

블루투스 비컨을 이용한 실내 위치 측위의 새로운 패러다임 제시 및 장단점 비교

팀명 : 하이파이프 지도교사 : 서성원

20129 전상완, 20130 정윤석

■ 요약(500자 안팎으로 요약): 실내에서 고정된 위치에서 블루투스 비컨을 이용한 단방향 신호를 송신하고, 이를 측정함으로써 측정자의 위치를 파악하는 방식에는 경제적, 기술적 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 고정된 위치에서 위치 측정자가 블루투스 비컨 신호를 송신하고 그 신호를 고정된 위치에서 수신하여 위치를 측정하는 방법을 사용함으로써 경제적, 기술적 이익을 불러올 수 있음을 확인할 수 있었다.

주요어(key words) : 블루투스, 비컨, 실내 위치, 측위

I. 서론

1. 연구 목적 및 문제제기

가. 연구 동기

고등학교에 진학하고 1년을 보내며 하루하루 바쁜 삶을 보내게 되었다. 매일 시간에 쫓기며 다음 일정을 준비해야 하는 상황이 많았고, 그로 인해 소지품을 어디에 두었는지 잊어버려 찾는 데에 많은 시간을 보내게 되었다. 그러던 와중 우리 일상생활에서 많이 쓰이는 블루투스 기술을 이용하여 실내에서 위치 측정을 할 수 있다는 사실을 알게 되었고, 기술에 대해 알아보던 중 개선방안이 떠올라 연구해보게 되었다.

나. 연구의 목적

블루투스 비컨 기술을 이용한 기존 실내 위치 측정 방법의 장단점을 분석하고, 측정 모듈의 소형화 및 간편화를 위한 새로운 실내 위치 측정 방법을 제시한다.

다. 용어의 정의

1) 블루투스

근거리 무선통신기술 중 하나로, 2.4GHz 대역의 주파수를 이용하여 개인 통신망을 구축하는 데에 사용된다.

2) 블루투스 저전력 (Bluetooth Low Energy, BLE)

블루투스 표준 버전 4.0에 등장한 기술로, 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기기들의 전력 소비를 줄이기 위해 등장한 기술이다.

3) 블루투스 비컨

Bluetooth Low Energy 기술 중 하나로, 기존 블루투스의 경우 양방향 통신이며 이를 이루기 위해 **페어링(Pairing)** 과정을 거쳐야만 하였다. 이는 정보를 수신하기 위한 대기 시간 및 연결을 수립하기 위한 추가적 정보전달이 필요했다는 단점을 극복하여 정보 수신까지 연결을 수립하지 않고 단방향으로 정보를 전달할 수 있게 한다.

4) Received Signal Strength Indicator, RSSI

수신기가 수신하는 신호의 강도이다. 단위는 dbm(데시벨 밀리 와트)을 사용한다.

5) 블루투스 모듈 모드

BLE를 지원하는 모듈은 그 모듈의 하는 일에 따라 크게 네 가지로 분류할 수 있다. 이 분류는 블루투스에서 게시(advertising)와 연결(connection)을 제어하는 GAP (Generic Access Profile)에서 정의된 것이다.

가) Broadcaster Mode

Advertiser은 Advertising Packet을 전송하는 장치로, 적은 데이터를 송수신한다.

Advertising Packet은 다음과 같이 분류된다.

Name	Description	C	S	D
ADV_IND	Used in connectable and scannable undirected advertising	O	O	X
ADV_DIRECT_IND	Used in connectable directed advertising	O	X	O
ADV_NONCONN_IND	Used in non-connectable and non-scannable undirected advertising	X	X	X
ADV_SCAN_IND	Used in scannable undirected advertising	O	X	X
ADV_EXT_IND	May used in all advertising*	-	-	-
AUX_ADV_IND	May used in all advertising*	-	-	-
AUX_SYNC_IND	Used in periodic advertising	-	-	-
AUX_CHAIN_IND	Used to hold additional advertise data	-	-	-

표 2 Advertising Packet 분류

(1) C (Connectable)

Scanner가 Advertising Packet을 받은 이후 연결을 시도할 수 있는지를 나타낸다. Non-connectable일 경우 Advertising Packet만을 송출하는 장치라는 뜻이다.

(2) S (Scannable)

Scanner가 Advertising Packet을 받은 이후 Scan Request를 보낼 수 있는지를 나타낸다. Scanner는 Scan Request를 통해 비컨에 추가 정보를 요청할 수 있다.

(3) D (Directed)

Directed 상태라면 Advertising Packet에 비컨과 Scanner의 주소만을 포함하고 그 밖에 사용자 데이터를 가지지 않는다. 이는 연결을 원하는 기기가 정해져 있을 때 사용된다.

나) Peripheral Mode

일반적으로 컴퓨팅 파워가 적고, 저전력으로 동작하고, 리소스가 풍부한 Central Mode로 동작하는 Device에 연결되어 동작해야 하는 센서 장비 등에 쓰인다. Broadcaster Mode의 경우 적은 데이터만을 주고받을 수 있다는 점과 달리 Peripheral Mode는 직접 연결되어 대량의 데이터를 주고받을 수 있는 경우 사용된다.

다) Central Mode

다수의 장치가 네트워크에 함께 연결될 수 있도록 중심점 역할을 하므로 충분한 전원과 컴퓨팅 파워, 메모리가 요구된다.

라) Observer Mode

Advertiser의 Advertising Packet을 수신하고 이에 담긴 데이터를 이용하는 장치이다.

6) 전파 모델

이 보고서에서 전파 모델로 언급하는 모델은 IEEE Explore에서 제시된 Energy-Efficient Indoor Localization of Smart Hand-Held Devices Using Bluetooth 모델을 일컫는다. 이 모델은 다음과 같이 정의된다.

$$RSSI = P - 10n \log(d)$$

수식 1 전파 모델

7) 몬즈의 정리

RSSI를 통해 측정 기기와 비컨의 거리를 추론하였을 때, 비컨의 위치는 최소 3개의 측정 기기에서 원을 그림으로써 위치를 얻을 수 있다. 2차원에서는 그 세 원의 교점이 유일하게 존재하고, 이를 구하는 것에 문제가 없지만 3차원의 위치를 투영하였을 때는 세 원이 한 점에서 만나지 않을 수 있다.

이를 해결하기 위해 **세 원의 공통현의 교점**을 비컨의 위치임을 추론할 수 있으며, 세 원이 각각 두 점에서 교차할 때 세 원의 공통현의 교점은 유일하게 존재한다는 사실은 몬즈의 정리로써 증명되어 있다.

8) Kalman Filter(KF)

Kalman Filter는 어떤 물체의 상태를 추정하기 위해 가장 흔히 사용되는 방법으로, 입력에 의한 추측 단계와 센서의 측정을 이용한 보정 단계로 이루어진다. 다만 Kalman Filter의 경우 선형 Gaussian Model을 사용하므로 이 연구에 적합하지 않았다.

비선형 Gaussian Model을 이용한 변형된 Kalman Filter로써는 Extended Kalman Filter(EKF)와 Unscented Kalman Filter(UKF)가 존재한다. Extended Kalman Filter의 경우 비선형 Gaussian Model을 선형적으로 예측하기 위하여 테일러 전개를 사용하고, Unscented Kalman Filter의 경우 테일러 전개를 사용하지 않음으로써 더 정확한 필터링을 할 수 있지만, Extended Kalman Filter보다 연산량이 많다는 단점이 있다.

라. 연구상의 제한점

1) 전파법상 송신 세기 제한

전파법상 무선신호를 송수신하기 위해서는 무선국을 등록해야 하는데, 2.4GHz 대역과 5GHz 대역의 경우 무선국을 등록하지 않아도 일정 세기(10와트, 전파법 제75조) 이하로 운용하면 무선국 신고 및 등록을 진행하지 않아도 된다.

2) 동일 주파수 대역의 신호 차폐

블루투스는 2.4GHz 대역의 무선신호를 사용한다. 우리나라의 경우 동일 주파수 대역인 2.4GHz대에서 작동하는 Wi-Fi, RF신호 등 블루투스 신호를 방해할 수 있는 전자 제품들이 많아 실험의 정확도에 영향을 줄 수 있다.

2. 이론적 배경

가. 블루투스 비컨 기술을 이용한 기존 실내 위치 측정 방법

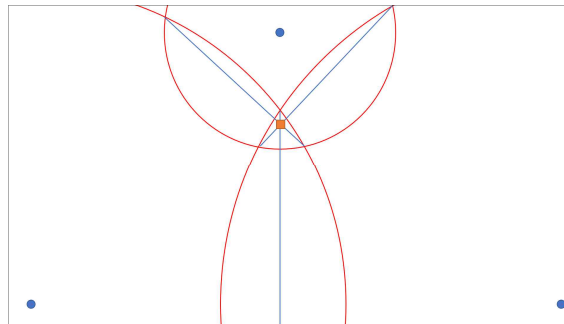


그림 1 기존 실내 위치 측정 방법

기존 실내 위치 측정 방법의 경우 신호를 보내는 비컨(그림에서 파란색 원)을 고정하고 위치를 측정 대상이 비컨 스캐너(그림에서 주황색 사각형)를 사용하여 자신의 위치를 아는 방법을 사용하였다.

기존 실내 위치 측정 방법의 경우 물체가 사용하는 비컨 스캐너가 많은 컴퓨팅 파워와 전력을 필요로 하며 자신의 위치를 자신이 사용하는 것이 아닌 다른 사람에게 전송하는 경우 또 다른 무선 통신 방법을 이용하여 전달하여야 하므로 적절하지 않다.

다만 미술관 또는 박물관에서 작품에 대한 설명을 알려주는 서비스에 경우에는 자신의 위치를 직접 사용하며, 컴퓨팅 파워가 이미 충분히 존재하는 상황이므로 기존 실내 위치 측정법을 사용하는 것이 이익일 수 있다.

나. 블루투스 비컨 기술을 이용한 새로운 실내 위치 측정 방법

이 연구에서 새롭게 제시하는 실내 위치 측정 방법은 신호를 보내는 비컨을 고정하는 것이 아닌 위치 측정 대상이 비컨을 들고 다니는 것이다.

이 연구에서 제시하는 실내 위치 측정법은 고성능을 요구하는 스캐너를 고정함으로써 안정적인 전력 공급 및 데이터 전송을 이룰 수 있다.

II. 본론

1. 실험 1 - HM-10 모듈을 이용한 RSSI 값과 거리 간의 상관관계 분석

가. 연구 목표

HM-10 모듈의 경우 그 일반적 쓰임이 실내 위치 측정을 위한 것이 아니므로 **전파 모델의 HM-10 모듈 간 RSSI 값과 거리에 적용 가능성을 확인하는 것**을 실험의 목표로 삼는다.

나. 연구 도구

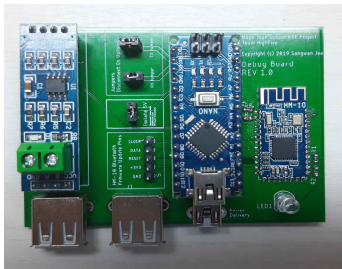


그림 2 HM-10 모듈

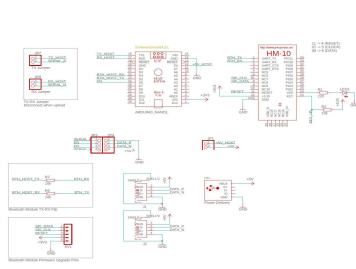


그림 3 HM-10 모듈 회로도

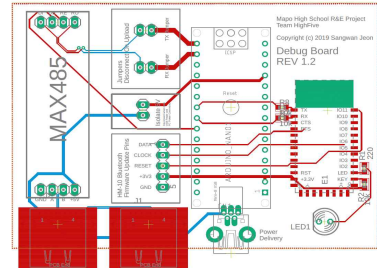


그림 4 HM-10 모듈 Footprint

HM-10 SMD 모듈을 실장할 수 있는 PCB 보드를 PCB 제작 업체에 주문제작하여 PCB를 만들고, PCB에 아두이노 나노를 포함한 모듈을 직접 납땜하여 실험에 사용하였다.

다. 연구방법



그림 5 측정위치 표시

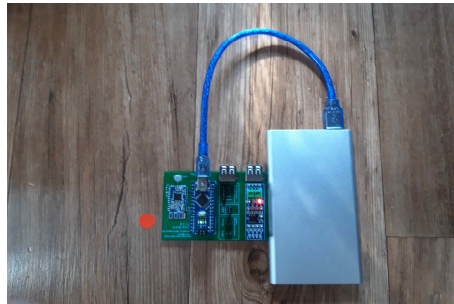


그림 6 원점 고정

1. 4m 거리에 10cm 간격으로 스티커를 이용해 측정 위치를 표시한다.
2. 4m 거리의 마지막 측정 위치를 원점으로 삼고, 원점에 Advertiser Mode로 설정된 HM-10 모듈을 고정해 놓는다.
3. HM-10 모듈 하나를 Observer Mode로 설정한다.
4. 각각의 측정 위치에서 3번씩 RSSI 값을 측정한다.
5. 3번의 측정결과를 평균 내어 분석한다.
6. 로그형 추세선을 그어 R^2 값을 구하고, 전파 모델과 비교한다.

라. 연구결과

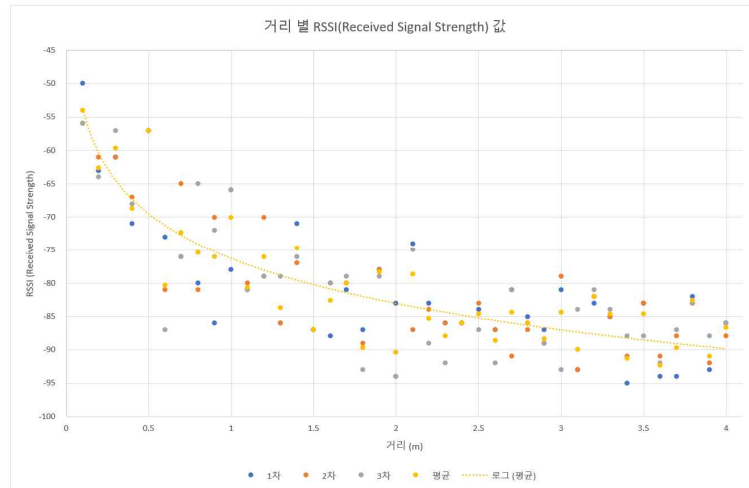


그림 7 실험 1 실험결과 및 분석결과

분석결과, RSSI 값은 거리와 다음과 같은 관계를 이룬다는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

$$RSSI = -22.5239 \times \log(\text{distance}) - 76.253 \quad (R^2 = 0.7895)$$

수식 1 실험 1 RSSI와 거리의 상관관계

1m 거리에서 측정된 RSSI값의 평균이 -70이었음을 고려하면 이는 전파 모델을 따른다는 결과를 도출할 수 있었다.

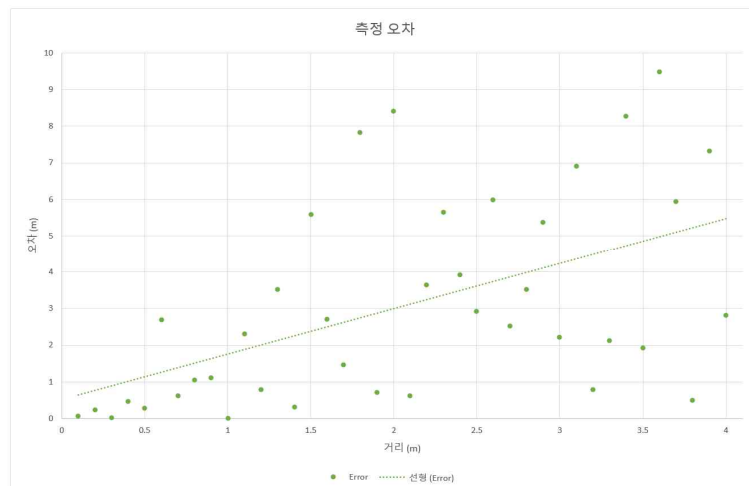


그림 8 실험 1 측정 오차

다만, 측정 오차가 모듈 사이 거리의 증가에 따라 심하게 증가함에 따라 (최대 오차 약 10m) 실내 위치 측정에 사용할 수 없음을 알았다. 측정오차는 RSSI 값을 전파 공식에 대입하여 거리로 변환하고, 공식을 통해 산출된 거리와 실제 측정 거리와의 절대 차로써 비교하였다.

2. 실험 2 - HM-10 모듈과 Raspberry Pi를 이용한 RSSI 값과 거리 간의 상관관계 분석 가. 연구 목표

HM-10 모듈의 경우 Observer Mode에서 비컨을 한 번 스캔하는 데에 3초의 시간이 소요된다는 것을 확인하였다. 즉, 실험 1에서 3번의 측정을 위해서는 한 측정지점에서 10초 이상의 측정시간이 필요하였다. 또한, 생성되는 측정 데이터가 너무 적어 측정 잡음을 제거하기 위한 필터를 사용할 수 없었다. 이를 보완하기 위해서 빠른 속도로 비컨을 스캔할 수 있는 Raspberry Pi 3B 모델을 이용하여 Observer 역할을 하는 모듈을 다시 제작하여 실험 1과 같은 목표로 실험하였다.

나. 연구 도구

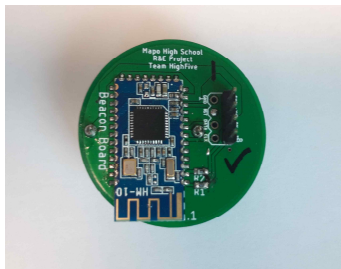


그림 9 Beacon Module

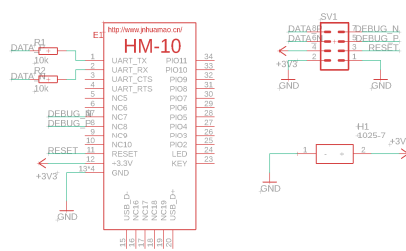


그림 10 Beacon Module 회로도

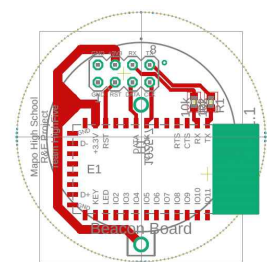


그림 11 Footprint

비컨 신호를 주기적으로 전송할 수 있게 사전에 설정해놓고, 데이터 송신 모듈을 제외한 모든 전자부품을 제거하여 CR2477 배터리를 연결만 하면 비컨 신호가 전송되도록 하여 전력 소비를 최대한 줄여 보았다.

다. 연구방법

1. 4m 거리에 10cm 간격으로 스티커를 이용해 측정 위치를 표시한다.
2. 4m 거리의 마지막 측정 위치를 원점으로 삼고, 원점에 Observer Mode로 설정된 Raspberry Pi 3B 모듈을 고정해 놓고, 데이터를 처리할 컴퓨터와 같은 네트워크상에 연결한다.
3. Beacon Module 모듈 하나를 준비한다한다.
4. 각각의 측정 위치에서 10초 동안 RSSI 값을 측정한다.
5. Unscented Kalman Filter를 사용하여 RSSI 값을 필터링하고, 필터링 전 데이터의 평균과 필터링된 데이터의 평균, 마지막으로 필터링된 값을 분석한다.
6. 로그형 추세선을 그어 R^2 값을 구하고, 전파 모델과 비교한다.

라. 연구결과

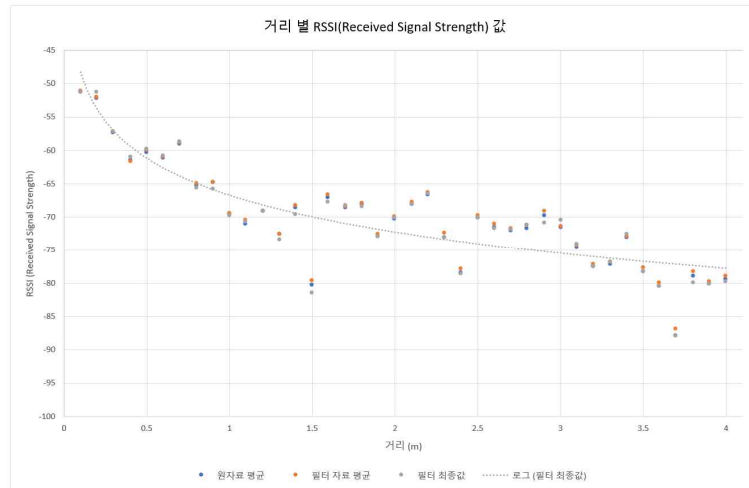


그림 12 실험 2 실험결과 및 분석결과

분석결과, RSSI 값은 거리와 다음과 같은 관계를 이룬다는 것을 실험적으로 알 수 있었다.

$$RSSI = -18.3861 \times \log(\text{distance}) - 66.687 \quad (R^2 = 0.759)$$

수식 2 실험 2 RSSI와 거리의 상관관계

1m 거리에서 측정된 RSSI값의 원자료 평균이 -69.55357143, 필터 자료 평균이 -69.51935822, 필터 최종값이 -69.85527507이었음을 감안하면 이는 전과 모델을 따르는 결과를 도출할 수 있었다.

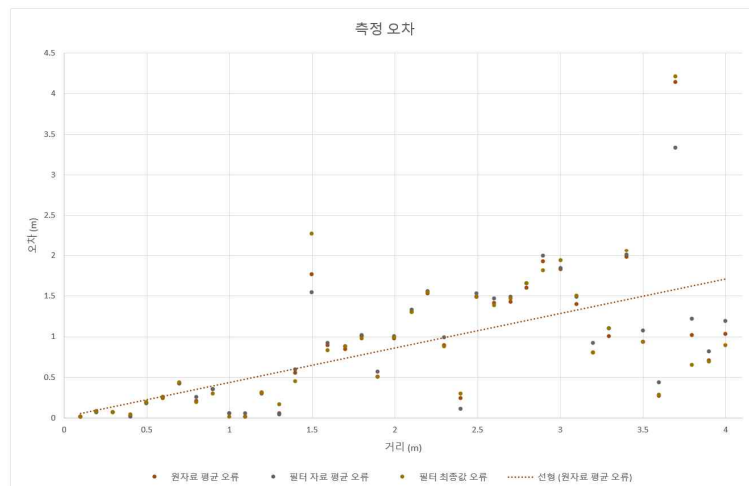


그림 13 실험 2 측정 오차

측정 오차 또한 1.5m와 3.7m에서 측정된 이상점(Outlier)을 제외하고는 모두 2m 오차 내에서 측정됨을 확인할 수 있었다. 측정오차는 RSSI 값을 전과 공식에 대입하여 거리로 변환하고, 공식을 통해 산출된 거리와 실제 측정 거리와의 절대 오차로써 비교하였다.

3. 실험 3 - 새로운 실내 위치 측정 방식의 실현 가능성 확인

가. 연구 목표

이 연구에서 제시한 새로운 실내 위치 측정 방식을 직접 구현하여 실현 가능성을 확인해 보는 것을 목표로 한다.

나. 연구방법

1. Raspberry Pi 스캐너 3개를 적절한 곳에 놓고 그 거리를 측정하여 프로그램에 설정한다.
2. 비컨의 위치를 움직여 보며 실내 위치 측정의 실현 가능성을 확인한다.

다. 연구결과

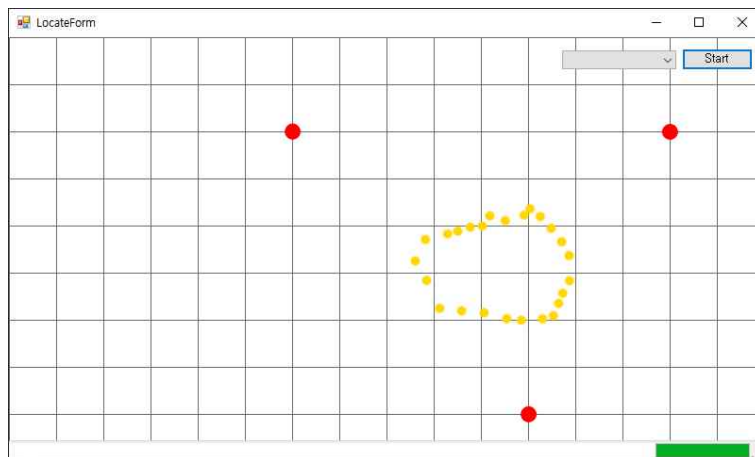


그림 14 실험 3 실험 결과

제시한 새로운 측정 방식을 사용하여 의미 있는 데이터를 얻는 데에 성공하였다.

Ⅲ. 결론

1. 결론 및 제언

이번 연구에서는 3번의 실험을 통해 기술의 적용 가능성을 확인하였다. 결론에서는 연구 초기에 설정하였던 연구 방향들을 기준으로 이번 탐구의 결론을 도출해 보았다.

가. 정확도

실험 1에서는 거리 오차가 10m까지 나 정확도 면에서 블루투스 비컨 기술을 이용하는 데에 장점이 없었다. 다만 비컨 스캔 주기를 줄이고 Kalman Filter를 적용한 실험 2에서는 최소 수 cm에서 최대 2m (이상점 제외)의 범위에서 오차가 존재하였다. 이는 실제 사용에 크게 문제가 없을 정도로 정확한 것이며, 고정된 물체의 위치를 측정하는 경우에는 실험보다 더 오랫동안 측정이 가능하므로 실험보다 오차가 더 줄어들 가능성이 기대할 수 있었다.

나. 경제성

탐구 과정에서는 PCB를 대량 주문하는 것이 아닌 소량 주문하는 것이므로 경제성이 떨어지는 편이다. 경제성 측면에서는 대량 생산 (10000개 이상)을 가정하고 계산하도록 하겠다.

1) HM-10 모듈 보드

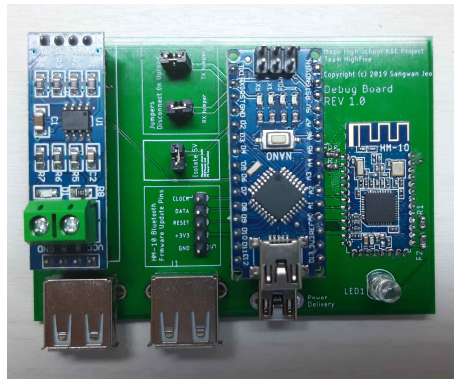


그림 15 HM-10 모듈

HM-10 모듈 보드의 경우 실험 데이터 측정용으로만 개발 및 제작되었으므로 실제 경제성을 따지기에는 적합하지 않다. 따라서 HM-10 모듈 보드의 경우 경제성을 따지지 않는 것으로 한다.

2) Raspberry Pi 3B 모듈

Raspberry Pi 3B 모듈의 경우 상품화를 하기 위한 제품이 아닌 교육 및 개발용으로 사용되는 제품으로, 상용화하기에 경제성이 떨어지는 것이 사실이다. **Raspberry Pi Zero W 모듈**을 사용하면 1만 2천원까지 가격을 낮출 수 있다. 이에 통신을 위한 모듈들을 추가하면 예상 가격은 2만 5천원 정도로 예상된다. 주어진 방 하나에 3개의 모듈이 필요하므로 한 방에 7만원정도 필요한 것을 알 수 있다.

3) Beacon Module

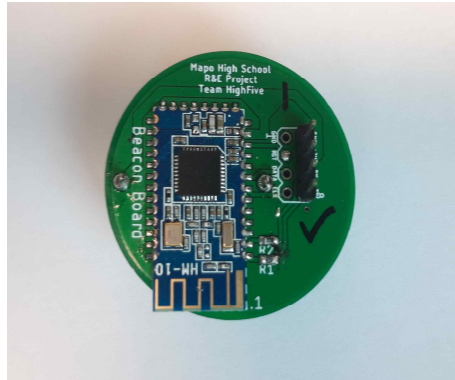


그림 16 Beacon Module

Beacon Module은 비컨 신호를 전송하는 최소한의 부품만을 담아 경제성 및 전력 사용을 줄이도록 설계하였다. 이 모듈의 경제성은 다음과 같이 고려하도록 하겠다.

가) 제작 시 소모 비용

제작 시 소모 비용에는 사용되는 부품의 가격, 주문제작 가격 등을 고려하였다.

#	부품명	개당 가격	필요한 부품 수	총 가격
1	PCB 기판	0.14\$	1개	0.14\$
2	1025-7 (배터리 홀더)	1\$	1개	1\$
3	10k 0603 저항	0.04\$	2개	0.08\$
4	HM-10	1\$	1개	1\$
5	CR2477 (배터리)	2\$	1개	2\$
-	총합	-	-	4.22\$

표 3 Beacon Module BOM (Bill of Materials)

Beacon Module 하나당 약 5천원 가량으로 책정할 수 있었다. 이는 측정하고 싶은 물체에 부착하여 사용하면 되므로 경제적이라고 생각할 수 있다. 또한, 이는 소모품인 CR2477 배터리를 포함한 가격으로, 배터리를 제외하면 3천원까지 생산 비용이 감소하는 것을 알 수 있었다.

나) 사용 시 소모 비용

제작 시 블루투스 모듈을 최대 절전모드로 설정해놓아, 전력 소모량이 최소 50uA에서 최대 200uA를 유지할 수 있다. 모듈에 장착한 CR2477 배터리는 3V 1000mAh 용량이므로 최대 20000시간(약 2년)에서 5000시간(약 6개월)까지 배터리를 갈지 않고 운영할 수 있다. 이는 매달 83원 ~ 300원의 소모 비용이 들어가는 것이다.

4) 정리

기존 실내 위치 측정 패러다임을 사용하기 위해서는 고성능의 장비 (휴대폰 등)이 필요하였다. 새로 제시하는 측정 패러다임에서는 초기비용 3천원과 최대 300원 가량의 유지비용만으로도 실내 위치 측정이 가능하므로 경제적인 우위를 지니고 있다고 볼 수 있다.

2. 기술의 활용 방향

가. 치매 환자들의 동선 및 위치 관리

치매 환자들을 위한 요양원에서는 치매 환자의 위치 관리는 중요하다. 치매 환자가 병원을 이탈하거나, 위험 지역에 접근하였을 경우 관리자에게 그 사실을 전달하는 것은 사고 예방에 중요한 역할을 한다. 다만, 병원 관리자가 모든 치매 환자들의 위치를 관리하기에는 실질적인 한계가 있다.

위 시스템을 병원에 적용하여 비컨 스캐너를 각 방과 복도에 설치하고, 블루투스 비컨을 옷에 내장하거나 더 소형화하여 치매 환자들의 위치를 실시간으로 관리할 수 있다면 병원 관리자들이 병원을 더 효율적으로 운영할 수 있을 것이다.

나. 영유아의 통학버스에서의 사고 방지

우리나라는 어린이집 또는 유치원에 다니는 영유아의 비율이 많은 편이다. 비록 통학버스에 인솔교사를 배치하도록 법적으로 강제하지만, 영유아가 통학버스 내에서 잠을 자거나, 인솔교사의 실수 등의 이유로 적절한 장소에서 내리지 못하였거나 다른 장소에서 내리게 되었을 때 영유아가 처할 위험은 매우 위험함을 알 수 있다.

위 시스템을 통학버스에 배치하고 영유아에게 위치 추적 모듈을 제공할 경우 위와 같은 상황의 발생을 줄일 수 있고 새로운 영유아가 추가되었을 때 누락의 위험성 또한 제거할 수 있다.

3. 추가 연구 방향

가. 최적의 실내 위치 추적을 위한 측정기기의 배치 방법에 관한 연구

이번 탐구에서는 측정기기(스캐너)를 적절히 배치할 수 있는 곳에 두고 실험을 진행하였다. 최적의 실내 위치 추적을 위해 측정기기를 어디에 배치해야 할지에 대해 연구해보고 싶다.

나. 움직이는 장애물에 대응하기 위한 실내 위치 추적 알고리즘에 관한 연구

실험을 진행하며 비컨의 RSSI 신호는 비컨과 측정 기기 사이의 장애물에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었다. 이는 거리의 오차를 증가시켜 위치 추적의 오차를 증가시킨다. 이에 대응하기 위해 움직이는 장애물에 대응하기 위한 실내 위치 추적 알고리즘에 관한 연구를 진행하고 싶다.

* 이 프로젝트를 진행하며 사용된 모든 프로그램 소스와 실측 데이터값은 <https://github.com/maxswjeon/Mapo2019> 에서 확인할 수 있습니다.

IV. 참고문헌

1. Bluetooth Core Specification v.5.1. (2019년 01월 29일). *Bluetooth SIG Proprietary*, . <https://bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>에서 취득
2. Energy-Efficient Indoor Localization of Smart HandHeld Devices Using Bluetooth. (2015년 5월 13일). *Yu Gu, Fuji Ren*, . IEEE Access
3. 몬즈의 정리. (2019년 6월 20일). *위키백과*, . 18:51, 2019년 8월 12일에 확인.
4. 칼만 필터. (2019년 5월 11일). *위키백과*, . 18:54, 2019년 9월 1일에 확인.
5. 전파법. (2018년 12월 24일). *국가법령정보센터*, .

V. 느낀 점

20129 전상완

일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 기술인 블루투스 기술을 실내 위치 측정이라는 예상치 못한 부분에 사용할 수 있다는 점에 흥미를 느꼈다. 연구를 진행하며 수학이 굉장히 다양한 곳에서 사용된다는 것을 다시 한번 깨달을 수 있었으며 그 수학이 모두 학교에서 배운 개념에서 시작되어 그 개념을 심화 및 응용함으로써 유도되었다는 것을 확인함으로써 수학의 중요성을 다시 한번 깨닫게 되었다.

연구를 진행할 때 연구의 결과도 중요하지만, 공학과 관련된 연구의 경우 연구의 경제적인 측면도 고려해야 한다는 점을 알게 되었다.

20130 정윤석

연구에 사용된 Kalman Filter에 대해 알아보며 노이즈가 포함되어있는 데이터에서 참값을 얻기 위해 수학적으로 추정하는 방법을 알게 되었으며, 그 방법의 기초원리는 우리가 고등학교에서 배우는 확률과 통계 과목에서 나오는 조건부확률임을 알고 신기함을 느꼈다.