DBpia

논문 21-46-03-15 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '21-03 Vol.46 No.03
https://doi.org/10.7840/kics.2021.46.3.536

iBeacon 신호 보정을 통한 스마트폰 기반 실내 측위

비덕투안◆, 응웬뚜랑녹*, 김 관 수*, 신 요 안°

Indoor Smartphone-based Localization with iBeacon Signal Corrections

Tuan D. Vy◆, Thu L. N. Nguyen*, Kwan-Soo Kim*, Yoan Shin°

요 약

본 논문에서는 iBeacon과 스마트폰, 특히 iPhone 기반의 보행자 추측 항법 (Pedestrian Dead Reckoning; PDR)을 이용하는 지능형 하이브리드 실내 측위 시스템을 제안한다. iPhone은 향상된 PDR을 사용하여 초기 위치를 찾는 동시에 iBeacon 정보를 통합하여 위치를 보정한다. 전형적인 대학교 건물 내에서 진행한 실험을 통해 제안 기법이 기존 기법보다 정확도 높은 측위 성능을 갖는 것을 확인하였다.

Key Words : iPhone, indoor localization, nertial measurement unit, pedestrian dead reckoning, iBeacon, correction

ABSTRACT

In this paper, we propose an intelligent hybrid indoor localization system that leverages the information between iBeacon signals and pedestrian dead reckoning (PDR) for smartphones, especially for iPhones. The iPhone exploits an improved PDR to localize itself, while incorporating iBeacon information for initial location correction. Experiment results inside a typical university building show that our proposed scheme is more accurate and robust compared to the conventional schemes.

Ⅰ. 서 론

측위 (Localization) 기술의 고도화에 따라 실내에서 사용자 위치를 실시간으로 추적하여 위치 기반 서비스를 제공하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 실내 측위 기술은 실내 환경에서 다양한 무선 신호 및 센서 신호 등을 사용해 움직이는 물체의 위치를 지속적이고 정확하게 식별하는 것을 목표로 한다. 최근에는 에너지 효율이 높고 저가인 Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon을 활용해 Room-Level 측위 정밀도를 갖는 측위 기법들도 개발되고 있다[1].

본 논문에서는 스마트폰에 내장된 관성 측정 유닛 (Inertial Measurement Unit; IMU)을 이용하는 보행자 추측 항법 (Pedestrian Dead Reckoning; PDR)과 Beacon 신호 기반 실내 측위 기법의 융합을 통한 성능 향상 방안을 제안한다. 특별히, 스마트폰으로서 iPhone을, 이에 대응하는 Beacon으로서 iBeacon을 사용한 실제 측위 시스템을 구현하며, 이를 통해 기존 연구에서 다루지 않은 iBeacon 배치 문제, PDR 향상 기법, 복합 위치 추정에서 발생하는 문제의 해결책을 제시한다.

Ⅱ. iBeacon과 PDR 고려 사항

iBeacon의 설치 위치 정보 및 이에 상응하는 오프라인 훈련 데이터베이스 기반의 실내 지도가 주어지게 되면, 하이브리드 측위 및 이에 기반한 위치 추적 알고리즘은 다음과 같이 시작점을 설정하는 초기화 과정, PDR을 사용한 위치 갱신 과정, 갱신된 위치를 수정하기 위한 교정 과정으로 정리할 수 있다.

1) 초기화: 측위 영역 내에서 사용 가능한 N_{dev}개 iBeacon 신호를 활용하여 시작 위치 $\boldsymbol{P}_0(x_0,y_0)$를 다음과 같이 추정한다.

※ 이 논문은 2020년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020R1A2C2010006).
◆ First Author : (ORCID:0000-0002-8477-4104)Soongsil University, School of Electronic Engineering, tuanvyduc@soongsil.ac.kr, 학생(박사), 학생회원
° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-4722-6387)Soongsil University, School of Electronic Engineering, yashin@ssu.ac.kr, 정교수, 종신회원
* Soongsil University, School of Electronic Engineering, (ORCID:0000-0002-9456-8603)thunguyen@ssu.ac.kr, 박사, 정회원; (ORCID:0000-0003-2376-3636)kwansk93@soongsil.ac.kr, 학생(석사), 학생회원
논문번호 : 202101-024-C-LU, Received January 28, 2021; Revised February 1, 2021; Accepted February 1, 2021

www.dbpia.co.kr

$$\boldsymbol{P}_0(x_0,y_0)=\sum_{i=1}^{N_{dev}}\beta_i\boldsymbol{a}_i\,, \tag{1}$$

여기서 $\boldsymbol{a}_i$는 사용 가능한 iBeacon의 위치, β_i는 신호 강도의 가중치이다.

2) 위치 업데이트: k 단계에서 추정된 사용자 보폭 (Stride) λ_k와 IMU를 통해 측정된 방향각 α_k를 사용하여, 추정된 위치 $\boldsymbol{P}_k(x_k,y_k)$는 다음과 같이 갱신된다.

$$\boldsymbol{P}_k^{pdr}=\boldsymbol{P}_{k-1}^{pdr}+\lambda_k[\sin(\alpha_k)\quad\cos(\alpha_k)]^T. \tag{2}$$

3) 위치 교정: 질점 필터 (Particle Filter; PF)는 PDR의 편향 (Drift) 누적 오차를 줄이기 위해 사용하는 대표적인 방식이다. $\boldsymbol{P}_k(x_k,y_k)$ 주변에 존재하는 N_{PF}개 질점 $\boldsymbol{x}_k^i=[x_k^i,y_k^i]^T$는 이동 상태와 관찰 방향에 따라 다음과 같이 위치가 갱신된다.

$$\begin{cases}x_k^i=x_{k-1}^i+\lambda_k\sin(\alpha_k)\\ y_k^i=y_{k-1}^i+\lambda_k\cos(\alpha_k)\end{cases}. \tag{3}$$

하이브리드 iBeacon/PDR 기법은 실내에 설치된 iBeacon 개수가 적을 때 성능이 저하될 수 있으며, iBeacon을 추가적으로 배치해 이와 같은 문제를 해결할 수 있다. 이 때, 근접한 iBeacon 사이에서 간섭이 발생하지 않는 동시에 음영 지역도 발생하지 않도록 iBeacon의 배치를 최적화해야 한다.

사용자의 이동 거리가 긴 경우 PDR을 통한 높은 측위 정확도를 달성하기 위해서 IMU의 편향을 방지해야 한다. 제안 시스템에서는 센서 하드웨어에서 생성하는 기본 데이터를 사용할 수 없어 IMU 센서에서 발생하는 Raw 데이터를 PDR에 입력한다. 특히, IMU 데이터를 PDR의 적합한 입력값으로 사용하기 위해 지역 좌표계 (Local Coordinate System; LCS)를 기준으로 측정된 IMU 값을 전역 좌표계 (Global Coordinate System; GCS)로 변환해야 하고, LCS 자이로스코프 벡터와 LCS 가속 벡터를 사용해 GCS 벡터를 산출한다. 또한, 각 걸음 단계 k에서 자이로스코프 방식으로 얻은 α_g^k와 나침반 방식으로 얻은 α_c^k에 ℓ_k의 비율을 적용하여, 다음과 같이 자기장 영향에 둔감하며 이동 거리가 긴 경우에도 안정적인 방향각 α_k를 얻는다.

$$\alpha_k=\ell_k\alpha_g^k+(1-\ell_k)\alpha_c^k. \tag{4}$$

Ⅲ. 제안된 하이브리드 측위 기법

Beacon과 iPhone 사이의 근접도 정보를 제공하는 iBeacon 기술은 Apple사의 라이선스 프로그램을 통해 개발된 BLE 송신 전용 데이터 통신 기술이다. iPhone은 감지되는 다중 iBeacon을 구별하기 위해 iBeacon에서 송신하는 광고 패킷 (Advertising Packet)을 사용하며[2], 그 구조는 그림 1과 같다.

iBeacon과 iPhone 간의 거리를 추정하기 위해, iPhone에서는 수신된 광고 패킷 프레임 정보 중 iBeacon Contents 내에 존재하는 전력 정보 (“Measured Power”)를 활용하여 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 값을 측정하고 인접성 (Proximity) 지표를 획득한다. 그림 2는 iPhone과 iBeacon 간의 평행한 지상 거리 (Ground Distance)를 추정하기 위해, iPhone 7을 사용해 RedBear사 iBeacon 장치의 RSSI 샘플을 수집한 결과를 도시한다[3]. 이 결과를 바탕으로, 표 1에서 정리한 4개의 범주를 고려하여 Beacon의 RSSI 값의 범위에 따른 인접 지표를 미터 기준으로 변환하였으며, d_{ground}를 구하는 방법을 그림 3에서 도시하였다. 신호의 경로 손실은 전송 전력 P_t에 의존하므로, 실제 거리는 다음으로 추정된다.

Manufacturer information					iBeacon contents			
Flags	Length	Type	Company ID	Beacon type	Proximity UUID	Major number	Minor number	Measured Power

그림 1. 전형적인 iBeacon 광고 패킷 구조[2]
Fig. 1. Typical structure of iBeacon advertising packet[2]

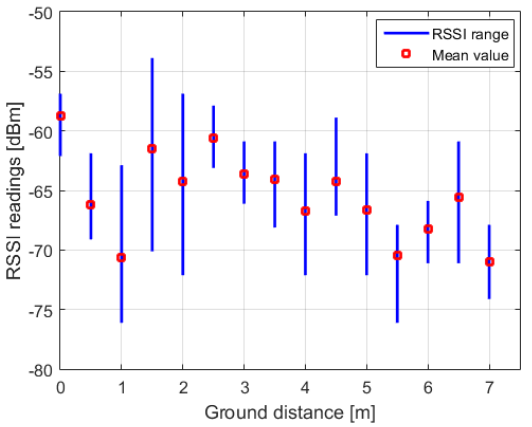

그림 2. 지상 거리별 RedBear사 iBeacon의 RSSI 샘플[3]
Fig. 2. RSSI sample readings of RedBear iBeacon at several ground distances[3]

www.dbpia.co.kr

표 1. iBeacon의 RSSI 범주에 따른 인접성 구역 분류
Table 1. Classification of iBeacon proximity zones

iBeacon zone	RSSI range [dBm]	Ground distance [m]	Confidence
Immediate	(-65, -56)	<0.5	98.0%
Near	(-76, -66)	0.5-1.5	95.0%
Far	(-94, -77)	1.5-4.5	83.7%
Unknown	<-95	>4.5	78.0%

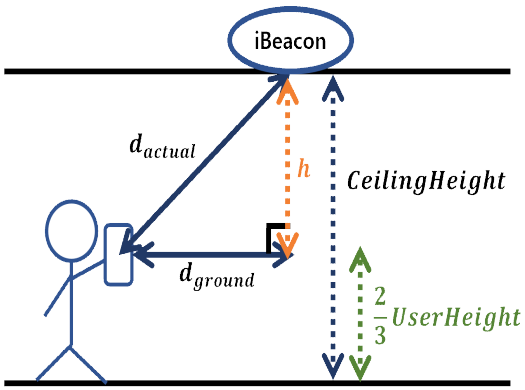

그림 3. iPhone과 iBeacon의 지상 거리 산출 방식
Fig. 3. Calculation of ground distance between iPhone and iBeacon

$$d_{actual} \approx e^{\frac{rssi_0 - rssi - P_t}{10\beta}}, \tag{5}$$

여기서 $rssi$ [dBm]과 $rssi_0$ [dBm]은 각각 거리 d [m]와 기준 거리 $d_0 = 1$ [m]에서의 RSSI 값이며, 주변 신호 간섭 등에 의해 오차가 발생 할 수 있다.

본 논문에서는 사용자가 이동시 위치 추적의 현실적인 시작점 설정을 위해, iBeacon의 RSSI를 사용한다. iBeacon 신호가 Immediate/Near에 해당하면 초기 위치 정보 $\boldsymbol{P}_0(x_0, y_0)$를 iBeacon의 위치로 지정한다. 또한, PDR 기반 실내 위치 추정 시 발생하는 편향 오차 축적 문제를 해결하기 위해, 다음과 같이 iBeacon 범위 정보를 융합하여 사용한다.

$$\delta_k = \sum_{i=1}^{N_{iBeacon}} w_i |d_i^k - wd_k|, \tag{6}$$

이러한 δ_k는 위치 교정 여부를 판단하기 위해 활용된다. 즉, δ_k 값이 작으면 PDR로 추정한 위치를 유지하고, δ_k가 큰 값을 가지면 iBeacon의 위치로 교정한다.

Ⅳ. 실험 결과 및 결론

제안 기법을 검증하기 위해 일반적인 사무실 환경을 고려한 실내 측위 응용 프로그램을 Xcode로 구축하였고, 다양한 조건에서 제안 기법을 검증하기 적합한 대학교 내 전형적 대형 건물인 그림 4의 숭실대학교 형남공학관 3층에서 실험을 진행하였다 (좌측 영역 39m×17m, 우측 영역 24m×86m). 그림 4에서 도시한 보행 경로를 따라 이동하며 발생한 모든 정보를 iPhone에 저장하였다. Beacon은 RedBear사의 BLE 4.0 통신 프로토콜로 동작하는 iBeacon을 사용하였다.

본 논문에서 고려한 성능 지표는 측위 정확도 (Accuracy Rate) γ로서, 측위 오차 범위 ϵ이 주어지면 보행 경로의 두께를 ϵ으로 설정하고 추정 지점이 보행 경로 내부에 있는지에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma(\epsilon) = \frac{\mathrm{Num}\{\mathbf{P}_k : \mathbf{P}_k \subset \mathrm{P}(\epsilon)\}}{N} \times 100\ [\%RIGHT], \tag{7}$$

여기서 N은 사용자의 실제 걸음 수이며, $\mathrm{P}(\epsilon)$는 보행 경로의 두께가 ϵ일 때의 보행 경로이다.

그림 4는 기존의 PDR 기법과 제안하는 하이브리드 측위 기법에 대한 실제 추적 경로 비교 결과를 도시한다. 실험 결과로부터, 상당한 편향 오차가 발생하는 PDR 기법과는 달리, 제안 기법을 통해 정확도 높은 측위가 가능한 것을 알 수 있다. 특별히, 4 [m] 간격으로 iBeacon을 설치하고[4] 오차 범위 ϵ을 2 [m]로 설정하였을 때, 제안 기법은 전체 측위 결과의 약 98%가 이를 만족하는 높은 정확도를 보였다. 그림 5는 다양한 iBeacon 배치 간격 ("SP")를 고려하여 오차 범위 ϵ에 따른 측위 정확도를 도시하였다. 예상대로 iBeacon 배치 간격이 커짐에 따라 측위 정확도가 감소하는 것을 확인하였고, Beacon 간 신호 간섭을 줄임과 동시에 음영지역이 발생하지 않으며 오차 범

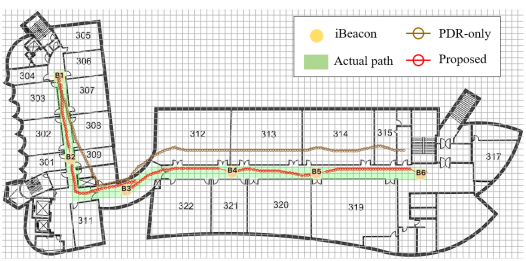

그림 4. 실제 위치 추적 결과
Fig. 4. Actual tracking results

www.dbpia.co.kr

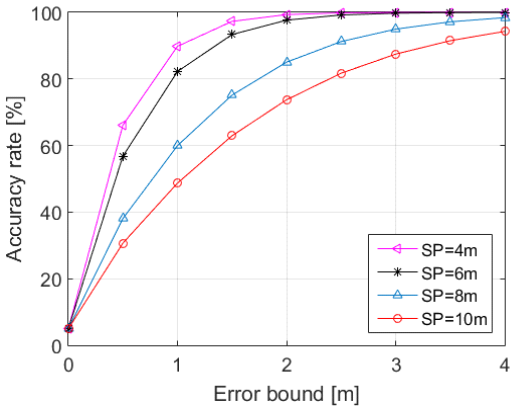

그림 5. iBeacon 배치 간격에 따른 측위 정확도
Fig. 5. Accuracy rate for several iBeacon spacings

위 ϵ에 따른 성능 변동이 적은 배치 간격이 4 [m] 인 것을 확인하였다. 또한, SP가 10 [m]일 때는 iPhone이 인접한 iBeacon에 도달할 때까지 PDR 기반으로 실험자의 위치가 계속하여 갱신된다.

본 논문에서는 iPhone 기반의 PDR과 iBeacon의 하이브리드 실내 측위 기술 및 스마트폰 추적 시스템을 제안하였다. 제안 기법의 동작 과정은 간단한 반면 기존 실내 측위 기술과 비교하였을 때 상당히 높은 측위 정확도를 보였고, iPhone의 제한된 스마트폰 컴퓨팅 기능, PDR 편향 등과 같은 iOS 기반 기기에서 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하였다.

References

[1] D. Lymberopoulos, et al., “A realistic evaluation and comparison of indoor location technologies: Experiences and lessons learned,” in *Proc. IPSN 2015*, pp. 178-189, Seatle, USA, Apr. 2015.

[2] Apple Developer, “*Getting started with iBeacon*,” at https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf. [Accessed: 12-Nov-2020]

[3] T. D. Vy and Y. Shin, “iBeacon indoor localization using trusted-ranges model,” *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 15, no. 1, pp. 1-13, Jan. 2019.

[4] T. D. Vy, T. L. N. Nguyen, and Y. Shin, “Determination of iBeacon spacing for indoor localization,” in *Proc. 2021 KICS Winter Conf.*, Yongpyeong, Feb. 2021.

www.dbpia.co.kr