

블루투스 비콘과 UWB의 실내측위 정확도 비교 및 분석

변석주 유지현 김예빈 박양배 이예훈

서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과

y.lee@seoultech.ac.kr

Accuracy Analysis and Comparison in Indoor Localization
Utilizing Bluetooth Beacon and UWB

Byun, Seok-Ju Yoo, Ji-Hyeon Kim, Ye-Bin Park, Yang-Bae Lee, Ye Hoon

Seoul National University of Science & Technology

요약

현재 IoT의 발달로 인해서 많은 위치기반 서비스들이 개발되고 있고 이러한 서비스들을 위해서는 사용자의 정확한 위치 획득이 요구되고 있다. 현재 실내 환경에서 사용자의 위치 획득을 위한 여러 장치들 중 블루투스 비콘이 널리 사용되고 있는데, 비콘은 저전력으로 수명이 길고 설치하기 용이한 장점이 있지만 비콘으로부터 수신되는 신호 자체의 불안정성과 수신신호에 여러 잡음들이 섞이는 문제점 때문에 측위 결과에 큰 오차가 발생하게 되는 단점도 있다. 한편, 최근에는 보다 원활한 위치기반 서비스 제공을 위하여 UWB 기능이 스마트폰에 내재되어 나오면서 사용자에게 점차 보급되는 추세이다. UWB는 블루투스 비콘에 비해 가격이 비싸고 전력소모가 많지만 측위에서의 높은 정확도를 얻을 수 있다고 알려져 있다. 본 논문에서는 비콘과 UWB의 두 방식을 이용하여 실내측위를 수행할 때 실제 측정을 통해서 실내 전파수신 환경을 분석하고, 측정된 데이터를 바탕으로 실내 전파수신 환경을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 측정 데이터와 시뮬레이션 결과의 정확도를 상호 분석하였으며, 블루투스 비콘과 UWB 방식의 실내측위 수행결과를 측정과 시뮬레이션 결과를 바탕으로 비교, 분석하였다.

1. 서론

4차 산업혁명으로 인한 IT기술의 발전으로 IoT, AR, VR 등과 같은 서비스들이 발전하고 있고, 이러한 서비스를 제공하기 위해서 실내 공간에서 사용자의 위치를 정확히 파악하는 것의 중요성이 점차 높아지고 있다. 실외에서 측위를 진행하는 경우 GPS(Global Positioning System)를 활용하여 정확도가 높은 측위가 가능하지만, 실내에서는 건물의 벽과 같은 여러 장애물들로 인해서 정확도에 한계가 발생하기 때문에 WI-FI, UWB(Ultra Wide Band), 블루투스 비콘 등과 같은 장치를 활용하여 측위를 진행한다[1]. 이들 중 블루투스 비콘이 저전력이며 설치가 용이할 뿐만 아니라 Complexity가 낮아서 많은 실내 환경에서 측위에 사용되고 있다[2]. 그러나 실내 환경에서는 다중경로 페이딩, 주변 간섭신호 등의 영향 그리고 비콘에서 송신되는 신호 자체의 불안정성으로 인해 비콘으로부터 수신 받는 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값에 잡음이 섞이게 되고 잡음으로 인해 RSSI의 변동성이 생기게 되어 정밀한 측위가 어렵다. 이에 반해 UWB는 대역폭이 넓고 TDoA, ToF 등 과 같은 시간차이를 이용하여 거리를 측정하는 방식을 사용하기 때문에 다중경로 페이딩, 주변 간섭신호 등의 영향을 덜 받아 정밀한 측위가 가능하다[3].

본 논문에서는 비콘과 UWB에서 수신되는 신호의 특성을 실제 측정 데이터를 통해 분석하고, 환경에 따라 신호의 특성이 달라지므로 보다

객관적인 결과를 얻기 위해 비콘과 UWB의 신호를 각각 모델링하여 실내측위 시뮬레이션을 통하여 블루투스 비콘과 UWB의 실내측위 정확도를 비교 분석하는 것을 목표로 한다. 실제 측정을 통해서 실내 전파수신 환경을 분석하였고, 측정된 데이터를 바탕으로 실내 전파수신 환경을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 측정 데이터와 시뮬레이션 결과의 정확도를 상호 분석하였으며, 블루투스 비콘과 UWB 방식의 실내측위 수행결과를 측정과 시뮬레이션 결과를 바탕으로 비교, 분석하여 제시하였다.

2. 거리 측정 방식

2-1. 블루투스 비콘의 경로감쇄 모델

블루투스 비콘을 이용할 때 수신된 신호의 세기인 RSSI 값을 경로감쇄 모델을 이용하여 거리값으로 환산하여 실내측위에 사용한다. 본 논문에서는 *Log-Normal Shadowing Model* [4]을 이용하여 RSSI 값을 거리값으로 변환하였다.

$$RSSI = A - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

식 (1)에서 RSSI는 거리 d 에서 측정된 신호의 수신강도이며 단위는

dBm이다. A 는 reference 거리인 d_0 에서의 수신강도이다. 그리고 n 은 손실계수이며 이 값은 측정환경에 따라 다르기 때문에 실제측정을 통해서 결정된다. X_σ 는 신호의 노이즈를 의미하며 이 값 또한 환경에 따라 달라지는데, 일반적으로 가우시안 랜덤 변수로 가정한다. 따라서 환경에 따라 변화하는 두 변수 A 와 X_σ 를 도출하는 것도 정확한 거리 값을 얻기 위해서 중요한 분야이며 여러 알고리즘들이 제안되고 있다[5].

2-2. UWB의 TDoA 모델

TDoA(Time Difference of Arrival)는 전파의 속도와 데이터의 송신시간, 수신시간을 이용하여 거리를 측정하는 방식이다. TDoA는 송신기와 수신기가 Poll, Poll Ack, Range, Range Response 4개의 메시지를 주고받으며 진행된다.

$$T = \frac{(T_{r1} \times T_{r2} - T_{reply1} \times T_{reply2})}{(T_{r1} + T_{r2} + T_{reply1} + T_{reply2})} \quad (2)$$

식 (2)에서 T_{r1} 은 Poll Ack 신호의 수신된 시간과 Poll 신호가 전송된 시간의 차이이다. T_{r2} 는 Range신호의 수신된 시간과 Poll Ack 신호가 전송된 시간의 차이이다. T_{reply1} 는 Poll Ack 신호가 전송된 시간과 Poll 신호가 수신된 시간의 차이이다. T_{reply2} 는 Range신호가 전송된 시간과 Poll Ack 신호의 수신된 시간의 차이이다. 식 (2)로 구한 T 값에 빛의 속도 C 를 곱해 거리를 계산할 수 있다[6].

3. 측정 및 시뮬레이션 결과 분석 및 비교

3-1. 측정환경 설정

비콘과 UWB의 실내측위 결과를 비교해보기 위해 아래 그림 1과 그림 2의 닫힌공간, 열린공간 환경에서 각각 측정 및 시뮬레이션을 진행하였다. 닫힌공간은 실험장비와 컴퓨터가 있는 실습실이고, 열린공간은 장애물이 없는 로비 환경이다. 블루투스의 경우 4개의 비콘을 신호의 송신기 역할을 할 Anchor로 사용하였고, 스마트폰을 수신기 역할을 할 Tag로 이용하였다. UWB의 경우 4개의 UWB모듈을 Anchor로 사용하였고, 1개의 UWB모듈을 Tag로 이용하였다. 공간의 모든 지점에서 측위를 진행하기엔 어려움이 있기 때문에 37개 지점을 선정하여 Tag를 옮겨가며 측위를 진행하였다.

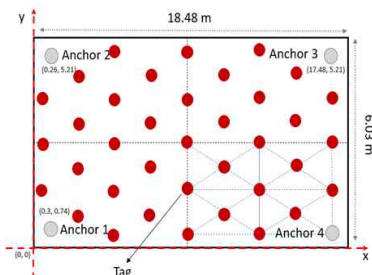


그림 1. 닫힌공간 측정환경 설정

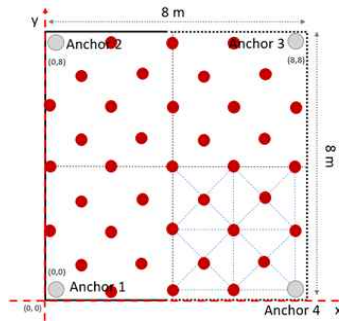


그림 2. 열린공간 측정환경 설정

3-2. 시뮬레이션 모델 분석 및 설정

3-1절의 측정환경에서 지정한 37개의 측위 지점이 공간내 모든 지점을 대표하기엔 어려움이 있기 때문에 시뮬레이션을 병행하여 측위 결과를 검증하고자 하였다. 시뮬레이션 환경은 그림 3과 그림 4와 같이 실제 측정환경과 동일한 실내 환경으로 설정하였다. 닫힌공간의 경우 4개의 Anchor를 좌표 (0.3, 0.74), (0.26, 5.21), (17.48, 5.21), (18.02, 0.74) 지점에 배치하고 임의의 10,000개 Tag 위치에서 측위 시뮬레이션을 진행하였다. 열린공간의 경우 4개의 Anchor를 좌표 (0, 0), (0, 8), (8, 8), (8, 0) 지점에 배치하여 임의의 10,000개 Tag 위치에서 시뮬레이션을 수행하였다. 측위에 이용된 위치추정 알고리즘은 모든 경우에 동일하게 *가중치 삼변측량법* [7]을 적용하였다.

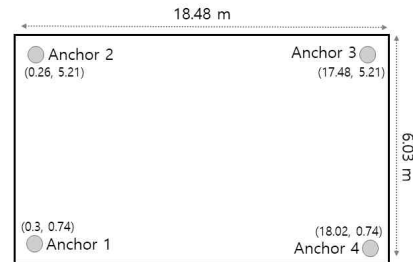


그림 3. 닫힌공간 시뮬레이션 환경

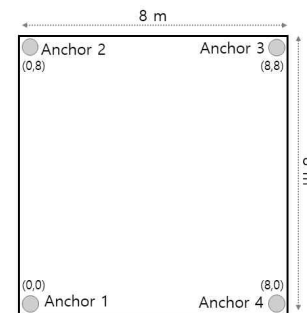


그림 4. 열린공간 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 수행할 때 실제 측정환경에서 발생하는 RSSI와 UWB 신호의 노이즈를 정확히 모델링하는 것이 선행되어야 한다. 따라서 각 신호의 노이즈 분포를 모델링하기 위하여 커널 밀도추정을 진행하였다. 분포 추정결과는 아래 그림 5~8과 같다. 비콘의 RSSI 신호의 경우 가로

측의 단위는 [dBm], UWB의 경우 가로축의 단위는 [m] 이다.

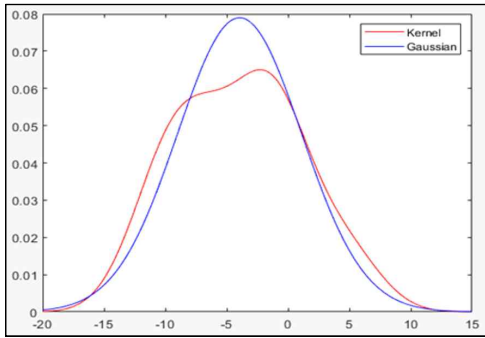


그림 5. 닫힌공간에서 RSSI 노이즈 분포

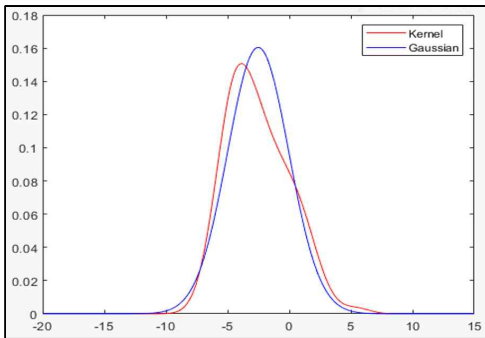


그림 6. 열린공간에서 RSSI 노이즈 분포

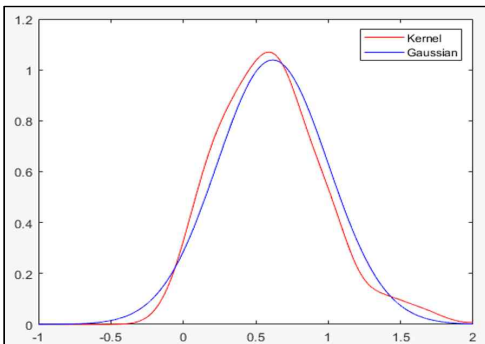


그림 7. 닫힌공간에서 UWB의 노이즈 분포

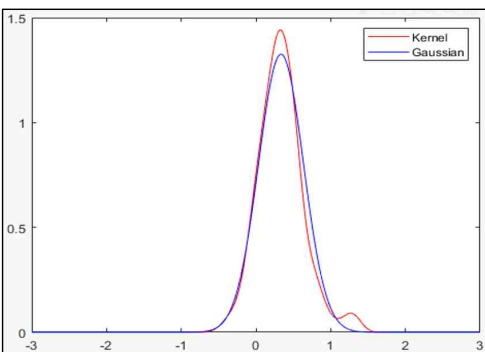


그림 8. 열린공간에서 UWB의 노이즈 분포

그림 5~8에서 빨간색 그래프는 커널 밀도 추정 함수로 실제 측정데이터 노이즈의 분포를 의미하며, 파란색 그래프는 실제 측정데이터의 노이즈를 가우시안 분포로 피팅하여 나타낸 것이다. 위 분포에서 알 수 있듯이 RSSI와 UWB의 노이즈 분포는 모두 가우시안 분포와 상당히 유사함을 관찰할 수 있고, 따라서 시뮬레이션을 수행할 때 노이즈 분포를

가우시안으로 설정해도 실제 측정결과와 크게 차이나지 않을 것임을 예측할 수 있다.

3-3. 실내측위 오차의 상호 비교 및 분석

표 1. 비콘의 실내측위 평균오차 [m]

	닫힌공간	열린공간
실제 측정	6.2786	3.1782
시뮬레이션 (37 Tag 위치)	6.0509	3.3554
시뮬레이션 (10,000번)	6.6219	4.2637

표 2. UWB의 실내측위 평균오차 [m]

	닫힌공간	열린공간
실제 측정	0.9239	0.5752
시뮬레이션 (37 Tag 위치)	0.8858	0.5080
시뮬레이션 (10,000번)	0.7943	0.4507

3-2절에서 설정한 시뮬레이션 환경의 신뢰도를 검증하기 위하여 실제 측정에서 사용한 37개 Tag 위치에서 시뮬레이션을 진행하였다. 표 1과 표 2를 보면 Tag 위치에서의 시뮬레이션 평균 오차와 실제 측정 평균 오차의 차이가 있다. 비콘의 경우 약 20cm, UWB의 경우 약 4~7cm 정도 차이가 있는데, 이는 그림 3에서 보이는 것처럼 분포의 차이가 어느 정도 존재하기 때문에 발생할 수 있지만, 비콘과 UWB 모듈 자체의 오차 범위 이내이기 때문에 시뮬레이션 환경이 신뢰할만하다고 판단하였다.

표 1과 표 2에서 비콘과 UWB의 실제 측정결과를 비교해 보면 닫힌공간의 경우 UWB가 비콘에 비해 약 6.8배 작은 오차를 갖고, 열린공간의 경우 UWB가 비콘에 비해 약 5.5배 작은 오차를 갖는다. 시뮬레이션 결과는 닫힌공간의 경우 UWB가 비콘에 비해 약 8.3배 작은 오차를 갖고, 열린공간의 경우 UWB가 비콘에 비해 약 9.5배 작은 오차를 갖는다. 실제 측정결과와 시뮬레이션 결과에 차이가 나타나는데 이는 앞서 3-1절에서 지정한 37개 측위 지점이 공간을 대표하지 못했기 때문에 발생하는 것이라 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 블루투스 비콘과 UWB를 이용한 실내측위를 진행하고 정확도를 상호 비교, 분석하였다. 이를 통해 실제 측정 및 시뮬레이션 결과 UWB가 비콘에 비해 오차가 최소 5~6배 개선되는 것을 확인하여 실내측위에서 발생하는 비콘의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 최근 스마트 기기에 내재 되어 나오는 등 점점 활발하게 사용되고 있는 UWB가 적합하다고 판단하였다. 하지만 스마트폰 환경에서 아직 UWB의 API가 개방되어 있지 않아 본격적인 사용이 어렵고, 또한 UWB가 비콘에 비

해 전력소모가 크고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 이런 UWB의 단점을 개선한다면 정밀 측위를 위해 많은 실내 환경에서 향후 UWB가 쓰일 것이라 사료된다.

5. ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No. 2016-0-00144, 시청자 이동형 자유시점 360VR 실감미디어 제공을 위한 시스템 설계 및 기반기술 연구)과 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발)을 받아 수행된 연구임.

6. 참고문헌

- [1] G. Han, J. Jiang, C. Zhang, T. Q. Duong, M. Guizani and G. K. Karagiannidis, "A Survey on mobile anchor node assisted localization in wireless sensor networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 2220-2243, March 2016.
- [2] F. Zafari, A. Gkelias and K. K. Leung, "A survey of indoor localization systems and technologies," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2568-2599, April, 2019.
- [3] M. Malajner, P. Planinšič and D. Gleich, "UWB ranging accuracy," 2015 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2015, pp. 61-64, doi: 10.1109/IWSSIP.2015.7314177.
- [4] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, NJ, Prentice-Hall, 1996.
- [5] R. Sari and H. Zayyani, "RSS localization using unknown statistical path loss exponent model," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 9, pp. 1830-1833, Sep. 2018.
- [6] 서준호, 정용환, 배영준, 유희석, 김영덕, 김동균, "로봇의 이동 경로 추적을 위한 UWB 기반의 실내 측위 시스템 개발," 한국통신학회논문지, 제44권, 제4호, pp. 701-708, 2019.
- [7] V. Cantón, A. Calveras, J. Paradells, and M. Pérez, "A bluetooth low energy indoor positioning system with channel diversity, weighted trilateration and kalman filtering," *Sensors*, vol. 17, no. 12, p. 2927, Dec. 2017.