

보행자 추측 항법 및 딥러닝을 이용한 다층 건물 내 액세스 포인트의 3차원 위치 추정 기법

하영훈, 주수민, 안현선, 최정식*
경북대학교 전자공학부

gghh1073@knu.ac.kr, refz@knu.ac.kr, gustjs1882@knu.ac.kr, jeongsik.choi@knu.ac.kr

An Method for Estimating 3D Location of Access Points In a Multi-Story Building Using PDR and Deep Learning

Ha Young Hun, Joo Su Min, An Hyeon Seon, Choi Jeong Sik
Kyungpook National Univ.

요 약

최근 와이파이나 블루투스, 또는 초광대역 등의 무선 기술을 이용한 실내 측위 연구가 많이 수행되고 있지만, 실내 측위 시스템이 구축되기 위해서는 핑거프린팅을 위한 데이터베이스 구축 또는 액세스 포인트 위치 수집 등과 같은 많은 사전 작업을 필요로 한다. 본 논문에서는 보행자들이 실내에서 모바일 기기로 수집한 무선 신호 및 센서 데이터를 활용하여 공간 내 액세스 포인트들의 3차원 위치를 자동으로 획득하는 기법을 제안한다. 기압 센서 데이터를 활용하여 층 이동을 구분하고, 보행자 추측 항법을 사용하여 각 층에서의 이동 경로를 획득한다. 다양한 경로 데이터로부터 각 액세스 포인트의 수신 신호 세기가 최대가 되는 시점을 찾고, 해당 시점에서 보행자의 위치를 액세스 포인트의 초기 위치로 설정한 후 딥러닝을 적용하여 정확도가 향상된 액세스 포인트 위치를 획득한다. 최종적으로, 다층 실내 공간에서의 실험을 통해 제안한 기법의 성능을 검증한다.

I. 서 론

최근 다양한 산업 분야에서 서비스에 위치 정보를 통합하는 추세가 증가하면서, 실내에서 정확한 위치 정보에 대한 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 GPS가 동작하지 않는 실내 환경에서 와이파이, 저전력 블루투스, 초광대역 등의 무선 통신 기술을 이용한 위치 추정 연구가 활발하게 수행되고 있다[1]. 대표적인 핑거프린팅 방식의 측위 연구는 일반적으로 높은 정확도를 보이지만, 전파 지도를 구축하는 데에 많은 시간과 비용이 소모된다는 단점이 있다. 이러한 이유로 삼변측량 등 주변 액세스 포인트와의 거리를 기반으로 하는 방식에 딥러닝 및 칼만 필터 등을 적용하여 성능을 향상시키려는 연구들이 수행되고 있다[2].

그러나 삼변측량과 같은 거리 기반 기법을 적용하려면 액세스 포인트의 위치가 확보되어 있어야 한다. 이를 해결하기 보행자 추측 항법(PDR)과 딥러닝, 확장 칼만 필터 등을 적용하여 보행자의 이동 경로와 액세스 포인트의 위치를 추정하는 선행 연구가 수행되어 높은 정확성을 보였지만[3], 단층에 배치된 액세스 포인트들의 2차원 좌표만을 추정할 수 있었다.

본 논문에서는 저전력 블루투스(BLE) 비콘들이 설치된 다층 건물에서 이동하며 수집한 센서 및 무선 신호 데이터에 보행자 추측 항법 및 딥러닝을 적용하여 이동 경로와 액세스 포인트의 3차원 위치를 얻는 기법을 제안한다.

II. 본론

2.1 보행자 추측 항법

보행자 추측 항법(PDR)이란 보행 시작점에 보행자의 가속도와 방향 등을 이용하여 계산한 이동 거리를 더하여 새로운 위치를 추정하는 방법이다. 스마트폰 등 모바일 기기에 내장된 가속도 센서와 자이로 센서를 이용해 보행자의 이동 거리 및 진행 방향 검출이 가능하다. 시간 t 에서 보행자의 3차원 위치를 $p(t) = [x(t), y(t), z(t)]^T$ 라고 하면 $z(t)$ 층의 2차원 평면 상에서 보행자의 위치는 다음과 같이 구해진다[3].

$$p(t) = p(t-1) + \lambda(t)[- \sin \theta(t), \cos \theta(t)]^T \quad (1)$$

수식 (1)에서 $\lambda(t)$ 는 시간 t 에서 가속도 센서 데이터로부터 보행자의 걸음이 검출되면 미리 설정된 보폭 값 λ 을 가지고, 검출되지 않으면 0을 가지는 변수이다. 그리고 $\theta(t)$ 는 시간 t 에서 자이로 센서 데이터 값을 이용하여 획득한 회전 방향을 의미한다.

2.2 보행자의 이동 경로 획득

보행자 추측 항법은 경로가 길어질수록 오차가 누적된다는 한계가 있다. 이를 보완하여 정확한 PDR 경로를 얻기 위한 기법을 제안한다. 스마트폰으로 데이터를 수집하는 과정에서 보행자들이 위치가 확보된 특정 지점(체크포인트)들을 지나는 시점을 체크하고 해당 시점들을 기준으로 하나의 긴 이동 경로를 여러 개의 작은 경로들로 나눈다. 각각의 작은 경로에 보행자 추측 항법을 적용하면 출발지점과 도착지점이 정확한 이동 경로들을 구할 수 있으므로 이 경로들을 이어 붙임으로써 높은 정확성을 갖는 PDR 경로를 구할 수 있다. 이를 통해 높은 정확도

를 가지는 PDR 경로를 획득할 수 있으며, 이를 정확한 실제 이동 경로로 가정하고 딥러닝 모델 학습에 사용한다.

2.3 액세스 포인트의 초기 위치 추정

추정하고자 하는 N 개의 액세스 포인트 중 i 번째 액세스 포인트의 위치를 $R_i = [X_i, Y_i, Z_i]^T$ 로 나타낸다. 이 때 Z_i 는 액세스 포인트가 설치된 층을 나타내는 정수이고, X_i, Y_i 는 액세스 포인트의 2차원 위치 정보를 나타낸다. 액세스 포인트의 초기위치 $R_i(0)$ 는 다음과 같이 설정된다.

$$R_i(0) = p(T_i) \quad (2)$$

T_i 는 전체 수집 데이터에 대해 i 번째 액세스 포인트의 수신 신호 세기가 최대가 되는 시점을 나타낸다. 송신기로부터의 거리가 가까울수록 단말의 수신 신호 세기가 강한 특성을 이용하여 시점 T_i 에서의 단말의 위치 $p(T_i)$ 를 액세스 포인트의 초기 위치로 설정한다.

2.4 딥러닝 모델

완전 연결 계층 기반의 비지도 학습 모델을 이용하여 액세스 포인트들의 위치 정확성을 향상시킬 수 있다[3]. 수집한 수신 신호 데이터와 센서 데이터, 그리고 PDR을 통해 획득한 경로 데이터를 딥러닝 모델의 입력 벡터로 사용하여 학습 과정을 거치면 수신 신호 세기(RSS)에 따른 거리와 표준편차, 각 액세스 포인트의 수신 신호 세기 보정 offset, 그리고 보정된 액세스 포인트 위치를 얻을 수 있다.

2.5 실험 설정

실험은 총 3층으로 구성된 가로 72m, 세로 20m 면적의 경북대학교 박물관에서 수행되었으며, 액세스 포인트로 저전력 블루투스(BLE) 비콘을 사용하였다. 3개 층에 총 29개의 비콘을 고르게 분포하도록 설치하고, 데이터 수집을 위해 3명의 실험자가 스마트폰을 진행 방향으로 들고 각 층의 체크 포인트를 기준으로 자유롭게 이동한다. 실험자마다 8개의 경로를 이동하여 총 24개 경로의 측정 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 이용하여 제안한 기법의 성능을 검증한다.

2.6 실험 결과 및 분석

그림 1은 체크포인트를 적용한 PDR 기법으로 획득한 PDR 경로로, 실제 이동 경로와 매우 유사한 경로를 획득하였음을 확인할 수 있다. 그림 2에서 검은색, 빨간색, 파란색 점은 각각 액세스 포인트들의 실제 위치, 식(2)를 이용하여 설정한 초기 위치, 학습된 위치를 나타낸다. 학습 후 실제 위치와의 평균절대오차는 1.32m으로 오차 범위 내에서 초기값과 비슷하며, 그림 3과 같이 RSS에 대한 거리 곡선과 표준 편차 곡선을 비교적 정확하게 학습 가능한 것을 확인할 수 있었다.



그림 1. 보행자 추측 방법으로 획득한 보행자의 이동 경로

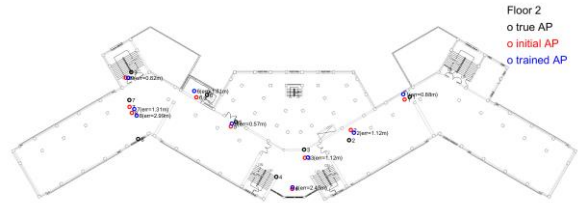


그림 2. 학습 전후 액세스 포인트들의 위치 및 평균절대오차
MAE before training = 1.25m
MAE after training = 1.32m

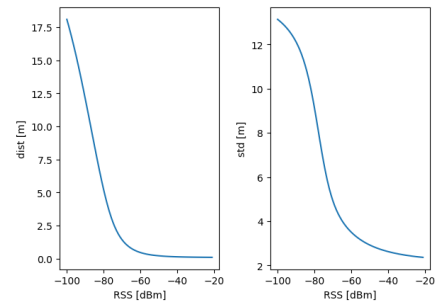


그림 3. 수신 신호 강도에 따른 거리 및 표준편차 곡선 그래프

III. 결론

본 논문에서는 다수의 저전력 블루투스(BLE)가 액세스 포인트로 설치된 다층 건물에서 수집한 센서 데이터를 이용하여 이동 경로를 획득한다. 이동 경로 및 데이터를 딥러닝 모델의 입력 데이터로 사용하여 액세스 포인트들의 3차원 위치를 획득하는 기법을 제안하고 실험을 통해 검증하였다. 또한, 딥러닝 학습 결과 테스트 환경에서의 수신 신호 세기에 따른 거리 및 표준 편차 곡선을 획득할 수 있었고 다수의 액세스 포인트들의 위치 정확성이 향상되었음을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2023-00210463)

참고 문헌

- [1] 노혜민, 오용정, 이남훈, 신원재, "딥러닝 기반 Wi-Fi 핑거프린트 실내 측위 기법 동향 및 전망," 한국통신학회논문지, vol. 46, no. 5, pp. 848-862, 2021.
- [2] J. Choi, Y. S. Choi and S. Talwar, "Unsupervised Learning Technique to Obtain the Coordinates of Wi-Fi Access Points," 2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Pisa, Italy, 2019, pp. 1-6.
- [3] J. Choi, Y. S. Choi and S. Talwar, "Unsupervised Learning Techniques for Trilateration: From Theory to Android APP Implementation," in IEEE Access, vol. 7, pp. 134525-134538, 2019.