

극좌표 회전 보정과 개선된 보폭 추정 알고리즘을 적용한 보행자 추측항법 기반 실내 위치 추정 기법

박영준, 한도희, 박소령

가톨릭대학교 정보통신전자공학부

daniel13518@catholic.ac.kr, handohhee@naver.com, srpark@catholic.ac.kr

PDR-based Indoor Positioning Schemes Using Polar Coordinate Correction and Improved Stride Estimation

Youngjun Park, Doh Hee Han, So Ryoung Park

The Catholic University of Korea

요약

이 논문은 극좌표 기반의 회전 보정 알고리즘과 개선된 보폭 추정 알고리즘을 활용하여 보행자 추측항법(Pedestrian Dead Reckoning: PDR) 기반 실내 위치 추정의 정확도를 높이는 기법을 제안한다. 제안하는 실내 위치 추정 기법은 방위각 산출, 보폭 추정, 회전 보정의 세 가지 핵심 기술로 구성된다. 세 가지 기술을 모두 적용한 제안 방식은 약 46m 경로에서 실험하여 평균 위치 오차 0.99m, 총 거리에 대한 추정 주행거리 오차의 비율 0.50%의 성능을 보였다.

I. 서론

전 세계에는 약 2억 8,500만 명의 시각장애인이 있으며 이 수치는 고령화 사회로의 진입에 따라 지속적으로 증가하여 향후 40년 내 약 3배까지 증가할 것으로 WHO는 보고하고 있다. 보건복지부에 따르면 국내의 경우에도 약 25만 명의 시각장애인이 등록되어 있으며, 이들을 위한 보행 지원 기술과 스마트 모빌리티 수요도 꾸준히 증가하고 있다.

이러한 추세는 장애인의 이동권을 보장하고자 하는 정부의 정보통신 보조기기 보급 사업 및 디지털 뉴딜 정책과 맞물려 있어서, 실외뿐만 아니라 실내에서도 시각장애인에게 안심 내비게이션 서비스를 제공할 수 있는 보조기기 및 플랫폼 개발이 필요하다. 이 연구에서는 보행자 추측항법(Pedestrian Dead Reckoning: PDR) 기반의 위치 추정 및 추적 알고리즘 [1-3]과 측위 보정 기술을 개발하여 시각장애인에게 저비용으로 신뢰성 있는 내비게이션 서비스를 구현하는 것을 최종 목표로 한다.

이 논문에서는 실내 안심 내비게이션 서비스를 구현하는 데에 필요한 보행자 추측항법 기반의 실내 위치 추정 기법을 제안한다.

II. 제안 기법

제안하는 실내 위치 추정 기법은 방위각 산출, 보폭 추정, 회전 보정의 세 가지 핵심 기술로 구성된다.

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 폴리 상태에 따라 동적으로 전방 벡터를 선택함으

로써 사용자 행동 패턴에 따른 방향 추정을 구현하였다. 특히 시각장애인 이 스마트 지팡이를 들고 실내를 이용하기 때문에 스마트폰은 목에 걸려 있는 상태를 기본으로 가정하며, 기하학적 투영 기법을 통해 3차원 자세 벡터를 수평면으로 투영하여 기기의 기울기에 독립적인 순수 방위각을 산출하였다.

2.2 보폭 추정

보폭 추정에 활용하는 Weinberg 모델은 보행 중 발생하는 신체의 수직 변위가 보폭과 비례한다는 생체역학적 가설에 기반한다. 보행 시 상하 움직임은 가속도 센서의 수직 성분으로 관측될 수 있으며, 이를 통해 보폭을 아래와 같이 추정하는 방법이다[2].

$$L_{Weinberg} = K \sqrt{a_{\max} - a_{\min}}$$

여기서 a_{\max} 은 단일 걸음 주기 내 수직 가속도의 최댓값, a_{\min} 은 단일 걸음 주기 내 수직 가속도의 최솟값, K 는 추정 상수이다.

이 논문에서는 보폭 추정의 정확도를 향상시키기 위해 Weinberg 모델을 기반으로 3단계 개선 알고리즘을 설계하였다. 피크 도메인과 시간 도메인의 이중 도메인 분석을 통해 정확한 걸음 검출을 수행하고, 키(h) 기반 파라미터 적용($K = 0.21 \times h/100$)으로 사용자 간 편차를 최소화하였다. 또한 과거 3걸음의 평균을 현재 추정에 반영함으로써 센서 잡음으로 인한 급격한 변동을 억제하였다.

2.3 회전 보정

방위각과 보폭을 활용하여 실내 위치 데카르트 좌표 (x_i, y_i) 를 산출한 후에는 극좌표 기반 회전 보정 알고리즘을 적용하여 초기 방위각 오차를 제거한다. 데카르트 좌표 (x_i, y_i) 를 거리 r_i 과 방위각 θ_i 를 사용한 극좌표 (r_i, θ_i) 로 변환하고 초기 위치에서 정면을 향하여 출발하는 것을 기본

으로 하여 전체 방위각을 보정한다.

III. 실험 결과

제안한 기법의 성능을 검증하기 위해 실내 환경에서 약 46m의 복합 경로(3개 회전점 포함)를 대상으로 실험을 수행하였다. 위치 추정의 성능은 RMS(root mean square)로 측정한 평균 위치 오차(Average Position Error: APE)와 총 거리에 대한 추정 주행거리 오차의 비율(Error in Total Traveled Distance: eTTD)로 평가하였다.

방위각 데이터를 기반으로 고정 이동속도를 적용하는 방식과 Weinberg 모델을 개선한 걸음 검출 기반의 보폭 추정 방식을 최종 위치 보정까지 수행한 제안 방식과 성능을 비교하였다. 표 1에 각 방식의 APE와 eTTD를 수치로 나타내었고, 그림 1-3에 실제 경로 상의 주요 위치를 파란색으로, 각 방식의 위치 추정 결과를 실선으로 경로 상에 나타내었다.

실험 결과, 고정속도 방식은 APE 3.27m, eTTD 7.26%의 성능을 보인 반면, 걸음 검출 기반 보폭 추정 방식은 APE 2.43m, eTTD 4.22%로 각각 25.7%, 41.9%의 개선을 보였다. 최종 제안 방식은 APE 0.99m, eTTD 0.50%의 성능을 보였고, 이러한 결과는 약 46m 경로에서 누적 오차가 23cm 수준에 불과함을 의미한다.

성능 개선의 주요 요인을 분석하면, 첫째, 걸음 검출 기반의 보폭 추정이 고정 이동속도 가정보다 사용자의 실제 보행 패턴을 정밀하게 반영하였다는 점, 둘째, 3단계 보폭 추정 개선과 칼만 필터의 이중 잡음 제거 구조가 센서 잡음에 대한 강건성을 확보하였다는 점, 셋째, 극좌표 기반 회전 보정이 초기 정렬 오차를 효과적으로 제거하였다는 점을 들 수 있다.

IV. 결론

이 논문은 극좌표 기반의 회전 보정 알고리즘과 개선된 보폭 추정 알고리즘을 활용하여 보행자 추측항법 기반 실내 위치 추정 기법을 제안하여 위치 추정의 정확도를 높였다.

추후 장거리 보행 시 사이로스코프 바이어스와 보폭 추정 오차의 누적으로 인해 성능이 저하될 가능성이 있으므로, 보행 주기 기반의 바이어스 제추정 알고리즘을 도입하여 장시간 안정성을 확보하는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025년 창업성장기술개발사업(디딤돌) RS-2025-16065480의 위탁연구 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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. Aerosp. Electr. Syst.*, vol. 60, no. 6, pp. 8380–8400, Dec. 2024.

표 1. 실내 위치 추정 기법의 성능 비교

실내 위치 추정 기법	APE (m)	eTTD (%)
방위각 검출 기반 고정속도 방식	3.27	7.26
걸음 검출 기반 보폭 추정 방식	2.43	4.22
제안한 방식	0.99	0.50

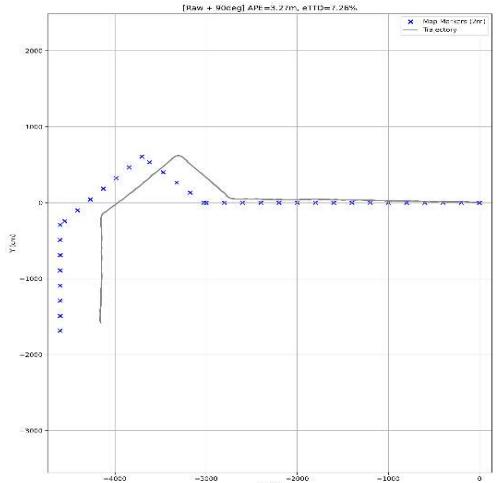


그림 1. 방위각 검출 기반 고정속도 방식의 실험 결과

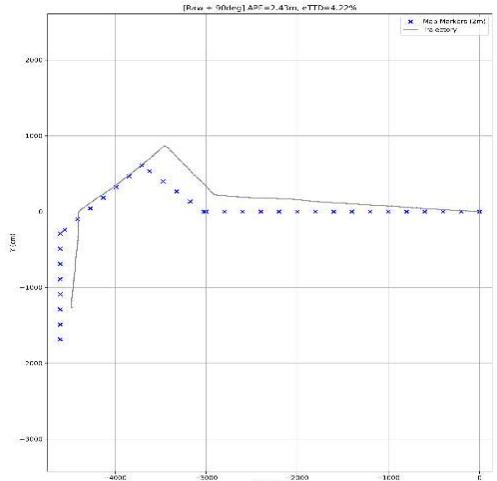


그림 2. 걸음 검출 기반 보폭 추정 방식[3]의 실험 결과

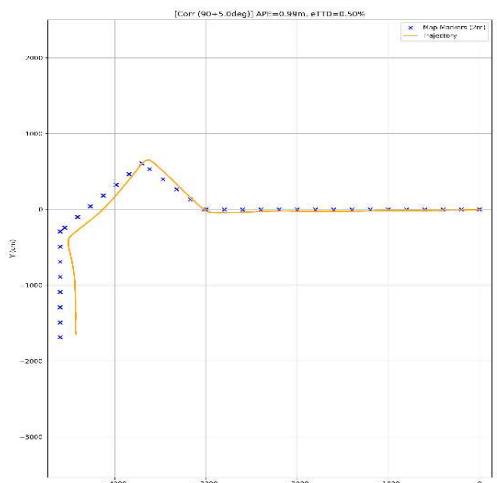


그림 3. 제안한 보정 방식의 실험 결과