

# 보행자의 수직이동 검출을 이용한 실내 와이파이 액세스 포인트 위치 수집 자동화 기법

안현선, 구하영, 최정식

경북대학교 전자공학부

gustjs1882@knu.ac.kr, 9gkdud@knu.ac.kr, jeongsik.choi@knu.ac.kr

## An Automatic Method for Locating Wi-Fi Access Point Using Vertical Movement Detection of Pedestrians

An Hyeon-Seon, Gu Ha-Young, Choi Jeongsik

Kyungpook National Univ.

### 요 약

실내에 설치된 와이파이 액세스 포인트를 이용하여 모바일 기기의 위치를 추정하는 와이파이 기반 위치 추정 기술들이 연구되고 있지만 실제 위치 서비스 도입에는 실내에 설치된 액세스 포인트의 위치 확보나 펄프프린팅용 데이터베이스 구축 등 시간이 많이 소요되는 작업이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 보행자들이 실내에서 모바일 기기를 사용하면서 발생하는 센서 데이터를 활용하여 액세스 포인트의 위치를 자동으로 획득하는 기법을 연구한다. 기압 센서 측정값으로부터 보행자의 수직이동 (층간 이동)을 검출하고 특정 층에 진입하여 이동하다가 해당 층을 이탈할 때까지의 이동 경로를 보행자 항법 기술을 이용하여 추정한다. 이렇게 추정된 이동 경로를 실내에서 수직이동이 가능한 두 지점에 매칭 하기 위한 비용함수를 정의하고 해당 비용함수를 최소화하는 한 쌍의 지점을 찾아 사용자의 실제 이동 경로를 추정한다. 또한 추정된 경로 위에서 측정된 와이파이 수신 신호를 이용하여 해당 층에 설치된 모든 액세스 포인트의 위치를 획득하는 방식을 제안하고 실제 실내 환경에서 성능을 검증한다.

### I. 서 론

GPS가 동작하지 않는 실내에서 와이파이 등의 무선 기술을 이용하여 모바일 기기의 위치를 추정하는 연구가 활발하게 수행되고 있다 [1]. 하지만 거리 기반 위치 추정 방식의 경우 와이파이 액세스 포인트의 위치를 확보해야 하며 펄프프린팅 기반 위치 추정 방식의 경우 실내 전파 지도를 구축해야 하는 등 실제 위치 서비스 도입까지 많은 시간과 비용이 소요된다. 이를 해결하기 위하여 위치를 알고 있는 일부 액세스 포인트를 이용하여 다른 액세스 포인트의 위치를 추정하거나 [2], 실외에서 실내로 진입하는 보행자의 GPS 이동 경로로부터 실내 이동 경로를 추정하고 전파 지도를 자동으로 구축하는 기법들이 제안되어왔다 [3].

하지만 이러한 기법의 경우 일부 액세스 포인트의 위치가 미리 확보되거나 GPS 데이터로부터 실내 이동 경로 추정이 가능한 장소에만 적용이 가능하다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 건물 내에서 보행자의 층간 이동을 기압 센서 측정값을 이용하여 추정하고 특정 층에 진입하여 해당 층을 이탈할 때까지의 이동 경로를 층간 이동이 가능한 두 지점 (계단, 에스컬레이터 등) 사이에 자동으로 배치하는 기술을 연구하였다. 또한 배치된 이동 경로에서 측정된 와이파이 신호를 이용하여 액세스 포인트의 위치를 추정하는 기법을 연구하였다.

본문에서는 이동 경로 획득에 사용되는 보행자 항법 기법을 간단히 설명하고, 기압 센서 측정값을 이용한 수직이동 검출 기법, 층간 이동 지점 추정을 위한 비용함수의 설계, 와이파이 액세스 포인트 위치 추정 기법을 제안하고 실험을 통하여 제안한 기법의 성능을 분석한다.

### II. 본론

#### 2.1 보행자 항법 기법

모바일 기기에 내장된 관성 센서를 이용하여 단말의 헤딩 방향 추정

가능하고, 단말의 수직 방향 가속도 측정 패턴으로부터 보행자의 걸음걸이 검출이 가능하다 [4]. 따라서 2차원 평면상에서 시간  $t$ 에서의 보행자 위치  $z(t) = [x(t), y(t)]^T$ 는 아래 식을 통해 획득한다.

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

위 수식 (1)에서  $\lambda(t)$ 는 시간  $t$ 에서 보행자의 걸음걸이가 검출될 때는 미리 설정된 보폭 값을 가지지만, 검출되지 않을 때는 0의 값을 가지는 변수이며  $\theta(t)$ 는 시간  $t$ 에서 획득한 사용자의 헤딩 방향을 의미한다.

#### 2.2 특정 층 진입 및 이탈 시점 파악

건물 내에서 보행자들이 수직 방향으로 이동할 수 있는 지점은 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터 등으로 제한적이기 때문에 사용자가 특정 층에서 이동한 경로는 수직이동이 가능한 지점에서 시작하여 수직이동이 가능한 지점에서 끝난다고 할 수 있다.

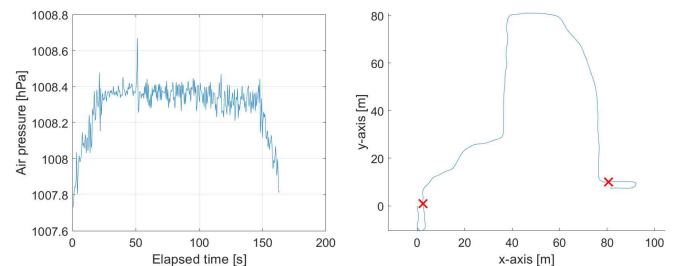


그림1. 수직이동에 따른 기압 변화의 예

그림2. 특정 층에서의 이동 경로

그림 1은 계단을 통해 내려와 특정 층에 진입하여 이동한 후 다시 계단을 통해 위층으로 올라갈 때 측정된 기압 데이터를 보여준다. 수직이동 발생

시 기압 값이 변하기 때문에 기압 센서 측정값으로부터 수직이동 검출이 가능함을 볼 수 있다. 이를 위하여 측정 패턴이 비슷한 구간의 측정값을 선형 모델로 근사화하였으며, 인접한 두 구간 사이의 선형 모델이 교차하는 지점을 층간 이동이 발생하는 시점으로 추정하는 piecewise 선형 모델을 적용하였다. 그림 2는 연속으로 추정된 보행자의 이동 경로에서 특정 층에 진입하는 시점과 이탈하는 시점을 추정하여 표시한 것을 보여준다.

### 2.3 이동 경로 배치 기법

기압 센서를 이용하여 특정 층에서 보행자가 이동한 경로를 획득한 후 시작 위치와 마지막 위치를 수직이동이 가능한 지점에 매칭시키는 비용함수를 설계한다. 이를 위하여  $z_{init}$  과  $z_{end}$ 를 보행자 항법 기법을 이용하여 추정된 특정 층의 진입 위치와 이탈 위치로 나타내고  $\theta_{init}$  과  $\theta_{end}$ 를 각각 진입 시점과 이탈 시점의 heading 방향으로 나타낸다.

현재 층에  $N$ 개의 수직이동이 가능한 지점이 있다고 가정하며  $n$ 번째 지점의 위치를  $z_n$ , 방향을  $\theta_n$ 으로 정의한다 (예: 계단의 방향). 보행자 항법 기법을 이용하여 추정된 경로를  $n$ , 해당 경로를  $m$ 번째 지점에 매칭시켰을 경우 비용은 다음과 같이 각도 차이에 의해 결정된다.

$$J(n, m) = |\theta_n - \theta_{init}| + |\theta_m - \theta_{end}| + |\angle(z_{end} - z_{init}) - \angle(z_m - z_n)|. \quad (2)$$

위 수식 (2)에서  $\angle z$ 는 2차원 좌표  $z$ 의  $x$ 축으로부터 각도를 의미한다. 위의 비용함수를 이용하여 층 간 이동이 가능한 모든 쌍의 지점에 대해 비용을 계산하고 가장 비용이 작은 한 쌍의 지점을 보행자가 해당 층에서 이동한 지점으로 추정하도록 구성하였다.

### 2.4 와이파이 액세스 포인트 위치 추정

그림 3은 지도상에 배치된 이동 경로의 각 지점에서 특정 AP로부터 수신 신호 세기를 수집하는 방법을 보여준다. 각 액세스 포인트의 위치는 독립적으로 추정되므로 본 논문에서는 하나의 액세스 포인트에 대해 위치를 추정하는 기법을 설명한다.

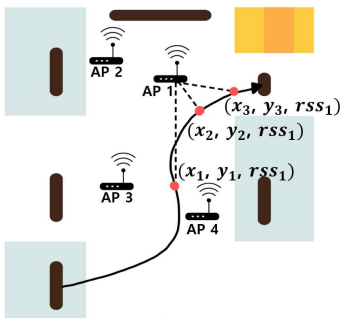


그림3. 액세스 포인트 추정 기법

여러 경로상의 총  $M$ 개의 위치에서 액세스 포인트로부터 수신 신호가 측정되었다고 가정하고,  $m$ 번째 위치는  $z_m$  수신 신호 세기는  $P_m$ 으로 정의한다. 수신 신호 세기  $P$ 에 해당하는 거리  $d$ 를 계산하기 위하여 아래와 같은 경로 손실 모델을 이용하였다.

$$d = 10^{\frac{P - P_0}{10\eta}} \quad (3)$$

위의 수식 (3)에서  $P_0$ 는 1m 거리에서 측정된 신호 세기이며  $\eta$ 는 경로 손실 지수를 의미한다. 와이파이 액세스 포인트의 위치  $z$ 를 추정하기 위한 비용함수를 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$J(z, P_0, \eta) = \sum_{m=1}^M (\|z - z_m\| - d_m)^2 \quad (4)$$

위의 수식(4)에서  $\| \cdot \|$ 은 2차원 벡터의 L2-norm을 의미하고  $d_m$ 은  $m$ 번째 위치에서 수집한 신호 세기  $P_m$ 에 해당하는 거릿값을 의미한다. 경로 손실 모델의 파라미터와 액세스 포인트의 위치에 따라 수식 (4)의 값이 달라지므로 모든 파라미터를 반복적으로 갱신하는 방법을 이용하여 최적의 값을 획득한다.

### 2.5 실험 개요

넓은 공간에서 제안된 기법을 검증하기 위하여 가로 185m, 세로 131.2m 규모의 경북대학교 중앙도서관 1, 2층을 기준으로 실험을 진행하였다. 해당 장소의 경우 수직이동이 가능한 지점이 계단 5곳, 엘리베이터 2곳이 있지만, 본 연구에서는 5곳의 계단을 통해서만 수직 이동하는 상황을 고려하였다. 4명의 실험 참가자가 모바일 기기를 소지하고 자연스럽게 실내 공간에서 이동하며 데이터를 수집하였다 [4]. 다수의 실험을 통해 총 14개의 측정 데이터를 수집하여 제안한 기법의 성능을 검증하였다.

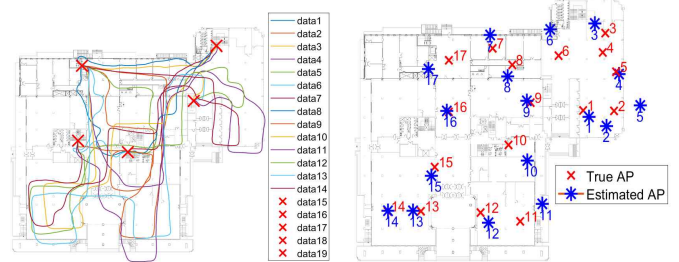


그림4. 이동 경로 배치 결과

그림5. 액세스 포인트 위치 추정 결과

### 2.6 실험 결과 및 분석

기압 센서의 측정값으로부터 층 간 이동을 검출하는 성능의 경우 실제 진입, 이탈 시점 대비 0 - 3.5초의 오차가 발생함을 확인하였다. 그 후 각 이동 경로를 설계된 비용함수를 이용하여 층간 이동이 가능한 지점에 배치한 결과 그림 4에서 볼 수 있듯이 14개의 모든 이동 경로가 정확히 배치됨을 확인하였다.

그림 5는 제안된 와이파이 액세스 포인트 위치 추정 기법의 결과를 보여준다. 액세스 포인트 추정위치와 실제 위치의 오차가 평균 5.7m, 최소 30cm로 비교적 정확히 추정됨을 확인하였다. 지도의 중심에 설치된 액세스 포인트의 위치는 비교적 정확히 추정되었으며 가장자리에 있는 액세스 포인트의 위치는 오차가 크게 발생함을 확인하였다.

## III. 결론

본 논문에서는 실내에서 다수의 사용자가 모바일 기기를 사용하면서 수집되는 레이블이 없는 데이터를 이용하여 사용자의 이동 경로를 획득하고 실내 지도 위에 배치한 후 와이파이 액세스 포인트의 위치를 추정하는 자동화된 데이터 처리 기법을 제안하였다. 따라서 제안한 기법을 이용하면 실내 위치 서비스 도입에 드는 비용과 시간을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2022R1F1A1074502).

## 참고 문헌

- [1] F. Potorti et al., "The IPIN 2019 Indoor Localisation Competition-Description and Results," IEEE Access, vol. 8, pp. 206,674-206,718, Nov. 2020.
- [2] J. Choi, Y.-S. Choi, and S. Talwar, "Unsupervised Learning Technique to Obtain the Coordinates of Wi-Fi Access Points," in Proc. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2019.
- [3] K.-M. Park, E. Lee, J. Choi, and S.-C. Kim "Automated Site Survey for Fingerprints in Fully-Blind Indoor Environments Based on Sensor Integration," IEEE Sensors Letter, 2023.