

BLE를 이용한 AoA 기반 삼각측량 실내 측위 테스트베드 구성 및 실험

이재인, 정민수, 이재복, 정홍석, 김선우

한양대학교 융합전자공학부

{wodls929, qwjms, ok7393, hssjung, remero}@hanyang.ac.kr

AoA-based Triangulation Indoor Localization Test-bed Configuration and Experiment using BLE

Jaein Lee, Minsoo Jeong, Jaebok Lee, Hongseok Jung, and Sunwoo Kim

Department of Electronic Engineering, Hanyang University

요약

본 논문은 BLE (Bluetooth Low Energy)를 이용한 AoA (Angle of Arrival) 기반 실내 테스트베드 구성 및 측위 실험 성능 분석 결과를 제시한다. 실내 측위 테스트베드는 3개의 Raspberry Pi와 배열 안테나가 결합된 앵커와 1개의 BLE 송신 단말로 구성된다. 본 논문에서는 자유 공간에서 각 앵커가 MUSIC (Multiple Signal Classification) 알고리즘을 사용하여 신호의 수신신호각도를 측정하는 실험과 12개의 기준위치에서 3개의 추정된 각도를 이용하여 삼각측량 기반 타겟의 위치를 추정하는 실험을 진행한다. 타겟의 추정 위치는 Python 기반 GUI를 통해 실시간으로 출력하며, 동시에 누적된 추정 위치 정보를 이용하여 평균 제공된 오차 성능을 분석한다.

I. 서론

IoT 장치들의 증가로 인해 사용자의 위치를 기반으로 하는 서비스 (LBS: Location-based Service)를 위한 정확한 실내 측위 기술의 중요성이 증가하고 있다[1]. Wi-Fi, UWB (Ultrawide Band), Bluetooth 등의 신호를 이용한 다양한 실내 측위 연구가 진행되고 있으며 최근에는 저전력으로 동작하는 IoT 단말에 적합한 BLE (Bluetooth Low Energy) 5.1 규격부터 적용되는 AoA (Angle of Arrival) 추정 기능을 이용하는 연구가 시작되고 있다[2].

본 논문에서는 BLE 5.1 규격의 AoA를 이용한 각도 기반 실내 측위 테스트베드 구성 및 측위 실험 분석 결과를 제시한다. 앵커의 AoA 측정 성능 분석 실험 방법과 고정된 3개의 앵커에서 측정한 타겟의 AoA와 최소자승법 (Least Square Method) 기반의 삼각측량 알고리즘을 통해 타겟의 위치를 추정하는 실험 방법을 고안하였다. 또한, Python 기반 GUI 구현을 통해 실시간으로 타겟의 추정 위치를 확인하였다.

II. 본론

1. 각도 추정 및 삼각 측량 기반 측위 알고리즘

타겟의 AoA 측정에는 대표적인 각도 추정 알고리즘인 MUSIC (Multiple Signal Classification) 알고리즘[3]을 사용한다. MUSIC 알고리즘은 신호원과 각 배열 안테나의 위상에 따라 신호 도착 시간이 달라지는 특징을 이용하여 신호의 수신 각도를 추정하는 방법으로 배열 안테나의 수, 수집한 신호의 개수인 snapshot 등에 따라 그 성능이 변화한다. 타겟의 정확한 위치를 추정하기 위한 방법으로는 그림 1과 같이 각 앵커에서 측정되는 3개 이상의 수신 신호 각도를 이용하는 삼각측량 알고리즘을 사용한다. 삼각 측량 알고리즘에는 여러 가지 풀이 방법이 존재하지만 본 논문에서는 최소자승법을 이용한다[4].

2. 테스트베드 구성 및 실험 방법

본 실험은 한양대학교 FTC, 5층 5G/무인이동체 융합기술 연구센터 내 그림 2와 같이 가로 15 m, 세로 16 m, 높이 2.8 m의 환경에서 진행하였다.

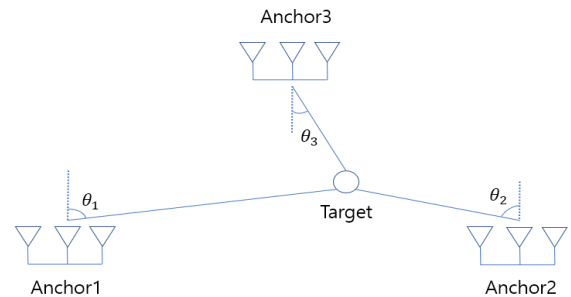


그림 1. 3개의 배열 안테나를 이용한 AoA 기반 삼각측량

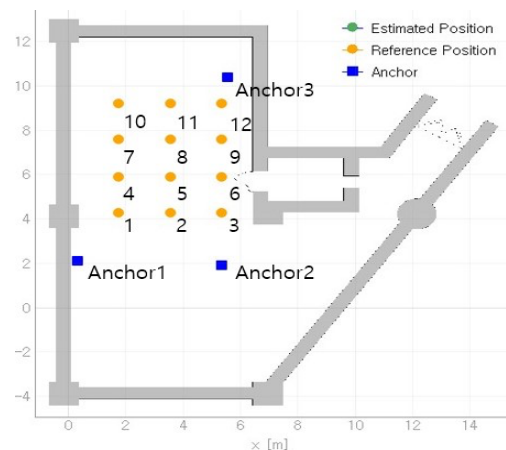
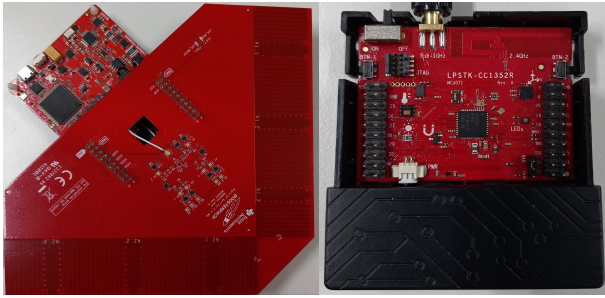


그림 2. 앵커 3개를 이용한 실내 측위 환경 및 기준점

측위를 위한 앵커와 타겟은 그림 3과 같이 각각 TI의 BOOSTXL-AoA와 LPSTK-CC1352R을 사용하였다[5]. 측위를 위한 3개의 앵커는 그림 2에서 각각 [0.32, 2.10, 1.25], [5.34, 1.92, 1.25], [5.55, 10.40, 1.25]에 위치한다. 앵커는 각각 3개의 배열 안테나가 직각으로 만나는 구조로 이루어져 있다. 이때, 배열 안테나에서 안테나 간의 간격은 2.4GHz 무선 신호의 1/4 파장 길이인 약 3.5cm이다. 각 앵커는 Raspberry PI 4와 연결되어 작동한다.



(가) BOOSTXL-AoA(앵커)

(나) LPSTK-CC1352R(타겟)

그림 3. 실내 측위 실험 구성 장비

먼저, 실험 1에서는 각 앵커의 AoA 추정 성능 평가 실험을 진행한다. 자유공간과 유사한 공간에서 앵커와 타겟의 거리를 3 m로 설정하고 타겟의 위치를 앵커 기준으로 10° 씩 -90° 부터 90° 까지 회전시키면서 MUSIC 알고리즘을 이용하여 신호의 수신 각도를 측정한다. 동일한 각도에서 60개의 snapshot을 이용하여 각각 25번의 각도 추정실험을 진행한다. 실험 2에서는 신호의 수신 각도 정보 기반 측위 알고리즘 성능 평가 실험을 진행한다. 3개의 앵커에서 계산되는 신호의 수신 각도를 이용하여 타겟의 위치를 추정한다. 그림 2와 같이 총 12개의 기준 위치에서 타겟 위치를 25번 추정 후 평균 제곱근 오차를 계산한다.

3. 실험 결과 및 분석

그림 4는 실험 1에서 진행한 앵커의 각도 추정 성능 평가 실험 결과를 나타낸다. 3개의 앵커 간의 각도 추정 성능은 평균 3° 정도로 발생하였고 3개의 앵커에서 수신한 각도의 평균 성능을 추정한 결과, -30° 부터 $+30^\circ$ 까지는 평균 각도 오차가 10.1° 로 측정되었다. 그러나, 이 범위를 벗어나는 나머지 각도에서는 오차가 최대 64.1° 까지 점점 커져 신뢰할 수 없는 결과를 확인하였다.

표 1은 실험 2에서 진행한 12개의 기준 위치에서의 위치 추정 성능을 나타낸다. 가장 위치 오차가 적게 측정된 위치는 2번 지점으로 2.51 m의 오차를 확인하였다. 가장 위치 오차가 크게 측정된 위치는 11번 지점으로 9.42 m의 오차를 확인하였다. 12개 기준 위치에서의 진행한 측위 실험의 평균 오차는 5.1 m로, 1~5, 10번 기준 위치에서는 평균보다 낮은 오차가 측정되었고, 나머지 위치에서는 평균보다 큰 오차가 발생한 것을 확인하였다. 낮은 평균 오차를 갖는 기준 위치는 대체로 세 개의 앵커에서 모두 비교적 각도 추정 성능이 좋은 $\pm 30^\circ$ 사이 영역에 포함되는 위치이다.

Ti 제공하는 정보에 따르면 실험 환경에 따라 각도 추정 오차는 무향실 환경에서 4° , 실내 회의실 환경에서 최대 50° 가 넘는 오차가 발생한다[5]. 이에 따라 측위 오차가 큰 원인은 다음과 같이 2가지로 분석할 수 있다. 첫째, 실험이 벽과 책상 등이 많은 실제 사무실 환경에서 진행되어 신호의 감쇄 및 반사 등의 이유로 발생하는 다중경로에 의해 큰 오차가 발생한 것으로 예상된다. 둘째, Ti에서 제공하는 각도 추정 모듈 대체하여 MUSIC 알고리즘을 적용하였고, 이에 따라 배열 안테나의 구성 안테나 개수가 3개로 감소했기 때문에 앵커의 각도 추정 성능이 감소한 것으로 예상된다.

III. 결 론

본 논문에서는 BLE 5.1을 이용한 AoA 기반 실내 측위 테스트베드를 구성하고 측위 실험 결과를 분석하였다. 3개의 BLE 앵커는 MUSIC 알고리즘을 이용하여 앵커-타겟의 수신 신호 각도를 추정한다. 또한, 추정된 각도를 이용하여 최소자승법 기반의 삼각측량 알고리즘을 통해 타겟의 위치를 추정하였다. 각 앵커의 각도 추정 성능은 $\pm 30^\circ$ 사이

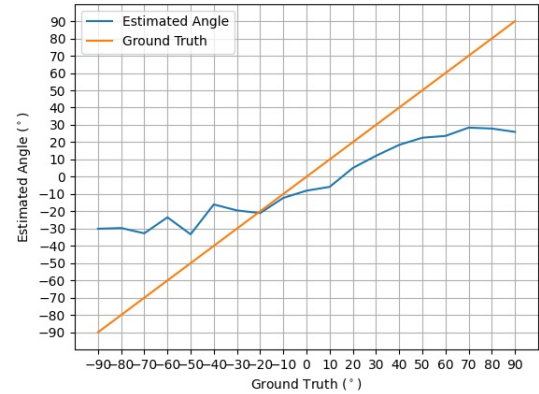


그림 4. BLE 수신 장비의 신호 수신 각도 추정 성능

표 1. 타겟의 위치에 따른 측위 오차

기준위치	위치	오차 [m]	기준위치	위치	오차 [m]
1	[1.74, 4.3]	4.78	7	[1.74, 7.6]	7.78
2	[3.54, 4.3]	2.51	8	[3.54, 7.6]	5.18
3	[5.34, 4.3]	3.49	9	[5.34, 7.6]	6.32
4	[1.74, 5.9]	3.28	10	[1.74, 9.2]	4.67
5	[3.54, 5.9]	2.13	11	[3.54, 9.2]	9.42
6	[5.34, 5.9]	5.66	12	[5.34, 9.2]	6.03

영역에서 평균 10.1° 이고, Python 기반 GUI를 통해 12개 기준 위치에서의 진행한 삼각측량 알고리즘의 평균오차는 5.1 m인 것을 확인할 수 있었다. 측위 오차가 크게 발생한 원인이 앵커의 각도 추정 성능 열화 문제라고 예상하기 때문에 추후 연구에서는 실제 환경에서 MUSIC 알고리즘 기반의 각도 추정 성능 향상을 위한 방법을 적용하여 각도 기반 측위 성능을 향상하는 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 바이오·의료기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021M3A9E4080780).

참 고 문 헌

- [1] 이상우, 김선우. “실내 위치측위 기술 동향 및 전망.” *한국통신학회지 (정보와통신)*, 32(2), pp. 81-88, 2015.
- [2] F. A. Toasa, L. Tello-Quendo, C. R. Peñafiel-Ojeda, and G. Cuzco, “Experimental demonstration for indoor localization based on AoA of Bluetooth 5.1 using software defined radio,” in *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 2021, pp. 1-4.
- [3] R. Schmidt, “Multiple emitter location and signal parameter estimation,” *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, 1986.
- [4] M. W. Khan, N. Salman, and A. H. Kemp, “Enhanced hybrid positioning in wireless networks I: AoA-ToA,” in *2014 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)*, 2014, pp. 86-91.
- [5] Texas Instruments, “Bluetooth Low Energy Angle of Arrival (AoA) Specification site, available on : https://dev.ti.com/tirex/content/simplelink_academy_cc13x2_26x2sdk_5_10_00_00/modules/rtls-toolbox_ble5/ble_aoa/ble_aoa.html