

수신신호전력과 디바이스 높이를 이용한 실내위치 구분 알고리즘

김 영 우*, 한 동 석^o

Indoor Location Classification Algorithm using RSSI and Device Height

Youngwoo Kim*, Dong Seog Han^o

요 약

사물인터넷에서 위치기반서비스(LBS)는 매우 중요한 애플리케이션이며 특히, 위성정보를 받을 수 없는 실내에서의 측위는 LBS의 관건이다. 실내 측위를 위해서는 대부분 기준 무선신호의 수신세기를 이용하게 된다. 그러나 전파세기과 송·수신기의 거리는 실내 환경에 따라 일정하지 않다. 기존 실내 측위 연구에서는 칼만필터와 같은 적응 필터를 이용하여 실내 환경으로 인한 거리 오차를 감소시키려 하였다. 그러나 이는 연산량이 많아 실시간으로 LBS를 제공하기 어렵다는 문제점이 있다. 또한 대부분의 LBS는 정밀 실내측위가 아닌 수신기가 위치한 공간을 구분할 수 있으면 된다. 본 논문에서는 비콘의 수신신호강도와 이를 이용하여 추정된 수신기의 높이를 활용하여 비교적 간단한 연산만을 이용한 수신기의 삼변측량 기반 위치 구분 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘의 성능을 높이를 고려하지 않은 수신세기 기반 기법과 비교하였다. 그리고 ITU-R 경로손실 모델과 실측치 기반 경로손실 모델을 이용한 거리 예측을 통한 제안 알고리즘의 성능을 비교하였다.

Key Words : Bluetooth low energy (BLE) beacon, Indoor positioning, RSSI, Path loss model, Trilateration

ABSTRACT

Location-based service (LBS) provision is one of the visions for internet of things (IoTs). It is therefore necessary to build and provide efficient localization technologies to achieve the vision. GPS technology is a very prominent localization technology adopted in various systems such as cars, aircrafts, smart watches, smart phones and many others. However GPS is constrained in terms of its accuracy in indoor scenarios. Received signal strength indicator (RSSI) based approaches that make use of minimal wireless communication infrastructures in indoor scenarios have taken centre stage in tackling the problem of indoor positioning. However, the RSSI estimate of the radio wave highly depends on the indoor environments physical features hence may not be perfect for estimation of the distance between the transmitter and receiver. Conventional indoor positioning systems that use the RSSI, have considered the use of adaptive filters such as the Kalman filter to improve on the transmit-receive distance estimation in indoor environments. However, Providing LBS in real time is a challenge because of the large amount of computation. Again, most LBSs need to be able to classify the space

* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (R7124-16-0004, 사용자의 의도와 맥락을 이해하는 지능형 인터랙션 기술 연구개발)

• First Author : Kyungpook National University, skyduddn@knu.ac.kr, 정희원

^o Corresponding Author : Kyungpook National University, dshan@knu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-03-080, Received March 21, 2017; Revised June 21, 2017; Accepted June 26, 2017

where the receiver is located, not the precise indoor positioning. In this paper, we propose a receiver location classification algorithm based on trilateration using the RSSI of a beacon and the estimated receiver height mathematically. The performance of the proposed algorithm is compared with the conventional RSSI based technique which does not consider height. The performance proposed algorithm is also compared with the ITU-R path loss model for estimation of separation distance and path loss.

I. 서 론

최근 생활시간의 대부분을 실내에 머무르게 되면서 디바이스 및 이용자의 위치 파악은 사물인터넷 (IoT) 또는 위치 기반 서비스 (LBS) 목적의 중요한 주제이다. 실외에서는 GPS(global positioning system), GLONASS(global navigation satellite system) 등이 측위를 위해 이용되고 있다^[1]. 그러나 실내 환경에서는 위성신호가 수신되더라도 신호의 세기가 매우 약하고, 대부분 수신자체가 어려워 위성정보를 이용할 수 없다. 따라서 실내 환경의 측위에는 위성정보가 아닌 Wi-Fi(wireless-fidelity), 비컨 등을 이용한 핑거프린팅, IMU(inertial measurement unit)를 이용한 보행자 추측 항법(pedestrian dead reckoning, PDR) 등이 사용되고 있다. 첫 번째로 핑거프린팅 방법은 기준이 되는 모든 위치에서 무선신호의 수신신호강도(received signal strength indication, RSSI)를 측정하여 이를 지도로 제작한 후 측정되는 RSSI와 지도의 정보를 비교하여 디바이스의 위치를 추정한다^[2]. 이는 지도상의 모든 기준점에서 RSSI를 측정해야 하므로 초기에 핑거프린팅 지도를 만드는데 시간과 비용이 많이 소모된다는 단점이 있다. 또한 건물의 구조나 주변 구조물 등의 변화가 생기면 지도 정보를 갱신해야 한다는 단점이 있다. 두 번째로 보행자 추측항법은 보행자의 보폭, 걸음 수 등을 IMU 등의 센서 정보를 통하여 상대적인 위치를 추정하는 방법이다. 이 방법은 보행자의 초기 절대 위치를 알아야 한다는 단점이 있다^[3]. 또한 시간이 지날수록 센서의 오차가 누적되어 추정 위치의 오차가 증가한다는 단점이 있다.

실내에서 무선 통신장비가 부착된 디바이스로 사용자에게 위치기반 서비스를 제공하기 위해서는 디바이스가 위치한 공간을 추정하여 제공할 수 있다. 본 논문은 실내 환경에서 블루투스 로우 에너지(bluetooth low energy, BLE)가 장착된 디바이스의 정확한 실내 위치를 휴대단말에서 구분하는 알고리즘을 제안한다. 특히 칼만필터링, 파티클 필터링과 같이 복잡한 연산을 하지 않고 간단한 수식을

이용해 실시간 IoT 서비스를 위치 구분을 통해 가능하게 하고자 한다. 또한 수신신호 세기를 이용한 삼

변측량과 휴대용 단말의 높이가 크게 변하지 않는 점을 이용하여 수신기 높이를 고려하여 위치 구분의 정확성을 높이고자 한다.

서론에 이어 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 삼변측량과 추정 위치의 높이를 이용한 제안 위치구분 알고리즘을 다루고, 3장에서는 실제 환경에서 경로손실모델에 따른 제안 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막으로 4장의 결론으로 본 논문을 마무리한다.

II. 제안 위치 구분 알고리즘

실내 환경은 LOS(line of sight)/ NLOS (non-line of sight)가 복합적으로 구성되어 있고 사람들의 이동 등으로 인해 RSSI의 흔들림이 발생하여 무선 신호를 이용한 위치 측위에 어려움이 있다^[4]. 그림 1(a)는 동일한 BLE 비컨과 수신기를 이용하여 송수신기 주변 환경을 최대한 정적으로 만든 후에 4m 거리에서 1000번 측정된 RSSI값이다. 그림 1(a)를 통하여 RSSI는 주변 환경이 변하지 않더라도 6.9dBm의 적지 않은 분산 값을 가지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 안정적인 수신신호 세기강도를 예측하기 위해서 측정 RSSI의 이동평균을 이용한다. 그림 1(b)는 그림

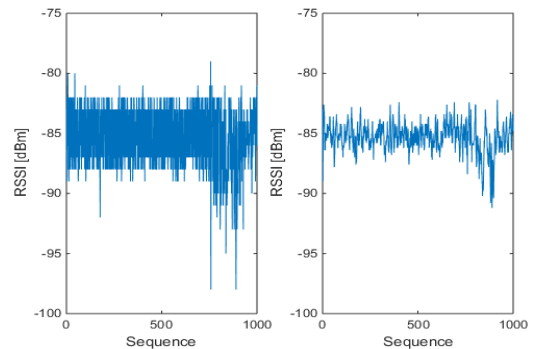


그림 1. 1m거리에서 측정된 RSSI (a) 원래 데이터 (b) 이동평균을 적용한 데이터
Fig. 1. Measured RSSI at 1m (a) raw data (b) moving average filtered data

1(a)의 측정값에 이동평균을 적용한 결과이다. 이동평균 결과 분산 값은 1.4dBm로 줄었으며 더 안정적인 RSSI를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 RSSI를 이용하여 송신기와 수신기 간의 거리를 추정하는 방법을 이용한다. 송신기와 수신기 간의 거리 계산에는 일반적으로 다음의 식을 이용한다⁵⁾.

$$d[m] = 10^{\frac{A - RSSI}{10 \cdot n}} \quad (1)$$

여기서 $RSSI$ 의 단위는 dBm이며 수신기에서 측정된 값이다. n 은 경로손실 지수(path loss exponent)를 나타내며, A 는 참고 신호 세기라 하며 송신기와 수신기 간의 거리가 1m일 때 수신 신호 세기를 나타낸다.

본 논문에서는 식(1)을 기반으로 실내 환경의 경로손실 모델을 표준화 시킨 ITU-R 경로손실 모델을 이용하였다. ITU-R 경로손실 모델에서는 경로손실 지수 n 을 2.8, 참고 신호세기 A 를 39.6으로 하고 있다⁶⁾. 그러나 RSSI의 흔들림 때문에 정확한 거리를 얻기는 어렵다. 따라서 삼변측량을 이용하여 타겟의 위치를 구분하고자 한다.

삼변측량은 기준이 되는 3개의 위치 정보와 각각 계산된 거리를 종합하여 위치를 추정하는 방식이다. 그림 2는 삼변측량 시 관측값에 오차가 없는 경우와 오차가 있는 경우의 추정 위치 결과를 나타낸다. 그림 2에서 삼각형은 송신기를 나타내고 십자는 추정 위치를 나타낸다. 그림 2(b)에서 추정 거리의 오차로 인한 추정 위치의 오차를 볼 수 있다. 이러한 문제는 장애물에 의한 수신신호의 감쇄 때문에 계산된 거리와 실제 거리 사이에 오차로 인하여 발생한다. 따라서 RSSI를 이용한 환산거리에 포함된 오차를 줄일 필요가 있다.

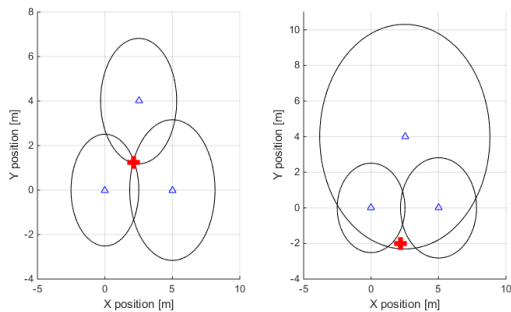


그림 2. 삼변측량 (a) 관측값에 오차가 없는 경우 (b) 관측값에 오차가 있는 경우
Fig. 2. Trilateration (a) In case the observed values without error (b) In case the observed values with error

오차가 포함된 RSSI 측정값을 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$RSSI_{Obs} = RSSI_{True} + RSSI_{Error} \quad (2)$$

여기서 $RSSI_{Obs}$ 는 RSSI 측정값, $RSSI_{True}$ 는 LOS 환경에서 식(1)을 따를 경우의 RSSI값, $RSSI_{Error}$ 는 RSSI 측정 오차를 나타낸다. 이를 식(1)을 이용하여 거리로 환산하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, RSSI의 오차는 추정 거리에 곱의 형태로 영향을 미치게 된다.

$$d[m] = 10^{\frac{RSSI_{True} - A}{10 \cdot n}} \cdot 10^{\frac{RSSI_{Error}}{10 \cdot n}} \quad (3)$$

또한 추정 위치의 오차를 다음과 같이 정의한다.

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2 + e_z^2} \quad (4)$$

여기서 e_x, e_y, e_z 는 각각 3차원 공간에서 x 축 오차, y 축의 오차, z 축의 오차를 나타내며 추정 위치의 오차가 증가하면 추정 위치의 높이도 증가하는 경향이 있다고 할 수 있다. 식 (3)과 식 (4)를 통하여 추정 위치의 오차와 RSSI 측정치의 관계가 비례하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이는 RSSI 측정치의 오차가 증가할수록 삼변측량 시 추정위치의 오차가 증가함을 의미한다. 또한 높이를 고려하는 경우 사용자 휴대단말의 높이는 크게 변하지 않기 때문에 일정 크기 이상의 높이는 실제 높이에 RSSI의 오차에 의한 높이가 더해져 나타난다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 수신신호전력을 이용한 거리 계산을 개선하기 위하여 추정된 수신기 위치의 높이와 추정 위치 오차의 상관관계를 이용하여 추정 거리의 오차를 줄이고자 한다.

2.1 삼변측량 시 추정 위치의 높이와 오차의 관계

추정된 수신기 위치의 높이와 추정 위치 오차의 상관관계를 알기 위해 세 개의 비콘을 이용한 삼변측량을 시뮬레이션 하였다. 먼저 각 송신기로부터 받은 RSSI 관측값의 오차가 모두 가우스 분포를 따른다고 가정한다. 이 경우 추정 위치의 오차도 가우스 분포를 따른다. 또한 추정 위치의 높이도 가우스 분포와 유사한 분포를 가진다.

각 송신기에서 받은 RSSI 관측값 오차가 가우스 분포를 따르며 분산값은 모두 다르다고 가정하여 실험하였다. 그림 3은 실험 결과 추정 위치의 높이와 추

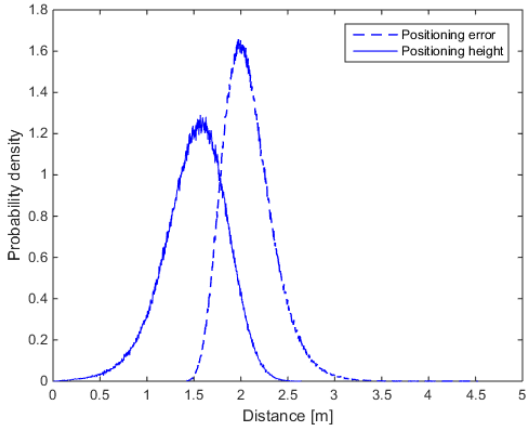


그림 3. 추정 위치의 오차와 추정 위치 높이의 확률 밀도 함수
 Fig. 3. Probability density function of estimated position error and estimated position height

정 위치의 오차 분포를 확률 밀도 함수로 나타낸 것이다. 추정 위치의 높이와 추정 위치의 오차가 가우스 분포와 유사하며 비례적인 형태인 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 삼변측량 시 수신기 추정 위치의 높이와 추정 위치 오차의 관계를 이용한다.

2.2 추정위치의 높이를 이용한 거리 추정값 갱신

본 논문에서는 실내 환경에서 각 방에 한 개의 송신기가 있는 경우를 고려한다. 따라서 각 송신기와 수신기 사이의 경로에 LOS와 NLOS 환경이 형성된다. 그러므로 각 비콘 송신기로부터 받는 RSSI 중 적어도 하나는 장애물이나 건물 구조에 의해 감쇄되었다고 가정한다. 그리고 삼변측량을 위해 이용되는 세 개의 송신기로부터 받은 RSSI 중 가장 작은 값이 장애물에 의해 감쇄되었다고 가정한다. 장애물에 의한 감쇄로 인해 추정거리가 멀어지는 것을 수신기의 추정위치 높이를 이용하여 보정한다. 이 값을 추정위치 높이를 이용하여 보정한다. 그림 4는 각각의 송신기와 수신기의 위치를 나타낸다. 그림 4에서 Tx1, Tx2, Tx3 는 송신기, Rx1은 수신기를 나타낸다. 여기서 각각의 송신기 위치를 X, Y, Z라 하고 수신기의 위치를 P라 하면 추정된 송신기의 높이 h 는 다음과 식 (5)와 같이 구한다⁷⁾.

$$h = \frac{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}{3 \cdot \overline{XY} \cdot \overline{XZ} \cdot \cos(\angle XYZ)} \cdot \sqrt{1+f(\alpha, \beta, \gamma)} \quad (5)$$

여기서 $d_i (i=1, 2, 3)$ 는 각 RSSI로 계산한 i 번째 비콘과 수신기 사이의 거리를 나타낸다. 식 (5)에서

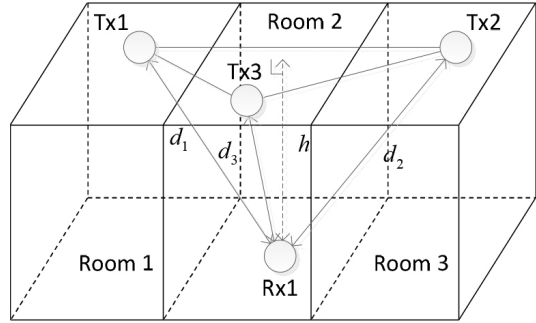


그림 4. 삼변측량 시 송신기위치와 추정된 수신기위치
 Fig. 4. Transmitter positoin and estimated receiver position using trilateration

$f(\alpha, \beta, \gamma)$ 는 다음과 같다.

$$f(\alpha, \beta, \gamma) = 2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma - (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma) \quad (6)$$

여기서 α, β, γ 는 각각 $\angle XPY, \angle XPZ, \angle YPZ$ 를 나타낸다. 그리고 높이를 이용하여 계산된 거리를 보정한다. 거리를 보정하는 이유는 RSSI의 오차가 계산된 거리에 곱의 형태로 나타나며, 수신기 추정위치의 높이가 추정위치의 오차보다 작기 때문이다. 거리 보정은 계산량을 고려하여 다음과 같이 보정한다.

$$i_{\max} = \arg \max_i \{d_i\}, i = 1, 2, 3$$

$$d'_j = d_j, j = 1, 2, 3$$

$$d'_{i_{\max}} = \begin{cases} \frac{d_{i_{\max}}}{h}, & \text{if } h \geq \zeta \\ \frac{d_{i_{\max}}}{h+1}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 h 는 높이[m]에 의한 영향을 보정 후 거리를 나타낸다. 계산된 거리 중 가장 긴 거리를 추정된 높이를 이용하여 보정한다. 추정 높이 h [m]가 ζ [m]보다 크면 h 로 나누어준다. h 가 ζ 보다 작으면 $h+1$ 로 나누어준다. ζ 는 실험을 통하여 경험적으로 1로 둔다. 또한 ζ 를 1로 둔 이유는 추정 위치의 오차에 비해 추정된 수신기의 높이가 낮은 경우를 처리하기 위해서이다. 나머지 길이는 그대로 둔다.

2.3 송수신기 사이의 NLOS 경로 구분

복잡한 실내 환경에서는 송신기와 수신기 사이 경로에 장애물이 있는 경우가 빈번하며, 이를 구분하여

추가적인 보정이 필요하다. 두 개의 경로에 장애물의 여부를 판단하는 것은 보정된 d_1' , d_2' , d_3' 을 이용한다.

먼저 우리는 실내의 벽과 같은 구조에 대한 정보를 알고 있다. 따라서 세 개의 비컨이 위치한 방을 포함하는 사각형을 만든다. d_1' , d_2' , d_3' 로 부터 삼변측량을 한 결과 추정위치가 사각형에 포함되면 오차가 작다는 것을 의미하므로 하나의 경로에 장애물이 있다고 구분하였고, 추정위치가 사각형을 벗어나면 두 개의 경로에 장애물이 있다고 구분하였다. 두 개의 경로에 장애물이 있는 경우 거리 오차를 줄이기 위해 거리 d_1' , d_2' , d_3' 를 한번 더 보정한다. 이는 다음과 같다.

$$j_{\max} = \arg \max_j \{d_j'\}, j = 1, 2, 3$$

$$d_k'' = d_k, k = 1, 2, 3$$

$$d_{j_{\max}}'' = \begin{cases} \frac{d_{j_{\max}}'}{h'}, & \text{if } h \geq \zeta \\ \frac{d_{j_{\max}}'}{h'+1}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 h' [m]는 보정된 거리 d_1' , d_2' , d_3' 를 이용하여 식 (5)로부터 구해진다. d_1' , d_2' , d_3' 중 가장 긴 거리를 추정된 높이 h' 를 이용하여 보정한다. 추정 높이 h' 가 ζ 보다 작으면 $h'+1$ 로 나누고, h' 가 ζ 보다 크면 h' 로 나누어준다. 나머지 길이는 그대로 둔다. 보

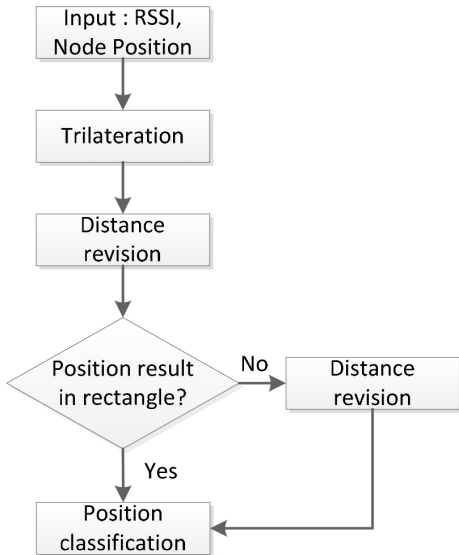


그림 5. 제안 알고리즘 흐름도
Fig. 5. Proposed algorithm flow char

정된 거리는 d_1'' , d_2'' , d_3'' 로 표기한다. 최종적으로 d_1'' , d_2'' , d_3'' 를 이용하여 삼변측량 한 위치로 수신기의 위치를 구분한다. 그림 5는 제안 알고리즘의 블록도를 나타낸다.

III. 실험 환경 및 결과

본 절에서는 실측을 통한 제안알고리즘의 성능을 평가한다. 성능평가를 위하여 방마다 설치된 BLE 비컨과 수신기를 이용하여 진행했다. 비컨의 브로드캐스팅 주기는 640ms, 송신 전력은 0dBm이다. 그림 6은 실험환경을 나타낸다. 2개의 방과 복도로 구성된 공간에서 실험이 이루어졌다. 인프라의 밀도와 비용을 낮추기 위해서 각 방과 복도에 비컨을 1개씩 설치하였다. 그림 6.에서 검은 점은 비컨의 설치 위치를 나타내며, 흰 점은 수신기의 위치를 나타낸다. 본 논문에서는 2가지 시나리오에 대하여 실험을 진행하였다. 첫 번째 시나리오는 그림 6. (a)와 같이 송수신기가 설치하고 송신기와 수신기 사이에 LOS경로가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우로 나누었다. 먼저 LOS 경로가 존재하는 경우는 1번 비컨과 수신기 사이에 LOS 경로가 존재한다. LOS경로가 존재하지 않는 경우는 1

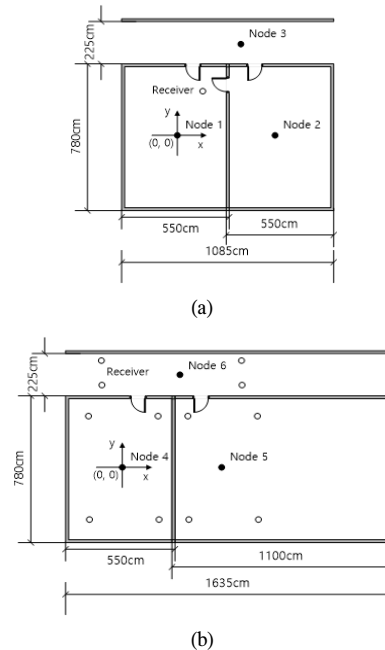


그림 6. 실험 환경과 송신기 및 수신기 위치 (a) 실험 시나리오 1 (b) 실험 시나리오 2
Fig. 6. Experimental environment and transmitter and receiver location (a) Experimental scenario 1 (b) Experimental scenario 2

번 노드의 비컨과 수신기 사이에 장애물을 두어 실험 환경을 구성하여 실험을 진행하였다. 두 번째 사나리오는 그림 6. (b)와 같이 수신기를 12개 위치에서 수신하였으며 실험 환경이 제어되지 않은 상황에서 실험을 진행하였다.

실제 환경에서는 RSSI에 따른 거리 추정을 위한 환경에서 경로손실 모델이 ITU-R 경로손실 모델과 다를 수 있다. 그러므로 ITU-R 경로손실 모델과 실험 환경의 경로손실 모델을 비교하기 위해 실험 환경의 경로손실 모델을 얻기 위한 실험을 진행하였다.

그림 7에서 경로손실은 측정 RSSI를 이용하여 구한 것이다. BLE비컨과 수신기 사이의 실제 거리가 1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 6m일 때, 각각 500번씩 측정 한 값을 이용하였다. 경로손실 모델은 측정 RSSI를 이용하여 식 (1)의 경로손실 지수 n 의 값을 구하여 실험환경의 경로손실 모델을 나타냈다. 실험환경에서 실측치를 통한 경로손실 지수는 4.02였다. ITU-R 경로손실 모델은 일반화한 모델이므로 실험환경과 차이가 날 수밖에 없다. 위 2개의 경로손실 모델을 이용하여 수신기 위치 구분의 성능을 평가하여 비교하였다.

평가 방법은 그림 6의 실험 환경을 좌표화 하여 수신기의 추정된 위치가 실제 위치와 같은 방에 있는 경우 추정에 성공, 아닌 경우 추정에 실패했다고 하였다. 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 수신된 RSSI가 가장 큰 신호로 방을 구분한 결과와 비교하였다. 또한 RSSI로부터 계산된 거리로 삼변측량 한 경우 위치를 구분하여 결과를 비교하였다. RSSI를 ITU-R에서 제공하는 실내 환경에서 경로손실 모델과 실험 환경에서 재설정된 경로손실 모델 두 가지를 이용하여 비교

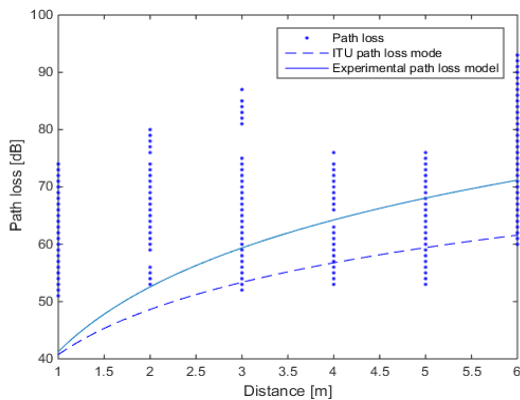


그림 7. 거리에 따른 경로 손실 모델 (ITU-R 모델, 실험 기반 모델)
Fig. 7. Path loss model according to distance (ITU-R model, Experimental based model)

해보았다. 먼저 수신된 RSSI가 가장 큰 신호로 방을 구분하는 경우는 표 1과 같다.

ITU-R에서 제공하는 경로손실 모델을 이용한 알고리즘 적용 여부에 따른 성능은 표 2와 같다. 제안 알고리즘을 이용하였을 때 LOS경로가 존재하는 환경에서는 61.1%, LOS 경로가 존재하지 않는 환경에서는 42.8%의 추정 성능 향상을 볼 수 있다. 이는 상대적으로 큰 오차를 포함하는 거리를 보정해주기 때문이다.

실험 환경에서 구한 경로손실 모델을 이용한 알고리즘 적용 전 후 결과 비교는 표 3과 같다. 제안 알고리즘 적용 시 LOS경로가 존재하는 환경에서는 62.2%, LOS 경로가 존재하지 않는 환경에서는 47.1%의 추정 성능 향상을 볼 수 있다. 또한 ITU-R에서 제공하는 경로손실 모델을 이용한 경우보다 수신기의 위치를 더 잘 구분할 수 있었다. 이는 실험을 통하여 구한 경로손실 모델을 이용하여 RSSI를 거리로 변환할 때 거리오차가 ITU-R 경로손실 모델을 이용할 때보다 더 적기 때문이다.

시나리오 2에서는 제안 알고리즘의 효용성을 검증하기 위해 서로 다른 12개의 위치에서 RSSI를 측정하였으며 이를 이용하여 알고리즘을 적용한 결과는 표 4와 같다. 여기서 알고리즘 성능 평가를 위한 거리 계

표 1. 시나리오 1에서 수신된 RSSI가 가장 큰 신호로 방을 구분하는 경우

Table 1. Room classification using the largest received RSSI signal in scenario 1

	Success(%)	Fail(%)
LOS environment	51.9	39.1
NLOS environment	17.2	72.8

표 2. ITU-R 경로손실 모델을 이용한 LOS 경로 존재 유무에 따른 알고리즘 성능 평가

Table 2. Performance evaluation of algorithm based on existence of LOS path using ITU-R path loss model

		Success (%)	Fail (%)
LOS environment	After algorithm	78.3	21.7
	Before algorithm	17.2	82.8
NLOS environment	After algorithm	58.5	41.5
	Before algorithm	15.7	84.3

표 3. 실험환경의 경로손실 모델을 이용한 LOS 경로 존재 유무에 따른 알고리즘 성능 평가

Table 3. Performance evaluation of algorithm based on existence of LOS path using experimental path loss model

		Success (%)	Fail (%)
LOS environment	After algorithm	80.7	19.3
	Before algorithm	18.5	81.5
NLOS environment	After algorithm	62.8	37.2
	Before algorithm	15.7	84.3

표 4. 시나리오 2의 실험환경에서 알고리즘 성능 평가

Table 4. Performance evaluation of algorithm in scenario 2

		Success (%)	Fail (%)
Node 4	After algorithm	81.9	18.1
	Before algorithm	36.6	63.4
Node 5	After algorithm	73.5	26.5
	Before algorithm	6.8	93.2
Node 6	After algorithm	65.9	34.1
	Before algorithm	13.9	86.1

산은 실험환경의 경로 손실 모델을 이용하였다. 시나리오 2에서 이용된 데이터는 약 38000개이다. 표 4에서 노드 번호는 실제 수신기가 위치한 방을 나타내며 총 3개의 노드에 대해 수신기가 같은 방에 위치한지를 구분하는 결과를 나타낸다. 표4의 결과 노드 4, 노드5, 노드6이 위치한 방에서 수신한 데이터는 각각 45.3%, 66.7%, 52%의 추정 성능향상을 볼 수 있다.

먼저 수신된 RSSI가 가장 큰 신호로 수신기의 위치를 구분하는 경우 LOS경로가 존재하는 환경에서는 51.9%, LOS경로가 존재하지 않는 환경에서는 17.2%로 낮은 값을 보였다. 그러나 삼변측량을 할 경우 추정 위치의 높이와 추정 위치 오차의 비례적인 관계를 이용한 추정거리 보정 알고리즘으로 수신기의 위치를 구분하는 경우 성능 향상을 확인 할 수 있었다. 또한 수신기의 위치를 구분하는데 LOS 경로 존재 유무에

따라 성능의 차이를 보였다. 특히 LOS경로가 존재할 때 알고리즘 적용 전후 성능의 큰 차이를 보였다. 이는 삼변측량 시 2개의 송신기와 송신기 사이 경로에 장애물이 있어 오차가 큰 값을 보정해주었기 때문이다. 이는 제안 알고리즘을 이용하는 경우 위치 구분뿐만 아니라 위치 추정 오차 또한 크게 줄일 수 있음을 암시한다. 또한 ITU-R모델을 이용한 것과 실험환경의 경로손실 모델을 이용한 결과 실험환경의 경로손실 모델을 이용하는 경우 더 우수하였다. 이는 실내 환경마다 경로손실 모델이 다름을 의미하며, 또한 수신기 위치 구분 성능은 경로손실 모델에 따라 달라 질 수 있음을 의미한다. 그리고 시나리오 2에서 알고리즘의 효용성을 보이기 위해 약 2주간 실험을 진행하였다. 그 결과 두 개의 방과 복도에서 실험한 결과 모두 성능향상을 보여 알고리즘의 효용성을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 RSSI를 이용한 삼변측량 시 RSSI 오차와 추정위치의 오차관계를 이용하여 측위 성능을 향상시켰다. 특히 사용자의 단말이 크게 변하지 않기 때문에 추정위치의 높이가 추정위치의 오차와 비례하는 경향을 이용하여 삼변측량 시 이용되는 RSSI로부터의 추정 거리 값을 보정하였다. 또한 LOS와 NLOS를 구분하여 추정 거리를 보정해줌으로써 정확한 실내 공간을 구분하도록 하였다. 그리고 실시간 LBS를 위하여 간단한 수식을 이용하여 처리 시간을 줄이고자 하였다. 본 논문에서 제안 알고리즘의 평균 처리 시간은 약 0.1ms로 휴대용 단말에서 실시간 LBS를 제공하기 위한 어플리케이션으로 이용하기에 충분함을 확인 할 수 있었다.

References

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, *Global Positioning System: Theory and Practice*, 4th Ed., Springer Verlag, 1997.
- [2] R. Faragher and R. Harle, "Location fingerprinting with bluetooth low energy beacons," *IEEE JSAC*, vol. 33, no. 11, pp. 2418-2428, May 2015.
- [3] B. Shin, et al., "Motion recognition-based 3D pedestrian navigation system using smartphone," *IEEE Sensors J.*, vol. 16, no. 18, pp. 6977-6989, Jun. 2016.

- [4] M. Ayadi and A. B. Zineb, "Body shadowing and furniture effects for accuracy improvement of indoor wave propagation models," *IEEE TWC*, vol. 13, no. 11, pp. 5999-6006, Jul. 2014.
- [5] I. Oksar, "A bluetooth signal strength based indoor localization method," in *Proc. IWSSIP*, pp. 247-250, Dubrovnik, Croatia, May 2014.
- [6] ITU-R Recommendations, *Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Indoor Radio communication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 100 GHz*, Geneva, Switzerland, 2015
- [7] J. H. Park, J. K. Lee, and S. C. Kim. "Algorithm of wireless localization based on RSSI at indoor environment," *J. KICS*, vol. 36, no. 4, pp. 254-264, 2011.

김 영 우 (Youngwoo Kim)



2016년: 경북대학교 전자공학과 졸업
2016년~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정 재학 중
<관심분야> 디지털 신호 처리, 이동통신, 실내 측위

한 동 석 (Dong Seog Han)



1987년: 경북대학교 전자공학과 졸업
1989년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 석사
1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 박사
1996년~현재: 경북대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 통신 신호처리, 차량 통신용 네트워크, 레이더 및 소나 신호 검파