



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

Wi-Fi와 BLE를 이용한
Log-Distance Path Loss Model 기반
Fingerprint Radio map 알고리즘

Radio map Algorithm of Fingerprint based on
Log-Distance Path Loss Model using WiFi and BLE



指導教授 徐 東 煥

2016年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

權 宅 九

本 論文을 權宅九의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長：工學博士 金 潤 植 ㉠

委 員：工學博士 李 成 根 ㉠

委 員：工學博士 徐 東 煥 ㉠



2016年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

權 宅 九

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	iii
Abstract	v
제 1 장 서 론	01
제 2 장 관련 이론	04
2.1 Indoor localization technologies	04
2.2 Bluetooth Low Energy	06
2.3 Wi-Fi Positioning	07
제 3 장 제안한 시스템의 설계	12
3.1 시스템 개요	12
3.2 Wi-Fi system	13
3.3 BLE positioning system	16
제 4 장 실험 및 고찰	20
4.1 실험 환경	20
4.2 실험결과	23
제 5 장 결론	29
참 고 문 헌	31

그림 및 표 목차

<그림목차>

그림 1.1	Wi-Fi 실내 위치 추정	2
그림 2.1	버전에 따른 블루투스 성능 비교	6
그림 2.2	기초적인 Fingerprint의 흐름도	9
그림 3.1	제안한 위치인식 순서도	12
그림 3.2	제안한 Wi-Fi 위치 추정 알고리즘	13
그림 3.3	Radio map 구성	16
그림 3.4	제안한 BLE 위치 추정 알고리즘	17
그림 4.1	(a) BLE 모듈 (b) Wi-Fi AP	20
그림 4.2	실험 환경	21
그림 4.3	Wi-Fi와 BLE 노드 배치	22
그림 4.4	데이터 처리 과정	22
그림 4.5	Log-Distance 모델과 측정 결과	23
그림 4.6	메디안 필터와 평균필터의 실험 결과	24
그림 4.7	환경변수를 통한 거리 변환 측정 결과	25
그림 4.8	라디오 맵의 간격 설정	26
그림 4.9	위치 추정 결과	27

<표 목 차>

표 2.1 위치인식 기술 및 측위 방식 04
표 4.1 평균 위치 오차 27



**Radio map Algorithm of Fingerprint based on Log-Distance Path Loss
Model using WiFi and BLE**

by Teak-Gu, Gwun

Department of Electrical & Electronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime and Ocean University
Busan, Republic of Korea

Abstract

Recently, with the rapid advancement in information and communication technology, a variety of location-based services are being used in life. Representative technology of GPS(Global Positioning System), it is difficult to measure a precise localization due to low permeability of the signal by obstacles such as walls, buildings. Wi-Fi-based fingerprint indoor localization is widely used owing to its low cost and the rapid increase of its network. This method is measure the intensity of the radio signal because estimates location comparing and analyzing RSS(Received Signal Strength).

In order to adapt the localization in a variety of indoor area, this paper propose RTLS(Real Time Location System) algorithms based on the

fusion of WLAN(Wireless LAN) and BLE(Bluetooth Low Energy) in the corridor and room of building.

The proposed method can store the environment variable instead of signal strength in order to increasing the detail of the position and easy adapting to Wi-Fi and BLE.

The experimental results show that the errors of localization are reduced to 31% compared to conventional fingerprint in the experiment spaces by using proposed algorithm.



제 1 장 서 론

최근 디지털 기기의 발전으로 다양한 위치기반 서비스가 실생활에 활용되면서 이에 따른 기술도 점차 요구되고 있다. 특히 스마트폰 지도, 차량용 네비게이션 등의 GPS(Global Positioning System)를 활용한 서비스는 실생활에 필수 기술이 되고 있으며 더 정확하고 빠른 서비스 제공을 위하여 Wi-Fi(Wireless Fidelity), Zigbee, RFID(Radio Frequency Identification) 등의 다른 기술과 융합한 서비스들이 지속적으로 출시되고 있다[1-2].

현재 인공 위성간의 송수신 시간차를 활용한 위치 추정기술인 GPS는 육상 기지국을 활용한 DGPS(Differential Global Positioning System)기술을 적용하여 해상 선박, 부표 등의 위치를 1m 내외의 오차로 서비스를 제공하고 있다. 하지만 다른 통신에 비해 장애물에 대한 투과성 낮은 GPS의 송수신 신호는 빌딩 사이 또는 터널, 실내와 같은 음영 공간에서 위치 정확성이 많이 떨어진다. 이러한 GPS의 문제점을 보완하기 위하여 Wi-Fi, UWB(Ultra Wide Band), Vision 등의 실내에서 활용 가능한 센서 네트워크를 중심으로 실내 위치인식 시스템에 대한 연구가 진행 중이다 [3-5].

최근 적용되고 있는 기술로는 산업용 RFID 기반의 물류 위치 추적 시스템과 그림 1.1과 같은 Wi-Fi와 휴대폰 지자기 센서를 활용한 위치 추정 시스템이 대표적이다. 두 방식은 RSS(Received Signal Strength)를 기반으로 위치를 확인하는 방식으로 RFID 방식은 일정 범위 내의 Tag 인식을 통해 위치의 추정이 가능하며 Wi-Fi 기반 위치인식은 휴대폰, 태블



그림 1.1 Wi-Fi 실내 위치 추정
 Fig. 1.1 Wi-Fi indoor localization

릿 PC 등 개인 기기를 통한 응용이 가능하기 때문에 RFID 방식에 비해 적용 및 확장이 뛰어나다. RSS방식 보다는 위치 인식을 위해 특화된 TOA(Time of Arrival) 방식은 신호의 송수신 시간을 통해 거리를 추정하기 때문에 전파의 반사 및 산란에 영향을 크게 받는다. 따라서 실내 보다는 LOS(Line of Sight)환경에서 더욱 정확성을 나타내며 TOA를 구현하기 위한 단말기를 따로 설치해야하는 단점이 있다.

따라서 최근 연구는 Database를 이용하여 다양한 서비스가 가능한 Wi-Fi기반 위치인식 방식이 선호되고 있다[6-8]. 이 방식은 최근 하드웨어적 한계로 인한 정확성 향상이 기술적으로 어려워지면서 센서 융합 및 시스템 설계 시간 단축이 중점적으로 연구되고 있다. 또한 IoT(Internet

of Things) 통신 모듈로 호응을 얻고 있는 BLE(Bluetooth Low Energy)는 저전력과 간편성을 바탕으로 RSS 측정이 가능해 위치인식 분야에서 관심이 많이 집중되고 있다. Wi-Fi에 비해 송수신 거리는 떨어지지만 스마트폰을 통한 접근성과 소형으로 인해 다양한 사물 및 공간에 설치가 가능하기 때문에 여러 분야에서 활용될 가능성이 크다.

따라서 본 논문에서는 실내 환경에서 기존 Wi-Fi Fingerprint와 BLE를 융합한 Fingerprint 알고리즘의 Radio map 설정 기법에 대하여 제안한다. 실내에 이미 많이 설치되어있는 Wi-Fi AP와 임의로 설치한 BLE 노드의 신호를 활용하여 Fingerprint와 Log-Distance loss path model을 이용한 Radio map을 적용하여 Fingerprint의 정확성이 떨어지는 문제를 보완하였다. 기존의 Fingerprint 방식과는 달리 Radio map을 AP와 신호세기에 따른 변수 값으로 저장하여 그 값을 통해 좌표를 추정하는 방식으로 신호 수집 지점으로 표시되어 오차가 크던 기존 방식을 (x, y)좌표로 변환하여 표현함으로써 정밀하게 위치표현이 가능하다.

제 2 장 관 련 이 론

2.1 Indoor localization technologies

실외 위치인식 기술인 GPS와 달리 실내 위치인식 기술은 통신 방식 및 주파수 대역 등 전체적인 표준이 현재까지 정해지지 못한 상황이다. 따라서 표 2.1과 같이 다양한 통신 및 측위 방식이 제시되었다.

표 2.1 위치인식 기술 및 측위 방식

Table 2.1 Localization technologies and characteristics

기술	측위 방식	측위 오차	특징
Zigbee	RSSI	5m 내외	<ul style="list-style-type: none"> · 저전력, 저비용 · Mesh 네트워크 용이 · 낮은 데이터 전송 속도
CSS	TOA	2m 내외	<ul style="list-style-type: none"> · 저전력, 저비용 · 무선 잡음에 강인함 · Multipath 취약
Wi-Fi	RSSI, TOA	3m 내외	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 통신거리, 보편성 · 스마트폰 활용 가능 · 낮은 정확성,
Vision	Pattern Recognition	10cm 내외	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 정확도 · Database 필수 · 높은 프로세스 사양
UWB	TOA	15cm 내외	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 정확도 · 기기의 편의성 부족 · 고비용, 높은 전력소모

가장 정밀한 위치인식 기술로는 Vision 방식이 사용되고 있다. 이 방식은 카메라를 이용하여 촬영되는 이미지를 바탕으로 Database에 저장된 사물 또는 표식과 매칭을 통해 거리를 추정하는 방식이다. 따라서 이 방식은 높은 정확도를 보여주지만 위치를 인식하고자 하는 공간에 표식 또는 사진을 저장해야하기 때문에 필수적으로 모든 구간에 대해 Database와 위치에 대한 학습이 필요하다. 또한 위치 추정을 위한 연산속도와 연산량이 많이 요구되기 때문에 고성능 하드웨어가 요구된다.

TOA 위치인식 방식으로는 UWB가 대표적이다. 이 기술은 cm단위의 높은 분해능으로 위치추정이 가능하기 때문에 군사용으로 많이 사용되어 왔다. 하지만 이 기술을 적용하기 위해서는 고가의 단말기로 인한 설치비용의 문제가 가장 크다.

CSS, UWB 등 대표적인 TOA기반의 위치추정 기술들은 위치 추정을 위하여 송수신기 사이의 고유한 통신이 필요하기 때문에 별도의 위치추정 단말기를 설치하는 것이 필수적이다. 따라서 모든 공간을 통신 구간으로 커버해야하기 때문에 비용이 많이 든다. 하지만 설치를 통해 쉽게 위치값을 찾을 수 있고 공간에 따라 최소 수 cm까지의 정밀한 위치를 나타낼 수 있어 정밀위치인식에 적용될 수 있다.

Wi-Fi, Zigbee, BLE 등 RSS기반의 위치인식 기술은 이미 시중에 많이 보급되어 있는 기존의 단말기를 통해서 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있기 때문에 기술적인 적용이 용이하다. 이 방식들은 신호의 세기를 측정하여 위치를 추정하는 방식으로 주변 장애물이나 잡음에 의해 위치오차가 TOA에 비해 큰 것이 단점이다. 하지만 소비전력이 다른 방식에 비해 적고 자유로운 네트워크 구성이 가능하다는 장점이 있다[9].

2.2 Bluetooth Low Energy

Bluetooth기반의 실내 위치인식은 송수신 거리를 기반으로 노드를 설치하여 수신 단말기를 통해 각각의 노드의 측정된 RSS를 바탕으로 알고리즘을 통해 위치를 추정하는 방식이다. 신호의 세기를 기반으로 위치를 추정하는 방식은 Wi-Fi, Zigbee 등 무선 통신 기반의 시스템에서 이미 많이 연구되고 있다.

그림 2.1은 Bluetooth 3.0과 Bluetooth 4.0(BLE)의 소비전력과 전송속도를 비교한 그래프이다. Bluetooth 4.0 이전의 버전인 Bluetooth Classic은 Master가 Inquiry 및 Page를 슬레이브로 전송하게 되고 슬레이브는 Inquiry scan과 Page scan을 통해 응답을 수신함으로써 동기를 확립하여

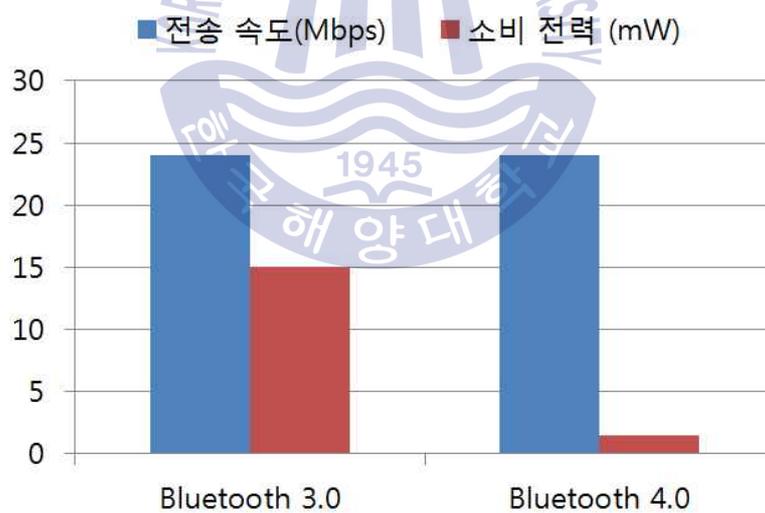


그림 2.1 버전에 따른 블루투스 성능 비교

Fig. 2.1 Performance comparison of the Bluetooth version

상호 연결 상태가 된다. 그러므로 슬레이브는 마스터가 보내는 데이터를 항상 수신 가능 상태로 동작하고 있어야하며 이 때문에 전력소비가 크다.

반면에 블루투스4.0 이후부터는 Advertise/Scan 방식을 적용하여 마스터가 슬레이브를 스캔하여 검색하고, 연결을 하고자 하는 슬레이브에 접속 요구 패킷을 보내면 동기화를 진행한다. 따라서 슬레이브는 마스터로의 동기화 데이터를 전송하기 전까지 헛수로 작동할 수 있기 때문에 소비 전력을 절감한다. 따라서 최근 Advertise/Scan이 적용된 BLE부터는 저전력 장시간 작동이 가능하여 스마트폰 블루투스 기능과 연동된 다양한 앱들이 서비스 되고 있다. [10-11].

2.3 Wi-Fi Positioning

Wi-Fi로 많이 알려져 있는 WLAN은 무선주파수를 활용하여 10~90Mbps 속도로 데이터 송수신이 가능한 무선 통신 방식이다. 하지만 AP당 신호의 커버리지가 최대 200m로 근거리 네트워크망을 구축하는데 많이 쓰이고 있어 넓은 공간을 커버하기에는 문제가 많다.

최근 대형 건물이나 가정 내에 Wi-Fi 라우터가 많이 보급되면서 이를 활용하여 위치추정을 하려는 연구도 많이 진행되어 왔다.[12-13]. 송신기와 수신기 사이에 측정된 신호세기는 거리에 반비례하므로 한 AP라도 일정한 거리마다 다른 신호 값을 가지게 된다. 이론적으로는 거리에 따라 신호의 세기는 일정하게 변하지만 실내의 경우 장애물과 벽이 많기 때문에 한 AP를 중심으로 같은 거리라도 주변 구조에 따라서 신호의 세기는 달라진다.

Wi-Fi기반의 RTLS는 시스템이 동작하는 방식에 따라 Infrastructure WLAN (Client/Server)방식과 Ad-hoc WLAN(Peer-to-Peer)방식으로 나눈다.

Infrastructure WLAN (Client/Server) 방식은 주기적인 신호 전달을 통해 통신 연결 가능성을 확인하고 확인된 노드와 AP간의 약속된 프로토콜을 통해 데이터를 주고 받는 방식이며, Ad-hoc WLAN방식은 이동노드 또는 Tag가 직접 신호를 송신하면 이를 AP가 수신하여 서버로 전송하는 방식이다.

따라서 Infrastructure WLAN방식의 경우, 일반적인 상용 AP방식으로 별다른 조작성이 필요 없이 바로 사용가능하다. 하지만 주기적으로 신호를 송신하여 노드를 검색하기 때문에 상시 전력소비가 크다.

Ad-hoc WLAN 방식은 단말기가 필요에 의해 신호를 송신하면 작동하기 때문에 상대적으로 전력소비가 적지만, 기존의 상용 AP와는 다른 방식이 적용되기 때문에 별도로 제작된 AP를 전체적으로 설치하여 별도의 시스템 구축 및 노드 비용이 추가로 필요하다[14-15].

이러한 WiFi AP를 활용하여 위치를 추정하기 위한 대표적인 방식으로는 Fingerprint 방식이 많이 사용된다. Fingerprint 방식은 크게 Training 단계와 Positioning 단계로 나누어 진행된다. 그림 2.2는 Fingerprint 기법의 흐름도를 나타낸다.

Training 단계는 위치를 인식하고자하는 공간을 선정하고 공간 내의 WiFi 신호를 수집하고 Radio map을 제작하는 단계이다. WiFi신호는 AP의 SSID(Service Set Identifier), RSS(Received Signal Strength), MAC 등 다양한 정보를 포함하고 있다. 그 중에서 위치인식을 위해 Radio map에는 SSID, RSS를 반드시 포함해야한다. 구간을 일정한 그리드 형식으로 나누고 그 간격마다 한 위치에서 측정되는 WiFi 신호를 수집한다. 위치당

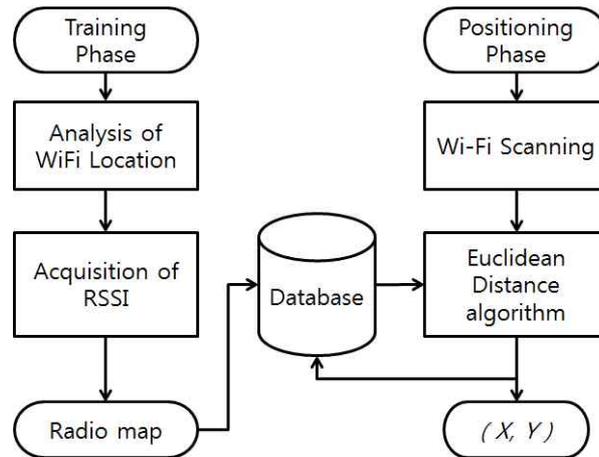


그림 2.2 기초적인 Fingerprint의 흐름도
 Fig. 2.2 Conventional Fingerprint flowchart

측정 거리는 상황에 따라 1~5m로 다양하게 구성할 수 있으며 주변 무선 환경이나 AP상태에 따라 m에 맞은 영향을 받지 않는 상황도 발생한다. 따라서 무선 환경에 따라 자유롭게 거리를 설정해서 최적의 거리를 추출하는 것이 필요하다.

실시간으로 측정되는 WiFi신호는 수신기의 성능 및 신호세기에 따라 간헐적으로 측정되는 현상이 발생하기 때문에 향후 정확한 위치를 추정하기 위해서는 한 위치에서 수신될 수 있는 AP 데이터를 많이 수집해 놓는 것이 필요하다. 데이터를 수집하는 단계에서 가장 많은 시간 소비가 발생하기 때문에 이에 따른 연구가 활발히 진행되고 있다. 특수한 WiFi 음역 지역을 제외하고 일반적으로 실내에 설치 되어있는 기존 AP를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 RSS를 이용하는 특성상 향후 AP의 수나 위치가 변경될 경우 Radio map을 다시 제작해야하는 번거로움이 발생한다.

Positioning phase는 Training phase에서 제작된 Radio map과 실시간 측정된 AP 신호를 비교하여 현재 위치를 추정하는 단계이다. 이미 Radio

map으로 저장된 신호 데이터와 위치를 추정하고자 하는 임의의 위치에서 실시간으로 측정된 신호를 유클리드 거리법을 이용하여 위치를 찾는 방법이다. 제작된 Radio map의 각 위치 i 에 따라 수집된 신호의 배열을 아래 식 (1)로 나타낼 수 있다.

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

또한 추정하고자하는 위치에서 실시간으로 측정되는 신호의 배열 P_r 은 아래 식 (2)와 같다면

$$P_r = [AP_{r_1}, AP_{r_2}, AP_{r_3}, \dots, AP_{r_n}] \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 아래 식 (3)의 유클리드 거리법을 적용하여 모든 Radio map과 비교 연산하게 된다.

$$Dist(i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (AP_j - AP_{r_j})^2} \quad (3)$$

이때, 연산된 $Dist(i)$ 는 각 위치별로 값으로 생성되며 아래 식 (4)를 통해서 이 중에서 Radio map과 값의 차이가 가장 적은 위치 P_s 를 최종적인 위치로 추정한다.

$$P_s = \min (Dist(i)) \quad (4)$$

측정되는 신호의 RSS는 주변 신호 환경과 구조에 따라 항상 하나의 값을 가지지 않고 일정한 범위 내에서 변동한다. 따라서 3m를 간격으로 위치를 측정하면서 모든 측정되는 AP의 RSS가 변하기 때문에 위치 오차는 증가하게 된다. 따라서 기본적으로 확률기반의 필터를 이용하여 위치를 보정한다[6].



제 3 장 제안한 시스템의 설계

3.1 시스템 개요

본 논문에서는 기존에 설치된 Wi-Fi AP를 중심으로 임의의 BLE 노드를 활용하여 위치를 인식하는 시스템이다. 전체적인 알고리즘은 시스템 별로 설명하도록 한다. 아래 그림 3.1은 개략적인 위치인식 과정을 나타낸다. 기존의 Fingerprint기법의 Training 단계에서 제작된 Radio map을 기반으로 위치를 추정하는 과정은 BLE를 스캔하여 주변 신호를 수집한다. 이때 스캔의 유무에 따라 BLE 또는 Wi-Fi 중 선택하여 위치를 추정한다.

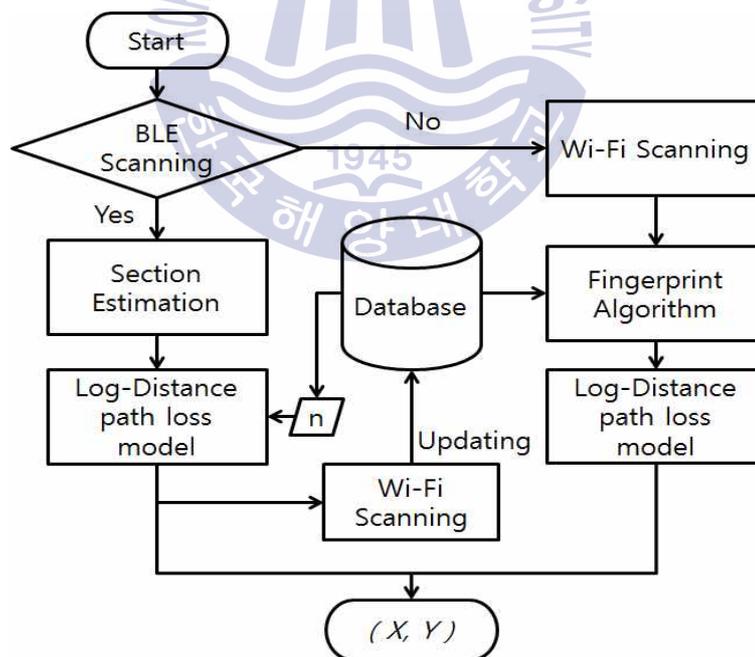


그림 3.1 제안한 위치인식 순서도

Fig. 3.1 Proposed positioning flowchart

데이터베이스를 기반으로 BLE와 Wi-Fi 신호의 대략적인 위치 탐색후, Training 단계에서 추출된 실험 환경의 무선 환경 상수 값 n 을 입력하여 실제 환경에서의 근접 한 거리로 값을 변환시킨다. 이를 기반으로 추정된 위치에서 Wi-Fi를 스캔하여 신호를 데이터베이스로 업데이트를 통해 지속적으로 환경 변화에 대입시킨다.

3.2 Wi-Fi system

제안한 Wi-Fi positioning 알고리즘은 아래 그림 3.2와 같다.

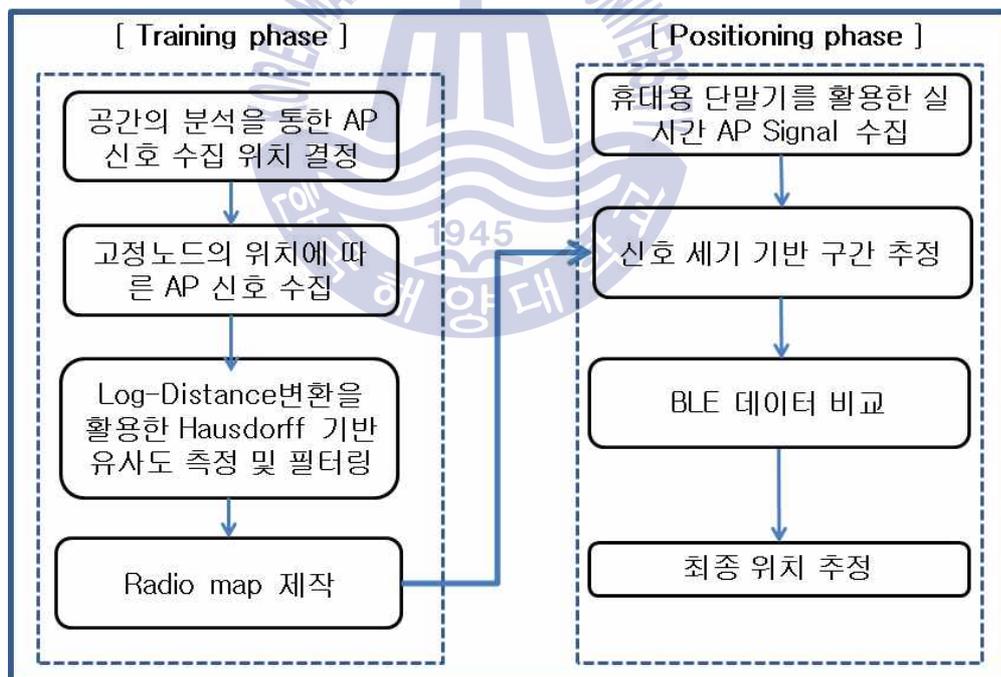


그림 3.2 제안한 Wi-Fi 위치 추정 알고리즘

Fig. 3.2 Proposed Wi-Fi positioning algorithm

기존의 Wi-Fi Fingerprint 방식은 Radio map을 만들기 위해 각 위치에서 측정된 AP의 RSS 데이터를 단순히 저장하고 사용해왔다. 따라서 창문이나 실내 구조로 인해 신호가 일정하게 감소하거나 증가하는 경우가 아닌 불규칙 신호가 많이 발생하지만 이를 그대로 저장하고 사용하는데 이는 오차를 발생시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 3.2와 같은 순서로 알고리즘을 구성하였다. 우선 위치를 추정하고자 하는 공간에 Wi-Fi AP의 신호를 일정 거리마다 수집한다. 수집된 신호는 MySQL database를 통해 저장한다. 저장하기 전에 수집된 신호는 공간의 구조 및 환경에 따라 일정한 신호의 감쇄와 거리를 나타내는 Log-Distance path loss model을 활용하여 주변 환경과 가장 일치하는 상수값을 추출한다.

Log-Distance path loss model은 아래 식(5)와 같다.

$$P(r) = P(r_0) - 10n \log\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (5)$$

이때 r 은 AP와 이동 객체간의 거리, r_0 는 기준 거리, n 은 경로손실 계수를 나타낸다. 경로손실 계수 n 은 주변의 통신 및 물리적인 환경에 따라 결정되는 상수 값이다. 기존의 연구에 따르면 자유공간일 경우 n 은 2의 값을 가지며 도심 셀룰러 무선 채널에서는 2.7~3.5, 빌딩 실내 LOS환경에서는 1.6~1.8의 값을 가지는 것으로 연구되어 있다[16]. Training phase에서 radio map 제작을 위해 수집된 신호는 분석을 통해 실험환경에서의 경로손실 계수 n 을 추출할 수 있다. $P(r)$ 은 5번 수집된 신호세기를 바탕으로 식 (6)과 같이 Median filter를 적용하여 결정한다.

$$RSSI_p = MED[RSS_1, RSS_2, RSS_3, \dots, RSS_n] \quad (6)$$

이 때, $RSSI_p$ 는 Radio map에 변수를 찾는 X축요소로 사용되는 RSSI 값이며, MED 는 Median filter 함수를 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. 적용된 신호는 MYSQL에 저장하여 Radio map으로 만든다.

식 (5)를 기반으로 Radio map에 구성될 인자는 아래 식 (7)에 의해 결정된다.

$$n = \frac{RSSI_{r_0} - RSSI_p}{10 \log\left(\frac{r}{r_0}\right)} \quad (7)$$

$P(r_0)$ 은 수신기와 송신기 사이의 거리가 0 m일 때의 RSSI를 나타낸다. Median Filter로 결정된 신호의 세기를 기반으로 추출된 변수 n 은 각 AP 당 신호 수집 거리 간격에 따라 10~60개까지 추출이 가능하다. Radio map에서는 변수 값이 들어가기 때문에 식 (9)와 같이 신호 세기 값에 따른 변수 값이 저장된다.

$$AP^i = [n_1, n_2, n_3, \dots, n_k] \quad (9)$$

따라서 그림 3.3과 같이 각 AP마다 신호세기에 따른 거리의 변수값 n 이 저장된다. x축은 신호의 세기를 나타내며 y축은 AP를 나타낸다.

	-45	-50	-55	-60
AP1	1.84	1.69	1.69	2.01	2.18
AP2	1.24	1.77	1.259	1.52	1.18
AP3	2.17	1.99	1.55	1.98	2.0
AP4	2.1	2.07	2.8		

그림 3.3 Radio map 구성
Fig. 3.3 Configuration of radio map

이는 각각의 신호세기 구간마다 신호 세기가 아닌 변수 값을 저장하여 이변수를 통해 거리값을 연산해 그래프를 최대한 유사하게 복원하는 방식이다. 이는 기존에 한 가지 방식으로만 거리를 변환하던 방식에서 환경에 따라 변수 값이 변하도록 조절할 수 있어 다른 환경에서도 적용하기 유리하다.

이로써 실제 위치추위를 위한 준비과정인 Training phase는 끝나고 실제 위치에서 RSS를 수집하여 위치를 찾는 과정인 Positioning phase를 진행한다. Positioning phase에서는 안드로이드 기반 스마트폰을 이용하여 주변 Wi-Fi AP를 실시간 스캔한다. 스캔된 AP의 RSS를 MySQL과 연동하여 각 신호를 비교하여 가장 비슷한 값을 가지는 위치를 추정한다.

3.3 BLE positioning system

BLE 기반 위치추정 시스템은 세부적으로 아래 그림 3.3과 같이 나타낼 수 있다.

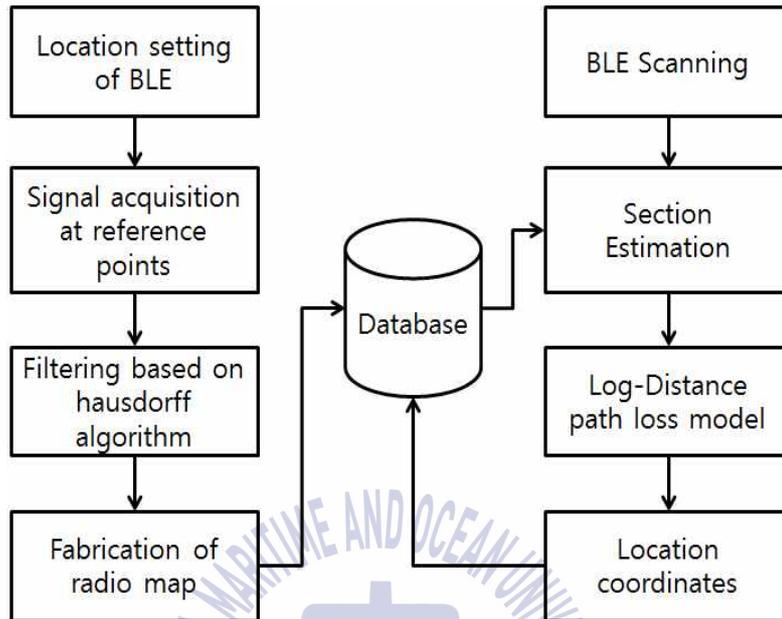


그림 3.4 제안한 BLE 위치 추정 알고리즘
 Fig. 3.4 Proposed BLE positioning algorithm

이때 측정된 신호는 Log-Distance path loss model을 활용하여 측정된 공간 환경의 추출 상수 값을 이용하여 거리를 환산한다. 환산된 값은 신호의 세기가 강한 2개의 노드를 기준으로 거리를 측정하여 최종 위치를 추정한다.

이때, 이변측위를 이용한 최종 위치는 아래 식 (10)과 (11)을 통해 추출한다.

$$(X-a)^2 + (Y-b)^2 = D_A(t)^2 \quad (10)$$

$$(X-c)^2 + (Y-d)^2 = D_B(t)^2 \quad (11)$$

로 표현되며 이미 BLE가 설치된 고정된 좌표 (a, b) , (c, d) 를 기반으로 실제 위치 (X, Y) 를 추출한다. $d_A(t)$, $d_B(t)$ 는 아래 식 (12)를 통해 추출한다.

$$D(t) = e^{\frac{K + 10n \log d_0}{10n}} \quad (K = P(d_0) - P(d)) \quad (12)$$

위 식으로 추출된 각각의 거리 $D_A(t)$, $D_B(t)$ 와 식 (10), (11)을 통해 교점은 (X, Y) 좌표 2개가 추출된다. 이 중 공간에 의해 생성이 불가능한 (X, Y) 좌표 1개를 제외하면 실제 위치 (X, Y) 좌표가 추출된다. 추출된 신호는 거리값에 의해 나온 위치로서 신호세기에 의해 측정된 위치에 비해 세밀하게 위치 표시가 가능하다. 이 좌표는 동시에 그 위치에서 수집된 Wi-Fi 신호를 확인하는 좌표로 사용되어 Radio map에 업데이트 되는 데 이는 지속적으로 변할 수 있는 무선 환경에 대처하기 위함이다. 이때 신호의 업데이트는 5회 수집을 통해 평균값으로 업데이트되며 한 위치에서 한순간에 모인 5회의 위치 값은 신뢰성이 떨어지기 때문에 제외하고 5번의 위치 추정 뒤 획득된 5회의 값을 통해 아래 식 (13)을 이용하여 이동 평균값을 추정해 나간다.

$$\overline{X}_k = \overline{X}_{k-1} + \frac{X_k - X_{k-n}}{n} \quad (13)$$

이전 값의 평균인 \overline{X}_{k-1} 에 새롭게 측정된 값 X_k 이 추가되면 가장 먼저 측정된 값을 제거하여 최근에 수집된 값으로만 평균을 낸다. 이때 n 은 평균을 내고자하는 개수를 나타낸다. 범위에 따라 최근 값에 대한 민감성

이 결정된다.

지속적인 업데이트는 BLE 노드가 독립전원으로 작동되기 때문에 배터리 부족으로 인한 신호 차단 시 Wi-Fi로만 위치를 추정할 때 정확성을 높이기 위함이다.



제 4 장 실험 및 고찰

4.1 실험 환경

실험에 사용한 BLE 모듈은 아래 그림 4.1과 같다. BLE는 Nordic사의 nRF51822 제품을 이용하여 실험 장소에 설치하였다. 이 모듈은 256KB 플래시 메모리와 16KB RAM이 탑재된 다중프로토콜 SoC이다. 동전 코인을 이용하여 설치 및 운용이 편리하다. 2.4 Ghz의 환경에 BLE 이외에도 다양한 프로그래밍이 가능한 개발 모듈이다. Wi-Fi 송신을 위해 사용된 AP는 2.4 Ghz, 30개의 동시 접속이 가능한 실내용 Wi-Fi이다. 소비전력은 실내 전력을 이용하여 작동되는 Wi-Fi의 경우 40mW의 전력소비를 보이며 nRF51822는 0.2mW로 5V의 동전 코인을 통해 구동된다.



그림 4.1 (a) BLE 모듈 (b) Wi-Fi AP

Fig. 4.1 (a) BLE Module (b) Wi-Fi AP

그림 4.2는 실측 공간을 나타낸다. 가로 2.3m, 세로 34.8m의 복도 공간에서 2.6m의 높이에 노드를 설치하여 진행하였으며 기존에 실내에 설치되어진 공공 AP와 임의로 부착한 BLE를 복도의 왼쪽 측면에 일정간격으로 부착한다. 12m 간격으로 설치되어있는 Wi-Fi AP 2개 사이에 BLE 노드를 2개씩 일정한 간격으로 배치하여 실내 환경을 구성하였다. 실험 공

간에서 수집되는 AP신호는 위치인식을 위해 Radio map에 업데이트되는 공용 AP 뿐만 아니라 개인용 AP도 측정이 되지만 위치인식에 사용되지 않기 때문에 제외하였다. 그림 4.3은 실제 설치한 노드들의 모습을 나타낸다.

방 구조의 경우 가로 6.4m, 세로 5.2m 의 공간에 개인용 AP를 이용하여 알고리즘을 적용하였다. 여기서 설치된 AP는 한쪽 벽을 기준으로 양쪽에 배치하여 2개만 사용해서도 충분히 위치를 추정할 수 있도록 구성하였다.

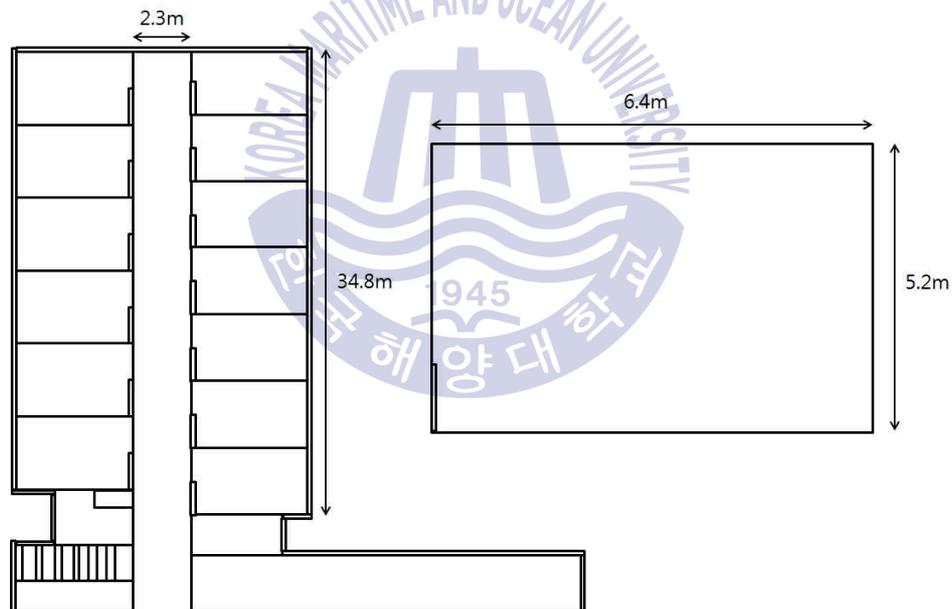


그림 4.2 실험 환경

Fig. 4.2 The Experimental environment



그림 4.3 Wi-Fi와 BLE 노드 배치
 Fig. 4.3 Wi-Fi and BLE nodes deployment



그림 4.4 데이터 처리 과정
 Fig. 4.4 The procedure of Data processing

실험데이터는 그림 4.4와 같이 수집하여 처리한다. 이미 설치된 Wi-Fi와 BLE의 신호는 안드로이드 기반의 스마트폰을 이용하여 수집한다. 수집된 신호는 Radio map과 알고리즘이 있는 컴퓨터로 유선 전송하게 되며 전송된 신호를 비교 분석하여 최종적인 위치를 표시하게 된다. 알고리즘은 C#을 이용하여 제작하였으며 Radio map은 MYSQL을 이용하여 저장

하였다.

4.2 실험 결과

시스템 구성을 위해 필요한 환경변수 n 을 추출하기 위한 AP 신호를 테스트하였다. 그림 4.5는 이론적인 신호 감쇄와 실측을 통한 신호 감쇄를 나타낸다.

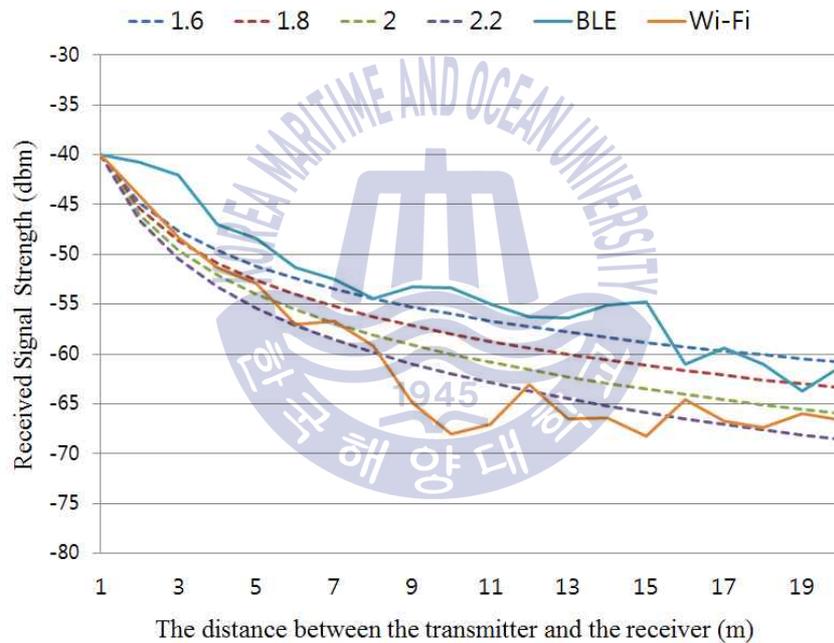


그림 4.5 Log-Distance 모델과 측정 결과

Fig. 4.5 Log-Distance model and measured results

X축은 수신기와 송신기 사이의 거리를 나타내며 Y축은 신호의 세기를 나타낸다. 수신기와 송신기의 거리를 20m까지 측정하였으며 Log-Distance Model을 이용하여 감쇄를 추정하는 시뮬레이션과 위치인식을

하고자하는 환경에서의 실측값을 나타내었다. 기존의 연구 결과에 따르면 일반적으로 자유공간에서의 n 값은 2, 도심 무선 채널 환경은 2.7~3.5, 실내 LOS(Line of sight) 환경1.6~1.8의 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 하지만 실험환경의 구조 및 벽의 재질 등 다양한 변수가 존재하기 때문에 일반적인 값을 기준으로 거리를 변환해서는 오차가 크게 발생할 수 있다. 실험 결과에 따르면 Wi-Fi의 값은 근거리에서 1.8, 원거리에서는 2.1에 가까운 것을 알 수 있다. 하지만 BLE는 1.4에 가까운 값을 보여 일반적인 거리 변환 값을 사용하면 오차가 크게 발생한다는 것이 확인 가능하다.

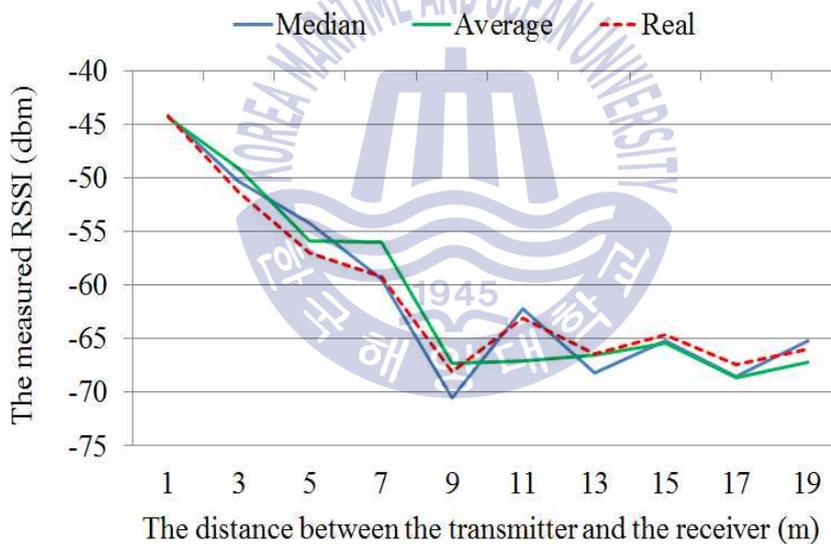


그림 4.6 메디안 필터와 평균필터의 실험 결과

Fig. 4.6 The experiment results using Median and Average filter

그림 4.6은 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 평균

적인 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.

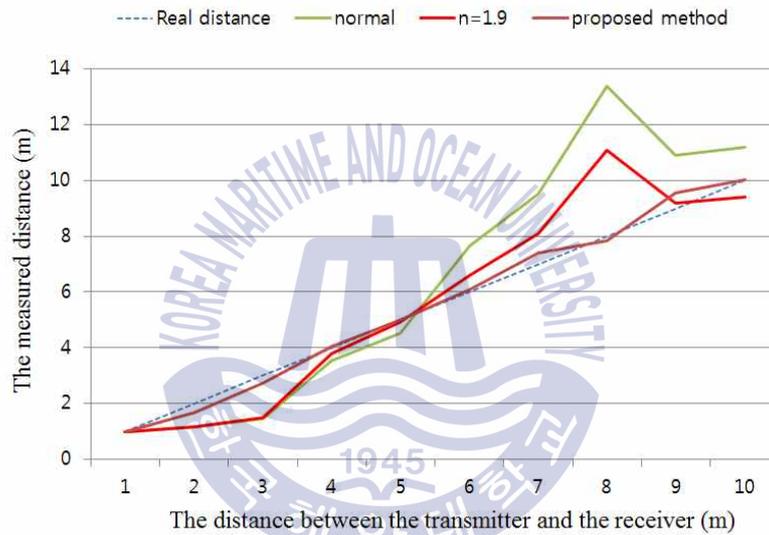


그림 4.7 환경변수를 통한 거리 변환 측정 결과

Fig. 4.7 The measured results of the distance conversion using environment variable

그림 4.7은 환경 변수를 적용했을 때의 측정 결과 값을 나타낸다. x축은 노드와 측정기 사이의 실제 거리를 나타내며 y축은 측정된 거리 값을 나타낸다. Radio map에 저장되어 있는 환경 변수 값은 현재 위치에서 측정된 AP와 신호세기를 기반으로 추출되며 신호의 값이 실시간 측정 시

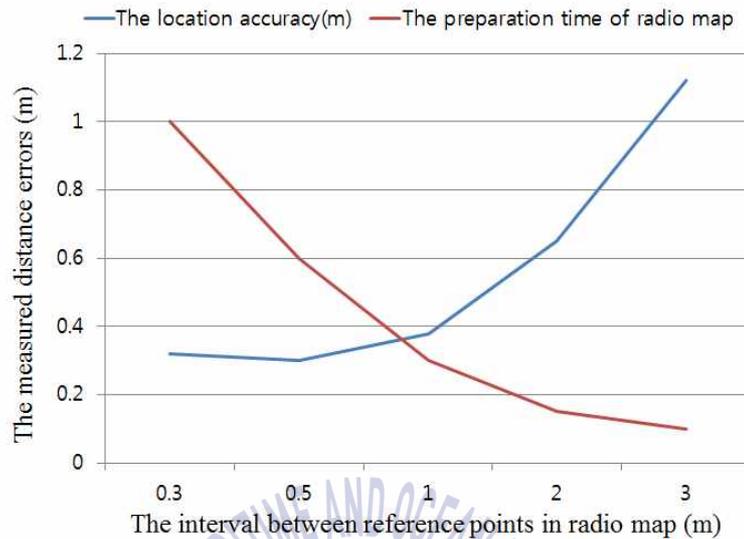


그림 4.8 라디오 맵의 간격 설정

Fig. 4.8 The interval settings of radio map

변동이 크기 때문에 평균을 내어 변수 값을 결정하였다.

Radio map을 제작할 때 간격을 1m로 설정한 이유는 그림 4.8과 같다. x축의 값은 Radio map의 신호 수집 및 제작 간격을 나타낸다. y축은 위치인식 했을 때의 위치 오차를 나타낸다. 0.3m를 기준으로 Radio map을 제작할 때 걸리는 시간을 1이라 했을 때 간격을 기준으로 나타낸 시간 그래프는 파란선과 같으며 위치오차는 붉은 선으로 표시하였다. 그림을 보면 위치의 오차는 3, 2m에서 급하게 감소하지만 1, 0.5, 0.3m에서는 감소폭이 미미함을 알 수 있다. 반면에 시간적인 소모는 급격히 늘어나기 때문에 가장 경제성과 정확성이 좋은 1m를 기준으로 설정하여 Radio map을 제작하였다.

이를 통해 실제 실험을 하여 위치를 추적한 결과는 그림 4.9와 표 4.1에 나타내었다.

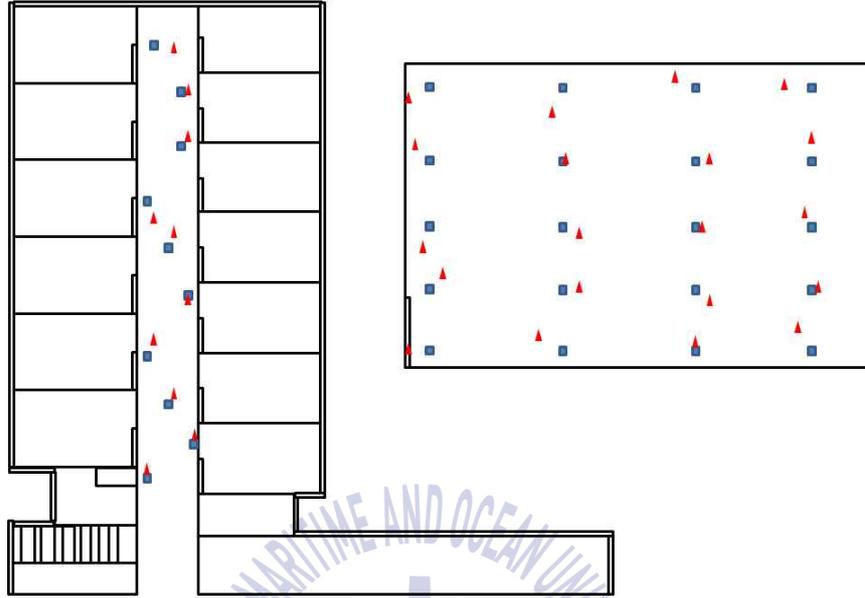


그림 4.9 위치 추정 결과
Fig. 4.9 The results of localization

표 4.1 평균 위치 오차

Table 4.1 The average location errors

Area	Fingerprint	Proposed Radio map
Corridor	2.696 m	2.183 m
Room	2.799 m	2.041 m

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. 또한 AP의 위치를 설정 변경을 통해 이변측위를 사용

가능하게 함으로써 연산량을 기존 Fingerprint 대비 최소 33% 이상 감소 시켰다.



제 5 장 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 이 변칙위를 했을 경우 연산량은 기존 Fingerprint 대비 최소 33% 이상 감소하였다.

본 연구를 통한 결론은 아래와 같다.

1. 기존의 Wi-Fi Fingerprint 방식을 응용하여 Wi-Fi와 BLE를 이용한 Log-Distance Path Loss Model 기반 Radio map 제작 알고리즘을 제안하였다.
2. Fingerprint의 방식을 변형하여 Wi-Fi, BLE에 동시에 사용 가능한 알고리즘으로 신호의 유무에 따라 Wi-Fi와 BLE를 선택하여 위치를 추정하도록 설계하여 하나의 통신이 없을 때에도 위치추정이 가능하다.
3. 신뢰성을 높이기 위하여 Median filter를 적용하였으며 신호세기 저장방식이 아닌 환경 변수 저장 방식을 이용하여 위치를 추정하는 방식을 적용하였다.
4. 위치 추정 구간은 복도와 방 구조로 나누어 진행하였으며 기존의 Fingerprint 방식과 같이 실험을 진행하여 비교하였다.
5. Fingerprint와 제안한 방식으로 실험을 진행한 결과, 장애물이 존재할 시 위치의 오차는 두 방식의 오차는 크게 나지 않았지만 장애물이 없는 공간에서는 제안한 방식의 위치정확도가 평균 0.635m 정도 좋아지는 것

을 확인하였다.

6. 연산속도에 있어서는 알고리즘이 추가되어 느리다고 판단할 수 있지만 Training 단계에서의 알고리즘이 많이 대부분이기 때문에 실제 위치추정 하는 연산속도는 기존의 방식과 차이가 없다.

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



참 고 문 헌

- [1] J.-Y. Choi, "Wireless Sensor Node Location Management By Regression Analysis of RSSI", M.S. Dissertation, School of Electronics & Information Engineering, Kunsan National University, Korea, 2009.
- [2] 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.
- [3] J.-T. Ryu and I.-K. Kim, "The development of indoor location measurement System using Zigbee and GPS", *Journal of the Korea industrial Information System Society*, Vol. 17, No. 4, pp. 1-7, 2012.
- [4] M. Caporuscio, P. G. Raverdy and V. Issarny, "ubiSOAP: A service oriented middleware for ubiquitous networking," *IEEE transaction on services computing*, Vol. 5, No. 1, pp. 86-98, 2012.
- [5] Y. J. Chang, L. F. Lin, C. H. Chen and W. T. Huang, "An integrated service model for community care: designing a healthy life for the elderly in Taiwan", *Journal of Public Health Frontier(PHF)*, Vol. 1, No. 2, pp. 31-41, 2012.
- [6] 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.

- [7] Andreas Teuber, and Bernd 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.
- [8] J.-W. Lee, J.-J. Ryu, W.-S. Lee, D.-K. Han and H.-C. Choi, "Implement of Zigbee Indoor location aware system by RSSI between anchors", *Information and Control Symposium*, pp. 43-44, 2008.
- [9] J.-H. Seong, "A study on real-time location based on fusing UWB and WiFi in a ship.", M.S. Dissertation, Department of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 2014.
- [10] Y. H. Oh, J. S. Lee, and S. J. Kang, "Protocol Design for Opportunistic Direct M2M Communication in Wearable Computing Environment", *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol. 39, No.2, pp. 151-163, 2014.
- [11] H. J. Kwon, H. S. Yang, 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. 457~461, 2015.
- [12] Chon, Y. and H. Cha, "LifeMap: A Smartphone-Based Context Provider for Location-Based Services. *IEEE Pervas. Comput.*, Vol. 10, No. 2, pp. 58-67. 2011.
- [13] B. G. Lee and W. Y. Chung, "Multitarget Three-Dimensional Indoor Navigation on a PDA in a Wireless Sensor Network." *IEEE*

Sensors Journal, Vol. 11, No. 3, pp. 799–807. 2011.

- [14] D. Yewei, Y. Ye and W. Xiangnong, "Wi-Fi-based real-time location and virtual guard system.", In *Audio Language and Image Processing (ICALIP)*, 2010 International Conference on, pp. 932 - 935. 2010.
- [15] Ma, Lin, et al., "WLAN indoor positioning algorithm based on sub-regions information gain theory", *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2013 IEEE. pp.4789-4794. 2013.
- [16] Y. J., Park, "Design and Implementation of Enhanced Fingerprint Locating Algorithm for Indoor Wi-Fi Environment", M.S. Dissertation, School of Computer Science & Engineering, Pusan National University, Korea, 2013.

