신호와 기만신호 모두를 탐지하지 않는 경우이다. Mode 4는 비동기 기만신호를 이용하여 기존 항법 신호를 버리고, 항법을 하는 경우이다.

Table 1. Receiver spoofing operation modes.

정상항법	
Mode 1 항법유지	
Mode 2 항법불능/ 기만신호 획득	
Mode 3 항법불능/ 기만신호 미획득	
Mode 4 기만 항법	

기만 신호의 시간 지연을 약 14초 정도 뒤로한 후 위성항법신호 모의기(1)에서 생성한 위치와 800m 정도 이격거리를 두고 위성항법신호 모의기(2)에서 비동기 기만 신호를 생성하였을 경우, 총 8개의 수신기 중 4개의 수신기가 기만 신호를 이용하여 항법을 하여 스푸핑 기만이 되었고, 나머지 4개의 수신기의 경우 여러가지 형태로 동작하였다. 수신기별 비동기 기만시험 결과를 Table 2와 같이 정리하였다. 800m 이격거리는 1chip 간격이 300m 이므로, 대략 2chip 정도의 이격이 있는 조건이다. 또한 시간 차이 14초 정도 있음을 고려하면 2chip 이상의 비동기 조건 및 위성 배치가 변화함에 따라 Doppler 주파수 변화도 있을 것으로 추정된다. 이때 수신기 B의 경우 기존 위성신호를 추적하면서 항법을 유지하는 것으로 미루어 narrow corrleator를 이용한 항재밍 기능을 보유하였을 것으로 추정할 수 있다.

비동기 시험 조건을 달리하여 이격거리 98km, 위성과의 시간차이를 3일로 설정하였다. 비동기 조건이 더욱 어긋난 경우에 수신기의 동작 상태를 살펴보았다. 이때 비동기 기만신호의 크기를 높이면서 JSR 20dB, 30dB, 50dB 조건에서 수신기 동작 상태가 바뀌는지 살펴보았다. 비동기 기만신호 레벨이 30dB로 동일 조건이고, 이격거리가 98km 조건의 시험결과를 이격거리 800m 일때와 비교하면 수신기 A, C는 800m 일때는 기만신호를 이용하여 항법을 하지 않았지만, 오히려 이격거리가 큰 상황에서 기만신호를 이용하여 항법을 하는 결과를 보였다. 수신기 A와 C는 위치해를 찾는 과정에서 위치 오차가 순간적으로 증가하였을 때 항법을 하지 않는 알고리즘을 사용했을 것으로 추정하고, 오히려 허용 오차 범위를 넘는

경우에는 기만신호를 이용하여 항법을 하는 것으로 분석하였다. 같은 조건에서 수신기 B는 여전히 기존 항법 신호를 추적하였으나, JSR을 50 dB로 높일 경우 항법을 하지 못하는 상태로 변하였다. JSR 50 dB 조건과 같이 높음 재밍 신호를 주입하여도, 수신기 B, E, G의 경우는 항법을 하지 않았고, 이러한 결과는 수신기 내부에서 신호 레벨이 높은 경우에는 재밍으로 인식을 하는 항재밍 기능을 탑재하였을 것으로 추정된다.

Table 2. Receiver spoofing test results.

시험 조건	비동기 조건			수신기별 기만 동작 상태 (mode No.)							
	이격 거리	시간 차이	JSR (dB)	수신기 A	수신기 B	수신기 C	수신기 D	수신기 E	수신기 F	수신기 G	수신기 H
1	800m	14초	30	Mode 2	Mode 1	Mode 3	Mode 4	Mode 4	Mode 4	Mode 4	Mode 3
2	98km	3일	20	Mode 1	Mode 1	Mode 1	Mode 4	Mode 4	Mode 2	Mode 2	Mode 2
3	98km	3일	30	Mode 4	Mode 1	Mode 4	Mode 4	Mode 2	Mode 4	Mode 2	Mode 2
4	98km	3일	50	Mode 4	Mode 3	Mode 4	Mode 4	Mode 2	Mode 4	Mode 2	Mode 4

5. 결 론

본 논문에서는 상용 수신기 8종을 대상으로 비동기 기만 시험시 수신기에 미치는 영향을 시험적으로 분석하였다. 스푸핑 기법 중 동기성을 고려하지 않은 비동기 스푸핑 신호는 많은 수신기의 경우 기만이 가능한 결과를 나타냈다. 반면 특정 수신기의 경우 기만신호의 크기를 높이더라도 항법 불능의 상태로 유도할 수 있지만 의도한 위치로 기만이 되지 않는 결과를 나타냈다. 이는 항재밍 기능이 있는 수신기의 경우에는 단순한 형태의 비동기 기만신호 재밍 시 재밍신호 레벨을 높인다고 하여도 기만 효과를 즉각적으로 얻을 수 없다고 할 수 있다.

REFERENCES

Lee, C.-H., Choi, S.-H., Choi, C.-T., & Jeong, U.-S. 2013, The Analysis of Effectiveness for the Noise Jamming Signal on the GPS Receiver, 2013 KGS Conference, 6-8 Nov. 2013, Ramada Hotel Jeju

Lee, C.-H., Choi, S.-H., Choi, C.-T., & Shin, W.-H. 2016, The Effect Analysis for the Partial Meaconing Signal on the GPS Receiver, 2016 KGS Conference, 2-4 Nov. 2016, Phoenix Island Hotel Jeju, pp.76-79

배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기 위한 실내 기반의 점검장비 설계방안 제안

조성한[1], 황남웅[2], 김준오[2], 배준성[2], 윤상준[1*]
[1]넵코어스 핵심기술센터, [2]국방과학연구소

Proposal and Design of Indoor Test Equipment for GNSS Anti-Jamming Based on Array Antenna

Seong-Han Cho[1], Nam-Eung Hwang[2], Jun-O Kim[2], Joon-Sung Bae [2], Sang-Jun Yun[1*]
[1]NAVCOURS Co.,Ltd. Core Technology Center, [2]The Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 관평동 713 번지(테크노 2 로 66-6)
연락처 : 042-363-9016 이메일 : jinset@navcours.com

Abstract: 배열 안테나 기반의 Global Navigation Satellite System(GNSS) 항재밍 수신기에 대한 성능 시험은 GNSS 위성모의신호 및 재밍 신호를 주입하여 시험이 어렵기 때문에 무반향 챔버시험 또는 필드시험을 통해 수행되었다. 무반향 챔버 시험은 필드시험 시 발생할 수 있는 외부 환경의 영향 없이 매번 동일 조건에서 성능을 검증할 수 있지만 시간 및 비용 증가와 가용성 등에 대한 문제를 갖고 있다. 따라서 외부 환경의 영향을 최소하는 실내 시험 기반의 시험장비가 요구된다. 본 논문에서는 배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기에 대한 성능 시험을 위해 실내 기반의 점검장비를 구현하며 설계 방안을 제안한다. 제안하는 실내 기반의 점검장비는 GNSS 시뮬레이터, 고정위상변위기, 재밍신호발생기, 안테나 후드, 제어표시기 등으로 구성하며, 구현 검증은 자체 성능시험과 GNSS 항재밍 연동시험 통해 수행하였다.

Keywords: array antenna, anti-jam, test equipment, GNSS

1. 서 론

GNSS는 사용자의 위치정보와 시각정보를 제공하는 위성항법시스템으로써 다양한 산업분야에서 활용되고 있다. 위성항법시스템은 지상의 위성으로부터 지구표면까지 도달하는 신호의 세기가 작아 간섭, 재밍에 대한 불안전한 요소를 갖고 있다. 따라서 간섭 또는 재밍으로부터 영향을 최소화 하기 위해 배열 안테나 기반의 항재밍 수신기 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 배열 안테나 기반의 항재밍 수신기는 배열 안테나를 적용하기 때문에 실외 기반의 방사시험 또는 무반향 챔버를 이용한 방사시험이 일반적이다. 따라서 많은 개발비용과 시간이 소요된다.

본 논문에서는 배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기의 성능시험을 위해 실내 기반의 점검장비를 구현하며 또한 설계방안을 제안한다. 제안하는 실내 기반의 점검장비는 하드웨어와 소프트웨어로 구분되며, 7배열 안테나 기반의 점검장비로 구현한다. 하드웨어는 GNSS 시뮬레이터, 재밍신호발생기, 고정위상변위기, 제어표시기, 안테나 후드 등으로 구성되며, GNSS 시뮬레이터와 재밍신호발생기는 위성신호와 재밍신호를 모의한다. 고정위상변위기는 생성된 모의신호를 이용하여 배열 안테나의 특정 전파입사각도로 모의신호의 위상을 변위하며, 안테나 후드는 위상이 변위된 위성모의신호를 배열 안테나에 방사하여 항재밍 수신기에 입력한다 (Kim et al. 2014). 소프트웨어는 모든 장치의 연동 및 통제를 수행하며, 항재밍 수신기의 항법 정보와 항재밍 정보를 화면에 표시하는 기능을 수행하는 Control Display Unit를 구현한다. 실내 기반의 점검장비의 구현성 검증은 위성모의신호 및 재밍신호를 고정위상변위기와 안테나후드를 이용하여 배열 안테나에 방사하여 항재밍 수신기에 입력하며, 이를 바탕으로 배열 안테나의 전파 입사각도를 분석하여 검증을 수행한다.

2. 실내 기반의 점검장비 구현

2.1 하드웨어 구현

점검장비의 하드웨어는 GNSS 시뮬레이터와 재밍신호발생기, 고정위상변위기, 안테나 후드 등으로 구성한다. Fig. 1은 점검장비의 하드웨어 블록도를 나타내며, GNSS 시뮬레이터는 상용 제품을 적용하므로 본 논문에서는 언급하지는 않는다.

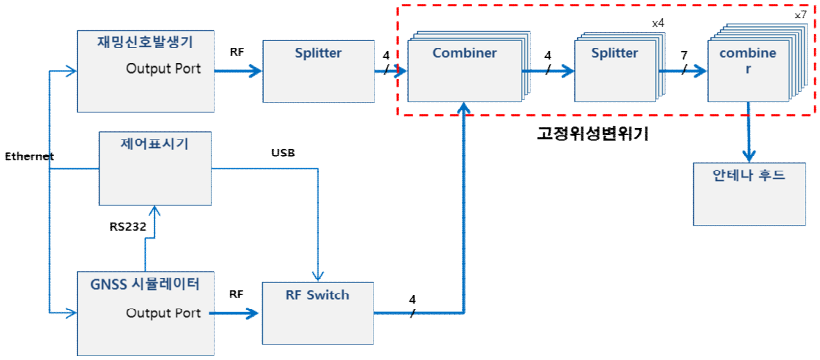


Fig. 1 The hardware block of figure.

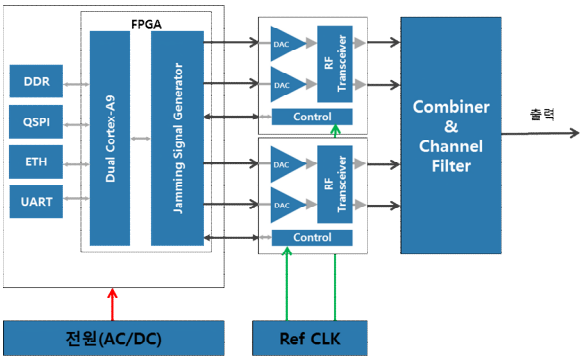


Fig. 2 The jammer block of figure.

재밍신호발생기는 GPS L1 및 GLONASS L1 대역에 CW재밍 신호를 -70dBm에서 10dBm까지 출력할 수 있며, Fig. 2는 재밍신호발생기의 블록도를 나타낸 그림이다.

고정위상변위기는 입력된 신호를 7배열 안테나 기준의 특정 전파입사각도로 모의하는 장치이다. 특정입사각도의 고도각은 45°이며, 방위각은 45°, 135°, 225°, 315°로 이다. 본 논문에서는 위성모의신호의 특정입사가도를 방위각 45°로 정의하며, 재밍 신호는 135°, 225°로 정의한다. Fig. 3는 고정위상변위기의 블록도를 나타낸 그림이다.

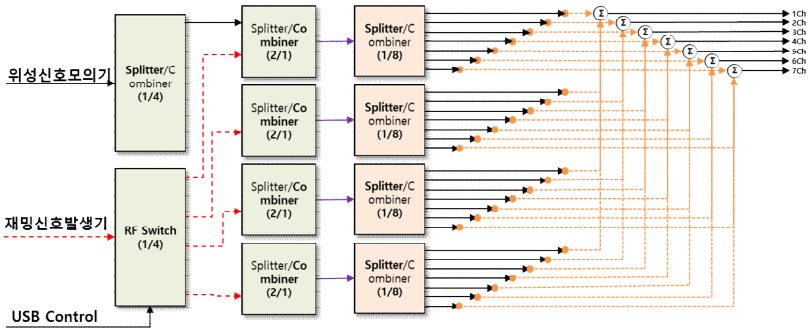


Fig. 3 The fixed phase shifter of figure.

2.2 소프트웨어 구현

점검장비의 소프트웨어는 하드웨어의 모든 장치를 연동 및 통제하며, 기능은 시험장비 설정과 기능 점검으로 구분한다. Fig. 4는 소프트웨어의 기능 순서도이다.

시험장비 설정은 GNSS 시뮬레이터와 재밍신호발생기, 고정위상변위기 등의 장비연결, 통제기능을 수행하며, 기능 점검은 항재밍 수신기의 항법정보 및 항재밍 정보를 수집하여 화면에 표시하는 기능 수행한다. 아래의 Fig. 5는 제어표시기의 소프트웨어 구조를 나타낸 그림이다.

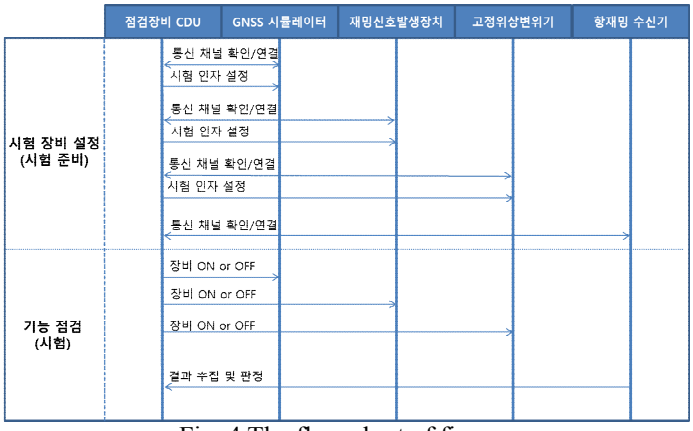


Fig. 4 The flow chart of figure.



Fig. 5 The software architecture of figure.

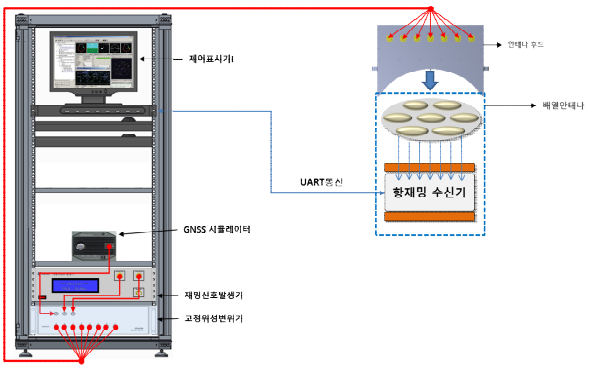


Fig. 6 The test configuration of figure.

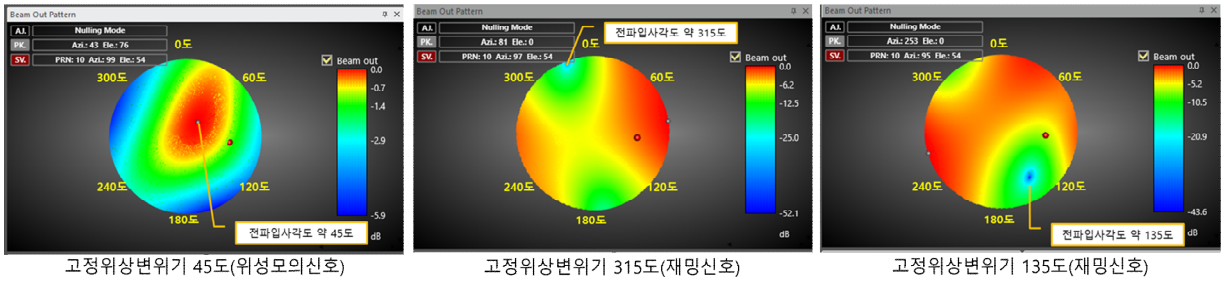
3. 기능시험

3.1 시험환경 구성

Fig. 6은 점검장비에 대한 기능시험의 구성도를 나타낸 그림이다. 구현성 검증은 GNSS 시뮬레이터와 재밍신호발생기의 신호는 고정위상변위기에 입력한 후 전파입사각도를 모의하여 안테나 후드와 배열 안테나를 통해 항재밍 수신기에 신호를 입력한다. 이때 위성모의신호의 고정 전파입사각은 방위각 45°이며, 재밍신호의 전파입사각도는 135°와 315°로 설정하여 검증시험을 수행한다.

3.2 시험결과

Fig. 7은 점검장비에서 생성된 신호를 7배열 안테나 기반의 항재밍 수신기에 입력한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯 GNSS 위성모의신호는 고도각 약 45°, 방위각 약 45°로 위성모의신호가 입사되었으며, 재밍신호는 고도각 약 45°, 방위각 약 315°, 약 135°도 입사되었다.



고정위상변위기 45도(위성모의신호) 고정위상변위기 315도(재밍신호) 고정위상변위기 135도(재밍신호)

Fig. 7 The test result of figure.

4. 결 론

본 논문에서는 배열 안테나 기반의 GNSS 항재밍 수신기에 대한 실내 기반의 점검장비의 설계 방안을 제안 및 구현하였으며, 검증시험은 GNSS 시뮬레이터의 위성모의신호와 재밍신호발생기의 재밍신호를 고정위상변위기를 통해 특정한 위상을 모의한 후 안테나 후드와 배열 안테나를 이용하여 수행하였다. 향후 실내 기반의 점검장비는 배열 안테나 기반의 항재밍 수신기 개발을 위한 점검장비의 기초 자료로 및 연구에 활용될 것으로 판단된다.

REFERENCES

Kim, M. S., Ju, J. G., Kim, J. S., Son, S. B., & Yun, S. J. 2014, Design of an Array Antenna Hood for Jamming Simulator, Journal of Positioning Navigation and Timing, 3, 63-69. https://doi.org/10.11003/JPNT.2014.3.2.063

L대역 송신장치 송수신 안테나 격리도 분석

조지행*, 최승호, 신욱현
국방과학연구소 제2기술연구본부

Analysis of Isolation Between Tx/Rx Antennas to L-band Transmitter

Ji-Haeng Cho*, Seung-Ho Choi, Wook-Hyun Shin
The 2nd R&D Institute C2/IW DTR, Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 수남동 111 번지
연락처 : 042-821-2704 이메일 : jeniers@naver.com

Abstract: 위성항법시스템을 활용한 다양한 무기체계의 위협이 증가하면서 그에 대한 대응방안으로 위성항법신호를 교란하기 위한 단순 재밍 장치부터 위성항법수신기의 항법 해 오차 유도 및 특정 위치로 기만하는 교란장치까지 다양한 위성항법교란시스템들이 개발되고 있다. 특히, 위성항법 수신기를 특정위치로 기만하기 위한 많은 기법들이 연구개발 중에 있으며 위성항법교란시스템은 위성항법신호 수신기와 기만신호를 송신하는 송신기로 구성된다. 한편, 위성항법교란시스템은 동일 주파수의 위성항법 신호를 수신하고 기만신호를 생성하여 송신하여야 함으로 송/수신 안테나간의 높은 격리도가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 상용시뮬레이션 툴을 이용하여 송/수신 안테나간의 격리도를 향상하기 위해 간섭완화기를 안테나에 장착하여 운용 환경에서의 안테나 방사패턴을 최적화하고 간섭완화기 유/무에 따른 송수신 안테나 격리도를 분석하였다.

Keywords: GNSS jammer, GNSS Tx/Rx antenna, isolation, interference mitigation module

1. 서 론

위성항법교란시스템은 위성항법을 이용하는 무기체계에 의도적인 재밍 또는 기만신호를 방사하여 비정상적인 항법을 유도하는 시스템으로서, 위성항법신호를 수신하는 수신장치와 재밍 또는 기만신호를 발생하는 송신장치로 구성된다. 위성으로부터 지상수신기에서 수신되는 위성항법 신호는 약 -130 dBm의 매우 낮은 수준으로서 전파교란문제에 취약하며 재밍신호는 일반적으로 30 dB 이상의 J/S로, 기만신호는 위성수신신호 대비 수 dB 높은 수준으로 기만신호를 송신한다. 한편, 위성항법교란시스템에서는 기만신호를 생성하기 위해 수신장치에서 시각동기 및 항법메시지 생성을 위한 위성신호를 수신하고 송신장치에서 시각동기 및 항법메시지를 활용하여 특정 방향으로 기만하기 위한 기만신호를 송신한다. 따라서, 기만신호를 송신하기 위해서는 송신 및 수신 안테나가 따로 존재하며 송신과 수신안테나 간의 격리도는 위성항법교란시스템의 중요 파라미터가 된다. 일반적으로 수신안테나는 평면형 patch 안테나 구조를 활용하여 설계하며 boresight 기준 +/- 70~80° 범위에서 위성신호를 수신할 수 있도록 broad한 방사패턴 특성을 갖으며, 송신 안테나는 재밍영역을 고려하여 특정방향으로의 지향성 특성을 갖도록 설계한다. 한편, 의도적 또는 비의도적인 간섭 신호는 주로 지상에서 송신되는 것을 고려할 때 특정방향에 대해 수신되는 신호세기를 완화해줄 수 있도록 수신 안테나 방사패턴에 대하여 최적화가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 송신 안테나로부터 발생하는 기만신호에 의한 간섭영향을 최소화하도록 수신 안테나의 간섭완화기를 장착하였으며 boresight 기준 +/- 100° 이상 범위에의 간섭신호 영향을 최소화하도록 설계하였다. 본 논문에서는 수신 안테나의 간섭 완화기 유/무에 대한 안테나 방사패턴 및 boresight 기준 +/- 100° 이상 범위에서의 간섭 신호 영향성과 특정 거리 및 위치에 대한 송신 안테나와 수신 안테나간의 격리도에 대하여 M&S툴을 활용하여 분석하였다.

2. L대역 GPS 수신 안테나 설계

본 논문에서 송/수신 안테나 간 격리도를 분석하기 위하여 설계한 수신 안테나는 원형편파 특성을 갖는 PinWheel 구조의 패치 안테나이며 12개의 helix slot 구조를 갖는 상단 방사체 및 하단에 12.5 mm 간격을 두고 그라운드를 배치하였다 (Collin 1991). 이때 상단 방사체와 그라운드간의 간격이 너무 가까우면 안테나 방사체에 흐르는 current가 image current에 의해 상쇄되어 안테나 방사효율이 저하됨으로 중요 설계 사항으로 고려하여야 한다. 안테나의 전체 지름은 185 mm이며, 안테나의 형상은 Fig. 1과 같다.

GPS 수신 안테나는 GPS L1 대역인 1575.42 MHz에 공진되도록 설계하였으며, GPS L1 대역에서 -40

dB의 반사계수 특성을 갖고 3dB 빔폭은 60° 이상으로 broad한 방사패턴 특성을 갖는다. Pin Wheel 구조의 패치 안테나는 일반적인 patch 안테나에 비해 넓은 대역폭 특성을 나타내며, Fig. 2는 GPS 수신안테나의 반사계수 및 방사패턴 M&S 결과를 보여준다. M&S 결과 GPS 수신안테나는 약 1.4 GHz ~ 1.7 GHz 대역에서 -10 dB 반사계수 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

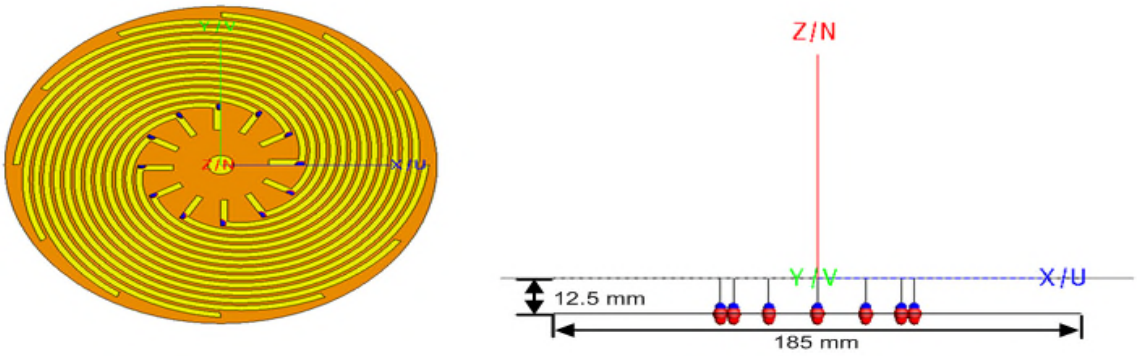


Fig. 1. GPS 수신 안테나 형상.

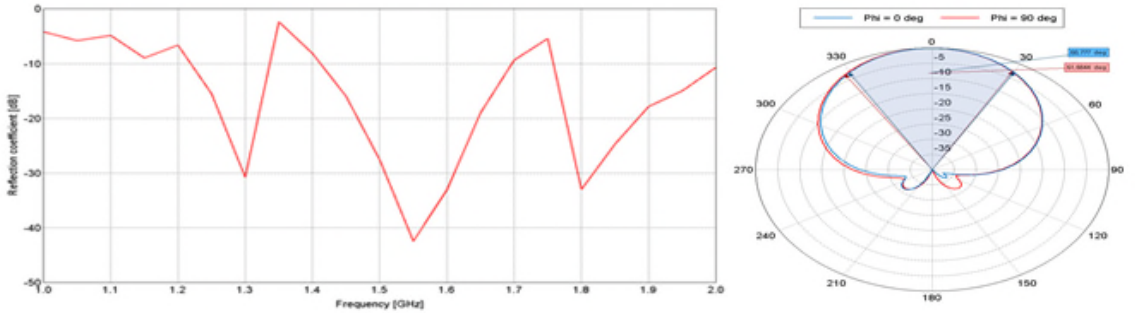


Fig. 2. GPS 수신안테나의 반사계수 및 방사패턴 특성.

한편, GPS 수신 안테나는 의도적인 또는 비의도적인 간섭신호에 의한 간섭 영향을 최소화하면서, boresight 방면의 방사패턴 특성은 유지하도록 flare형태의 Cavity 구조물(간섭 완화기)을 안테나 하단부에 장착하였다. 일반적으로 Cavity 구조를 사용하면 등방향성의 방사패턴이 지향성으로 변하며 등방향성 방사패턴 안테나보다 이득이 높게 나타나고 전/후방비(Front to Back Ratio)가 향상된다 (Yeo 2010). 따라서, 본 논문에서는 GPS 수신안테나의 전/후방비를 개선하고 boresight 방면으로의 방사패턴을 유지하면서 간섭완화기 모서리에서 발생하는 회절현상을 줄이기 위하여 flare 형태의 간섭완화기 모서리에 rolling edge 구조를 추가하여 간섭완화기를 설계하였다 (Choi et al. 2016).

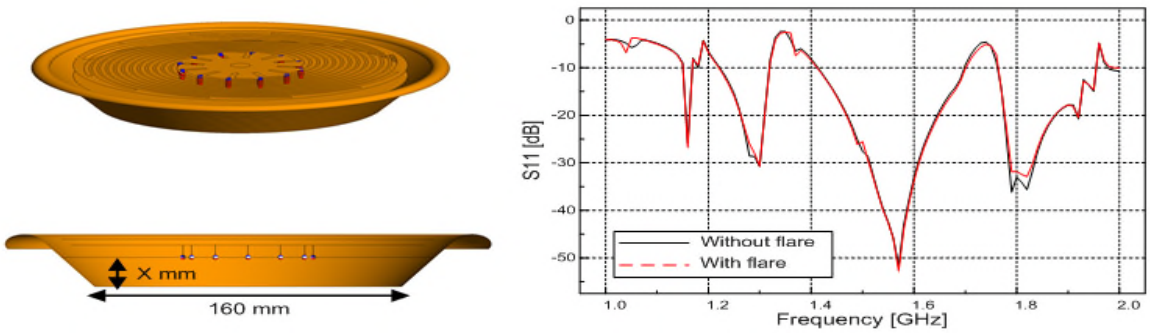


Fig. 3. GPS 수신 안테나 간섭 완화기 및 반사계수.

Fig. 3은 GPS 수신 안테나에 flare 형태의 간섭완화기를 장착한 모습 및 반사계수 M&S결과를 보여준다. 장착 형태는 GPS 수신 안테나의 하단 부분으로 입사되는 간섭 신호의 영향성을 최소화하면서 안테나의 3 dB 빔폭이 유지되도록 장착하였으며, 간섭완화기의 외부 둘레 및 rolling edge의 사이즈, 안테나의 그라운드와 간섭완화기 하단 부분간의 간격이 안테나 방사패턴에 영향을 주는 중요한 변수가 된다. Fig. 4는 GPS 수신안테나의 E-plane 기준으로 0° ~ 180° 에서 Field Source를 두어 수신되는 전력을

M&S 하기 위한 환경을 보여주며, 간섭완화기를 장착하기 전과 장착한 경우 GPS 수신 안테나와 간섭완화기 바닥면 간의 간격 차이에 따른 수신전력 세기를 보여준다. GPS 수신 안테나가 간섭 완화기 하단부에 가까워지면 방사패턴의 3 dB 빔폭에 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 바닥면과의 간격이 10 mm 인 경우 3 dB 빔폭이 간섭 완화기 장착 전과 큰 차이가 없으며 E-plane 기준 100° 부터 수신되는 전력이 낮아지면서 120°에서 약 5 dB의 간섭완화 효과가 있는 것을 확인할 수 있다.

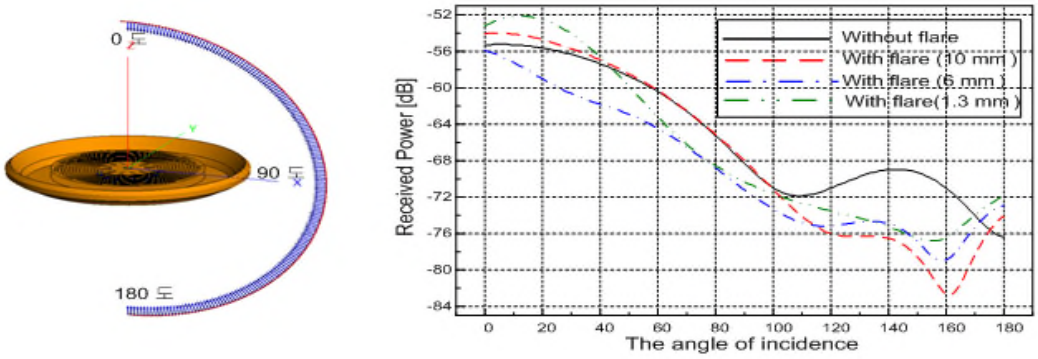


Fig. 4. 수신 전력 M&S 결과.

3. L대역 송신 안테나 설계

위성항법교란시스템에서의 송/수신 안테나간 격리도를 분석하기 위하여, 본 논문에서는 송신 안테나로 혼 안테나를 설계하였다. 혼 안테나는 지향성이 높은 특성을 가지고 있어 안테나의 이득이 높으나 전/후방비(Front to Back Ratio)는 높지 않다. 따라서, 본 논문에서는 혼 안테나의 전/후방비를 개선하기 위하여 원통형 Cavity 구조물을 활용한 간섭완화기를 추가로 설계하였다. Fig. 5는 송신 안테나 및 간섭 완화기가 장착된 형상을 보여준다. 송신 안테나의 전/후방비를 개선하기 위해 Cavity 구조물을 사용하는 경우 구조물의 형태 및 사이즈에 따라 전/후방비의 성능 특성이 달라지며, 전/후방비 개선을 위한 최적화된 완화기를 설계하였다.

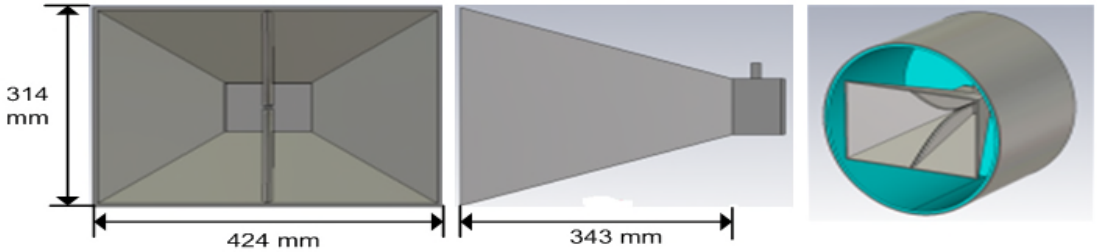


Fig. 5. 송신 안테나 형상 및 간섭 완화기.

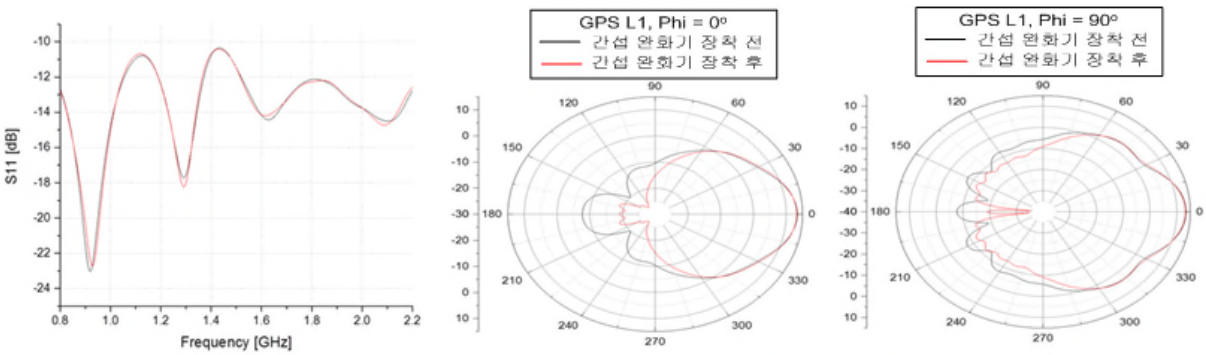


Fig. 6. 송신 안테나 반사계수 및 방사패턴.

Fig. 6은 송신 안테나에 간섭완화기 장착 유/무에 대한 반사계수 및 GPS L1 대역에서의 방사패턴에 대한 M&S 결과를 보여준다.

송신 안테나의 M&S 결과에 대하여 분석해 보면, 우선 간섭 완화기 장착 유/무에 대하여 반사계수는

거의 변하지 않는 것을 확인할 수 있다. 한편, GPS L1 대역에서 간섭완화기 장착 유/무에 대한 방사패턴 특성 결과를 보면 간섭 완화기를 장착함으로써 주엽 방향으로의 안테나 이득 변화는 거의 없으면서 후방으로 방사되는 안테나 이득이 크게 감소되어 전후방비가 감소됨을 확인할 수 있으며 전후방비가 약 8 dB 이상 향상되었음을 확인할 수 있다.

4. L대역 송수신 안테나 격리도 M&S

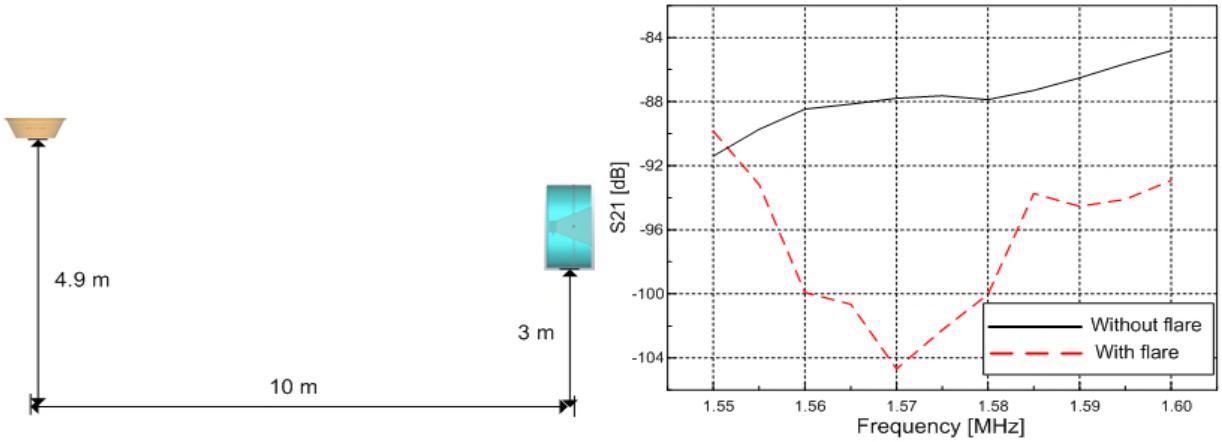


Fig. 7. 송/수신 안테나 격리도 M&S 환경.

Fig. 7은 EM Simulator 툴을 활용하여 송/수신 안테나 간 격리도 M&S 환경 및 격리도 결과를 보여준다. 운용 환경을 고려하여 송신 안테나의 지면과의 높이는 3 m, 수신 안테나는 4.9 m 및 송/수신 안테나 간 거리는 10m로 설정하여 M&S를 수행하였다. 송/수신 안테나 간 격리도 M&S는 간섭 완화기의 효과를 확인하기 위하여 송/수신 안테나에 간섭 완화기 장착 유/무에 따라 GPS L1 대역에서의 송/수신 격리도 결과를 확인하였으며 M&S 결과 간섭 완화기를 장착함으로써 약 15 dB 격리도가 개선되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 위성항법 교란시스템의 송/수신 안테나 간의 격리도에 대하여 분석하였다. 송/수신 안테나 간의 격리도는 운용 환경에 따라 달라지고, 송/수신 안테나 간의 격리도를 개선하기 위해서는 다양한 방법이 있으며 본 논문에서는 송신 및 수신 안테나의 간섭 완화기를 설계하였다. 수신 안테나는 지상에서 송신되는 의도적 또는 비의도적인 간섭 신호의 영향을 최소화하기 위하여 flare 형태의 간섭 완화기를 설계하여 boresight 기준 +/- 100° 이상에서 입사되는 간섭 신호를 억제하였다. 한편, 송신 안테나는 전/후방비를 개선하기 위하여 타원형 형태의 간섭완화기를 설계하였으며 약 8 dB의 전/후방비를 향상시켰다. 마지막으로 위성항법교란시스템의 운용환경을 고려하여 송/수신 안테나를 배치하여 격리도에 대해 M&S를 수행하였으며, 간섭완화기를 장착함으로써 약 15 dB 정도의 격리도가 개선되었음을 확인하였다.

REFERENCES

Choi, S.-H., Choi, C.-T., Lee, C.-H., & Shin, W.-H. 2016, Research on Antenna Isolation Structures to suppress EM Interference, in 2016 IPNT Conference, 02-03 Nov 2016, Jeju island, Korea

Collin, R. E. 1991, Field Theory of Guided Waves, 2nd ed. (New York: IEEE Press)

Yeo, J.-H. 2010, Long Range UHF RFID Tag with a Rectangular Metallic Cavity Structure, Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 10, 121-126.

GPS/Glonass L1 및 BDS B1 대역의 CW 재밍에 의한 C/No 영향 분석

주인원, 신천식
한국전자통신연구원 위성항법.레이다연구실

Analysis of C/No by CW Jamming in GPS/Glonass L1 or BDS B1

Inone Joo, Cheonsig Sin
Satellite Navigation & Radar Research Section, ETRI

주소 : (34129) 대전광역시 유성구 가정로 218
연락처 : 042-860-6784 이메일 : inone@etri.re.kr

Abstract: GNSS 위성항법시스템에서 제공하는 측위 정보는 다양한 분야에서 유용하게 사용되고 있으나 전파교란에 취약한 단점이 있다. 하지만, GNSS 시스템은 미국의 GPS, 러시아 Glonass, 중국 BDS 및 유럽 갈릴레오 등 훨씬 다양해지고 가용성이 높아졌다. 본 논문은 1561 ~ 1602 MHz 사이의 유사한 대역의 중심주파수를 사용하는 다원화된 위성항법시스템에서 특정 위성항법시스템의 중심 주파수가 위성항법시스템의 중심 주파수가 CW 전파교란이 발생한 주파수대역으로부터 이격 정도에 따라 전파교란의 영향을 얼마나 받게 되는지에 대한 시험결과를 보여준다. 이를 통해, 다원화된 위성항법수신기는 특정 주파수에 발생한 CW 전파교란에 대한 대응능력이 있음을 확인한다.

Keywords: GPS, Glonass, BDS, CW, jamming, C/No

1. 서 론

미국의 GPS로 대표되던 GNSS 시스템은 현재 러시아 Glonass의 정상화, 중국 BDS 서비스 시작 및 유럽 갈릴레오 초기 서비스 시작으로 예전에 비해 다양해지고 가용성이 높아졌다. 하지만, GNSS 시스템은 확산 코드분할 방식의 신호 특징으로 잡음 수준 이하의 신호세기에서 수신하도록 전송되어 전파교란에 취약한 단점이 있다. 특히, 우리나라에서 GPS 전파교란이 여러 차례 발생하였고, 이로 인해 이동통신망의 시각동기 및 선박과 항공기의 항법에 장애를 발생한 사례가 있다 (Joo & Sin 2016). 향후, GNSS 전파교란은 안정성과 신뢰성이 중요시 되는 자율주행 분야의 항법장치에 매우 큰 위해 요소가 될 수 있다. 따라서, 본 논문은 다원화된 위성항법시스템에서 특정 위성항법시스템의 중심 주파수에 발생한 전파교란이 다른 위성항법시스템의 항법신호 수신특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 결과를 보여준다. 이를 위해서 GPS L1, GLONASS L1 및 BDS B1 위성항법 수신기를 대상으로 임의의 위성항법시스템의 중심 주파수에 Continuous Wave (CW) 전파교란을 발생시키고 위성항법 수신신호들의 Carrier to Noise density (C/No) 값을 측정하였다. 결과적으로 본 논문은 1561 ~ 1602 MHz 사이의 유사한 대역의 중심주파수를 사용하는 위성항법시스템일지라도 특정 위성항법시스템의 중심 주파수가 CW 전파교란이 발생한 주파수대역과 이격이 클수록 그 영향을 적게 받으므로, 어느 정도의 전파교란 세기에 대하여 위성항법 신호 수신이 가능한 지에 대한 결과를 시험을 통해 보여준다

2. 전파교란 시험 환경

2.1 GNSS 항법 신호 특징

Table 1은 GPS L1, GLONASS L1, Beidou B1 항법신호의 특성을 보여준다 (Kaplan & Hegarty 2006).

Table 1. Signal characteristics of GPS L1, Glonass L1, and Beidou B1.

GNSS system	Signal	Central Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)	Frequency (MHz)
GPS	L1	1575.42	2.046	1574.397 ~ 1576.443
Glonass	L1	1602 + n*0.5625	1.022	1598.0625 ~ 1609.3125
Beidou	B1	1561.098	4.092	1559.052 ~ 1563.144

2.2 GNSS 수신기를 이용한 시험 환경

위성항법수신기로 GPS L1, GLONASS L1, Beidou B1 수신이 가능한 comnav사의 M300 제품을 이용하였다. Fig. 1은 재밍시험을 위한 환경을 보여준다. GPS L1, GLONASS L1, Beidou B1 수신안테나는

옥외에 설치하여 실제 신호를 수신하였고, 수신된 RF 케이블단에서 신호발생기를 이용하여 CW 전파교란 신호를 합성하였다. 스펙트럼 분석기를 통해 수신된 재밍신호 대비 잡음비(Jamming to Noise Ratio; JNR)를 측정하였다. 최종적으로 PC에서 M300 수신기의 UI를 통해 C/No 값의 변화를 측정하였다.

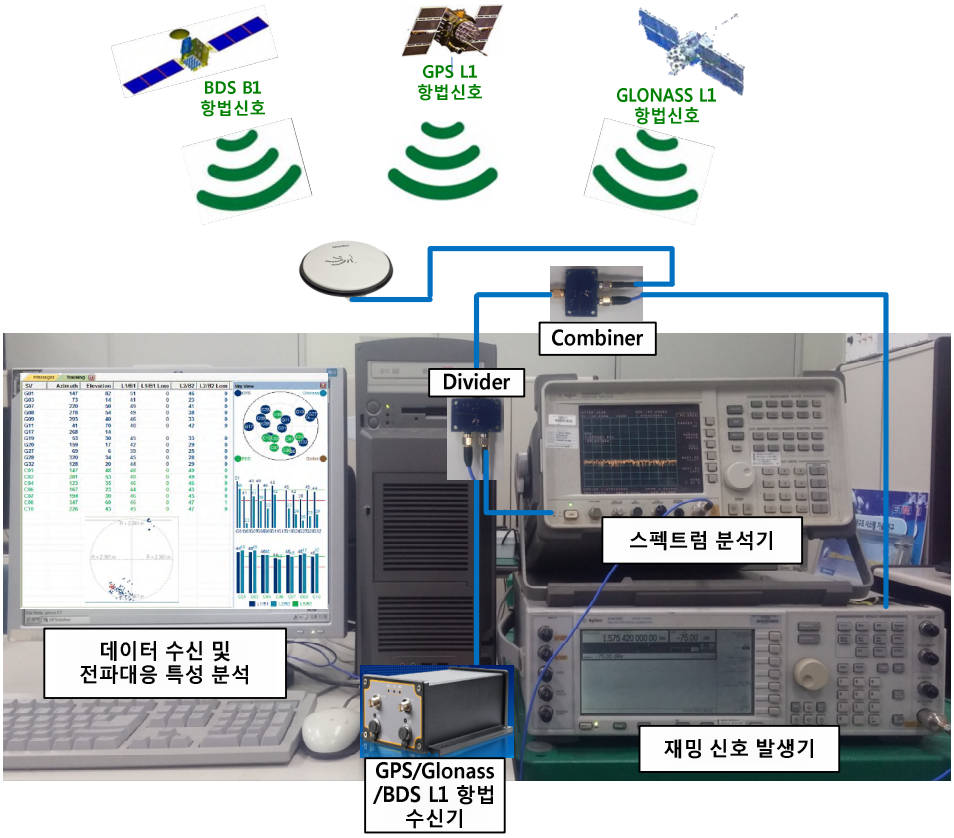


Fig. 1. Environment for GNSS jamming test.

2.3 잡음수준 측정 및 교정

Fig. 2는 GPS L1 중심주파수(1575.42MHz)에서 스펙트럼 분석기로 잡음수준을 측정한 후, CW 전파교란 인가시 수신된 재밍세기를 측정하여 교정하는 과정을 보여준다. 좌측사진은 스펙트럼분석기 설정(Span=1MHz, RBW=3kHz, VBW=100Hz)시 Noise Floor는 -105dBm으로 측정됨을 보여준다. 우측사진은 신호발생기에서 -55dBm CW 신호를 인가시키고 스펙트럼 분석기에서 수신세기를 측정시 약 -82dBm 신호로 수신됨을 보여준다. 즉 케이블 손실, 컴바이너, 디바이너 등의 손실로 인해 CW 송신신호세기 대비 약 27dB 적게 수신됨을 확인하였다.

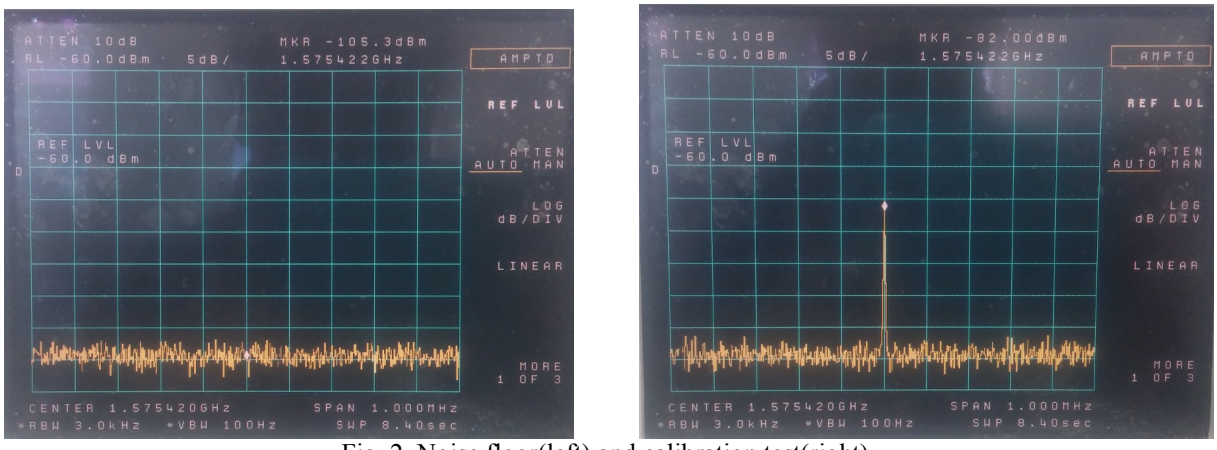


Fig. 2. Noise floor(left) and calibration test(right).

Table 2는 신호발생기에서 CW 신호를 발생한 후, 스펙트럼 분석기에서 측정된 수신세기를 통해 JNR을 측정하여 정리한 것이다.

Table 2. Jamming to noise ratio (JNR).

Signal Generator [dBm]	Spectrum Analyzer (J) [dBm]	Noise Floor (N) [dBm]	JNR [dB]
off	-	-105	-
-80	-105	-105	0
-75	-102	-105	3
-70	-97	-105	8
-65	-92	-105	13
-60	-87	-105	18
-55	-82	-105	23
-50	-77	-105	28
-45	-72	-105	33
-40	-67	-105	38

3. 전파교란 시험 결과

Fig. 3은 GPS L1 중심주파수(1575.42MHz)에 CW 전파교란 신호를 인가하였을 때, JNR에 따른 C/No 결과를 보여준다.

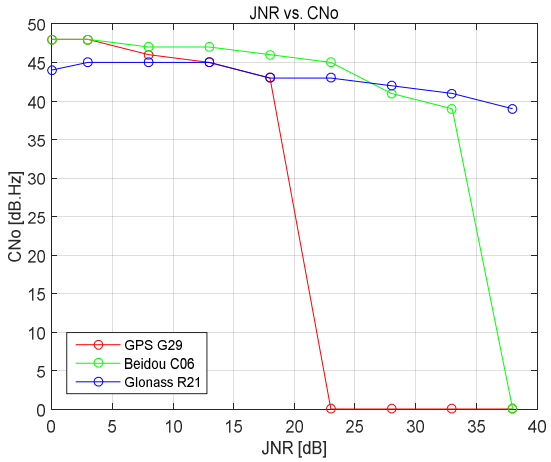


Fig. 3. JNR vs. C/No (CW jamming @ GPS L1 center frequency).

Fig. 4는 Beidou B1 중심주파수(1561.098MHz)에 CW 전파교란 신호를 인가하였을 때, JNR에 따른 C/No 결과를 보여준다.

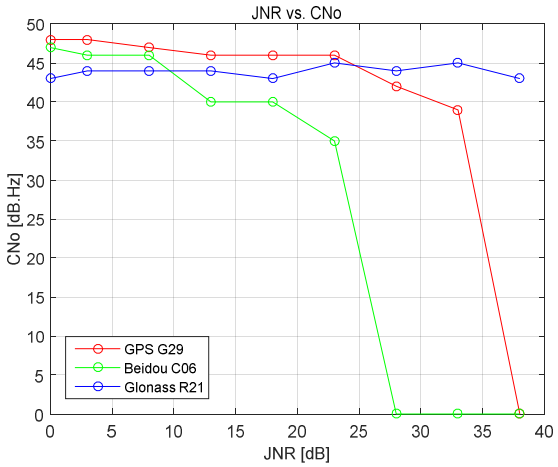


Fig. 4. JNR vs. C/No (CW jamming @ Beidou B1 center frequency).

Fig. 5는 Glonass L1 중심주파수(1602.42MHz)에 CW 전파교란 신호를 인가하였을 때, JNR에 따른 C/No 결과를 보여준다.

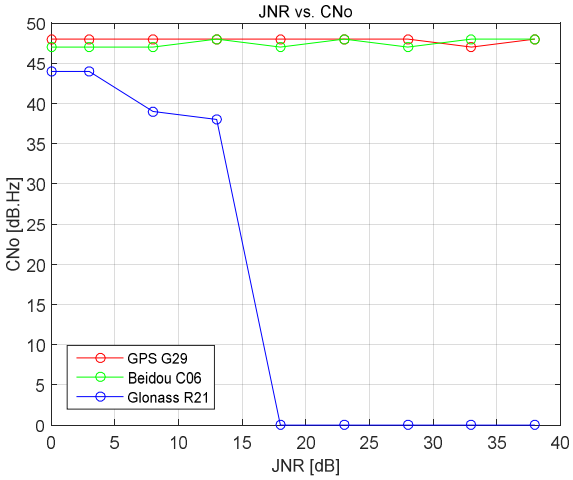


Fig. 5. JNR vs. C/No (CW jamming @ Glonass L1 중심주파수(1602.42MHz)).

4. 결 론

GPS L1, GLONASS L1, BDS B1 신호의 각각의 중심주파수들간에는 주파수간에 이격 차이 존재하므로 특정 위성항법시스템의 중심주파수에 CW 전파교란이 발생시 인접한 주파수의 위성항법시스템도 간접적인 영향을 받지만, 직접적인 영향에 비해서 크지 않음을 확인 할 수 있었다. 특히, Glonass 시스템은 각 위성마다 고유의 중심주파수를 이용하는 FDMA 방식이 사용되고, Glonass L1의 중심주파수는 1602MHz로 GPS L1(1575.42MHz)와 Beidou B1(1561.098MHz)에 비해 각각 약 27MHz와 41MHz가 이격되어 있으므로, Glonass L1 신호는 GPS L1(1575.42MHz)와 Beidou B1(1561.098MHz)의 중심 주파수에서 발생한 전파교란에 비교적 영향을 덜 받는 것으로 확인되었다. 반면에 GPS L1(1575.42MHz)와 Beidou B1(1561.098MHz) 신호는 불과 약 14MHz 이격되어 있으므로, 상호간에 발생된 CW 전파교란에 영향을 많이 받는 것으로 확인되었다. 한편, 전파교란 발생신호의 주파수와 이격 차이가 존재하더라도, 전파교란 신호의 세기가 항법수신기의 RF Front-End 부품을 포화시킬 정도로 크게 입력된다면 다른 위성항법 시스템이라 할지라도 수신이 불가할 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-01077, 무인비행체 기반 GPS 전파교란원 정밀탐지 기술 개발)

REFERENCES

Joo, I.-O. & Sin, C.-S. 2016, Implementation and Test of Simulator for Analyzing Effect of GNSS Jamming, KSAA, 24, 1-5.

Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS: Principles and Applications. 2nd ed. (Boston: Artech House Inc.)

GPS/GLONASS/BDS 기만 신호에 대한 수신기 신호 추적부 오차 분석

채정근[1*], 이동선[1], 손석보[1], 윤상준[1], 이치헌[2], 최승호[2]
[1]넵코어스㈜, [2]국방과학연구소

Receiver Tracking Loop Error Analysis for GPS/GLONASS/BDS Spoofing Signal

Jeong Geun Chae[1*], Dong Sun Lee[1], Seok Bo Son[1], Sang Jun Yun[1], Chi Hun Lee[2], Seung Ho Choi[2]
[1]NAVCOURS Co., Ltd., [2]Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 테크노 2 로 66-6
연락처 : 042-363-9034 이메일 : jgchae@navcours.com

Abstract: 위성항법 시스템은 사용자의 위치 추정 외에도 다양한 분야에 광범위하게 이용되고 있다. 하지만 낮은 전력 세기로 인하여 간섭 신호에 취약한 단점이 있으며, 수신기는 외부의 의도적인 간섭 신호에 의하여 신호 획득을 방해 받거나 오동작할 우려가 있다. 이러한 단점에 대응하기 위해서 간섭 신호를 감지하거나 제거하는 기술이 요구되며, 이를 위해 간섭 신호가 수신기에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 기만 신호가 수신기에 미치는 영향을 분석한다. 수신기에 GPS, GLONASS 및 BDS 1I 신호에 대하여 정상 동작하는 도중 기만 신호를 인가한다. 신호 추적 단계에서 계산된 파라미터 중 DLL Discriminator, PLL Discriminator 등 기만 신호에 의해서 영향을 받을 것으로 판단되는 파라미터의 변화를 통하여 기만 신호가 수신기에 미치는 영향을 확인한다. 본 논문의 결과를 통하여 기만 신호 검출 연구와 기만 신호에 강인한 시스템에 대한 연구에 도움이 될 것으로 기대한다.

Keywords: spoofing, DLL discriminator, PLL discriminator

1. 서 론

위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 사용자에게 위치와 시각에 대한 정보를 제공하며, 미 국방성에서 제공하는 Global Positioning System (GPS)와 유럽의 Galileo, 러시아의 GLONASS, 중국의 BeiDou System (BDS) 등이 있다. 위성항법시스템의 위성은 지구로부터 약 20,000km 정도 떨어져 있어 신호 전력이 매우 낮기 때문에 간섭 신호에 취약한 단점이 있다. 간섭신호는 외부 환경에 의해서 발생하는 비의도적 간섭신호와 GNSS 수신기의 정상적인 동작을 방해할 목적으로 간섭신호를 인가하는 의도적 간섭신호로 나누어 진다. 의도적 간섭 신호는 수신기의 신호 획득 및 추적을 방해하여 항법해를 구하지 못하도록 하는 재밍 신호와 수신기가 거짓된 정보를 실제 위성 신호로 판단하여 잘못된 항법해를 구하도록 하는 기만 신호가 있다(Parkinson et al. 1996).

GNSS 신호 구조는 공개되어 있고, 코드가 암호화 되어 있지 않아 쉽게 모사가 가능하다. 기만 신호를 생성하는 방법으로 항법 데이터를 조작하여 위성의 위치를 기만하는 데이터 기만 방법과 측정치의 시간 지연을 조작하여 의사거리 측정치를 기만하는 코드 기만 방법이 있다. 기만 신호가 수신기에 미치는 영향으로 상관함수의 왜곡이 발생 및 추적 오차 증가, 의사거리 오차 증가 현상이 알려져 있다. 저가의 기만기 제작에 관한 연구들도 보고 되고 있다(Humphreys et al. 2008). 이러한 단점에 대응하기 위하여 간섭 신호를 감지하거나 제거하는 기술이 요구되며, 간섭 신호가 수신기에 미치는 영향에 대한 분석이 요구된다.

SDR은 일반적인 수신기와 다르게 RF 신호처리 및 위치해 추정에 관한 모듈을 소프트웨어로 구성한 수신기이다. 소프트웨어로 구성되어 있기 때문에 수신기 동작에 관하여 손쉽게 설정이 가능하며 각종 파라미터를 모니터링 할 수 있기 때문에 기본적인 GNSS 항법 기능 외에 항재밍 알고리즘 개발 및 신호분석에도 활용 되고 있다(Park et al. 2016).

본 논문에서는 GNSS 중 GPS, GLONASS와 BDS의 기만 신호가 신호 추적부에 미치는 영향을 비교하고자 한다. 신호를 분석하기 위하여 Software Defined Receiver(SDR)을 이용하였다. 일반적으로 기만 신호를 인가할 경우 실제 위성 신호와 반송파 위상 및 코드 지연을 정확하게 일치 시키기 어렵기 때문에 신호 추적부에서 코드 에러 및 반송파 에러에 영향을 주게 된다. 이를 이용하여 실제 신호를 추적하는 수신기에 기만 신호를 인가하여 PLL Discriminator와 PLL Discriminator의 값을 이용하여 기만 신호가 신호 추적부에 미치는 영향을 확인할 수 있다. GPS, GNLONASS, Beidou 1I 모두 Binary Phase Shift Keying(BPSK) 방식을 사용하지만 반송파 주파수와 코드 주파수가 다르며, 이에 따른 PLL 및 DLL Discriminator 특성을 확인한다.

2. 시험 구성

실험 구성도는 Fig. 1과 같다. 실제 위성 신호와 기만 신호를 SDR에 인가한다. SDR은 안테나와 RF 전처리부인 USRP, 신호 처리 및 항법해 추정을 위한 고 사양 PC로 구성되어 있다.

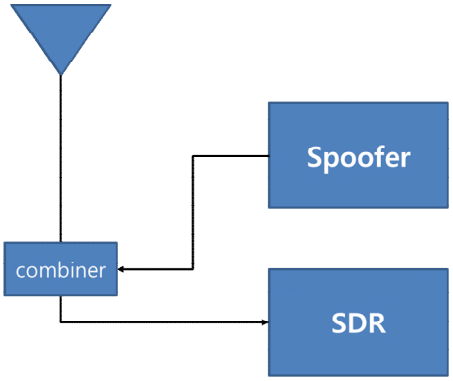


Fig. 1. Block diagram.

실험을 위하여 추적 루프의 설정된 변수는 Table 1과 같다.

Table 1. SDR setting.

변수	값
샘플링 주파수	25 MSps
중간 주파수	1584 MHz
DLL 대역폭	2 Hz
PLL 대역폭	1 Hz

정지 상태의 SDR 수신기에 기만 신호 인가 실험은 Fig. 2 와 같이 진행하였다.

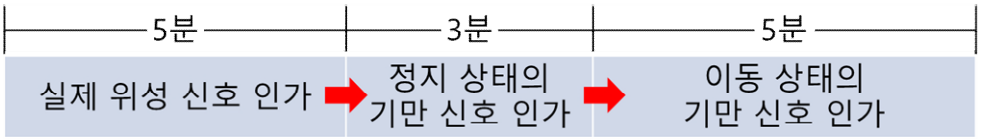


Fig. 2. Test scenario.

수신기의 전원을 인가한 후 5 분동안 실제 위성 신호만 인가하여 동작하여 가시 위성의 신호를 추적하도록 하였다. 이후 3 분 동안 정지 상태의 기만 신호를 인가한 후, 이동 경로를 설정하여 5 분동안 위치를 변화 시켰다. 모든 가시 위성에 대하여 실제 신호보다 20dB 높은 기만 신호 인가하였고 기만 신호의 이동 속도는 10km/h 로 설정하였다.

PLL Discriminator 값은 식 (1)과 같이 구하였다.

$$PLL\ Discriminator = \frac{tan^{-1}(\frac{QP}{IP})}{2\pi} \quad (1)$$

DLL Discriminator 값은 식 (2)와 같이 구하였다.

$$DLL\ Discriminator = \frac{\sqrt{(IE^2 + QE^2} - \sqrt{(IL^2 + QL^2}}{\sqrt{(IE^2 + QE^2} + \sqrt{(IL^2 + QL^2}} \quad (2)$$

3. 시험 결과

GPS의 실험 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 해당 위성은 GPS C/A PRN 24번이며, 반송파 주파수는 1575.42MHz, 코드 주파수는 1.023MHz로 시간은 ms 단위로 약 12분 가량 신호 추적을 한 것으로

나타났다. SDR 수신기를 켠 후 약 2분 동안 정상 상태의 위성신호를 추적하였으며 이후 3분가량 정지 상태의 기만 신호와 5분 가량의 경로를 입력한 기만 신호를 추적하였다. PLL Discriminator의 경우 정지 상태의 기만 신호와 경로 이동 상태의 기만 신호 모두 기만 신호가 인가되지 않은 경우보다 큰 편차가 나타난다. DLL Discriminator의 결과는 정지 상태의 기만신호에서는 편차가 작게 나타났지만 이동 상태의 기만신호에서 편차가 크게 나타나며, 움직이기 시작할 때 평균 값이 다른 구간과는 다르게 나타남을 확인하였다.

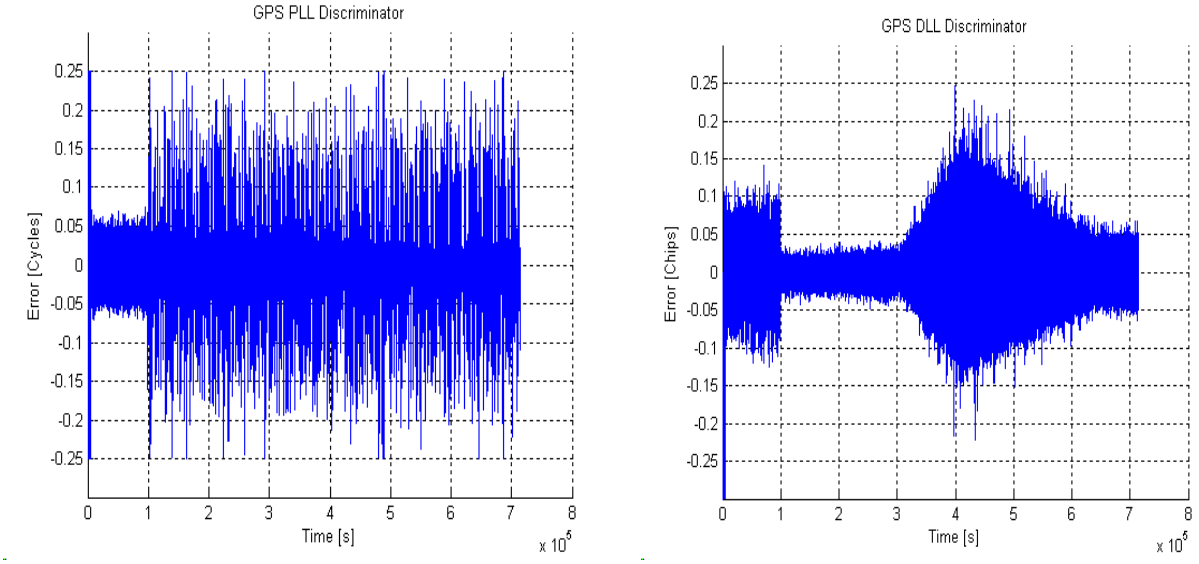


Fig. 3. PLL discriminator and DLL discriminator (GPS SV24).

GLONASS의 실험 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 해당 위성은 1번이며, 반송파 주파수는 1600.6175MHz 코드 주파수는 0.511MHz로 시간은 ms 단위로 약 12분 가량 신호 추적을 하였다. PLL 및 DLL Discriminator의 결과 모두 GPS와 유사하게 나타났다. 하지만 실제 신호와 기만 되었을 때를 비교하였을 때 GPS에 비하여 PLL Discriminator의 영향은 적게 나타났고, DLL Discriminator의 영향은 크게 나타났다.

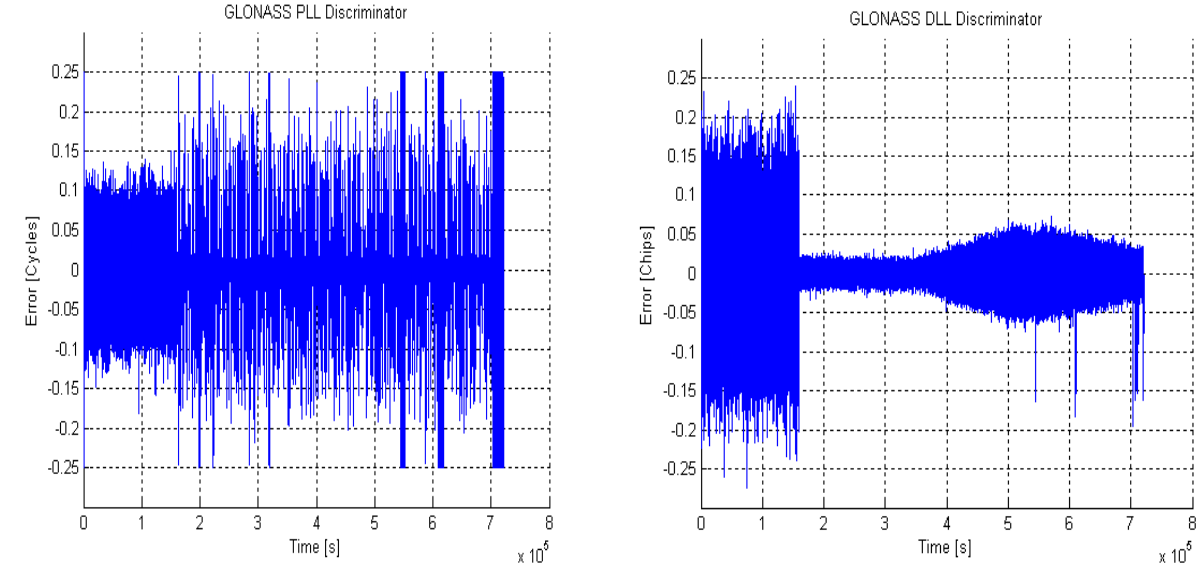


Fig. 4. PLL discriminator and DLL discriminator (GLONASS SV1).

BSD의 실험 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 해당 위성은 1번이며, 반송파 주파수는 1561.098MHz 코드 주파수는 2.046MHz로 시간은 ms 단위로 약 12분 가량 신호 추적을 하였다. PLL Discriminator의 GPS와 GLONASS와 같이 정지 상태의 기만 신호와 경로 이동 상태의 기만신호 모두 기만신호가 인가되지 않은 경우보다 편차가 큰 것을 확인 할 수 있다. DLL Discriminator의 결과는 상태가 변할 때 편차가 상대적으로 크게 나타나며, 평균도 다른 구간과는 다른 것을 확인할 수 있다.

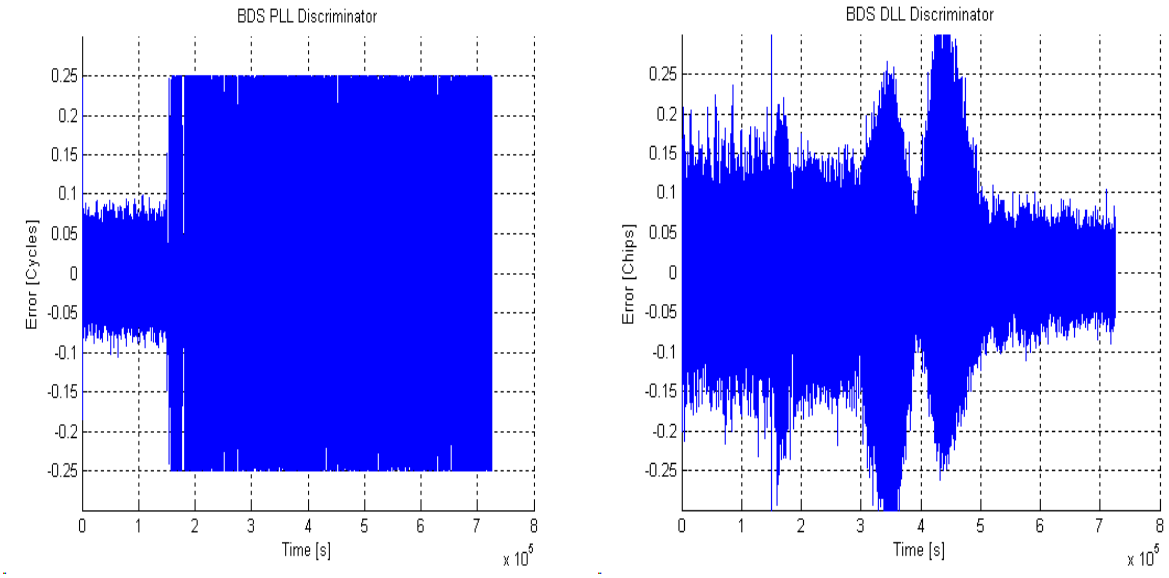


Fig. 5. PLL discriminator and DLL discriminator (BDS SV1).

DLL Discriminator의 결과 정지 상태의 기만신호에서 편차가 더 낮게 나타났는데 이는 실제 위성 신호보다 기만 신호가 더 안정적이기 때문으로 파악된다. GPS, GLONASS와 BDS의 변조 방식은 BPSK 방식으로 세가지 방식이 유사한 형태의 결과가 나타났지만, PLL Discriminator는 반송파 주파수가 낮을수록 기만신호에 영향을 더 많이 받으며, DLL Discriminator는 코드 주파수가 높을수록 기만 신호에 영향을 더 많이 받은 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 GPS, GLONASS와 BDS의 기만 신호를 수신한 GNSS 수신기의 동작 상태를 확인하였다. 실제 위성 신호로 신호 추적을 진행하는 도중 간섭 신호를 인가 할 경우, 실제 위성 신호와 반송파 위상 및 코드 지연을 정확하게 일치 시키기 어렵기 때문에 신호 추적부에서 코드 에러 및 반송파 에러에 영향을 주게 된다. 이를 바탕으로 PLL 및 DLL Discriminator 값을 이용하여 기만 신호에 대한 영향을 확인하였다. 실험 결과 GPS/GLONASS/BDS 모두 BPSK 방식으로 유사한 특성을 나타내지만, 반송파 주파수와 코드 주파수에 따라 약간의 차이가 있음을 확인하였다. 본 논문을 통하여 GPS/GLONASS/BDS시스템에 대하여 기만 영향을 확인 할 수 있었으며, 향후 항기만 알고리즘 연구에 연구 결과를 확인하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

REFERENCES

Humphreys, T. E., Ledvina, B. M., Psiaki, M. L., O'Hanlon, B. W., & Kintner Jr., P. M. 2008, Assessing the Spoofing Threat: Development of a Portable GPS Civilian Spoofer, ION GNSS 2008, September 16-19, 2008, Savannah International Convention Center, Savannah, GA, pp.2314-2325.

Park, K.-W., Lee, S., Lee, M.-J., & Park, C. 2016, Design of a Buffer Management Algorithm for USRP Based Real-time GNSS SDR, 2016 KGS conference, 2-4 Nov. 2016, Phoenix Island, Jeju, Korea, pp.344-348

Parkinson, B., Spilker Jr, J., Axelrad, P., & Enge, P. 1996, Global Positioning System: Theory and Applications (Washington, DC: AIAA), pp.143-164

무인비행체 재밍을 위한 국내외 장비 기술수준 분석

최채택*, 신욱현, 최승호
국방과학연구소

Analysis of Technology levels in Domestic and Foreign Equipment for Jamming against UAV

Chae Taek Choi*, Wook-Hyeon Shin, Seung-Ho Choi
Agency for Defense Development

주소 : 대전광역시 유성구 북유성대로 488 번길 160
연락처 : 042-821-3578 이메일 : ctmarine@naver.com

Abstract: 우리나라를 비롯한 대부분의 나라들은 안보, 보안상의 목적으로 비행금지구역을 설정하여 운용하고 있다. 비행금지구역은 민간의 비행체계가 비행해서는 안되며, 공공의 목적이라도 적법한 절차를 통해 신고/허가(승인) 등을 받아 비행이 가능한 구역이다. 최근 민간에서 많이 운용되고 있는 무인비행체(드론 포함)들은 무선통제장치(RC: Remote Controller)와의 양방향 통신을 통한 비행제어가 기본으로 가능하며, 위성항법 시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)을 이용하여 계획된 경로를 비행하게 하거나 백홈(Back-home) 기능을 설정하여 비행하게 할 수 있다. 외국에서는 보안구역의 불법적인 비행을 막기 위해 많은 연구가 수행되고 있다. 많은 연구 분야중에 전자파를 송신하여 위성항법 시스템을 사용하지 못하게 하거나, 무선통제장치와의 통신이 불가능 하도록 하는 기술들이 개발되었다. 최근 국내외에서 전자파 송신기술을 이용한 GNSS 사용 억제 및 무선통제장치 통신 방해 장비들이 많이 제작되고 있다. 본 논문에서는 무인비행체 비행을 방해하기 위한 국내외 재밍 장비들의 기술수준을 분석하고 향후 개발 방향을 예측한다.

Keywords: UAV, GNSS, jamming, technical level

1. 서 론

최근 급속히 발전하는 항공산업 관련 기술이 대형 항공기 제작뿐만 아니라 소형항공기, 초소형 비행체, 심지어 드론 제작에도 활용되고 있는 추세이다. 과거의 상용 여객기, 전투기, 폭격기 등의 정밀, 대형 항공기 산업은 일반인에게는 아주 생소한 분야로 쉽게 접할 수 없는 기술에서 이제는 장난감용 드론까지 제작되는 수준으로 일상 생활에서 쉽게 접하는 분야 기술이 되었다. 소형 비행체를 이용한 농약살포, 소형 산불 진화 등으로 활용되며, 특히, 드론은 장남감용 소형 드론부터 영화/광고 촬영용 드론까지 광범위하게 활용되고 있는 현실이다. 선진국에서는 드론을 이용한 피자, 우편물 등의 배달서비스를 시작하려는 단계이다.

비행체는 추락의 위험이 있기 때문에 안전이 최우선시 되어 제작되어야 하고 비행체는 안전한 상황에서 운용되어야 한다. 우리나라를 비롯한 대부분의 나라들은 안보, 보안상 비행금지구역을 설정하여 운용하고 있다. 비행금지구역은 민간의 비행체가 비행할 수 없는 지역으로, 공공의 목적이라도 적법한 절차를 통해 신고/허가(승인) 등을 받아야만 비행할 수 있는 구역이다. 최근 민간에서 많이 운용되고 있는 무인비행체(드론 포함)들은 무선통제장치(RC: Remote Controller)와의 양방향 통신을 통한 비행제어가 기본으로 가능하며, 위성항법 시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)을 이용하여 계획된 경로를 비행하게 하거나 백홈(Back-home) 기능을 설정하여 비행하게 할 수 있다. 소형 드론은 별도의 금지구역을 제외한 지역에서는 일정 수준의 고도 이하에서 비행이 가능하다. 외국에서는 보안구역의 불법적인 비행을 막기 위해 많은 연구가 수행되고 있다. 많은 연구 분야중에 전자파를 송신하여 위성항법 시스템을 사용하지 못하게 하거나, 무선통제장치와의 통신이 불가능 하도록 하는 기술들이 개발되었다. 최근 국내외에서 전자파 송신기술을 이용한 GNSS 사용 억제 및 무선통제장치 통신 방해 장비들이 많이 제작되고 있다

본 논문에서는 공공의 안전을 위해 운용될 수 있는 소형 무인비행체 재밍장비에 대한 국내외 기술수준을 인터넷, 문헌, 팜플랫 등으로 공개된 자료에 근거하여 분석하였다.

2. 무인 비행체(드론)의 활용

무인 비행체는 여러 가지 용도로 활용되고 있다. 아래와 같은 분야를 포함하여 많은 군사용, 상업용 목적으로 사용되며 소형 드론은 개인의 취미생활에도 활용되고 있다.

첫째, 군사용 목적으로 많이 활용되고 있다. 미국은 드론을 공군의 미사일 폭격 연습 대상으로 사용하였으며, 점차 정찰 및 공격용도로 확대하였다. 조종사가 탑승하지도 않고 전장 상황을 파악하고 공격까지 할 수 있는 장점이 있어 2000년대 중반부터 드론을 군사적 무기로 적극 활용하고 있다(Fig. 1).



Fig. 1. Multi-purpose UAV 'MQ-9 Reaper' (MQ-9 Reaper 2013).

둘째, 민간 영상 촬영 목적으로 활용되고 있다. 드론을 촬영용 기기로 활용하여 스포츠 중계, 재해 현장 촬용, 탐사보도까지 하고 있다. 언론사는 스포츠 중계부터 재해 현장 촬영, 탐사보도까지 드론을 아주 많이 이용하고 있다. 특히, 카메라가 장착된 드론을 이용하여 지리적인 한계나 안전상의 이유로 접근하지 못한 장소를 생생하게 촬영할 수 있으며, 과거의 항공촬영보다 비용이 훨씬 더 저렴하다는 장점이 있다. <내셔널지오그래피>는 2014년 탄자니아에서 사자 생태를 촬영하는 데 드론을 도입했고, <CNN>도 터키 시위 현장 등에 드론을 활용했다. 국내 방송사, 영화사들도 예능 방송이나 드라마에 드론을 많이 사용하고 있다. 특히, 이런 분야는 HD급 고화질 동영상과 사진 촬영이 가능한 장비를 장착한 드론을 활용하고 있다.

셋째는 향후 많은 활용이 예상되는 배달 서비스 분야이다. 구글, 아마존 등과 같은 많은 IT 전문 기업들이 드론을 활용한 기술을 선보이고 있고 아마존은 2013년 12월 '프라임에어'라는 새로운 배송 시스템을 공개했다(Fig. 2). 아마존은 재고 관리와 유통시스템을 자동화하는 데 기술 투자를 하고 하며 택배 분야까지 기술투자를 하여 과거의 택배직원이 했던 일을 드론으로 대체하는 유통 서비스까지 확장하려고 하고 있다.

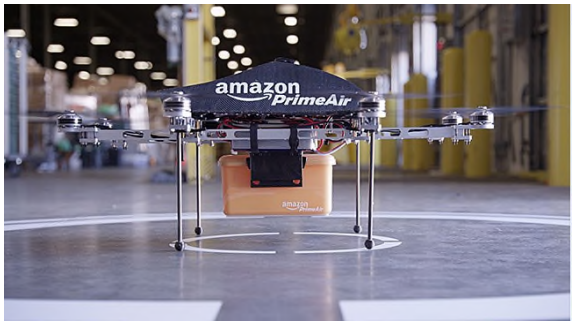


Fig. 2. Drone for a delivery system (Amazon Prime Air 2017).

무인비행체가 다양한 목적으로 활용이 활발해 질 것으로 예상되는데 현재 국내에서는 무인비행체에 대한 비행 금지시간 및 장소가 설정되어 있다. 일몰 후부터 일출 전까지의 야간에는 비행이 금지되어 있다. 국방, 보안상의 이유로 비행이 금지된 휴전선 인근, 서울 도심 상공, 국가 중요시설 등의 비행금지구역, 고도 150m 이상의 고도 비행금지, 인구 밀집지역 또는 많은 사람이 모여있는 곳의 상공, 비행장 주변(반경 약 9km 이내) 등에서는 비행해서는 안 되는 비행금지 장소이다. 이런 곳에서의 비행이 필요한 경우 지방항공청이나 국방부등의 사전 승인(허가)을 받아야 한다. 비정상적인 무인비행체의 운용은 공공의 안전을 저해하고 발전소 발전 중단, 고속철도 운행 중단등과 같은 사고를 유발할 수 있다. 국가 중요시설, 군사시설 보호를 위해 무인비행체의 비행을 방해하는 재밍기술이 필요하고 국내외에서 재밍장비를 개발 판매중에 있다.

3. 국외 재밍 기술

국외에서는 무인비행체를 물리적 타격을 가하는 방법 대신 재밍 기술을 개발하고 있으며 크게 큰 잡음 신호를 송신하여 무인기와 조종기간의 신호 송수신, 또는 항법위성으로 오는 위성항법신호를 수신하지 못하도록 하는 잡음재밍 기술과 허위 통제신호 송신 또는 허위 위성항법신호를 송신하는 기만재밍 기술로 구분할 수 있다. 잡음재밍 기술은 성숙된 기술로 Table 1 과 같이 많은 나라에서 관련 장비를 개발하여 판매중에 있다. 기만재밍 기술은 통제신호를 기만하기 위해 무인기와 조종기간의 데이터 형식 및 주기들을 정확하게 알아야 하므로 일반적으로 적용하지 않고 있다. 다만 일부 국가에서 허위 위성항법신호를 발생, 송신하여 허위 위치로 식별되도록 하는 기만기술이 개발되어 활용되고 있다.

3.1 중국

중국은 많은 회사가 다양한 출력을 가진 잡음 재밍 장비를 제작 판매중에 있다. 기만재밍 기술에 대해서는 알려져 있지 않고 잡음재밍 기술은 보유한 것으로 파악된다. 잡음재밍 기술이 적용된 장비는 출력과 주파수 대역이 다양하게 적용되고 있다.

3.2 러시아

러시아는 잡음재밍 기술을 적용한 장비가 많이 운용되고 있고 최근에는 허위 위성항법신호에 송신하는 기만재밍 기술까지 개발한 것으로 추정된다. 또한 러시아 및 인근에서 위성항법신호 간섭현상이 발생되었다고 알려진 경우도 있었으며(AVIATION ARCHIVE 2017) 러시아를 크루즈 미사일, 스마트 폭탄, 드론 방어 목적으로 재밍 장비(POLE-21)를 운용하고 있는 것으로 알려진 바 있다 (Sputniknews 2016).

3.3 벨라루스

벨라루스는 지상용 및 항공용의 장비를 다수 개발하였으며, UAV를 이용한 위성항법신호 재밍 장비를 개발하였다(Williams 2016).

Table 1. 국외 잡음 재머 제작사 및 장비 수준 요약.

명 칭		형 상	주요특성
중국	CTS-BBOX CTS technology		• GPS/GSM • 출력 : 100W • 재밍거리 : unknown
	CTS.GBOX CTS technology		• GPS L1/L2/L5, GSM 900/1800 대역 • 출력 : 25W • 재밍거리 : unknown
러시아	GPS 재머 ('13) Aviaconversiya		• GPS L1/L2/L5, GLONASS G1/G2, Galileo E5/E6 Beidou B2/B3 대역 • 출력 : ~ 15W • 재밍거리 : 최대 40~50km
벨라루스	Tourman-2.2		• GPS(L1, L2), GLONASS Option(Galileo) • 출력 : 최소 15W • 탑재체 : 전술 UAV에 장착 • UAV 자체 비행에도 영향

4. 국내 재밍 기술

국내에서는 Table 2와 같이 많은 회사들이 잡음재밍 장치를 개발하였다. 무인기와 조종기간의 데이터

송수신을 방해하거나 위성항법신호 수신을 방해할 수 있는 수준의 기술을 보유하고 있다. 또한 일부 대학 및 연구소에서 외국사의 시뮬레이터를 이용하여 위성항법신호를 모의 발생할 수 있는 기술을 보유하였다.

Table 2. 국내 잡음 재머 제작사 및 장비 수준요약.

명 칭		형 상	주요특성
BA solutions	드론(UAV) 실시간 탐지 및 방어시스템		• 드론탐지/재밍시스템 • 탐지장비: Aaronia사(독일) • 탐지: 드론과 지상 통제기간의 통신신호 수신/식별, 방향탐지 • 재밍: 수신한 통신 주파수 잡음재밍 • 위성항법 대역 잡음재밍 가능
	AEGIS jammer		• GPS/GLO 대역 포함 • 휴대형(EOD), 차량형-재머 (20 ~ 6000 MHz) • 드론 재머로 활용 가능
STX	STX 안티드론 통합솔루션		• 전파교란 (2.4 ~ 5.8 GHz) • GPS 전파교란 (옵션) • 잡음재머 추정

5. 결 론

무인비행체는 최근 IT 기술의 발전으로 누구나 쉽고 저렴하게 획득하여 운용할 수 있게 되었으나 비정상적인 운용으로 인해 인명, 재산상의 피해가 발생할 수 있다. 무분별한 무인비행체의 비행을 막기 위해 무인비행체 재밍 장비가 많이 제작되고 있어 국내외 무인비행체 재밍 장비에 대한 기술 수준을 분석하였다. 정확한 기술수준 분석을 위해 많은 자료가 필요하나 자료의 획득이 제한되어 공개된 자료에 근거하여 분석하였다.

선진국에서는 허위 위성항법신호를 발생시킬 수 있는 기술을 보유한 것으로 추정된다. 국내에서는 위성항법신호 시뮬레이터를 이용하여 신호 모의가 가능한 수준이라고 판단된다.

향후에는 인명/재산 피해를 예방하기 위해 무인비행체(드론)를 그물망이 설치된 장소나 안전한 장소로 이동시켜 비행을 하지 못하게 하거나 특정 지역에서 제자리 비행을 하도록 하기 위한 위성항법신호 기만 기술이 개발될 것으로 예측된다.

REFERENCES

Amazon Prime Air 2017, [Internet], cited 2017 Sep. 8, available from: https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?node=8037720011

AVIATION ARCHIVE 2017, Russia Suspected in GPS Satellite Signal Spoof [Internet], cited 2017 Jul. 29, available from: http://jeffwise.net/2017/07/19/russia-suspected-in-gps-satellite-signal-spoof/

MQ-9 Reaper 2013, [Internet], cited 2015 Sep. 23, available from: http://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/

Sputniknews 2016, Silent Protector: Russia Develops Hi-Tech Jammer to Block Enemy Electronics [Internet], cited 2016 Aug. 25, available from: https://sptnkne.ws/c6mv

Williams, H. 2016, KB Radar develops UAV-based SATCOM, Navigation Jammers, Jane's International Defence Review, [Internet], cited 2016 Sep. 8, available from: http://www.janes.com/article/63532/kb-radar-develops-uav-based-satcom-navigation-jammers



기업홍보



국립해양측위정보원

국립해양측위정보원
〈업무 소개〉

책임운영기관
국립해양측위정보원
National Maritime PNT Office

Ⅰ. 일반현황

국립해양측위정보원 연혁

- 1999. 05. 24. 대산지방해양수산청 위성항법중앙사무소 [신설]
- 2000. 12. 07. DGPS 서비스를 내륙지역까지 확대하는 전국망 시스템 구축
  * 위성항법보정시스템 전국망구축 및 운영에 관한 규정(국무총리훈령 제409호 '00.12.7)
- 2001. 01. 01. 군산지방해양수산청 위성항법중앙사무소 [소속변경]
- 2006. 01. 02. 장거리무선항법시스템(로란-C) 운영을 흡수 통합
- 2015. 05. 26. 국립해양측위정보원 [승격]
- 2016. 03. 01. 책임운영기관 지정

임 무

- 위성항법보정시스템 및 지상파항법시스템(DGPS/Loran-C)의 구축,관리,운영 및 정보제공
- 위성 및 지상파항법시스템 관련 국내 · 외 협력에 관한 사항
- 극동전파표지협의회(FERNS)의 국제협력체인(Loran-C) 통제 · 감시
- 위성항법보정시스템(DGPS)의 전파혼신(전파교란, 간섭) 대응에 관한 업무 등

Ⅰ. 일반현황

관할구역

- 관할구역 : 우리나라 전 해양 및 내륙
- 측위정보시스템 : 위성항법보정시스템(DGPS), 지상파항법시스템(Loran-C)



위성항법보정시스템 이용범위도



Loran-C 설치 위치도

3

Ⅰ. 일반현황

전국망 위성항법보정시스템 구축 현황

구 분		개소	시 설 위 치	구축 기간
운영 통제 센터		1	국립해양측위정보원(본원)	'99.5.24
DGPS 기준국	해 양	11	어청도, 팔미도, 거문도, 영도, 주문진, 마라도, 호미곶, 울릉도, 소청도, 가거도, 저진	'98.08~'02.11.
	내 륙	6	무주, 영주, 평창, 충주, 성주, 춘천	'04.08~'09.07.
DGPS 감시국		17	말도, 홍도, 가사도, 서이말, 소리도, 안흥, 당사도, 죽변, 독도, 대전, 영주, 무주, 홍천, 돈너미산(2), 속초(2)	'09.06~'11.11.

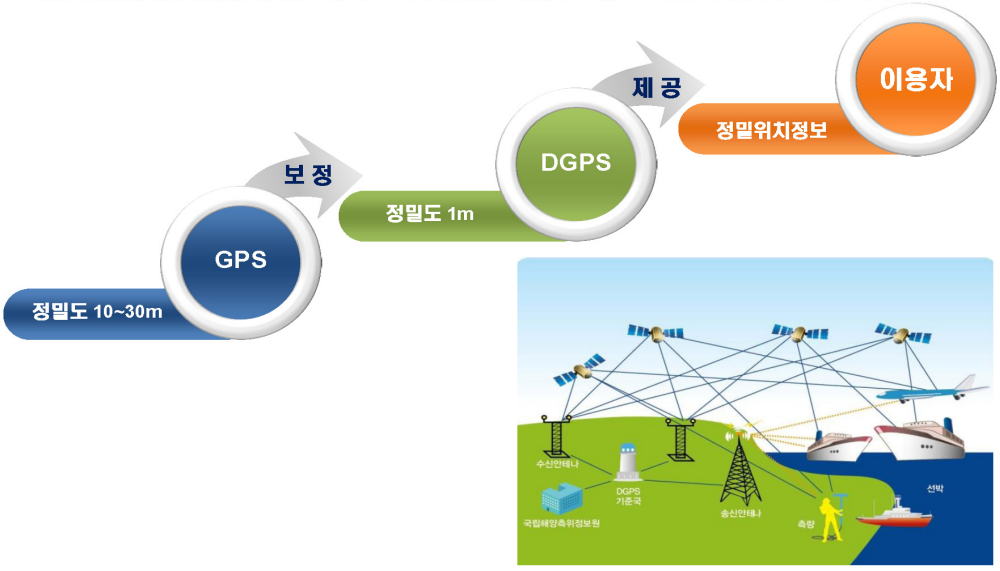
코리아 로란-C 협력체인 구축 현황

구 분		개소	시 설 위 치	비 고
운영 통제 센터		1	국립해양측위정보원(본원)	
Loran-C 송신국	한 국	2	포항(주국), 광주(종국)	'88.12 (미군 인수)
	러시아	1	우스리스크(종국)	
Loran-C 감시국		2	평택, 간절곶	'88.12 (미군 인수)

4

II. 위성항법보정시스템(DGPS)

- GPS(Global Positioning System):미국에서 운영하는 전세계 위성항법 시스템
- DGPS(Differential GPS) : GPS 오차 30m→1m 로 정밀하게 이용하는 시스템



5

III. 위성항법보정시스템(DGPS) 서비스 다원화



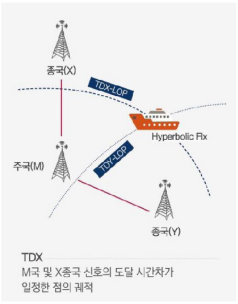
6

Ⅳ. 지상파항법시스템

LORAN-C

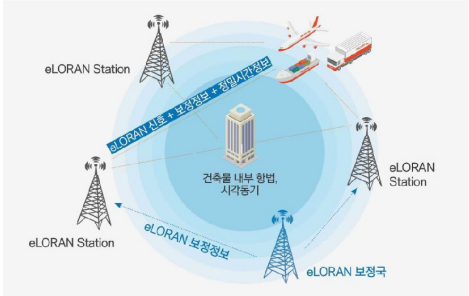
- 코리아 Loran-C 체인운영(한국, 러시아)
- 하나의 주국과 2~4개의 종국으로 구성되는 쌍곡선항법장치
  - 현재 송신국 2개소(포항, 광주), 감시국 2개소(울산 간절곶, 평택)





eLORAN

- GPS 신호의 취약성(전파교란)에 대비하여 IALA에서는 GPS의 대체항법시스템
- 독자적인 대체항법시스템인 eLORAN을 백업시스템으로 권고



7

Ⅴ. GPS 전파혼신 감시 시스템

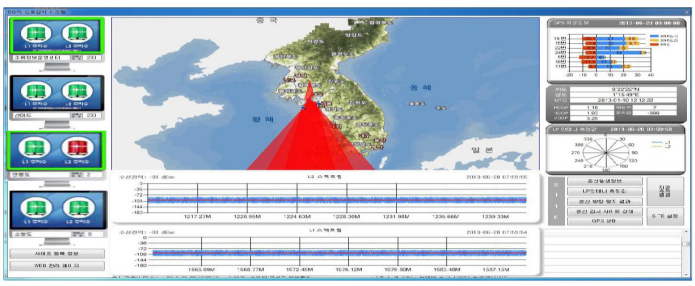
시스템 개요

구분	위치	작동원리
중앙제어장치	국립해양측위정보원(대전)	방해전파 감지시 안테나가 회전하면서 위상차를 검출하여 방해전파 발사지역의 방위각 및 앙각 산출
방해전파 탐지 시스템	① 인천조류정보운영센터 ② 연평도 등대 공원 ③ 소청도 등대 ④ 선미도 등대	
구축시기	2013. 7.	

탐지장치 설치 위치







<시스템 화면>

8



넵코어스(주)



회사 개요

navcours 넵코어스㈜

항법 토탈 솔루션 선도업체, 넵코어스

- 설립일자 2012년 12월 28일 (양도사기준 1996년9월)
- 대표이사 이경재
- 업 종 방위산업/우주항공/PNT개발/제조
- 자 본 금 8,180백만원
- 매 출 액 299.6억원(2016년기준)
- 종업원수 147명(2017년9월말기준)

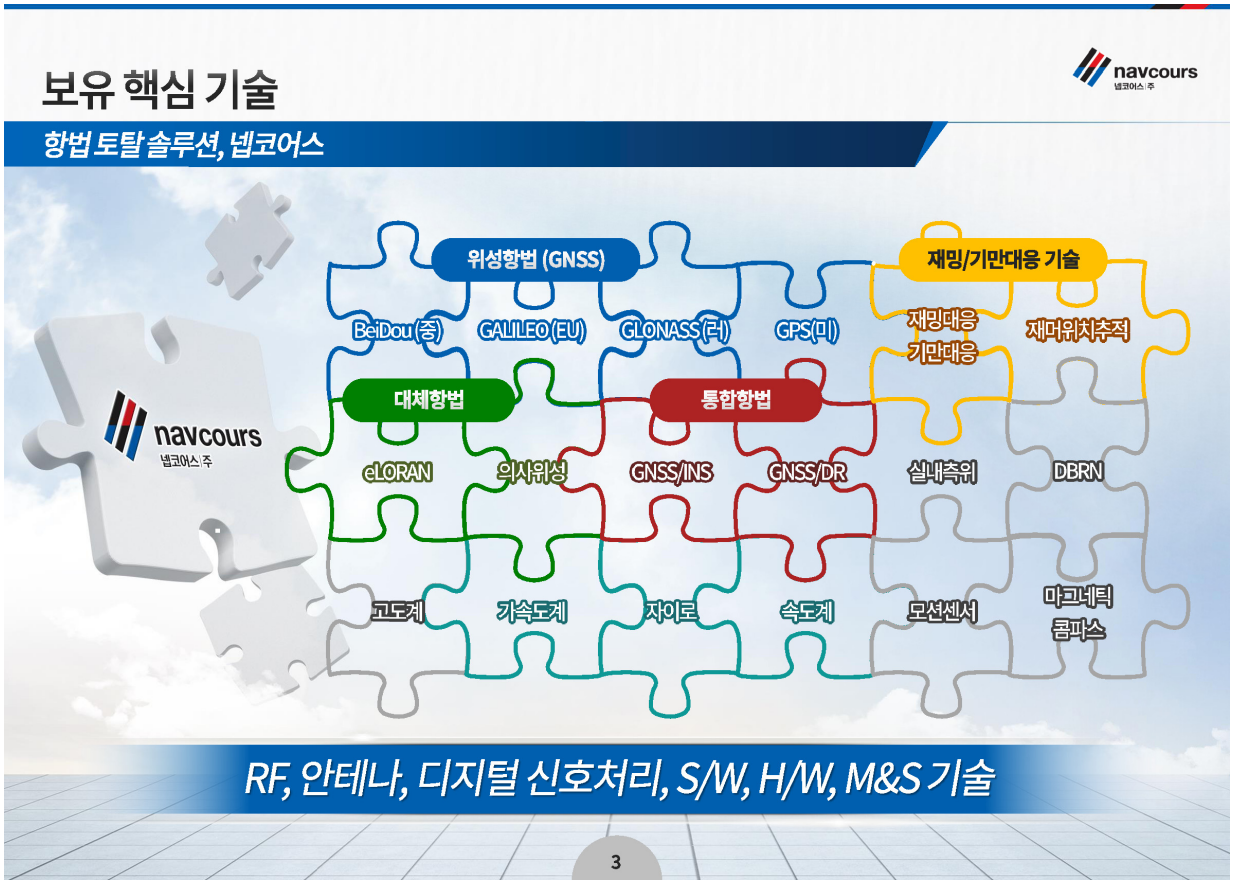


대전시 유성구
테크노2로 66-6
H.Q.
R&D
FACTORY





2


보유 핵심 기술
navcours
넵코어스 주
항법 토탈 솔루션, 넵코어스
위성항법 (GNSS)
BeiDou (중)
GALILEO (EU)
GLONASS (러)
GPS(미)
재밍/기만대응 기술
재밍대응
기만대응
재머위치추적
대체항법
통합항법
eLORAN
의사위성
GNSS/INS
GNSS/DR
실내측위
DBRN
고도계
가속도계
자이로
속도계
모션센서
마그네틱
콤파스
RF, 안테나, 디지털 신호처리, S/W, H/W, M&S 기술
3


주요 사업 분야
navcours
넵코어스 주
Defense / Aerospace / PNT Infra
방위산업
항공우주
항법 인프라
K2, K1A2 전차
한국형 GPS 유도폭탄(KGGB)
차기다련장 (천무)
K21장갑차
철매-II(전궁)
정밀초소형신관 /탄도조종
견마/ 경전투로봇
해성(함대함) /전술탐태지
무인수상정
무인정찰기(UAV)
IR카메라
시험평가시스템
우주발사체용 항법시스템 KSLV-I(나로호) KSLV-II
무인기용 항법
차기 위성통신체계
위성통신시스템
항공기용 재밍대응
전파고도계
비행착각방지 (Vertigo)
ACMI POD
RF Seeker
원자시계
시각동기시스템
재밍/기만대응
GNSS 안테나
증폭기/분배기
교란탐지/추적
DGPS 감시
의사위성(자상)
전력보호계통 /스마트그리드
위성통신 (조난/구조/감시)
4

[주요 핵심 솔루션]

GNSS 교란 대응 항공용 EGI 통합항법장치

navcours 넵코어스㈜

항재밍 일체형 All-in-One 통합항법 솔루션

01 GPS/GLONASS 항재밍 기능
02 항재밍 기능이 내장된 통합 EGI 항법시스템
03 항재밍 통합 EGI 항법시스템 M&S
04 5소자 배열 안테나(Array Antenna)

적용 분야


항공기

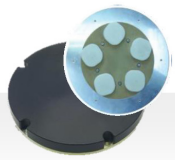

무인기


유도무기

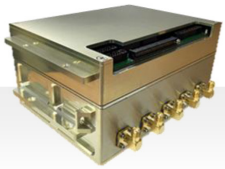
항재밍 EGI 항법장치



5소자 배열 안테나



항재밍 임베디드 모듈



5

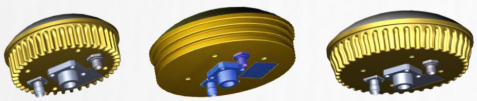
[주요 핵심 솔루션]

JRAS (안테나 일체형 재밍제거장치)

navcours 넵코어스㈜

All-in-one GNSS Jamming Rejection System

01 배열 안테나 기반 일체형 항재밍 장치
02 Plug-in : 기존 장비와 대체 용이
03 고객 요구에 따른 주문형으로 신속한 적용 가능
04 협대역/광대역 재밍 대응 기능 지원
05 옵션 : RF 변환 외 GNSS 수신기 내장, 빔포밍 지원
06 소형/경량/저전력 및 가격 경쟁력 우수
07 순수 국내 기술 적용 항재밍 장치





6

[주요핵심솔루션]

항법 전파교란 대응 훈련 지원시스템

navcours 넵코어스㈜

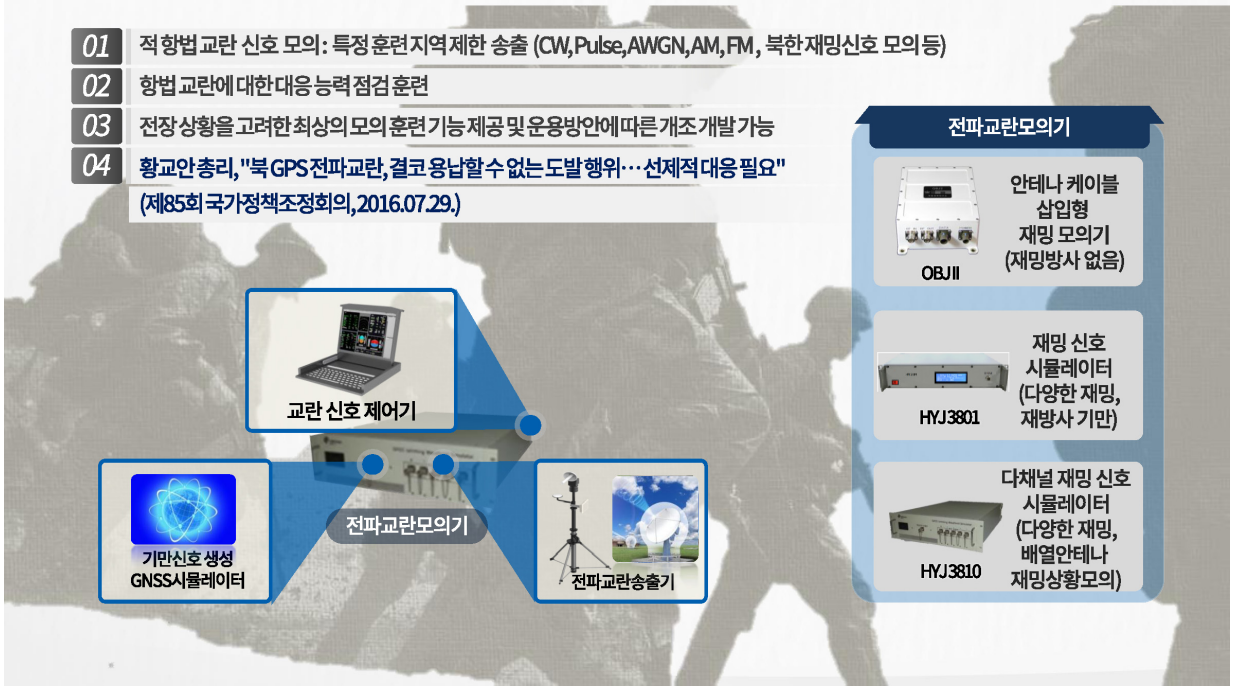
전장 상황을 고려한 항법 전파교란 대응 모의 훈련 지원시스템

01 적 항법 교란 신호 모의 : 특정 훈련지역 제한 송출 (CW, Pulse, AWGN, AM, FM, 북한 재밍신호 모의 등)

02 항법 교란에 대한 대응 능력 점검 훈련

03 전장 상황을 고려한 최상의 모의 훈련 기능 제공 및 운용방안에 따른 개조 개발 가능

04 황교안 총리, "북 GPS 전파교란, 결코 용납할 수 없는 도발 행위…선제적 대응 필요" (제85회 국가정책조정회의, 2016.07.29.)



[주요핵심솔루션]

이동형 원격측정시스템 (Telemetry)

navcours 넵코어스㈜

항법기반기술과 원격측정기술의 이종결합

01 항공기/무인기/유도무기 등 계측 대상의 내부 정보와 상태를 지상에서 획득 통제

02 소형경량화(SWaP) 기반 이동성이 우수한 원격측정 수신기

03 원격측정 신호 획득/저장/전송 시스템 및 통제





(주)넷커스터마이즈



(주)넷커스터마이즈
Network Customizing Technologies Inc

— 회사소개 —

위성통신 시스템 / GPS 신호처리 및 방탐 / 국방 M&S 솔루션

㈜넷커스터마이즈

**2000년 1월 설립된 시스템 개발 전문 업체로써,
고객이 원하는 시스템을 최고의 품질로 개발하여 공급**



"위성통신 시스템 / GPS 신호처리 및 방탐 / 국방 M&S 솔루션"

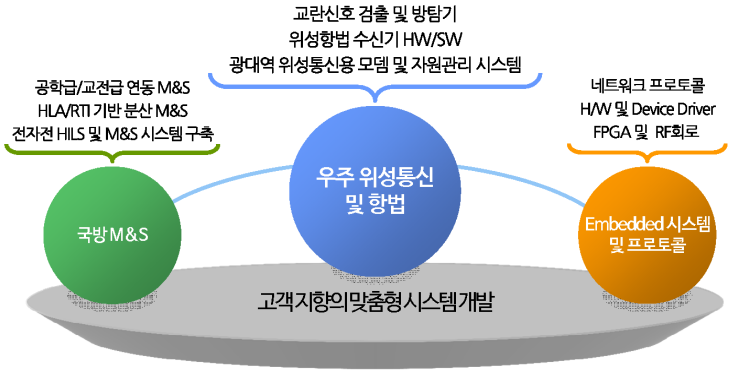
회사명	㈜넷커스터마이즈
설립일	2000.01
대표자	안명수
소재지	대전광역시 유성구 유성대로 1184번길 29
총사원	40명
사이트	www.netcus.com

연혁

2015	차기군위성 망관리시스템 개발 수주 창립 15주년
2014	신성동 사옥 건립 및 이전 DVB-RCS/NG 기반 광대역 위성통신시스템 상용화
2013	신성동 대덕특구지구 사옥 건립 부지 마련
2012	GPS 혼신감시 및 방향탐지시스템 상용화
2011	차기군위성 망관리시스템 탐색개발 과제 수주
2010	창립 10주년
2009	ADD 차기전자전 사업 수주
2008	방산업체와 위성통신시스템 공동 사업화를 위한 MOU 체결
2007	DVB-S2 기반 양방향 위성수신 시스템 사업화 착수
2006	고속이동체를 위한 위성통신 시스템 공동연구 사업자 선정
2005	문화관광부 지역문화사업(CRC) 사업자 선정(엑스포과학공원 주관) 중소기업혁신기술개발 사업자 선정 ; 맞춤형 개인용 미디어센터 개발 벤처기업 재인증
2004	가상현실 국방 시뮬레이터 벤처국방마트에 출품(우수전시기업 선정)
2003	정보통신부 IT마크 획득
2002	정보통신부 우수신기술 개발 업체 선정
2001	산업자원부 공통핵심기술 개발 사업자 선정 : java 미들웨어 개발 벤처기업 지정
2000	이산사건 시뮬레이터 개발 사업자 선정 대전소프트웨어지원센터 입주 주식회사넷커스터마이즈 법인 설립

사업분야 및 보유기술

사업분야



보유기술

국방 M&S	우주 위성통신 및 항법	통신 프로토콜
• 이산사건 M&S 및 시뮬레이션 엔진 기술 • 교전급/공학급 연동 M&S • HLA/RTI 기반 분산 시뮬레이션 • GIS 기반 시뮬레이션 모니터링 • 3D Visualization	• 대화형 위성인터넷 시스템의 단말 및 중심국 모뎀 구현 기술 • Galileo, GPS 수신 신호 처리 기술 • GNSS 모사 위성항법신호 생성 기술 • 교란신호 검출 및 방향탐지 기술 • RF 및 광대역 위성 신호 처리를 위한 모뎀 구현 • MPEG TS Encoding 및 Decoding 기술	• Embedded Linux/Windows CE/VxWorks/pSOS 등 다양한 운영체제하의 Embedded S/W 개발 기술 • Mobile/Wireless 프로토콜 해석 및 구현 기술 • 망 연동 기능 구현 기술 • 3-Tired 기반의 대규모 시스템 제어 및 관리 기술 • 데이터 수집을 위한 미들웨어 및 통신 프로그램 구현
ADD 관련 프로젝트 수행	ETRI와 공동연구 및 기술이전 사업화	통신 프로토콜 구현 분야 국내 최고 수준의 기술력 보유

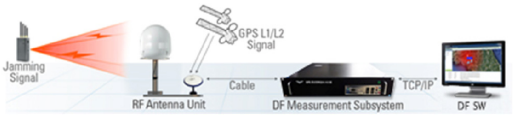
주요실적

분야	과제명	개발 내용	발주처
위성통신	DVB-S2/RCS 기반 모뎀 상용화	• 천리안 통신위성용 단말 및 중심국 시스템 개발 • 공공테스트베드 시스템 운용 지원 • DVB-RCS2 신호처리 기술 개발	ETRI
	자원관리 및 시스템 운용	• 천리안 공공테스트베드용 NMS 및 자원관리 시스템 운용 • 차기군위성 망관리 시스템 탐색 개발	ETRI ADD
위성항법	GPS 신호처리 시스템 개발	• Galileo 수신기 개발 • 소프트웨어 수신기 개발	ETRI
	혼신원 감시시스템	• 국토해양부 감시시스템 구축 • 중앙전파관리소 감시시스템 구축 • 2014년 4식 설치 예정 (중관소, 공군) • 민수용 시스템으로 확장 개발 예정	중관소 외
	GPS 신호생성	• 대덕특구 기술사업화 과제 수행 중 • ETRI와 GPS 위성과 동기되는 신호생성 시스템 공동연구 • LIG넥스원 국방 체계 개발 참여	ETRI 외
국방 체계	국방 M&S	• 전자전 효과도 분석 시스템 구축	ADD
	SW 솔루션	• 모델링 시뮬레이션 소프트웨어 개발	자체사업

주요 제품군

NcJDS | GPS Jamming Direction Finding System

- GPS L1/L2 대역의 재밍신호 검출 및 재밍 방향 탐지
- GPS 대역 재밍 신호의 FFT(Fast Fourier Transformation, 파형 분리) 데이터 저장 및 재현
- 혼신원 위치 추적 및 재밍 영향 범위 분석



⊕ 사양

RF Antenna Unit	DF antennas(5CH)		GPS antenna
Frequency	L1	1575.42MHz ±12MHz	1588.5MHz ±23MHz
	L2	1227.6MHz ±12MHz	1236MHz ±18.3MHz
LNA gain	L1	33dB	29dB(Typ)
	L2	35dB	
Input voltage/current	2.5V-24VDC /<50mA		4.5V-18VDC /<35mA
Operating temperature	-55°~ +85°		-40°~ +85°
Dimension(DxH)	Ø356 X 21.7(mm)		Ø185 x 69(mm)

DF control and monitoring system		
Frequency	L1	1575.42MHz ±12
	L2	1227.6MHz ±12
Input signal level(@ receiver)	-80dBm ~ -20dBm	
DF accuracy	2° RMS	
Interface port	SMA, RS 232, LAN	
Power	AC 220V	
Dimension(WxHxD)	19" rack mounting 2U, 440x88x450mm	

NcGSG | GPS Signal Simulator

- GPS L1, L2, GL1 대역 RF 신호 생성
- Live신호와 동기화된 스푸핑 신호 생성 기능
- 7종 잡음재밍 및 Meaconing 신호 생성 기능
- 실시간 16채널 위성신호 동시 생성 가능 하드웨어
- 환경 오차 모델 탑재
- 위치정확도 : < 5m



⊕ 신호사양

Signal specifications	GPS	Jamming
Frequencies	L1/L2C/GL1	
RF channel	1 CH	
Output signal level (adjustable)	-76 ~ -45dBm	-120 ~ -20dBm(Max)
Power control step	1 dB	
Jamming type	CW, Multi tone, Linear sweep CW, Pulse, Wide-band, Narrow-band, AWGN	
Spoofing	Spoofing, Meaconing(0.1us~1ms)	

⊕ 시스템사양

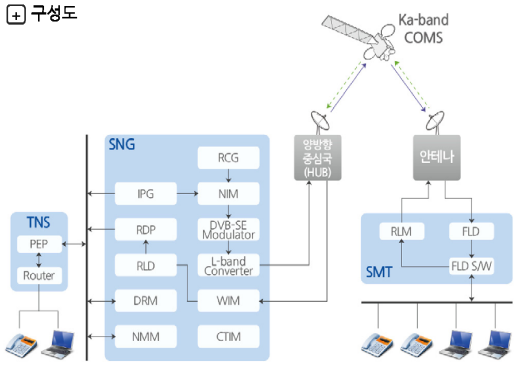
Power		220VAC	
Interfaces	Input	Control	RS232, RJ45
		GPS	SMA
	Output	Meaconing	SMA
		Jamming/Spoofing	SMA X 3
Size(HxWxD)		19" rack mouting 1U, 44x418x592mm	
Weight		< 5.5Kg	
Operating temperature		-20°C ~ + 55°C	

주요 제품군

NcHUB | DVB-S2/RCS2 중심국 HUB 시스템

- Target Service : Data IP, Multicast and Unicast, VoIP
- Applications : Broadband Internet, Emergency Communication for PPDR etc
- Architecture : Star network based on DVB-S2 ACM and DVB-RCS2 Embedded TCP acceleration

⊕ 구성도



⊕ 기술

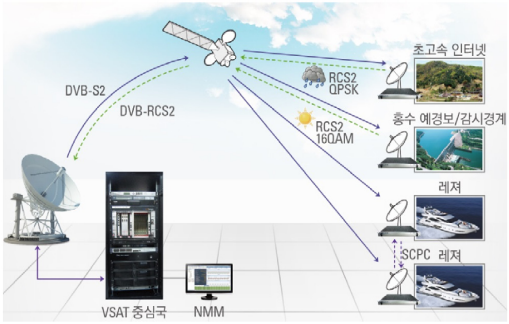
Forward Link	
Standard	DVB-S2 ACM (ETSI EN 302-307)
Symbol Rate	up to 80Mbps, TDM
Protocol	IP over MPEG-2 TS

Return Link	
Standard	DVB-RCS2 (ETSI EN 301-790)
Symbol Rate	0.5/1/2/4/8Msps, MF-TDMA
Protocol	IP over STB or LTB

NcSAT-1200S | DVB-S2/DVB-RCS2 기반 2세대 VSAT 시스템

- DVB-RCS1 및 DVB-RCS2는 유럽의 ETSI에서 제정한 양방향 위성 VSAT 규격
- DVB-RCS2는 2012년 제정되어 기존 DVB-RCS1 대비 30% 이상 대역 효율 향상이 가능한 위성 VSAT 전송 기술

⊕ 서비스구성도



⊕ 주요특징

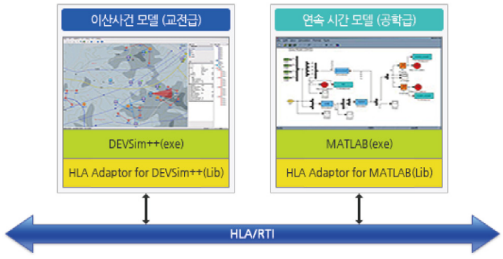
시스템 구조	- 성형망 및 SCPC 기능 제공 가능 - 집합형(Professional) 및 단독형(Consumer) 단말 형태 제공 가능 - 능동형 자원 관리 및 네트워크 관리 시스템
적용 기술	- 양방향 ACM 적용을 통한 전송 효율 및 가용율 향상 - 다양한 변조방식 적용으로 Dynamic SNR 범위 지원
위성 전송 핵심 기술 100% 국산화	- TDMA 망동기(Open/Closed loop) 기술 - 버스트 모뎀/MAC 기술 - 능동형 자원 및 망관리 기술

주요 제품군

M&S Framework | 이산사건/공학모델연동M&SFramework

- HLA/RTI 연동을 통한 이산사건/공학모델 복합 시뮬레이션 개발 솔루션을 제공하며, 이산사건 시뮬레이션(교전 모델)과 연속 시간 시뮬레이션(공학 모델) 간의 연동 방법을 제공

구성도



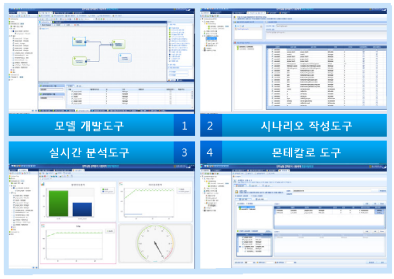
특징

HLA Adaptor	- HLA/RTI와 연동 시뮬레이터 간의 통신 인터페이스 제공 - 개발자에게 HLA/RTI 서비스를 손쉽게 사용할 수 있도록 RTI 라이브러리 제공 - 사용자 데이터와 RTI 데이터 간의 변환 기능 제공
FOM 코드 생성기	- FOM 파일 파싱 기능 - 사용자 정의 템플릿 파일 파싱 기능 - Object 정보에 대한 C++ Class 생성 기능 - Interaction 정보에 대한 C++ Class 생성 기능 - Enumerations 생성 기능

NcSIM | 통합 모의분석 도구

- 다양한 개발품의 성능과 품질 분석을 위한 M&S를 수행하고 시뮬레이션 결과 데이터를 효과적으로 분석이 가능한 통합개발환경 제공
- 주요 도구 : 모델 개발도구, 시나리오 작성도구, 실시간분석 도구, 사후분석 도구, 몬테칼로 도구, DEVS기반 시뮬레이션 엔진

UI



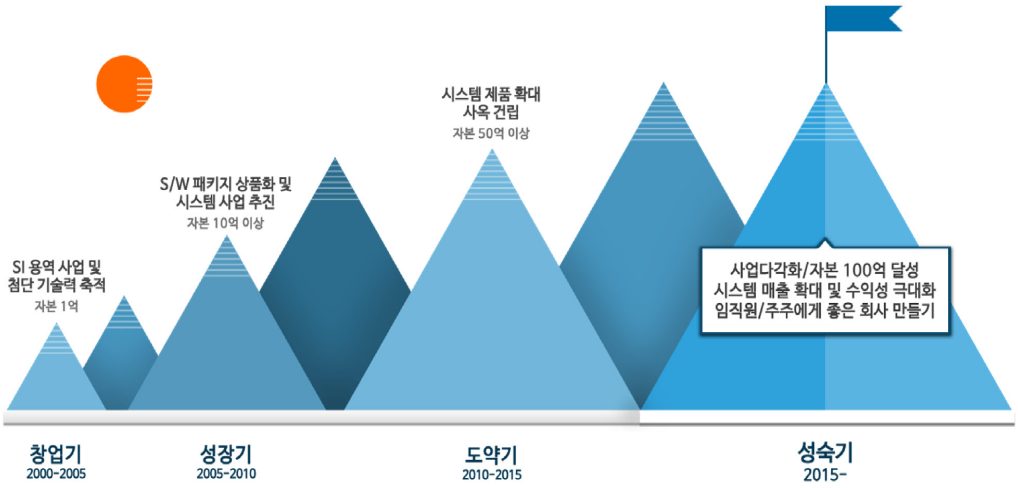
특징

- DEVS기반의 시뮬레이션 수행 및 분석을 위한 통합개발환경
- 모델 개발을 위한 상태도 및 블록도 기반의 조립 기능 제공
- Matlab 및 Simulink로 구현된 모델 또는 함수를 사용하기 위한 모델변환 기능 지원
- 개발된 모델의 재사용을 위한 모델라이브러리 기능 제공
- 이산사건 및 연속시간 모델 시뮬레이션을 위한 하이브리드엔진 탑재
- 코드 생성/빌드/실행/디버깅 기능 제공
- 다양한 시뮬레이션 수행을 위한 속성 초기값 설정 기능 제공
- 시뮬레이션 데이터 저장 및 실시간 분석 기능 제공
- 몬테칼로 배치 실험을 위한 실험 계획/통제/분석 기능 및 최적화 기능 제공

비전

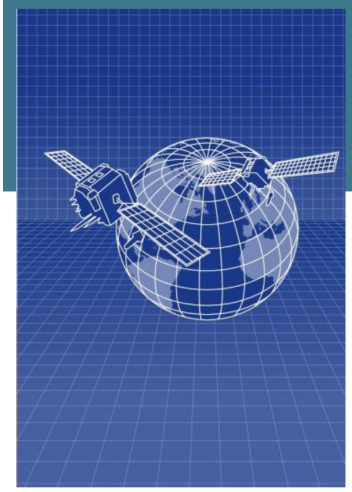
넷커스터마이즈는 고객 만족을 최우선 가치로 생각합니다.

- 맞춤형 시스템 개발 전문 벤처기업
- 부채가 없는 우량 중소 벤처기업
- 핵심 기술 / 우수 인력 보유 기업





(주)동진커뮤니케이션



Company Profile

㈜동진커뮤니케이션시스템

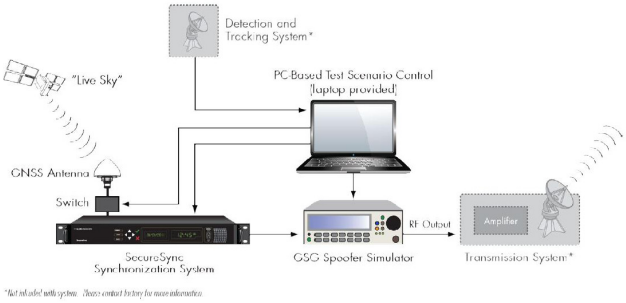
1. 회사소개

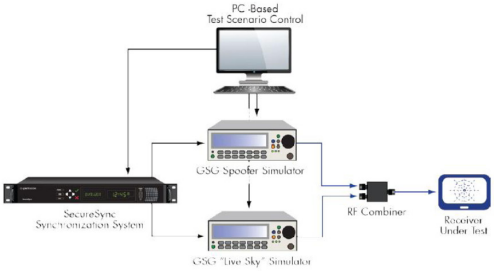
회 사 개 요	
회 사 명	㈜동진커뮤니케이션시스템
설립 연도	1990년 (28년차)
소 재 지	서울시 종로구 사직로8길
주요 면허	정보통신공사업면허, 소프트웨어사업자
솔루션	GNSS Simulation System GNSS Timing GNSS PNT GNSS Antenna System 위성통신기기 및 유무선통신기기 시스템통합 구축, 유지보수



2. Spoofing Test System



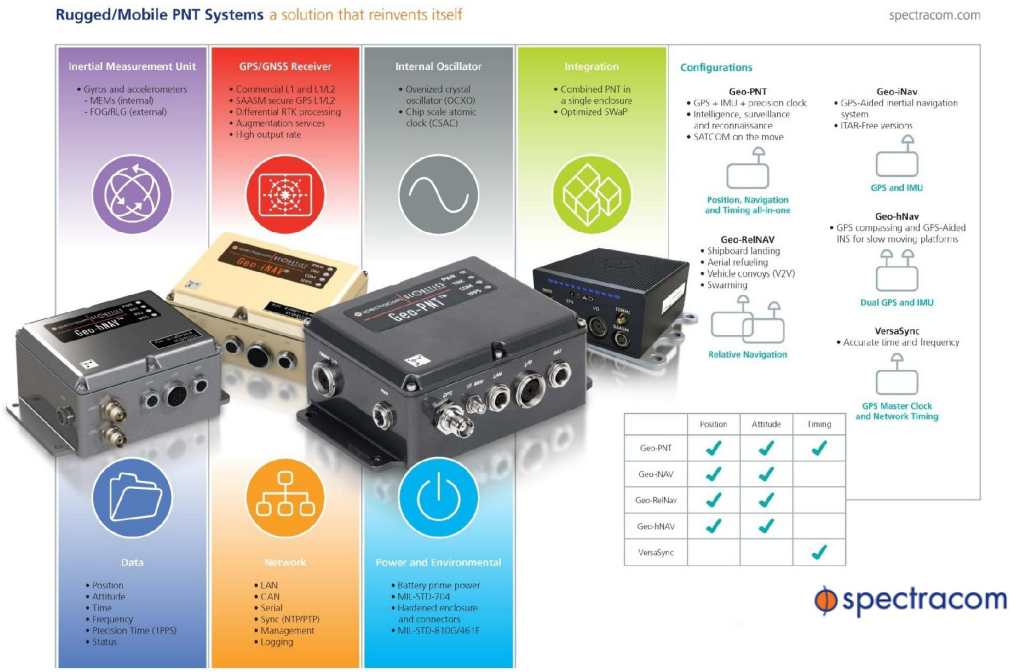




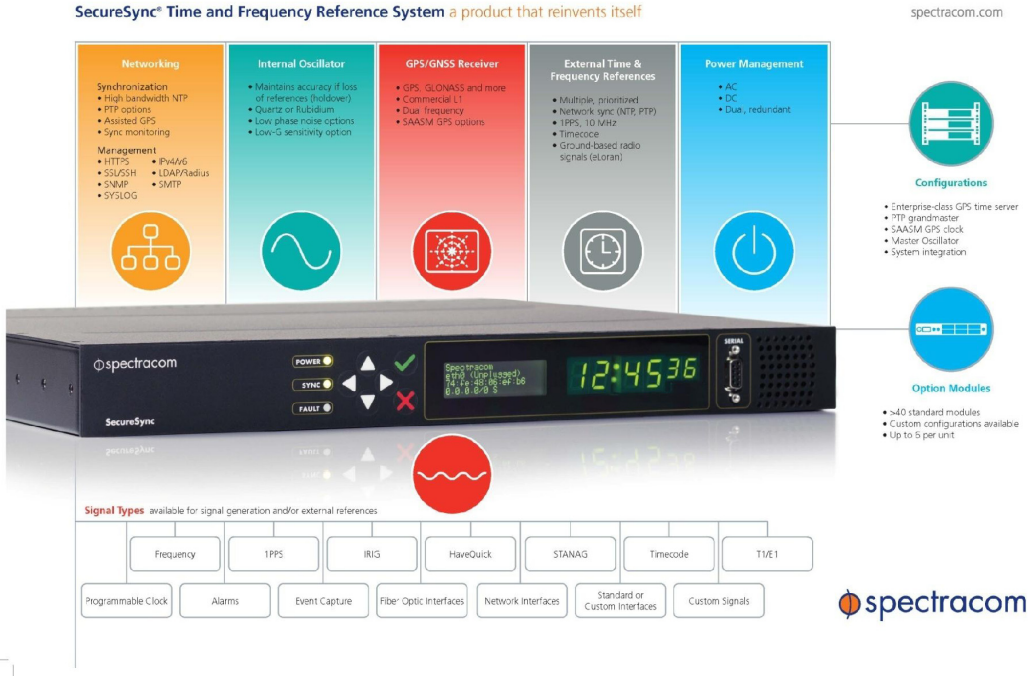
3. GPS/GNSS Simulator



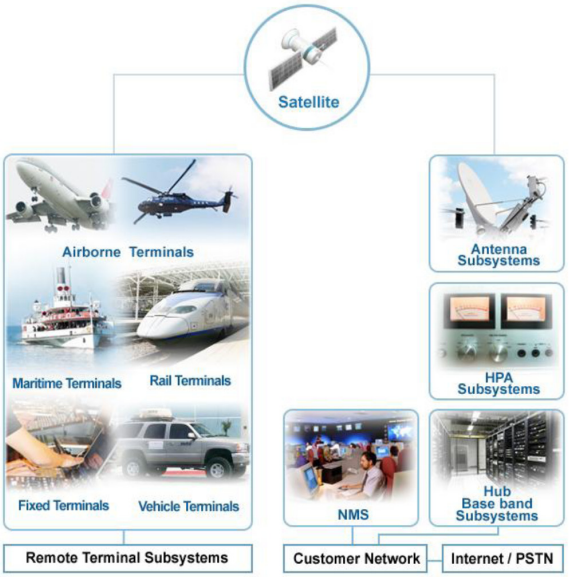
4. IMU & GPS Positioning



5. GNSS Timing

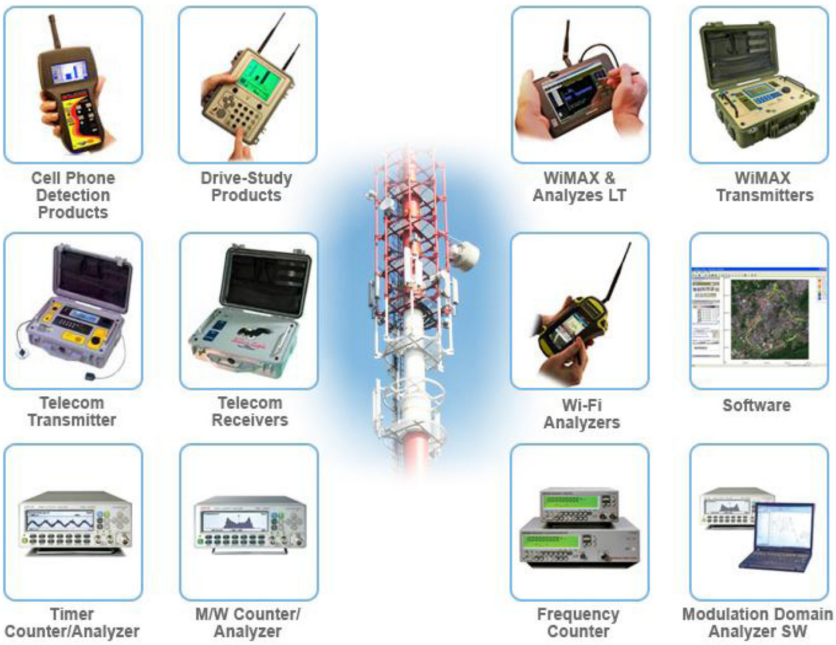


6. Antenna System





7. Test & Measurement





(주)두시텍



(상업용 소형무인기 국산화)

[공간정보 Data Logger용]

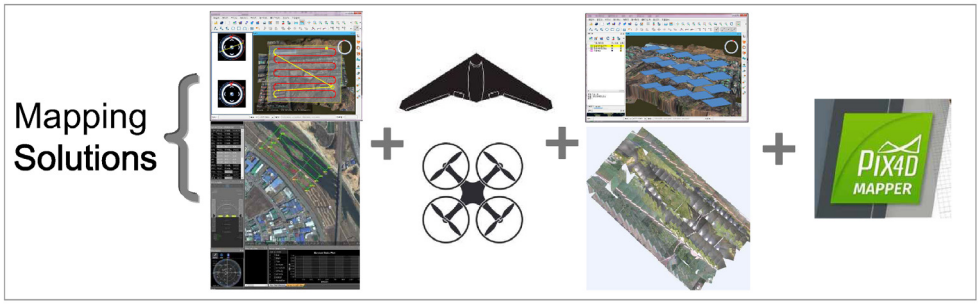
상업용 소형무인기 KnDrone
[운영체계 소개]

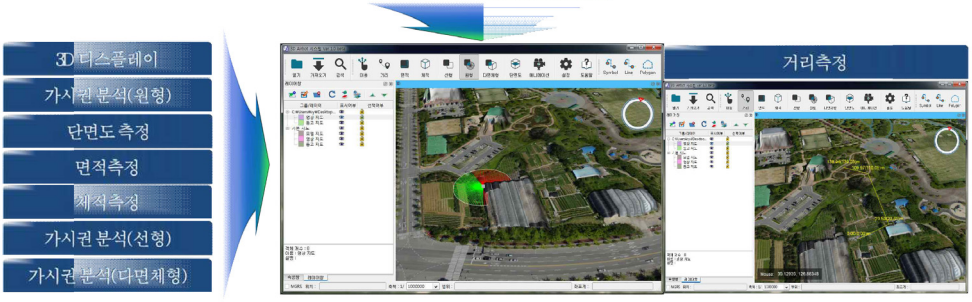
2017. 11.

주식회사두시텍

국산 소형무인기 공간정보 통합운용 솔루션 국산화!

소형무인기 무인기 통합운용 체계 국산화 플랫폼





상업용 소형무인기 'KnDreon' 플랫폼 경쟁력

❑ 상업용 소형 무인기 플랫폼 체계화 전략 →(공공용 공간정보 데이터 획득용)

- ➢ 비행기체 : 자율비행이 가능한 무인비행 플랫폼 개발(안전성 강화)!
- ➢ 운영체계 : 자율비행, 신뢰성, 안전성, 운영통제, 접근보안개발(태러대응)
- ➢ 임무장비 : 첨단센서 개발과 데이터관리, 가공, 운영지원체계(전문화)
- ➢ 지원체계 : 분석기술, 유지보수, 경쟁력 확보(Total 지원서비스)

❖ 제품개발[목적] : 상업용 소형무인기 시장선도를 위한 분야별 플랫폼 체계개발



소형 무인기 'KnDrone' 운영체계 구성

❑ 공간정보 → 무인기 운영시스템 체계 구성 ← 국내(무인기 운영에 집중!)



KnDrone 통합운용 절차

공간정보 현장 무인기 통합운용 솔루션 플랫폼 지원

➢ 무인기운영 , LTE 무선통신, GIS구축, 데이터 분석, 시스템 운용체계 지원 절차

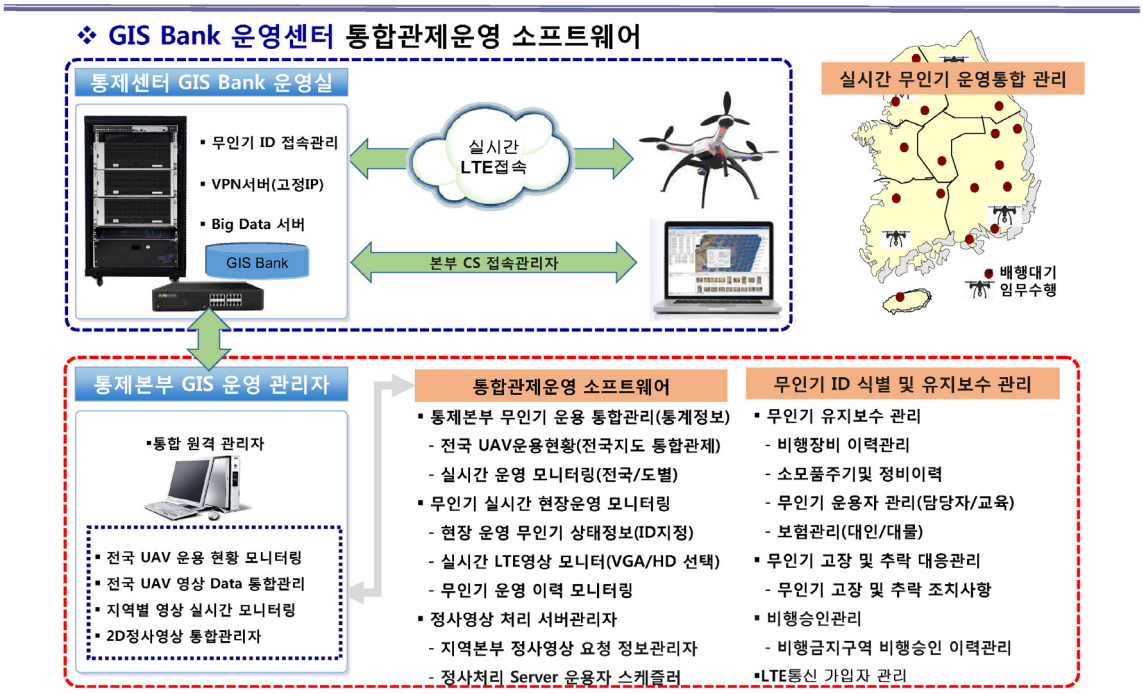


소형무인기 GIS Big Data 구축 통합운영 체계 구축사례

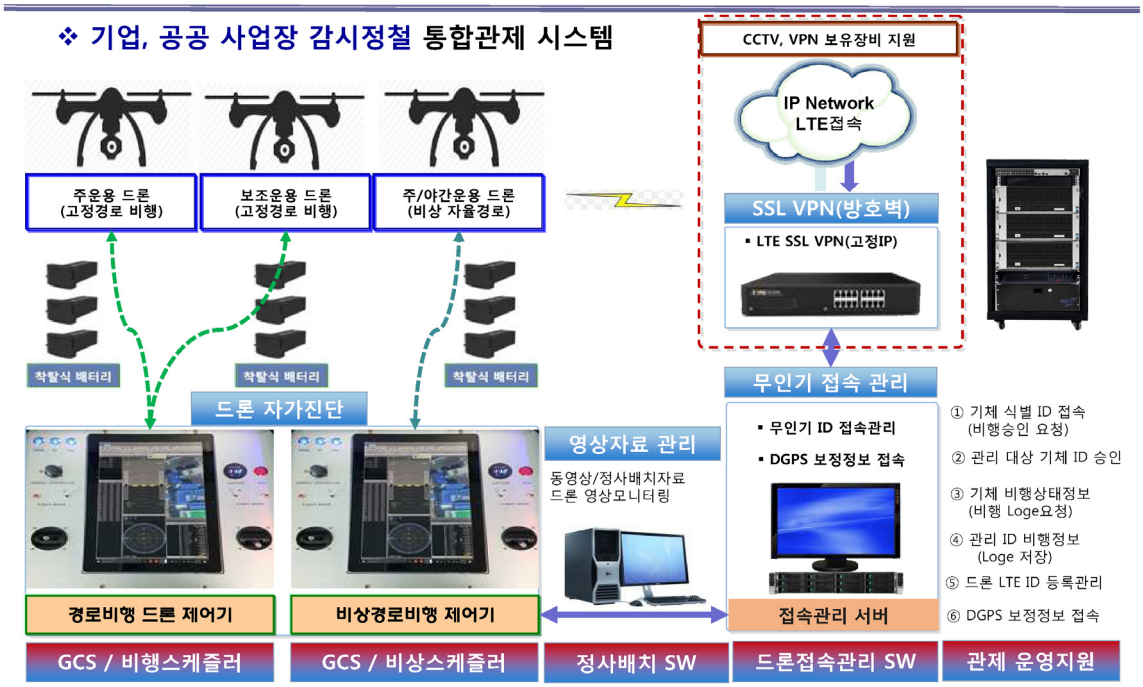
무인기 통합운용 시스템 체계 설계(사례)



공공기관 소형무인기 식별(sUTM) 관제운용 SW 지원



사업장 소형무인기 감시정찰 통합관제 구축사례





(주)삼영피엔티

(주)삼영피엔티
SAMYOUNG-PNT CO.,LTD

SAMYOUNG
Positioning/Navigation/Timing

OEM GNSS NO.1

Trimble Intech OEM GNSS KOREA

SAMYOUNG PNT Co., Ltd
RM 1502, Daerung TechnoTown 17Th, 25 GaSandigital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul, Korea #08594
Phone : +82 2-6081-0088 **FAX** : +82 2-6003-0089 **Mobile** : +82 10-8941-0964
E-mail : ygkim@samyoungpnt.com **Home-Page** : www.samyoungpnt.com

Will do everything in my power to help customer. OEM GNSS NO.1

법 인 명	주 식 회 사 삼 영 피 엔 티
대표자명	김 영 균
설 립 일	2016년 06월 09일
법인주소	서울시 금천구 가산디지털1로 25, 1502호 (가산동, 대륭테크노타운17차)
전화번호	TEL : 02-6081-0088. Fax : 02-6003-0089
홈페이지	http://samyoungpnt.com
대표메일	sales@samyoungpnt.com

社 訓 : 1. Faster 2. More precisely 3. Trust is life

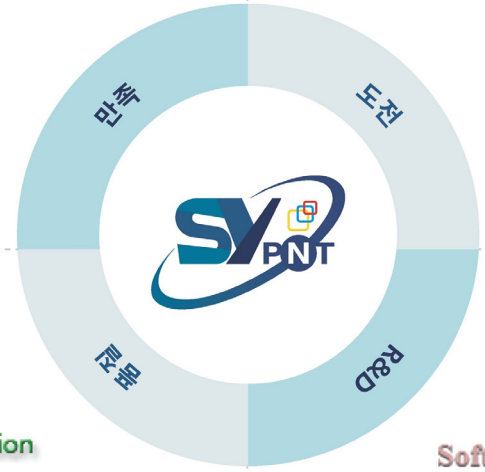
OEM GNSS NO.1

세계최고 !
Trimble Intech Products

GNSS RECEIVERS
IMU
INS
Total SYSTEM

Corporate collaboration

For your successful
Global business



Industrial Automation

HMI, PLC, 작화 S/W
RF-Radio, Data Link, SCADA

Software development and supply



OEM GNSS SOLUTIONS

SINGLE FREQUENCY	DUAL FREQUENCY		TRIPLE FREQUENCY		
BD910	BD920	BD920-W3G	BD930	BD930-UHF	BD970



GNSS + HEADING/ATTITUDE				GNSS-INTERTIAL + ATTITUDE	
BD982	BX982	MB-TWO	ABX-TWO	BD935-INS	BX935-INS



TURNKEY SYSTEMS				USER INTERFACE	
AP20	LV125	LV420	LV620	Web_UI	Convert RINEX



Positioning and Mapping Solutions for UAVs



Precision OEM Solutions for UAVs		Size (mm) Weight (g)	Orientation Accuracy (°)[1,3]	Frequencies Constellations	IMU DMI
BD910		41 x 41 x 7 mm 19 g	Position Only	SBAS, DGPS, RTK L1 E1 B1 All tracking	X
BD930		51 x 41 x 7 mm 30 g	Position Only	SBAS, DGPS, RTK L1 /L2 /L5 B1/B2 E1/E5ab All tracking	X
MBtwo		71 x 46 x 11 mm 24 g	R / P: 0.2° HDG: 0.1°	SBAS, DGPS, RTK, RTX, Heading L1 /L2 B1/B2 E1/E5 All tracking	X
BD935		67 x 60 x 15 mm 60 g	R / P: 0.1° HDG: 0.5°	INS Aided SBAS, DGPS, RTK Orientation (RPH) All tracking	Internal X
AP20		Board:130x100x5 9 mm, 280g IMU: 85 x 85 x 66, 680 g	R / P: 0.02° HDG: 0.05°	INS Aided SBAS, DGPS,RTK Orientation(RPH), GAMS, All tracking	External O Calibrated IMU

Precise Positioning Solutions for Land Applications



GNSS + INERTIAL Dual Antenna, Land		Size (mm) Weight (g)	Orientation Accuracy (°)[1,3]	Frequencies Constellations	IMU DMI
BD982		100 x 84.9 x 11.6 92 g	R / P: 0.2° HDG: 0.1°	L1 /L2 /L5 B1/B2 E5A/E5B All satellite tracking DGPS RTK	X
BX982		261 x 140 x 55 1600 g	R / P: 0.2° HDG: 0.1°	L1 /L2 /L5 B1/B2 E5A/E5B All satellite tracking DGPS RTK	X
BX935		149 x 93 x 43 660 g Single Antenna	R / P: 0.1° HDG: 0.5°	L1 /L2 /L5 B1/B2 E5A/E5B All satellite tracking DGPS RTK INS	Internal X
LV125		164 x 160 x 66 1300 g	R / P: 0.03° HDG: 0.09°	L1 /L2 /L5 B1/B2 E5A/E5B All satellite tracking DGPS RTK INS DMI	Internal O Calibrated IMU
LV420		167 x 185 x 68 2400 g[2]	R / P: 0.015° HDG: 0.02°	L1 /L2 /L5 B1/B2 E5A/E5B All satellite tracking DGPS RTK INS DMI	External O Calibrated IMU





AV33
8.9ø x 2.1 .21 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS
L1 E1 B1
43 dB **Aviation**
4.5 V – 18V 35 mA



AG810
15.2ø x 7.4 .59 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b/E6 B1/B2/B3
42 dB **Land / Vehicle**
3.4 V – 12V 130 mA



AV34
8.9ø x 2.1 .21 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS
L1/L2 E1 B1
43 dB **Aviation**
4.5 V – 18V 35 mA



AG830
14.9ø x 9.9 .82 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b/E6 B1/B2/B3
43 dB **Marine / Land / Vehicle**
3.5 V – 20V 125 mA



AV37
7.6 x 11.9 x 2.34 .28kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2 E1 B1
43 dB **Aviation TSO certified**
5.0 V – 15V 70 mA



LV59
14.6ø x 6.2 .48 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b B1/B2
39 dB **Land / Vehicle**

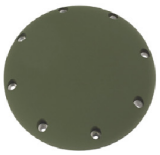
4.2 V – 15V 65 mA



AV37
14.27 x 11.1 x 3.76 .39 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b B1/B2
38 dB **Aviation TSO certified**
4.2 V – 15V 130 mA



Zepher3 Rover
15.2ø x 7.4 .64 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b/E6 B1/B2/B3
50 dB **Land / Vehicle**
3.5 V – 20V 125 mA



AV59
14.6ø x 3.9 .30 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b B1/B2
39 dB **Aviation**
4.2 V – 15V 65 mA



Zepher3 Base
34.3ø x 7.9 1.36 kg
GPS/GLO/Bei/QZSS/SBAS/L-Band
L1/L2/L5 E1/E5a/E5b/E6 B1/B2/B3
50 dB **Land / Geodectic**
3.5 V – 20V 125 mA

OEM GNSS APPLICATIONS

AUTONOMOUS VEHICLES



AGRICULTURE



AVIONICS



CONSTRUCTION



GEOSPATIAL



MARINE



MINING



NAVI, GUIDANCE & CONTROL



PRECISE POSITIONING



ROBOTICS



쉽고, 간결한 Trimble Web_UI 사용자 인터페이스 !



NMEA ASCII /Binary Output, RawData RT17/27 Binary data , GSOF Binary data Output

Thank you.

OEM GNSS NO.1

SAMYOUNG

Positioning/Navigation/Timing

㈜삼영피엔티 : 서울시 금천구 가산디지털1로 25, 대륭테크노타운17차 1502호
문의처 Tel : 02-6081-0088



(주)아센코리아

AscenKorea

Location Based Service

Location Pathfinder. Devices & Services Development



L1/L2 RTK GNSS Receiver

1. 회사개요

INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY

회사명`	(주) 아센코리아
주 소	서울특별시 금천구 가산디지털1로 83. 1401
대표전화	TEL) 02-6267-7810 FAX) 02-6499-2940
대표이사	황국연
설 립 일	2007. 12. 12.
자 본 금	3.6억 원
기술분야	GNSS, DR(Car, Pedestrian), UWB, Sensor
임직원수	12명 (17년 7월 현재)
주요사업	GNSS Module, Receiver, 위치정보 소프트웨어

기술 혁신형 중소기업 확인서



2011년 부터 중소기업청 으로부터
기술혁신형 중소기업 인증 심사를 통과하여
INNO-BIZ 인증 확인을 받았습니다.

기술혁신형 중소기업은 연구개발 선정시 가점의
부여가 되며, 연구개발 세제 혜택, 연구원 취업시
지원금 제공 등의 혜택이 있습니다..

현재 중소기업확인 시스템을 통해
중소기업 여부를 확인할 수 있습니다.

위치 정보 사업허가서



2013년 방송통신위원회의
위치사업자 신청 심사를 통해
위치정보 사업자로 선정 되었습니다.

위치정보 사업자는 관련 법령에 의거하여
위치정보의 취급 및 저장, 활용이 가능하며 관련
서비스를 제공 할 수 있습니다.

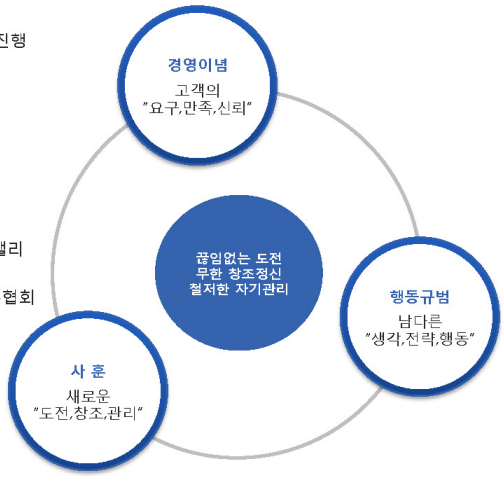
방송통신위원회를 통해 사업자 여부확인이 가능합
니다..

2. 회사연혁

INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY

HISTORY

2011′ ~ 2017′	2017	May	M 방송, S 전자, H 자동차 기술 협약/사업 진행
	2017	Jan	스마트 하이웨이 위성인프라 사업 참여
	2016	Mar	유럽 EUREKA Day. Sweden 참가
	2016	May	본사 확장 이전. 서울 금천구 파트너스타워
	2013	Dec	산업 통상자원부 장관 표창
	2013	May	해군 잠수함 전력화, 국민 안전처 사업 참여
	2012	Feb	서울지방 중소기업청장 표창
	2011	May	본사 확장 이전. 서울 금천구 한라 시그마 밸리
2007′ ~ 2010′	2011	Jul	기업 부설 연구소 인증. 한국 산업기술 진흥협회
	2010	Apr	중소기업청 신기술 사업화 개발과제 선정
	2009	Sep	벤처기업 인증. KIBO 기술보증기금
	2008	Dec	본사 확장 이전. 한림 벤처타운
	2007	Dec	(주)아센코리아 설립. 수원시 조원동



3. 사업화/Project 실적

Customer Satisfaction Performance

2017 ~ 2010	2009 ~ 2007
S 전자 무인 로봇용 위치 측위 Block Project 수주	농어촌공사, 자산관리용 위치 단말 시스템 공급 완료
H 자동차 차량 시험용 GNSS 수신 시스템 Project 수주	한국 전력공사, 전신주 관리용 시스템 공급 완료
M 방송사 정밀 GNSS 수신기 개발(DMB 신호 기반) 완료	국토 해양부, KLIS 사업 GPS 모듈 공급 완료
30톤 미만 어선용 GPS 수신기 시스템 공급(동,서,남해)	경찰청, UTIS 사업 GPS 모듈 공급 완료
육군, 중대 위치정보 단말(PRE) GPS& Jamming Alarm 공급	대기업(현대자동차,LIG, 삼성 등) 위치 정보 시스템 공급 완료
해양 항만청 & 위성항법 사무소, DGPS 수신기 공급	대기업, 미국 Taxi, 위치 관제 시스템용 GPS 단말 공급 완료
공공 자전거용 GPS 시스템 공급 완료	KTX, 고속 주행 위치정보 취득용 위치 시스템 공급 완료
부산 항만 컨테이너 차량 물류용 GPS 시스템 공급 완료	대학 연구소(서울대, 연세대,고려대,KAIST 등) GPS 공급 완료
공군, 전투기 수송기용 GPS 수신기 공급 완료	공기관 연구소(ETRI, 해양항만청, 국토부 등) GPS 공급 완료
선박 구조물 관제 시스템 사업 협력 추진 완료	중국, 자동차 운전 평가 시스템용 GPS공급 사업 진행 완료
부산 신 항만, 항만 STD 관제용 정밀 DGPS 시스템 공급 완료	아이스테이션, PMP용 GPS 수신 단말 공급 완료
조달청, 토지 자산 측정용 정밀 GPS 공급 사업 공급 완료.	
대기업, 영업 차량 관리 시스템 공급 완료.	

4. 개발실적 – Development Performance

2017 ~ 2010	2009 ~ 2007
GNSS 수신처리 초소형 모듈 출시, 정밀 GNSS 수신기 개발	Active GPS Antenna 개발
보정 신호 처리 Bluetooth GNSS 수신기 개발	PDA 향 USB GPS 수신기 개발
Jamming 감지를 위한 GNSS Jamming Alarm 장치 개발	아이스테이션 PMP용 GPS 수신기 개발
보정신호 처리 정밀 DGPS 모듈 개발(특허 등록)	레저 , 핸드폰용 뚜벅이 GPS 수신기 개발
무선 인터넷 지원 WIFI+GNSS 수신기 개발(특허 등록)	위치 관제가 가능한 GPS 구명조끼 개발(특허등록)
정밀 AKN1M 시리즈 GNSS 수신기 개발(특허 등록)	Bluetooth, 데이터 Logging GPS 시리즈 개발
GPS Board AKU 시리즈 개발	66채널 GPS 모듈, 수신기 개발
IDGPS, Smart 수신기 개발	51 채널 GPS Serial/USB 수신기 개발
원거리 전송 GPS+RF 시스템 개발 (10Km 연정 가능)	32 채널 GPS Serial/USB 수신기 개발
공군, 항공기, 전투기 향 GPS 수신기 개발, 공급	휴대형 뚜벅이 GPS 개발
초소형 GPS 수신기 GPS680 개발	16채널 GPS Serial 수신기 개발
범용 GPS 수신기, Black Box 향 개발	
PDA 향 GPS 수신기 개발	

5. 제품 소개 – GNSS 수신기



L1/L2 RTK GNSS Receiver Model AKT980 / AKTA (2017.10, 11월 출시)

Customer GPS/GNSS Products

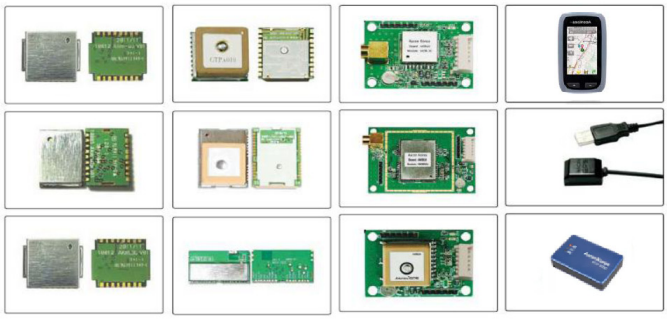
USB, Serial, Bluetooth, 고정밀 제품군

- USB, Serial, BT GPS Receiver
- High Precision GPS Receiver
- GPS Data Logger
- Customized GPS System Design

Industrial GPS/GNSS Module

산업용 GPS 제품군

- Smart, SMD GPS Module
- WIFI + GPS Module
- Customized GPS Module
- GPS Board / System / Design

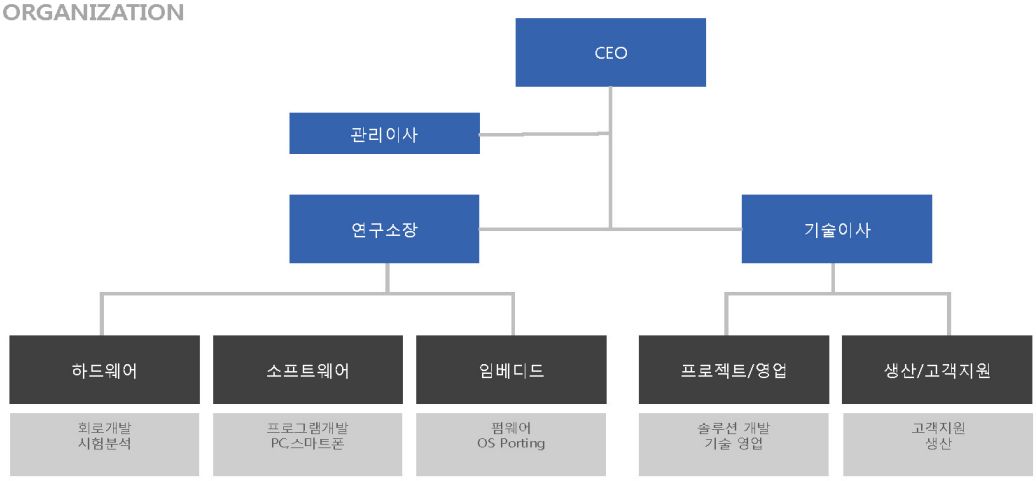


GPS Module | Smart GPS/GNSS | GPS/GNSS Board | GNSS Receiver

6. 조직도

INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY

ORGANIZATION



7. 핵심 기술

모듈 설계 관련 기술

- 초소형, 고감도 GNSS/PDR 모듈 설계
- GNSS Passive, Active 안테나 설계 & 매칭 기술
- 고감도 신호 입력, RF 노이즈 필터링 설계
- 저전력 GNSS/PDR 모듈 설계 기술
- 모드 제어 소프트웨어가 가능한 펌웨어 기술
- 요구에 맞는 제품 사양 통신 출력 제작 기술

제품관련 기술

- 무선, 유선 GNSS 수신기 제작 기술
- 무선 인터넷, RF 연동 마이컴 적용 제품 설계 기술
- 사용 환경 및 사용자 요구별 User Interface 설계
- 신뢰성 높은 제품 특성 설계 제작 기술. 환경조건
- 원격 위치 관제가능 GNSS 제품 개발
- 고객 요구에 따른 방수, 방진, 방염 제품 설계 기술

시스템 관련 기술

- 네트워크 관리 가능한 단말 시스템 설계 기술
- 위치 관제 시스템 설계, 적용, 평가 기술
- 고정밀 보정신호 송신, 수신, 시스템 설계 기술
- 무인 위치 관제 시스템 설계, 설치, 평가 기술
- 재 방사 시스템 설계, 설치, 평가 기술
- 무선 위치인식 및 건물 내 위치인식 시스템

8. 제품 로드맵

항 목	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년 ~2020년
레저용 제품	 레저용 연속20시간	 레저용 3인치 칼라	 GPS 수신기 BT4.0, Logging	 레저용 Map & Logging	 Wearable Device	.Flexible Device .OS embedded .Sports Target .Long usage
정밀 GNSS 제품	 GPS 수신기 70cm 정밀도	 정밀GNSS 안테나일체형	 GNSS 수신기 L1/L2 RTK	 GNSS 수신기 L1/L2 RTK	 GNSS + Controller 2cm 정밀도	wireless interface, DR, Compact Size
GNSS 수신기	 범용 GPS 수신기 2.0m 정밀도	 소형 GPS수신기 2.0m 정밀도	 GNSS 수신기 2.0m 정밀도	 GNSS 수신기 1.5m 정밀도	Small size & High Accuracy and precision L1/L2 RTK, DMB Receiver	
모듈 개발	 MKT GPS Module 저전력, 25X28	 PDR Module GPS + Sensor	 GNSS Module 저전력, 10X10	 Timing Module GNSS+센서 +L1/L2	Essential embedded handling with DR, GNSS core	
연구 개발	정밀 GNSS, 보정 신호 S/W		RAW Message, 2주파, 지적 재조사 Project			
		BT-RAW GNSS, RF Communication		Korea SBAS System, DGPS for Marine		

Thank YOU!

Location Pathfinder. Devices & Services Development.

Customer's need is our mission!

AscenKorea



엘아이지넥스원


LIG
LIG넥스원
True Dream Partner
창조와 열정으로 꿈을 실현하는 True Company
LIG넥스원은 대한민국 자주국방의
희망을 열어가겠습니다

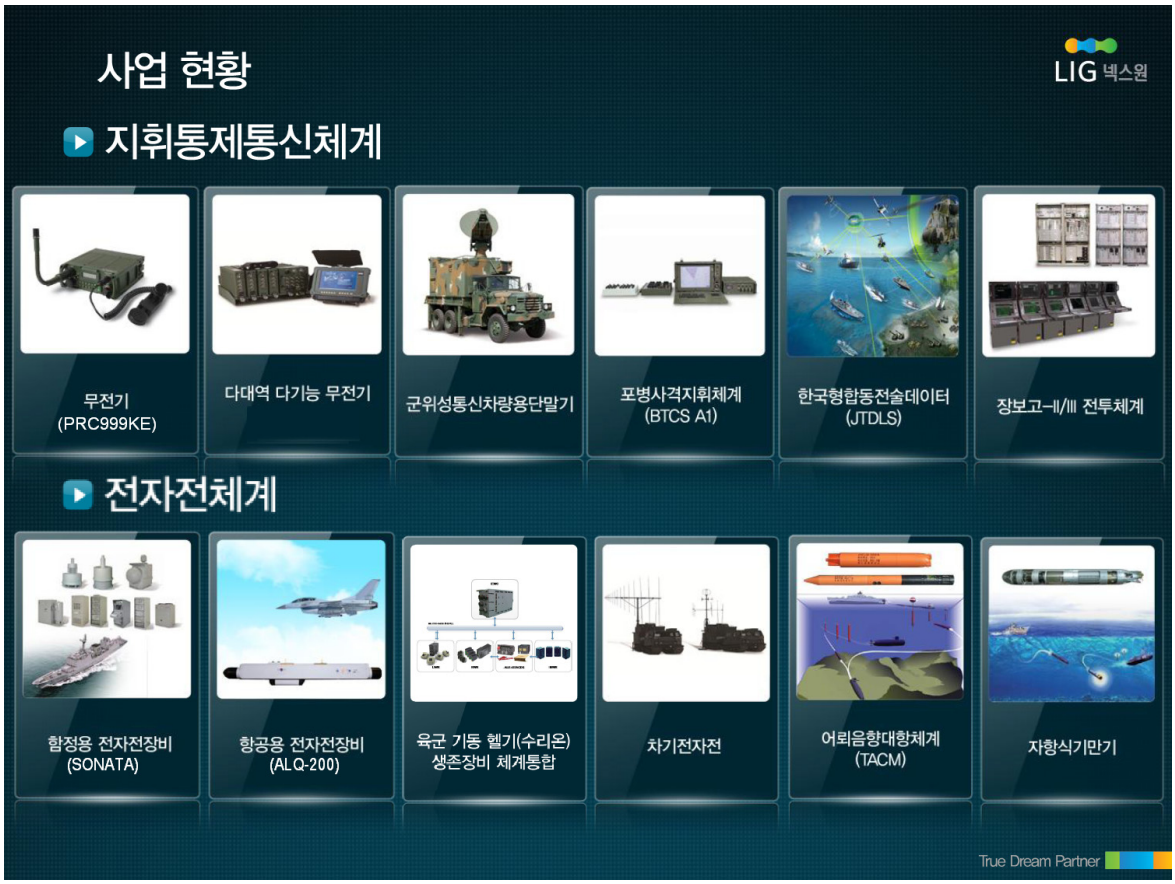

일반 현황_연혁
LIG 넥스원
LIG넥스원...
NOW!
40년 역사를 가진 대한민국 대표 종합 방위산업체
GoldStar Precision
LG
NEX1 FUTURE
LIG Nex1
1976
금성정밀공업㈜
설립
1995
LG정밀 상호변경
2000
LG이노텍 상호변경
2004
넥스원퓨처 출범
2007
LIG Nex1 출범
True Dream Partner


일반 현황_사업장
LIG 넥스원
용인 본사 포함, 총 7군데 사업장 운영
신속.정확한 대군군수 지원을 위한 서비스센터
무결점 품질확보를 위한 품질파견사무소
판교R&D센터
용인R&D센터
대전 R&D센터
구미공장
구미2공장
진해공장
진해R&D분소
김천공장
판교R&D센터
용인본사
대전 R&D센터
김천공장
구미공장/2공장
진해공장/R&D분소
True Dream Partner


일반 현황_사업 영역
LIG 넥스원
SatCom
항공전자
감시정찰체계
신특수·무인화
정밀타격체계
지휘통제통신체계
전자전체계
Enemy
True Dream Partner


사업 현황
LIG 넥스원
감시정찰체계
차기 국지방공용 3차원 탐색 레이더
차기 대포병 3차원 탐색 레이더
유도탄 고속함용 3차원 탐색 레이더
울산-I급 3차원 탐색 레이더
공군용 저고도 3차원 탐색 레이더
장거리 3차원 탐색 레이더
전술정찰영상정보수집체계 (TAC-EO/IR)
무인정찰기용 영상레이더 (SAR)
항공기용 능동위상배열 레이더 (AESA)
함만감시체계 (HUSS)
울산-I급 음탐기체계
장보고-III 소나체계
True Dream Partner


사업 현황
LIG 넥스원
정밀타격체계
보병용 중거리 유도무기 (현궁)
휴대용 지대공 유도무기 (신궁)
중거리 지대공 유도무기 (천궁)
중거리 GPS 유도폭탄 (KGGB)
함대함 유도무기 (해성)
경어뢰 (청상어)
장거리 대잠 어뢰 (홍상어)
중어뢰 (백상어)
차기중어뢰 (범상어)
대함유도탄 방어유도탄 (RAM, 해궁)
True Dream Partner


사업 현황
LIG 넥스원
지휘통제통신체계
무전기 (PRC999KE)
다대역 다기능 무전기
군위성통신차량용단말기
포병사격지휘체계 (BTCS A1)
한국형합동전술데이터 (JTDLS)
장보고-II/III 전투체계
전자전체계
함정용 전자전장비 (SONATA)
항공용 전자전장비 (ALQ-200)
육군 기동 헬기(수리온) 생존장비 체계통합
차기전자전
어뢰음향대항체계 (TACM)
자항식기만기
True Dream Partner


사업 현황
LIG 넥스원
항공전자
임무계통
·임무컴퓨터
·항공기용 기록장치
비행제어 / 무장계통
·비행조종컴퓨터
·무장통제장치
시현계통
·전방시현장치
·다기능시현기
항법계통
·레이더 고도 지시계
·통합전자지도컴퓨터
전자전계통
·레이더경보수신기
·레이저경보수신기
·미사일경보수신기
통신식별 / 레이더계통
·U/VHF-AM 무전기
·VHF-FM 무전기
·레이더
신특수 · 무인화
지휘소용 1kW급 연료전지 전원시스템
연료전지 탑재 무인항공기 (쿼드로터)
휴대용 감시정찰로봇
근력증강로봇
연료전지 탑재 무인항공기 (쿼드로터)
True Dream Partner



와이즈시스템(주)





✓Spirent Communications PLC : GNSS 시뮬레이션 및 테스트 시스템
✓GPS Source : GNSS 중계기 등의 RF 네트워킹 시스템
✓Antcom : 다양한 Application용의 GNSS 안테나 솔루션
✓JAVAD : 고성능 GNSS 기준 수신기
✓Septentrio : 고성능 GNSS 기준 수신기
✓TeleOrbit : 소프트웨어 기반의 RF 프론트엔드 및 시뮬레이터
✓GeoStar : GNSS 수신기 칩셋과 모듈 그리고 소스코드
✓Chronos : GPS 타이밍 제품군과 휴대용 재밍 탐지기
✓WindfreakTech : USB controlled 소형 RF신호 발생기

SPIRENT Communications
TeleOrbit The Locating Company
chronos TECHNOLOGY
ANTCOM
GPS SOURCE
GEOSTAR
JAVAD
septentrio
WindFreak Technologies, LLC Low Cost RF Building Blocks Open Source PC Control

Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

WISE SYSTEM Co., Ltd

SPIRENT Communications – 멀티채널 시뮬레이터

SPIRENT Communications

GSS9000 High-end GNSS Simulator



- 모든 GNSS 신호를 지원합니다
- 160 GNSS채널과 640 멀티패스 채널
- 업계최고 성능의 1000Hz Simulation Iteration Rate
- 실시간 remote Control 과 remote motion
- Anti-Jamming / INS통합 항법 테스트 등의 다양한 확장 옵션

GSS6450 High-end RF record & playback



- 세계 최소형의 16bit RF record And playback system
- GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS 시스템의 L1/L2/L5/B3/B6 주파수지원
- 4개 주파수 밴드 동시 저장 및 재생
- 내장 리눅스 컨트롤러
- OCXO 사용으로 고품질의 신호를 재생
- 10, 30, 50Mhz Bandwidth 옵션

GSS7000 Multi-GNSS simulation system



- 모든 GNSS 신호를 지원합니다
- L1/L2/L5 주파수 지원
- 내장된 통합 컨트롤러
- 4개의 뱅크와 최대 256채널 지원
- 4개의 SW옵션으로 용도에 맞는 폭 넓은 선택이 가능합니다

SimINERTIAL

GNSS+IMU/INS 통합 항법 시험 장비

Support Variants

- Honeywell HG-1700
- AMRAAM-compliant
- NATO STANAG 4572
- AIS SiIMU02 and SiNAV02



Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

WISE SYSTEM Co., Ltd

SPIRENT Communications – Anti-Jamming solution

GSS200D – 재밍 & 기만신호 탐지 및 모니터링 시스템

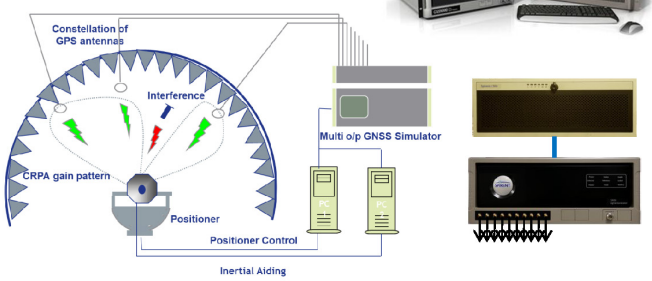


- Monitor GPS / GLONASS and Galileo L1 for disruptive interference
- Automatically detect & assess events
- Characterise & store events for analysis and re-synthesis on Spirent Test Bench
- E-mail alerts
- Event log via web-interface

Anti-Jamming & Anti-spoofing 테스트 시스템



- GNSS + Interference Simulator
- CRPA solution test system
- CRPA chamber test solution
- Anti-spoofing test solution



SPIRENT Communications

Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

와이즈시스템(주)
WISE SYSTEM Co., Ltd

GNSS 신호 중계시스템 & Antennas

GPS SOURCE



GNSS Amplifier, LNA and Splitter
- From commercial to Military grade
- Support GPS/GLONASS/Galileo/Beidou

GNSS 신호 재 방사 시스템
- Support GPS/GLONASS/Galileo/Beidou
- Building kit and Tri-pod kit





GNSS 스마트 신호 증폭기
- Output signal Auto-Gain Control
- Report Oscillation condition and internal component failure
- Report Less than 4 satellites condition

ANTCOM

Military grade Antenna products
- CRPA GPS/GNSS antennas array
- Multi-GNSS Antenna
- Ruggedized Corrosion Resistant Buoy antenna
- S,C,X and Ku band antennas



Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

와이즈시스템(주)
WISE SYSTEM Co., Ltd

Honeywell MEMS IMUS

Honeywell
THE POWER OF CONNECTED

ITAR-FREE MEMS IMUS with aerospace quality and performance, but offered at industrial prices

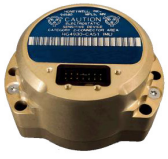
HG1120



HG1120 IMU STANDARD MODELS TYPICAL PERFORMANCE- STABLE ROOM TEMPERATURE

Distributor Ordering PN2	Gyro Bias Repeatability (°/hr)	Gyro Bias In-run Stability1 (°/hr)	ARW (°/√hr)	Accel Bias Repeatability (mg)	AccelBias In-run Stability1 (mg)	VRM (fps/√hr)
HG1120CA50	260	10	0.3	5	0.03	0.20
HG1120BA50	520	24	0.4	10	0.05	0.25
HG1120AA50	780	28	0.5	15	0.08	0.30

HG9430



HG4930 IMU KEY CHARACTERISTICS

Distributor Ordering PN2	Gyro Bias Repeatability (°/hr)	Gyro Bias In-run Stability1 (°/hr)	ARW (°/√hr)	Accel Bias Repeatability (mg)	AccelBias In-run Stability1 (mg)	VRM (fps/√hr)
HG4930CA51	5	0.6	0.05	1.7	0.05	0.17
HG4930BA51	10	0.7	0.06	2.0	0.08	0.17

Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

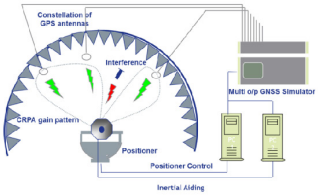
WISE SYSTEM Co., Ltd

연구 개발 솔루션

SPIRENT Communications



CRPA Test System



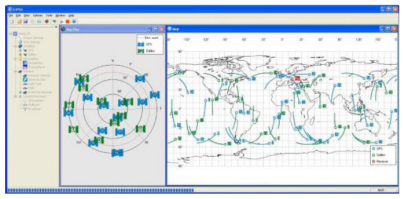
Telerbit
The Locating Company

- GNSS Radio Frequency Front-end
  - 3개 주파수 동시 취득
  - 최대 69MHz Bandwidth
  - 80MHz Sampling rate



- Software Based Digital Multi-GNSS Signal Simulator

수신기 Baseband 프로세싱에 직접 입력되는 GNSS 신호 시뮬레이터



septentrio

AsteRxU
GPS/GLO/GAL/BeiDou
L1/L2/L5/E5
SBAS, RTK



PolaRx5
GPS/GLO/GAL/COMP
L1/L2/L5/E5
Webserver
Rinex Logging
FTP Push...



No limitation at Altitude and Velocity

Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

WISE SYSTEM Co., Ltd

생산 및 점검장비용 솔루션

SPIRENT Communications









GPS SOURCE



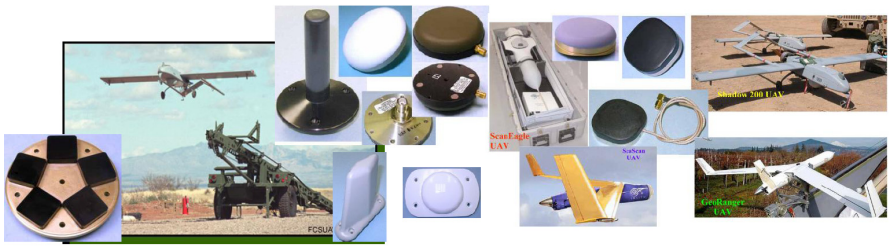


Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

와이즈시스템(주)
WISE SYSTEM Co., Ltd

시스템 부품 솔루션

ANTCOM



WindFreak Technologies, LLC
Low Cost RF Building Blocks
Open Source PC Control

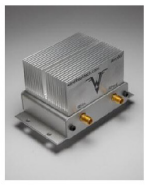
USB controlled RF Signal Generator



SynthHD PRO
54MHz – 13.6 GHz Dual Channel Microwave Generator



SynthNV
34MHz – 4.4 GHz RF Signal Generator W/Power Detector



AmpNV
50MHz – 6GHz One Watt RF Amplifier

Tel. 070-7010-0440 , email. sales@wisesystem.co.kr , http://wisesystem.co.kr

Telerbit
The Locating Company

SPIRENT
Communications

GEOSTAR

와이즈시스템(주)
WISE SYSTEM Co., Ltd

GPS SOURCE

JAVAD

ANTCOM

septentrio

WindFreak Technologies, LLC
Low Cost RF Building Blocks
Open Source PC Control

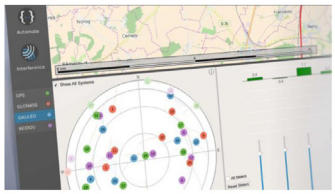


이투비

SW GNSS simulator

SDX GNSS 시뮬레이터

SKYDEL



- **SDX GNSS 시뮬레이터는**

  전형적인 GNSS 시뮬레이터가 FPGA나 HW에 의존 하기 때문에 비싸거나 제한된 기능을 제공 하지만,
  SDX는 GPU 가속 컴퓨팅 및 소프트웨어로 정의한 라디오 (SDR)를 사용하면서 기존 COTS HW 제품을 그대로 사용 할 수 있도록 설계 됨
  따라서, 네비게이션 시스템을 연구하는 연구원이나 엔지니어에게 쉽게 구현 할 수 있도록 솔루션을 제공





SDX 장점

소프트웨어 유연성
- Turnkey 솔루션으로 구현 하거나
- 기 보유하고 있는 SDR을 재사용

막강한 시뮬레이션 기능
- 수 백 가지의 신호 시뮬레이션

하이-엔드 성능
- 1000Hz의 시뮬레이션 반복 속도
- 방대한 수의 채널 지원,
- Real Time 처리

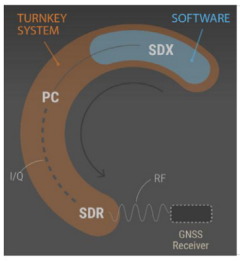
Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary

SW GNSS simulator

SDX 구성

SKYDEL



☑ **통합 솔루션**



or

☑ **소프트웨어** (HW 구성은 사용자가 선택)



- 위 두 경우 모두 재사용 가능한 HW를 이용하여 실시간 GNSS 시뮬레이터 기능을 완벽히 구현

지원 가능 H/W 제품



USRP N210
- Dual 100 MS/s, 14-bit ADC
- Dual 400 MS/s, 16-bit DAC
- Fully-Coherent MIMO Capability
- 2 Gbps Expansion Interface



USRP X300 / X310
- Two wideband RF
- Dual SFP(+) ports for 1/10 Gigabit Ethernet
- PCIe x4
- 10 MHz/1 PPS



BladeRF x40
- low-cost USB 3.0 Software Defined Radio.
- RF output : 1



BroadSim Simulator
- GPS Y-Code & AES M-Code
- Utilize 4-RF outputs,
- Easily model true and spoofed signals
- Generate high-fidelity jamming signals

Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary

SW GNSS simulator

SDX 주요 특징

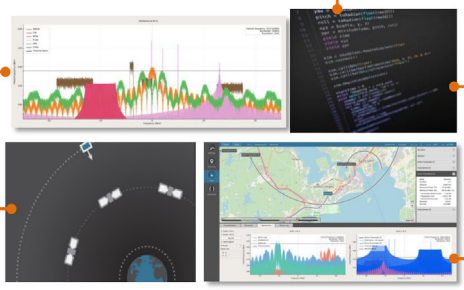
SKYDEL

사용자 정의 파형

- Chirp, CW, BOC, AWGN, BPSK and Pulse modulation
- 수십 개의 신호를 결합 할 수 있고 스펙트럼 상에서 결과를 바로 확인

실시간 GNSS 시뮬레이터 (Real Time)

- GNSS 시뮬레이션은 전적으로 GPU의 가속화 컴퓨팅으로 생성 됨
- 시뮬레이션이 실행되는 동안 대부분의 파라미터 값들을 수정 할 수 있음



간단 하면서도 강력한 자동화 기능

- 완벽하게 문서화된 API 제공 (Python, C#, C++)
- 자동화 기능을 위해 사용자는 script 파일을 사용

Multi-constellation, multi-frequency

- 많은 위성들을 실시간으로 생성 할 수 있고 또한 조작이 가능함
- GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, SBAS

고급 위성 간섭 시뮬레이션

- GNSS 시뮬레이션에 그대로 통합 – 추가 H/W 구성 불 필요
- 모든 재밍 역학 생성 : power level 결과가 실시간으로 계산됨

Confidential © etoob . All rights reserved

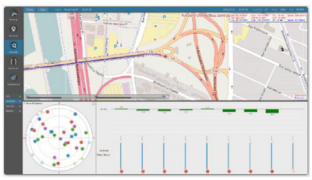
eTooB Electronic beyond the Boundary

SW GNSS simulator

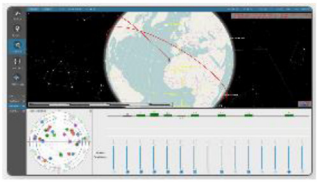
SDX 상세 기능

SKYDEL

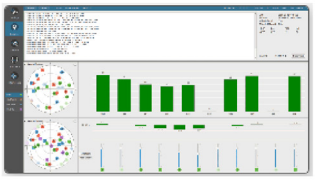
- 1000 Hz 시뮬레이션 반복 속도
- 하이 엔드 성능 (정밀도, 해상도, 초고 동적 모션)
- 강력한 자동화 및 직관적 인 API (Python, C# and C++ 오픈소스 제공)
- Differential GNSS/RTK 와 multi-vehicle 시뮬레이션
- Real Time 실시간으로 시나리오를 재구성 할 수 있는 HIL
- 6DoF 송신 및 수신기 괘적 / LEO-GEO 위성 괘적
- Multipath
- Import tools: CSV, KML, NMEA, etc
- 유연한 라이센스 및 비교할 수 없는 업그레이드 가능성
- GNSS 위성 궤도 수정 및 맞춤형 고정 위치
- 무제한 psuedorange ramps 추가
- 통합지도가 있는 시나리오 편집기
- *And more..!*



• 통합지도를 통한 시나리오 편집기



• 지상에서 GEO 궤도까지 시뮬레이션



• 시뮬레이션 정보와 수신기 정보 비교

Confidential © etoob . All rights reserved

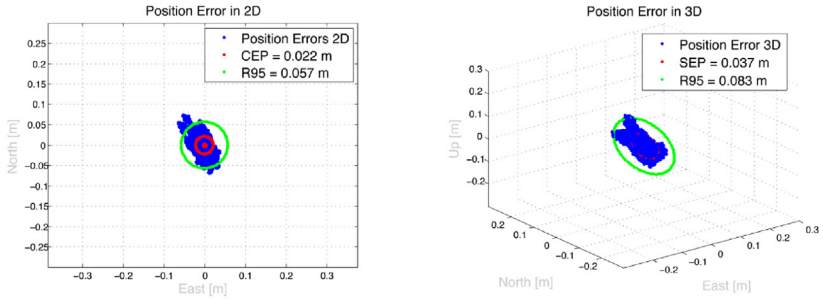
eTooB Electronic beyond the Boundary

SW GNSS simulator

고품질의 GNSS 신호

SKYDEL

- SDX는 까다롭고 복잡한 사용 사례들을 위해 실시간으로 정밀하고 정확한 GNSS 신호를 제공하도록 설계됨
- SDX는 정밀도, 해상도 및 높은 역동적 움직임 표현에 있어서 강력한 기능을 가짐
- SDX는 1000Hz 시뮬레이션 반복 속도로 여러 별자리와 주파수에 대한 모든 위성의 전대역 신호를 변조 할 수 있는 매우 최적화 된 소프트웨어 알고리즘



SKYdel의 SDX 시뮬레이터와 고성능 GNSS 수신기를 이용한 정밀 테스트 결과

Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary

GNSS Receiver

OEM GNSS Receivers

Trimble

RES SMT360 ™



- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou & Galileo ready)
- High Sensitivity
- Assisted GPS (A-GPS)
- Extended Temperature range (-40℃ to +85℃)
- Within 15 nanoseconds (One sigma) of GNSS/UTC

Mini-T™ GG



- Multi-GNSS (GPS, GLONASS)
- Holdover +5us over 24hours @room temperature
- 1PPS and 10Mhz outputs
- Extended Temperature range (-40℃ to +85℃)
- Within 15 nanoseconds (One sigma) of GNSS/UTC

ICM SMT360 ™



- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou & Galileo ready)
- Holdover
- 1PPS & 10Mhz outputs
- Assisted GPS (A-GPS)
- Extended Temperature range (-40℃ to +85℃)
- Within 15 nanoseconds (One sigma) of GNSS/UTC

Thunderbolt® E



- 12-Channel GPS receiver with T-RAIM(Time-Receiver Autonomous Integrity Monitor) algorithm
- Holdover 8us over 24hours
- 1PPS & 10Mhz outputs from a Double ovenized quartz oscillator
- Extended Temperature range (-20℃ to +75℃)
- Within 15 nanoseconds (One sigma) of GNSS/UTC

Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary

GNSS Receiver

Compact/Ruggedized Solutions

Trimble

OEM GNSS Antennas



- Bullet™ GPS Antenna
  - Filtering for harsh RF jamming environments
  - GG(GPS, GLONASS), GB(GPS,Beidou)
- Bullet™ L1, L2 Antenna
  - Dual Band (GPS L1&L2)
- Bullet™ 40dB Antenna
- Bullet™ 360 Antenna

Acutime™ 360 Smart Antenna



- Integrated multi-GNSS receiver, antenna and power supply solution in a single environmentally sealed easy to install enclosure
- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou)
- Within 15nanoseconds (one sigma) of GNSS/UTC
- Two serial ports – supports NMEA 0183 and Trimble standard Interface Protocol (TSIP)

Thunderbolt® NTP Time Server TS100



- NTPv4 Time Server (supports 2,500NTP transactions per second)
- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou)
- Within 15nanoseconds (one sigma) of GNSS/UTC
- Holdover of ±1.5us over 4hours
- Two Gigabit Ethernet interface – RJ45 and SFP
- IPv4 and IPv6 support
- NEBS Compliant

Thunderbolt® PTP Grandmaster GM200



- IEEE 1588 PTP Grandmaster Clock (Supports 64 Simultaneous PTP Clients)
- Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Beidou)
- Within 15nanoseconds (one sigma) of GNSS/UTC
- Holdover of ±1.5us over 4hours
- Gigabit Ethernet interface – RJ45 and SFP
- Inputs: GNSS, 1588-PTP and SyncE
- Outputs: 1588-PTP, NTP, SyncE, PPS, and 10MHz
- IPv4 and IPv6 support
- NEBS Compliant

Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary

GNSS Timing

시간 동기 솔루션

brandywine communications

Time & Frequency Solutions

NTP / PTP Network Time Server



- MIL-STD-810 qualifications
- MIL-STD-901 Shock and MIL-STD-167-1 Vibration,
- 전면패널의 LCD를 통한 장비구성
- 기본 TCXO, OCXO 지원, 상업용 및 군사용을 위한 Rubidium, Cesium 지원
- 시간정확도 : 15ns, 빠른 위치 획득 시간: 70sec @ cold start (-130dBm)

Bus level cards



SAASM-Modular Timing System

- PTP PCI Card
- PCI-Express SyncClock32
- VME-SyncClock32

Time Display



공항 관제실, 철도 관리실, 국방/항공 미션 수행실, 경찰서, 대학, 병원 등

TIME SPY (Elite)



- 종단간 시간차 측정
- 정확도 : 30ns (UTC), 자체 교정 시스템 장착으로 1ns 분해능력
- 견고하고 편리한 이동성으로 모든 산업에 적용
- 적용 분야 : TV/Radio 방송국, 전력 발전소, 군 관련통신, 우주항공 분야, 통신 기지국, 항공 관제

Time Trace II



- GPS common-view기술을 이용하여 표준 시간 및 주파수의 정확한 측정
- BIPM의 권고에 따르며 CGGTTS 형식의 파일 생성
- 영국 NPL(국립천문학연구소)과 협력으로 개발 된 우수제품

Confidential © etoob . All rights reserved

eTooB Electronic beyond the Boundary



인성인터내쇼날(주)

인성인터내쇼날

NovAtel High Precision GNSS Receivers

www.insungsys.kr

* OEM Board type GPS Receiver



Single . Dual . Triple - Frequency

- OEM 7700
- OEM 7720
- OEM 7600

* Enclosure Type GPS Receiver



Single - Frequency

- Flex6-OEMStar

Dual . Triple - Frequency

- Pwrpak7
- FlexPak6
- GPStation-6
- SPAN Technology
- FlexPak-S Defense

INSUNG International Co., Ltd.

인성인터내쇼날

NovAtel GNSS Inertial Systems

www.insungsys.kr

* GNSS Inertial Systems



GNSS + IMU Systems

- SPAN-CPT
- SPAN-IGM-A1 (S1)

* IMU & MEMS



- ISA-100C
- IMU-CPT
- IMU-FSAS
- UIMU-LN200
- UIMU-H58(62)
- UIMU-LCI



- MEMS Interface Card
- HG1900 & 1930
- OEM-ADIS-16488
- IMU-IGM-A1 (S1)
- OEM-STIM300

INSUNG International Co., Ltd.

인성인터내쇼날

GNSS Antenna

www.insungsys.kr

* Smart Antenna (GPS Receiver + Antenna)




- Smart6 (L)
- Ag-Star

* GPS Antenna + Antcom



High Performance

- GPS-800 Series
- GPS-500 Series

Compact

- ANT- 35, 36, A72

Fixed Performance

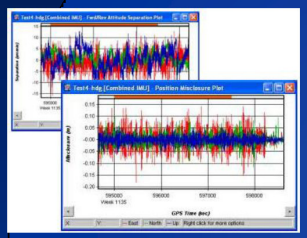
- GNSS-750
- ANT-C2GA

인성인터내쇼날

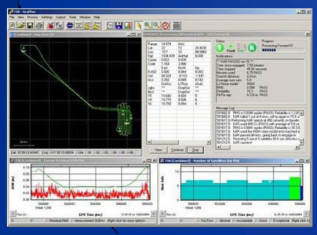
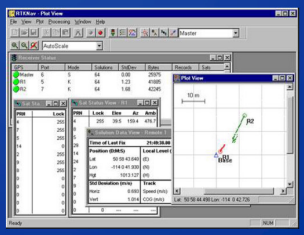
GNSS Post Processing

www.insungsys.kr

GNSS Post Processing Software



- GrafNav/GrafNet
- Inertial Explorer
- RTK Nav

인성인터내쇼날

Anti-Jamming Technology (GAJT)

www.insungsys.kr



INSUNG International Co., Ltd.

인성인터내쇼날

Timing Module & RF Modem

www.insungsys.kr

* Navsync



- ●GPS Receiver Module
- ●GPS Timing
- ●Integrated GPS Module
- ●Parthus Legacy GPS Products

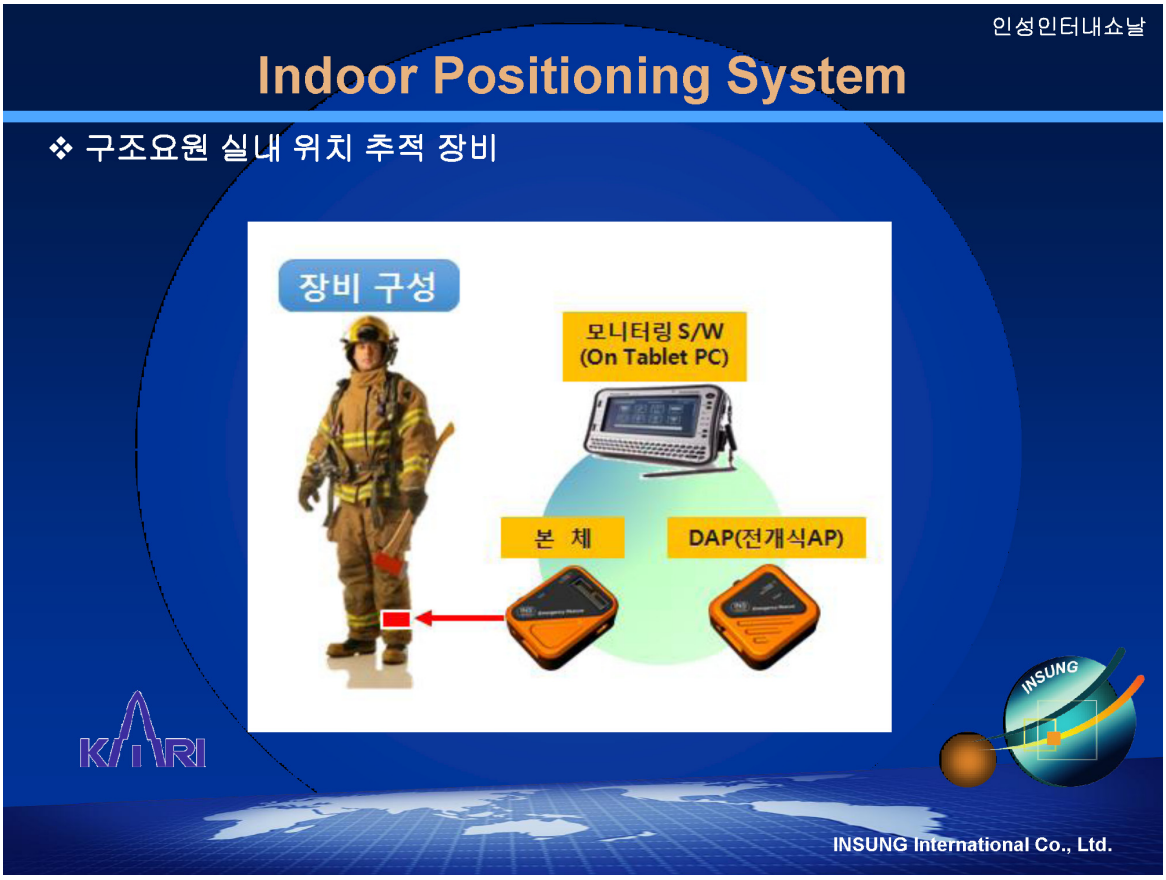
* RF Modem

- ●SATEL
- ●Freewave
- ●ArWest
- ●Pacific Crest





INSUNG International Co., Ltd.


인성인터내쇼날
Indoor Positioning System
❖ 구조요원 실내 위치 추적 장비
장비 구성
모니터링 S/W
(On Tablet PC)
본 체
DAP(전개식AP)
INSUNG International Co., Ltd.


인성인터내쇼날
Indoor Positioning System
❖ 구조요원 실내 위치 추적 장비
Vital/Environmental
Sensor Module
Deployable
Access Point
Wi-Fi/Processor
Module
Position/Vital
/Environmemt
Pedestrian
Sensor
Contamination Area
Command/
Contamination Area
Information
Command
Center
INSUNG International Co., Ltd.



지티에스솔루션즈(주)

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com









Microsemi Focused Markets and Applications

Communications *37% of Revenue*	Defense & Security *26% of Revenue*	Aerospace *16% of Revenue*	Industrial *21% of Revenue*
Wireless Backhaul	Military Communication	Commercial Air	Industrial Control
Base Station	Military Aircraft	Engine Control	Medical Devices
Routing & Switching	Unmanned Vehicle	Avionics	Alternative Energy
Networking	Information Assurance	Actuation	Hybrid Vehicles
Access & CPE	Security Scanners	Space	SEMI Cap Equipment
Wireless Terminal	Anti-Tamper	Power Delivery	Machine to Machine
Fiber Optic Backhaul		Payload Electronics	
		Launch Systems	

ZTE HUAWEI ERICSSON L3 communications Honeywell Rolls-Royce
cisco Raytheon BOEING LOCKHEED MARTIN
SAMSUNG NORTHROP GRUMMAN AIRBUS
ST. JUDE MEDICAL Medtronic GE

GTSolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

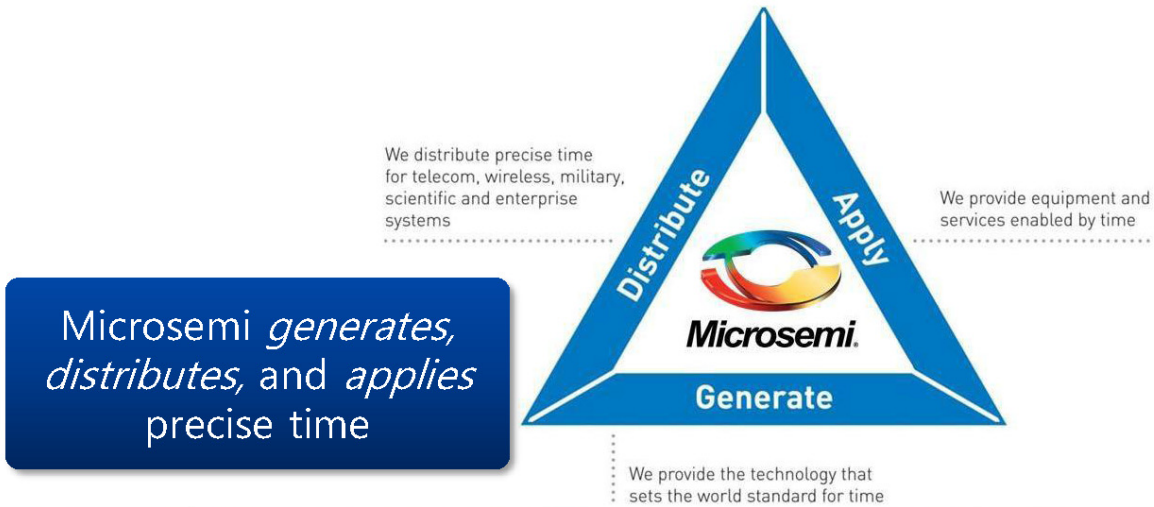
Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com



Microsemi World Leader in "Time"

Leading supplier of timing infrastructure

- 93% of UTC world time "contributions"
- 80%+ worldwide market share in sync for commercial comm unications
- The preferred next generation timing provider to major NEM s
- Over 350+ IEEE 1588 networks deployed worldwide
- 10's of thousands of NTP Network Time Servers sold



Microsemi *generates, distributes,* and *applies* precise time

GTSolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com

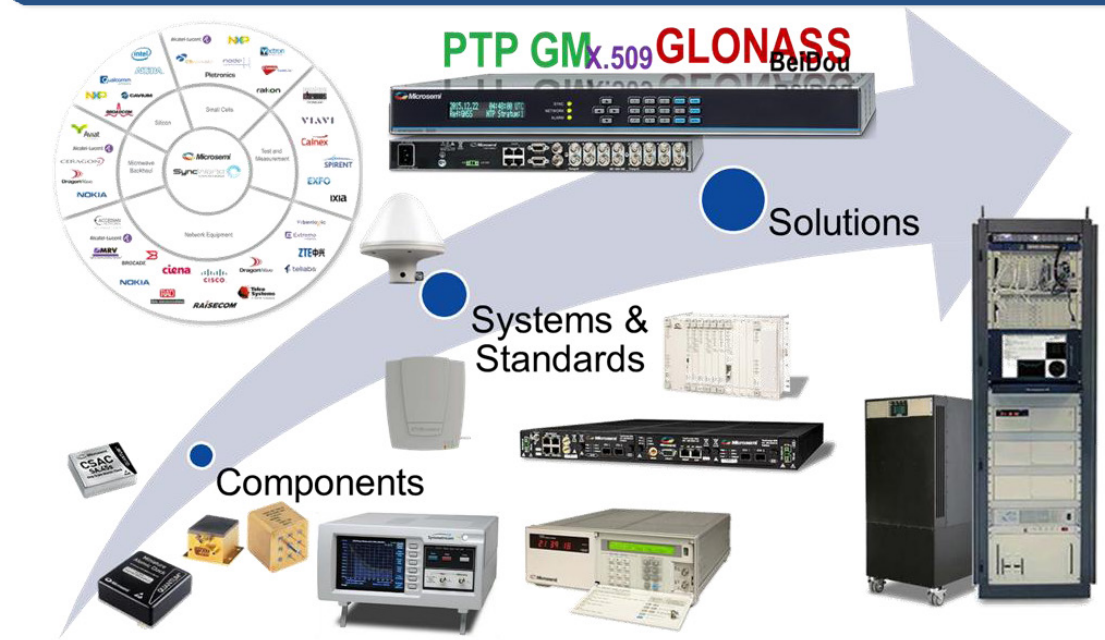




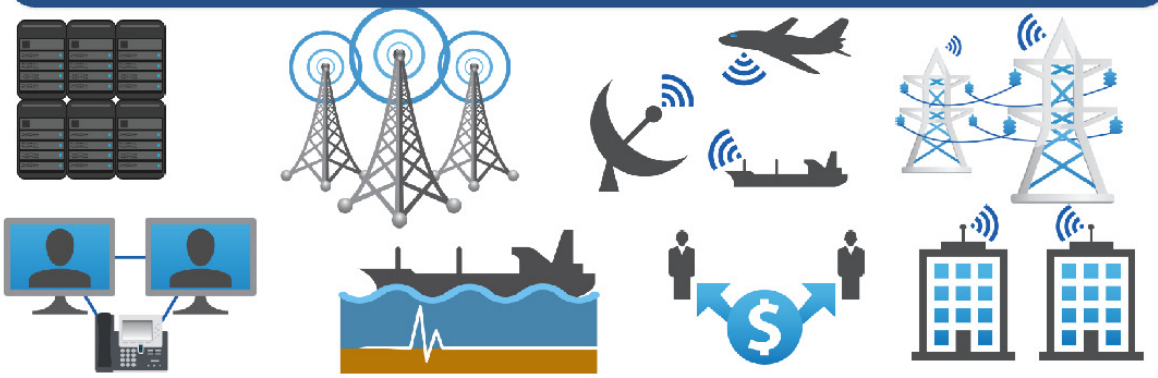




Microsemi Leading the World in Precise Time Solutions



Time Enables ALL Infrastructures



GTSolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com









Microsemi Timing-Synchronization Systems

▪ Primary References

- Synchronization requires a precise source based either on GPS or Cesium
- TimeCesium & TimeSource Reference Clocks provide superior performance and reliability



▪ Frequency Distribution

- SSU/BITS shelves allow operators to distribute frequency to macro base stations and to wireline infrastructure
- Redundancy & scalability are key carrier grade attributes



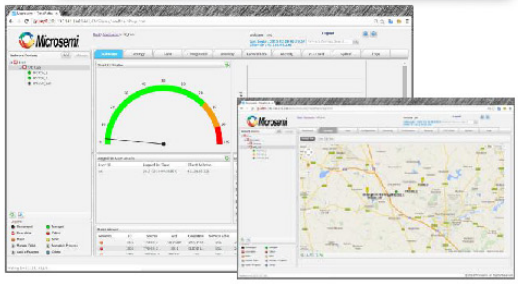
▪ Packet-Based Solutions

- Move from TDM to Ethernet, and to LTE requires new packet based synchronization (NTP & PTP) & phase performance
- TP5000 PTP Grand Master deployed in 200+ networks to provide frequency sync for 2G, 3G, 4G base stations



▪ End-to-End Management

- TimePictra provides unique capabilities to manage and monitor quality of sync from primary source to base stations



GTSolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com









Microsemi Primary References



5071A



ePRTC(ITU-T G.811.1)



MHM2010



8040C



1050A

Cesium
- Long term stability and accuracy

Active Maser
- The ultimate in short term stability (t </= 1day)

Rubidium
- Ideal for less demanding long term stability requirements

Disciplined Quartz
- Enhanced phase noise and hitless switching

GTSsolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com









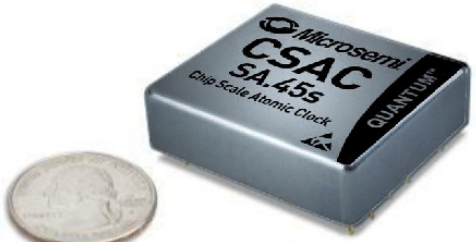
Microsemi Quantum-World's Smallest Atomic Clocks

- **Quantum™ SA.3Xm**
  Miniature Atomic Clock (MAC)
  - **Versus the Competitors:**
    - <1/5 the Size
    - <1/3 the Power
    - 2-3x Performance Improvement
  - **Production ramp NOW**





- **Quantum™ SA.45s**
  Chip Scale Atomic Clock (CSAC)
  - Designed for Ultra low Power Precision
  - Less Than 200mW operation
  - Setting New Standards for:
    Size, Weight, and Power (SWaP)
  - CSAC Status:
    - Early production for undersea exploration
    - Engineering prototyping other apps





GTSolutions
Korea representative of Microsemi

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Microsemi

Microsemi Corporate Headquarters
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
www.microsemi.com

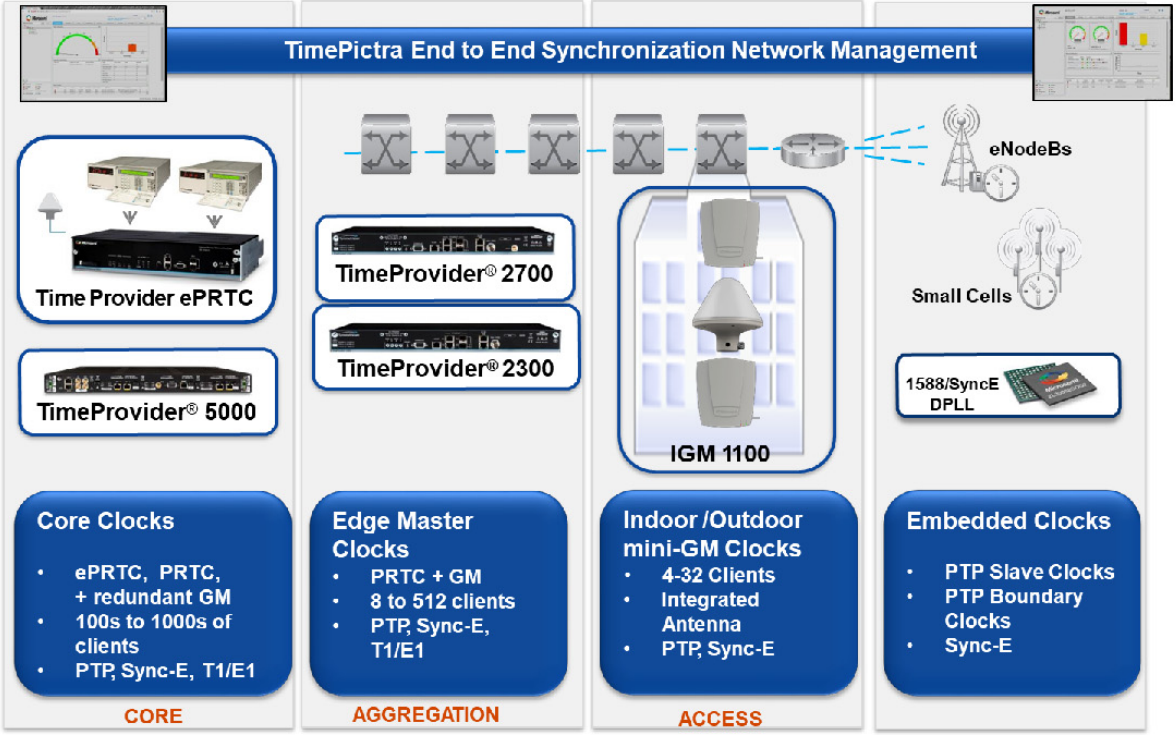


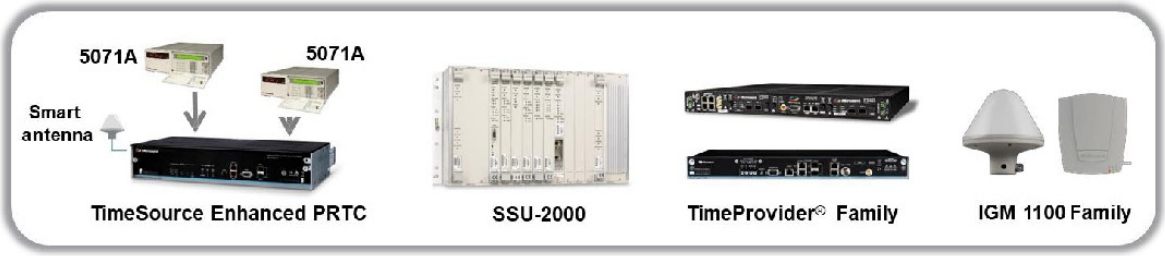






Microsemi End to End Packet Time Portfolio





GTSolutions
Korea representative of Microsemi

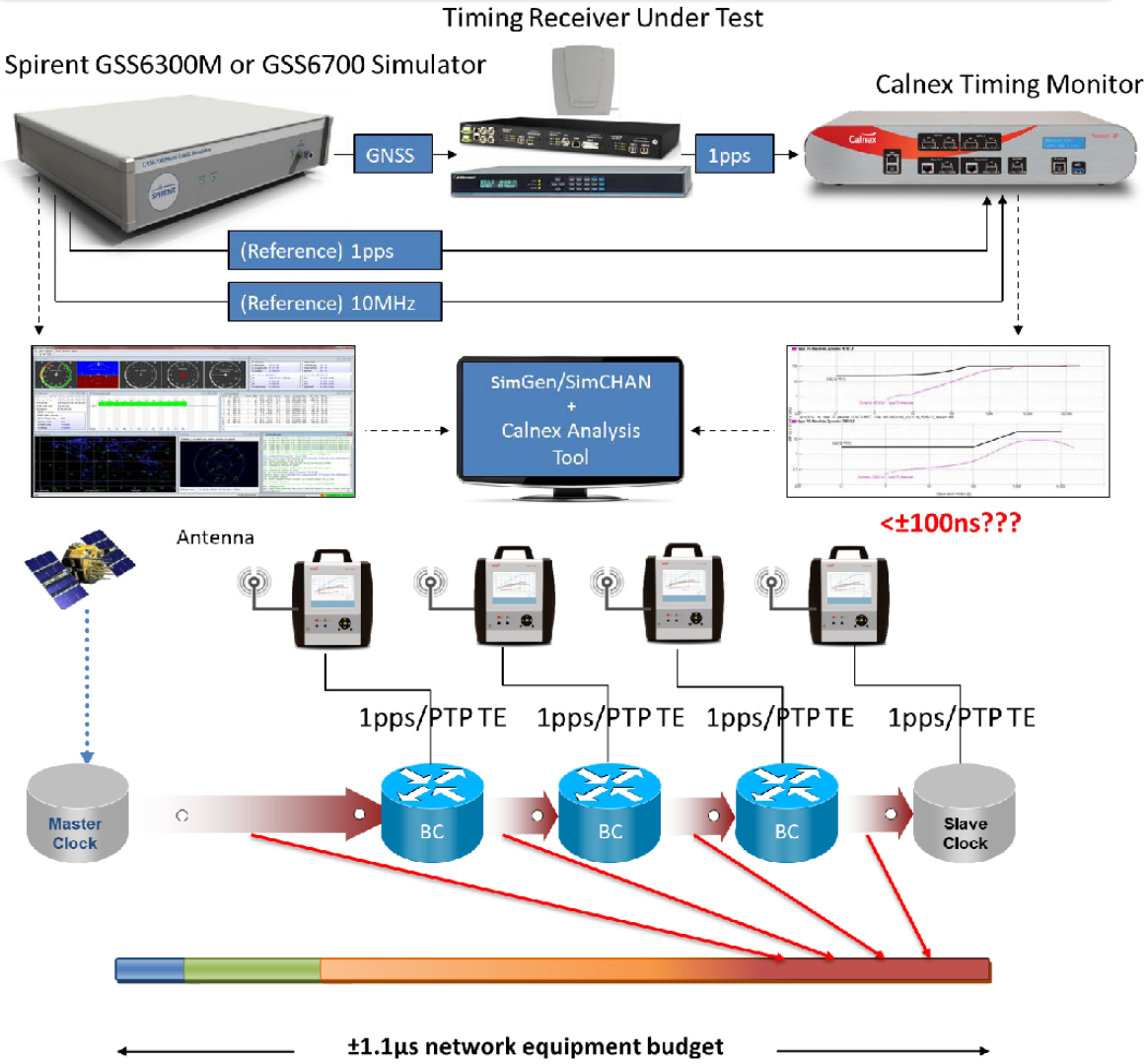
지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr

Calnex

Calnex Corporate Headquarters
Oracle Campus, Linlithgow, Scotland, EH49 7LR
www.calnexsol.com



Calnex Packet Time Measurement Portfolio



GTSolutions
Korea representative of Calnex

지티에스솔루션즈㈜
우08511 서울시 금천구 디지털로9길 33 502(가산동, IT미래타워)
전화: (02)2027-6010 / 팩스: (02)2027-6013 / Email: sales@gtssolutions.co.kr



(주)케이티

PEOPLE.
TECHNOLOGY.

Ⅰ. 저고도 무인비행장치 교통관리 시스템

1. 국책 과제 개요

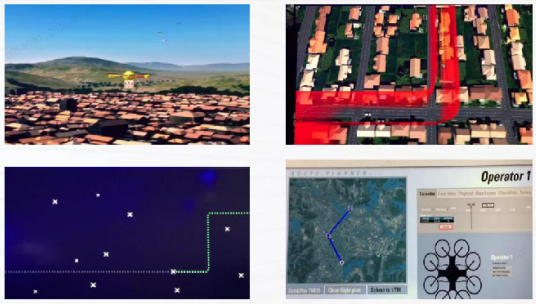
추진 배경

- 무인기 기술 성숙에 따라 교통, 물류, 구조, 통신, 농업 등 민간 분야 수요 증가에 따라 활용 분야가 다양해지고 있음.
- 하지만, 저고도 무인비행장치의 안전한 장거리 운항을 위한 교통관리 시스템에 대한 연구는 아직 없었음.
- 따라서, 저고도에서 무인비행장치의 안전하고 효율적인 운항을 위해서 교통관리 인프라 구축 필요

과제 목표

구분	내용
최종 목표	저고도 교통관리체계 개발 및 실증시험을 통한 국가공역內 통합운용 기반 구축
1 세부 목표	UTM 운용 기준 수립 및 실증
2 세부 목표	저고도 무인비행장치 교통관리(UTM) 시스템 설계 및 구축
3 세부 목표	UTM 핵심기술 연구개발

UTM 개념



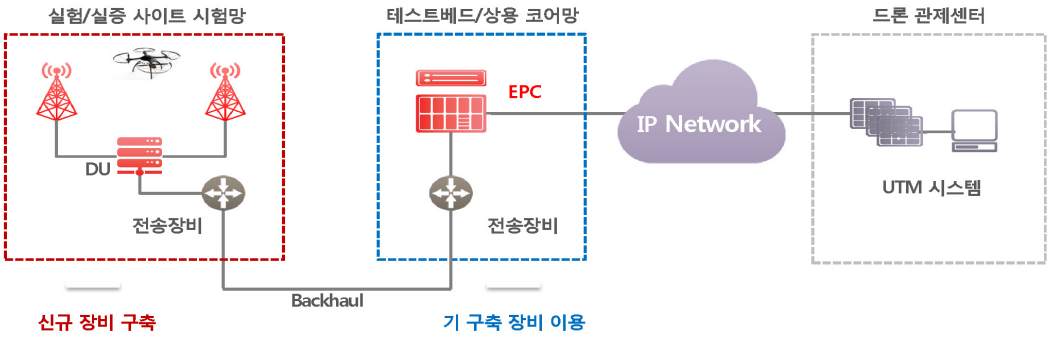
KT 수행 역할

- 통신 기술별(3G/4G/5G/WiFi) 기술 적합성 테스트를 통한 고안전성 무인비행장치 항공망 요건 및 운용요건 도출
- UTM 가상 시뮬레이션 시스템을 이용한 UTM 핵심기술 통합 및 검증
- 클라우드 기반 무인비행장치 교통관리시스템개발
- 상시 실험 운영사이트 및 실증 사이트 인프라(Network)구축

2. 실험 및 실증 사이트 지상 기지국 인프라 구축

시험망 요구사항 분석 및 인프라 구축

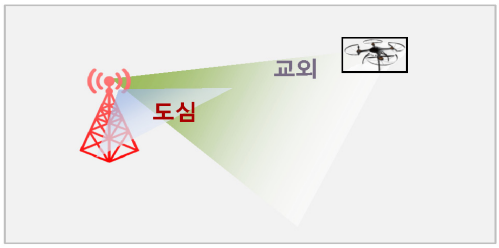
- **시험망 구성**
  - 신규 장비를 이용한 시험망 구축
  - RU/DU 사이트 구축
  - 필요에 따라 backhaul 구간 신설
- **코어망 연결**
  - 우면 테스트베드 코어망 이용(현재 계획)
  - 시험망 요구사항 등에 따라 상용 코어망 이용 가능성 검토



3. 통신망 적합성 시험

드론을 위한 통신망 관련 고려 요소

- **도심·교외 지역 환경 차이**
  - 셀 커버리지
    - 도심: 50~100m
    - 교외: ~2km
  - 기지국의 전파 방사각도→고도별 신호 세기 상이
  - 시험망 운용 중 시험 목적에 맞는 환경 제공 필요
- **핸드오버 (셀간 이동)**
  - 드론 이동 중 핸드오버 테스트를 위해 두 국소 이상 구축
- **인접 셀 간섭**
  - 지상과 달리 장애물이 없어 보다 강한 간섭 신호 발생
  - 기지국 구성에 따른 간섭 신호 측정
- **고도에 따른 신호 세기 차이**
  - 고도가 높아질 수록 신호 세기 감소 예상
  - 여러 환경에서 150m 이하 공역 신호 세기 측정

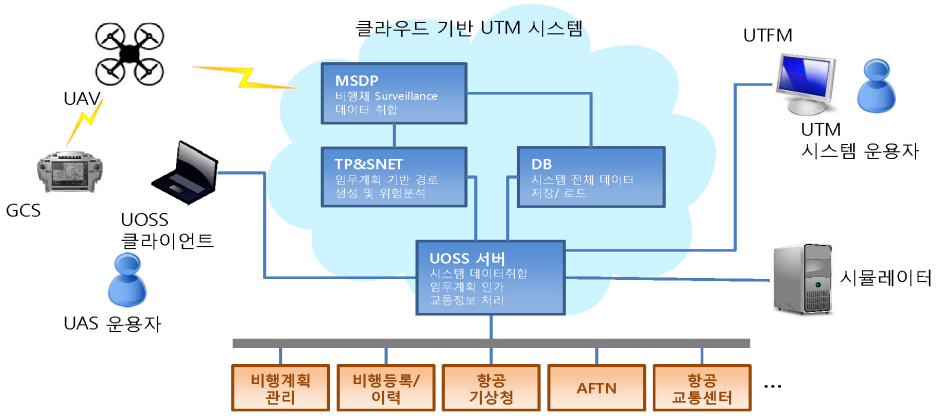




4. UTM

☐ **UAS 시스템 운용자 접속 클라이언트 장비와 클라우드 망 기반 시스템, 인접시스템 구성**

☐ **UAS 비행계획 제출/승인 및 비행 공역 내 교통 관리 수행**



※ MSDP : Multi-Sensor Surveillance Data Processor
※ TP&SNET : Trajectory Predictor & Safety Nets

4

Ⅱ. KT GiGA Vehicle 위험물/화물차 서비스 소개

GiGA Vehicle Platform 화물차 차량 관제는 차량 위치 관제, 운행 차량 수 최적화, 차량상태진단, 운전습관 개선, 운행기록부 등을 지원하는 국내 최고의 차량관제서비스 입니다.

✔ 차량 위치 관제	실시간 차량 위치 관제 및 운행 이력 관리 - 다양한 경보설정을 통한 미운행차량 검출 및 관리 기능 제공	
✔ 분석 통계 레포트	회사 전체/부서/사용자별 종합 운행 통계 - 차량운행율, 운행거리, 시간, 주행속도 - 연비분석, CO2배출량 분석	
✔ 차량 소모품 진단	차량 상태 진단 - 소모품 교체 주기 알림, 배터리 등 상태 확인	
✔ 사업장 반경 5KM 진입/진출 관리	사업장 반경 5KM에 진입/진출 관리 - 5대 사업장에 진입시 실시간 관제 - 5대 사업장에 진출시 일반 관제	
✔ 운송경로관리	운송 경로 관리 기능 제공 - 운송 담당자가 입력한 경로를 전송받아 바로 네비게이션에서도 자동 경로 안내	
✔ POI 설정	사업장내 POI(Point Of Interest) 관리 - 제공되는 전용 단말과 서버간 통신을 통해서만 주소 및 건물 검색 가능.	

5

1. 주요 기능-차량 위치 관제

↘ "류대리! 오늘 거래처 5군데나 다녀왔어?"

운송사/차량별/운전자별 차량의 실시간 위치 확인과 운행이력조회 등 사내/외 경로관리가 가능합니다.



6

2. 주요 기능-운송경로관리 기능

↘ "이기사! 내가 알려준 경로로 갈수 있나?"

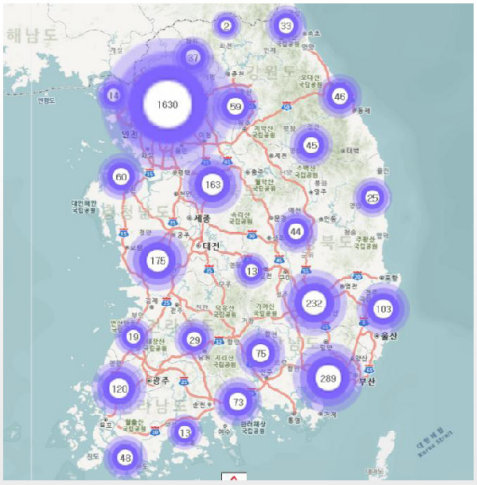
배차계획을 통해 관제와 내비게이션에 **동일한 경로를 표출**함으로써 **초보자도 쉽게 운전**할 수 있도록 기능을 제공합니다.



3. 주요기능-차량 위치 관제

차량 위치 확인과 과속, 급 감속 등 운전행태와 운행 경로 조회 등이 가능합니다.

실시간 전국 차량 위치 관제



운행 경로 조회



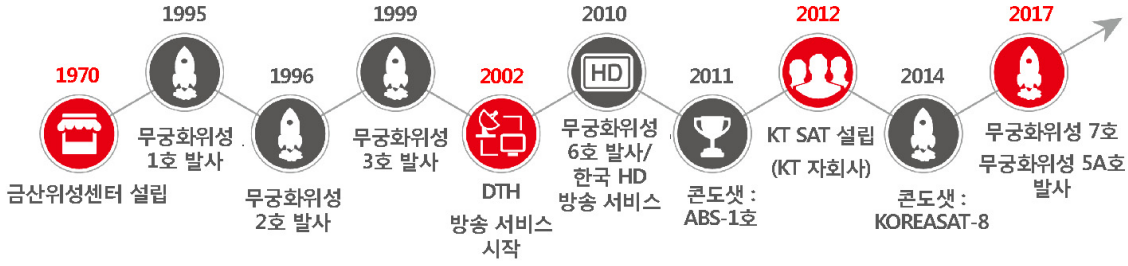


(주)케이티샛

kt sat

국내 유일의 통신위성 보유, 풍부한 IT 인프라, 위성 전문가들을 집약하여 차별화된 위성/ICT서비스와 솔루션을 제공하는 Total Service Provider 입니다.

• 설립	2012년 12월 분사
• 자산	7,562 억원 (16년)
• 매출	1,444 억원 (16년)
• 위성수	4기
• 종업원	167명

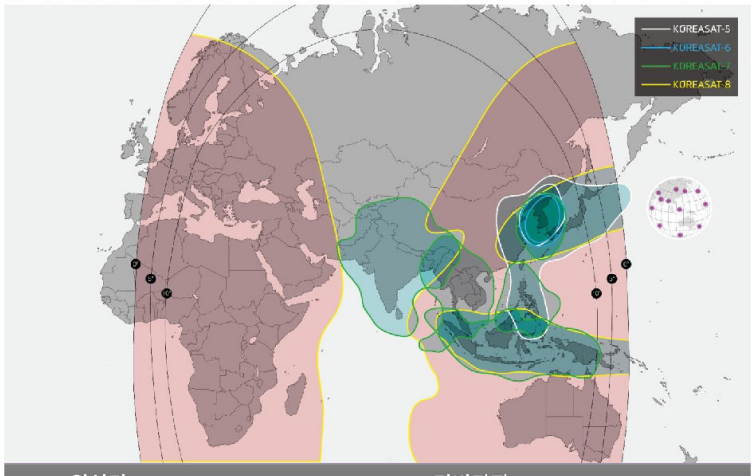


1970년 금산지구국 개국, 1995년 무궁화위성 1호 발사를 시작으로 풍부한 위성 운용 경험을 가지고 있습니다. 2017년 무궁화위성 7호 및 5A호 발사를 통해 글로벌 사업자로 발돋움 하고자 합니다.

1

커버리지

kt sat 보유 위성을 통해 아시아, 중동, 아프리카 및 유럽까지 서비스 가능합니다.

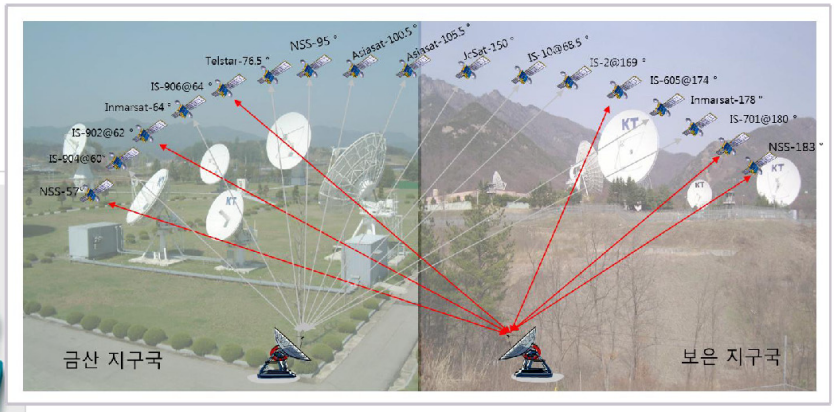


위성명	커버리지
Koreasat-5	한반도, 일본, 필리핀. 대만, 중국(북경 및 동부 일부)
Koreasat-6	한반도
Koreasat-8(콘도샛)	한반도, 남아프리카, 동남아시아, 동북아시아
Koreasat-7	한반도, 필리핀, 인도, 인도차이나, 말레이시아, 인도네시아 등

2

인프라

금산/용인 위성센터는 아시아/태평양 지역의 Teleport 허브 (안테나 22기)로 글로벌 위성 사업자와 협약/제휴를 통해 위성통신 인프라 및 서비스를 제공하고, 차기위성 (5A호/7호)의 글로벌 커버리지를 통해 글로벌 위성사업자로 도약할 것입니다.





3

주요 사업

① 위성 중계기 임대



서비스 정의

- 위성망을 이용한 네트워크 구축 등을 목적으로 국가기관, 방송사, 기업 등의 고객사가 직접 위성 중계기 전 대역 또는 부분 대역을 임차하여 이용하는 서비스

서비스 특징

- 필요한 중계기 대역을 임차하여 고객사 자체적으로 원하는 서비스를 직접 운영
- 사내방송(금융기관, 기업체, 종교단체 등), 방송중계(국내, 해외 등), 위성방송(DBS, 광고), SNG, VSAT구축, 국내/외 육상, 해상, 항공 등 다양한 쓰임
- 중요시설에 대한 유선망 백업 및 1:1 또는 1:N 네트워크 구축
- kt sat에서 고객사 지구국 시설점검 및 기술지원
- 무궁화위성5호 및 6호 통신용 중계기 1기당 36MHz

요금

- 위성 종류, 대역폭, 이용기간(일단위, 월단위 단기이용/1년이상 장기이용) 등에 따라 변동

4

주요 사업

② 비디오 전송

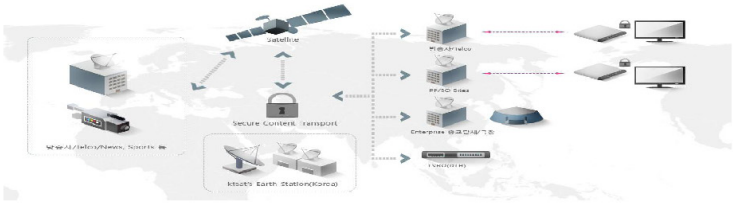


서비스 정의

- 각종 영상 콘텐츠를 위성망을 이용하여 송/수신하는 서비스로 위성고정비디오(TVRO), SNG 서비스 및 국내 방송사의 콘텐츠를 해외로 송출하거나 또는 해외로부터 제공되는 영상을 위성을 통해 수신하는 서비스

해외 위성방송

- 국내 방송사의 콘텐츠를 위성을 활용하여 해외로 송출하고 해외 방송사의 콘텐츠를 수신하여 지상파, MSO, IPTV 방송사 등 고객사에 제공하는 서비스(국제행사 및 스포츠, 학술대회 등을 중계하는 데 이용)



이동위성 중계 (SNG)

- 스포츠 중계, 뉴스취재, 사건중계, 행사중계 등 현장으로 부터 생생한 영상 및 음성을 고객사까지 전송하는 서비스(지상망 구성이 곤란한 지역이나 재해, 산악, 도서 지역에서 긴급 영상 전송에 이용)



주요 사업

③ 데이터 전송

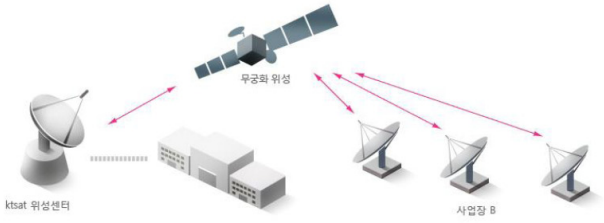


서비스 정의

- 지상망을 거치지 않고 위성망으로 간편하고 신속한 전용 통신망을 구성하여 데이터, 음성, 화상회의 등을 이용할 수 있는 서비스
- 지상망 구축이 어려운 해외지역, 도서지역, 산간오지, 공사현장 등에서 소형지구국을 설치하여 국내와 해외지점간 인트라넷 및 데이터 전송을 위한 서비스

국내위성 전용

- 위성망을 이용한 전용회선 서비스로 자사망이 필요한 고객사의 사업장에 안테나 및 위성시설을 설치하여 P2P로 회선을 구성하거나 kt sat 위성센터의 위성시설 경유 지상 유선 전용회선과 결합한 회선을 구성하여 데이터, 음성, 화상회의 등을 이용할 수 잇는 서비스(정부기관, 군, 경찰, 공공기업, 연구기관 종교단체 등에서 이용)

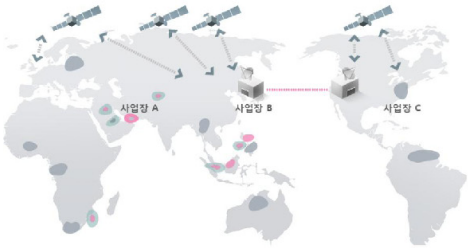


주요 사업

③ 데이터 전송

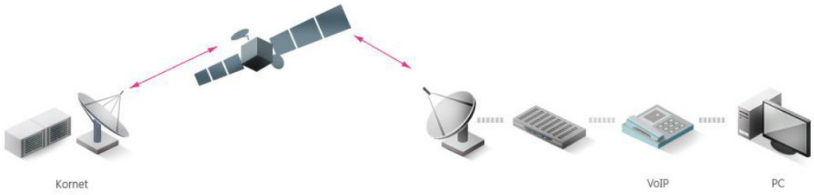
해외 위성전용

- 위성을 활용한 해외전용회선 서비스로서 한국 본사와 현지 사무소간 전용회선을 구성하여 품질 속도 및 보안이 보장되는 안정적인 서비스
- 본사의 사내망을 해외현장으로 연장하여 본사와 동일하게 업무를 수행할 수 있고 국내의 품질이 우수한 인터넷 백본과 연결하여 인터넷, VoIP, 화상회의 등 이용 가능



기업위성 인터넷

- 공공기관, 기업체를 대상으로 지상망 구축이 어려운 도서지역, 산간오지, 공사현장 등에 소형안테나를 설치하여 초고속 인터넷을 이용할 수 있는 기업형 위성인터넷 서비스



7

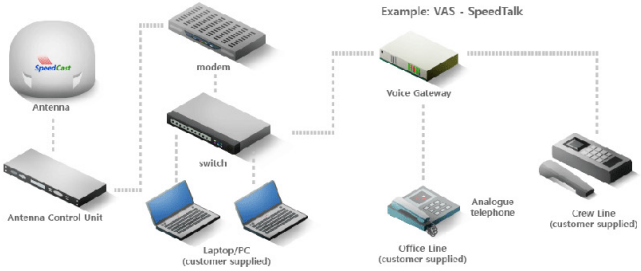
주요 사업

④ 해상 위성 서비스



해상위성 전용 서비스

- 해상에서 위성을 이용하여 데이터 통신을 이용할 수 있는 서비스
- 선박에 소형위성안테나를 설치하여 간편하고 신속한 통신망 구성



인말새트

- 인말새트사(Inmarsat)에서 지구정지궤도상의 4개의 통신위성을 이용하여 이동체(선박, 차량, 항공기, 휴대용단말기 등)와 전 세계 지상간 전화, 팩스, 데이터 등의 통신을 제공하는 국제위성이동통신







구분	요금	비고
GSPS-일반전화	240원/15초	00+82+MSISDN+#
GSPS-이동전화	285원/15초	
GSPS-GSPS	400원/15초	00+870+IMN+#
GSPS-타 인말새트	800원/15초	

8



GNSS Solution Corp.

GNSS solution
www.gnss-solution.co.kr

Products Line

LabSat



GNSS Simulator
RECORDS Real world GNSS signals

www.labsat.co.uk

Actidyn Active Dynan

THE NEXT BEST SIMULATION TO K WORLD TESTING





Motion Simulators, Rate Tables,
Geotechnical Modeling

www.Actidyn.com

VECTORNAV Embedded Navigation Solutions



INS(Inertial Navigation System)
latest miniature MEMS inertial sensor

www.vectornav.com

OpenRTLS



RTLS-solutions to within 10cm
UWB(Ultra Wide Band)
Precise indoor Location

www.openrtls.com

GNSS Solution Corp
Tel : 02-6737-7617 | Fax : 02-855-6078 | E-mail : sales@gnss-solution.co.kr
서울특별시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호

record • replay • simulate

LabSat 3 WIDEBAND

GNSS solution
www.gnss-solution.co.kr

- LabSat 3 Wideband

- GPS: L1 / L2 / L5
- GLONASS: L1 / L2 / L3
- BeiDou: B1 / B2 / B3
- QZSS: L1 / L2 / L5
- Galileo: E1 / E1a / E5a / E5b / E6
- SBAS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS, SDCM
- IRNSS

- Wide bandwidth recording at up to 56MHz
- Three frequency sets / channels
- 4 or 6 bit capture
- 1TB SSD hard drive
- Integral HTML interface for configuration
- Internal battery - up to two hours of use
- Standalone operation, or via external control

동기화된 신호 저장 및 재현 필요 경우 API제공

- 1.2 KG.



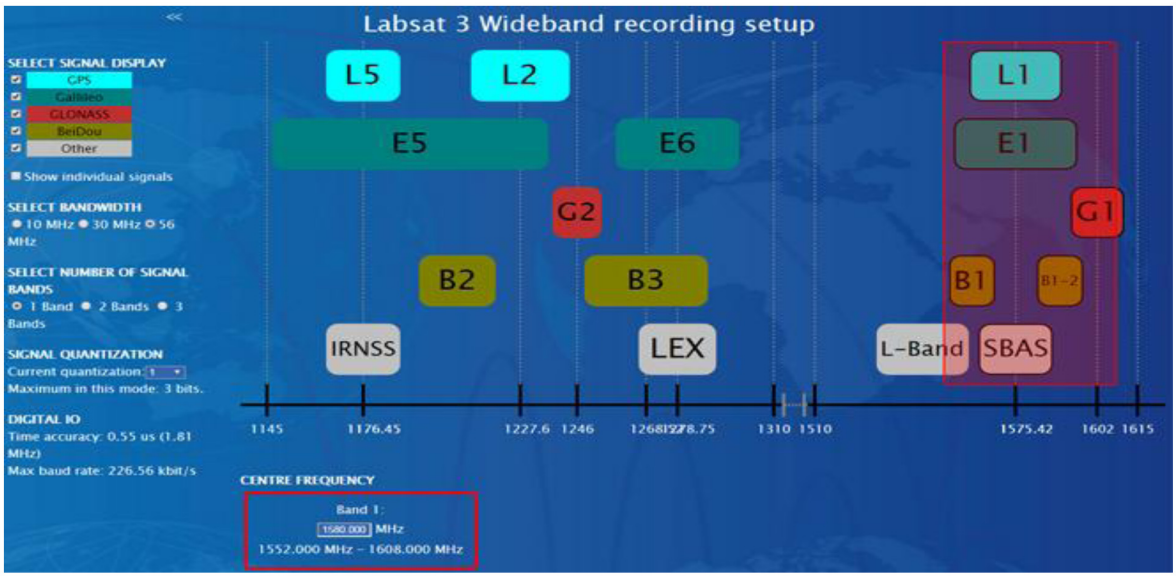




GNSS Solution Corp
Tel : 02-6737-7617 | Fax : 02-855-6078 | E-mail : sales@gnss-solution.co.kr
서울특별시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호

record • replay • simulate

LabSat 장치를 웹브라우저를 이용, GUI 편리한 방식으로 위성 채널 설정



record • replay • simulate

LabSat

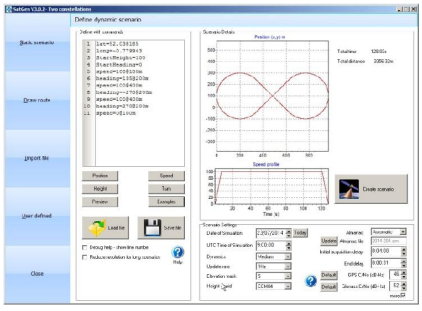
GNSS solution
www.gnss-solution.co.kr

LabSat 3 : GNSS Record and Replay system	SatGen : 위성 시나리오 생성 Software
▪ GPS L1, GLONAS L1, Galileo E1, BeiDou B1, QZSS and SBAS. ▪ 작고 견고한 알루미늄 케이스 제작품 ▪ 장비 자체에서 모든 기능 컨트롤 휴대 가능한 작고, 가벼운 제품 ▪ 원터치 방식의 아주 쉬운 사용법 ▪ Single, dual or triple constellation 옵션 ▪ 2시간 이상 사용 가능한 Battery 내장	▪ Artificial 시나리오를 만들어 사용이 가능 ▪ Crossing different time zones, the equator, leap second roll-overs ▪ 기존 사용 NMEA or KML 파일을 읽어서 시나리오 변환 사용이 가능 ▪ 구글맵에 원하는 위치 궤적을 그려서 시나리오 생성 가능 ▪ 사용자 정의 방식을 사용 아주 detail한 시나리오 생성 가능





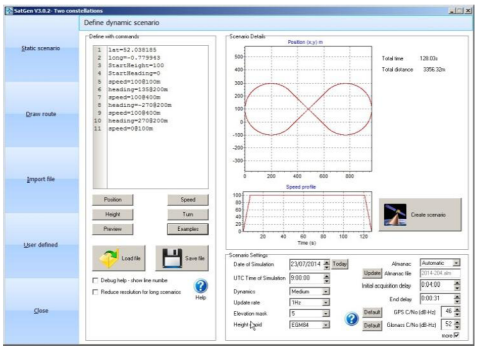
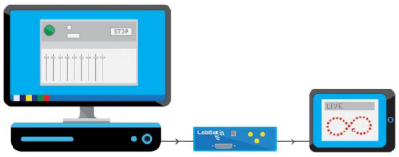




GNSS Solution Corp
Tel : 02-6737-7617 | Fax : 02-855-6078 | E-mail : sales@gnss-solution.co.kr
서울특별시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호

GNSS solution
www.gnss-solution.co.kr

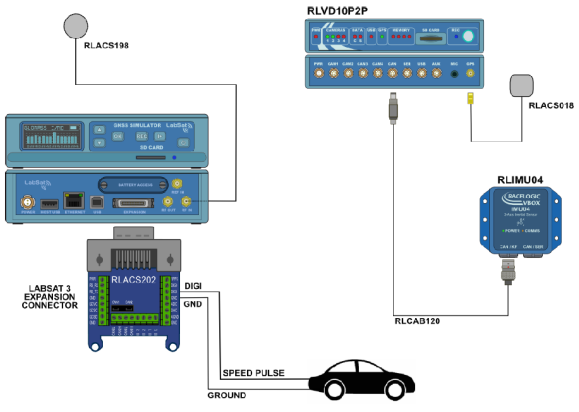
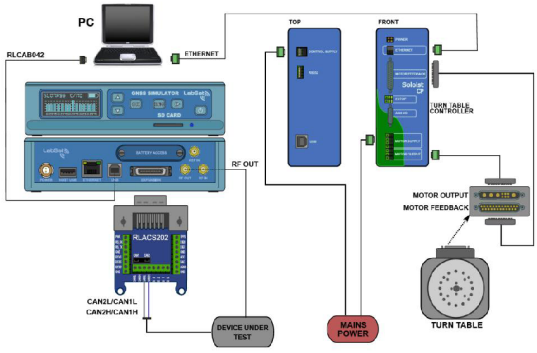
▪ LabSat REAL-TIME : 실시간 위성 시뮬레이터

SATGEN Real Time GNSS Signal 생성 SW	LABSAT REAL-TIME HW
▪ SatGen RT SW를 PC에 설치를 하여 전세계 원하는 위치, 속도, 고도, 방향을 정의하여 실시간 위성 신호를 생성 해준다. 	▪ SATGEN RT에서 생성된 시나리오에 대하여 위성 RF 신호로 변환 출력   ▪ Realistic Carrier to Noise levels signal ▪ 위성의 개수 및 Cno 값 조절 가능 ▪ Single Constellation : 1 or 2-bit ▪ Dual Constellation signal : 1-bit each

GNSS Solution Corp
Tel : 02-6737-7617 | Fax : 02-855-6078 | E-mail : sales@gnss-solution.co.kr
서울특별시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호

GNSS solution
www.gnss-solution.co.kr

▪ LabSat Turntable Simulator : GNSS Dead Reckoning(DR) 검증 Simulator

GPS + CAN + IMU + VIDEO 데이터 동시 Record Diagram	GPS + CAN + IMU + VIDEO 데이터 동시 Replay Diagram
	

GNSS Solution Corp
Tel : 02-6737-7617 | Fax : 02-855-6078 | E-mail : sales@gnss-solution.co.kr
서울특별시 구로구 가마산로 27길 11-19 송현빌딩 803호

"이 발표논문집은 2017년도 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로
한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음."

2017년 항법시스템학회 정기학술대회
Proceedings / 기업홍보

발행인 : 박찬식
편집인 : 박상현, 신미자
발 행 : 사단법인 항법시스템학회
인 쇄 : 네임북스
발행일 : 2017년 11월 1일

학회사무국
서울특별시 마포구 마포대로 12, 510 (마포동, 한신빌딩)
전화 : 02-704-5681
팩스 : 02-790-5681
http://www.ipnt.or.kr
E-mail: ipnt@ipnt.or.kr

2017 IPNT Conference

Sponsored by

로고	기관명	대표	전화	홈페이지
	가하시스템	최문수	042-822-9151	www.gahasystem.com
	국립해양측위정보원	공현동	042-820-5900	www.nmpnt.go.kr
	넵코어스(주)	이경재	042-363-9000	www.navcours.com
	(주)넷커스터마이즈	안명수	042-863-7080	www.netcus.com
	(주)동진커뮤니케이션시스템	김영남	02-722-1748	www.dongjin-microwave.co.kr
	㈜두시텍	정진호	042-280-1400	www.dusi.co.kr
	(주)삼영피엔티	김영균	02-6081-0088	www.samyoungpnt.com
	㈜아센코리아	황국연	1544-3818	www.ascenkorea.comwww.ascen.co.kr
	엘아이지넥스원	권희원	031-8026-7122	www.lignex1.com
	와이즈시스템㈜	윤희홍	070-7010-0440	www.wisesystem.co.kr
	이투비/SKYDEL	이정호	02-6677-3409	www.etoob.co.kr
	인성인터내쇼날㈜	최규주	02-579-5031	www.insungsys.kr
	지티에스솔루션즈㈜	김민수	02-2027-6010	www.gtssolutions.co.kr
	(주)케이티	황창규	100	www.kt.com
	(주)케이티샛	한원식	02-360-3900	www.ktsat.net
	(주)파인디지털	김용훈	031-788-8800	www.finedigital.com
	한국과학기술단체총연합회	김명자	02-3420-1200	www.kofst.or.kr
	한국항공우주연구원 SBAS사업단	남기욱	042-870-3503	www.kass.re.kr
	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소	서상현	042-866-3114	www.kriso.re.kr
	㈜한화/방산	(주)한화	이태종	042-336-0208	www.hanwhacorp.co.kr
	GNSS Solution Corp.	김홍만	02-6737-7617	www.gnss-solution.co.kr
	Thales Alenia Space	Dr Mathias VAN DEN BOSSCHE	+33 5 34 35 36 37	www.thalesaleniaspace.com

Satellite Based Augmentation System for KASS

Developed by Thales Alenia Space for KASS, the SBAS solution will enhance GNSS performances and improve positioning services for Civil Aviation Safety-Critical landing and routing Everywhere, Anytime thanks to integrated GEO satellite and Ground infrastructures



ThalesAlenia Space

a Thales / Leonardo company