

저전력 블루투스 비콘과 추측 항법을 활용한 실내 측위의 비교

박성현, 안요섭, 정재훈*

*성균관대학교 컴퓨터공학과

tron001@g.skku.edu, ahnjs124@skku.edu, *pauljeong@skku.edu

Comparison Between Indoor Localization by Bluetooth Low-Energy and Pedestrian Dead Reckoning

Sunghyun Park, Yoseop Ahn, and Jaehoon (Paul) Jeong*

*Computer Science & Engineering, Sungkyunkwan University

요약

실내 측위는 위치기반 서비스를 제공하는데 필수적이기 때문에 사물 인터넷 분야에서 활발히 연구되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 BLE(Bluetooth Low Energy) 기반의 실내 측위와 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 기반의 실내 측위를 구현하여 스마트폰 상에서 작동해보았다. 두 방법의 장점을 조합해 큰 공간을 구획 단위로 나누고 구획 내 이동경로 추적에는 PDR 기반 실내측위를, 구획간 이동경로 추적에는 BLE 기반 실내측위를 사용하는 방법을 제안하였다.

I. 서론

실내 측위는 위치 기반 서비스를 제공하기 위한 필수 조건으로, 건물과 같은 특정 공간 내 개인의 위치를 추적하여 더욱 개인화된 서비스를 제공하거나, 사물 인터넷 서비스를 최적화하기 위한 정보로 사용할 수 있다. 따라서 실내 측위는 사물 인터넷 분야에서 연구가 활발한데, 이러한 실내 측위를 구현하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 논문에서는 구현이 가장 간편한 저전력 블루투스(Bluetooth Low Energy, BLE) 기반의 실내 측위와 추측 항법(Pedestrian Dead Reckoning, PDR) 기반의 실내 측위를 구현해보고, 이를 스마트폰 상에서 실행해보며 두 방법 사이의 어떤 장단점이 존재하는지 알아보고자 한다.

II. 본론

2.1. BLE 기반의 실내 측위

모든 블루투스 장치들은 수신 신호 강도(Received Signal Strength Indication, RSSI)를 주기적으로 송신하는데, 이 값은 페어링 없이 바로 수신할 수 있다. RSSI의 값은 노이즈가 다소간 발생하기 때문에 Kalman Filter(KF)와 같은 보상 필터를 사용하여 노이즈를 최소화해줘야 한다[1]. 비콘은 Arduino Uno에 HM-10 블루투스 모듈을 연결하여 제작하였다.

RSSI는 거리에 따라 값이 변하는 특성이 있어[2] 이를 사용하여 비콘과 휴대전화 사이의 거리를 구할 수 있다. 따라서 3개 이상의 비콘을 통해 각각의 RSSI를 수신하면 이를 통해 각 비콘과의 거리를 계산하여 삼변측위를 실시, 사용자의 좌표를 계산할 수 있다. 여기에 Particle Filter(PF)를 적용하여 다시 한번 노이즈를 제거해준다[1].

BLE 기반의 실내 측위의 과정은 그림 1과 같다.

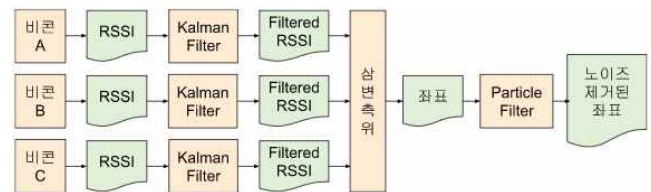


그림 1. BLE 기반의 실내 측위의 과정

BLE 기반의 실내 측위의 실험은 5m x 5m의 공간을 상정하고, (0, 5), (2.5, 0), (5, 5) 지점에 비콘을 설치하여 진행하였다. 평균적인 오차는 x축으로 0.843m, y축으로 2.246m이 측정되었고 표준편차는 x축으로 0.459, y축으로 1.382로 나타나 일반적인 무선 신호 기반 실내 측위의 오차 범위인 2m~5m 이내[1]를 달성하였다.

2.2. PDR 기반의 실내 측위

사람이 휴대전화를 몸에 지닌 채 걸으면 특징적인 가속도의 변화가 발생하게 된다. 이를 감지해낼 수 있도록 Recurrent Neural Network(RNN)을 개량한 Long Short-Term Memory(LSTM)을 사용하여 가속도 센서의 값의 추세를 분석해 보행자가 걸음을 걸었는지 감지하는 인공 신경망을 학습시켰다. 동시에 이동중이 아닐 때 PDR이 작동하지 않도록 가속도 센서와 자이로 센서의 값을 분석해 보행자의 현재 이동 상태를 감지하는 동작 분류 인공 신경망[3]도 LSTM을 사용해 학습을 실시했다. PDR 기반의 실내 측위의 과정은 그림 2와 같다.

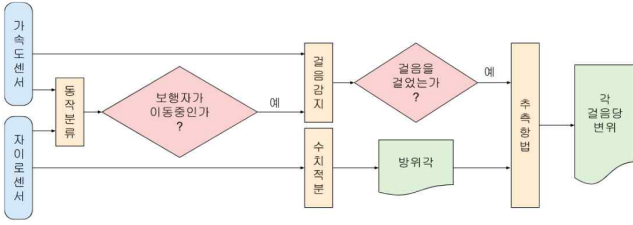


그림 2. PDR 기반의 실내 측위의 과정

동작 분류 인공 신경망은 81.3%의 정확도를 보였으며 걸음 감지 인공 신경망은 100%에 가까운 정확도를 보였다.

2.3. 두 방식의 장단점 분석

BLE 기반의 실내 측위와 PDR 기반의 실내 측위를 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 실내 측위의 두 방식의 비교

BLE기반	PDR기반
절대 좌표를 계산	상대 좌표를 계산
오차가 크다(2~5m)	오차가 작다(1~2m)
PDR에 비해 위치를 민첩하게 추적하지 못한다.	다양한 보폭의 변화에 대응하기 어렵다

BLE를 기반으로 한 실내 측위는 PDR에 비하면 여전히 오차가 크지만 적어도 비콘으로 형성된 구획 내부에 보행자가 있는지는 파악할 수 있고, 공간에 대한 절대 좌표를 계산한다는 장점이 있다. PDR 기반의 실내 측위는 BLE보다 정확하다는 장점이 있으나 보행자의 초기 위치와 방위각에 대한 상대적인 변위를 기록한다는 단점이 있다. 따라서 두 방식간의 장점을 취합하여 그림 3과 같은 시스템을 제안할 수 있다.

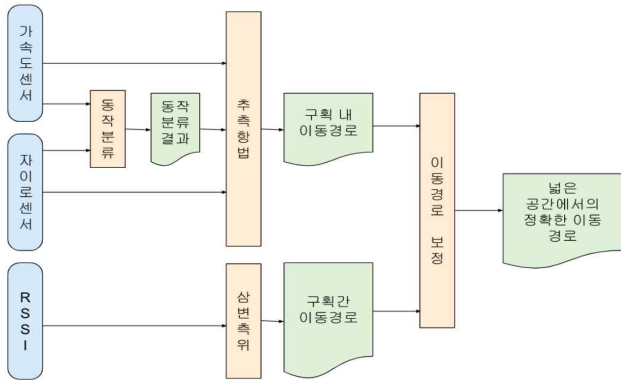


그림 3. BLE 기반 실내측위와 PDR 기반 실내측위의 융합

넓은 공간이 주어진다면 공간을 5m x 5m 단위로 나누어 구획을 설정할 수 있다. 각 구획마다 비콘을 배치하고, 구획 내 이동경로는 PDR 기반의 실내 측위를, 구획간의 이동경로는 BLE 기반의 실내 측위를 사용하여 조합한다면 전체 공간에 대한 상세한 이동 경로를 기록할 수 있을 것이다.

2.4. 동작 환경

본 논문에서는 실험을 위해 실내측위의 두 방법을 구현한 스마트폰 애플리케이션을 제작하였으며, 실험에 이용된 동작 환경은 표 2와 같다.

표 2. 애플리케이션의 동작 환경

Hardware	삼성 갤럭시 S10e
OS	Android 12
SDKLevel	최소 12 이상, Target API Level 32

III. 결론

본 논문에서는 BLE 기반의 실내 측위와 PDR 기반의 실내 측위를 구현해보고, 두 방법의 장단점을 분석하여 상호 보완적으로 운용할 수 있는 방법을 제안하였다. BLE 기반의 실내 측위의 높은 오차율은 블루투스 5.1 이상을 사용하면 해결이 가능할 것으로 기대된다. 블루투스 5.1은 블루투스 신호를 사용한 실내 측위를 고려하여 Angle of Arrival(AoA) 등의 변수를 패킷에 실어 전송할 수 있는데[4], 이를 활용하면 높은 정확도를 달성할 수 있을 것이다. 다만 현재로서는 발표된 지 얼마 되지 않은 규격이기 때문에 이를 지원하는 장치가 적어 적용하기는 어렵다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2022R1F1A1070116)과 정보통신기획평가원의 지원(No. 2022-0-01199, 융합보안핵심인재양성)을 받아 수행된 연구임. 경제학 교수가 교신저자임.

참 고 문 헌

- [1] Y. Shen, B. Hwang and J. P. Jeong, "Particle Filtering-Based Indoor Positioning System for Beacon Tag Tracking," in IEEE Access, vol. 8, pp. 226445-226460, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3045610.
- [2] Z. Jianyong, L. Haiyong, C. Zili and L. Zhaohui, "RSSI based Bluetooth low energy indoor positioning," 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2014, pp. 526-533, doi: 10.1109/IPIN.2014.7275525.
- [3] Hussain, G.; Jabbar, M.S.; Cho, J.-D.; Bae, S. Indoor Positioning System: A New Approach Based on LSTM and Two Stage Activity Classification. Electronics 2019, 8, 375. <https://doi.org/10.3390/electronics8040375>
- [4] Bluetooth SIG, Inc., "Bluetooth Core Specification v5.1", version 1.0.1