

## 실내 위치측위 기술을 활용한 효율적인 재부재 관리 시스템

1)김도형, 1)김지수, 1)박효상, 1)심재욱, 2)나재욱, 1)\*정설영  
1)경북대학교, 2)제윤메디컬

dh54kim54@gmail.com, wlt451l@naver.com, latter2005@gmail.com,  
wodnr96@gmail.com, jwnah@jeyun.com, \*snowflower@knu.ac.kr

## Efficient Office Management System using Indoor Location Technology

1)Dohyung Kim, 1)Jisu Kim, 1)Hyosang Park, 1)Jaewuk Shim, 2)Jaewook Nah,  
1)\*Seolyoung Jeong  
1)Kyungpook National University, 2)Jeyun Medical

### 요약

최근 위치기반 서비스(Location-based service, LBS) 시장의 성장과 함께, 사용자의 실내 위치정보를 활용한 다양한 실내 위치 기반 서비스가 제공되고 있다. 하지만 대부분의 실내 위치 측위 방식은 추가적인 장비를 필요로 하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 WiFi AP 기반 지문인식 측위(Fingerprinting)를 활용한 효율적인 재부재 관리 시스템을 제안한다. 해당 시스템은 추가 장비의 최소화, 복층 환경에서의 위치 파악 및 스마트폰 어플리케이션을 활용한 서비스 제공을 목표로 한다.

### 1. 서론

최근 위치기반 서비스 시장의 매출액은 2017년 기준 240억 달러로 2016년 대비 33.44% 증가 하였으며 2021년에는 960억 달러 규모에 달할 것으로 전망된다. 이러한 상황 속에서 여러 분야로 위치기반 서비스에 대한 활용도가 증가하고 있다[1].

현재 대중화 된 스마트 폰은 무선 신호 및 GPS등 다양한 센서를 이용하여 위치 측위가 가능하다. 하지만 이러한 스마트 폰의 위치 측위는 대부분 GPS를 이용한 측위를 기반으로 하기 때문에 실내 환경에서도 출할 수 있는 정확도에 제약이 있다[2]. 그에 따라 GPS기반 측위방식 보다 정확도가 높은 다양한 실내위치 측위 기술들이 개발되고 있다. 대표적인 기술에는 BLE(Bluetooth Low Energy)기반 측위기술, WiFi 기반 측위기술등이 있다. BLE Beacon은 블루투스를 활용하여 위치를 측정하는데, 측위를 위해 Beacon을 추가적으로 설치하여야 하는 문제점이 있다[3]. 이에 반해 WiFi AP를 이용한 위치 측위는 대부분의 건물에 대중화 된 WiFi AP를 이용할 수 있기 때문에 기반 시설의 설치가 불필요한 장점이 있다. 하지만 WiFi AP로부터의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 통해 거리를 측정하여 실내 위치를 측위하는 방식은 실제 실내환경 내 예측하기 어려운 전파차단(shadowing), 반사(reflection), 굴절(refraction), 흡수(absorption) 등의 오차로 인해 기대하는 정확도를 얻기가 힘들다[4]. 이러한 오차를 보정하기 위해 지문인식 측위(Fingerprinting) 등의 방법을 활용하면 향상된 정확도를 기대할 수 있다[5].

본 논문은 WiFi AP 이외에 위치 측위를 위한 기반 시설이 존재하지 않는 서비스 제공환경을 고려하여 WiFi AP기반의 재부재 확인 시

스템을 제안한다. 이 시스템은 기존 AP기기 및 스마트폰 어플리케이션을 활용하여 업무 시 해당 담당자의 사무실 내 재부재 유무를 확인하여 사무실 방문자에게 편리함을 제공하는 것이 목표이다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해 위치 측정 정확도 및 어플리케이션의 배터리 효율성을 고려하였다.

### 2. 시스템의 설계 및 구현

본 시스템의 주요목적은 기존 AP기기와 어플리케이션을 활용하여 담당자의 재부재를 확인하고, 이를 통해 방문자에게 편리함을 제공하는 것이다. 따라서 측위의 정확도와 더불어 기존에 존재하는 시설을 활용하여 효율적으로 측위를 하는 것이 중요하다. 또한, 배터리 소모량을 고려한 어플리케이션의 개발을 통해 효율적인 사용이 가능하도록 한다.

개발 시스템은 연산을 담당하고 데이터베이스를 관리하는 서버와 Fingerprinting data를 담고 있는 데이터베이스, WiFi AP 정보를 전송하는 클라이언트 어플리케이션으로 구성된다. C++ 언어를 사용해 서버를 개발하였고, 재부재 확인을 위한 관제 서버의 GUI를 Nana 라이브러리를 활용하여 구현하였다. 데이터베이스의 관리 및 구현은 MySQL을 통해 이루어진다. 클라이언트 어플리케이션은 안드로이드 환경(API level 29)에서 구현하였으며 Android Studio를 이용하여 개발하였다. 전체 시스템 구성도는 그림1과 같다.

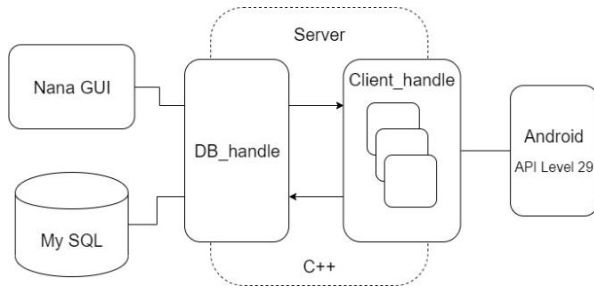


그림 1. 전체 시스템 구성도

## 2-1. 서버

서버는 위치 측위를 위한 연산 및 데이터베이스의 제어, 클라이언트와의 통신을 담당한다. 이를 위해 서버는 데이터베이스의 제어를 담당하는 DB\_handle thread와 클라이언트와의 통신을 담당하는 client\_handle thread를 생성한다. 서버는 client\_handle thread를 통한 어플리케이션과의 TCP 통신으로 표 1의 형식으로 WiFi AP 리스트 및 세기 정보(dBm)를 수신한다.

Client MAC	WiFiName	MACAddress	dBm	Freq
A8:2B:B9:87:E5:F0	E9-417-5Ghz	40:e3:d6:56:9e:10	-72	5527
	E9-418-5Ghz	40:e3:d6:55:40:90	-75	5680
	E9-415-2Ghz	40:e3:d6:5f:3e:80	-90	2437
A4:84:31:F8:2F:2E	E9-409-5Ghz	40:e3:d6:5f:61:10	-49	5785
	E9-409-2Ghz	40:e3:d6:5f:61:00	-51	2655
	E9-407-5Ghz	40:e3:d6:56:79:70	-75	5640
	E9-407-2Ghz	40:e3:d6:56:79:60	-80	2437
	E9-521-2Ghz	40:e3:d6:5f:61:60	-90	2403

표 1. 서버에서 수신하는 클라이언트 데이터 형식

서버는 수신한 어플리케이션의 WiFi 정보와 데이터베이스의 WiFi AP 리스트 및 세기를 바탕으로 예상 위치 범위를 계산하며, 예상 위치 범위에 속하는 구간(해당 호실)을 바탕으로 해당 사용자의 재부재 여부 및 위치를 확인한다. 위치 범위를 계산하는 알고리즘은 다음과 같다.

먼저, 서버는 클라이언트로부터 수신한 WiFi AP 리스트와 각 AP의 세기에 대해, 오차가  $\pm 8$ 인 데이터베이스의 Fingerprint 좌표를 찾는다. 데이터베이스는 각 Fingerprint 좌표(x, y)에 대해 4방향에서 측정된 리스트와 세기 정보를 가지고 있는데, 4방향에서의 측정값 중 가장 오차가 적은 하나의 측정값을 해당 좌표의 대푯값으로 사용한다.

위 과정을 통해 선별한 Fingerprint 좌표들의 WiFi AP 리스트에 대해, 각 WiFi AP의 세기를 활용한 위치범위 계산을 수행한다. 이때, 위치범위 계산을 위해 자유공간 경로 손실 공식[6]을 활용하였다.

$$FSPL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + c - (1)$$

측정된 WiFi의 세기  $FSPL(dBm)$  는 AP 위치에서의 WiFi 세기  $R$  에 대해 아래와 같은 공식으로 표현할 수 있다.

$$FSPL(dBm) = R - (20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + c) - (2)$$

위 공식을 활용하여, 동일한 AP에 대한 자유공간 경로 손실 차이를 통해 Fingerprint 좌표 - AP간 거리( $d_F$ )와 사용자 디바이스 위치 - AP간 거리( $d_D$ )에 대한 거리 비를 측정할 수 있다.

$$FSPL_F(dBm) - FSPL_D(dBm) = 20\log_{10}\left(\frac{d_D}{d_F}\right) - (3)$$

구해진  $d_D$ 와  $d_F$ 의 거리 비에서, 데이터베이스에 저장된 WiFi AP의 좌표와 Fingerprint 좌표를 통해  $d_F$ 를 특정할 수 있으므로, 사용자 디바이스 위치-AP간 거리( $d_D$ )를 알아낼 수 있다. 따라서, 그림 2에서와 같이 WiFi AP를 중심으로 하고, 반지름이  $d_D$ 인 원을 클라이언트로부터 수신한 AP리스트에 대해서 그렸을 때, 유사도  $S = |d_D - d_F|$  를 구할 수 있다. 유사도  $S$ 가 0에 수렴할수록 현재 클라이언트 위치가 Fingerprint 좌표와 비슷한 위치에 있다고 추정할 수 있다. 이를 통해 비교한 Fingerprint좌표들 중 가장 유사도  $S$ 가 0에 가까운 점이 현재 클라이언트의 위치라고 추정할 수 있다. 해당 위치를 바탕으로 사용자의 재부재 유무를 확인하고 관제 서버의 GUI에 표시할 수 있다.

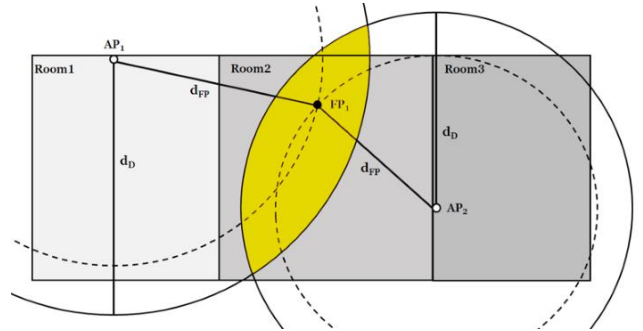


그림 2. 자유공간 경로 손실 공식을 활용한 위치 범위 계산

실제 범위 측정에 사용되는 WiFi AP의 개수는 신호 세기가 강한 순으로 최소 2개이며, 특정 Fingerprint 좌표로 특징이 되지 않을 경우 신호 세기가 약한 AP에 대한 정보를 제외하여 추정한다. 또, 위치 추정시 클라이언트의 위치와 유사할 것으로 추정되는 Fingerprint 좌표들이 사무실 내부 또는 사무실 외부일 경우, 사무실 내부의 Fingerprint 좌표들에서의  $S$ 값들의 평균과 사무실 외부의 Fingerprint 좌표들에서의  $S$ 값들의 평균을 비교하여 사무실 내·외부를 구분할 수 있다.

## 2-2. 데이터베이스

데이터베이스는 MySQL을 활용하여 구현하였으며, 사용자 정보, WiFi AP의 리스트, 건물, 각 호실, Fingerprinting point에 대한 데이터를 저장한다. 데이터베이스에 저장된 데이터를 바탕으로 위치 측위 및 재부재 구현, 관제 서버 GUI에서의 맵 구현, 사용자 재부재 확인 테이블 등이 이루어진다. 데이터베이스의 각 테이블 및 속성 값은 그림 3과 같다.

## Employees

Id	Name	MAC_address
사용자 식별 ID	사용자명	사용자 디바이스의 MAC 주소

## Building

Bid	Bname	Size_x	Size_y	Size_z	Max_floor
건물 식별 ID	건물명	x좌표 size	y좌표 size	z좌표 size	층수

## MAP

Bid	Num_floor	Rid	Mname	Start_x	Start_y
건물 식별 ID	해당 층	방 식별 ID	방 이름	x좌표 범위	y좌표 범위

## Room

Bid	Num_floor	Rid	val
건물 식별 ID	해당 층	방 식별 ID	각 정 사이 길이

## Ap\_list

Bid	Num_floor	X	Y	Z	Ap_name	Ap_freq	Ap_mac
건물 식별 ID	층수	x좌표값	y좌표값	z좌표값	Ap명	주파수	MAC주소

## Fn\_print

Bid	Num_floor	X	Y	Ap_mac	Up_level	Right_level	Down_level	Left_level
건물 식별 ID	층수	X좌표값	Y좌표값	MAC주소	각 방향에서 측정한 AP기 세기			

그림 3. 데이터베이스 내부 테이블 및 속성

## 2-3. 어플리케이션

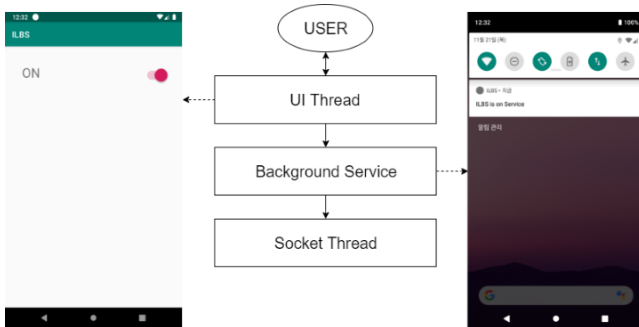


그림 4. 어플리케이션 구조 및 실행 화면

어플리케이션은 배터리 효율성 및 개인정보에 대한 보안성을 고려하여 단순한 측정 및 전송 기능만을 수행한다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 어플리케이션의 User는 UI thread를 통해 재부재 시스템의 On/Off를 설정할 수 있다. 이 UI thread는 Background Service를 생성하는 데, 이를 통해 측정한 해당 위치에서의 WiFi AP 리스트 및 각 AP의 세기를 서버로 전송한다. 배터리 효율을 위해 작업은 Background Service로 수행된다. 어플리케이션은 설정된 시간 주기로 서버와 TCP 통신을 통해 통신하는데, 해당 주기의 전송이 끝나면 다음 전송까지 소켓 통신을 종료한 후 다음 전송까지 대기한다.

## 3. 테스트 결과

시스템의 테스트 환경은 가로 약 85m, 세로 약 17m의 복층 건물 환경에서 수행되었으며, 건물의 해당 층(4층)에서 측정되는 총 WiFi AP의 수는 총 16개이다.

본 시스템의 테스트를 위한 Fingerprinting 데이터는 다음과 같이 수집하였다. 측정 지점은 건물 한 층의 복도에서의 8지점과 사무실 4개에서의 각 모서리 4지점으로 한다. 그림 5의 빨간 점은 수신세기를

측정한 지점(Fingerprinting Point)을 나타낸다. 각 측정 지점에서의 데이터는 상하좌우 방향으로 총 4회 측정하였다.

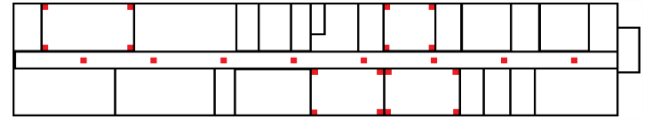


그림 5. 테스트를 위해 Fingerprinting data를 수집한 건물의 구조.

WiFi Name	MAC Address	Frequency
E9-403-2-5Ghz	40:e3:d6:5f:3d:70	5Ghz
E9-405-5Ghz	40:e3:d6:5e:46:d0	5Ghz
E9-407-2Ghz	40:e3:d6:56:79:60	2Ghz
E9-407-5Ghz	40:e3:d6:56:79:70	5Ghz
E9-408-2-2Ghz	40:e3:d6:56:d0:c0	2Ghz
E9-409-2Ghz	40:e3:d6:5f:61:00	2Ghz
E9-409-5Ghz	40:e3:d6:5f:61:10	5Ghz
E9-411-2Ghz	40:e3:d6:56:c0:40	2Ghz
E9-415-2Ghz	40:e3:d6:5f:3e:80	2Ghz
E9-415-5Ghz	40:e3:d6:5f:3e:90	5Ghz
E9-417-2Ghz	40:e3:d6:56:9e:00	2Ghz
E9-417-5Ghz	40:e3:d6:56:9e:10	5Ghz
E9-418-2Ghz	40:e3:d6:55:40:80	2Ghz
E9-418-5Ghz	40:e3:d6:55:40:90	5Ghz
E9-521-2Ghz	40:e3:d6:5f:61:60	2Ghz
E9-521-5Ghz	40:e3:d6:5f:61:70	5Ghz

표 2. 테스트를 위해 사용한 WiFi AP 리스트

표 2는 테스트를 위해 측정한 WiFi AP들의 MAC 주소 및 Frequency 정보이다.

본 시스템의 테스트는 다음과 같이 진행하였다. 먼저, 안드로이드 어플리케이션을 통해 임의의 위치에서 수신되는 WiFi AP 리스트 및 세기를 측정하였다. 그 후, 그림 5에서 나타낸 측정 점들에서의 수신 세기 데이터를 기반으로 해당 사용자의 위치를 추정할 때, 디바이스-WiFi AP 기기간 거리( $d_D$ ) 값 및 추정 결과(재실유무 및 위치)을 통해 정확도를 테스트하였다.

테스트는 서로 다른 두 지점에 대해 각 3회 수행하였으며, 각 수행에 대한 결과 및 추정에 사용한 유사도  $S$ 값은 다음과 같다.

실제 위치(x,y)	방 후보	$S$ 평균값	추정 위치
E9-407 (58500,3500)	E9-407	4681.46	E9-407
E9-407 (58500,2000)	E9-407	3444.04	E9-407
	4층 복도	4768.51	
E9-407 (60000,1500)	E9-407	3910.20	E9-407
복도 : 6번 지점 (60000,8500)	4층복도	2475.94	4층복도
	E9-407	4715.11	
	E9-408-1	5053.71	
복도 : 6번 지점 (60000,8500)	4층복도	5455.09	4층복도
복도 : 6번 지점 (60000,8500)	4층복도	2779.50	4층복도

표 3. 유사도  $S$ 값을 활용해 추정된 후보 리스트와 최종 위치

표 3에서 보는 바와 같이, 테스트 결과, 총 6번의 위치 추정 수행 중 6회 모두 정확하게 위치를 추정하였다.

정확도에 영향을 주는 요인을 분석한 결과, 어플리케이션을 통해 동일한 위치에서의 WiFi 신호 세기를 여러 번 측정하였을 때 값이 다르게 측정되거나, 어플리케이션으로부터 측정된 값과 데이터베이스에 저장된 Fingerprint 데이터 간 오차가 큰 경우 정확도가 감소하는 결과를 보였다. 또한, 어플리케이션을 실행하는 휴대전화의 종류에 따라서도 수신효율에 유의미한 차이가 있음 또한 확인하였다.

이를 개선하기 위해서는 Fingerprint 데이터의 정확성 개선 및 휴대전화 종류별 측정값에 따른 factor값을 적절히 부여하는 것이 필요하다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 WiFi AP 및 어플리케이션을 활용하여 업무 시 해당 담당자의 사무실 내 재부재 유무를 확인하여 사무실 방문자에게 편리함을 제공하는 시스템을 제안하였다. RSS의 자유공간 경로 손실 공식을 통해 도출한 위치 범위와 Fingerprint data를 이용해 해당 사용자의 위치를 추정하여 재부재 상황을 파악하는데, 해당 방법을 통해 사용자의 위치를 정확하게 좌표값으로 특정하기는 어려우나, 시스템의 목적을 수행하기 위한 정확도(사무실 내 재실 유무)를 얻어낼 수 있었다. 이러한 특징을 가지는 본 시스템은 위치추위를 위한 추가적인 설비의 설치가 제한적인 환경에서도 활용도를 가질 수 있을 것이다.

본 시스템은 각 Fingerprint point에서 측정된 데이터를 활용하기 위해 우선적으로 각 지점에서의 WiFi 신호 세기를 측정하여 데이터베이스를 구성하는 과정이 필요하고, 이 데이터를 구성하는 과정에 비용이 발생한다. 또한, 현재의 위치추위 방법만을 활용하여 얻을 수 있는 정확도에는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해서 부가적인 위치추위 방법을 활용하여 위치추위의 정확도를 높이고, 데이터베이스를 구성하는 과정을 자동화 할 수 있는 시스템을 구현하여 데이터베이스 구성 과정의 비용을 줄일 수 있도록 추가적인 연구가 수반되어야 할 것이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음"(2015-0-00912)

#### 5. 참고문헌

- [1] 방송통신위원회, KISA(한국인터넷진흥원): "LBS Industrial trend report", 2017.
- [2] Phelts, R. E., and D. M. Akos.: "Nominal signal deformations: limits on GPS range accuracy." The 2004 International Symposium on GNSS/GPS. Vol. 6. 2004.
- [3] Faragher, Ramsey, and Robert Harle.: "An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications." Proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014). Vol. 812. 2014.
- [4] JJ, Yoo., ETRI: "Trends in technical development and standardization of indoor location based services." Electronics and Telecommunications Trends 29.5, 2014
- [5] Chen, Chen, et al.: "High accuracy indoor localization: A WiFi-based approach." 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2016.
- [6] Promwong, Sathaporn, et al.: "Path loss and matched filter gain of free space and ground reflection channels for UWB radio systems." 2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004.. Vol. 100. IEEE, 2004.