

다층 건물에서의 무선 앵커 노드 위치 획득을 위한 보행자 수직이동 검출 자동화 기법

안현선, 주수민, 하영훈, 최정식

경북대학교 전자전기공학부

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

An Automatic Method for Vertical Movement Detection of Pedestrians for Wireless Anchor Node Localization in Multi-floor Buildings.

An Hyeon-Seon, Joo Sumin, Ha Young-Hun, Choi Jeongsik

Kyungpook National Univ.

요약

본 논문에서는 보행자가 다층 건물을 이동하며 자연스럽게 얻어지는 센서 데이터를 활용하여 보행자의 층 간 수직이동 시점과 사용한 이동 수단, 상대적인 층 이동 등의 정보를 자동으로 파악한다. 이러한 데이터를 종합하여 다수의 사용자 이동 경로 중에서 같은 층에서의 경로를 그룹화한 뒤, 임의로 절대 층을 부여함으로써 다수의 이동 경로를 층별로 배치할 수 있다. 얻은 층별 이동 경로를 각 층의 수직이동이 가능한 지점에 자동으로 배치하기 위한 비용함수를 정의하고, 이 비용함수를 최소화하는 지점 사이에 이동 경로를 배치함으로써 건물 전체의 다양한 사용자 이동 경로를 정확하게 추정할 수 있도록 한다.

I. 서론

GPS가 동작하지 않는 실내에서 와이파이, 블루투스 등의 무선 신호를 사용하여 사용자의 위치를 추정하는 연구가 활발하게 수행되고 있으나 실제 실내 위치 서비스 도입을 위해서는 실내에 설치된 와이파이 액세스 포인트의 위치 확보 또는 핑거프린트를 위한 데이터베이스 구축 등의 다양한 사전 요소들이 필요하다. [1-2] 이를 해결하기 위하여 GPS 이동 경로를 일부 사용하거나 [3], 실제 건물에서 단층에서의 사용자의 경로만을 배치하는 방식의 연구가 수행되어왔다 [4].

본 논문에서는 이를 간소화하고 다층으로 확장하기 위하여 다층 건물에서 다수의 사용자가 모바일 기기를 소지한 채 자연스럽게 여러 층에 진입하고 이탈하는 상황을 가정한다. 사용자가 이동하며 획득되는 신호들을 이용하여 이동 경로 간의 상대 층을 추정하고, 층별 진입 및 이탈 시점을 토대로 전체 경로를 해당하는 층의 진입, 이탈 시점에 알맞게 배치하는 자동화 기법을 제안한다.

II. 본론

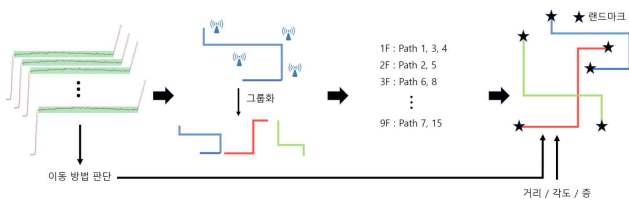


그림1. 제안된 방법의 개요

2.1 수직이동 탐지 및 기준층 진입 및 이탈 시점 파악

실내에서 사용자가 기준층으로 진입하거나 이탈할 수 있는 지점은 수직이동이 가능한 에스컬레이터, 엘리베이터 등 제한적이라는 점에 주목하여, 기압 데이터를 통해 기준층에서의 경로를 추출하고 이를 수직이동이 가능한 두 지점 사이에 적절하게 배치하는 알고리즘을 개발하였다. 그림 2는 에스컬레이터를 통해 특정 층에 진입하여 자유롭게 이동한 후 (① 구간) 엘리

베이터를 통해 다른 층 (② 구간)으로 이동한 후, 다시 에스컬레이터를 통해 다른 층으로 이동한 사용자 경로에서의 기압 데이터 그래프이다. 측정된 기압 값 (raw_air_pressure, 검정선)의 경우 잡음의 영향을 많이 받기 때문에 기압 측정 패턴이 비슷한 구간의 측정값을 piecewise 선형 모델로 근사하여 (filtered_air_pressure, 붉은 선) 인접한 두 구간 사이의 측정 패턴이 달라지는 시간을 층간 이동이 일어나는 시점으로 추정한다. 근사화된 기압 값은 아래 식(1)을 통해 획득한다.

$$\bar{p}(t) = \alpha \bar{p}(t-1) + (1-\alpha)p(t). \quad (1)$$

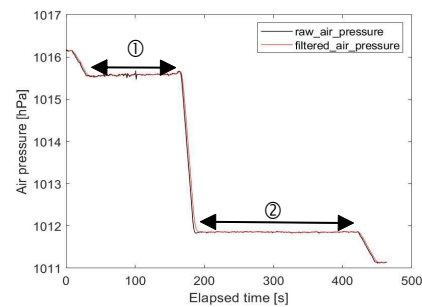


그림2. 층 간 이동에 따른 기압 데이터와 근사화된 기압 데이터

보행자 항법 기법 [5]을 통하여 추정된 사용자의 전체 이동 경로 중 추정된 층간 이동이 일어나는 시점 사이의 경로만 추출하면 기준층에서의 경로가 얻어진다. 따라서 그림 2에서는 2개 층 (①, ② 구간)의 경로를 추출할 수 있다.

2.2 이동 수단 구분 및 상대 층 이동 파악

일반적으로 에스컬레이터의 평균 속도가 엘리베이터의 평균 속도보다 느리다는 점을 이용하면 수직이동 수단을 구분할 수 있다. 층 간 이동이 일어나는 구간에서 기압 그래프 기울기의 절댓값이 더 크면 엘리베이터, 작으면 에스컬레이터로 수직이동 수단을 구분한다. 그림 2와 같이 총 4개

층을 이동하는 데이터의 경우 3번의 수직이동이 발생하는데, 이때 사용자가 상대적으로 몇 층을 이동했는지 각 수직이동 구간에서의 기압 변화를 통해 파악한다. 다수의 사용자 데이터를 사용하기 때문에 엘리베이터의 다양한 기압 변화를 알 수 있으며 이를 종합하여 사용자가 이동한 상대적인 층 개수를 추정할 수 있다. 특히 엘리베이터로 수직이동을 하며 내리지 않아도 멈추거나 다층을 이동하는 데이터의 기압 변화를 활용하면 단층 이동 데이터의 층 이동 추정 정확도를 높일 수 있다.

2.3 동일층 데이터 그룹화

여러 층을 이동한 전체 이동 경로를 층별로 추출한 뒤, 사용자가 이동하며 수집된 신호를 층별로 분석한다. 한 층에 있는 다수의 와이파이 액세스 포인트에서의 수신 신호 세기 및 분포가 같은 층에서 유사하게 측정된다는 점에 근거하여 동일층 데이터를 그룹화한다. 수신 신호 세기의 임계값을 $-45dBm$ 으로 설정하여 임계값보다 절댓값이 큰 신호를 송신하는 액세스 포인트만 비교하여 다수의 액세스 포인트가 함께 측정되는 경우 동일층에서의 이동 경로로 판단한다.

같은 층에서 이동하는 데이터 간의 그룹화를 진행한 후, 이들의 절대적인 층은 임의로 제공하도록 구성하였다. 수집된 모든 데이터 경로에서의 절대적인 층 정보를 이와 같은 과정을 통해 얻어낼 수 있다.

향후 다수의 다층 사용자 이동 경로를 수집하여 전체 층 데이터를 연결함으로써 절대적인 층까지 자동으로 추정될 수 있도록 발전시키고자 한다.

2.4 이동 경로 배치 기법

기압 데이터를 이용해 추출한 단층에서의 이동 경로를 해당 층에 진입하고 이탈한 지점 사이에 적절하게 매칭시키는 비용함수를 설계한다. 비용함수에서는 사용자의 진입 및 이탈 시점 간 헤딩 방향 차이, 사용한 수직이동 수단(예 : 에스컬레이터, 엘리베이터), 층 정보 및 진입 및 이탈 시점 사이의 거리 등의 정보를 사용한다.

먼저 제공된 절대 층 정보를 활용하여 현재 이동 경로에 해당하는 층의 수직이동 지점만 식별한다. 그런 다음 해당 층에 위치한 수직이동 수단(예 : 에스컬레이터, 엘리베이터)만을 고려하여 배치할 수 있는 지점으로 설정한다. 식별된 수직이동 지점 간의 가능한 모든 쌍에 대해 각도 및 거리 차이를 고려한 비용함수를 사용하여 비용을 계산한 후, 비용이 가장 작은 지점 쌍을 해당 층의 진입 및 이탈 지점으로 추정한다.

보행자 항법 기법을 사용하여 얻은 경로에서 사용자의 헤딩 방향을 θ 라고 하면, 특정 층에 진입할 때의 헤딩 방향은 θ_{in} , 이탈할 때의 헤딩 방향은 θ_{out} 으로 정의한다. 특정 층에서 수직이동이 가능한 지점은 총 N 개가 있다고 가정하며, 해당 경로를 n, m 번째의 지점에 배치 시켰을 경우 n 번째 지점으로 진입하는 방향을 θ_n , m 번째로 진입하는 방향을 θ_m 이라 하면 비용함수는 다음과 같이 구성된다.

$$J(n, m) = (\theta_{in} - \theta_{out}) - ((\theta_n + \pi) - \theta_m). \quad (2)$$

2.5 실험 개요

다층 건물 내에서 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해, 가로 약 285m, 세로 100m 규모의 대구 신세계백화점에서 실험을 진행하였다. 지하 1층부터 지상 9층까지의 10층 규모의 건물에서 보행자들이 자유롭게 이동하고 수직이동 하는 상황을 가정하였다. 층별로 2-5쌍의 엘리베이터와 1-3개의 에스컬레이터를 이용하여 수직이동 하였으며, 5명의 사용자가 다수의 실험을 통해 획득한 46개의 이동 데이터를 활용하여 제안된 기법의 정확도를 평가하였다.

2.6 실험 결과 및 분석

기압 데이터를 활용하여 추정한 층 간 이동 시점과 실제 층 간 이동이 발생한 시점을 비교한 결과, 총 46개의 데이터에 대해 0부터 5초까지의 범위에서 평균 2.3초의 오차가 발생했다. 전체 데이터에서는 모든 이동 수단(에스컬레이터, 엘리베이터)과 상대적인 층 이동을 완벽하게 예측하였으며, 와이파이 수신 세기를 통해 같은 층끼리 그룹화한 결과에 대해서도 모든 데이터에 대해 층별로 정확하게 그룹화된 것을 확인하였다.

그림 3은 전체 이동 경로 중에서 단일 층에 해당하는 경로만을 추출하고 해당하는 층의 진입 및 이탈 지점을 추정한 결과를 실내 지도에 알맞게 배치한 것을 보여준다. 수집된 46개의 경로 중 실내 위치 서비스에 적합한 40개의 데이터만 선별하였으며, 추출된 단일 층 경로의 진입 및 이탈 시점은 7개의 데이터를 제외한 모든 경로에서 정확하게 파악되었다. 또한, 층별로 평균 0.7개의 데이터만을 제외하고 모든 데이터의 진입 및 이탈 지점이 정확하게 예측되었음을 알 수 있다. 발생한 7개의 오차 데이터는 엘리베이터에서 사용자가 회전할 때 발생하는 헤딩 방향 오차에 기인하며, 더 많은 사용자 데이터를 획득함으로써 이 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대한다.



그림3. 기준층 이동 경로 배치 결과

III. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 다층 건물의 내부에서 보행자가 여러 층을 이동하며 수집된 레이블이 없는 데이터를 활용하여 사용자의 이동 경로를 층별로 추출하고, 같은 층에 있는 데이터를 모아 상대적인 층을 구분하여 실내 지도 위에 자동으로 배치하는 자동화 기법을 제안하였다. 이를 확장하여 다수의 다층 데이터를 분석함으로써, 절대적인 층 정보 없이도 층을 자동으로 구분하고, 액세스 포인트로부터 수신되는 다양한 신호의 세기를 분석하여 와이파이 액세스 포인트의 위치까지 추정한다면, 실내 위치 서비스 도입에 필요한 비용과 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [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. Jun, L. He, Y. Gu, W. Jiang, G. Kushwaha, V. A. L. Cheng, C. Liu, and T. Zhu, "Low-overhead WiFi fingerprinting," IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 17, no. 3, pp. 500-603, Mar. 2018.
- [3] K. -M. Park, B. -h. Lee, E. Lee, S. -C. Kim and J. Choi, "GPS-Aided Automatic Site Survey Method for WiFi RTT-Based Positioning," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 72, no. 10, pp. 13120-13129, Oct. 2023.
- [4] H. An, H. Gu, S. Joo and J. Choi, "Crowdsourced Wi-Fi Access Point Localization using Vertical Movement Detection," 2023 13th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Nuremberg, Germany, 2023, pp. 1-6.
- [5] W. Kang and Y. Han, "SmartPDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization," IEEE Sensors J., vol. 15, no. 5, pp. 2906-2916, May 2015.