

이상치 보정을 활용한 BLE Beacon 기반 실내 거리 측정 기법

이 연 희¹ · 이 상 우² · 김 의 직^{3*}

¹한림대학교 소프트웨어융합대학 학사과정

²한림대학교 융합소프트웨어학과 석박사통합과정

^{3*}한림대학교 소프트웨어융합대학 부교수

BLE Beacon-Based Indoor Distance Measurement Technique Using Outlier Adjustment

Yeon-Hee Lee¹ · Sang-Woo Lee² · Eui-Jik Kim^{3*}

¹B.S. Course, School of Software, Hallym University, Chuncheon, Korea

²Integrated M.S. and Ph.D. Course, Department of Convergence Software, Hallym University, Chuncheon, Korea

^{3*}Associate Professor, School of Software, Hallym University, Chuncheon, Korea

[요 약]

Bluetooth Low Energy (BLE) beacon이 전송하는 메시지의 수신 신호 세기 (Received Signal Strength Indicator, RSSI) 값을 활용한 거리 측정이 다양한 서비스에서 사용되고 있다. 그러나, RSSI 값 사용시, 주변 간섭, 다중경로, 장애물 등으로 인한 이상치 발생으로 거리측정의 오차가 증가한다. 본 논문에서는 RSSI 값의 불안정성으로 인한 거리 측정의 오차를 줄이기 위해 이상치 보정을 활용한 BLE Beacon 기반의 실내 거리 측정 기법을 제안한다. 제안기법은 1) 상·하위 RSSI 값 제거, 2) RSSI 값 이상치 대체, 3) 이동평균 연산, 4) 최종 거리계산의 4단계 과정을 통해 RSSI 값의 이상치를 보정하고 실내 거리를 측정한다. 제안기법의 성능검증을 위한 실험을 수행하였다. 실험에서 제안기법은 이상치 보정을 적용하지 않은 경우보다 평균 42.43% 개선된 측정 오차를 보였다.

[Abstract]

Distance measurement using the received signal strength indicator (RSSI) value of the message transmitted by the Bluetooth Low Energy (BLE) beacon is used in various services. However, when the RSSI value is used, an error in distance measurement increases due to the occurrence of outliers due to ambient interference, multipaths, and obstacles. This paper presents a BLE beacon-based indoor distance measurement technique using outlier adjustment, which aims to minimize an error caused by the instability of the RSSI. The proposed technique adjusts the outliers of the RSSI values and measures the distance through the following 4 steps: 1) Removal of high and low RSSI values, 2) Outlier replacement, 3) Calculation of moving average, and 4) Distance calculation. To evaluate the performance of the proposed technique, we conducted the experiments. The results showed that the proposed technique achieves 42.43% lower error on average compared to the case where outlier adjustment was not used.

색인어 : 위치 기반 서비스, 단말 근접 서비스, 실내 거리 측정, 이상치 보정, BLE 비콘

Key word : LBS, PBS, Indoor distance measurement, Outlier replacement, BLE beacon

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.5.839>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 March 2021; Revised 06 April 2021

Accepted 06 April 2021

*Corresponding Author; Eui-Jik Kim

Tel: +82-33-248-2333

E-mail: ejkim32@hallym.ac.kr

1. 서론

사물인터넷 (Internet of Things, IoT)이 발전하면서 사용자의 위치 정보를 바탕으로 다양한 정보를 제공하는 위치 기반 서비스 (Location Based Service, LBS)에 대한 관심이 높아지고 있다 [1][2]. 특히, 위성 항법 시스템 (Global Positioning System, GPS)을 사용한 실외 위치 기반 서비스 뿐 만 아니라 경기장, 전시회, 미술관, 상점 등 실내에서 사용자와 특정 지점과의 거리 정보를 사용해 다양한 서비스를 제공하는 단말 근접 서비스 (Proximity Based Service, PBS)가 주목받고 있다 [3].

PBS를 위해 사용되는 대표적인 기기 중 하나는 Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon이다. BLE Beacon은 주기적으로 자신의 고유 정보를 포함한 메시지를 송신한다[4][5]. Beacon Receiver는 BLE Beacon이 송신한 메시지의 수신 신호 세기 (Received Signal Strength Indicator, RSSI)를 활용하여 BLE Beacon과 Beacon Receiver 사이의 거리를 판단한다. 그러나, RSSI 값 사용시, 주변 간섭, 다중경로, 장애물 등으로 인한 이상치 발생으로 거리측정의 오차가 증가한다. 따라서, RSSI 값을 통해 BLE Beacon과 Beacon Receiver 사이의 거리를 정확하게 추정하는 것은 매우 도전적인 기술 이슈로 다루어지고 있다[6][7].

최근 BLE Beacon을 활용한 실내 위치 측정 방법으로 삼변측량과 핑거프린팅 (Fingerprinting) 방식이 널리 사용되고 있다. 삼변측량은 3개 이상의 Access Point (AP)에서 BLE Beacon이 전송하는 메시지의 RSSI 값을 수집하고, 이를 거리로 환산하여 위치를 계산하는 방식이다. BLE Beacon의 위치는 각 AP를 중심으로 하는 원의 교점을 사용하여 판단하며, 이를 위해 최소 3개 이상의 AP를 필요로 한다. 핑거프린팅 방식에서는 실내 공간을 작은 셀들로 나누고, 각 셀에 위치한 AP가 BLE Beacon이 전송하는 메시지의 RSSI 값을 수집하여 라디오 맵 (Radio Map)을 구축한다. 그리고 구축된 라디오 맵과 BLE Beacon 메시지의 RSSI 값을 비교하여 사용자의 위치를 판단한다. 이러한 삼변측량과 핑거프린팅 방식은 다수의 AP에서 RSSI 값을 수집하고, 이를 사용해서 RSSI 값의 이상치로 인한 거리측정값 오차를 줄인다는 공통점이 있다.

그러나, 삼변측량과 핑거프린팅 방식의 실내 거리 측정 방법은 PBS 환경에 적합하지 않다. PBS 환경에서는 BLE Beacon과 BLE Receiver가 얼마나 가까이 위치해 있는지에 기반하여 서비스가 제공되며, 하나의 고정된 Beacon Receiver에서 수신된 BLE Beacon 메시지의 RSSI 값만으로 거리를 판단하는 것이 경제적이고 효율적이다. 따라서, PBS 환경에서 하나의 Beacon Receiver를 사용하여 RSSI 값의 이상치로 인한 오차를 줄이고, 거리를 측정할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 이상치 보정을 활용한 BLE Beacon 기반의 실내 거리 측정 기법을 제안한다. 제안기법은 하나의 Beacon Receiver에서 수집된 RSSI 값의 이상치를 보정함으로써, BLE Beacon과 Beacon Receiver 사이의 거리 측정 오차를 최소화한다. 이를 위해 제안하는 기법은 먼저 미리 정의된 Measurement Period (MP) 동안 RSSI 값을 수집한다. 그 다음, 1) 상·하위

RSSI 값 제거, 2) RSSI 값 이상치 대체, 3) 이동 평균 연산, 4) 최종 거리 계산의 4단계를 통해 거리를 측정한다. 먼저, 상·하위 RSSI 값 제거 단계에서는, MP 동안 수집된 RSSI 값 중 일정 비율의 상·하위 RSSI 값을 제거한다. RSSI 값 이상치 대체 단계에서는, MP 동안 수집된 RSSI 값의 평균과 표준편차를 사용하여 상위 임계값과 하위 임계값을 결정하고, 상위 임계값 이상과 하위 임계값 이하의 RSSI 값을 각각 상위 임계값과 하위 임계값으로 대체한다. 이동 평균 연산 단계에서는, MP 동안 수집된 RSSI 값에서 일정 크기의 부분집합들을 생성하고, 부분집합들의 연속된 평균값을 계산한다. 마지막으로, 최종 거리 계산 단계에서는, 보정된 RSSI 값과 BLE Beacon 메시지 내 포함된 TxPower 값을 사용하여 최종 거리를 계산한다. 제안기법의 성능 평가를 위해 BLE Beacon의 개수 및 BLE Beacon과 Beacon Receiver 간 거리를 다양하게 변화시켜가며 거리측정 실험을 수행하고, 이를 이상치 보정을 적용하지 않은 RSSI 값을 사용한 거리측정 결과와 비교하였다. 그 결과, 제안기법이 대조군 대비 평균적으로 42.43% 낮은 오차를 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 RSSI 기반 거리 측정 기법의 관련 연구를 서술한다. 3장에서는 제안하는 거리 측정 기법에 대해 설명하고, 4장에서는 실험 환경 및 결과를 서술한다. 마지막으로, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

RSSI 값을 활용한 실내 거리 측정의 정확도를 높이기 위해, 많은 연구가 수행되었다. 논문 [8]에서, 저자는 주변 환경의 간섭으로 인해 비슷한 시간 대에 함께 수집된 RSSI 값 대비 너무 크거나 작게 측정된 RSSI 값을 보정하여 거리 측정의 정확도를 향상시켰다. 구체적으로, 일정 시간 동안 측정된 RSSI 값의 평균과 표준편차를 구한 뒤, 평균에 표준편차를 더하고, 뺀 값을 각각 상위, 하위 임계값으로 결정한다. 그 다음, 수집되는 RSSI 값 중 상위 임계값 이상인 값에는 미리 정의된 보정값을 빼고, 하위 임계값 이하인 값에는 보정값을 더하여 오차를 보정했다. 그러나, 해당 연구에서는 배치된 BLE Beacon과 Beacon Receiver의 거리에 따라 다른 보정값을 사용했으며, 배치된 BLE Beacon과 Beacon Receiver의 거리에 따라 최적의 보정값을 찾기 위한 실험이 수행되어야만 했다.

논문 [9]에서, 저자는 실내 거리측정의 정확도를 향상시키기 위해 칼만필터를 활용하여 RSSI 값의 오차를 보정하였다. 구체적으로, 수집된 RSSI 값에 칼만필터를 적용하여 비슷한 시간대에 수집된 RSSI 값들 대비 너무 크거나 작게 측정된 RSSI의 값을 대체하였다. 그 다음, 저자는 수집된 RSSI 값과 실측 거리 간의 관계를 분석하여 거리 추정을 위한 방정식을 도출하고, 방정식과 보정된 RSSI 값을 활용하여 거리를 측정하였다. 그러나 해당 연구에서는 배치된 BLE Beacon의 개수에 따라 각기 다른 방정식을 도출하여 거리측정에 사용했다. 즉, BLE Beacon의 개수가 달라지면, 새로운 방정식을 도출하는 과정이 필요했다.

논문 [10]에서, 저자는 다수의 BLE Beacon을 사용해서 거리 측정의 정확도를 향상시키는 방법을 연구하였다. 이를 위해 저자는 먼저 3~10개의 BLE Beacon을 배치한 환경에서 RSSI 데이터를 수집하여 RSSI 데이터 셋을 만들었다. 그리고, RSSI 데이터셋을 분석하여, 신뢰할만한 BLE Beacon에게 큰 가중치를 부여하는 BLE Beacon 가중치 부여 알고리즘을 제안했다. 그 후, 제안하는 BLE Beacon 가중치 부여 알고리즘을 사용해 가장 높은 가중치를 가진 BLE Beacon을 선별하고, 해당 BLE Beacon의 RSSI 값을 사용해 거리를 측정하여, 오차를 최소화했다. 그러나 해당 연구에서 제안된 BLE Beacon 가중치 부여 알고리즘은 저자가 RSSI 데이터셋을 수집한 특정환경에 최적화되어 있다는 한계가 있다.

상기 언급된 연구들은 공통적으로 먼저 환경에서 RSSI 값을 수집하고, 보정값 조절, 방정식 도출, 데이터셋 분석 등의 과정을 수행한다는 것이다. 그러나, 미리 수집된 데이터에 기반하여 오차를 줄이는 방법은 RSSI 값 데이터를 수집한 환경에 최적화된다는 단점이 있다. 즉, BLE Beacon의 개수, BLE Beacon과 Beacon Receiver의 거리가 달라지면, 거리측정의 정확도가 감소할 수 있다. 반면, 본 논문에서 제안하는 기법은 수집된 RSSI 값들의 이상치를 제거하고, 보정하는 것에 초점을 맞추므로써, BLE Beacon의 개수 및 BLE Beacon과 Beacon Receiver의 거리가 변화하더라도 안정적인 거리측정을 수행할 수 있다.

III. 이상치 보정을 활용한 BLE Beacon 기반의 실내 거리측정 기법

그림 1은 본 논문에서 고려하는 PBS 시스템 모델을 보여준다. PBS 시스템은 BLE Beacon과 Beacon Receiver로 구성된다. BLE Beacon은 자신의 고유정보를 포함한 메시지를 주기적으로 전송한다. BLE Beacon의 메시지가 포함하는 고유정보는 Universally Unique Identifier (UUID), Major, Minor, TxPower으로서 총 4가지이다. 이때, UUID, Major, Minor는 BLE Beacon의 구별을 위한 정보이다. UUID는 BLE Beacon이 사용되는 서비스의 정보, Major는 서비스 내의 하위그룹 정보, Minor는 하위 그룹 내의 각 BLE Beacon의 고유 정보이다. 즉, Beacon Receiver는 메시지의 UUID, Major, Minor 정보를 통해 메시지를 송신한 BLE Beacon을 구분할 수 있다. 한편, TxPower는 BLE Beacon의 송신 세기이며, Beacon Receiver와 BLE Beacon 사이의 거리측정에 사용된다.

Beacon Receiver는 간섭, 다중 경로로 인한 RSSI 값의 오차를 줄이기 위해서 제안기법을 사용한 거리측정을 수행한다. 제안기법은 다음과 같이 동작한다. 먼저 미리 정의된 Measurement Period (MP) 동안 RSSI 값을 수집하고, 수집된 RSSI 값에서 일정비율의 상·하위 RSSI 값을 제거한다. 그 다음, 남은 RSSI 값에 대해 이상치 대체 및 이동평균을 연산한다. 마지막으로 보정된 RSSI 값들의 거리측정값을 계산하고, 계산된 값들의 평균을 최종 거리측정값으로 도출한다.

표 1은 제안기법을 사용한 거리측정 알고리즘을 보여주는 의사코드이다. 표1의 알고리즘은 하나의 배열(R)과 4개의 변수($\mu, \sigma, distance, cnt$) 그리고 세 개의 상수(w, tp, p)를 사용한다. R 은 MP동안 수집된 RSSI의 값들을 포함하는 배열이며, 아래와 같이 표현된다.

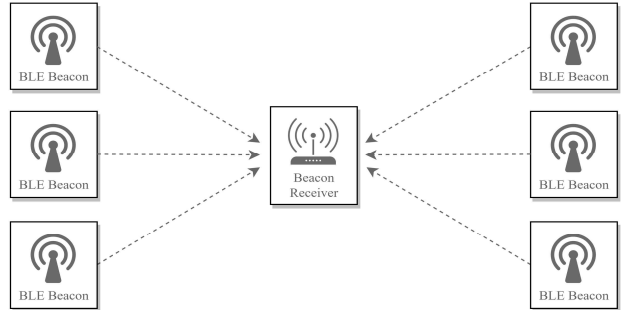


그림 1. PBS 시스템 모델
Fig. 1. PBS system model

$$R = [rssi_1, rssi_2, rssi_3, \dots, rssi_n] \quad (1)$$

여기서 $rssi$ 는 각각의 RSSI 값을 의미하며, n 은 MP동안 수집된 RSSI 값의 개수를 의미한다. μ 와 σ 는 각각 수집된 RSSI 값들의 평균과 표준분포를 저장하기 위한 변수이며, 이상치 판단 및 대체를 위해 사용된다. cnt 는 상 하위 RSSI 값을 제거할 때, 제거된 RSSI 값의 수를 세기 위해 사용되는 변수이다. $distance$ 는 각각의 RSSI 값을 사용해 측정된 거리 계산값들의 합을 저장하기 위한 변수이다. 마지막으로 상수 w, tp, p 는 각각 이동평균의 윈도우 크기, BLE Beacon이 송신한 메시지의 TxPower 값, 그리고 수집된 RSSI 값에서 제거될 상 하위 RSSI 값의 비율을 의미한다.

Beacon Receiver의 BLE Beacon과의 거리 계산은 1) 상 하위 RSSI 값 제거, 2) RSSI 값 이상치 대체, 3) 이동평균 연산, 4) 최종 거리계산의 단계를 통해 수행된다. 첫 번째, 상 하위 RSSI 값 제거에서는 측정된 RSSI 값들 중 $n \cdot \frac{p}{100}$ 개의 상위 값과 하위 값을 제거한다. 이때 제거된 RSSI 값의 개수는 cnt 에 저장된다. 두 번째, RSSI 값 이상치 대체에서는 먼저 RSSI 값들의 평균과 표준편차를 계산하여 각각 μ 와 σ 에 저장한다. 그 다음, $\mu + \sigma$ 을 상위 임계치로 그리고 $\mu - \sigma$ 을 하위 임계치로 사용하여, 상위 임계치보다 큰 RSSI 값은 상위 임계치로, 하위 임계치보다 작은 RSSI 값은 하위 임계치로 대체한다. 세 번째 이동평균 연산에서는 $rssi_{i-(w-1)}$ 부터 $rssi_i$ 까지의 평균값을 계산하여 기존 $rssi_i$ 값을 대체한다. 이러한 이동평균은 w 번째 RSSI 값부터 다음 RSSI 값으로 이동하며 적용된다. 마지막으로, 최종 거리계산에서는 앞서 보정된 RSSI 값들과 BLE Beacon 메시지에 포함된 TxPower 값을 사용하여 각 RSSI 값에 대한 거리를 측정하고, 그 거리측정값들의 합을 $distance$ 에 저장한다. 그 다음, $distance$ 를 $n-cnt$ 로 나누어 평균 거리 측정값을 계산하고, 이를 최종

거리측정 결과로 도출한다. 이때 각 RSSI 값과 TxPower 값을 사용해 거리를 측정하는 공식 $f(rssi, tp)$ 은 다음과 같다.

$$f(rssi, tp) = \begin{cases} (rssi/tp)^{10} & , rs/tp < 1 \\ 0.89976 \times (rssi/tp)^{7.7095} + 0.111 & , rs/tp \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

표 1. 이상치 보정을 활용한 거리측정 과정

Table 1. Process of Distance Measurement Using Outlier Replacement

Algorithm: Process of Distance Measurement Using Outlier Replacement	
1:	INITIALIZE av to 0, sd to 0, $distance$ to 0, cnt to 1
2:	STEP 1. Removal of higher and lower RSSI values
3:	WHILE $cnt < 2(n \cdot \frac{p}{100})$ DO
4:	$R.remove(\min(R))$ // remove lower RSSI values
5:	$R.remove(\max(R))$ // remove higher RSSI values
6:	$cnt += 2$
7:	ENDWHILE
8:	STEP 2. Replace outlier RSSI values
9:	$\mu \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^n rssi_i}{n}$ // calculate an average
10:	$\sigma \leftarrow \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (rssi_i - \mu)^2}{n}}$ // calculate a standard deviation
11:	FOR each RSSI value in R , $rssi_i$, $i = [1, n-cnt]$
12:	IF $rssi_i > \mu + \sigma$
13:	$rssi_i \leftarrow \mu + \sigma$ // replace outlier to maximum value
14:	ELSE IF $rssi_i < \mu - \sigma$
15:	$rssi_i \leftarrow \mu - \sigma$ // replace outlier to minimum value
16:	ENDIF
17:	ENDFOR
18:	STEP 3. Apply moving average
19:	FOR each RSSI value in R , $rssi_i$, $i = [w, n-cnt]$
20:	$rssi_i \leftarrow (\sum_{j=0}^{w-1} rssi_{i-j})/w$
21:	ENDFOR
22:	STEP 4. Calculate distance
23:	FOR each RSSI value in R , $rssi_i$, $i = [1, n-cnt]$
24:	$distance += f(rssi_i, tp)$
25:	ENDFOR
26:	RETURN $distance / n-cnt$

IV. 성능 평가

4-1 실험 환경

제안기법의 성능검증을 위해 BLE Beacon 개수와 Beacon Receiver와 BLE Beacon간 거리를 다르게 하여 BLE Beacon의 RSSI 값을 120초 동안 수집하였다. 그 다음 수집된 RSSI 값을 사용해 제안기법을 사용한 거리측정과 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정 결과를 비교하였다. 제안기법은 총 3가지 MP(5sec, 10sec, 15sec)를 사용하였으며, 이동평균의 윈도우 크기는 4로, 제거되는 상 하위 RSSI 값의 비율은 20%로 설정하였다. 실험의 실제 구현을 위해 B-Fon사의 i4와 Raspberry pi 4 Model B를 각각 BLE Beacon과 Beacon Receiver로 사용하였다. 표 1은 실험의 환경변수를 요약하여 보여준다.

표 2. 실험 환경변수

Table 2. Experiment environment variable

Parameter	Value
Number of BLE Beacons	5, 10, 15
Distance between BLE Beacon and Beacon Receiver	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
Beacon Interval	100ms
Measurement Period	5sec, 10sec, 15sec
Moving Average Window	4
The ratio of upper and lower RSSI values that are removed	20%
Experiment Time	120 sec

4-2 실험 결과

그림 2는 시간에 따른 거리측정결과의 예시를 보여준다. 그림 2 (a), (b), (c)는 각각 MP를 5, 10, 15로 사용한 제안기법의 거리측정결과를 나타낸다. 그림 2 (a), (b), (c) 모두 실험이 시작된 직후 제안기법의 거리측정값이 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정값보다 더 큰 오차를 보인다. 이는 수집된 RSSI 값의 수가 적어 오차를 발생시키는 이상치가 보정되지 않기 때문이다. 하지만 시간이 지나고, 수집된 RSSI 값의 수가 늘어난 이후 제안기법을 적용한 거리측정값이 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정값보다 더 적은 오차를 보인다. 이는 상 하위 RSSI 값 제거, 이상치 대체, 이동평균 연산을 통해 이상치에 해당하는 RSSI 값이 제거되거나 보정되기 때문이다. 또한, MP가 길어질수록 제안기법을 적용한 거리측정값의 오차가 작아진다. MP가 길수록 더 많은 수의 RSSI 값이 수집되고, 이를 사용해 실측값과 더 가까운 평균값을 도출할 수 있게 된다. 따라서, MP가 길어질수록 이상치 보정의 효과가 더 커진다.

거리에 따른 거리측정결과의 성능을 비교하기 위해서 오차(e)를 다음과 같이 계산하였다.

$$e = \frac{\sum_{i=1}^m |distance - result_i|}{m} \quad (3)$$

여기서 $distance$ 는 실제 거리이며, $result$ 는 실험시간(즉, 120초) 동안 측정된 각각의 거리측정값을 의미하고, m 은 실험시간 동안 측정된 거리측정값의 총 개수를 나타낸다. 그림3은 실제 거리에 따른 거리측정결과의 오차를 보여준다. 그림 3 (a), (b), (c)는 각각 BLE Beacon의 개수가 5개, 10개, 15개일 때의 오차를 나타낸다. 그림 3의 (a), (b), (c)에서 주변환경의 간섭으로 인해 RSSI 값의 이상치가 발생하기 때문에, 불규칙적으로 오차가 증가하고 감소한다. 하지만, BLE Beacon과 Beacon Receiver의 거리가 증가할수록 오차가 증가하는 경향을 보인다. 이는 거리가 멀어질수록 외부환경의 간섭이 심해지고 이상치에 해당하

는 RSSI 값이 많아지기 때문이다. 하지만 그림에서, 제안기법의 오차가 제안기법을 적용하지 않은 평균오차보다 더 작다, 이는 제안기법을 적용함으로써 함께 수집된 값 대비 너무 크거나 작은 RSSI 값들이 제거되고 보정되었기 때문이다. 특히, MP=15를 사용한 제안기법의 평균오차가 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정값의 오차보다 각각 (a)에서 36.22%, (b)에서 47.63%, (c)에서 43.45% 낮았다. 결과적으로, 제안기법을 적용한 거리측정이 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정보다 평균 42.43% 낮은 오차를 보였다.

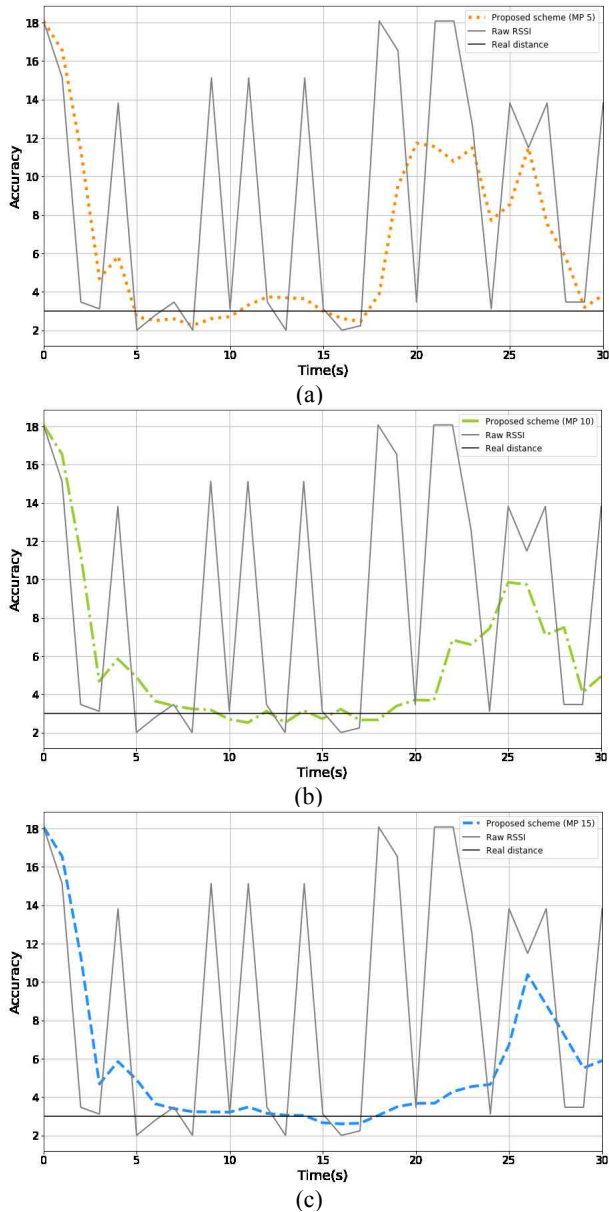


그림 2. 시간에 따른 거리측정결과의 예시: (a) MP=5; (b) MP=10; (c) MP=15
 Fig. 2. The example of distance measurement over time: (a) MP=5; (b) MP=10; (c) MP=15

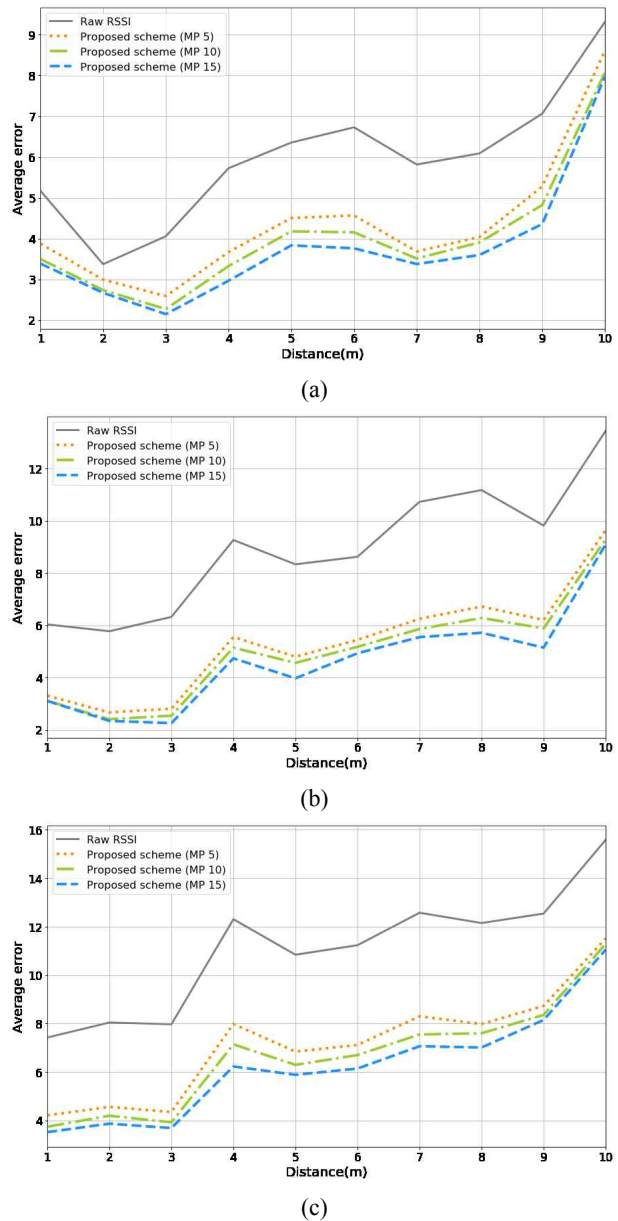


그림 3. 거리에 따른 거리측정결과의 평균오차: (a) BLE Beacon 5개; (b) BLE Beacon 10개; (c) BLE Beacon 15개
 Fig. 3. Average error of distance measurement according to distance: (a) 5 BLE beacons; (b) 10 BLE beacons; (c) 15 BLE beacons

V. 결 론

본 논문에서는 BLE Beacon을 사용한 거리측정 정확도를 개선하기 위해서 이상치 보정을 활용한 BLE Beacon 기반의 실내 거리측정 기법을 제안했다. 제안하는 기법은 1) 상 하위 RSSI 값 제거, 2) RSSI 값 이상치 대체, 3) 이동평균 연산, 4) 최종 거리계산의 단계로 구성된다. 상 하위 RSSI 값 제거에서는 수집된 RSSI 값들 중 일정비율의 상,하위 값들을 제거한다. RSSI 값

이상치 대체에서는 RSSI 값의 평균과 표준편차를 사용해 상위 임계값과 하위 임계값을 결정하고, 그 상위 임계값 이상 하위 임계값 이하의 RSSI 값은 각각 상위 임계값과 하위 임계값으로 대체한다. 이동 평균 연산에서는 수집된 RSSI 값에서 일정 크기의 부분집합을 생성하고, 부분집합들의 연속된 평균값을 계산한다. 마지막으로 최종 거리계산에서는 앞선 과정에서 보정된 RSSI 값을 사용해 거리를 측정하고, 그 거리측정값들의 평균을 최종 거리측정 결과로 도출한다.

제안기법의 성능검증을 위해 BLE Beacon 개수와 Beacon Receiver와 BLE Beacon간 거리를 다르게 하여 BLE Beacon의 RSSI 값을 120초 동안 수집하고, 이를 사용하여 제안기법을 사용한 거리측정결과와 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정결과를 비교하였다. 그 결과, 제안기법을 사용한 거리측정 결과가 Raw RSSI 값을 사용한 거리측정 결과와 비교하여 평균 42.43% 낮은 오차를 보였다. 이를 통해 제안기법이 BLE Beacon를 사용한 거리측정의 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구를 통해 실내 PBS 환경에서 BLE Beacon을 활용한 더욱 정확한 거리측정이 가능할 것으로 기대된다. 향후, 본 연구의 결과물을 토대로 이동성을 가지는 BLE Beacon에 대한 거리측정 정확도 향상 연구가 수행될 예정이다.

감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 연구개발특구진흥재단-기술사업화 역량강화 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-GJ-RD-0143 / 머신러닝을 이용한 위치 기반 어린이 안전 시스템 고도화 기술 개발).

참고문헌

- [1] A. Basiri, E. S. Lohan, T. Moore, A. Winstanley, P. Peltola, C. Hill, C. Hill, P. Amirian, and P. F. Silva, "Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions," *Computer Science Review*, Vol. 24, pp. 1-12, Apr. 2017.
- [2] Z. Deng, Y. Yu, X. Yuan, N. Wan, and L. Yang, "Situation and development tendency of indoor positioning," *China Communications*, Vol. 10, No. 3, pp. 42-55, Mar. 2013.
- [3] S. Sadowski and P. Spachos, "Optimization of BLE beacon density for RSSI-based indoor localization," *2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICCW Workshops)*, Shanghai, pp. 1-6, 2019.
- [4] F. Zafari, I. Papapanagiotou, M. Devetsikiotis, and T. J. Haacker, "Enhancing the accuracy of iBeacons for indoor proximity-based services," *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Paris, pp. 1-7, 2017.
- [5] X. Y. Lin, T. W. Ho, C. C. Fang, Z. S. Yen, B. J. Yang, and F. Lai, "A mobile indoor positioning system based on iBeacon technology," *2015 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Milan, pp. 4970-4973, 2015.
- [6] H. Zhang, M. Ren, X. Gao, and P. Wang, "Study on the resampling multipath decline technique and its application in minie CDMA mobile communication system," *The 2nd International Conference on Information Science and Engineering*, Hangzhou, pp. 4727-4730, 2010.
- [7] J.-R. Jiang, C.-M. Lin, F.-Y. Lin, and S.-T. Huang, "ALRD: AoA localization with RSSI differences of directional antennas for wireless sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 9, No. 3, pp. 1-11, Mar. 2013.
- [8] S. J. Gwon, H. T. Kim, and C. W. Ahn, "A study on the correction algorithm for signal stabilization of bluetooth beacon," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 298-299, 2016.
- [9] J. H. Park, D. I. Park, C. M. Yeom, J. S. Kang, and Y. J. Won, "A study on improvement of indoor positioning accuracy using beacon signal strength," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, pp. 991-994, 2018.
- [10] L. Alsmadi, X. Kong, and K. Sandrasegaran, "Improve indoor positioning accuracy using filtered RSSI and beacon weight approach in iBeacon network," *2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, Ho Chi Minh City, pp. 42-46, 2019.



이연희(Yeon-Hee Lee)

2017년~현 재 : 한림대학교 소프트웨어융합대학 학사과정

2017년~현 재: 한림대학교 소프트웨어융합대학 학사과정

※ 관심분야 : 무선네트워크(Wireless Network), 센서네트워크(Sensor Network) 등



이상우(Sang-Woo Lee)

2019년 : 한림대학교 융합소프트웨어학과(공학사)

2019년~현 재 : 한림대학교 융합소프트웨어학과 석박사통합과정

2019년: 한림대학교 융합소프트웨어학과(공학사)

2019년~현 재: 한림대학교 융합소프트웨어학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : 사물인터넷(IoT), 센서네트워크(Sensor Network), 데이터분석(Data Analysis) 등



김의직(Eui-Jik Kim)

2004년 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)

2006년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과(공학석사)

2013년 : 고려대학교 전기전자전파공학과(공학박사)

2005년: 인텔 코리아 R&D센터

2006년~2009년: 삼성전자 DMC연구소

2009년~2013년: KT 융합기술원

2013년~현 재: 한림대학교 소프트웨어융합대학 부교수

※ 관심분야 : 사물인터넷(IoT), 기계학습(Machine Learning), 임베디드 시스템(Embedded System) 등