

# 시각장애인을 위한 MaaS 플랫폼을 위한 보행자 추측항법 기반의 가상 마커 활용 실내 위치 추정 알고리즘

김지훈, 정가영, 박소령

가톨릭대학교 정보통신전자공학부

hunlg0605@naver.com, wjdrkdud15@gmail.com, srpark@catholic.ac.kr

## PDR-based Indoor Positioning Algorithm with Virtual Markers for Mobility as a Service Used for the Visually Impaired

Jihun Kim, Gayoung Jung, So Ryoung Park

The Catholic University of Korea

### 요약

이 논문은 시각장애인의 모빌리티 서비스 플랫폼에 활용할 실내 위치 추정 기법을 제안한다. GPS 정보가 정확히 전송되지 않는 실내에서는 위치를 추정하기 위하여 추가 장비를 설치하거나 추가 신호를 송수신하여 위치를 추정하는 데에 정보로 활용한다. 제안하는 실내 위치 추정 기법은 추가 장비나 신호의 송수신 없이 스마트폰을 이용한 보행자 추측항법(Pedestrian Dead Reckoning: PDR)을 기반으로 IMU 센서 데이터를 융합하여 방위각 정보를 얻고, 실내 지도 정보를 기반으로 가상 마커를 설정하여 실내 위치를 보정한다. 총 거리 187.6m의 실내 환경에서 제안한 기법을 사용하였을 때 주행거리 추정오차 5.34%, 평균 위치 오차 1.92m의 결과를 얻었다.

### I. 서론

실내 위치 탐지 및 추정 기술은 위치를 기반으로 한 다양한 실내 서비스를 제공하기 위해 지속적으로 연구되고 있다[1-2]. 교통, 물류, 전자 상거래, 게임, 광고 등 다양한 분야에서 활용할 수 있는 일반인 대상의 위치 기반 서비스도 중요하지만, GPS 정보가 없는 실내에서도 시각장애인에게 신뢰성 있는 길안내를 제공할 수 있는 통합 모빌리티 서비스(Mobility as a Service: MaaS)를 구축하는 것은 사회적 약자에 대한 기술 사각지대 해소의 측면에서 매우 중요하다.

GPS 정보가 정확히 전송되지 않는 실내에서는 위치를 추정하기 위하여 추가 장비를 설치하거나 추가 신호를 송수신하여 위치를 추정하는 데에 정보로 활용하는 경우가 많지만, 추가 장비나 신호의 송수신 없이 스마트폰을 이용하여 실내 위치 추정하는 방법으로 보행자 추측항법(Pedestrian Dead Reckoning: PDR)이 연구되고 있다[3-4].

이 논문에서는 보행자 추측항법을 기반으로 IMU 센서 데이터를 융합하여 방위각 정보를 얻고, 실내 지도 정보를 기반으로 가상 마커(Virtual Marker: VM)를 설정하여 실내 위치를 보정하는 기법을 제안한다.

### II. 제안 기법

제안하는 실내 위치 추정 기법은 방위각 산출과 초기 방위각 보정을 적용한 후, VM을 활용한 위치 보정과 칼만 필터링을 수행한다.

#### 2.1 방위각 산출

먼저, 스마트폰 자이로스코프(gyroscope)의 요우(yaw) 각도를 바탕으로 보행자의 방위각(azimuth) 추출을 위해 사원수(quaternion) 표현과 칼만 필터 기반 센서 융합 기법을 적용한다. 자이로스코프와 가속도계만을

사용하여 짐벌 락(gimbal lock) 문제를 해결하고, 파지 자세 인식 알고리즘을 통해 수직 및 수평 파지 상태에 따라 동적으로 전방 벡터를 선택함으로써 사용자 행동 패턴에 따른 방향 추정을 구현하였다. 기하학적 투영 기법을 통해 3차원 자세 벡터를 수평면으로 투영하여 기기의 기울기에 독립적인 순수 방위각을 산출하였다.

#### 2.2 초기 방위각 보정

방위각과 보폭을 활용하여 실내 위치 좌표  $(x_i, y_i)$ 를 산출한 후에는 극좌표 기반 회전 보정 알고리즘을 적용하여 초기 방위각 오차를 제거한다. 직교좌표  $(x_i, y_i)$ 를 거리  $r_i$ 와 방위각  $\theta_i$ 를 사용한 극좌표  $(r_i, \theta_i)$ 로 변환하고 초기 위치에서 정면을 향하여 출발하는 것을 기본으로 하여 전체 방위각을 보정한 후 다시 직교좌표  $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 로 변환한다..

#### 2.3 VM 활용 위치 보정

VM을 따라 길을 안내하는 실내 내비게이션 시스템을 가정하여, 사용자의 위치  $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 가 VM의 일정 반경  $R_{VM}$  이내에 들어올 경우 해당 VM의 상태를 OFF에서 ON으로 변화시키며 경로를 진행한다.

사용자의 위치가 모퉁이(corner)에 해당하는 VM이 아님에도 불구하고 방위각의 변화가 일정 크기 이상일 경우, 진행 방향에 가장 가까운 모퉁이의 VM으로 사용자의 위치를 이동하여 거리를 보정하고, 다음 모퉁이의 VM과의 각도를 계산하여 방위각을 보정하여 좌표  $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 를 얻는다.

#### 2.4 칼만 필터

거리와 방위각을 보정한 좌표  $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 에 칼만 필터를 적용하여 모퉁이의 VM으로 강제 이동할 때의 불연속 현상과 잡음을 보완하고 최종 위치

추정 좌표  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ 를 얻는다.

목적지에 해당하는 경로 상의 마지막 VM에 도달하면 RMS(root mean square)로 측정한 평균 위치 오차(average position error)와 총 거리와 추정 주행거리의 오차 비율(error ratio between total and estimated distances)을 구하여 성능을 평가한다.

### III. 실험 결과

그림 1의 실내 복도 환경에서 왼쪽 아래 출입구에서 시작하여 건물을 한 바퀴 돌아 제자리로 돌아오는 경로를 실험 구간으로 설정하였고, 이러한 실험 경로에서 초기 설정되는 VM을 그림 2와 그림 3에서 파란색 동그라미로 표현하여 나타내었다.

그림 2의 검은색 점선은 2.1절까지의 방위각 산출 결과를, 붉은색 실선은 2.2절 초기 방위각 보정까지의 결과를 경로 상에 표현한 것이다. 이 실험 결과로 알 수 있듯이, 초기 방위각 보정만으로는 경로를 진행하면서 발생하는 보폭 추정 오차와 방위각 뒤틀림 현상을 해결할 수 없다.

그림 3에서 노란색 실선은 2.3절 VM을 활용한 위치 보정까지의 결과를, 분홍색 실선은 2.4절까지인 최종 위치 추정의 결과를 경로 상에 나타내었다. 이 그림에서 최종 위치 추정 결과는 보폭 추정 오차와 방위각 뒤틀림 현상을 모두 보정하여 그 경로가 VM을 따라 진행하는 것을 볼 수 있다. VM의 반경  $R_{VM}$ 을 2m로 설정하였을 때 최종 목적지의 VM까지 도착하였으며, 이때 평균 위치 오차는 1.92m, 주행거리 오차 비율은 5.34%를 얻었다.

### IV. 결론

제안하는 실내 위치 추정 기법은 추가 장비나 신호의 송수신 없이 스마트폰을 이용한 보행자 추측항법을 기반으로 IMU 센서 데이터를 융합하여 방위각 정보를 얻고, 실내 지도 정보를 기반으로 가상 마커를 설정하여 실내 위치를 보정한다. 총 거리 187.6m의 실내 환경에서 제안한 기법을 사용하였을 때 주행거리 추정오차 5.34%, 평균 위치 오차 1.92m의 결과를 얻었다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025년 경기도 RnD 첫걸음 기업연구소 지원사업(과제번호 D2505032)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. Singh, S. Choe, and R. Punmiya, "Machine learning based indoor localization using wi-fi RSSI fingerprints: An overview," IEEE Access, vol. 9, pp. 127150-127174, Sep. 2021.
- [2] R. H. Kim, S. H. Oh, and J. G. Kim, "Development of an indoor positioning platform for mobile devices based on BLE and WkNN method," J. KICS, vol. 47, no. 9, pp. 1406-1419, Sep. 2022.
- [3] G. Zhao, X. Wang, H. Zhao, and Z. Jiang, "An improved pedestrian dead reckoning algorithm based on smartphone built-in MEMS sensors" Int. J. Electron. Commun., vol. 168, no. 154674, pp. 1-13, Aug. 2023.
- [4] S. Bai, W. Wen, L.-T. Hsu, and P. Yang, "Factor graph optimization-based smartphone IMU-only indoor SLAM with

multihypothesis turning behavior loop closures," IEEE Trans. Aeros. Electr. Syst., vol. 60, no. 6, pp. 8380-8400, Dec. 2024.

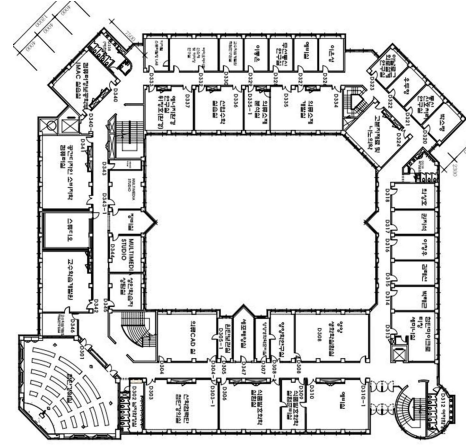


그림 1. 실험 환경 지도 정보

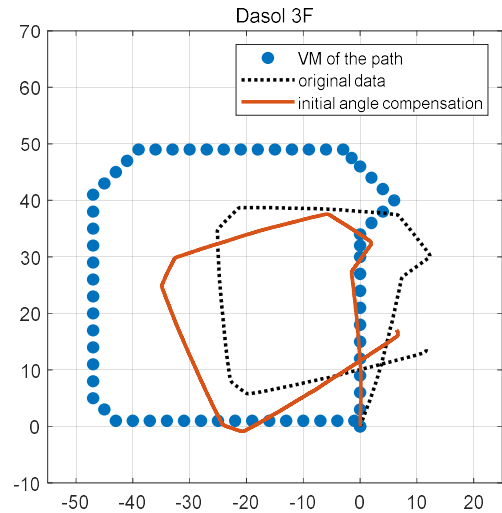


그림 2. VM 위치 설정과 초기 각도 보정 결과

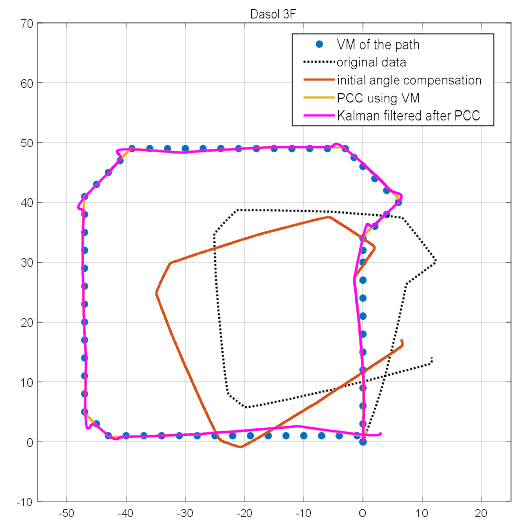


그림 3. 제안한 실내 위치 추정 기법 결과