

# 이동 Wi-Fi 환경에서 핑거프린트 기반의 Difference Means를 이용한 실내 위치추정 알고리즘

김 태 완\*, 이 동 명<sup>o</sup>

## The Indoor Localization Algorithm using the Difference Means based on Fingerprint in Moving Wi-Fi Environment

Tae-Wan Kim\*, Dong Myung Lee<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 Wi-Fi 환경에서 실내 위치추정의 성능 향상을 위해 이동 Wi-Fi 환경에서 핑거프린트 기반의 Difference Means를 이용한 실내 위치추정 알고리즘 (Algorithm using the Difference Means based on Fingerprint, DMFPA)을 제안하였다. 그리고 자체 개발한 실내 위치추정 시뮬레이터를 사용하여 제안한 DMFPA의 성능을 일반적인 핑거프린트 알고리즘 (OFPA), 가우시안 분포를 핑거프린트 알고리즘 (GDFPA)의 성능을 서로 비교하였다. 성능분석 항목은 각 참조구역에서의 평균위치추정 정확도, 발생된 오차의 평균오차 누적거리와 최대오차 누적거리, 그리고 평균측정시간으로 정의하였다.

**Key Words** : Wi-Fi, Fingerprint, Indoor Localization, Difference Means, DMFPA

### ABSTRACT

The indoor localization algorithm using the Difference Means based on Fingerprint (DMFPA) to improve the performance of indoor localization in moving Wi-Fi environment is proposed in this paper. In addition to this, the performance of the proposed algorithm is also compared with the Original Fingerprint Algorithm (OFPA) and the Gaussian Distribution Fingerprint Algorithm (GDFPA) by our developed indoor localization simulator. The performance metrics are defined as the accuracy of the average localization accuracy; the average/maximum cumulative distance of the occurred errors and the average measurement time in each reference point.

### I. 서 론

최근 스마트폰 (Smart phone), 태블릿 (Tablet), 노트북 (Notebook) 등의 소형기기의 보급이 늘어남에 따라 1인 멀티 디바이스를 사용하는 유비쿼터스 컴퓨팅 (Ubiquitous Computing)의 시대가 현실화 되었으며, 더 나아가 사람과 사람, 사람과 사물, 사람과 사물을 네트워크에 연결하여 정보를 공유하는 사물인터넷

(Internet of Things, IoT) 시대가 열렸다. 현재 IoT 서비스 분야 중에서 위치기반 서비스 (Location-Based Service, LBS)가 급속도로 성장하고 있으며, 이에 따라 사용자 위치추정 기술의 연구가 매우 광범위하게 진행되고 있다<sup>1-4)</sup>.

아울러 Wi-Fi 기술의 급속한 발전과 보급으로 인해 Wi-Fi기반의 위치추정 기술에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있는 실정이며, 실내공간에 많은 수의

\* 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01061369)

• First Author : Department of Computer & Media, Tongmyong University, wanykt@nate.com, 학생회원

o Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Tongmyong University, dmlee@tu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2015-12-399, Received December 17, 2015; Revised October 2, 2016; Accepted October 31, 2016

Wi-Fi access point (AP)가 이미 설치되어 있기 때문에 Wi-Fi를 이용한 핑거프린트 (Fingerprint) 기반의 실내 위치추정 기법은 별도의 장비 설치 및 인프라 구축 없이 위치추정이 가능한 큰 장점을 가지고 있다<sup>5-12)</sup>.

본 논문에서는 이동 Wi-Fi환경에서 핑거프린트 기반의 다양한 환경적 요소로 인한 위치추정 정확도 한계를 극복하고 최소 Wi-Fi AP로 측정위치에 따른 위치정확도를 높이기 위하여 핑거프린트 기반의 Difference Means를 이용한 실내 위치추정 알고리즘 (Algorithm using the Difference Means based on Fingerprint, DMFPA)을 제안하였다. 그리고 실내 위치추정 서비스의 수요와 다양한 방식의 성능분석의 필요성이 증대됨에 따라 자체 개발한 시뮬레이터를 사용하여 각 참조구역 (Reference Point, RP)에서의 추정된 위치의 위치추정 정확도, 발생된 오차의 평균 오차 누적거리, 최대오차 누적거리 및 평균측정시간을 분석하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 삼변측량법기반의 실내 위치추정 기법

삼변측량법을 이용한 실내 위치추정 기법은 여러 실내 위치추정 하는 기법 중에서 가장 널리 사용되는 기법으로 Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, Ultra Wideband (UWB) 등 다양한 근거리통신 환경에서 사용된다. 이 방법은 3개 이상의 AP로부터 신호세기 (Received Signal Strength Indication, RSSI)를 수신하고 각각의 거리를 구하여 위치좌표를 획득한다<sup>2-3)</sup>.

수신한 신호세기로부터 거리를 계산하는 방법은 식 (1)과 같다.  $R_i$ 는 수신된 신호의 강도이며,  $d_i$ 는 AP로까지의 거리,  $n$ 은 신호 전파 (경로감쇠)에 대한 지수, 기준이 되는 신호강도  $R_0$ 는  $d_0$  떨어진 거리에서 측정되며, 위치추정 과정에서 수신된  $R_i$ 를 식 (1)에 대입하여 AP까지의 거리  $d_i$ 를 찾을 수 있다.

$$R_i = R_0 + 10_n \log\left(\frac{d_i}{d_0}\right) \quad (1)$$

삼변측량법에서  $n$ 은 매우 중요하기 때문에  $n$ 을 찾기 위한 신호 전파 (경로감쇠)에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나 무선의 신호 세기는 수신한 거리뿐만 아니라 건물의 구조, 사람, 운습도, 신호간섭 등의 다양한 요소로 인하여 거리의 측정하는 정확도에 한계를 가지고 있다. 따라서 실내 위치추정은 거리에 따른

삼변측량법 보다 위치에 따른 무선신호 세기의 특성을 찾는 핑거프린트 기반의 기법을 더 널리 사용하고 있다<sup>2,6-8)</sup>.

### 2.2 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 기법

핑거프린트 기반의 실내 위치추정 기법은 미리 알고 있는 위치에서 Wi-Fi, Bluetooth, RFID 등의 송신기로부터 수신한 신호세기를 측정하여 신호지도 (Radio Map)를 구성하고, 단말기를 통하여 수신한 신호세기와 미리 구성된 신호지도를 비교하여 가장 유사한 신호세기 특성을 찾은 위치인 참조구역을 단말기의 위치로 추정하는 기술이다.

삼변측량법기반의 실내 위치추정 기법과 마찬가지로 수신한 신호세기를 기반으로 위치를 추정하기 때문에 신호세기의 특성에 영향을 받는다. 동일한 위치의 라디오 맵을 생성하여 위치추정 하더라도 측정할 때 마다 다른 특성의 신호세기를 가질 수 있으며, 현재 단말기의 위치와 다른 참조구역을 현재 위치로 추정하는 위치추정 오차가 발생할 수 있다.

핑거프린트 기반의 실내 위치추정 기법은 그림 1과 같이 신호지도 생성단계와 실내 위치추정 단계로 구성된다. 신호지도 생성단계에서는 실내 위치추정을 위한 신호지도를 먼저 구축하고, 실내 위치추정 단계에서는 단말기를 통해 실제 위치추정을 한다<sup>5-14)</sup>.

일반적으로 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 방법에서 측정위치에 따른 위치정확도는 서비스 참조구역의 간격과 밀접한 관련이 있다. 좁은 간격 서비스 참조구역의 경우 넓은 간격 서비스 참조구역보다 측정위치에 따른 위치정확도가 높아지는 장점을 가지고 있다. 이는 서비스 참조구역의 간격만큼 위치오차를 내재하고 있기 때문이다. 그러나 수신한 오차를 포함하고 있는 특성이 다른 신호세기기반의 확률적 위치추정을 하기 때문에 좁은 간격 서비스 참조구역이 오차가 더 허용되는 넓은 간격 서비스 참조구역 보다 위치추정 정확도가 낮아지는 단점을 가지고 있다. 그

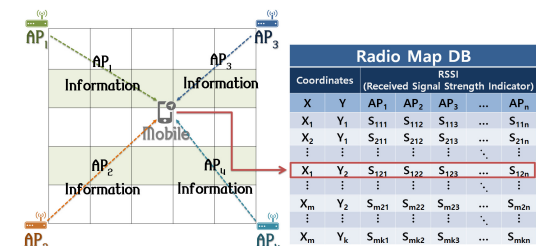


그림 1. 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 기법  
Fig. 1. Indoor localization algorithm based on fingerprint.

리고 좁은 간격 서비스 참조구역이 넓은 간격 서비스 참조구역보다 신호지도 데이터베이스 구축에 필요한 시간과 데이터베이스 크기가 비례하여 증가하는 문제점을 가지고 있다<sup>1)</sup>.

2.3 핑거프린트 기반의 가우시안 분포를 이용한 실내 위치추정 알고리즘

가우시안 분포 (Gaussian Distribution)를 이용한 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 알고리즘은 Wi-Fi 신호세기 지도학습 (Wi-Fi RSSI Map Learning) 단계와 실시간 위치추론 (Real Time Location Inference) 단계의 두 단계로 구성된다. Wi-Fi 신호세기 지도학습 단계에서는 실내 공간의 참조구역마다 각각의 AP로부터 Wi-Fi 신호세기 데이터를 수집하고, 수집된 신호세기를 표준편차를 이용하여 신호세기 지도를 학습한다. 그리고 실시간 위치추론 단계에서는 실내 환경에서 실시간 이동 중인 사용자의 위치에서 측정된 Wi-Fi 신호세기를 가우시안 분포를 이용하여 학습된 신호세기 지도와 비교하여 위치추정을 한다<sup>14)</sup>.

가우시안 분포를 이용한 실내 위치추정 기법은 식 (2)와 같이 임의의 위치에서 수신한 Wi-Fi 신호세기 벡터를 계산하여 실시간으로 단말기 사용자의 위치를 추정할 수 있다<sup>14),15)</sup>.

$$p(S|x) \propto \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi(x,i)^2}} \exp\left(-\frac{(S_i - \mu(x,i))^2}{2\sigma(x,i)^2}\right) \quad (2)$$

실시간 위치추정을 위해 가우시안 분포를 적용하였을 때 장점은 어떤 환경에 대한 이산화를 요구하지 않아 측정 환경에서 연속적인 위치에 대한 측정 가능하며, 훈련 데이터의 지역 밀도를 이용하여 노이즈가 포함되어 있더라도 정확한 위치추정을 가능하게 한다는 점이다. 그러나 Wi-Fi 신호세기 지도학습 단계에서의 신호지도 학습의 과정이 복잡하며, 실시간 위치추론 단계에서의 가우시안 분포 계산과정 또한 복잡한 단점을 가지고 있다.

III. 문제점 분석 및 시스템 설계 방향

일반적인 Wi-Fi 핑거프린트 기반의 알고리즘은 핑거프린트 환경 구축방법, 최소 Wi-Fi AP에 의한 위치추정 정확도 향상, 그리고 실내 위치추정 알고리즘의 실시간처리 및 정확도 향상을 실현함에 있어 문제점들을 가지고 있다. 이에 대한 세부적인 문제점 분석과 이를 해결하기 위한 시스템 설계 방향은 다음과 같다.

3.1 핑거프린트 환경 구축방법

핑거프린트 환경 구축에 있어서 참조구역의 간격 설정문제는 그림 2 및 3에서 보는 바와 같다. 그림 2는 핑거프린트 환경 구축의 문제점을 실험을 통해 나타낸 것이다. 먼저, 4m x 4m 공간 내에서 참조구역 1m 간격 (참조구역 A)과 2m 간격 (참조구역 B)으로 3개의 Wi-Fi AP로 신호세기를 측정하였다. 참조구역 간격을 2m 단위로 설정 하였을 경우, 1m 단위로 설정한 경우 보다 측정위치에 따른 정확도는 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 위치추정 결과가 정확하더라도 2m 간격 안 내재되어 있는 오차는 2m의 오차를 포함하고 있기 때문이다.

반면, 2m 단위로 설정하였을 경우, 1m 단위로 설정한 경우 보다 위치추정의 정확도는 올라가게 된다. AP에서 수신한 신호세기는 다양한 환경적 요소 (측정 환경, 신호감쇠 등)로 인한 오차를 포함하고 있으며, 확률적 기반의 알고리즘을 이용하는 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 알고리즘에서는 넓은 간격의 크기 일수록 오차를 더 포함하기 때문에 간격이 더 좁아지면 질수록 오히려 신호세기 분석이 어려워 실내 위치추정을 수행하기 어려운 단점을 가진다.

그림 3은 측정된 신호세기를 일반적인 핑거프린트 기반 알고리즘을 이용하여 50회 실험한 결과이다. 1m, 2m 간격의 실내 위치추정 실험에서 각각 33개와 5개의 오차가 발생하였으며, 발생한 평균 오차거리는

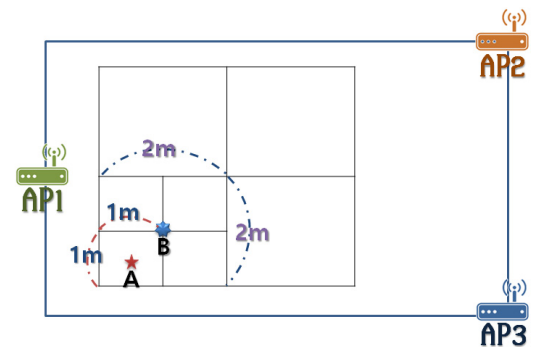


그림 2. 일반적인 핑거프린트 환경 구축의 문제점  
Fig. 2. Problem in fingerprint environment.

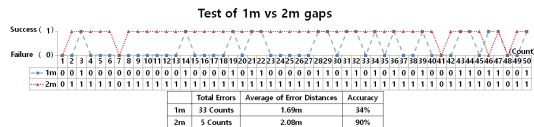


그림 3. 일반적인 핑거프린트 알고리즘을 이용한 참조간격 1m 및 2m의 성능 실험  
Fig. 3. Performance experiment for the interval distance of RP on 1m and 2m using fingerprint algorithm.

각각 1.69m, 2.08m이다. 그리고 실내 위치추정 정확도는 각각 34%와 90%이며, 2m의 참조구역 간격이 1m의 참조구역 간격보다 위치추정 정확도가 56% 높았지만 평균 오차거리는 0.39m의 더 긴 거리의 오차가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 참조구역 간격을 2m 단위로 설정한 실내 위치추정은 90%의 높은 위치추정 정확도를 보였지만, 실내 위치추정 과정에서 오차가 발생하게 되면, 주변 참조구역 거리까지의 거리인 최소 2m의 오차가 발생됨을 확인하였다. 이와 같은 문제를 줄이기 위해서 본 논문에서는 참조구역 간격은 1m 단위로 설정하여 내재 되어 있는 측정위치에 따른 정확도를 향상시키고자 한다.

### 3.2 최소 Wi-Fi AP로 위치추정 정확도 향상

대다수 핑거프린트 기반의 알고리즘은 확률을 기반으로 설계되어 있어 Wi-Fi AP의 개수가 많으면 위치추정 정확도는 향상되는 장점을 가지고 있지만, 반대로 Wi-Fi AP의 개수가 적으면 위치추정의 정확도는 낮아지는 단점을 가지고 있다. 그리고 최소 Wi-Fi AP의 수가 2대 일 때 그림 4와 같은 문제점을 가지고 있다.

참조구역 B에서 위치추정 하고자 할 때, Wi-Fi AP가 놓여진 방향(앞, 뒤)으로 이동하여 위치추정 하는 것은 가능하다. 그러나 이 경우, AP1에서 측정된 신호세기와 AP2에서 측정된 신호세기를 기반으로 위치를 추정하기 때문에 참조구역 A, C는 파악하기 힘든 문제를 가지고 있다. 참조구역 C에서 위치추정 할 경우, AP1에서 측정된 신호세기  $\alpha$ 와 AP2에서 측정된 신호세기  $\beta$ 는 참조구역 A에서 측정되는 신호세기  $\alpha'$ 와 신호세기  $\beta'$ 와 같아 C의 위치는 추정하기 어렵다.

따라서 최소 Wi-Fi AP로 위치추정 정확도 향상을 위해서 Wi-Fi AP의 수는 좌, 우 이동 파악이 가능하도록 3개로 설정하였다. 그리고 Wi-Fi AP의 개수가 적으면 위치추정의 정확도는 낮아지는 단점을 보완하도록 듀얼주파수 (2.4GHz, 5GHz) Wi-Fi AP를 사용하여 최소 Wi-Fi AP로 위치추정 정확도를 향상시키고자 하였다.

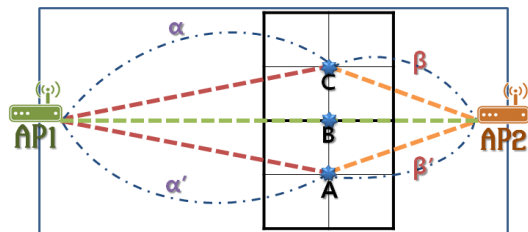


그림 4. 2대의 Wi-Fi AP 사용시의 위치추정 문제  
Fig. 4. Localization problem by two Wi-Fi APs.

### 3.3 실시간처리 및 정확도 향상

일반적인 핑거프린트 기법은 Wi-Fi AP로부터 신호세기를 측정하고, 신호세기지도와 비교하여 위치추정하기 때문에 참조구역이 많아질수록 측정하는 속도가 느리다는 단점을 가지고 있다. 즉, 참조구역의 간격이 좁아질수록 참조구역 수는 증가하게 되며, 더 많아지면 질수록 실시간처리에 한계가 발생한다. 그리고 핑거프린트 기반 알고리즘의 처리속도를 위해 알고리즘을 단순화 할 경우 위치추정의 정확도는 대부분 감소한다.

이러한 핑거프린트 알고리즘의 측정 속도의 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 핑거프린트 알고리즘을 단순화하면서, 위치추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 실내 위치추정 알고리즘을 되도록 설계하였다.

## IV. Difference Means 알고리즘을 이용한 실내 위치추정 시스템

본 논문에서는 Wi-Fi환경에서 핑거프린트 기반의 다양한 환경적 요소로 인한 위치추정 한계를 극복하고 측정위치에 따른 위치정확도를 높이기 위해 참조구역을 1m 간격으로 설정하고, 최소 (3개 Wi-Fi)의 AP로 위치추정 정확도 향상을 위해 듀얼주파수 Wi-Fi AP를 이용하여 Wi-Fi 정보 (SSID, RSSI)를 수집 한 후 신호지도 DB (Database)를 구축하였다. 특히 다양한 환경적 요소를 더욱 극대화 하여 결과를 확인하도록 장애물을 설치하였다. 그리고 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 위치정확도와 처리속도 향상을 위하여 신호지도 DB의 평균과 측정된 신호세기와의 차를 이용한 DMFPA를 제안하였다.

### 4.1 실내 위치추정 시스템 흐름도

DMFPA를 이용한 실내 위치추정 시스템은 그림 5와 같이 핑거프린트 학습 단계와 실내 위치추정 단계의 두 단계로 구성된다. 핑거프린트 학습 단계는 측정구역 설계, Wi-Fi AP배치 설계, Wi-Fi 정보측정, 신호지도 DB구축의 순서로 진행되며, 실내 위치추정 단계는 측정구역 이동, Wi-Fi 정보 측정, Difference Means 알고리즘 수행, 위치추정 서비스 순으로 진행된다.

### 4.2 핑거프린트 학습 단계

#### 4.2.1 측정 구역 및 AP 배치 설계

핑거프린트 학습 단계를 위해 측정 구역 및 AP 배

치는 그림 6과 같이 11m × 7m 내에서 1m 간격으로 77구역으로 설계하였으며, Wi-Fi AP 배치는 정확하고, 우 이동 파악을 위해 3개의 AP로 삼각형 형태로 설계하였다. 그리고 한정된 공간 안에서 복잡한 실내 구조를 만들기 위해 ● 구역에 장애물을 배치 설계하였다. 총 77구역은 참조구역 48구역, 장애물 28구역, Wi-Fi AP 1구역으로 구성된다.

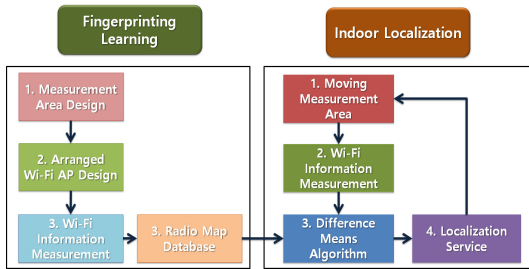


그림 5. DMFPA의 시스템의 흐름도  
Fig. 5. System flow of DMFPA.

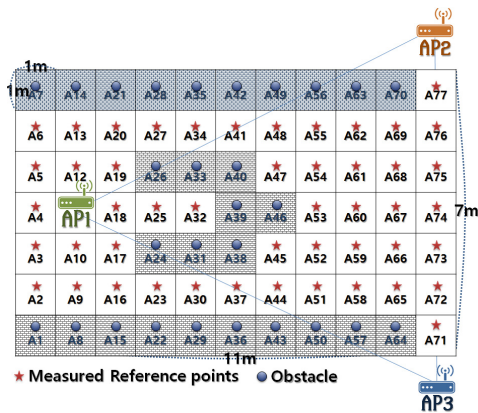


그림 6. 실내 위치추정 측정 구역 및 Wi-Fi AP 배치 설계  
Fig. 6. Design of the measurement area for indoor localization arrangement.

#### 4.2.2 Wi-Fi 정보 측정

신호지도 DB를 구축하기 위한 Wi-Fi 신호세기 측정 방법은 그림 7과 같으며 기존의 핑거프린트 구축 방법과 동일하다. 각 참조구역 위치마다 듀얼주파수 (AP1 ~3:2.4GHz, AP'1 ~3:5GHz)를 사용하여 Wi-Fi 정보 (SSID, RSSI)를 n번 측정하여 수집한다.

#### 4.2.3 신호지도 DB 구축

그림 7과 같이 수집된 n개의 Wi-Fi 정보 측정 내용을 기반으로 신호지도 DB를 그림 8과 같이 구축하였다. 신호지도 DB에 저장된 정보는 식 (3)을 사용하

여 각 참조구역에서 저장된 AP들의 데이터의 평균을 계산한다. i는 각 참조구역위치, j는 각각 참조구역에서의 AP, k는 해당 AP에서 측정된 RSSI 개수이다.

$$AVR_{ij} = \left( \sum_{k=1}^n RSSI_{ijk} \right) / n \quad (3)$$

RP (Reference Point)	AP	RSSI (Received Signal Strength Indication)					
		AP1	AP'1	AP2	AP'2	AP3	AP'3
A2	1	RSSI <sub>1,1}</sub>	RSSI <sub>1,1'</sub>	RSSI <sub>1,2}</sub>	RSSI <sub>1,2'</sub>	RSSI <sub>1,3}</sub>	RSSI <sub>1,3'</sub>
	2	RSSI <sub>2,1}</sub>	RSSI <sub>2,1'</sub>	RSSI <sub>2,2}</sub>	RSSI <sub>2,2'</sub>	RSSI <sub>2,3}</sub>	RSSI <sub>2,3'</sub>
A3	1	RSSI <sub>3,1}</sub>	RSSI <sub>3,1'</sub>	RSSI <sub>3,2}</sub>	RSSI <sub>3,2'</sub>	RSSI <sub>3,3}</sub>	RSSI <sub>3,3'</sub>
	2	RSSI <sub>4,1}</sub>	RSSI <sub>4,1'</sub>	RSSI <sub>4,2}</sub>	RSSI <sub>4,2'</sub>	RSSI <sub>4,3}</sub>	RSSI <sub>4,3'</sub>
A77	1	RSSI <sub>48,1}</sub>	RSSI <sub>48,1'</sub>	RSSI <sub>48,2}</sub>	RSSI <sub>48,2'</sub>	RSSI <sub>48,3}</sub>	RSSI <sub>48,3'</sub>
	2	RSSI <sub>48,1}</sub>	RSSI <sub>48,1'</sub>	RSSI <sub>48,2}</sub>	RSSI <sub>48,2'</sub>	RSSI <sub>48,3}</sub>	RSSI <sub>48,3'</sub>

그림 7. 신호지도 DB 구축을 위한 Wi-Fi 신호세기 측정 방법  
Fig. 7. Wi-Fi signal strength measurement scheme for the construction of radio map DB.

RP (Reference Point)	Average RSSI of SSID					
	AP <sub>1</sub>	AP' <sub>1</sub>	AP <sub>2</sub>	AP' <sub>2</sub>	AP <sub>3</sub>	AP' <sub>3</sub>
A2	AVR <sub>1,1}</sub>	AVR <sub>1,2}</sub>	AVR <sub>1,3}</sub>	AVR <sub>1,4}</sub>	AVR <sub>1,5}</sub>	AVR <sub>1,6}</sub>
A3	AVR <sub>2,1}</sub>	AVR <sub>2,2}</sub>	AVR <sub>2,3}</sub>	AVR <sub>2,4}</sub>	AVR <sub>2,5}</sub>	AVR <sub>2,6}</sub>
A4	AVR <sub>3,1}</sub>	AVR <sub>3,2}</sub>	AVR <sub>3,3}</sub>	AVR <sub>3,4}</sub>	AVR <sub>3,5}</sub>	AVR <sub>3,6}</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A77	AVR <sub>48,1}</sub>	AVR <sub>48,2}</sub>	AVR <sub>48,3}</sub>	AVR <sub>48,4}</sub>	AVR <sub>48,5}</sub>	AVR <sub>48,6}</sub>

그림 8. 신호지도 DB 구축  
Fig. 8. Building up of the radio map DB.

#### 4.3 실내 위치추정 단계

제한한 DMFPA는 그림 9와 같이 1~9의 매크로 코드에 의하여 동작하며, 알고리즘은 실시간 처리를 위해 단순하면서 최대한의 성능을 낼 수 있도록 설계하였다. 각 코드를 설명하면 다음과 같다.

```

1 procedure DifferenceMeansAlgorithm (RadioMapDB, MeasuredData MD)
2   DM_prev = ∞; DM_curr = 0; DM_RP = Null;
3   For i = 1; i ≤ rDB_length; i++ {
4     DM_curr = ∑_{j=1}^n |rDB_RSSI_AVR(i,j) - MD_RSSI(j)|
5     If (DM_prev > DM_curr) then
6       DM_prev = DM_curr
7       DM_RP = rDB_RP(i)
8   }
9   return DM_RP
    
```

그림 9. DMFPA 수행 과정  
Fig. 9. Procedures of DMFPA.

- 1번 줄 : 신호지도 DB (RadioMapDB)와 측정된 데이터 (MeasuredData)를 입력해서 알고리즘을 수행한다.
- 2번 줄 : 변수 초기화 단계이며, 이전 Difference Means 변수 (DM\_prev)를 무한대 (∞)로 초기화, 현재 Difference Means 변수 (DM\_curr)는 0으로 초기

화, 위치 추정된 Difference Means 참조구역 변수 ( $DiffMean_{RP}$ )는 Null로 각각 초기화한다.  $DM_{prev}$  변수를 무한대로 초기화하는 이유는 현재  $DM_{curr}$  과 비교하여 최소 Difference Means를 찾기 위함이다.

- 3번~8번 줄 : 참조구역 구역 수만큼 반복하여 알고리즘 수행한다.
- 4번 줄 : 4번 줄은  $DM_{curr}$  를 찾는 과정이다.  $rDB_{RSSI(i,j)}$  는 신호지도 DB에 있는 각 AP의 신호 세기 값이며,  $MD_{RSSI(j)}$  는 측정된 AP의 RSSI 값이다. 여기서  $n$ 은 Wi-Fi AP의 수이며,  $i$ 는 현재 참조구역이며,  $j$ 는 현재 Wi-Fi AP이다.
- 5번~7번 줄 :  $DM_{prev}$  가  $DM_{curr}$  보다 큰 조건을 이용하여 최소 Difference Means를 찾는다. 그리고 조건에 만족 할 경우  $DM_{curr}$  을  $DM_{prev}$  에 저장하며, 마지막으로  $DM_{RP}$  에 현재 위치추정 된 신호지도 DB에 참조구역 ( $rDB_{RP(i)}$ )의 값을 저장한다.
- 9번 줄 : 모든 Difference Means 알고리즘을 수행 후 위치추정 된  $DM_{RP}$ 를 반환으로 종료하게 된다.

### V. 실험 및 성능분석

#### 5.1 정보 측정 및 실험 환경

Wi-Fi 정보 측정 환경은 표 1에서 보는 바와 같이 Samsung Galaxy Note4 S-LTE (SM-n916)에서, Exynos 5433 Octa-Core 1.9GHz + 1.3GHz의 CPU, 3GB의 Memory, 그리고 Android Marshmallow 6.0 버전의 OS이며, Android API 21을 기반으로 개발하였다. 실험 및 성능분석은 Intel Dual-Core 3GHz의 CPU와 6GB의 Memory 성능을 가진 PC 환경에서 Windows 8.1 Professional x64 OS를 사용하여 실시하였으며, S/W 개발 환경은 .net C# framework 4.5이다.

표 1. 실험 및 측정 환경  
Table 1. Experiments and measurement environment.

	Measurement Environment of Wi-Fi Information	Experiment and Performance Analysis Environment
CPU	Exynos 5433 Octa-Core 1.9GHz, 1.3GHz	Intel (R) Core(TM)2 Duo 3.00GHz
Memory	3.00GB	6.00GB
OS	Android Marshmallow 6.0	Windows 8.1 Professional 64bit
API & Application	Android 5.0.1 (API 21)	.net C# Framework 4.5

#### 5.1.1 실내 Wi-Fi 정보 측정 환경

실내 Wi-Fi 정보 측정은 그림 10에서 보는 바와 같이 본 대학 제1정보통신관 중앙 출입구에서 실시되었다. 그리고 4장의 언급한 핑거프린트 학습 단계에서 측정 구역 및 AP 배치 설계 내용과 같이 3개의 듀얼 주파수 Wi-Fi AP 배치 및 핑거프린트 구축 환경을 1m 간격으로 77구역으로 나누고 장애물을 설치하였다. 그리고 장애물을 제외한 나머지 참조 구역에서 Wi-Fi 정보를 측정하였는데, 여기에서 수집된 Wi-Fi 샘플링 수는 총 2,500개이다.



그림 10. 실내 Wi-Fi 정보 측정 환경  
Fig. 10. Measurement environment for the indoor Wi-Fi information.

#### 5.1.2 실험 환경

제한한 DMFPA의 입력 파라미터 설정, 실험 및 성능분석을 쉽게 할 수 있도록 사용자 인터페이스 기능을 강화한 성능 실험용 시뮬레이터를 개발하여 사용하였다. 그림 11은 DMFPA 성능분석용 시뮬레이터의 실행 장면을 나타낸 것이다.

#### 5.1.3 성능분석 방법 및 항목

각 참조구역에서 Wi-Fi AP로부터 측정된 정보를

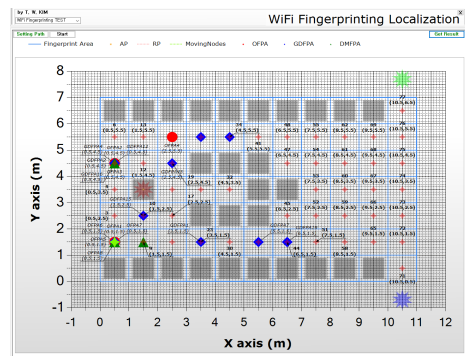


그림 11. 제한한 DMFPA의 성능분석용 시뮬레이터  
Fig. 11. Simulator for performance analysis of the proposed DMFPA.

기반으로 제안한 DMFPA의 성능을 일반적인 핑거프린트 알고리즘 (Original Fingerprint Algorithm, OFPA) 및 가우시안 분포 핑거프린트 알고리즘 (Gaussian Distribution Fingerprint Algorithm, GDFPA)과 성능비교 실험을 실시하였다. 주요 성능분석 항목은 각 참조구역에서의 1) 평균 위치추정 정확도; 2) 발생된 오차의 평균오차 누적거리와 최대오차 누적거리; 3) 평균 측정시간이다.

## 5.2 성능분석

### 5.2.1 평균 위치추정 정확도

각 참조구역의 평균 위치추정 정확도는 그림 12와 같다. 제안한 DMFPA는 OFPA의 94.81%, GDFPA의 85.09% 보다 높은 96.84%의 평균 위치추정 정확도를 가지며, 이는 OFPA 보다 2.03%, GDFPA 보다 11.75% 더 높은 수치이다. 그러나 제안한 DMFPA는 A61구역 78%, A66구역 86%, A67구역 66%, A72구역 88%에서 90%미만의 낮은 위치추정 정확도를 보였는데, 이는 장애물로 인해 AP1의 신호세기가 감쇄된 것으로 보인다.

OFPA는 그림 12에서 보는 바와 같이 A61구역 68%, A66구역 85%, A67구역 66%, A72구역 90%에서, 그리고 GDFPA는 A61구역 68%, A66구역 84%, A67구역 28%, A72구역 92%에서 제안한 DMFPA 보다 낮은 위치추정 정확도를 보였다.

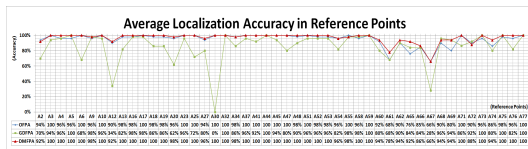


그림 12. 참조구역의 평균 위치추정 정확도  
Fig. 12. Average localization accuracy in RPs.

그러나 제안한 DMFPA는 A2, A72구역의 경우, OFPA, GDFPA 보다 낮은 위치추정 정확도를 보였는데, A2구역에서는 GDFPA 보다 높으나 OFPA 보다 2%낮은 위치추정의 정확도를 보였다. 또한 제안한 DMFPA는 A72구역에서는 OFPA보다 2%, GDFPA 보다 4% 더 낮은 위치추정의 정확도를 볼 수 있다.

### 5.2.2 평균오차 누적거리와 최대오차 누적거리

각 참조구역마다 발생된 오차의 평균오차 누적거리와 최대오차 누적거리는 그림 13 및 14와 같다. 제안한 DMFPA의 발생된 오차의 평균오차 누적거리는 그

림 13에서 보는 바와 같이 총 27.71m로 OFPA와 GDFPA 보다 각각 29.59m, 88.64m 더 짧다. 또한, 최대오차 누적거리는 그림 14에서 보는 바와 같이 총 33.66m로 OFPA와 GDFPA 보다 각각 39.39m, 137.25m 더 짧아졌음을 확인하였다. 그리고 제안한 DMFPA의 발생된 평균오차 누적거리는 1.54m이며, OFPA보다 0.37m, GDFPA보다 1.30m 더 짧은 거리이다. 발생된 최대오차 누적거리는 1.87m이며, OFPA보다 0.57m, GDFPA보다 2.30m 더 짧은 거리이다.

앞서 그림 12에서 제안한 DMFPA의 위치추정 정확도는 A2, A72구역에서 OFPA 및 GDFPA 보다 낮았지만, 그림 13과 14에서 보면 평균오차 누적거리와 최대오차 누적거리는 OFPA와 GDFPA보다 더 짧음을 알 수 있다. 제안한 DMFPA의 평균오차 누적거리는 A2구역에서 2.5m이며, 최대오차 누적거리는 3.0m이다. 이 수치는 GDFPA보다 1.61m, 3.0m, OFPA보다 0.91m, 1.47m 더 짧은 최대오차 누적거리이다. 제안한 DMFPA의 평균오차 누적거리는 A72구역에서 1.0m이며, 최대오차 누적거리도 1.0m이다. 이는 전체적으로 제안한 DMFPA의 오차 누적거리가 GDFPA 보다 각각 1.56m, 3.24m 더 낮으며, OFPA와는 동일한 오차 값이다. 이와 같은 결과는 제안한 DMFPA의 오차가 A2, A72 구역에서 다른 알고리즘에 비교하여 더 많이 발생 하였지만 오차가 발생하더라도 낮은 오차 값을 의미한다.

### 5.2.3 평균 측정시간

각 참조구역마다 평균 측정시간은 그림 15에서 보는 바와 같다. 제안한 DMFPA의 평균 측정시간은

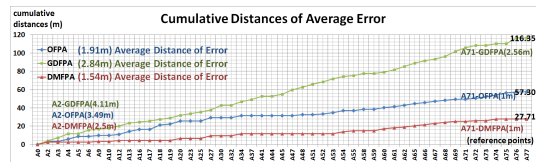


그림 13. 각 참조구역의 평균오차 누적거리  
Fig. 13. Cumulative distances of average error in each RP.

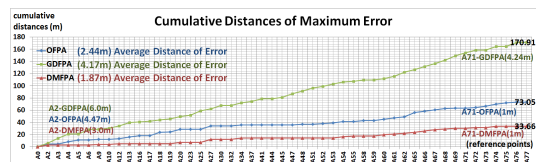


그림 14. 각 참조구역의 최대오차 누적거리  
Fig. 14. Cumulative distances of maximum error in each RP.

60.12ms로 OFPA와 GDFPA의 101.04ms, 118.64ms 보다 각각 40.92ms, 58.52ms 더 감소되었음을 확인하였다. 이는 최소 40.5%, 최대 49.32%의 높은 처리 속도 단축의 결과를 가져온 것이다. 제안한 DMFPA는 OFPA 및 GDFPA와 비교해서 최소 40%이상 더 짧은 측정시간 성능을 보였다. 이와 같은 결과는 핑거프린트 기반의 실내 위치추정 시스템 성능향상에 많은 도움을 줄 수 있다.

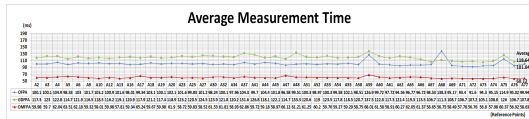


그림 15. 각 참조구역의 평균 측정시간  
Fig. 15. Average measurement time in each RP.

## VI. 결 론

본 논문에서는 이동 Wi-Fi 환경에서 DMFPA을 제안하고, 자체 개발 된 성능 시뮬레이터를 이용하여 OFPA 및 GDFPA와 성능비교를 실시하였다. 실험 및 성능분석을 위해 최소 Wi-Fi AP 3개로 실험영역을 1m 간격으로 77개의 구역으로 설정하고, 장애물을 설치하여 총 48개의 참조구역에서 듀얼주파수로 Wi-Fi 정보를 총 2,500번 측정하였다. 성능분석 항목은 평균 실내 위치추정 정확도, 발생된 오차의 평균오차 누적 거리와 최대오차 누적거리 그리고 평균측정시간이다.

제안한 DMFPA는 OFPA와 GDFPA에 비해 평균 실내 위치추정 정확도, 발생된 오차의 평균오차 누적 거리와 최대오차 누적거리에서 더 높은 성능을 보였다. 그리고 평균측정시간에서도 OFPA와 GDFPA 보다 최소 40%이상 더 짧은 측정시간 성능을 보였다.

향후에는 제안한 DMFPA를 이용하여 실시간 실내 이동 환경에서 실험 및 성능분석을 할 예정이며, 더 향상된 위치추정 정확도와 짧은 측정시간을 가진 알고리즘을 제시 할 예정이다.

## References

[1] M. Weiser, "The Computer for the 21th Century," *Scientific American*, pp. 94-104, Sep. 1991.  
[2] S. W. Lee and S. W. Kim, "A trend and vision for the indoor positioning technology," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 32, no. 2,

pp. 81-88, Jan. 2015.  
[3] H. Y. Kim, et al., "Localization and tracking technologies in near fields," *Weekly Technol. Trends*, IITA, pp. 1-13, 2007.  
[4] H. Y. Kim, *Internet of Things - Concept, Implementation Technologies and Business*, Hongrung Publishing Company, 2014.  
[5] M. I. Ji, et al., "Development trends of the indoor localization technology based on Wi-Fi," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 28, no. 7, pp. 52-58, Jun. 2011.  
[6] Y. Kim, H. Shin, and H. Cha, "Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variation problem," *Pervasive Mob. Comput.*, vol. 9, no. 3, pp. 406-420, Jun. 2013.  
[7] C. Laoudias, R. Pich, and C. G. Panayiotou, "Device self-calibration in location systems using signal strength histograms," *Location Based Serv.*, vol. 7, no. 3, pp. 165-181, Aug. 2013.  
[8] E. E. L. Lau, B. G. Lee, S. C. Lee, and W. Y. Chung, "Enhanced RSSI-Based high accuracy real-time user location tracking system for indoor and outdoor environments," *Smart Sens. and Intell. Syst.*, vol. 1, no. 2, Jun. 2008.  
[9] S. Son, Y. Park, B. Kim, and Y. B., "Wi-Fi fingerprint location estimation system based on reliability," *J. KICS*, vol. 38, no. 6, pp. 531-539, Jun. 2013.  
[10] I. Ha, Z. Zhang, H. Park, and C. Kim, "Analysis of Wi-Fi signal characteristics for indoor positioning measurement," *J. KIICE*, vol. 16, no. 10, pp. 2177-2184, Oct. 2012.  
[11] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of indoor positioning system based on location fingerprinting," in *Proc. IEEE. INFOCOM 2004*, vol. 2, pp. 1012-1022, Mar. 2004.  
[12] T. Lin and P. Lin, "Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks," in *Proc. IEEE Wireless Netw., Commun. and Mob. Comput. 2005*, vol. 2, pp. 1569-1574,



Jun. 2005.

- [13] A. Hatami and K. Pahlavan, "Comparative statistical analysis of indoor positioning using empirical data and indoor radio channel models," in *Proc. IEEE CCNC 2006*, vol. 2, pp. 1018-1022, Jan. 2006.
- [14] I. H. Jeoung, C. M. Kim, Y. S. Choi, S. B. Kim, and Y. Lee, "A study of establishment on radiomap that utilizes the mobile device indoor positioning DB based on Wi-Fi," *J. KOGSIS*, vol. 22, no. 3, pp. 57-69, Sep. 2014.
- [15] H. K. Oh and I. C. Kim, "WiFi location estimation in indoor environments using gaussian processes," *J. KIISE: Comput. Practices and Lett.*, vol. 17, no. 10, pp. 564-568, Oct. 2011.
- [16] *Normal Distribution*, Retrieved Jul. 15, 2015, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Normal\\_distribution](https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution)

**김 태 완 (Tae-Wan Kim)**



2012년 2월 : 동명대학교 컴퓨터공학과 (학사)  
2014년 2월 : 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 (석사)  
2014년 3월~현재 : 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 (박사과정)

<관심분야> 센서네트워크, 통신, 임베디드, 위치추정 시스템, 영상처리

**이 동 명 (Dong Myung Lee)**



1982년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 (학사)  
1990년 8월 : 숭실대학교 전산공학과 (석사)  
1997년 8월 : 숭실대학교 전자계산학과 (박사)  
1982년 3월~2000년 2월 : 한국전자통신연구원 책임연구원

2000년 3월~현재 : 동명대학교 컴퓨터공학과 교수  
<관심분야> 이동통신시스템, 센서네트워크, 위치추정 시스템