

# 에너지 효율을 고려한 BLE 핑거프린팅 기반의 정밀 실내 측위 알고리즘

이도희\*, 이재호°

## Precise Indoor Positioning Algorithm for Energy Efficiency Based on BLE Fingerprinting

Dohee Lee\*, Jaeho Lee°

### 요 약

최근 스마트 기기의 보급 및 활용 증가로 인한 실내 위치 인식 시스템 수요가 급증함에 따라, Wi-Fi 및 BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘을 이용한 실내 측위 시스템이 각광받고 있다. 본 논문은 BLE 비콘 기반에 중점을 두고 RSSI 신호를 이용하여 거시적인 삼변 측량 기법을 이용하여 산출한다. 그 결과 값을 근사치 위치에만 Fingerprinting을 적용하여 위치 측위 기본 연산량을 줄임과 동시에 에너지 효율을 증대시킨다. 또한 선정된 Fingerprinting Cell 주위의 AP(Access Point)만을 이용하여 사용자의 단말 위치의 정밀성을 보장하는 정밀 삼변 측량 연산을 수행하여 에너지 효율을 고려한 BLE 핑거프린팅 기반의 정밀 실내 측위 알고리즘을 제안한다. 또한 비교 기술로 실내 측위 시장 내 많이 이용 되는 BLE 및 Wi-Fi 환경 내의 핑거프린팅 기술을 본 논문에 제안한 알고리즘 방식을 기반으로 비교하여 실험 및 결과를 검증하였다.

**Key Words** : Indoor Positioning, BLE, Fingerprinting, Trilateration, Localization

### ABSTRACT

As Indoor Positioning System demands due to increased penetration and utilization of smart device, Indoor Positioning System using Wi-Fi or BLE(Bluetooth Low Energy) beacon takes center stage. In this paper, a terminal location of the user is calculated through Microscopic Trilateration using RSSI based on BLE. In the next step, a fingerprinting map applying approximate value of Microscopic Trilateration increases an efficiency of computation amount and energy for Indoor Positioning System. I suggest Indoor Positioning Algorithm based on BLE fingerprinting considering efficiency of energy by conducting precise Trilateration that assure user's terminal position by using AP(Access Point) surrounding targeted fingerprinting cells. And This paper shows experiment and result based on An Suggesting Algorithm in comparison with a fingerprinting based on BLE and Wi-Fi that be used for Indoor Positioning System.

### I. 서 론

스마트 기기의 급증으로 인해 ICT(information and Communication Technology)기술의 발전됨에 따라

LBS(Location Based Service)에 대한 수요가 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 요구로 인해 스마트 기기를 이용하여 사용자의 위치를 측정하기 위해 GPS(Global Positioning System)는 다양한 용도로

\* First Author : Seowon University, Depr. of Information & Communications Engineering, sprtmjfel@daum.net, 학생회원

° Corresponding Author : Seowon University, Depr. of Information & Communications Engineering, izeho@seowon.ac.kr, 정회원  
 논문번호 : KICS2016-07-150, Received July 13, 2016; Revised August 30, 2016; Accepted September 7, 2016

활용되었다. 하지만 최근에 들어 실내 위치 인식 기술인 IPS(Indoor Positioning System)의 수요 또한 증가하는 추세로 GPS를 이용하여 실내를 측정하기에는 한계점을 드러냈다<sup>1)</sup>.

이로 인해 실내 위치 측위를 위한 기술에 관한 연구 및 많은 제안들이 이루어졌는데, 측위 목적으로 널리 활용되는 기술인 UWB는 임펄스를 이용하기 때문에 많은 대역폭을 차지하게 되므로 기존에 사용하고 있는 다른 무선 통신시스템에 장애를 일으킬 수 있다<sup>2)</sup>. 그리고 Bluetooth는 실내 측위를 위해 설치 및 유지 면에서 경제성은 우수하나 통신 거리가 짧다는 단점으로 인해 측위 정밀성을 보장하지 못한다<sup>3)</sup>.

이러한 문제점으로 대체된 적용 기술인 Wi-Fi와 BLE(Blue Tooth Low Energy)가 IPS 분야에 적용하기 위해 Fingerprinting 및 Trilateration 측위 기술로서 많이 이용되고 있다. 그렇지만 Wi-Fi 또한 실내 위치 측위 목적으로 적용한다는 점에 있어서 여러 다른 기기와의 연동으로 인한 신호 간섭, 보수 및 유지 용이성에 있어서 실내 위치 측위 관점에서 정밀성 및 효율성 기반의 사용자의 위치를 측위하기 위해 많은 경제 비용과 노동력이 요구가 된다<sup>4)</sup>.

이와 다르게 BLE는 저 전력을 기반으로 신호 세기를 측정할 수 있다는 점에서 Wi-Fi에 비해 측위 목적을 위해 설치 및 보수 용이성이 우수하며, 일정 소규모의 범위 내에 보다 정밀하게 측위할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 BLE 비콘의 프로토콜은 측위 목적으로 제작된 것이 아니기 때문에 측위를 하기 위한 AP 기기의 증가와 더불어 짧은 송신 신호 주기로 인하여 신호 간 충돌이 잦아질 수 있다는 문제점을 가지고 있기 때문에 적절한 송신 신호 주기 설정 및 측위를 위한 AP 기기의 개수 선정이 필요하다<sup>5)</sup>. 또한 Fingerprinting 관점에서 BLE는 Wi-Fi에 비해 RSSI의 수신 세기가 상대적으로 약하기 때문에 각 Cell의 범위 구간을 작은 범위로 한정시켜야 된다. BLE는 10m 이내에 고유의 정형적인 페이딩으로 인해 핑거프린팅 기법을 이용하기 유리하므로 핑거프린팅 측위를 하기 위해서는 큰 규모의 동일 구간에서 Wi-Fi보다 많은 BLE Beacon을 설치해야 되며, 각 Cell은 사용자의 위치를 측위하기 위해 각 BLE Beacon으로부터 많은 연산량의 요구로 인해 효율성이 감소된다는 우려가 있다.

BLE의 우수성에도 불구하고 이러한 한계점들로 인해 이를 극복하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 이러한 문제점을 극복하기 위해 에너지 효율 기반의 정밀 측위 알고리즘인 Precise BLE

Fingerprinting Algorithm을 제안한다. 위와 같이 제안한 연산 처리 효율 기반의 정밀 측위 알고리즘은 Macroscopic Trilateration, Fingerprinting Mapping, Precise Trilateration과 같이 크게 3단계로 설계된다.

Macroscopic Trilateration 기법은 기존에 구축된 BLE 기반의 Fingerprinting Map 내에서 끝단 BLE Beacon의 AP를 이용하여 사용자의 위치를 측위 한다. 하지만 광범위 기준의 측위로 인하여 사용자 위치를 주위로 일정 오차 범위가 생기게 된다는 문제점이 있다. 그러나 이후에 수행되는 단계인 Fingerprinting Mapping 기법은 Fingerprinting Map 내의 전체 Cell들 중에서 전 단계의 측위 값과 오차 범위 값을 포함한 결과 값을 Fingerprinting Map과 매칭을 시킨 후 해당 오차 범위를 포함한 Cell만 지목하여 사용자의 위치 측위를 위해 Fingerprinting 전체 Map을 탐색하는 것이 아닌 매칭 이후 선정된 Cell만을 이용하여 BLE 기반의 Fingerprinting 방식에 있어 에너지 효율성에 관한 한계점을 보완 시켜 준다.

마지막으로 Precise Trilateration 단계는 전 단계에서 선정된 Cell 주위의 Beacon을 이용하여 작은 범위 내에 첫 번째 단계와 같이 Trilateration 기법을 이용하여 사용자의 위치를 보다 신뢰성 있게 측위한다. 전 단계인 Fingerprinting Mapping 단계는 해당 Cell 내에서는 사용자의 위치를 측위하기에는 한계점이 있다. 그러나 Precise Trilateration 기법은 측위 기술면에서 BLE는 작은 범위 내에서는 Wi-Fi보다 우수하다는 장점을 이용하여 해당 범위 내에 삼변 측량을 수행하여 정밀성을 보장한다.

본 논문은 기존 BLE 기반의 Fingerprinting 기법을 Wi-Fi 기반의 측위 기술과 비교하여 위와 같이 정밀성 및 효율성을 보장하는 알고리즘을 제안하였다. 2장에서는 본 제안과 연관된 기존 연구를 소개하고, 3장에서는 제안하는 기법의 상세 설계사항을 기술한다. 또한 본 제안 방식의 BLE 기반의 에너지 효율 및 정밀성에 대한 성능을 Wi-Fi와 비교하여 4장에서 분석하였다. 마지막으로 본 5장은 본 논문의 결과 및 향후 계획에 대해 서술하였다.

## II. 연구 배경

일반적으로 실내 위치 측위 기술 분야에 있어 이전까지 많이 이용되었던 GPS에 한계가 나타나게 되어 UWB, Wi-Fi, BLE 등의 기술을 이용한 CELL\_ID, 삼변 측량 및 핑거프린팅 등의 많은 측위 기술들의 연구가 진행되어 왔다<sup>6)</sup>. 최근에는 Wi-Fi, BLE를 이용

한 Fingerprinting 방식과 Trilateration 기법을 활용한 실내 측위 기술이 주목받고 있으며, 위와 같은 측위 기술을 이용한 정밀성 및 효율성에 대한 연구 및 개발이 이루어지고 있다.

기존의 GPS를 이용한 측위 방식은 실내 측위의 문제점을 가지고 있기 때문에 [7]의 저자는 GPS 측위 기술을 대체하여 국내 시장에 가장 많이 이용하는 AP의 단말인 3개 이상의 Wi-Fi를 이용하여 사용자의 단말과 각 Wi-Fi의 AP사이의 RSSI 값을 이용한 삼변 측량 기법을 어플리케이션 상의 출력 화면 내 UI를 설계 및 구현하였다. 측위를 위해 해당 실험 환경의 전파 환경을 Path Loss 식에 실제 RSSI값을 대입하여 Path Loss Exponent를 출력하고 각 AP와 사용자의 단말 사이의 RSSI 값을 Friis의 식과 응용하여 실제 거리를 나타내며, 사용자의 실제 위치와 삼변 측량으로 인한 측위 결과 값을 비교 및 분석하였다.

삼변 측량 기법은 3개 이상의 각 AP(Access Point) 노드와 사용자의 단말기 간의 RSSI(Received signal strength indicator) 세기를 측정하여 사용자의 위치를 추측하는 기술이다. 삼변 측량은 현재 실내 측위 기술에서 소수의 AP만으로도 사용자의 위치를 측위 할 수 있고 설치 및 보수가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

하지만 소수개의 AP를 이용하여 측위하는 삼변 측량은 무선 통신 환경에서 거리가 멀어질수록 전파는 간섭 및 페이딩이 생기게 되어 RSSI 측정 값은 손실된 값을 가져오게 된다. 또한 RSSI 측정 값은 여러 전파 환경 모델에 따라 결과 값이 다르게 측정된다. 즉 삼변 측량 기법은 측위 면에서 AP와 사용자 단말기에 의존도가 높으며, 거리가 멀어지거나 전파 환경에 따라 측위 오차 범위가 다양하게 나타내는 단점이 있다<sup>[8]</sup>. 예를 들어, 기존의 삼변 측량으로 인한 연산은 각 AP마다 수신되는 RSSI의 크기가 무선 환경 상의 방해 요소로 인해 감소되어 각 사용자의 단말 위치와 3개 이상의 AP는 교차점을 이루지 못할 수 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 iRingLA 방식을 이용한 삼변 측량 방식은 기존에 측위된 RSSI 값과 오차 범위를 포함하여 Circle 형태가 아닌 Ring 형태의 삼변 측량을 수행하는 방식이다<sup>[8]</sup>.

[9]의 저자는 Wi-Fi 기반 실내 핑거프린팅의 정밀 측위를 목표로 측위 어플리케이션을 데이터베이스 구축용과 위치 추적용으로 나누어 개발하였으며, 크게 데이터베이스 구축 어플리케이션을 신호측정모듈과 데이터베이스 서버로 나누었고 또한 위치추적 어플리케이션은 신호측정모듈, 알고리즘, 출력화면으로 구성시키며 DB에 저장된 AP의 신호세기와 현재 자신위

치의 AP의 신호세기를 알고리즘에 대입하여 자신의 위치를 좌표 값과 좌표 평면 상으로 출력하는 것에 중점으로 연구에 두었다. 또한 평균제곱오차(MSE)기법을 이용하여 사용자 단말의 실제 위치와 어플리케이션 화면 상에 표시되는 사용자의 단말 위치를 비교 및 분석하였다.

[10]의 저자는 기존에 연회장 및 대형 마트 등 넓은 규모의 공간 내 BLE기반의 핑거프린팅 측위 실험이 수행되었지만, 학교 교실이나 강의실 같은 좁은 규모 내 BLE를 이용한 실내 측위 연구가 시행된 바가 없어 작은 규모 내 실내 측위 오차 분석을 위해 BLE 기반의 핑거프린팅과 Centroid 방식을 사용자의 단말이 정지 시와 이동 시의 측위 결과를 비교 및 분석에 관한 연구 수행하였으며, 또한 해당 참조 위치마다 평균 오차 범위를 실험하였다.

[11]의 저자는 Bluetooth Beacon을 이용하여 선박 내에 있는 탑승객 및 선원의 위치를 탐색 및 추적할 수 있는 시스템을 제안하였으며, AP에서는 탑승객들에게 제공되는 Tag를 제공하며, 이를 이용하여 위치를 추적할 수 있으며, 각 탑승객들의 Tag는 고유의 Mac Address를 이용한다. 이는 선박 침몰과 같은 사고가 발생시, 구조대가 신속히 승객들을 구조할 수 있다고 나타내었다.

[12]의 저자는 핑거프린팅 방식과 삼변 측량 기법을 융합하여 사용자의 단말 위치를 측위하는 방식을 이용하였으며 우선적으로 핑거프린팅으로 사용자의 위치를 간략히 추정한 후 해당 참조 위치를 중심으로 가장 근접해있는 3개 이상의 AP를 탐색한 후 최종적으로 이를 이용하여 삼변 측량을 수행한 측위 방법을 나타내었다.

### III. 연구 동기

본 논문에서는 IPS 시장에서 가장 많이 이용되는 Wi-Fi와 BLE에 관한 실내 위치 인식에 대한 연구 배경을 조사하였다. 논문에서 제안된 알고리즘 기법은 BLE 기반의 Fingerprinting 기법을 응용하여 나타내었는데, BLE는 Wi-Fi에 비해 RSSI 수신 값이 상대적으로 저조하기 때문에 무선 환경 내에서 측위하기에 문제점을 가지고 있었다. 하지만 기존의 Wi-Fi와 달리 저 전력 기반인 하나의 비콘으로 평균 6개월 동안 운용 및 유지가 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 근거리 내에서의 측위 기술도 우수한 것으로 알려져 있다. 아래의 그림은 3.5m 내에 거리에 따른 Wi-Fi와 BLE의 RSSI 측정 값을 보여주고 있다.

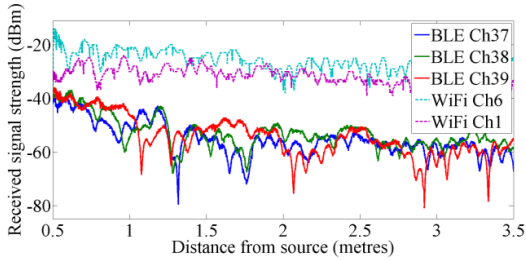


Fig. 1. RSSI Comparison Results between Wi-Fi and BLE within 3.5m<sup>[13]</sup>

위의 그림과 같이 BLE의 거리에 따른 RSSI 값은 Wi-Fi에 비해 Fading 현상에 나타나 오차가 많은 것처럼 보인다. 하지만 BLE의 RSSI 값은 그림 1과 같이 일정 거리 내 거리에 따른 정형적인 페이딩 값을 가지고 있기 때문에 측위 목적으로는 불리한 점으로 보이나, 핑거프린팅 관점에서는 Cell 간 변화율에 신뢰성을 줄 수 있어 핑거프린팅 기법 면에서는 안정적이며, 간략하게 해당 참조 위치와 매칭을 수행하기가 수월하다. 반면 Wi-Fi는 RSSI 측정값이 높지만 인접 채널과 Bandwidth가 Overlap되기 때문에 불규칙적 Fading을 갖게 되어 BLE 보다 근거리 내에 해당 참조 위치에 대한 인식에 어려움을 갖는다. 또한 Wi-Fi는 구현 관점에서는 주기적인 Re-Surveying 절차가 반드시 필요하여 많은 전력이 소모한다는 단점이 존재한다. [13]의 저자는 저자 위의 설명과 같이 BLE는 Wi-Fi에 비해 10m 이내의 실내 측위 정밀성이 우수하다고 나타내었다.

이와 같이 BLE기반의 기술은 핑거프린팅 내 참조 위치의 인식 우수성을 지니고 있어 본 논문은 최대 3m 마다 BLE 기반의 비콘을 구축하여 핑거프린팅 기반의 정밀 측위 시스템을 제안한다.

또한 일반적으로 핑거프린팅 측위 기법은 실내 기반의 해당 측위 구역을 일정 크기의 각 Cell들로 나누어 구별하여 해당 Cell의 참조 위치마다 고유의 RSSI 값을 사전에 미리 구축한 핑거프린팅 DB 내 참조 위치의 고유 RSSI 값과 매칭시켜 사용자의 위치 측위를 수행하는 기법이다. 핑거프린팅 기법은 사전에 핑거프린팅 측위 목적으로 구축된 AP와 핑거프린팅 DB만 있으면 사용자의 단말 위치를 쉽게 추측할 수 있다. 또한 단말 위치를 하나의 Cell 내에 위치시킬 수 있어 거리에 따른 무선 환경 변수에 의존적인 삼변 측량에 비해 정밀성이 보장된다. 이와 같은 이유로 현재 실내 위치 측위 시장에서 각광받고 있는 기술이다. 하지만 측위 구역이 커질수록 그에 맞는 Cell을 구축하기 위해서 많은 AP들이 요구되며, 정밀 측위를 위해서

Cell의 간격을 좁혀야 되며, 결국 핑거프린팅 DB 내 더 많은 해당 참조 위치와 그에 따른 각 AP의 RSSI 값을 추가적으로 저장해야 된다는 단점을 가지도 있어 경제적으로 설치, 유지 및 보수성이 용이하지 못하며, 규모에 따른 핑거프린팅 Map의 구축에 관한 많은 노동력이 요구된다. 또한 AP가 많아지면 핑거프린팅 기법은 사용자의 위치의 RSSI 값을 각 Cell 내의 RSSI 값과 비교해야 되기 때문에 많은 연산 과정을 수행해야 된다.

또한 동일 목적으로 이용되는 기술인 Wi-Fi는 현재 한국 시장 내에 전국적으로 대중화 되어 있어 이용성이 용이하며, 수신 세기가 강해 다른 기술보다 활용 면에서 우수하다는 평가를 받고 있다. 최근에 많은 측위 기술들 중에 Wi-Fi기반의 Fingerprinting 실내 측위 기술이 가장 널리 활용 되고 있다.

하지만 Wi-Fi 기반의 Fingerprinting 측위 기술을 활용하기 위해서는 많은 Wi-Fi AP가 필요하며, 그에 따른 설치 유지 및 보수를 위한 비용이 증가하게 된다는 단점을 지니고 있다. 또한 Wi-Fi 기술은 실내 기반의 정밀 측위를 위해 지속적인 Re-surveying이 요구되며, 인근의 Wearable 기기 같은 무선 환경 간섭으로 인해 실내 위치 측위에 문제점을 갖고 있다. 이에 비해 BLE는 기존의 Bluetooth와 다르게 저 전력 기반의 기술이며, Wi-Fi에 비해 보조 장치 없이 비콘만을 이용하여 설치 및 보수성이 경제적으로 용이하게 때문에 근래에 들어 BLE를 이용한 실내 측위 기술에 관한 연구 및 구현이 각광받고 있다.

따라서 본 논문은 BLE의 근거리 내 측위 정밀성과 설치 및 유지에 관한 우수한 경제성을 이용하여 핑거프린팅 기법 내의 Cell 간 연산 효율성과 정밀성을 고려를 위한 측위 목적으로 기존에 이용되는 삼변 측량과 핑거프린팅 측위 기술을 융합한 정밀 측위 알고리즘을 제안하며, 제안한 알고리즘을 기반으로 Wi-Fi 환경과 BLE 환경의 측위 기술을 비교 분석 하였다.

#### IV. 제안하는 에너지 효율 기반의 위치 측위 알고리즘 방식

##### 4.1 BLE 기반 고효율 정밀 위치 측위 알고리즘

일반적으로 BLE는 Wi-Fi기반의 측위 기술에 비해 근거리 내에서의 측위 기술은 정밀성이 보장 된다. 하지만 BLE 기반의 측위 기술은 같은 크기 규모의 Wi-Fi 기반의 측위 기술과 비교하여 동일한 측위 정밀성을 보장받기 위해서는 Fingerprinting 기법 관점에서 Wi-Fi보다 Cell의 간격을 밀접하게 구축해야 된

다. 그래서 작은 규모의 공간 내에서는 BLE 비콘을 이용하여 Fingerprinting Map을 구축하는데 문제점은 없으나, 넓은 공간에서는 정밀 측위를 위해 Wi-Fi에 비해 많은 Cell을 구축해야 될 뿐만 아니라 실내에서의 사용자의 단말 위치를 분석하기 위해 많은 양의 Cell을 분석 및 처리해야 된다. 또한 BLE 기반의 실내 측위를 위한 환경은 공간의 확장에 따른 AP의 요구도 Wi-Fi 보다 많아지는 Trade-off 현상이 나타난다. 본 논문에서는 정밀성을 위해 BLE 중심의 기술을 제안하였으나 위와 같이 연산 문제로 인한 효율성 저하를 고려하여 다음과 같이 3단계로 구성된 BLE 기반의 효율성을 고려한 정밀 측위 알고리즘을 제안한다. 아래의 그림은 제안되는 측위 알고리즘 구성도를 나타내었다.

위와 같이 구성된 알고리즘은 첫 번째로 3개 이상의 인근 BLE Beacon을 이용하여 삼변 측량을 수행하는 Microscopic Trilateration 기법을 수행한다. BLE 기반의 넓은 범위의 측위 기술이므로 오차 범위가 Wi-Fi에 비해 크게 존재하게 되지만 수행 결과로 나타내게 된 오차 범위의 최대 크기를 이용하여 기존에 구축된 BLE 기반의 Fingerprinting Map과 오차 범위를 포함한 측정 값을 매칭하여 전체 Fingerprinting Map에 대한 오차 범위만 포함된 Cell 만을 지목하여 사용자의 단말 위치를 측위 하기 위해 이용 되는 Fingerprinting 내 위치 참조의 경우의 수의 감소와 동시에 Fingerprinting 측위 연산 처리량을 감소시킨다. 또한 본 논문의 알고리즘은 Fingerprinting 기술을 채택하였으나 Fingerprinting 만으로 정밀 측위를 하기 위해서 Cell의 간격을 좁힘과 동시에 데이터 베이스 내에 많은 위치 참조의 정보를 저장하여야 된다. 이와 같은 이유로 마지막으로 비교적 Cell의 간격이 넓은 Fingerprinting 기법을 수행한 이후 해당 참조 위치 내에 정밀 측위를 위해 선택된 Cell 주위의 BLE Beacon의 AP 만을 이용하여 해당 Cell 내의 사용자의 단말 위치를 정밀성을 보장한 측위 기법인 Precise Trilateration을 수행하여 정밀성을 향상시킨다. 이와

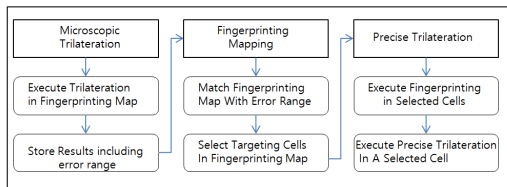


Fig. 2. Procedure of Proposed Precise IPS

같은 방법은 BLE를 이용하여 효율적인 장거리 측위가 가능하다는 점에 우수한 성능을 가지지만, 측위를 위해 여러 단계를 거쳐야하기 때문에 기존의 다른 기술보다 많은 시간을 소비하게 된다는 단점을 가지고 있다.

#### 4.2 Microscopic Trilateration

Microscopic Trilateration 기법은 정사각형의 형태를 가진 Fingerprinting map 내에 각 모서리 끝의 4개의 Beacon의 AP을 이용하여 삼변 측량을 수행하여 사용자의 단말 위치 측위를 수행한다. 하지만 Wi-Fi에 비해 정밀성은 넓은 범위의 구역을 측위를 수행한다는 관점에서 BLE를 이용한 삼변측량 기법은 정밀성이 현저히 떨어진다. 그러나 앞에 언급한 바와 같이 단순히 Fingerprinting을 이용하기에는 Fingerprinting Cell 내의 각 위치 참조와 비교를 해야 된다는 점에서 에너지 효율성이 떨어진다는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 BLE 환경에서의 Fingerprinting 문제점을 고려하여 사전에 Microscopic Trilateration 단계를 수행하여 사용자의 단말 위치를 측위할 참조 위치 범위를 줄이므로 효율성 기반의 Fingerprinting Mapping 기법의 수행을 위한 보완 단계로 나타 낼 수 있다. 아래의 그림은 BLE 기반의 Microscopic Trilateration 기법을 수행하는 모습을 도식화를 나타내고 있다.

또한 삼변 측량을 수행하기 위한 식은 아래와 같이 사용자 단말과 측위를 위한 각 노드 간의 거리를 이용하여 측위 한다. 본 논문에서는 4개의 노드를 이용한 사변 측량을 채택한다.  $D_n$ 은 사용자 단말과 해당 AP 간의 거리를 나타내고,  $n$ 은 삼변 측량을 위한 AP의 수를 나타낸다. 또한  $(x,y)$ 는 사용자 단말의 위치를 나타내며,  $(x_n,y_n)$ 은 각 AP의 좌표를 나타낸다.

$$D_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \quad (1)$$

$$n = \{1, 2, 3, 4\}$$

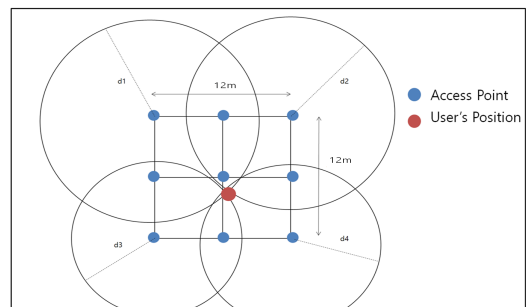


Fig. 3. Microscopic Trilateration Illustration

위의 식과 같이 사용자의 단말 위치를 정확하게 측위하기 위해 본 논문에서는 4개의 BLE Beacon을 이용하여 삼변 측량의 수행을 나타내었지만, 무선 환경 내에 여러 방해 요소로 인해 위의 그림과 같이 사용자의 단말은 정확한 RSSI의 측위 값 수신에 이루어지지 않으며, 이에 따라 사용자의 단말은 정밀 위치 보장을 받지 못한다. 무선 환경이라는 점과 더불어 BLE 환경에서는 Wi-Fi에 비해 거시적인 측위 환경에서는 상대적으로 낮은 RSSI 수신 세기로 인해 측위 정밀성이 현저히 떨어지게 되어 높은 오차율이 존재하게 된다. 하지만 앞서 언급한 바와 같이 다음의 제안된 알고리즘 내 Microscopic Trilateration 연산 결과로 인한 오차 값은 향후 BLE 기반의 Fingerprinting 기법을 효율성 및 정밀성 기반의 측위를 수행하기 위한 단계에 중점을 둔다. 아래의 그림은 Microscopic Trilateration을 수행함에 따라 포함되는 최대 오차 범위를 나타내었다.

또한 최대 오차 범위의 크기( $O$ )는 사용자의 단말 위치  $A(x, y)$ 와 최대 오차가 나타나는 위치  $A(x_0, y_0)$  간의 거리를 계산하여 원주율 식(2)을 이용한다.

$$O = (\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2})^2 \pi \quad (2)$$

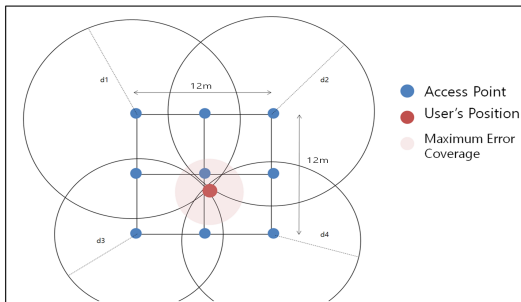


Fig. 4. Error Range of Microscopic Trilateration in Wide-Deployed BLE

### 4.3 BLE Fingerprinting Mapping

BLE기반의 Fingerprinting Mapping은 이전 단계에서 거시적인 관점에서의 오차범위를 포함한 삼변 측량의 결과 값을 기준에 사용자의 단말을 측위하기 위해 미리 구축하였던 Fingerprinting Map과 매칭을 수행하고 해당 Cell들을 선정하는 단계이다. 이 단계에서는 BLE 기반의 Fingerprinting 기법은 실내 측위 관점에서 정밀성을 보장하기 위해 Wi-Fi 기반에 비해 각 Cell을 밀접하게 설치하고, 사용자의 단말 위치를 측위하기 위해 많은 양의 Cell들을 하나씩 계산하고

처리해야 된다는 연산 처리 효율성의 단점을 극복하기 위해 제안된 단계이며, 매칭 이후의 결과 값은 전 단계의 오차 범위를 포함한 Cell들만을 지목하게 되기 때문에 전체 구축된 Cell의 개수 대비 지목된 Cell의 개수만을 대상으로 측위 연산을 수행하게 되어 연산 효율성을 개선시킨다.

아래의 그림은 전 단계의 오차 범위를 포함한 Cell들을 선정하여 연산 효율성을 개선점을 증대시키는 BLE Fingerprinting Mapping 기법 수행한 후 핑거프린팅 Map 내 선정된 Cell들을 나타내었다.

이전 연산 단계에서 산출된 지정 위치를 포함한 오차 값의 넓이는 다음의 식과 같이 매핑되어 선정된 Cell들의 개수[S]를 나타낸다.

위의 알고리즘과 같이 Microscopic Trilateration 단계에서 연산된 최대 오차 범위의 크기( $O$ )를 이용하여  $3m \times 3m$  크기의 핑거프린팅 Cell 개수의 총 넓이보다 작을 때 까지 만족하는 반복 연산을 수행 후 이를 만족하면 그림7과 같이 Targeted Cell Coverage를 확보한다. 이후 선정된 Cell Coverage를 바탕으로 전체  $12m \times 12m$  규모 내의 모든 참조 위치가 아닌 선정된 Coverage 내의 참조 위치만 이용한 Fingerprinting 기법을 수행 한다. 아래의 그림은 Fingerprinting Mapping 이후 Targeted Cell

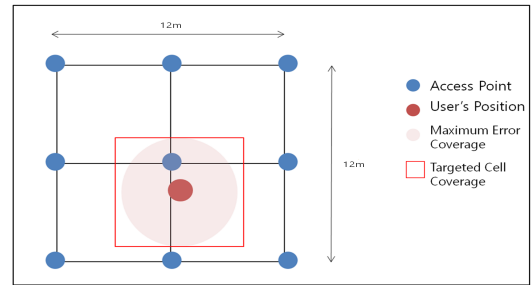


Fig. 5. Cell Estimation after BLE Fingerprinting Matching Procedure

```


$$k_0 = 0 \quad (0 < n < N)$$


$$k_n = k_{n-1} + 1$$


$$\Omega = 9k_n^2$$


$$k_1 = 1$$

while ( $k_n < N$ )
  if ( $O < \Omega$ )
     $S = \frac{\Omega}{9}$ 
  end if
   $k_n = k_n + 1$ 
endwhile
    
```

Fig. 6. An Algorithm For Selected Cells



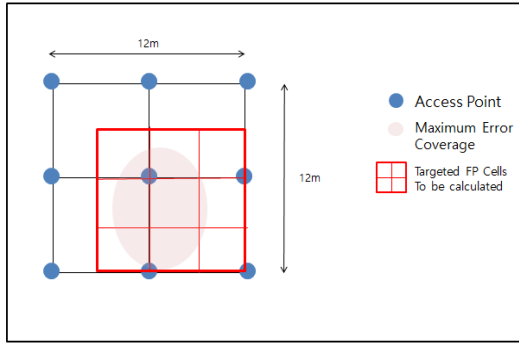


Fig. 7. Selected Cells for Fingerprinting with Mapping Procedure

Coverage를 바탕으로 BEL기반의 Fingerprinting 수행을 위한 위치 참조의 영역을 보여주며, 위치 참조 간격은 3m x 3m로 나타낸다.

아래와 같은 식을 이용하여 선정된 Cell의 개수는 전체 Cell 대비 핑거프린팅 효율 계산식은 다음과 같이 나타낸다.

$$E_f[\%] = \frac{S_e - S_s}{S_e} \times 100[\%] \quad (4)$$

$E_f$ 는 연산 처리 효율량을 나타내었으며,  $S_e$ 는 핑거프린팅 전체 맵 내의 셀의 개수,  $S_s$ 는 매핑 이후 선정된 셀의 개수를 나타낸다. 위의 식과 같이 기존의 Fingerprinting의 사용자의 단말 위치를 측위하기 위한 연산 효율량은  $E_f\%$ 의 효율성을 증대시킨다. 넓은 범위에서의 BLE 기반의 Fingerprinting의 정밀 측위를 이용하기 위해서 미리 구축된 데이터베이스에 저장된 전체 Fingerprinting Map 내 각각의 참조 위치에

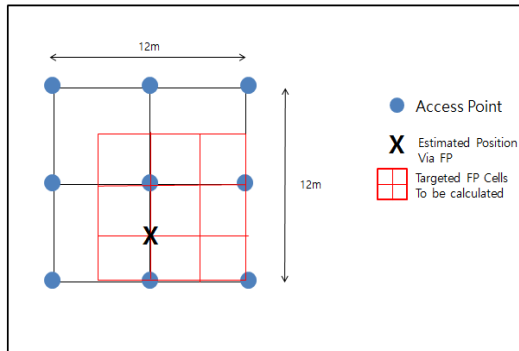


Fig. 8. Estimated Target Position with Local Reference Point after Fingerprinting

해당하는 각 AP의 수신세기를 하나 씩 비교 수행해야 된다는 한계성을 극복하였다. 매핑 단계를 거친 후 그림 8과 같이 핑거프린팅 기법을 수행한 후 사용자의 단말 위치는 인접 참조 위치에 표시가 된다.

#### 4.4 Precise Trilateration

이전 단계에서는 Fingerprinting Mapping으로 인해 사용자의 단말 위치를 측위하기 위해 Fingerprinting의 전체 Map이 아닌 오차 범위를 포함한 해당 Cell만을 지목하게 되어 기존의 Fingerprinting 기법에 비해 연산 처리 효율성이 증대 되었다. 하지만 제안된 알고리즘의 핑거프린팅 Map 내 Cell 만으로는 상대방의 위치를 정확하게 표시하기 위해서는 비교적 적은 참조 위치로 인한 한계점을 나타내며, 각 Cell의 간격을 줄임에 따라 이에 따른 많은 데이터 저장이 요구되기 때문에 효율적이지 못하다. 이를 위해 Cell의 개수를 확장시키고 보다 밀접하게 설치하기에는 경제적이거나 연산량으로도 비효율적이다.

정밀 측위를 위한 마지막 단계인 Precise Trilateration은 해당 선정된 Cell 주위의 인접 BLE Beacon을 이용하여 좁은 범위 내의 삼변 측량을 다시 수행한다. Precise Trilateration 기법은 제안된 알고리즘에서 기존의 핑거프린팅보다 Cell의 간격을 넓혀 정밀성이 떨어지는 단점을 보완하기 위한 단계이다. 초기 단계인 Microscopic Trilateration과는 달리 측위 범위가 좁아지기 때문에 기존의 BLE 기반의 삼변 측량 기법을 이용하여 보다 사용자의 단말 위치를 정확하게 측위 할 수 있다. 아래의 그림은 선정된 Cell 내에서의 Precise Trilateration 기법을 도식화 하여 나타내었으며, Fingerprinting 연산 이후 해당 위치 참조에 선정된 사용자의 단말 위치를 삼변 측량을 이용한 정밀 측위하기 위해 해당 Cell 인근의 인접 비콘의 AP를 산출하는 집합군을 나타내었다.

$$B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\} \quad (5)$$

$$B_{sel} = \{b_n \in B \mid \sqrt{x^2 + b_n^2} < 10\}$$

$B$ 는 핑거프린팅의 수행을 위해 기존에 구축하였던 비콘 들의 집합이며  $b_n$ 는 핑거프린팅 내에 있는 모든 AP들을 나타낸다. 또한  $x$ 는 실제 사용자의 단말 위치이며,  $B_{sel}$ 은 사용자의 단말과 AP의 거리가 6m 내에 있는 해당 AP들의 집합을 나타낸다. 다음과 같은 조건식을 이용하여 현재 사용자의 단말 위치와 각 비

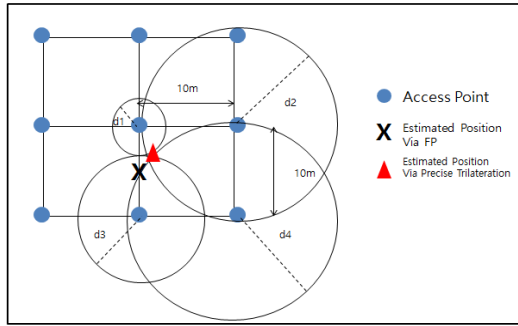


Fig. 9. Description of Precise Trilateration using Local Access Point after Fingerprinting

큰 사이의 간격이 6m 내에 있는 비콘  $B_{sel}$ 의 원소를 집합시키고 그 중 최소 값을 가진 3개 이상의 원소를 산출하여 삼변 측량을 수행한다. 이와 같이 산출된 비콘들은 이전 Microscopic Trilateration 단계와 같이 삼변 측량의 식(1)을 도입하여 사용자의 단말 위치를 이전의 Fingerprinting 단계보다 정확하게 정밀 측위를 수행한다.

위의 그림과 같이 최종적으로 해당 Cell 내의 정밀 측위를 수행하여 기존의 BLE 기반의 Fingerprinting 기법을 경제적이고 정밀하게 나타내었다. 실내 측위 방식인 Fingerprinting 기법을 수행하기 위해 이용되는 BLE 기반의 Beacon은 Wi-Fi에 비해 저 전력이며, 배터리 관리 및 설치 유지 보수성이 우수하다는 장점을 가지고 있다는 점에서 많은 연구 분야에 관심을 가지고 있다. 하지만 10m 이내의 좁은 공간에서만 측위 기술 우수성을 지니고 있기 때문에 본 논문은 BLE 기반의 측위 기술인 Fingerprinting 기법을 위와 같이 저 전력 및 정밀성 기반의 측위 알고리즘을 제안한다.

### V. 성능 평가

#### 5.1 실내 측위 실험을 위한 전파 환경 설정

본 논문에서 제안하는 정밀 측위 알고리즘은 실내 환경에서 사용자의 단말 위치를 측위하기 위해 각 BLE 비콘과 단말간의 RSSI의 수신 세기를 이용하기 때문에 무선 환경 간의 전송 손실이 발생하게 되어 정밀 측정에 어려움을 주고 있다. 자유 공간에서의 측위 계산은 문제점이 없으나 위와 같은 무선 환경 내 많은 변수로 인해 실험 이전에 전파 환경 모델을 고려해야 된다. 본 논문에서는 삼변 측량을 실험하기 위해 거리에 따른 RSSI 세기를 측정하고 Path Loss Exponent의 값을 얻기 위해 아래와 같은 식을 이용한다.

$$L[dB] = 10n \log_{10}(d) + \theta + C \quad (6)$$

$L$ 은 Path Loss [dB]이며,  $n$ 은 Path Loss Exponent,  $d$ 는 송수신자간의 거리[m],  $C$ 는 상수로서 System loss를 나타낸다.  $\theta$ 는 페이딩 손실을 나타내며, Wi-Fi 환경에서는 임의의 상수로서 표현되지만, BLE 환경에서는 그림1과 같이 거리마다 정형적인 손실 값을 표현할 수 있다. 또한 본 실험을 위해 사용자의 단말과 AP 간의 거리를 1m 간격 마다 RSSI의 수신 세기를 2초당 5번을 측정하고 평균 값을 아래와 같이 나타내었다. 측위를 위한 스마트 기기는 PENTEC사의 VEGA Number 6 기종을 사용하였고, OS는 Android Version 4.4.2를 이용하였다.

또한 자유 공간에서의 Path Loss는 아래와 같이 나타낸다.

$$FSPL[dB] = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 10 \times 2 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (7)$$

식(7)은 자유 공간에서의 Path Loss 식이므로, 자유 공간에서의 Path Loss Exponent는 2를 갖으며, 이를 이용하여 아래와 같이 Path Loss 식을 도출하여 실험 환경 내의 Path Loss Exponent를 나타낼 수 있으며, 아래와 같이 송신자와 수신자 간의 거리[d]를 나타낼 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$L[dB] = 10 \times n \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right), \quad d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{L}{10n}} \quad (8)$$

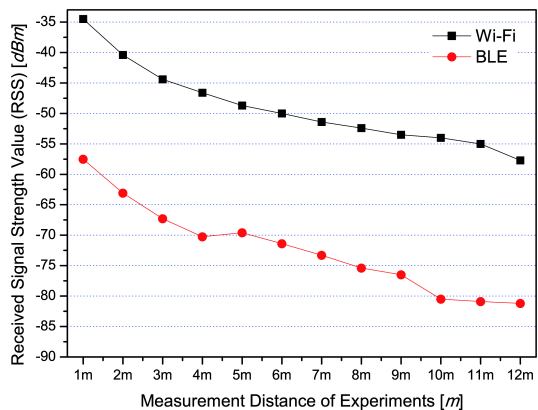


Fig. 10. RSSI Measurements of Wi-Fi and BLE according to Distance



### 5.2 Microscopic-Trilateration 성능 비교

거시적 관점의 삼변 측량 실험을 위해 위의 식(8)을 기존의 삼변 측량 식(1)에 대입하여 12m 환경 내 각 Wi-Fi와 BLE를 이용한 삼변 측량 결과 후 위치 분포를 비교 분석을 수행하였다. 각 AP와 사용자 단말간의 RSSI 측정 값은 초 당 1회 측정 하였으며 총 5번을 측정하여 평균 값을 나타내었으며, 위의 식을 이용하여 각 AP와 사용자의 단말 간 RSSI 측정 값을 거리로 환산하여 삼변 측량 식을 이용하여 사용자 단말의 위치를 아래의 지도와 같이 5회 표기하였다. 아래의 그림은 6m x 6m에 위치하는 사용자의 단말 측정 결과를 나타낸다.

BLE를 이용한 Microscopic Trilateration 측량 또한 위의 Wi-Fi를 이용한 측량과 같은 방식을 이용하여 5 회 측정였으며 지도 상에서의 측위 위치는 아래의 그림과 같이 나타내었다.

각 Wi-Fi와 BLE 기반의 Microscopic Trilateration 기법을 이용하여 도출된 평균 오차 값은 위와 같은 동일한 환경에서 실험을 하였다. Wi-Fi 기반의 넓은 범위의 삼변 측량은 평균 0.398m가 나왔으며, BLE 기반의 삼변 측량의 평균 오차 범위는 0.65m가 계산되었다. 광범위한 공간 내 사용자 단말 측위의 정밀성은

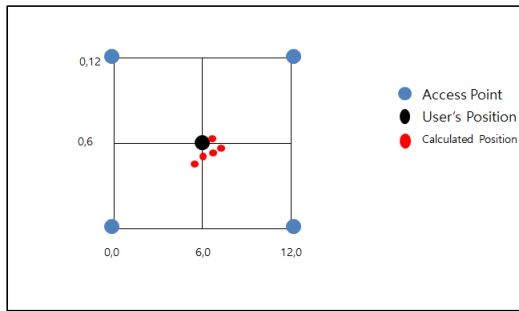


Fig. 11. Microscopic Trilateration Results under Wi-Fi Environment

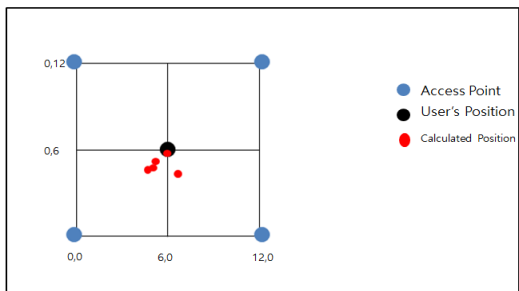


Fig. 12. Microscopic Trilateration Results under BLE Environment

Wi-Fi 기반의 Microscopic Trilateration 기법이 BLE 기반의 삼변 측량보다 수신되는 RSSI의 측정 값이 비교적 안정적이기 때문에 측위 정밀도가 우수하였다.

### 5.3 BLE기반 Fingerprinting 매핑 연산 효율

첫 단계의 연산 방식인 Microscopic Trilateration 기법을 각각의 환경에서 실험한 후 산출된 오차 범위 식(2)을 이용하여 핑거프린팅 환경에 매핑 이후 선정되는 셀의 범위의 비교를 나타내었다. 선정 셀의 범위를 구하기 위해 위에 언급한 셀 선정 식을 이용하여 아래의 그림과 같이 Fingerprinting Mapping 이후의 BLE 환경에서의 선정된 핑거프린팅 셀 범위를 나타내었다.

위의 그림과 같이 선정 된 셀의 개수를 이용하여 각 환경의 효율량을 아래의 사진과 같이 나타 낼 수 있다.

$$E_{BLE}[\%] = \frac{25-9}{25} \times 100[\%] = 64[\%] \quad (9)$$

위와 같이 BLE 기반의 에너지 효율은 일반적으로 이용되는 BLE 기반의 핑거프린팅 기법에 비해 64%의 연산량의 개선 효율을 가지게 되며, 사용자의 위치를 측위하기 위해 해당 영역 Cell 내에 있는 참조 위치를 이용한다. 사용자의 단말 위치를 측위하는 방식은 핑거프린팅 데이터 베이스 내 사전에 저장되어 있는 RSSI 값을 비교하여 해당 참조 위치에 위치시킨다. 아래의 그림은 핑거프린팅 기법을 수행하기 위해 선정된 Cell 내의 참조 위치 값과의 비교를 보여 주며, 가로와 세로의 값은 거리 길이(m)가 아닌 참조 위치로 표기하였다.

또한 해당 오차 범위를 고정으로 N x N 크기의 핑거프린팅 Map의 확장에 대한 제안된 Fingerprinting Mapping 이후 연산 효율량과 식을 아래와 같이 나타

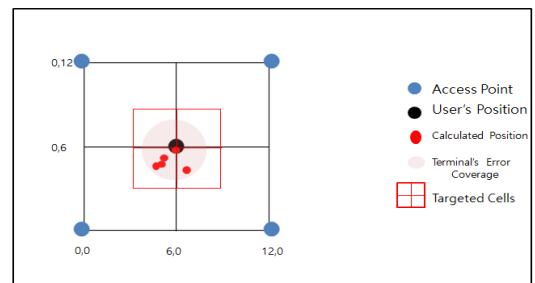


Fig. 13. Results of Cell Estimation under BLE Environment

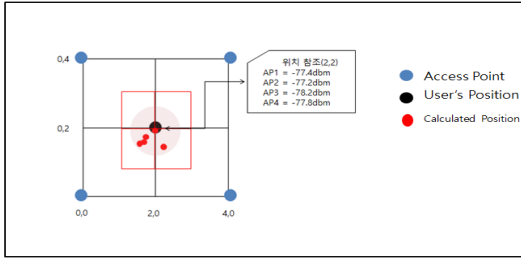


Fig. 14. Comparison Results between Estimated and Practical Position

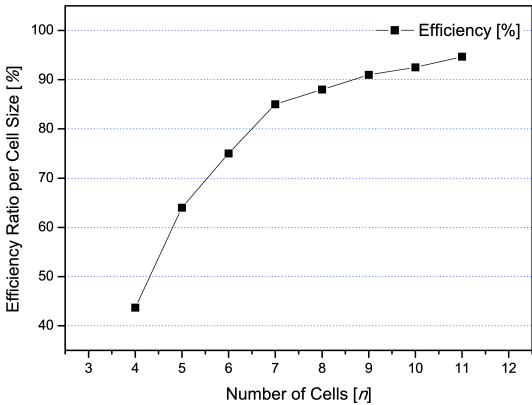


Fig. 15. Calculation Efficiency according to Fingerprinting MAP Size

내었다.

$$E_{BLE}[\%] = \frac{N^2 - 9}{N^2} \times 100[\%] \quad (10)$$

#### 5.4 제안 방식의 Fingerprinting 측위 오차

본 장에서는 실내 측위에 대한 정밀성 및 효율성을 고려한 제안된 알고리즘 방식의 성능을 분석하기 위해 Fingerprinting Mapping 이후 선정된 Cell 내의 Fingerprinting 연산 이후 인근에 존재하는 4개의 AP를 이용한 Precise Trilateration 기법과 BLE와 Wi-Fi 기반의 기존 Fingerprinting 방식과 제안하는 정밀 측위 알고리즘의 각 정밀도를 비교 및 분석하였다.

우선 Fingerprinting 기법은 측위하기 위한 실내 공간 내 여러개의 AP를 이용하여 나누어진 각 Cell의 참조 위치의 RSSI 측정 값을 여러 횟수를 측정하여 평균치를 미리 Fingerprinting DB에 적재하여 Map을 구축한다. 사용자의 단말 위치를 측위하기 위해 사전에 미리 구축된 Fingerprinting Map과 현재 송신자와 수신자 간의 RSSI 측정 값과 비교하여 해당 참조 위

치에 사용자의 단말을 위치시키는 방식이다.

아래의 식은 데이터 베이스 내에 핑거프린팅 측위를 위해 저장되는 참조 위치와 그에 해당하는 4개의 AP로부터 측정되는 평균 RSSI 값을 보여준다.

$$F_n = f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$$

$$f_n = \begin{cases} AP_1 & AP_3 \\ AP_2 & AP_4 \end{cases} \begin{cases} AP_1 = k_1 [dB] \\ AP_2 = k_2 [dB] \\ AP_3 = k_3 [dB] \\ AP_4 = k_4 [dB] \end{cases} \quad (11)$$

$F_n$ 은 실험을 위해 구축할 핑거프린팅이며,  $f_1$ 에서  $f_n$ 은 해당 핑거프린팅 내 참조 위치들이다.  $k_1$ 에서  $k_4$ 는 임의의 참조위치( $f_n$ ) 내 해당 AP마다 고유의 RSSI 측정 값을 나타낸다.

본 실험에서는 Wi-Fi 기반의 핑거프린팅과 BLE 기반의 핑거프린팅과 제안하는 핑거프린팅 기반의 알고리즘 시스템의 정밀성을 비교하기 위해 가로와 세로의 길이를 각 12m x12m의 공간으로 구축하였고 참조 위치 간격을 3m로 분리하였으며, 모두 동일한 공간에서 실험이 이루어 졌다.

또한 핑거프린팅 기법을 수행하기 위해서 각 참조 위치마다 각 끝단에 있는 4개의 AP를 이용하여 1초당 RSSI 측정 값을 10회 수신하여 평균 값을 계산하였고, 이후 Fingerprinting DB에 저장하였다. 이와 같이 각각의 위치 참조 값을 저장하여 Fingerprinting Map을 구축하고 실험을 위해 이용할 단말기는 해당 AP로부터 수신된 RSSI 값을 5회 측정 후 평균 값을 나타내었다. 해당 사용자의 단말 참조 위치를 각각 Wi-Fi와 BLE 환경 기반의 핑거프린팅 기법을 제안하는 효율성을 고려한 핑거프린팅 알고리즘 시스템과 비교하기 위해 핑거프린팅 지도 상에 5번 측정 후 평균 오차 범위를 나타내었다.

본 실험에서 각각의 실제 Wi-Fi 환경과 BLE 환경에서의 핑거프린팅 구현 및 사용자의 단말 측위를 위한 환경을 나타내었으며, 핑거프린팅을 위한 각 Cell의 크기는 가로 및 세로를 3m의 크기로 나타내었다. 핑거프린팅 측위 실험을 위한 구축 Map을 아래의 그림과 같이 나타내었으며, 참조 위치는 왼쪽 맨 아래를 시작으로 (0,0)에서 오른쪽 맨 위 (4,4)까지 총 25개의 참조 위치를 나타낸다.

또한 RSSI를 이용한 무선 측위를 고려하여 제안된 기술과의 비교 평가를 수행하기 위해 모든 실험 장소는 동일 장소를 이용하였으며, 정밀한 위치 측위를 위

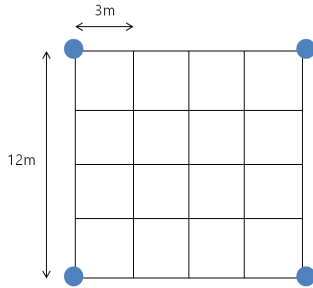


Fig. 16. Experiment Environment

해 전파의 안정성을 고려하여 인접 기기로부터 인한 전파 간섭과 사람들의 유동이 적은 지하 주차장에서 수행하였다.

위와 같은 환경을 실험 배경으로 채택하여 Wi-Fi와 BLE 환경에서의 핑거프린팅 연산을 각 참조 위치마다 오차를 비교 분석 하였다. 오차 범위는 평균 제곱 오차(MSE)를 이용하여 실제 측위된 위치를 나타낼 수 있다. MSE 연산은 해당 참조 위치마다 각 AP의 실제 측위된 RSSI 측정 값과 핑거프린팅 데이터 베이스에 저장된 RSSI 측정 값의 차를 제곱시키고 다시 루트 연산을 수행한 후 출력된 양의 절대 값의 합을 측위에 이용되는 AP의 개수로 나눈다.

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^n \sqrt{(RSSI_i - RSSI_{DBi})^2}}{n} \quad (12)$$

식(11)과 같이  $n$ 은 AP의 개수이며,  $RSSI_i$ 는 해당 위치 참조에서 실제 측위 된 AP의 RSSI 값을 나타내며,  $RSSI_{DBi}$ 는 데이터 베이스 내 저장된 해당 참조위치에 대한 RSSI 값이다. 본 실험에서는 핑거프린팅 내 오차 값을 측정하기 위해 해당 참조 위치마다 MSE 값을 5번 측정 후 최소 값을 가진 3개의 MSE 값을 이용하여 위의 식과 같이 나타낸 전파 환경에 따른 거리 식(8)을 도입해 오차 위치를 분석하였다.

기존의 핑거프린팅 기법과 정밀도를 비교 분석하기 위해 제안된 알고리즘의 정밀 측위 실험은 다음과 같이 이루어진다. 초기 단계의 측위 방식인 20m x 20m 규모의 측위 환경을 기반으로 Microscopic Trilateration 단계를 수행한 후 최대 오차 범위를 이용하여 Mapping 이후 선정된 Cell들만의 한정된 참조 위치를 이용하여 기존의 Fingerprinting 연산을 수행한다.

선정된 Cell 내의 Fingerprinting 연산 이후 선정된

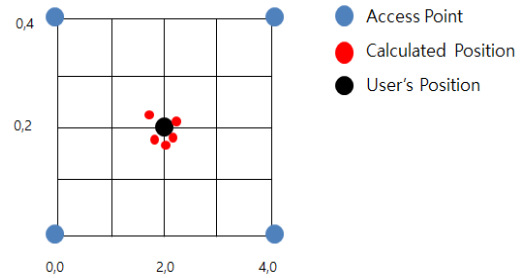


Fig. 17. Estimated Position of Proposed Algorithm with High Calculation Efficiency

하나의 참조 위치 인근에 있는 4개의 AP를 이용하여 5m x 5m 범위 내에 Precise Trilateration 수행한 결과 값을 화면상에서 분포도를 나타내었고 Wi-Fi와 BLE 기반의 핑거프린팅 측정 실험 결과 값과 측위 정밀도 비교를 위해 이전에 실험하였던 Wi-Fi와 BLE 기반의 핑거프린팅에 대한 해당 참조 위치와 동일 위치에 측정하였고 그 결과 값에 따른 오차 범위를 아래의 표와 같이 나타내었다.

위의 실험 분석 결과와 같이 20m x 20m 내에 각 4개의 Wi-Fi와 BLE의 AP를 이용하여 사용자의 단말 위치를 측위한 Fingerprinting 방식은 BLE 환경에서 정밀성이 저조한 결과를 가져왔다. 위의 그림과 같이 제안된 기술과 기존의 핑거프린팅 오차 범위는 각 참조위치 (0,0), (1,1), (2,2), (3,4), (4,2)에서 Wi-Fi 기반의 핑거프린팅은 평균적으로 0.47m의 오차가 나왔으며, BLE 기반의 핑거프린팅은 0.72m가 나왔다. 또한 제안하는 기술의 측위 방식은 0.39m의 오차가 계산되었다. 핑거프린팅 기법 면에서 BLE의 RSSI 측위 값 내 고유의 페이딩은 근거리 내에서 Wi-Fi 기반의 측위에 비해 해당 참조 위치의 고유의 값을 인식하기 용

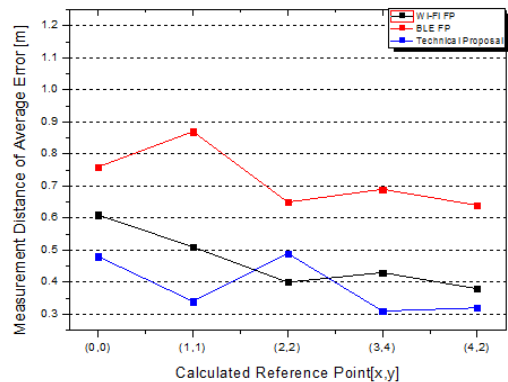


Fig. 18. Error Range Comparison between Wi-Fi, BLE, and Proposed scheme at Each Reference Point

이하라는 우수성을 지니지만 그림 18과 같은 결과는 맨 끝단에 위치하는 참조 위치 (0,0)과 같이 BLE의 AP가 사용자의 단말을 측위하기 위해 최대 12m이상의 거리에서 측정되기 때문에 비교적 낮은 RSSI 값이 불안정하여 오차 범위가 Wi-Fi에 비해 크게 나왔다.

위의 실험 결과와 같이 제한한 알고리즘은 기존의 BLE 또는 Wi-Fi를 이용한 Fingerprinting 기법을 보다 오차 범위가 작은 결과를 가져왔다. 하지만 위치 참조 (0,0)와 (2,2)는 최종적으로 삼변 측량 기법을 수행하기 때문에 하나의 AP가 사용자의 단말과 거리가 0m이지만, 무선 환경의 간섭 회피를 목적으로 안정적인 RSSI 측정을 위해 사용자의 키보다 높게 설치하였으며, 기존에 측정된 RSSI 값의 평균 값을 미리 저장해놓고 다음 RSSI의 측정 값과 비교하는 핑거프린팅 방식에 비해 해당 참조 위치 값의 최대 최소 오차 범위는 불안정하였다. 이로 인해 0m에서의 삼변 측량은 사용자의 단말과 AP의 높이 거리로 인하여 평상시의 삼변 측량보다 높은 오차 수치를 보여준다. 하지만 참조 위치에 의존적인 핑거프린팅 방식과는 달리 측위 환경 내 임의의 장소에 좌표를 출력할 수 있다는 점에서 비교적 기존의 핑거프린팅 방식보다 AP의 모서리 부분을 제외한 안정적인 측위 범위가 계산이 가능하며, 일반적으로 Wi-Fi 기반의 핑거프린팅의 기술과 비교하여 측위 정밀성의 차이는 다소 적으나, 핑거프린팅 만의 측위 기술은 정밀성을 보장하기 위해서는 추가적인 AP와 위치 참조 값의 저장 및 이에 따른 측위 비교 연산이 요구되어 넓은 범위의 측위는 많은 노동력이 요구된다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 핑거프린팅 측위를 위한 연산량을 줄이고자 핑거프린팅 내 Cell의 간격을 높이고 해당 Cell 내 핑거프린팅 측위 이후 선정된 참조 위치와 해당 참조 위치의 인근에 존재하는 4개의 AP를 이용하여 6m x 6m내 삼변 측량을 재수행하여 작은 규모의 측위 범위 내 사용자와 해당 AP 간의 비교적 높고 안정적인 RSSI 수신 값을 이용하여 측위 기법을 수행하기 때문에 사용자의 단말 위치에 대한 정밀성이 기존에 이용되는 Wi-Fi나 BLE 기반의 핑거프린팅 측위 기술에 비해 비교적 좋은 결과가 나왔으며, 사용자의 단말 위치를 측위하는 연산량에 있어서도 효율적인 결과가 도출되었다. 하지만 [12]의 저자가 제안한 삼각 측량과 핑거프린팅을 융합한 제안 방식과 비교하면 우선적으로 Microscopic Trilateration 단계를 거쳐 오차 범위 영역을 이용한 핑거프린팅 면에서는 위치 참조의 수에 대한 요구가 줄어들어 연산량 면에서는 효율적일 수 있으나, 본 논

문의 연구는 많은 측위 단계를 거듭해야하기 때문에 시간 지연이 초래된다는 단점을 가지고 있다.

## VI. 결 론

현재 LBS시장의 수요는 점진적으로 증가하고 있으며, 실내 위치 인식에 대한 정밀성 및 효율성에 관한 연구는 계속되어지고 있다. 본 논문에서 제안한 효율성 기반의 정밀 측위 알고리즘은 실내 위치 측위 기술 관점에서 BLE 기반을 중심으로 두어 Wi-Fi와 비교 분석하여 BLE 기반의 실내 측위 기술의 효율성 및 정밀성을 향상시켰다. 장거리 측위 면에서는 Wi-Fi를 이용한 측위가 정밀하였지만, 저전력 기반의 BLE에 의지하여 유지 및 보수 비용 면에 경제적이며, 근거리 내에서는 비교적 오차 범위의 차이가 낮았다. 하지만 BLE는 저 전력 기반의 단거리 통신 목적의 단말이며, Wi-Fi에 비해 소규모 범위의 환경에서만 핑거프린팅 측위 기술의 정밀 및 효율성을 극대화시킬 수 있다.

또한 BLE 비콘은 실내 위치 측위 목적으로 개발이 중점이 된 것이 아니기 때문에 현재까지도 실내 측위 분야에서 정밀성에 관한 여러 가지 기술적인 문제점을 가지고 있다. 본 연구는 기존에 제안한 측위 알고리즘보다 효율성 및 정밀성에 중점을 두고 알고리즘의 단계 축소 및 에너지에 대한 절약에 관한 분석에 연구를 지속할 예정이다.

## References

- [1] J. Oh, "3D indoor positioning system based on smartphone," *J. KICS*, vol. 38C, no. 12, pp. 1126-1133, 2013.
- [2] N. Hyun, I. Lim, and J. Lee, "Location estimation method of positioning system utilizing the iBeacon," *J. KIICE*, vol. 19, no. 4, pp. 925-932, 2015.
- [3] C. Yoon and C. Hwang, "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider," *J. KIICE*, vol. 19, no. 6, pp. 1368-1373, 2105.
- [4] F. Palumbo, P. Barsocchi, and S. Chessa, "A stigmergic approach to indoor localization using bluetooth low energy beacons," *IEEE Int. Conf.*, pp. 1-6, Aug. 2015.
- [5] J. Huh, C. Lee, and J. Kim, "A study of beacon delivery characteristics in BLE based

“fingerprinting indoor positioning system,” in *Proc. KIISE*, vol. 2015, no. 6, pp. 1612-1614, 2015.

- [6] Wikipedia, Real-Time Locating Service
- [7] K. Sung, J. Ryoo, and H. Kim, “Design and implementation of location determination technology based on RSSI and trilateration over smart-phone,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 969-970, Jun. 2010.
- [8] A. Thaljaoui, T. Val, N. Nasri, and D. Brulin, “BLE localization using RSSI measurements and iRingLA,” *IEEE ICIT*, pp. 2178-2183, Mar. 2015.
- [9] S. Kim, H. Son, S. Kim, and C. Lee, “Fingerprint-based indoor location tracking application development and performance analysis,” in *Proc. IEK*, pp. 677-680, Nov. 2014.
- [10] Yabu Yosuke, Arai Ismail, “Performance evaluation of the indoor positioning by BLE radio field strength within the school building”, The 77th nation convention of IPSJ, Information Processing Society of Japan, vol. 1, pp. 301-303, 2015.
- [11] S. Jeong and J. Yim, “Implementation of the passenger positioning systems using beacon,” *J. KIICE*, vol. 20, no. 1, pp. 153-160, Jan. 2016.
- [12] S. Choi, H. Park, S. Lee, M. Son, Y. Koo, K. Park, and T. Kim, “An indoor location recognition scheme combining the triangulation method and fingerprinting,” in *Proc. KIISE*, vol. 38, no. 2D, pp. 112-114, 2011.
- [13] F. Ramsey and R. Harle, “An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications,” in *Proc. ION GNSS+ '14*, vol. 812, Tampa, FL, USA, 2014.

이 도 희 (Dohee Lee)



2016년 8월 : 서원대학교 정보통신공학과 졸업  
<관심분야> 통신공학, 데이터통신, 이동통신공학

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사  
2008년~2013년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 박사  
2011년~2013년 : 서일대학교 겸임교수  
2013년~2015년 : LG전자 차세대표준연구소 선임연구원  
2013년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 조교수  
<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization