

블루투스 패킷정보를 이용한 위치측위 오차 최소화 메커니즘

김하주, 서유경, 김주하, 염철민, 원유재*

충남대학교 컴퓨터공학과

{hjypyp, syk332, mukpobu, cjfals18, yjwon}@cnu.ac.kr ,

*Corresponding author

Mechanism for Minimizing Positional Errors Using Bluetooth Packet Information

Hajoo Kim, Yukyung Seo, Juha Kim, Cheolmin Yeom, Yoojae Won*

Dept. of Computer Science, Chung-Nam University

요 약

블루투스의 지속적인 발전을 통해 Bluetooth 4.0부터는 기존 단점이었던 많은 전력 소비를 보완하여 저전력 블루투스(Bluetooth Low Energy)가 사용 가능하게 되었다. 따라서 많은 업체에서는 저전력 블루투스를 이용한 다양한 블루투스 단말기를 시중에 출시했는데, 그중 하나인 비콘(Beacon)은 특정 신호를 알리기 위해 주기적으로 저전력 블루투스 신호를 전송하는 기기이다. 본 연구에서는 이러한 특징을 가진 비콘과 안드로이드 단말기를 통해 이용자의 실내 위치 측위를 위한 정보를 수집하고 이를 바탕으로 이용자의 위치를 파악하는 시스템을 제시한다.

1. 서론

최근 고객의 위치를 기반으로 여러 가지 서비스를 제공해주는 위치기반서비스가 다양한 산업 분야에서 주목받고 있다. 위치기반서비스의 핵심 기술인 측위 기술에는 일반적으로 GPS가 활용되고 있다. 하지만 실내 공간에서는 GPS 신호를 이용하여 위치를 찾아낼 수 없으므로 다른 방식의 측위 기술이 필요하다[1]. 그중 하나로 비콘이 사용되고 있으며 비콘은 BLE(Bluetooth Low Energy)를 사용하는 근거리 무선 통신 기술이다. 비콘은 주로 병원, 박물관, 전시관, 테마파크, 공항, 쇼핑몰 등에서 사용된다[2]. 비콘은 페어링이 필요 없이 최대 50m까지 소량의 패킷을 주기적으로 보내고 블루투스가 켜져 있는 장치에서 신호를 수신한다. 비콘을 사용하면 비콘이 부착된 특정 사물을 UUID (Universally Unique Identifier) 값으로 구분하며, 스마트폰을 소지한 개인에게 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 별도의 페어링 절차 없이 사용자에게 신호를 전달할 수 있다[3]. 비콘을 이용하여 사용자 단말기의 실내 위치를 알아내기 위해서는 사용자 주변에 위치가 고정된 3개 이상이 비콘이 있어야 하며, 비콘들의 위치와 신호 세기 정보로 사용자와의 거리를 알아내고 이를 삼변측량하여 위치를 알아내

는 것이 일반적인 방법이다. 이때 다양한 무선 환경에서의 신호 세기의 부정확성으로 인하여 m 단위의 정밀 위치 측정이 필요한 산업 분야에 적용이 어려운 단점을 가지고 있다[4]. 이를 보정하기 위해 불안정한 RSSI 신호에 필터 알고리즘을 적용하고 측정값과 실측값의 관계를 찾아 근사시키는 과정이 필요하다. 근사 후 위치 정확도를 판별하기 위해 단말기 간의 저전력 블루투스 신호로 상대적인 거리를 파악 후 위치를 보정하는 연구를 진행하였다.

2. 일반 RSSI로 계산한 거리 데이터 분석

2-1 비콘 거리 계산법

실내 측위를 가능케 하는 비콘의 거리 측도 원리는 다음과 같다. 비콘이 Tx-Power(Transmission Power)만큼 반경 내로 블루투스 신호를 전 방위적으로 송출하고, 비콘 신호 송출 범위 내로 들어온 스마트폰 기기가 비콘이 송출한 블루투스 신호의 RSSI를 이용하여 거리로 환산한다. RSSI의 단위인 dBm 값은 mW 단위의 전력을 dB 스케일로 나타낸 단위며, 이 값이 0에 가까워질수록 신호가 강해지고 음수 값이 커질수록 신호가 약해진다.

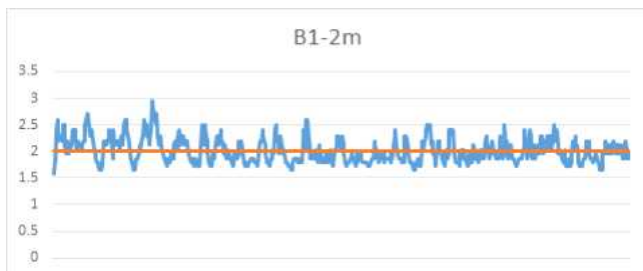
$$RSSI = -10\log(d) + TXPower \quad (\text{식 1})$$

$$d = 10^{(Txpower - RSSI)/(10*n)} \quad (\text{식 } 2)$$

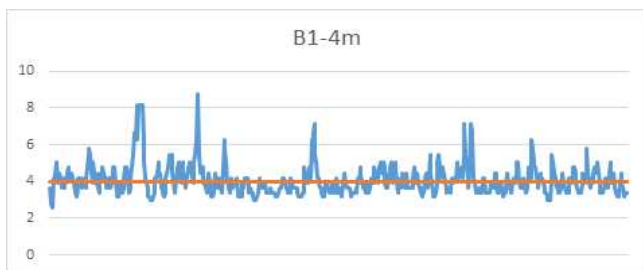
RSSI는 보드에서 나타내어질 때 식 1의 과정을 거친 dbm 값으로 표현이 된다. dbm 값을 식 2에 적용해 연산하게 되면 거리(m)로 표현할 수 있다. 식 1, 2에서 n은 전파손실을 의미하며, TX Power는 송신전력레벨을 나타낸다[5].

2-2 거리별 비콘 신호 결과

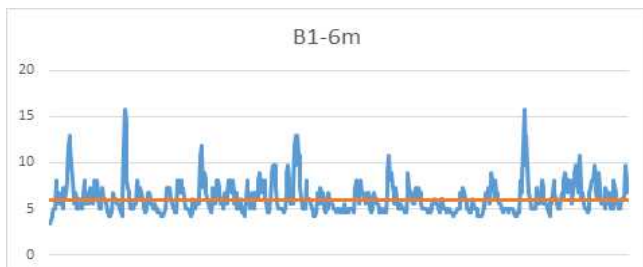
비콘의 신호로 강의실 내의 위치를 계산하기에 앞서, 모바일 어플리케이션을 이용하여 비콘에서 수신한 RSSI로 계산한 거리를 분석하였다. 비콘과 단말기 사이의 거리를 일정한 비율로 변경하면서 같은 시간 동안 RSSI를 측정하고 결과를 분석하였다. 비콘과 모바일기기의 실제 위치를 입력한 후 측정된 거리와 비교하여 두 값 사이의 방정식을 만들어 거리를 계산하였다.



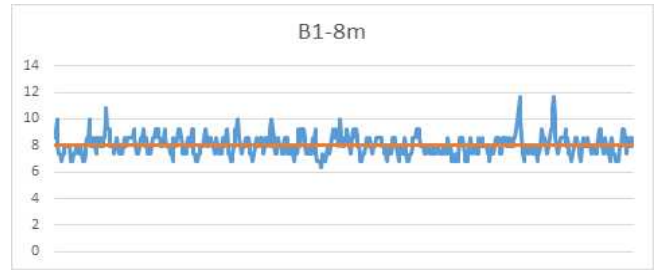
(그림 1) 거리 2m



(그림 2) 거리 4m



(그림 3) 거리 6m

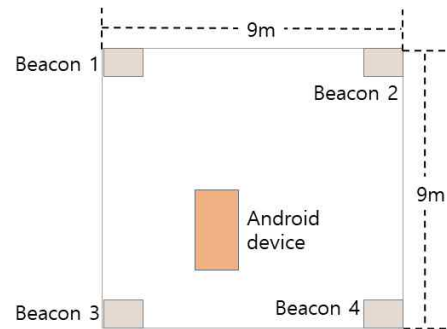


(그림 4) 거리 8m

그림 1, 2, 3, 4는 각각 2, 4, 6, 8m의 거리에서 모두 같은 시간 동안 측정한 결과이다. 2m의 경우 오차가 1m 이내로 비교적 안정적이거나, 거리가 증가할수록 노이즈가 심해지는 것을 볼 수 있다.

3. 삼변측량을 이용한 2X2 구간 배치 측정

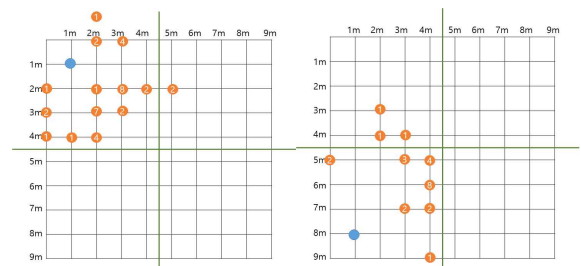
3-1. 실험 환경



(그림 5) 실험 환경

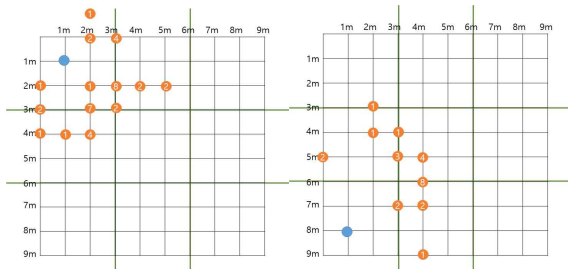
Estimote 비콘을 사용하고, 그림 3과 같이 9mX9m의 강의실 환경에서 각각의 모서리에 4개의 비콘을 설치하여 진행되었다. Android 9.0 버전에서 Beacon 신호를 수집하여 서버로 전송하고, Ubuntu 16.04.6 환경에서 데이터 저장 및 위치 계산 서비스를 구축하였다. 사용자 단말기는 Android 9와 10 버전을 사용하였다. 강의실을 2X2구간으로 나누어 실제 위치하는 구간과 같은 위치에 측정되는지 확인하였다.

3-2. 삼변측량을 이용한 2X2 구간 배치



(그림 6) 비콘 삼변측량을 이용한 2x2 격자 넣기

단말기를 왼쪽 상단과 하단에 놓고 측정한 결과이다. 그림 6의 결과를 보면 2X2의 구간에서는 실험 결과 모두 85% 이상의 확률로 실제 위치하는 구간에 결과가 나오음을 확인할 수 있다.



(그림 7) 비콘 삼변측량을 이용한 3x3 격자 넣기

그러나 같은 실험 결과를 3x3의 구간으로 확인할 경우 그림7 오른쪽 실험 결과는 70.1%의 확률로 같은 구간을 가리키나, 왼쪽의 실험 결과는 8%의 낮은 확률로 해당 구간을 가리킴을 확인할 수 있다. 따라서 불규칙한 데이터를 보완하기 위해 여러 개의 신호를 받아 노이즈가 큰 신호를 필터링한 후, 대푯값을 구하여 위치를 측정하는 방법을 제안한다.

3-3. 칼만 필터와 평균값을 이용한 3X3 구간 배치

칼만 필터(Kalman filter)란 잡음이 포함된 측정치를 바탕으로 선형 역학계의 상태를 추정하는 재귀 필터이다.

<표1> 칼만 필터와 평균값 적용 전후 비교

실제 격자 위치(x, y)	측정된 격자 위치(x, y)
0, 0	0, 0
1, 0	1, 0
2, 0	2, 0
0, 1	1, 2
1, 1	1, 1
2, 1	2, 1
0, 2	0, 2
1, 2	0, 0
2, 2	2, 2

<표1>을 보면 77.8%의 확률로 위치가 확인됨을 볼 수 있다. 이 이상의 정확도를 높이기 위해, 안드로이드 단말기 간의 BLE 신호를 수신하여 서로 간의 위치를 보정하는 방법을 제시한다.

4. 안드로이드 단말기 BLE 신호 수신 및 계산

4-1. 안드로이드 BLE

안드로이드 4.3부터 저전력 블루투스를 사용할 수 있는 API를 제공하여 안드로이드 단말기로도 저전

력 블루투스 통신을 사용할 수 있게 되었다. 이로 인해 안드로이드 단말기 간의 BLE 신호 송수신과 안드로이드 단말기와 비콘 간의 BLE 신호 송수신이 가능하다.

4-2. 단말기 간의 BLE 신호 송수신

BLE 신호로 안드로이드 단말기 간의 거리를 측정하기 위하여 두 개의 안드로이드 단말기에서 동시에 송수신한 BLE 신호를 식 2를 사용하여 분석하였다. TX-power는 -20으로 고정되어 있다. 두 개의 단말기 사이의 거리를 일정한 비율로 정하고 일정 시간 동안 각각 기기에서 BLE 송신과 수신을 동시에 진행하였다.

<표 2> 수신자와 송신자 간 측정 결과

수신자	송신자	실제 거리(m)	RSSI 평균값	식2로 계산한 거리(m)
단말기A	단말기B	3	-65	177.8
단말기B	단말기A	3	-75	562.3
단말기A	단말기B	5	-69	281.8
단말기B	단말기A	5	-81	1122.0
단말기A	단말기B	7	-71	354.8
단말기B	단말기A	7	-84	1584.8

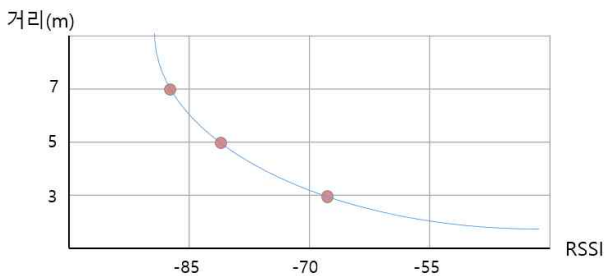
<표 2>은 신호 수신자와 송신자에 따른 측정 결과이다. RSSI는 수신자 어플리케이션에서 측정된 값으로 칼만 필터링한 후의 평균값을 내고 식 2에 따라 n을 2로 고정한 후를 계산하였다. 이를 통해 수신자와 송신자를 고정할 경우는 실제 거리가 늘어날 때마다 RSSI 값이 작아지지만, 수신자와 송신자가 변경될 때는 같은 거리라도 RSSI 값이 다르며, 식 2로 계산한 거리 또한 실제 거리와 차이가 난다는 것을 알 수 있다.

<표 3> 같은 거리에서의 단말기 간 측정 결과

수신자	송신자	실제 거리(m)	RSSI 평균값
단말기 C	단말기 D	5	-52.112
단말기 C	단말기 E	5	-89.240
단말기 D	단말기 C	5	-75.159
단말기 D	단말기 E	5	-78.101
단말기 E	단말기 C	5	-92.266
단말기 E	단말기 D	5	-64.093

<표 3>는 3개의 단말기로 신호를 수집한 후 수

신자와 송신자에 따라 정리한 결과이다. 이를 통해 같은 거리일지라도 수신자가 같고 송신자가 다를 경우 RSSI 값이 차이 나고 송신자가 같고 수신자가 다른 경우도 RSSI 값이 차이 나는 것을 알 수 있다. 모든 단말기의 advertise TX power를 -20으로 고정했기 때문에 오차 개선을 위해서는 식2로 거리를 계산할 때 전파 손실을 나타내는 n 값을 조정해야 거릿값의 오차를 줄일 수 있다. 앞의 측정 결과를 개선하고자 수신자와 송신자 쌍마다 RSSI 값에 따른 실제 거릿값 데이터를 이용하여 다차원 방정식을 적용할 필요가 있었다. 이를 통해 단말기 간 거릿값을 구할 때 실제 거리와의 오차를 줄이기 위한 스플라인 보간법을 이용했다.



(그림 8) 스플라인 보간법 다차원 방정식 예제

그림 8은 사전에 측정한 3m, 5m, 7m 거리별 RSSI 값을 이용해 스플라인 보간법으로 생성한 다차원 방정식의 예시이다. 아래의 표를 통해 방정식 적용 전과 적용 후를 비교해보면 오차가 상당히 개선된 것을 확인할 수 있다.

<표 4> 스플라인 보간법 적용 비교

스플라인 보간 전 실제 거리 별 RSSI		스플라인 보간 후 새로운 신호로 계산한 거리	
RSSI	거리(m)	RSSI	거리(m)
-79.41	3.0	-81	3.78
-83.84	5.0	-82.5	4.48
-88.9	7.0	-85.5	5.64

단말기 간의 BLE 신호는 비콘 신호와 비교하면 노이즈가 적어 신뢰도가 더 높으므로 앞의 결과를 적용하여 비콘으로 측위된 격자 값의 오차를 확인하고 이를 보정하는 연구에 적용했다.

5. 결론

본 논문은 저전력 블루투스를 이용하여 사용자의 현재 위치를 추적하는 시스템과 위치 추적의 신뢰도를 향상하는 시스템을 제안한다.

실내 측위의 오차를 개선하기 위해 실험1 단계에

서는 비콘과 모바일기기의 실제 위치와 측정된 거리와 비교하여 두 값 사이의 방정식을 만들어 거리를 계산하고, 삼변측량의 공식을 이용하여 위치 측위를 하였다. 이와 같은 방법으로는 2x2 격자에 단말기를 배치하는 것이 가능하다. 실험 2단계에서는 여러 번의 측위 후, clustering을 하여 대표 위치를 산출하는 방법으로, 3x3 격자에 단말기를 배치하는 것이 가능하다.

더 이상적인 측정값을 도출하기 위해 단말기 간의 블루투스 신호를 수신하여 위치를 측정 후, 그들 간의 거리를 보정하는 연구를 진행하였다. 현재 진행 중이며, 향후 단말기 간의 블루투스 신호를 측위한 데이터를 적용하여 오차를 최소화하는 방법을 연구할 것이다.

이 연구를 통해서 블루투스 기기 간의 BLE 신호를 이용하여 상대적 위치를 추정할 수 있으며 사용자가 자신의 위치와 같은 공간의 다른 사용자의 위치를 확인할 수 있게 될 것이다. 이때 산출된 위치 정보를 활용할 수 있는 효율적인 방안 또한 제공하여 BLE의 활용도 향상에 이바지할 것이다.

Acknowledgement

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음”(2015-0-00930)

참고문헌

- [1]조영수, “실내외 연속측위 기술 동향”, 한국전자통신연구원, 전자통신동향분석, 22권 3호, pp.20~28, 2007.6
- [2] 진화된 비콘 기술, 일상생활·산업‘스마트’하게 바꾼다. 2016년 09월 06일 작성, 2020년 09월 21일 접속, <http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=66249>
- [3]김경민, “비콘을 활용한 통학 시스템 설계,” 한국정보통신학회논문지 20(10), 2016.10, pp.1941~1948
- [4]엄재홍, 황승진 (2019). 저전력 블루투스 기반의 AoA 무선 측위 기술 동향. 한국통신학회지(정보와 통신), 36(8), pp.32~39
- [5]Minsol Cheon and Jinkyu Choe, “Study on the Implementation of Unmanned Carrier Using Zigbee”, Journal of KIIT, Vol. 14, No. 10, pp. 97~103, Oct. 2016