

위치 기반 지능형 사물인터넷 서비스를 위한 BLE 측위 방법에 관한 연구

장호덕*

Study on the Positioning Method using BLE for Location based AIoT Service

Ho-Deok Jang*

요약 지능형 사물인터넷 (AIoT)의 핵심 응용 분야인 스마트시티는 안전, 보안, 의료 분야에서 위치 추적 및 위치 기반의 다양한 서비스를 제공한다. 위치 기반 서비스를 구현하기 위해서 실내 측위 시스템 (IPS)이 필요하며, WiFi, UWB, BLE 등의 무선통신 기술이 적용되고 있다. 저전력으로 데이터 송수신이 가능한 BLE는 저비용으로 센서, 비콘 등의 다양한 사물인터넷 소형 장치에 적용될 수 있어서 실내 측위를 위한 가장 적합한 무선통신 기술 중 하나이다. BLE는 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 거리를 추정하는데, 다중 경로 페이딩(fading)의 영향으로 인한 신호 강도 변화로 인해서 수 미터 수준의 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 근접 서비스를 제공하기 위한 BLE 실내 측위 시스템에 적용할 수 있는 경로 손실 모델을 연구하고, 자유공간 경로손실 계수의 최적화로 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract Smart City, a key application area of the AIoT (Artificial Intelligence of Things), provides various services in safety, security, and healthcare sectors through location tracking and location-based services. an IPS (Indoor Positioning System) is required to implement location-based services, and wireless communication technologies such as WiFi, UWB (Ultra-wideband), and BLE (Bluetooth Low Energy) are being applied. BLE, which enables data transmission and reception with low power consumption, can be applied to various IoT devices such as sensors and beacons at a low cost, making it one of the most suitable wireless communication technologies for indoor positioning. BLE utilizes the RSSI (Received Signal Strength Indicator) to estimate the distance, but due to the influence of multipath fading, which causes variations in signal strength, it results in an error of several meters. In this paper, we conducted research on a path loss model that can be applied to BLE IPS for proximity services, and confirmed that optimizing the free space propagation loss coefficient can reduce the distance error between the Tx and Rx devices.

Key Words : Artificial Intelligence of Things, Bluetooth Low Energy, Indoor Positioning System

1. 서론

AIoT (Artificial Intelligence of Things)는 기존 사물인터넷에 인공지능 기술을 결합한 것을 의미한다. 센서 기반의 다양한 디바이스를 네트워크로 연결하여

데이터를 전달하거나 디바이스를 제어하는 사물인터넷에 인공지능 기술을 적용하면 수집한 데이터를 분류, 분석하여 학습한 데이터를 기반으로 다양한 분야에서 편리하고 스마트한 서비스를 제공할 수 있다. 사물인터넷 기술은 네트워크 발전을 기반으로 주변의 모

This paper was supported by research fund of Dongyang Mirae University in 2023.

*Department of Information & Communication Engineering, Dongyang Mirae University

Received January 10, 2024

Revised January 26, 2024

Accepted January 30, 2024

든 사물을 연결하는 연결형 사물인터넷에서 고도화된 인공지능 기술을 활용하여 상황 인지·원격측정·제어·미래 예측이 가능한 지능형 사물인터넷, 자율 판단·제어가 가능한 자율형 사물인터넷으로 발전해 나갈 것으로 전망된다[1]. 연결형 사물인터넷은 다양한 디바이스에서 수집한 데이터를 클라우드로 보내서 처리하는 방식이며, 이 과정에서 지연, 프라이버시 침해, 보안, 비용 등의 이슈가 발생하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해서 지능형 사물인터넷은 디바이스 또는 에지 허브에 인공지능 기능을 추가하여 데이터를 처리하게 된다.

사물인터넷 분야의 사업화를 위한 인공지능의 도입이 자연스러운 흐름으로 인식되면서 AIoT는 새로운 산업으로 주목받고 있고, 제조·물류·공공·건설/주거/에너지·헬스케어 분야에 활용되고 있다. 대표적인 응용 분야인 스마트시티는 다양한 센서를 사용하여 수집된 데이터를 기반으로 도시 운영과 생활 서비스를 최적화하기 위한 것이다. 스마트 시티를 구현하기 위해서는 안전·보안, 의료 등의 분야에서 폭넓게 사용되는 실내 측위 시스템이 필수적이다. 대표적인 측위 시스템인 GPS (Global Positioning System)은 실외에서 1m 거리 오차를 가지는 정확도를 제공하지만, LOS (Line of Sight) 확보가 안 되는 실내에서는 최대 5m 오차가 발생하여 부적합하다[2]. 실내에서 위치를 측위하는 IPS (Indoor Positioning System)에서는 UWB (Ultra-wideband), BLE (Bluetooth Low Energy), WiFi 등의 무선통신 기술을 활용하고 있다.

본 논문에서는 근접 서비스를 제공하기 위한 BLE 실내 측위 시스템에 경로 손실 모델의 적용 방안을 연구한다. 수신 신호의 강도인 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 BLE 송·수신 장치 사이의 거리를 계산하고, 경로 손실 모델의 자유공간 경로손실 계수를 수신 전력 변화 범위의 중위값에서 최적화한다. 자유공간 경로손실 계수의 최적값을 이용하여 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 계산하고, 정확도 개선 효과를 확인한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 실내 측위 기술에서 WiFi, BLE, UWB 무선통신 기술을 활용한 실내 측위 기술을 소개한다. 3장에서는 제안한 BLE 측위 기술 구현 방법을 설명하고, 4

장에서는 구현 결과를 분석한다.

2. 실내 측위 기술

WiFi를 이용한 실내 측위 시스템은 스마트폰, 태블릿 등 WiFi를 지원하는 다양한 기기와 AP(Access Point)를 활용할 수 있지만, 10m 내외의 측위 오차를 가지고 있고 다른 무선통신 기술과 비교해서 상대적으로 소비전력이 크다. UWB는 실시간으로 사물의 위치 정보를 측위할 수 있어서 실시간으로 위치를 추적하는 RTLS (Real Time Location System)에 활용되고 있다. RTLS 기술은 창고, 캠퍼스, 병원 등의 건물 내에서 사람이나 사물의 위치 추적에 높은 정확도를 제공한다. 위치 기반 서비스의 측위를 위해 사용되는 UWB는 IEEE 802.15.4에서 표준 작업을 진행하고 있다. HRP (High Rate Pulse) UWB 물리계층을 지원하며, CCC, FiRa 컨소시엄, Apple Nearby Interaction이 참여하고 있다. UWB의 측위 방법은 TDoA (Time Difference of Arrival)와 TWR (Two Way Ranging) 기술을 사용한다. UWB는 거리 기반 측정 기술인 TOF (Time of Flight)를 사용하여 10~50cm의 거리 오차를 제공하여 정확한 위치를 측정할 수 있다[3]. UWB의 정밀한 측위 정확도를 이용하여 기업, 병원, 창고 등의 시설물 내에서 자산, 생산 장비, 의료 장비 등의 위치를 확인 및 추적할 수 있다. 또한 직원, 환자 등 사람의 위치를 파악하여 비상 상황에 대피를 돕거나 질병 전파를 예방하는 등 안전·보안 분야에 적용될 수 있다.

BLE 무선통신 기술은 다양한 실내 위치 기반 서비스에 활용될 수 있다. BLE 5.0은 이전 규격에서 통신 거리와 전송속도를 개선한 기술 규격이다. BLE 5.1은 전송속도, 통신 거리, 안정성을 좀 더 개선하였고, AoA (Angle of Arrival)와 AoD (Angle of Departure)를 지원하여 블루투스 장치의 신호가 어디에서 오는지 정확하게 찾아낼 수 있다[4][5]. BLE 5.1의 향상된 방향 정확도를 활용하면 다양한 위치 기반 서비스를 구현할 수 있다. BLE 5.2는 전송속도와 통신 거리를 업그레이드하고, 향상된 보안 기능을 제공한다. 또한 위치 정확도를 개선하여 웨어러블 장치에서

걸음 수, 이동 거리와 같은 정보를 정확하게 측정할 수 있도록 한다. BLE를 이용한 위치 기반 서비스는 사람, 기기, 상품을 포함한 사물의 위치를 감지하고 추적하는 서비스, 실내 길 안내 (navigation), O2O (Online to Offline), 지오펜싱 (Geo-fencing) 등의 근접 서비스가 대표적이다.

3. BLE 측위 기술 구현 방법

BLE를 활용한 실내 측위 시스템에서는 센서 또는 비콘 (beacon)을 사용하여 스마트폰, 태그 등의 블루투스 기기를 감지하고 위치를 파악한다. 센서에서 수집한 위치 데이터 또는 비콘이 주기적으로 전송하는 위치 데이터는 실내 위치 측위 시스템 또는 RTLS의 위치 엔진에서 분석하여 벡터맵을 추출하고 위치를 결정하게 된다. BLE 무선통신 기술에서는 일반적으로 WiFi 기술처럼 수신 신호의 강도인 RSSI를 이용한 측위 방법을 사용한다. RSSI를 통한 거리 추정은 자유공간 무선 전파 (free-space radio propagation) 모델과 로그 거리 경로 손실 (logarithmic distance path-loss) 모델로 구현할 수 있으며, 실내 내비게이션 및 위치 측위를 목적으로 하는 대부분의 실내 측위 시스템에서 사용되고 있다. 로그 거리 경로 손실 모델은 전송 거리에 따른 RSSI를 1m 지점에서의 RSSI 값에서 전송 거리의 로그값을 10~40배 스케일링하여 뱀식으로 나타낸다. 로그 거리 경로 손실 모델을 활용하여 전송 거리를 계산하면 5.4m 이하의 위치 오차를 가지게 된다[6].

무선통신 시스템에서 경로 손실은 Friis 방정식을 활용한 경로 손실 모델을 이용하여 계산할 수 있다[7]. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이 거리를 구하기 위해 경로 손실 모델을 전송 거리에 대한 식으로 나타내면 식 1과 같다. 송신 전력 (P_t), 수신 전력 (P_r), 자유공간 경로손실 계수 (k), 무선 신호 파장 (λ)을 이용하여 송신기와 수신기 사이의 거리를 계산한다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t}{kP_r}} \quad (1)$$

표 1은 전송 거리별 측정된 BLE 실내 측위 시스템의 수신 전력이다. 다중 경로 페이딩과 같은 전파 환경에 따라서 변화하는 수신 전력의 범위를 확인하기 위해 최소값, 최대값, 중위값을 사용하였다. 전송 거리가 3m일 때, 수신 전력은 -80 ~ -64dBm 범위에서 변화하며, 중위값은 -72dBm이다. 전송 거리가 6m일 때, 수신 전력은 -85 ~ -70dBm으로 감소하고, 중위값은 -77.5dBm이다. 전송 거리가 9m로 늘어나면 수신 전력은 -92 ~ -75dBm 범위에서 변화하게 되며, 중위값은 -83.5dBm이 된다.

표 1. BLE 실내 측위 시스템의 수신 전력 (측정값)
Table 1. Received power of BLE indoor positioning system (measured value)

Distance [m]	Received Power, P _r [dBm]		
	Min	Max	Median
3	-80	-64	-72
6	-85	-70	-77.5
9	-92	-75	-83.5

자유공간 경로손실 계수는 식 1을 이용하여 계산한 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 최소화하는 값으로 산출한다. 2.4GHz 주파수 대역을 사용하는 BLE 무선 신호의 파장은 0.125m이고, BLE 5.1 트랜시버 송신 전력은 2.5dBm이다. 6m 전송 거리에서 자유공간 경로손실 계수 k 를 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 최소화하도록 계산하면 수신 전력이 최대값 -70dBm일 때 49이며, 중위값 -77.5dBm일 때 276이 된다. 표 2는 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 계산한 결과이다. k 의 값이 49인 경우 수신 전력의 최대값에서 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 -1.7 이하로 작지만 최소값에서는 -66.5까지 커지게 된다. k 의 값이 276인 경우 수신 전력의 중위값에서 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 -3.0 이하이며, 최소값에서는 -22.8로 k 의 값이 49일 때와 비교해서 상대적으로 오차의 편차가 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 다중 경로 페이딩에 의한 수신 전력 변화의 영향을 줄이기 위해서 수신 전력의 중위값에서 자유공간 경로손실 계수를 산출해야 한다. 거리별 수신 전력 중위값을 사용하여 계산한 송·수신

장치 사이의 거리의 오차를 최소화하는 자유공간 경로 손실 계수는 3m에서 310, 6m에서 276, 9m에서 490이다.

표 2. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 오차 (계산값, k=49, 276)

Table 2. Distance error between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=49, 276)

Distance [m]	d _{error} [m]					
	P _r , Min		P _r , Median		P _r , Max	
	k=49	k=276	k=49	k=276	k=49	k=276
3	-16.0	-5.0	-4.5	-0.2	0.0	1.7
6	-27.7	-8.2	-8.2	0.0	0.0	3.5
9	-66.5	-22.8	-19.4	-3.0	-1.7	4.5

4. 구현 결과

표 3~5는 식 1을 이용하여 계산한 BLE 실내 측위 시스템 송·수신 장치 사이의 거리이다. 수신 전력의 변화에 따라서 계산한 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 결정된다. 표 3은 자유공간 경로손실 계수의 값이 310인 경우이며, 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 3m에서 -1.8m ~ 4.5m, 6m에서 -3.6m ~ 7.4m, 9m에서 -4.8m ~ 21.0m 발생하게 된다는 것을 알 수 있다. 표 4는 자유공간 경로손실 계수의 값이 276인 경우이다. 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 3m에서 -1.7m ~ 5.0m, 6m에서 -3.5m ~ 8.2m, 9m에서 -4.5m ~ 22.8m 발생하게 된다. 표 5는 자유공간 경로손실 계수의 값이 490인 경우이다. 송·수신 장치 사이의 거리 오차가 3m에서 -2.0m ~ 3.0m, 6m에서 -4.1m ~ 4.7m, 9m에서 -5.6m ~ 14.9m이다. 따라서 송·수신 장치 사이의 거리가 9m 이하인 조건에서 가장 긴 전송 거리인 9m에서 수신 전력 중위값을 사용하여 최적화한 자유공간 경로손실 계수를 적용하면 계산한 전송 거리의 변화폭이 감소하게 된다는 것을 알 수 있다.

표 3. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 (계산값, k=310)

Table 3. Distance between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=310)

Distance [m]	d [m]		
	P _r , Min	P _r , Max	P _r , Median
3	7.5	1.2	3.0
6	13.4	2.4	5.7
9	30.0	4.2	11.3

표 4. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 (계산값, k=276)

Table 4. Distance between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=276)

Distance [m]	d [m]		
	P _r , Min	P _r , Max	P _r , Median
3	8.0	1.3	3.2
6	14.2	2.5	6.0
9	31.8	4.5	12.0

표 5. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 (계산값, k=490)

Table 5. Distance between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=490)

Distance [m]	d [m]		
	P _r , Min	P _r , Max	P _r , Median
3	6.0	1.0	2.4
6	10.7	1.9	4.5
9	23.9	3.4	9.0

그림 1~3은 식 1을 이용하여 계산한 BLE 실내 측위 시스템 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 보여준다. 자유공간 경로손실 계수의 값이 310인 경우, 수신 전력의 중위값 기준으로 9m에서 최대 -2.3m 오차가 발생한다. 자유공간 경로손실 계수의 값이 276인 경우, 수신 전력 중위값 기준으로 9m에서 최대 -3.0m 오차가 발생한다. 자유공간 경로손실 계수의 값이 490인 경우에는 수신 전력 중위값 기준으로 6m에서 최대 1.5m 오차가 발생한다. 수신 전력 변화에 따라서 송·

수신 장치 사이의 거리 오차가 결정되므로 실내 측위 시스템에서는 일정한 시간 간격으로 수신 전력의 평균값을 산출하여 송·수신 장치 사이의 거리를 계산하는 방법을 사용하면 수신 전력 변화의 영향을 줄일 수 있다.

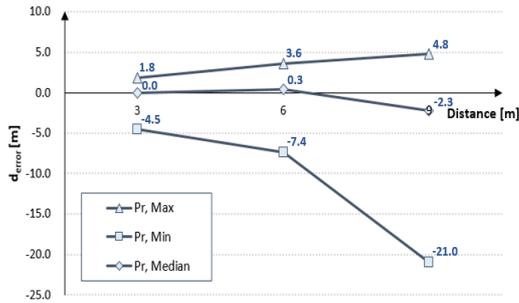


그림 1. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 오차 (계산값, k=310)

Fig. 1. Distance error between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=310)

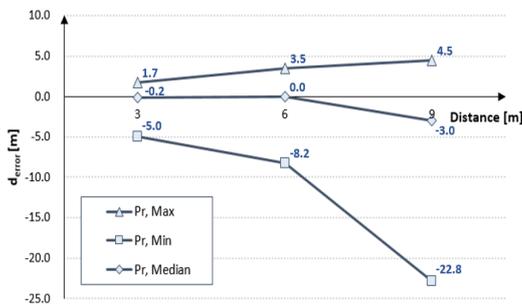


그림 2. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 오차 (계산값, k=276)

Fig. 2. Distance error between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=276)

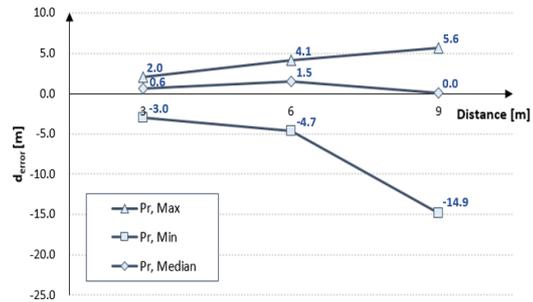


그림 3. BLE 실내 측위 시스템의 송·수신 장치 사이의 거리 오차 (계산값, k=490)

Fig. 3. Distance error between Tx and Rx of BLE indoor positioning system (calculated value, k=490)

5. 결론

실내 측위 시스템에 BLE를 활용할 경우, RSSI를 이용하여 송·수신 장치 사이의 거리를 계산하면 다중 경로 페이딩에 의한 수신 전력 변화에 따라서 오차가 크게 발생하게 된다. 제안한 거리 계산 방법은 경로손실 모델의 자유공간 경로손실 계수를 최적화하는 방식이며, 거리별 (3m, 6m, 9m) 송·수신 장치 사이의 거리 오차를 수신 전력 중위값에서 최소화하는 값으로 산출한다. 수신 전력의 중위값에서 송·수신 장치 사이의 거리를 계산한 결과, 실제 거리와의 오차가 작고, 수신 전력의 변화로 인해 발생하는 편차가 감소하는 것을 확인하였다. 자유공간 경로손실 계수의 값이 310, 276, 490인 경우, 9m 거리 내에서 각각 최대 -2.3m, -3.0m, 1.5m 오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 O2O, 지오펜싱 등 근접 서비스 적용을 위해 9m 이내로 제한하였고, 네비게이션, 자산 추적 등의 위치 추적 및 안내 서비스를 위해서는 거리 및 범위를 확장하여 검증이 필요하다. 또한, 수신 전력 변화에 따른 송·수신 장치 사이의 오차를 유효 범위로 줄이기 위해서는 일정한 시간 간격으로 수신 전력의 평균값을 산출하는 평균 필터[8] 또는 칼만 필터[8]와 결합하여 적용해야 한다.

REFERENCES

[1] J. J. Lee and B. J. Park, "A Study on Artificial Intelligence of Things Trends," Journal of The Korea Society of Information Technology Policy & Management, vol. 14, no. 2, pp. 2901-2906, 2022.

[2] J. Kunhoth, A. Karkar, S. Al-Maadeed, and A. Al-Ali, "Indoor positioning and wayfinding systems: a survey," Human-centric Comput. Inf. Sci., vol. 10, no. 1, p. 18, 2020.

[3] D. Coppens, A. Shahid, S. Lemey, B. V. Herbruggen, C. Marshall, and E. D. Poorter, "An overview of UWB standards and organizations (IEEE 802.15.4, FiRa, Apple): Interoperability aspects and future research directions," in IEEE Access, vol. 10, pp. 70219-70241, 2022.

[4] J. Moon, S. H. Pak and J. J. Hwang, "Machine Learning Based BLE Indoor Positioning Performance Improvement," in KICS Fall Conference 2021, pp. 467-468, 2021.

[5] Bluetooth Direction Finding: A Technical Overview, Martin Wooley, Bluetooth SIG, March 2019.

[6] F. Subhan, A. Khan, S. Saleem, S. Ahmed, M. Imran, Z. Asghar and J. I. Bangash, "Experimental analysis of received signals strength in Bluetooth Low Energy (BLE) and its effect on distance and position estimation," Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, vol. 33, pp. e3793, 2019.

[7] H. Jang, "Study on Implementation Method of Wireless Power Transfer System for RF Energy Harvesting BLE Device," The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol. 44, no. 2, pp. 330-333, Feb. 2019.

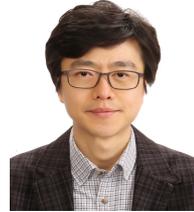
[8] J. S. Kim, Y. K. Kim, "A Study on Distance Calculation Revision Algorithm using the Filtering of RSSI Measurement Results", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 17,

No. 1, pp. 25-31, Feb. 2017.

저자약력

장 호 덕 (Ho-Deok Jang)

[정회원]



- 2002년 2월: 고려대학교 전파공학과 전파공학 (공학 석사)
- 2006년 8월: 고려대학교 전파공학과 초고주파및광파공학 (공학 박사)
- 2006년 9월 ~ 2014년 9월: LS 전선
- 2015년 4월 ~ 2016년 2월: 한국디지털케이블연구원
- 2016년 3월 ~ 현재: 동양미래대학교 정보통신공학과 교수

〈관심분야〉 스마트센서, IoT, 에너지 하베스팅