적응형 파티클 필터 기반 Wi-Fi RTT/RSSI 복합측위 성능 분석

조영수[1*], 황철현[2], 김경식[2]
[1]한국전자통신연구원 지능화융합연구소 도시교통ICT연구단
[2]㈜와따

본 논문에서는 적응형 파티클 필터를 활용한 Wi-Fi 왕복시간 및 수신신호세기 측정값 기반 복합측위 방법을 소개하고 기존 핑거프린트 방법과 비교하여 측위 성능을 분석하고자 한다. 2018년 구글은 안드로이드9 (API 수준 29) 이상의 단말 (스마트폰)에서 IEEE 802.11mc 표준에 기반한 Wi-Fi 왕복시간 기반 거리정보를 API로 제공하고 있다. 상기 표준 규격 상 Wi-Fi 왕복시간 기반 거리정보는 1~2 m의 위치 정확도를 제공할 수 있으며, 기존 수신신호세기 대비 개선된 위치 정확도를 지원할 수 있다고 언급하고 있다. 다만 비가시환경이 일반적인 실내 환경에서 Wi-Fi 왕복시간 기반 거리정보는 신호 감쇄 및 멀티패스 등으로 인한 거리오차가 발생할 수 있기 때문에, 실내 환경에 강건한 위치정보 제공을 위해서는 상호 보완할 수 있는 수신신호세기와의 결합을 통한 측위 성능 개선 방법이 필요하다. 본 논문에서는 Wi-Fi RTT 지원 AP가 설치된 실내 테스트베드 환경에서 차원이 상이한 측정정보간 결합이 용이한 적응형 파티클 필터를 적용하여 측정정보 (RTT 단독, RSSI 단독, RTT/RSSI 융복합) 조합별 수평 및 수직 측위 성능을 분석하고자 한다. 또한 Wi-Fi AP 설치 개수, Wi-Fi RTT 지원 AP와 단말 (스마트폰)간 비가시 환경 등이 측위 성능에 미치는 영향도 분석하고자 한다.

Performance Analysis on Wi-Fi RTT/RSSI Hybrid Localization Using Adaptive Particle Filter Localization

Young-Su Cho[1*], Chul-Hyun Hwang[2], Kyoung-Sic Kim[2]
[1]City & Transportation ICT Research Department, ETRI
[2]WATA

In this paper, a hybrid localization method combining Wi-Fi round trip time (RTT) and received signal strength indication (RSSI) measurements using an adaptive particle filter is introduced, and the positioning performance is analyzed in comparison with the existing fingerprint method. In 2018, Google is providing Wi-Fi RTT based distance information based on the IEEE 802.11mc standard as an API in Android 9 (API level 29) or higher terminals (Smartphone). According to the standard, Wi-Fi RTT based distance information can provide location accuracy of 1 to 2 meters, and it is mentioned that it can support improved location accuracy compared to the existing RSSI. However, since distance information based on Wi-Fi RTT may cause distance errors due to signal attenuation and multipath in an indoor environment where non line of sight (NLOS) environments are common, it is necessary to combine Wi-Fi RTT with RSSI measurements in order to provide robust location information to the indoor environment. We propose an adaptive particle filter that makes it easy to combine different dimensions of measurement information and analyze horizontal and vertical location performance by measurement type (RTT only, RSSI only, RTT/RSSI both). In addition, the effect of the number of Wi-Fi APs installed and the NLOS environment between the Wi-Fi RTT-supported AP and the terminal (smartphone) on the positioning performance is also analyzed.

Keywords: Wi-Fi, RTT, hybrid, adaptive, particle-filter

1. 서론

와이파이, 블루투스, UWB 등으로 대표되는 무선통신 인프라 기반 실내 측위 기술은 스마트폰의 보편화와 더불어 사용자에게 실내 네비게이션 등 다양한 개인 위치기반서비스를 제공하기 위한 기술 발전을 지속하고 있다. 특히 최근에는 코로나19 팬데믹 상황에서 인공지능, 자율이동체, 사물인터넷, 비대면 서비스 분야의 급속한 성장세와 더불어 개인 위치 뿐만 아니라 사물 위치 추적 관련 시장이 확대되고 있으며, 이를 지원하기 위한 서브미터급 고정밀 실내측위 기술 개발이 주목을 받고 있다. 다양한 후보 기술 중 IEEE 802.11mc 표준 기반 Wi-Fi AP (IEEE 2016)는 단말에게 RSSI 뿐만 아니라 RTT 기반 거리 측정값을 함께 제공하고 있다. 본 논문에서는 가시성 환경에서 높은 정확도를 제공하는 RTT와 비가시성 환경에서 높은 정확도를 제공하는 RSSI의 상호 보완적 특성을 이용하여, 두 측정값을 결합할 수 있는 적응형 파티클 필터 기반 측위 기술을 설계한 뒤, 비가시성이 존재하는 실내 환경에서 측정정보 (RTT 단독, RSSI 단독, RTT/RSSI 융복합) 또는 Wi-Fi AP 설치 개수 차이에 따른 측위 성능을 비교 분석하고자 하였다.

2. 적응형 파티클 필터 기반 Wi-Fi RTT/RSSI 복합측위 기술

2.1 수집데이터 생성

검증하고자 하는 실내환경의 실내지도(실내 노드/링크 포함)를 사전에 생성한 뒤, 모든 실내 노드/링크에 대해 최소 1회 이상 정방향/역방향으로 이동하면서 수집위치와 Wi-Fi RTT/RSSI 측정값을 동기화하여 저장한다.

2.2 측위DB 생성

수집위치 및 측정 횟수와 관계없이 일정 크기의 통계적 측위용 DB를 생성하기 위해, 실내환경을 일정 크기의 그리드로 분할하고 각 그리드의 Wi-Fi AP별 RTT/RSSI 측정값 분포를 정규분포로 모델링 한다.

2.3 적응형 파티클 필터 기반 Localization 알고리즘

제안 측위 알고리즘은 기존 적응형 파티클 필터 또는 적응형 몬테카를로 위치추정 알고리즘 (Zhang 2010)에서 Wi-Fi RTT/RSSI 측정값을 활용할 수 있도록 개선하였다. 상세한 알고리즘 구조는 Fig. 1과 같다.

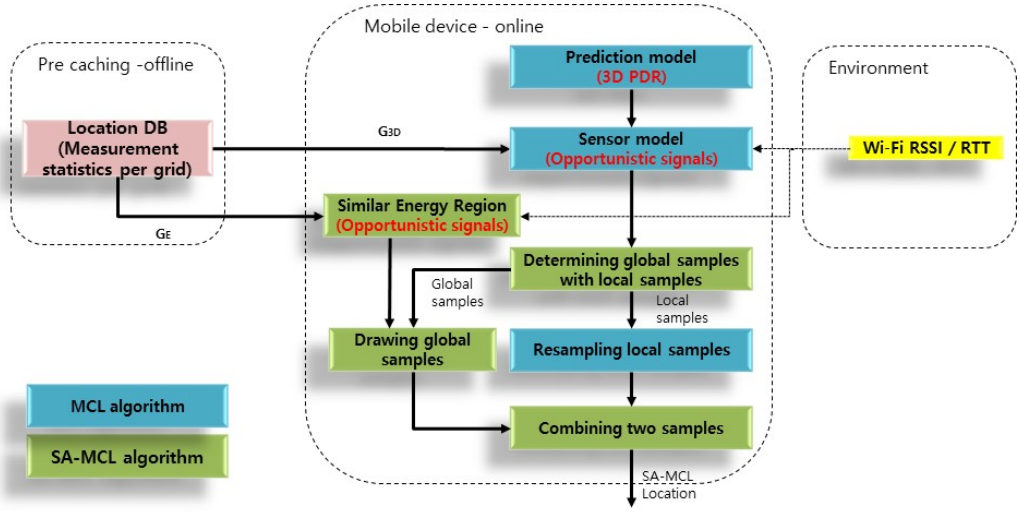


Fig. 1. The structure of adaptive particle filter localization using Wi-Fi RTT/RSSI.

3. 적응형 파티클 필터 기반 Wi-Fi RTT/RSSI 복합측위 성능 분석

3.1 시험환경 및 조건

본 제안 기술의 수평 및 수직 측위 성능 검증을 위해서, 시험장소는 115 m x 12 m 면적의 실내 테스트베드 2개 층에 Wi-Fi RTT/RSSI를 지원하는 Wi-Fi AP를 총 8개 설치하였다 (Fig. 2 내 파란색 별표 참고). 시험지점은 총 20개 지점 (각 층별로 10개 지점)을 선정하였다 (Fig. 3 내 지점숫자 참고). 전체적인 시험 구성도는 Fig. 4와 같다.

3.2 시험 결과

상기 선정한 20개 시험 지점에서 각 지점별 30번 측정하여 수평 및 수직 위치를 계산한다. Table 1은 동일한 시험 환경/장비에서 측정정보별 수평측위오차 (CEP50) 결과를 비교하였다. Wi-Fi RSSI 단독 측위의 경우 RSSI 값의 잡음 특성으로 인해 가장 큰 위치오차를 가진 반면 Wi-Fi RTT 단독 측위의 경우 LOS 환경에서는 2 m 이하의 작은 위치오차를 나타내지만 NLOS 환경에서는 멀티패스로 인해 비정상적으로 큰 위치오차를 나타낸 것으로 판단된다. Wi-Fi RTT/RSSI 복합 측위의 경우, NLOS 및 LOS 환경 모두에서 가장 작은 위치오차를 가졌다. 특히 NLOS 환경에서 RTT 및 RSSI 측정값의 상호보완적인 특징을 활용하여 비정상적인 측정값 필터링이 가능함을 확인하였다.

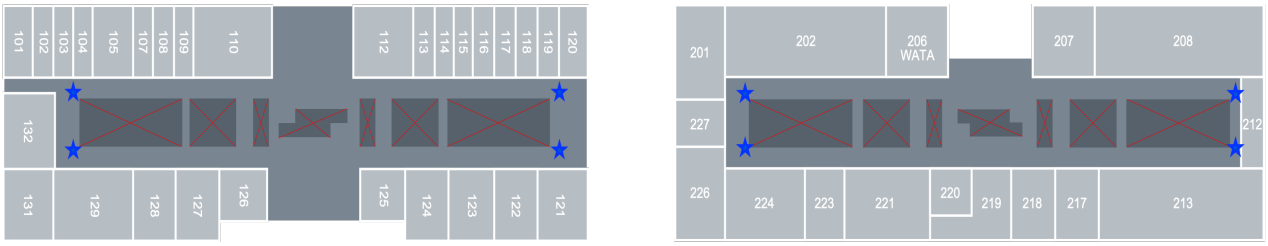


Fig. 2. Experimental area (Wi-Fi RTT AP layout, blue star). (1st floor (left), 2nd floor (right)).

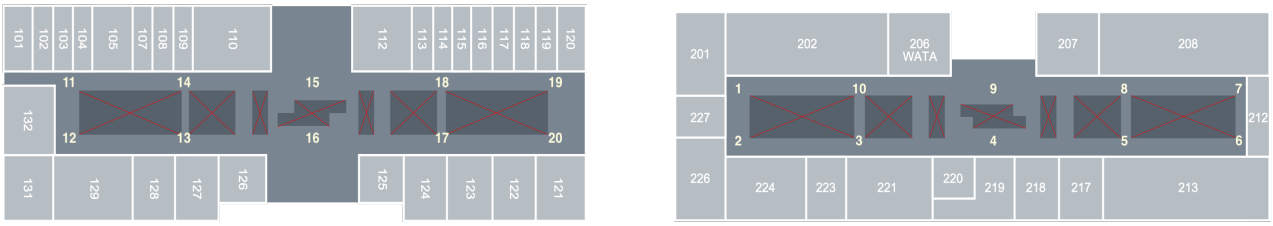


Fig. 3. Experimental area (Positioning test points layout, number 1~20). (1st floor (left), 2nd floor (right)).

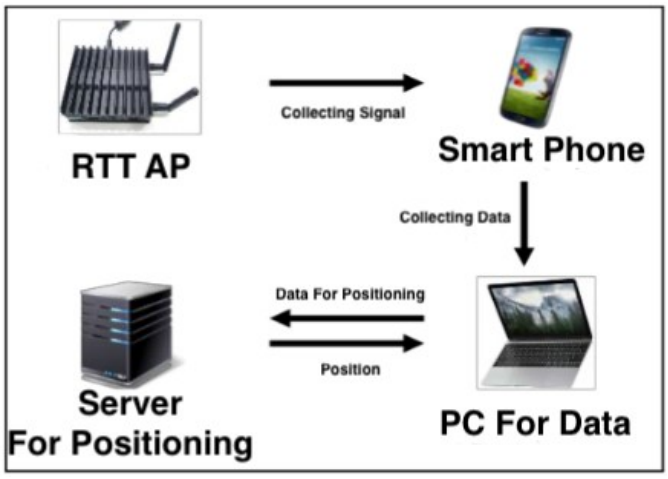


Fig. 4. Experimental setup.

Table 1. Horizontal positioning error (CEP50) (RSSI only, RTT only, RSSI/RTT hybrid).

Wi-Fi RSSI only Horizontal positioning accuracy (CEP50) (Wi-Fi RTT AP only)	Wi-Fi RTT only Horizontal positioning accuracy (CEP50) (Wi-Fi RTT AP only)	Wi-Fi RTT/RSSI Hybrid Horizontal positioning accuracy (CEP50) (Wi-Fi RTT AP only)
4.63 m	2.36 m	1.12 m

Table 2. Horizontal positioning error (CEP50) (Wi-Fi RTT AP + Pre-installed AP, Wi-Fi RTT AP only).

Wi-Fi RTT/RSSI Horizontal positioning accuracy (CEP50) (Wi-Fi RTT AP + Pre-installed AP)	Wi-Fi RTT/RSSI hybrid Horizontal positioning accuracy (CEP50) (Wi-Fi RTT AP only)
1.21 m	1.12 m

Table 2는 동일한 시험 환경/장비에서 Wi-Fi AP 설치 개수별 수평측위오차 (CEP50) 결과를 비교하였다. 측위전용 AP는 각 층별 코너에 4개만 설치되었으나, 측위전용 AP만 이용한 측위오차와 측위전용 AP와 주변 상가에 기설치된 AP를 모두 활용한 측위오차는 차이가 거의 없었다. 이를 통해 NLOS와 LOS를 모두 포함하는 임의의 실내 환경에서 소수의 정형화된 측위전용 AP 설치를 통해 안정적으로 1 m급 측위 성능 제공이 가능할 것으로 판단된다.

Table 3. Vertical (floor) positioning success rate (success criterion: estimated floor matches with true floor).

Vertical (floor) positioning success rate (%)
94.8%

Table 3은 동일한 시험 환경/장비에서 수직위치(층) 인식 성공률을 추정하였다. LOS/NLOS를 포함하는 실내 시험지역 내에서 참 층수와 개발 기술을 통해 계산된 층수와의 일치 여부에 대한 성공/실패를 구하였다. 시험 지점은 실내 시험지역을 전체적으로 포함하도록 수평측위 지점과 동일하게 총 20개로 선정하였으며, 각 시험지점별 층 인식 성공/실패 여부는 30번 측정하였다. 시험 결과, 제안된 Wi-Fi RTT/RSSI 복합측위 알고리즘을 활용하여 모든 시험 지점의 평균 층 인식 성공률이 94.8%로 계산되었다.

4. 결론

본 논문에서는 제안된 적응형 파티클 필터 기반 Wi-Fi RTT/RSSI 복합측위 기술을 개략적으로 기술하고 NLOS/LOS를 포함하는 실내 환경에서 Wi-Fi RTT 표준 규격이 제시하는 측위 성능이 가능한지 시험을 통해 분석하였다. 시험 결과, 기존 Wi-Fi RSSI 측정값에 RTT 측정값을 추가함으로써 측정값의 상호보완적 특성이 융합되어 NLOS/LOS 모든 영역에서 1 m급 측위 성능을 확인하였다. 또한 기존 Wi-Fi RSSI 대비 소수의 Wi-Fi RTT AP만을 이용하여 1 m급 측위 성능이 가능할 것으로 판단되기에, 최소한의 설치 및 관리비용을 통해 안정적인 실내측위 성능을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부 (산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. P0013905, 복합 실내 공간 내 스마트폰 자가 격리 및 인터랙티브 서비스 제공을 위한 2 m급 Wi-Fi RTT/RSSI 융복합 측위 및 90% 이상 성공률의 머신러닝 기반 공간 인식 기술 개발).

REFERENCES

IEEE 2016, [Internet], cited 2021 Sep. 26, available from: http://www.ieee802.org/11/

Zhang, L. 2010, Self-Adaptive Markov localization for Single-Robot and Multi-Robot Systems, PhD Dissertation, Université Montpellier II, Montpellier, France