

관성 센서 기반 보행자 추측 방법의 헤딩 오프셋 추정

이은지, 이병호, 박경민 김성철
서울대학교 전기정보공학부,

{ej9309, bhlee, rudals319, sckim}@maxwell.snu.ac.kr

Heading Offset Estimation of Inertial Sensor based Pedestrian Dead Reckoning

Lee Eunji, Lee Byeong-ho, Park Kyoung-Min, Kim Seong-Cheol

Department of Electrical and Computer Engineering, and Institute of New Media & Communication, Seoul National University

요약

본 논문은 실내에서 관성 센서 기반 보행자 추측 방법을 이용할 때, 단말의 방향과 보행자의 이동 방향이 일치하지 않는 헤딩 오프셋 문제를 해결하기 위한 해석적 방법을 제안한다. 기존 연구와 달리 보행자의 지자기 센서를 이용하지 않고, 가속도 센서와 각속도 센서만을 이용하여 보행자의 이동 방향과 단말 방향 사이의 각도 차이인 헤딩 오프셋을 추정하는 하이브리드 INS-PDR 기법을 제시했다. 측정 데이터를 이용해 분석했을 때, 제안한 방법을 통해 보행자의 경로 추정 정확도를 높일 수 있음을 보였다.

I. 서론

무선 이동통신이 발달함에 따라 휴대용 이동통신 단말은 통신 성능뿐 만이 아니라 통신을 활용한 여러 애플리케이션을 수행할 수 있는 스마트기기로 진화했다. 특히, 보행자의 변화하는 위치에 따라 특정 정보를 제공하는 위치기반서비스(Location-based service, LBS)는 이동통신 분야의 주요한 애플리케이션으로 지도 및 주변 교통 정보 제공, 위치 기반 광고 마케팅 및 소셜, 게임 등의 서비스 등으로 활용 가능하다. 이러한 LBS를 위해 정밀한 위치 추정 기법이 필요하다.

실외에서는 주로 GPS 신호를 사용하여, 실내에서는 Wi-Fi, Bluetooth, UWB, ultrasound 등을 이용하여 단말을 가진 보행자의 위치를 추정한다[1]. 그러나 실내의 공간 특성상 많은 사람들이 돌아다니고, 실내 물건들의 자리 배치가 유동적일 수 있다는 점 등으로 인해 전파를 이용한 위치 추정의 정확도는 다소 부정확하다. 정확도를 향상시키는 보조적 측면에서 단말 내부에 있는 센서들을 이용하여 보행자의 위치를 추정하는 보행자 추측 방법(Pedestrian Dead Reckoning, PDR) 기법에 대한 연구가 진행되어 왔다.

보행자 추측 방법은 과거 위치와 이동 방향, 이동 거리를 기반으로 현재 위치를 추정하는 방법이다. 단말에 내장된 가속도 센서, 자이로 센서, 지자기 센서 등을 이용하여 보행자의 걸음 순간을 추정하고, 매 걸음 순간마다 이동 방향과 걸음 거리를 추정하여 다음 위치를 추정할 수 있다. 보편적으로 보행자의 이동 방향은 단말의 방향과 동일시한다. 그러나 보행자가 일직선으로 걷는 동안 단말을 드는 습관에 따라서 보행자의 방향과 단말의 방향이 일치하지 않을 수 있다. 이 경우, 두 방향의 각도가 5°만 틀어져도 100 m를 이동했을 때 실제 위치와 추정 위치는 8 m 이상 차이가 나게 된다. 따라서, 두 방향이 일치하지 않을 때 보행자의 이동 방향을 추정하는 연구가 진행되었고, 많은 연구에서 지자기 센서를 이용하여 [2] 지구의 북극을 기준으로 보행자의 이동 방향을 추정했다. 그러나

실내에서는 여러 가지 방해 요소로 인해 지자기 센서 값이 부정확하다. 본 논문에서는 실내에서 지자기 센서를 이용하지 않고 가속도 센서와 자이로 센서만을 이용해 보행자의 이동 방향과 단말의 방향 사이의 각도 오차를 추정하는 방법을 제안함으로써 보행자의 정확한 이동 경로를 추정하는 연구를 진행하였다.

본 논문은 2장에서 제안하고자 하는 Hybrid INS-PDR 기법에 대해 소개하고 3장에서는 실제 측정 실험에서 얻은 데이터를 이용해 분석한 결과를 보인 후, 4장에서 결론을 내린다.

II. Hybrid INS-PDR 기법

본 논문에서 보행자는 위치기반서비스를 이용하기 위해 단말을 가슴 높이에서 화면이 지면과 평형을 이루도록 들고 있다고 가정하였고, 보행자의 걸음 순간 추정은 가속도 센서의 z 값을 이용해 추정하였다. 보행자는 일정한 속도와 보폭으로 걷고 있다고 가정하였다.

기본적인 PDR 모델은 다음 식과 같다.

$$\mathbf{p}^{(k+1)} = \mathbf{p}^{(k)} + \mathbf{s}^{(k+1)} \begin{bmatrix} -\sin \theta^{(k)} \\ \cos \theta^{(k)} \end{bmatrix}$$

여기서, $\theta^{(k)}$ 는 기준 좌표계의 y 축 대비 단말의 y 축이 틀어져 있는 각도를 나타내며, $\mathbf{p}^{(k)}$ 는 k 번째 걸음 이후 보행자의 지표면 위에서의 위치를 나타내고, $\mathbf{s}^{(k+1)}$ 는 $(k+1)$ 번째 걸음의 걸음 길이를 나타낸다.

그러나 단말의 방향과 보행자의 이동 방향이 다를 경우, PDR 모델은 다음과 같이 수정되어야 한다.

$$\tilde{\mathbf{p}}^{(k+1)} = \tilde{\mathbf{p}}^{(k)} + \mathbf{s}^{(k+1)} \begin{bmatrix} -\sin(\theta^{(k)} + \Delta\theta^{(k)}) \\ \cos(\theta^{(k)} + \Delta\theta^{(k)}) \end{bmatrix}$$

$\Delta\theta^{(k)}$ 는 보행자의 이동 방향과 단말 방향 사이의 각도를 나타내며, 헤딩 오프셋이라고 부르기로 한다 (그림 1). $\tilde{\mathbf{p}}^{(k)}$ 는 헤딩 오프셋을 반영한 보행자의 k 번째 걸음 이후 보행자의 지표면 위에서의 위치를 나타낸다.

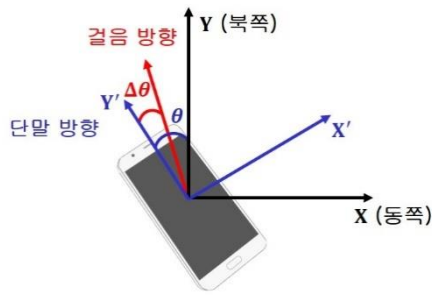


그림 1. 헤딩 오프셋

PDR 을 이용해 k 번째 걸음과 $(k+1)$ 번째 걸음 사이의 위치 변화는 다음과 같이 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta \mathbf{P}_{\text{PDR}}^{(k+1)} = s^{(k+1)} \begin{bmatrix} -\sin \Delta \theta^{(k)} \\ \cos \Delta \theta^{(k)} \end{bmatrix}$$

가속도 값을 한 번 적분하면 속도, 두 번 적분하면 이동 거리임을 이용하면 관성 센서 측정값을 이용하여 구한 k 번째 걸음과 $(k+1)$ 번째 걸음 사이의 위치 변화를 다음과 같이 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta \mathbf{P}_{\text{INS}}^{(k+1)} = \mathbf{v}(t_k)(t_{k+1} - t_k) + \int \int_{t_k}^t \mathbf{a}(\tau) d\tau$$

여기서, $\mathbf{v}(t_k)$ 는 t_k 시간에서의 초기 속도, t_k 는 k 번째 걸음 순간의 시간, $\mathbf{a}(\tau)$ 는 시간 τ 일 때 가속도 센서에서 측정된 지표면 기준 가속도 값을 나타낸다. PDR 기법으로 구한 보행자의 위치 변화는 관성 센서 값을 이용하여 구한 보행자의 위치 변화와 동일해야 하므로

$$\Delta \mathbf{P}_{\text{PDR}}^{(k+1)} = \Delta \mathbf{P}_{\text{INS}}^{(k+1)}$$

이고, $\int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{a}(\tau) d\tau = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix}$ 으로 나타낼 때, 수식을 정리하여 k 번째 헤딩 오프셋을 구하면 다음과 같다.

$$\Delta \theta^{(k)} = \tan^{-1} \left(\frac{a_x}{a_y} \right)$$

III. 헤딩 오프셋 추정 실험

서울대학교 302동 5층 복도에서 45m의 정해진 직선 경로를 각기 다른 헤딩 오프셋을 주어 직접 가속도 센서 값, 자이로 센서 값을 취득했다. 단말은 Google Pixel 4a 를 사용했고, android 애플리케이션을 자체 제작하여 해당 센서 값들을 취득하였다. 보행자의 이동 방향을 기준으로 단말의 방향이 왼쪽이라면 'L', 오른쪽이라면 'R'을 사용하고 해당 방향으로 틀어진 각도를 적어 표기하였다.

IV. 결론

본논문에서는 관성 센서 기반 보행자 추측 방법의 헤딩 오프셋을 추정하는 하이브리드 기법을 제안하였다. 헤딩 오프셋이 왼쪽으로 주어질 때는 약 11m 이내로 추정하였다. 또한, R30, R40 의 경우를 제외하고는 보정 후 위치가 실제 위치에서 좌우로 10 m 반경 이내에 위치하였다. 그러나 헤딩 오프셋이 R30, R40 인 경우는 완전히 다른 경로로 추정되었다. 우리가 제안한 방법이 모든 헤딩 오프셋 각도에 대해 좋은 성능을 내지 않아

다른 방법이 필요하다고 결론지었다. 추후 연구를 통해 이 기법을 보완하거나 다른 기법을 연구하고자 한다.

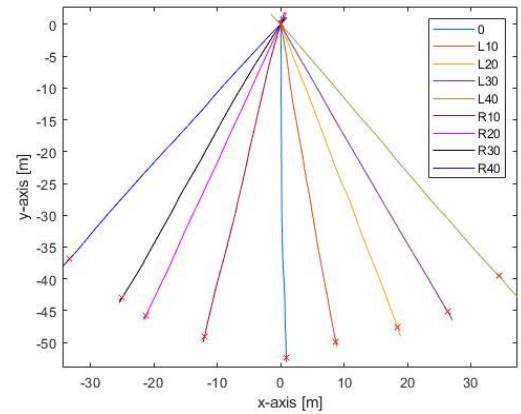


그림 2. 다양한 헤딩 오프셋으로 걸었을 때 추정 경로

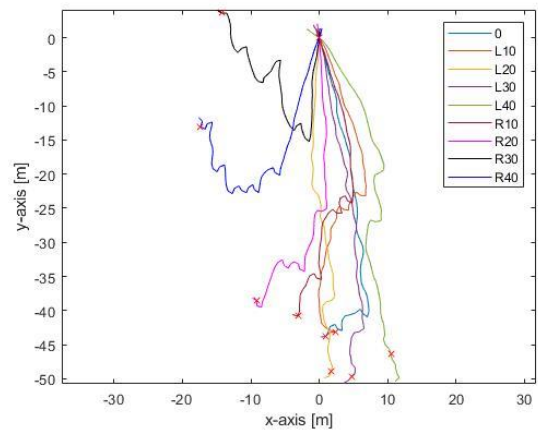


그림 3. 추정된 헤딩 오프셋으로 추정 경로를 보정한 후

헤딩 오프셋	0	L10	L20	L30	L40
거리오차 (m)	1.552	2.986	4.285	6.663	10.574
헤딩 오프셋	R10	R20	R30	R40	
거리오차 (m)	5.225	11.129	50.682	36.378	

표 1. 헤딩 오프셋에 따른 실제 경로와의 거리 오차

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Brain Korea 21 Plus Project in 2021.

참 고 문 헌

- [1] Zafari, Faheem, Athanasios Gkelias, and Kin K. Leung. "A survey of indoor localization systems and technologies." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 21.3 (2019): 2568-2599.
- [2] Abadi, Marzieh Jalal, et al. "A collaborative approach to heading estimation for smartphone-based PDR indoor localisation." *2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*. IEEE, 2014.