

WiFi와 BLE 를 이용한 Log-Distance Path Loss Model 기반 Fingerprint Radio map 알고리즘

성주현¹ · 권택구² · 이승희³ · 김정우⁴ · 서동환[†]

(Received December 14, 2015 ; Revised January 10, 2016 ; Accepted January 13, 2016)

Radio map fingerprint algorithm based on a log-distance path loss model using WiFi and BLE

Ju-Hyeon Seong¹ · Teak-Gu Gwun² · Seung-Hee Lee³ · Jeong-Woo Kim⁴ · Dong-hoan Seo[†]

요약: 실내 위치인식 기술 중 하나인 WiFi Fingerprint는 기존의 WiFi access point(AP)의 거리에 따른 신호 세기를 활용하여 위치를 추정하는 편리함 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 이 방식은 Radio map에 저장된 Reference point에 의존하기 때문에 다른 방식에 비해 위치의 분해능이 떨어지고 연산량이 많다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 WiFi와 BLE를 융합한 Log-Distance Path Loss Model 기반의 Radio map 설계 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 Log-Distance Path Loss Model이 적용된 변수 값을 추출하여 Radio map을 설계하는 방식이며 Median Filter를 적용하여 오차를 개선하였다. 기존 Fingerprint와 비교하여 실험한 결과, 위치의 정확도는 평균 2.747m에서 2.112m로 0.635m 감소되는 것을 확인하였으며 연산량은 AP 환경에 따라 33%이상 감소하는 것을 확인하였다.

주제어: 실내위치인식, 저전력 블루투스, Fingerprint, 로그-거리 경로손실 모델

Abstract: The fingerprint, which is one of the methods of indoor localization using WiFi, has been frequently studied because of its ability to be implemented via wireless access points. This method has low positioning resolution and high computational complexity compared to other methods, caused by its dependence of reference points in the radio map. In order to compensate for these problems, this paper presents a radio map designed algorithm based on the log-distance path loss model fusing a WiFi and BLE fingerprint. The proposed algorithm designs a radio map with variable values using the log-distance path loss model and reduces distance errors using a median filter. The experimental results of the proposed algorithm, compared with existing fingerprinting methods, show that the accuracy of positioning improved by from 2.747 m to 2.112 m, and the computational complexity reduced by a minimum of 33% according to the access points.

Keywords: Indoor localization, Bluetooth low energy, Fingerprint, Log-distance Path loss model

1. 서론

최근 근거리 통신기기의 발달은 개인과 사물간의 통신을 이용한 상황 분석으로 확대되고 있다. 이에 따라 주변 통신 기기들간의 정보를 활용한 위치인식 기술이 육상뿐만 아니라 선박 및 플랜트 등의 실제 환경으로 점차 연구되고 있다[1]-[7]. 특히 통신 기기의 신호세기(RSSI: Received Signal Strength Indication)를 활용한 위치 추정 기술은 장애물에 대한 투과율이 낮은 GPS(Global Positioning System)를

대체하여 실내 위치인식에 많이 사용된다. 실내 위치인식 기술은 TOA(Time of arrival)와 RSSI 방식으로 크게 나누어진다[8]-[14]. 대표적인 RSSI기반 위치추정 기술로는 VLC(Visible Light Communication), BLE(Bluetooth Low Energy), WiFi 등이 있으며 WiFi를 이용한 Fingerprint가 대표적인 기술이다[15]-[19]. 실내 WiFi의 AP와 객체사이의 거리에 따른 신호세기의 변화를 Radio map에 저장하여 위치를 추정해 나가는 이 방식은 통신 기기사이의 무선 잡음

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3610-0356>): Division of Electronics & Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: dhseo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4412

¹ Department of Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: jhseong@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4822

² G2ICT, E-mail: tggwun@g2ict.com, Tel: 051-410-4822

³ Department of Internet Game, Deakyeung University, E-mail: shlee@tk.ac.kr, Tel: 053-850-1413

⁴ Department of Electronics & Electrical Engineering, Dongyang University, E-mail: jwkim@dya.ac.kr, Tel: 054-630-1110

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.

과 장애물 등 다양한 요인으로 인해 정확성이 타 방식에 비해 떨어진다. 하지만 기존에 설치된 WLAN 설치 환경에 별도의 통신 노드가 없어도 시스템 적용이 가능하다 [20]-[25].

Jo *et al.* [26]은 BLIDx(Bidirectional Location ID Exchange) 프로토콜 개선을 위해 변형된 Fingerprint 중첩 방법을 제안하였다. 이 방법은 BLIDx에 특화된 시스템을 구축하기 때문에 다른 시스템에 적용하는데 변형이 필요하며 지도 생성 단계에서 오차 발생 시 인식 결과가 흔들리는 단점이 있다.

Lohn *et al.* [27]은 실내 환경에서 WLAN과 BLE를 신호 세기 모델을 통해 두 방식의 차이점 및 유사점을 비교 분석하였다. 이 연구는 기본적인 위치추정 알고리즘 모델을 통하여 층별 위치추정을 실험하였으나 복도공간으로 한정되어있으며 기술의 융합보다는 기기의 실측 실험에 중점을 두고 있다.

Bozkurt *et al.* [28]은 Fingerprint에 사용되는 다양한 센서들을 하나의 Radio map에 제작하는 방법을 제시하였다. 이 Radio map은 WiFi, BLE, magnetic Field 등 다양한 센서 신호를 이용하여 만든다. 하지만 이 Radio map에는 기존의 방식보다 구성하는 정보가 매우 많고 센서의 종류마다 다양해 수집정보에 따른 시스템 구성 시간이 많이 소비된다.

본 논문에서는 WiFi와 BLE를 이용한 Fingerprint에서 Log-Distance Path Loss Model을 이용한 Radio map 제작 알고리즘에 대해 제안한다. 수집된 RSSI를 저장하는 기존의 방식을 Log-Distance Path Loss Model에 적용하여 추출된 값을 Radio map으로 저장한다. 이는 WiFi를 비롯한 BLE, Zigbee등 RSSI를 이용한 위치추정 Fingerprint에 제약 없이 사용이 가능하며 센서에 따른 추가적인 정보를 필요로 하지 않는다. 이 방식은 저장된 위치로만 추정이 가능한 기존의 Radio map을 거리값 변환을 통한 이변칙위로 위치를 추정하기 때문에 더욱 세밀한 위치 표현이 가능하다. 본 알고리즘을 통한 실측실험 결과, 위치의 정확도는 평균 2.747m에서 2.112m로 0.635m 감소되는 것을 확인하였으며 연산량은 AP 환경에 따라 최소 33%이상 감소하는 것을 확인하였다.

2. 위치추정 관련 이론

2.1 Radio map of Fingerprint

Fingerprint는 위치를 추정하기 위하여 신호세기를 저장하는 Radio map이 필수적이다. Radio map은 실제 위치를 추정하고자 하는 공간에서 일정한 간격에 따라 AP와의 거리에 따른 신호의 세기를 저장해 놓은 데이터베이스로서 Figure 1과 같이 저장되며 식 (1)과 같이 표현된다.

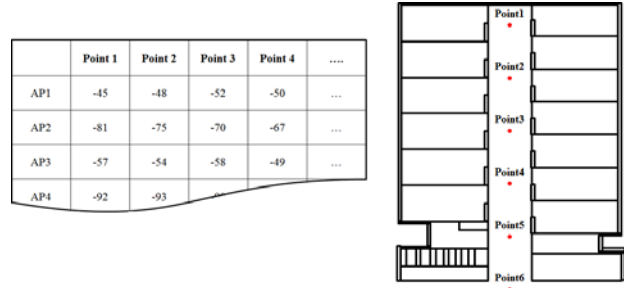


Figure 1: The traditional Radio map

$$P^i = [AP_1, AP_2, AP_3, \dots, AP_n] \quad (1)$$

이 때, i 는 저장한 위치를 나타내며 AP_n 은 위치 i 에서 측정된 n 번째 AP의 RSSI를 나타낸다. 한 위치에서도 AP의 수신 상태에 따라 측정되는 신호는 다양하게 나타날 수 있으며 신호의 세기가 강할수록 측정이 안정적이다. 하지만 신호의 세기와는 상관없이 주변의 무선 환경이나 송수신 기기의 상태로 인해 측정되는 신호의 세기는 변화가 심하다.

2.2 Log-Distance Path Loss Model

무선 신호의 세기는 송수신 거리가 멀어질수록 감쇄하는 반비례관계를 가지며 감쇄는 아래 식 (2)와 같이 Log-Distance Path Loss Model을 따른다.

$$P(r) = P(r_0) - 10n \log\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (2)$$

이때 r 은 AP와 이동 객체간의 거리, r_0 는 기준 거리, n 은 경로손실 계수를 나타낸다. 경로 손실 계수 n 은 주변의 통신 및 물리적인 환경에 따라 결정되는 상수값으로 실제 수신 신호와 비교하면 다양한 환경잡음에 의해 이상적인 Log-Distance Path Loss Model과 측정값은 오차가 발생한다. 이러한 오차는 위치 측위의 오차를 발생시키는 주요한 원인이 된다.

3. 제안한 Fingerprint Radio map

3.1 Radio map 변수 선정

제안하는 Radio map을 이용한 위치인식 과정은 기존의 Fingerprint 알고리즘과 동일하게 Training과 Positioning Phase로 나누어 Figure 2와 같이 진행된다. Radio map을 제작하는 Training Phase에서는 위치를 추정하고자 하는 공간에서 각 위치별로 측정되는 모든 AP의 RSSI를 수집하는 과정을 거친다. 실내 공간을 구조나 주변 AP 수에 따라 1~5m의 일정한 그리드 구조로 위치를 선정하여 각 위치별로 신호를 측정하는 방식을 사용한다. 기존의 Fingerprint와 달리 제안한 알고리즘은 Log-Distance Path Loss Model을 적용하여 변수값을 추출하는 과정만 추가된다. 이때 기존의 신호 저장방식에서 필수 구성요소이던 측

정 위치에 대한 정보를 제안한 Radio map에는 포함하지 않는다. RSSI를 수집하는 방법에 있어서 일정한 간격으로 위치를 추정할 때 한 위치에서도 신호의 변동 폭이 크기 때문에 Radio map 제작을 위한 신호 세기는 식 (3)과 같이 Median Filter를 이용하여 결정한다.

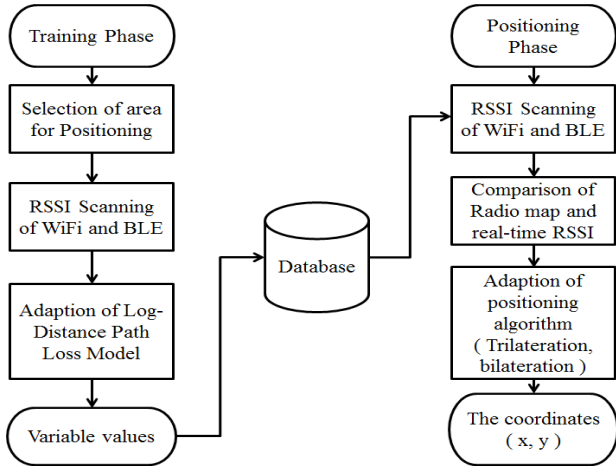


Figure 2: The positioning system architecture by proposed Radio map

$$RSSI_p = MED[RSS_1, RSS_2, RSS_3, \dots, RSS_n] \quad (3)$$

이 때, $RSSI_p$ 는 Radio map에 변수를 찾는 X축요소로 사용되는 RSSI값이며, MED 는 Median filter함수를 나타낸다. RSSI 수집 위치에서 임의의 한 AP의 측정된 신호세기를 RSS_1 라 할 때, n 번 측정된 신호를 이용하여 $RSSI_p$ 값을 결정한다. 결정된 $RSSI_p$ 와 측정되는 AP의 SSID(Service Set Identifier)가 제안하는 Radio map의 X축과 Y축으로 결정되면 Log-Distance Path Loss Model이 적용된다. 식 (2)를 기반으로 Radio map에 구성될 인자는 아래 식 (4)에 의해 결정된다.

$$n = \frac{RSSI_{r_0} - RSSI_p}{10 \log\left(\frac{r}{r_0}\right)} \quad (4)$$

$P(r_0)$ 은 수신기와 송신기 사이의 거리가 0 m일 때의 RSSI를 나타낸다. Median Filter로 결정된 신호의 세기를 기반으로 추출된 변수 n 은 각 AP당 신호 수집 거리 간격에 따라 10~60개까지 추출이 가능하다. 추출된 n 은 AP의 SSID에 따라 식 (5)와 같이 정리되며 n 을 활용하여 구성되는 Radio map은 Figure 3과 같다.

$$P^{ssid} = [n_1, n_2, \dots, n_n] \quad (5)$$

변수 값은 동일한 AP에서 거리에 따라 일정하게 변화하는 것이 아니기 때문에 보간을 사용하기 힘들다. 하지만 기존에 하나의 변수를 통해 거리값을 환산시키는 방식이

아니기 때문에 이후 위치인식을 통한 환경 변화를 변수를 교체함으로써 적용이 가능하다.

	RSSI 1	RSSI 2	RSSI 3	RSSI 4	...
SSID1	1.84	1.69	1.69	2.01	...
SSID2	1.24	1.77	1.259	1.52	...
SSID3	2.17	1.99	1.55	1.98	...
SSID4	2.1	2.07	2.07	2.07	...

Figure 3: The configurations of proposed Radio map

3.2 위치 추정 방식

제안한 Radio map을 사용하여 위치를 추정하는 방식은 기존의 Fingerprint에서 사용되는 유클리드 거리방식이 아닌 변수 적용을 통한 거리값으로 삼변측량 방식을 사용하게 된다. 유클리드 방식은 추정되는 구간의 모든 AP RSSI를 비교해야하기 때문에 한 위치에서도 AP수에 따라 연산이 많아지는 문제점이 있다.

제안한 방식은 2개 또는 3개의 AP의 변수값을 가지고도 위치를 찾아낼 수 있으며 또한 Radio map을 제작하기 위해 신호를 수집했던 위치만을 나타냈던 기존 Fingerprint보다 더 많은 위치를 좌표로 표현할 수 있다.

위치를 추정하는 방식은 Figure 2의 Positioning Phase의 과정으로 진행된다. 추정하고자 하는 위치에서 스마트폰이나 태블릿을 이용하여 WiFi와 BLE의 RSSI를 수신한다. 3~5회 수신된 RSSI는 Radio map의 SSID와 RSSI를 매칭시켜 변수 n 을 획득한다. 획득된 변수는 식 (6)을 이용하여 거리 값을 변환한다.

$$D(t) = e^{\frac{K+10\log(d_0)}{10n}} \quad (6)$$

$(K = P(d_0) - P(d))$

여기에서 d_0 는 기준 거리이며 측정된 $P(d)$ 는 Radio map에서 변수를 추출한 RSSI이다. 이를 이용하여 획득된 $D(t)$ 는 그 AP와 실제 위치사이의 추정 거리가 된다. 이를 2변 측위나 삼변측위를 위하여 상황에 따라 주변에 신호가 가장 강한 AP 2개 또는 3개를 변수를 활용하여 거리 값을 획득하면 식 (7), (8)을 통해 추정위치를 추출한다.

$$(X-a)^2 + (Y-b)^2 = D_A(t)^2 \quad (7)$$

$$(X-c)^2 + (Y-d)^2 = D_B(t)^2 \quad (8)$$

WiFi와 BLE의 고정 좌표 (a,b) , (c,d) 는 실제 노드의 설

치 좌표가 된다. 위 식의 연산을 통해 이용하여 중첩되는 좌표 (X,Y) 를 결정한다. 이때 삼변측위는 정확한 하나의 좌표가 나오지만 이변측위의 경우 노드 배치는 한쪽 벽을 기준으로 설치하여 위치를 추정한다. 한쪽 벽을 노드 설치 구간으로 선정하면 벽으로 인해 두 좌표 중 한 좌표만이 실제 좌표로 나타나기 때문에 위치 추정이 가능해진다.

4. 알고리즘 실험 및 고찰

4.1 실험 환경 제작

본 논문에서 제안한 Radio map의 성능 확인을 위하여 **Figure 4**와 같은 WiFi와 BLE를 사용하였다. BLE 모듈은 Nordic사의 nRF51822이며 Wi-Fi AP는 KT사의 CA-120N 모델을 사용하였다.

nRF51822는 256KB 플래시 메모리와 16KB RAM이 탑재된 다중 프로토콜 SoC(System on Chip)로서, 소형 모듈에 5V의 리튬 배터리를 사용하기 때문에 2.4GHz의 환경에 BLE 통신뿐만 아니라 I/O 단자를 통해 측정 및 제어 등 다양하게 프로그래밍 할 수 있다. Wi-Fi AP는 2.4GHz의 실내용 통신 장비로서 100m의 커버리지를 가지며 최대 30대의 단말기와 동시접속이 가능하다.

Figure 5는 실험이 진행된 두 실내 공간의 구조를 나타낸다. 가로 2.3m, 세로 34.8m의 복도와 가로 6.4m, 세로 5.2m의 방을 실험공간으로 선정하였다. 복도 구간은 이미 WiFi AP가 3대 설치되어있는 환경이며 **Figure 6**과 같이 한쪽 벽면의 2.6m의 높이에 12m 간격으로 설치되어있는 Wi-Fi AP 2개 사이에 BLE 노드를 2개씩 일정한 간격으로 배치하여 복도구간은 WiFi 3개, BLE 8개를 설치하였다. 방은 한쪽 벽면의 양끝에 WiFi 2대와 BLE 1개를 설치하였다. 이는 이변측위를 위한 노드 배치로서 최소 2개의 AP만 수신되어도 위치를 추정할수 있도록 하였다.

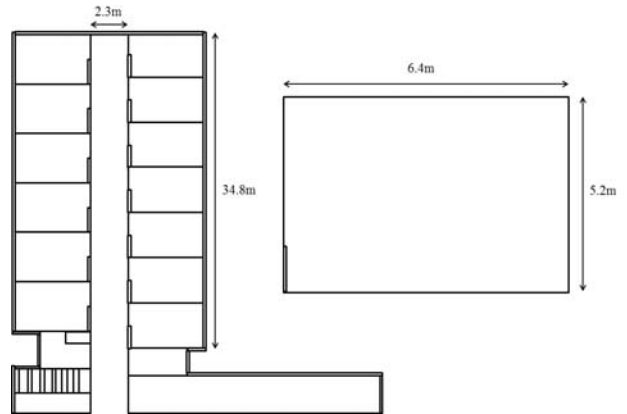


Figure 5: Experimental environment



Figure 6: The deployment of WiFi and BLE Nodes

4.2 실험 결과

RSSI 기반 위치 추정을 위해 사용되는 변수를 적용한 결과와 실제 측위 시 나타나는 결과는 **Figure 7**과 같다. X축은 노드와 수신기 사이의 거리를 나타내며 Y축은 신호의 세기를 나타낸다. Log-Distance path loss model을 적용해서 거리값을 추정할 경우 환경에 전혀 대응할 수 없이 고정된 상수값에 의존하기 때문에 점선과 같이 위치를 추정한다. 하지만 실제 실험의 결과는 주변 잡음 및 환경에 의해 측정되는 신호의 세기가 일정하지 않기 때문에 실제 위치의 오차가 발생한다.

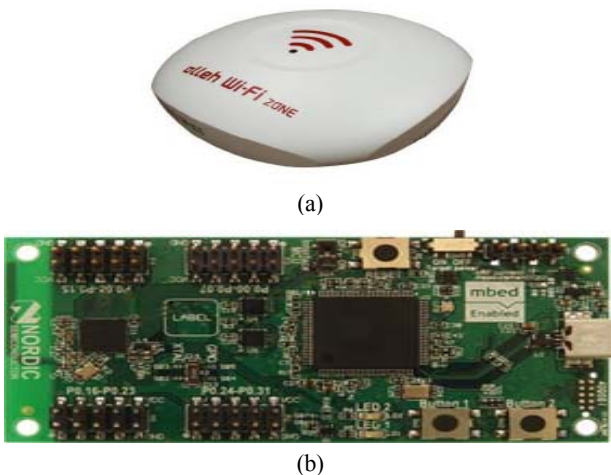


Figure 4: The access points used for experiment: (a) WiFi, (b)BLE

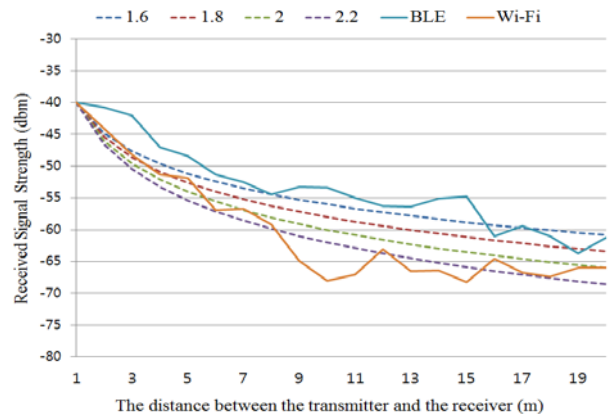


Figure 7: Log-distance model and measurement results

Figure 8은 Median filter의 적용 결과를 나타낸다. X축은 노드와 수신기 사이의 거리를 나타내며 Y축은 측정된 신호의 세기를 나타낸다. Median filter를 적용한 결과와 Average filter를 적용한 결과를 보면 평균적인 오차는 1.149 dbm과 1.487 dbm으로 만족할 수준의 성능이 향상되었다고 할 수 없다. 하지만 그림에서 11m, 7m 구간과 같이 5회 측정 신호가 변동하면서 오차가 큰 값을 측정하는 경우가 발생하게 되는데 이를 Median filter를 적용한 경우 어느 정도 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

Figure 9는 환경변수를 이용하여 거리값을 추정한 결과이다. X축은 노드와 수신기 사이의 거리를 나타내며 Y축은 측정된 추정거리를 나타낸다. Normal은 RSSI를 이용하여 추정된 기본적인 방식이며 Ideal은 시뮬레이션을 이용한 위치 추정의 결과이다. Normal 평균 오차는 1.596m, 시뮬레이션 Ideal 오차는 0.194m로 측정 되었다. 실제 실험 환경에서의 오차는 평균 0.684m로 나타났다. 이는 실험 환경에서의 측정되는 RSSI가 잡음으로 인해 일정하지 않기 때문에 발생하는 오차이다. 제안한 알고리즘을 통해 기본적으로 오차가 감소됨을 실험을 통해 확인할 수 있다.

본 Radio map을 통해 최종적으로 두 실험 공간에서 실험한 결과의 평균은 Table 1과 같다. 위치의 정확도는 공간에 따라 최대 0.75m 상승했으며 제안한 알고리즘을 통해 저장된 위치가 아닌 지도 전체를 위치표시가 가능하게 하였다.

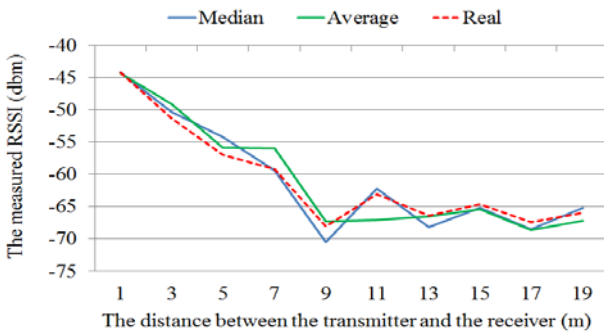


Figure 8: The experiment results using Median and Average filter

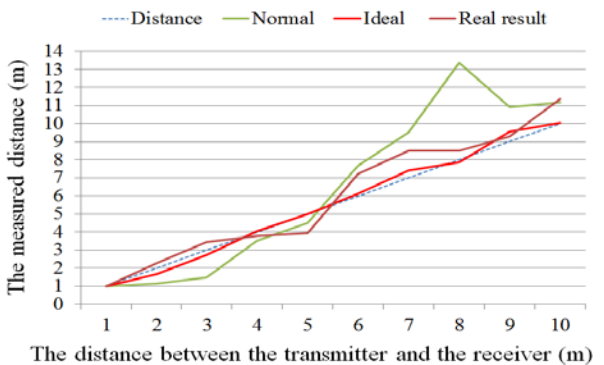


Figure 9: Distance conversion measurement results through environment variables

Table 1: The positioning results of proposed algorithm

	Fingerprint	Proposed algorithm
Corridor area	2.696 m	2.183 m
Room area	2.799 m	2.041 m

4. 결 론

본 연구에서는 실내위치인식의 방법 중 하나인 WiFi와 BLE를 이용하여 Fingerprint 기법의 환경 적응형 Radio map을 제작하는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 Fingerprint 기법은 단순히 신호의 세기를 저장하여 추정 위치를 나타내는데 한계가 있었으며 주변 환경에 대한 데이터가 부족하였다. 본 논문에서는 공간 분해능을 높여 정확도를 향상시키고 AP의 연산 최소화를 통해 연산량을 감소시키기 위하여 Log-Distance Path Loss Model 과 Median filter를 이용하여 Radio map을 제작하고 위치를 추정하였다. 제안한 알고리즘을 통한 실험 결과 위치를 표현하는 분해능이 TOA와 같은 성능으로 위치 표현이 가능하게 되었으며 두 실험 환경에서 Fingerprint와 위치 오차를 비교했을 경우 평균 0.635m 향상되는 것을 확인하였다. 또한 이변추위를 했을 경우 연산량은 기존 Fingerprint 대비 최소 33% 이상 감소하였다.

본 연구를 바탕으로 향후 선내 IoT기반 BLE위치 인식을 연구할 계획이며 BLE나 Zigbee 등 RSSI기반의 위치추정 알고리즘에 다방면으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2014R1A 1A4A01008081)이며 권택구의 석사학위논문 (“Wi-Fi와 BLE를 이용한 Log-Distance Path Loss Model 기반 Fingerprint Radio map 알고리즘, 한국해양대학교 대학원”)을 기반한 것이다.”

References

- [1] W. O. Kim, J. S. Kim, and W. C. Park, “Improvement of citadel structure on board ship using FDS,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 3, pp. 306-311, 2015 (in Korean).
- [2] H. J. Kwon, H. S. Yang, and S. G. LEE, “Site monitoring of crews and passengers on board by the BLE and PLM combination,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 4, pp. 463-467, 2015 (in Korean).
- [3] W. O. Kim, J. S. Kim, and W. C. Park, “Improvement of citadel structure on board ship using FDS,” Journal of the Korean Society of Marine

- Engineering, vol. 39, no. 3, pp. 306-311, 2015 (in Korean).
- [4] K. I. Hwang, "Comparative study on predictions of passengers' evacuation performances before and after the remodelling of MV SEWOL," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no.1, pp. 105-114, 2014 (in Korean).
- [5] J. H. Koo and K. I. Hwang, "A Koreans' consciousness survey on the onboard safety of domestic passenger ship," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 4, pp. 495-501, 2014 (in Korean).
- [6] H. J. Kwon, M. G. Kim, Y. S. Kim, and S. G. Lee, "Lifetime test of batteries for BLE modules for site identification of vessel's crews and passengers (SIVCP)," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 7, pp. 754-759, 2015 (in Korean).
- [7] G. W. Yim, S. H. Lee, S. Y. Kim, and N. S. Kang, "Development of unified communication for marine VoIP service," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 7, pp. 744-753, 2015 (in Korean).
- [8] J. H. Kim, S. G. Lee, J. S. Kim, J. W. Kim, and D. H. Seo, "A study on indoor navigation system using localization based on wireless communication," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 1, pp. 114-120, 2013 (in Korean).
- [9] H. J. Cho, J. S. Kim, S. G. Lee, J. W. Kim, and D. H. Seo, "Fixed node reduction technique using relative coordinate estimation algorithm," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 2, pp. 220-226, 2013 (in Korean).
- [10] J. H. Kim, H. J. Kim, J. S. Kim, S. G. Lee, and D. H. Seo, "An indoor localization approach using RSSI and LQI based on IEEE 802.15.4," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 1, pp. 92-98, 2014 (in Korean).
- [11] J. H. Kim, H. J. Kim, J. S. Kim, S. G. Lee, and D. H. Seo, "Relative azimuth estimation algorithm using rotational displacement," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 2, pp. 188-194, 2014.
- [12] H. J. Cho, S. G. Lee, W. H. Cho, D. S. Noh, and D. H. Seo, "Self-positioning fusion system based on estimation of relative coordinates," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 5, pp. 566-572, 2014.
- [13] J. H. Kim, J. H. Sung, Y. S. Ha, and D. H. Seo, "Improved adaptive smoothing filter for indoor localization using RSSI," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 2, pp. 179-186, 2015.
- [14] H. J. Cho, W. Y. Kim, Y. I. Joo, and D. H. Seo, "Robust relative localization using a novel modified rounding estimation technique," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 2, pp. 187-194, 2015.
- [15] K. R. Sohn, "A study on the short-range underwater communication using visible LEDs," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 4, pp. 425-430, 2013 (in Korean).
- [16] K. R. Sohn, "Performance analysis of the visible light communication in seawater channel," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 5, pp. 527-532, 2013 (in Korean).
- [17] M. S. Kim and K. R. Sohn, "Implementation of underwater visible light communication system interlinked with bluetooth," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 7, pp. 923-928, 2014 (in Korean).
- [18] M. S. Kim and K. R. Sohn, "Performance investigation of visible light communication using super bright white LED and fresnel lens," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 1, pp. 63-67, 2015 (in Korean).
- [19] K. R. Sohn, "Implementation of the equalization circuits for high bandwidth visible light communications using phosphorescent white LED," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 4, pp. 473-477, 2015 (in Korean).
- [20] J. H. Seong, T. W. Lim, J. S. Kim, S. G. Park, and D. H. Seo, "An improvement algorithm for localization using adjacent node and distance variation analysis techniques in a ship," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 2, pp. 213-219, 2013 (in Korean)
- [21] M. Ocana, L. M. Bergasa, M. A. Sotelo, J. Nuevo, and R. Flores, "Indoor robot localization system using WiFi signal measure and minimizing calibration effort", IEEE ISIE , vol. 20, pp. 1545-1550, 2005.
- [22] B. G. Paik, S. R. Cho, B. J. Park, D. k. Lee, B. D. Bae, and J. H. Yun, "Characteristics of wireless sensor network for full-scale ship application," Journal of Marine Science and Technology, vol. 14, no. 1, pp. 115-126. 2009.

- [23] A. Teuber and B. Eissfeller, "WLAN indoor positioning based on Euclidean distances and fuzzy logic," Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication, pp. 159-168, 2006.
- [24] H. G. Jo, S. Y. Jeong, and S. J. Kang, "Enhanced accurate indoor localization system using RSSI fingerprint overlapping method in sensor network," The Journal of Korea Information and Communications Society, vol. 37, no. 8, pp. 731-740, 2012 (in Korean).
- [25] J. H. Seong, J. S. Park, S. H. Lee, and D. H. Seo, "Indoor localization algorithm based on WLAN using modified database and selective operation," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 8, pp. 932-938, 2013 (in Korean)
- [26] H. G. Jo, S. Y. Jeong, and S. J. Kang, "Enhanced accurate indoor localization system using RSSI fingerprint overlapping method in sensor network," The Journal of Korea information and communications society, vol. 37, no. 8, pp. 731-740, 2012 (in Korean).
- [27] E. S. Lohan, J. Talvitie, P. F. E Silva, H. Nurminen, S. A. Loytty, and R. Piche, "Received signal strength models for WLAN and BLE-based indoor positioning in multi-floor buildings," IEEE International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), pp. 1-6, 2015.
- [28] A. Makki, A. Siddig, M. Saad, and C. Bleakley, "Survey of WiFi positioning using time-based techniques," Computer Networks, vol. 88, pp. 218-233. 2015.