

Wi-Fi FTM과 스마트폰 IMU 센서를 활용한 실내 측위 연구

박지훈, 이세진, 강주리, 최우영, 김윤빈, 변윤석, 고승우

한국해양대학교

{mrpark0915, lsjfish, jury622, uy980307, bin6246, iamayesuk}@g.kmou.ac.kr,

swko@kmou.ac.kr

A Study on Indoor Localization Using Wi-Fi FTM and IMU sensor in Smartphones

Ji-Hoon Park, Se-Jin Lee, Ju-Ri Kang, Woo-Young Choi, Yun-Bin Kim, Yun-Seok Byeon,

Seung-Woo Ko

Korea Maritime and Ocean University

요약

본 논문은 PDR (Pedestrian Dead Reckoning)과 FTM (Fine Timing Measurement)의 장단점이 상호 보완하는 것에 주목하여 둘을 융합한 Wi-Fi 실내 측위 시스템을 검증하였다. FTM 기반으로 동작하는 RTT (Round-Trip Time) 값들을 통해 거리에 대한 실험값을 구성할 수 있고, 보행자의 이동 궤적을 추측하는 기법인 PDR을 통해 보행자의 경로 변화와 Step Count를 측정할 수 있다. FTM과 PDR을 융합한 실내 측위 결과가 FTM 단독으로 사용한 결과보다 더 나은 성능을 보여주는지 실험을 통하여 검증하였다.

I. 서론

이동통신 기술이 발전함에 따라 실내 측위 또한 주목받고 있는 가운데 실외 위치 추적 서비스의 대표적 기술인 GPS는 위성통신 기반으로 실내 측위 수단으로 사용되지 못한다. 이에 따라 여러 통신기술을 통해 실내에서도 편리하고 정확하게 측위를 하는 방법이 관심받고 있다[1].

우리는 복잡한 실내 구조의 건물 내부에서 원하는 위치를 신속하게 찾기 위해 IEEE 802.11mc의 FTM (Fine Timing Measurement) 프로토콜을 활용한 RTT (Round Trip Time)에 주목하였다[2]. 이 기술은 AP와 스마트폰만 있으면 Wi-Fi를 이용해 어디서나 위치를 측정할 수 있다. 하지만 FTM 기반 실내 측위 특성상 복잡한 환경요인에 취약해 Multi-path가 발생한다. 또 다른 실내 측위 방법으로 PDR (Pedestrian Dead Reckoning) 기법이 있는데, 이 기술은 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서를 활용하여 상대적인 측위가 가능하다[4]. IMU 센서는 신호를 송·수신하지 않기 때문에 Multi-path에 대한 우려가 없으므로 FTM의 단점을 보완할 수 있다. 측정된 FTM의 데이터는 기존의 PDR 접근 방식에서 수동으로 입력해야 하는 Step-length와 Heading direction의 정보를 제공한다.

결과적으로 본 논문에서는 RTT를 기반으로 한 Wi-Fi 측위 시스템과 PDR을 융합함으로써 서로의 단점을 보완하여 높은 정확도와 신뢰도를 갖는 실내 측위의 검증을 목표로 한다.

II. 시스템 모델

실내에서 다수의 AP와 하나의 위치를 알고 싶은 디바이스가 있다고 가정한다. 먼저, 디바이스의 좌표형식의 실내 측위를 하기 위해 IEEE 802.11mc에서 동작하는 FTM 알고리즘을 이용하여 RTT 값을 얻는다. FTM 알고리즘은 디바이스와 하나의 AP 간에 FTM 메시지와 ACK를 송·수신하는 시간을 통해 둘 사이의 거리를 측정한다. 디바이스와 AP 간의 거리에 대한 값의 수는 AP의 개수만큼 존재한다. 본 논문에서는 간단한 실험을 위해 2차원 공간으로 제한하므로 3개 이상의 AP가 있다면 디바이스의 좌표형식의 실내 측위를 할 수 있다.

보행자가 디바이스를 들고 움직일 경우, 우리는 이동에 대한 정보인 Step count와 이동방향각의 변화에 관심이 있고 이는 PDR을 통해 알 수 있다. PDR의 가속도 센서를 이용하여 Step count를 확인한다. 보행자가 이동 시에 가속도 센서의 z축에 흔들림이 발생하고, 임계값 이상의 피크 값의 개수를 Step count로 정의한다. 이동방향각의 경우에는 자이로스코프 센서를 사용하는데, 이는 디바이스의 y, z축의 회전 변화량에 해당하는 roll값과 yaw값을 통해서 알 수 있다. 본 논문에서는 실험을 간소화하기 위해 이동방향각이 변하지 않는 직선으로 이동한다고 가정한다.

III. PDR, FTM 융합 알고리즘

FTM을 활용한 실내 측위는 좌표형식의 측위가 가능하지만, Multi-path 문제로 오차가 생긴다. PDR 측위의 경우, 신호를 송·수신하지 않기 때문에 Multi-path에 대한 우려가 없으므로 FTM의 단점을 보완할 수 있다. 하지만 Step length와 Heading direction을 입력해야 하는 번거로움이 있는데, 이러한 정보들은 FTM의 측정 데이터가 제공할 수 있어 서로의 단점을 보완할 수 있다. 따라서, PDR과 FTM을 융합하는 알고리즘을 다음 5개의 Step에 따라 소개한다.

Step 1. FTM 프로토콜의 RTT를 활용하여 좌표를 설정

<그림 1>과 같이, 디바이스에서 각 AP까지의 거리를 RTT로 측정한다. 해당 거리를 반지름으로 하는 각각의 원을 가정할 때, 삼각측량법[3]을 이용하면 이용자의 현재 위치를 추정할 수 있다. 또한, 가우스-뉴턴법[3]을 사용하여 연립방정식의 근사해를 찾아 2차원에서의 좌표를 계산한다.

Step 2. PDR을 통해 Step count와 Trajectory detection 검증

유저가 디바이스를 들고 보행 시, PDR 가속도 센서의 z축 값이 주기적으로 변화한다. 따라서 임계값 이상의 가속도 z값이 측정되었을 경우, 1번의 Step이 발생되었다고 측정할 수 있다. 또한, PDR의 자이로스코프 센서에서, 이용자가 방향을 전환하면 roll값과 yaw값이 변화하게 된다. 본 연구에서 실시한 실험에서는 이동방향각 변화가 거의 없는, 직선 보행의 상황을 가정한다.

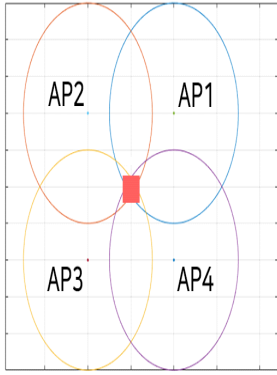


그림 1. Step 1 (RTT)

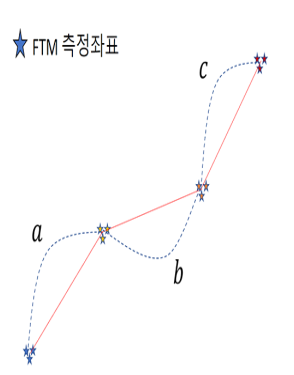


그림 2. Step 3 (Step length)

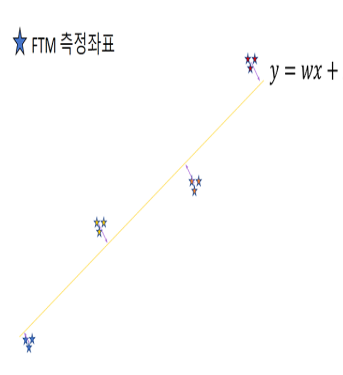


그림 3. Step 4 (Heading direction)

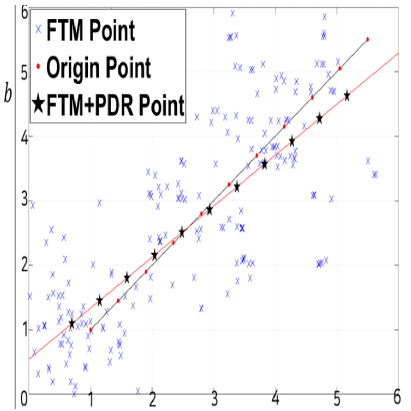


그림 4. 실험 결과 그래프

Step 3. PDR과 FTM을 융합하여 Step length 계산

Step 1에서의 FTM 좌표 데이터와 Step 2에서 얻은 Step count를 통해 Step length를 계산한다. Step length는 FTM 좌표 데이터 간의 거리들의 합을 Step count로 나눈 값으로 정의한다. 예를 들어, 설명을 간단히 하기 위해 FTM으로 측정된 좌표가 <그림 2>와 같이 4개가 있다고 가정한다. 첫 번째 좌표와 두 번째 좌표 간의 거리를 a, 두 번째 좌표와 세 번째 좌표 간의 거리를 b, 세 번째 좌표와 네 번째 좌표 간 거리를 c라고 한다면, Step length는 위 거리의 합을 Step count인 3으로 나눈 값이다.

Step 4. PDR과 FTM을 융합하여 Heading direction 추정

본 논문에서는 실험의 간소화를 위해 이동방향각을 바꾸지 않는 경우를 다룬다고 하였다. Step 2에서 얻은 Trajectory 값을 통해 이동방향각이 변하지 않았음을 확인한다. Step 1에서 측정된 FTM 데이터 분포 사이에서 거리 오차가 최소화되는 직선인 ' $y = wx + b$ '을 Linear Regression을 통해 구한다. <그림 3>에서 노란 직선이 바로 그것이다. 해당 직선이 기기 이용자의 추정 경로이다.

Step 5. 최종 위치를 추정

Step 4에서 구한 추정 경로의 첫 좌표는 Full Search를 통해 Step 1에서 측정된 FTM 데이터를 Step count로 등분했을 때, 그 첫 그룹과 거리가 최소가 되는 점으로 정의한다. 그 이후, 흔들리는 측정된 FTM 좌표들을 Step length에 맞춰 추정 경로에 매핑하여 이후의 위치를 추정한다. <그림 4>는 우리의 실험 결과 그래프로, 해당 그림처럼 추정된 좌표들을 검은 펜타그램으로 표시하였다. 가장 이상적인 결과는 이 추정 경로와 해당 좌표들의 실제 이동 경로와 이에 속한 좌표들과 일치한 것이다.

IV. 실험

1. 실험 세팅

실험에서 사용한 AP 및 스마트폰 단말기는 CompuLab IoT Gateways 모델과 Google pixel 3D(이하 픽셀 폰)를 사용하였다. 실험 위치는 한국 해양대학교 공대 1호관의 159호 강의실을 사용하였으며 강의실 각 모서리마다 AP를 1.6m의 높이로 설치하였다. 또한, 강의실 공간(가로 4.5m, 세로 7.5m)을 2차원 평면으로 보고 강의실의 뒷문을 (0, 0)으로 기준을 두었으며, 4x6개의 좌표로 나누어 총 24개의 좌표를 설정하였다. 강의실 뒷문의 (1, 1)에서 오른쪽 위로 걸어 (5.5, 5.5)까지 이동하는 경로의 실내 위치 측위를 하는 실험을 진행하였다.

2. 실험 결과

<그림 4>에서 빨간 점이 실제 좌표이며, 빨간 점을 이은 파란 직선이 실제 이동 경로이다. 성능 비교를 위해 FTM 데이터의 거리 오차와 FTM과 PDR을 융합한 데이터의 거리 오차를 비교하였고, 그 결과는 아

래의 표와 같다.

구 분	FTM	FTM + PDR
Distance	3.68m	0.54m
Step length	0.56m	

실제 Step length가 0.63m인 것에 비해 측정된 데이터는 0.56m로 9cm 가량의 오차가 발생하였고, FTM만을 이용한 데이터의 오차는 3.68m인 것에 비해 FTM과 PDR을 융합한 데이터의 오차는 0.54m로 약 7배의 성능 향상을 보여주었다.

V. 결 론

우리는 실내 측위 성능에 있어서 서로 보완할 수 있는 관계인 FTM을 활용한 RTT 기반의 실내 측위와 PDR의 IMU를 이용한 실내 측위의 두 방식을 융합하여 실내 측위를 실험하였다. 기존 다른 실험과 달리 우리의 실험에서는 스텝 카운트의 정보를 입력하지 않고, PDR에서 기기 이용자의 스텝 카운트에 대한 정보와 경로 변경 여부에 대한 정보를 얻을 수 있다. 실험을 통해 FTM만 이용하는 것보다 PDR을 융합하면 더 나은 퍼포먼스를 보여주었다. 하지만 여전히 오차는 존재하며 더 나은 성능 향상을 위해서는 필터 적용과 같은 NLOS 성분을 줄이는 것과 경로 에러 발생 시 현재 위치를 초기화시키는 알고리즘의 정립이 필요할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2019R1G1A1100123).

참 고 문 헌

- [1] F. Zafari, A. Gkelias, "A survey of indoor localization systems and technologies", Proc. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, April. 2019.
- [2] M. Ibrahim, H. Liu, M. Jawahar, "Verification: Accuracy Evaluation of WiFi Fine Time Measurements on an Open Platform", Proc. MobiCom '18: Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, October. 2018.
- [3] Edwin K. P. Chong, Stanislaw H. Zak, "An Introduction to Optimization : Second Edition", Proc. Wiley Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, July. 2001.
- [4] Dong-Jun Na, Kwon-Hue Choi, "Step Trajectory/Indoor Map Feature-based Smartphone Indoor Positioning System without Using Wi-Fi Signals", Proc. IEMEK J. Embed. Sys. Appl, Vol. 9, No. 6, December. 2014.