

스마트폰 기반 보행자 추측 항법(PDR)에서 보행 중 스마트폰 파지 상태 변화 시점 인식 기법

윤동근, 최린*
고려대학교 전기전자공학과

hmhmind314@korea.ac.kr, *lchoi@kroea.ac.kr

Detection of turning point for smartphone carrying position during Pedestrian Dead Reckoning

Dong-Geun Yun, Lynn Choi*
Korea University School of Electrical Engineering.

요약

본 논문에서는 스마트폰 기반 보행자 추측 항법(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)에서 보행 중 발생하는 스마트폰 파지 상태 변화 시점을 인식하는 기법을 제안한다. 기존 PDR 연구는 특정 파지 상태를 가정하거나 파지 상태별 모델을 적용하는 방식이 주를 이루어, 실제 보행 중 발생하는 파지 상태 변화에 취약하다는 한계를 가진다. 본 연구에서는 파지 상태 변화 시 가속도계 및 자이로스코프 센서 신호에서 나타나는 일시적인 변동성 증가와 패턴 변화에 주목하고, 시간 윈도우 내 신호 변화량과 분산을 이용한 변화 시점 검출 기법을 설계하였다. 실험 결과, 제안한 방법은 별도의 학습이나 추가 인프라 없이 보행 중 파지 상태 변화 구간을 안정적으로 검출할 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

스마트폰의 보급과 함께 위치 기반 서비스(Location-Based Service)에 대한 수요가 실외 환경을 넘어 실내 환경으로 확대되고 있다^{[1][2]}. 그러나 실외에서 보편적으로 사용되는 GPS는 실내에서의 사용이 제한되기 때문에 실내 환경에서는 주로 보행자 추측 항법을 사용하여 상대 위치를 추정한다^[3]. 스마트폰 기반 보행자 추측 항법은 스마트폰에 내장된 가속도계와 자이로스코프 등의 센서를 이용하여 보행자의 이동 거리^[4]와 방향을 추정하는 방법으로 별도의 인프라 구축 없이 연속적인 위치 추정이 가능하다. 그러나 스마트폰 기반 PDR의 성능은 사용자의 스마트폰 파지 상태에 크게 의존한다^[5].

스마트폰을 손에 들고 보행하는 경우, 바지 주머니에 넣을 때의 경우 등의 경우 가속도 및 회전 센서의 양상이 상이하게 나타나 이러한 파지 상태 변화를 인식하지 못하면 시스템에 전체적인 오차가 발생할 가능성이 높다. 기존 연구에서는 이러한 파지 상태의 영향을 고려하여 특정 파지 상태를 가정한 후 상태별 보폭, 걸음 인식, 이동 방향 모델을 적용하는 방식이 주로 사용되어왔다.

그러나 실제 보행 환경에서는 보행 중 스마트폰의 파지 상태를 자연스럽게 변경하는 경우가 빈번하며, 따라서 파지 상태 변화가 발생하는 시점을 정확히 인식하는 것이 PDR 시스템의 안정성을 위해 중요한 문제로 대두된다.

따라서 본 논문에서는 스마트폰 기반 보행자 추측 항법에서 보행 중 발생하는 스마트폰 파지 상태 변화 시점을 인식하기 위한 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 II장에서 센서 데이터 구성과 파지 상태 변화 인식 기법을 설명하고, III장에서 결론을 맺는다.

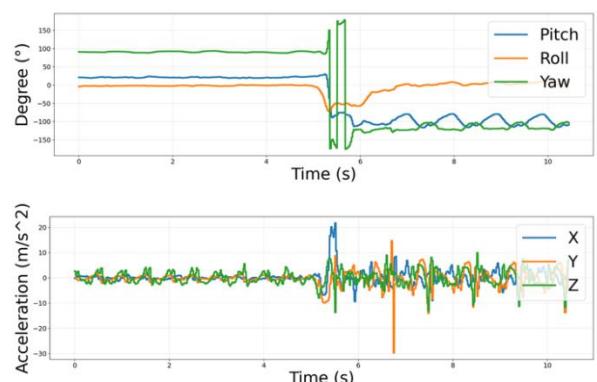
II. 본론

2.1 실험 보행 데이터

본 연구에서는 스마트폰 기반 보행자 추측 항법 환경에서 보행 중 스마트폰 파지 상태 변화에 따른 센서 신호 특성을 분석하기 위해, 스마트폰에 내장된 가속도계 및 자이로스코프 센서 데이터를 수집하였다.

실험은 직선 복도를 따라 일반적인 보폭(0.6m)과 속도(0.7s/step)로 사용자가 보행 중 스마트폰(갤럭시 S25)을 최초 파지 상태를 유지하다가 임의의 시점에서 파지 상태를 변경하도록 하였다.

파지 상태 변화가 발생하지 않는 정상 보행 구간과 파지 상태가 변화하는 시점의 특징적인 패턴을 관찰할 수 있다.



[그림 1] 상태 변화시의 자이로스코프, 가속도 데이터

2.2 파지 상태 변화 시점 인식

본 논문에서는 가속도 및 자이로스코프 센서 데이터의 변화 패턴을 이용하여 보행 중 스마트폰 파지 상태 변화가 발생하는 시점을 인식하는 기법을 제안한다. 파지 상태에 따라 센서 신호의 절대 크기는 상이하므로, 본 연구에서는 시간에 따른 변화량과 변동성을 중심으로 판단하도록 설계되었다.

$$S_i^{(k)} = \{x_i^{(k)}(1), \dots, x_i^{(k)}(N)\} \quad (1)$$

$$d_i^{(k)} = \max S_i^{(k)} - \min S_i^{(k)} \quad (2)$$

$$\Delta d_i^{(k)} = |d_i^{(k)} - d_i^{(k-1)}| \quad (3)$$

$$\Delta d_0^{(k)} > \theta_0 \wedge \Delta d_1^{(k)} > \theta_1 \quad (4)$$

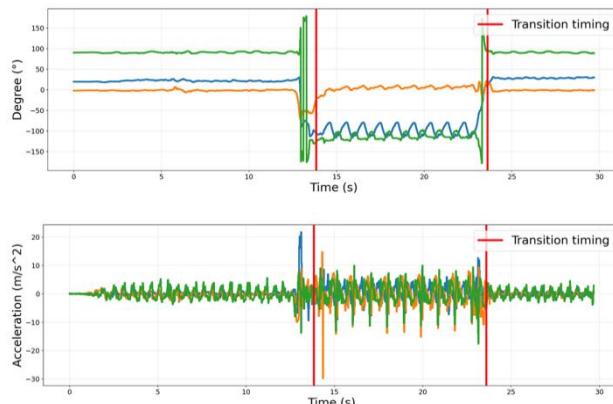
식 (1)의 $S_i^{(k)}$ 는 시간 윈도우 내 샘플 집합을 의미하고

식 (2)의 $d_i^{(k)}$ 는 해당 집합의 최대 최소 범위를 나타낸다.

식 (4)에서 사용된 θ_0, θ_1 는 경험적 임계값을 사용하였다.

보행 구간에 대해서 일정 시간 윈도우 내 센서 신호의 분산 및 변화량을 계산한다. 파지 상태가 변화하는 시점에 회전 센서 신호의 변화량이 급격히 증가하며 가속도 센서 신호의 규칙성이 무너져 일시적으로 불규칙한 패턴을 보이게 된다.

이러한 특성을 이용하여 실험을 통해 구한 경험적 임계값을 초과한 경우 파지 상태 변화 시점으로 판단한다.



[그림 2] 상태 변화 완료 시점 탐지

[그림 2]는 일반 파지에서 바지 주머니로, 이어서 다시 일반 파지로 파지 상태를 변화하며 걷는 실험에서 상태 변화로 인식된 시점을 시작화 한 자료이다. 제안한 기법이 상태 변화가 완료된 시점을 인식할 수 있음을 보인다.

III. 결론

본 논문에서는 스마트폰 기반 보행자 추측 항법 환경에서 보행 중 발생하는 스마트폰 파지 상태 변화

인식 기법을 제안하였다. 가속도계 및 자이로스코프 센서 데이터를 분석하여 파지 상태 시 나타나는 센서 신호의 특성을 확인하였으며, 이를 기반으로 파지 상태 변화 발생 시점을 효과적으로 검출할 수 있는 방법을 설계하였다.

제안한 기법은 별도의 추가 인프라나 학습 과정 없이 구현 가능하며, 실시간 PDR 시스템에 적용할 수 있다는 장점을 가진다. 본 연구 결과는 향후 파지 상태에 적응적인 보행자 추측 항법 알고리즘 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부 디지털 기반 건축시공 및 안전감리 기술개발 사업의 연구비지원 (RS-2022-00143493)에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 이상우, and 김선우. "실내 위치측위 기술 동향 및 전망." *한국통신학회지* (정보와통신) 32, no. 2 (2015): 81-88.
- [2] Seong, J. W., 손원준, & Choi, L. (2023-11-22). "Indoor Smart Navigation for the Transportation Vulnerable in Stations." *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, 경북.
- [3] T. Min and L. Choi, "Step Length Estimation for Pedestrian Dead Reckoning," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 1126-1127, 강원, 2019-01-23.
- [4] J.-G. Kang, "A study on the design and implementation of a position tracking system using acceleration-gyro sensor fusion," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 28, no. 1, pp. 49-54, 2023. (<https://doi.org/10.9708/jksci.2023.28.01.049>)
- [5] I. Klein, "Pedestrian inertial navigation: An overview of model and data-driven approaches," *Results in Engineering*, vol. 25, p. 104077, 2025. (<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104077>)