

# Analysis of Bluetooth Indoor Localization Technologies and Experiment of Correlation between RSSI and Distance

Yang-Su Kim\*, Beakcheol Jang\*\*

## Abstract

In this paper, we present indoor localization technologies using the bluetooth signal categorizing them into proximity based, triangulation based and fingerprinting based technologies. Then we provide localization accuracy improvement algorithms such as moving average, K-means, particle filter, and K-Nearest neighbor algorithms. We define important performance issues for indoor localization technologies and analyze recent technologies according to the performance issues. Finally we provide experimental results for correlation between RSSI and distance. We believe that this paper provide wise view and necessary information for recent localization technologies using the bluetooth signal.

▶Keyword : Indoor Localization, Bluetooth Low Energy, Received Signal Strength Indicator, Localization Algorithm

## 1. Introduction

유비쿼터스는 “언제 어디에나 존재한다”는 뜻의 라틴어로, 사용자가 컴퓨터나 네트워크를 의식하지 않고 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 환경을 말한다[1]. 생활 속 사물들을 유무선 네트워크로 연결해 정보를 공유하는 환경인 사물인터넷(Internet of Things)이 최근 주목받고 발전함에 따라 우리의 삶은 유비쿼터스 시대에 더욱 가까워졌다.

사물인터넷에 대한 관심과 이를 활용한 다양한 서비스에 대한 관심이 매우 높아지면서 그만큼 다양한 분야의 기술이 연구되고 발전하고 있다. 특히 무선 네트워크 기술의 발전과 모바일 기기의 성능이 발전함에 따라 실내 측위 기술에 대한 수요가 늘어나고 있다[2].

기존 실외 측위기술인 Global Positioning System(GPS)은 실내에서 활용할 수 없기 때문에 다른 여러 기술이 연구되어 왔다. 다양한 실내 측위기술들 중 블루투스 기반의 기술은 기존의 스마트폰을 이용할 수 있다는 점에서 주목할 만하다. 그중 Bluetooth Low Energy(BLE)는 기존의 블루투스와 달리 훨씬 적은 전력을 이용하여 통신을 할 수 있는 장점이 있다. 소모 전

력이 적기 때문에 건전지로도 충분히 운용이 가능하다. 그렇기 때문에 설치 장소에 제한이 없고 크기도 작아서 설치가 간편하다. 위치에 따른 신호의 세기 차이를 이용하여 측위를 할 수 있다. BLE는 약 10미터(m) 도달 반경을 가진 2.4GHz 주파수 대역 기반의 저전력 저용량 데이터 송수신이 가능한 블루투스 기술이다. 특히 평균 전송 속도가 10kbps 이하인 경우에는 전력 효율이 매우 좋아 배터리 교환 없이 1년 이상 사용할 수 있기 때문에 전력 공급이 제한되는 극소형 사물 인터넷에 매우 적합하여 시계나 장난감, 비콘(beacon), 그리고 착용 컴퓨터(웨어러블 기기) 등에 많이 사용된다[3].

본 논문에서는 BLE를 활용하여 측위를 할 수 있는 대표적인 실내 측위기술들을 설명한다. 최근 측위기술들을 Proximity, Triangulation, Fingerprinting 크게 세 가지로 나누어 분석한다. 다음으로 측위 정확도를 개선할 수 있는 moving average, K-means, particle filter, K-Nearest Neighbor 알고리즘을 소개한다. 연구결과를 종합해 측위기술들을 비교 평가한다. 여러 실내 측위기술의 필수 기술이자 측위 정확도에 큰 영향을 미치는 Received Signal Strength Indicator(RSSI)에 대한 연

---

• First Author: Yang-Su Kim, Corresponding Author: Beakcheol Jang  
\*Yang-Su Kim (qhsowntu@naver.com), Dept. of Media Software, Sangmyung University  
\*\*Beakcheol Jang (bjang@smu.ac.kr), Dept. of Media Software, Sangmyung University  
• Received: 2016. 05. 04, Revised: 2016. 06. 28, Accepted: 2016. 08. 01.  
• This work was supported by Sangmyung University Research Grant.

구들을 살펴보면 몇 가지 실험을 통해 RSSI에 대해 자세히 알아본다. 마지막으로 현재 기술의 문제점과 한계점을 알아보고 앞으로의 방향을 제시하며 글을 마친다.

## II. Indoor Localization Technique

실내에서 무용지물이 되는 GPS의 한계로 다양한 실내 측위 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 각각의 기법이 가진 장단점이 뚜렷하기 때문에 측위 장소의 특성과 어떤 서비스를 제공할 것인가를 충분히 고려해 적합한 기법을 선정해야 한다. 먼저 실내 측위 기법들을 분류하여 기술한다.

### 1. Proximity(Cell-ID)

Proximity 기법은 근접성을 이용한 방법이다. 비콘이 신호를 발생시키고 단말기가 비콘에 가까이 접근하여 신호를 수신하면 비콘의 위치에 있다고 추정하는 기법이다[4]. 단말기가 비콘의 신호를 수신하면 해당 비콘의 위치를 사용자의 위치로 표시할 수 있다. 여러 비콘의 신호를 수신했을 경우에는 신호가 가장 강한 비콘을 단말기가 있는 위치로 정한다[5]. 정확한 위치를 측정하기보다 특정 영역에 진입했는지 알 수 있는 용도로 적합하다. 일반적으로 비콘의 배치를 밀집시키면 위치 추정의 정확도를 높일 수 있으나 오차 범위 이상으로 밀집시키면 잘못된 측위 결과가 나올 수 있다. 같은 개수의 비콘을 사용한다면 다른 기법들에 비해 정확도가 떨어진다. 설치가 간단하고 비용이 적게 든다. 특정 영역에 진입했는지 알 수 있는 용도로는 적합하지만, 그 이상의 정확도를 요구하는 시스템에는 맞지 않다.

### 2. Triangulation

Triangulation은 단말기에 수신된 비콘 신호 정보를 이용해 단말기의 위치를 구체화시키는 방식이다. 비콘의 위치정보와 단말기와의 거리 또는 각도를 이용하여 단말기의 2차원 또는 3차원 좌표를 추정할 수 있다. 이 방법에는 비콘이 적어도 3개 이상 필요하다. 비콘의 위치와 거리를 통해 단말기의 위치를 추정하는 방법과 비콘의 위치와 각도를 통해 위치를 추정하는 방법이 있다. 비콘의 위치는 고정되어 있고 단말기와의 거리나 각도가 변수가 되어 위치가 결정된다. 거리기반의 삼각측량기법으로는 RSSI Based Triangulation과 Time Based Triangulation이 있다. 각도기반의 삼각측량기법은 Angle Based Triangulation이 있다.

#### (1) RSSI Based Triangulation

RSSI는 신호의 수신강도를 나타내는 지표이다. RSSI와 삼각측량법을 활용하여 위치를 추정할 수 있다. 이 방법은 단말기에 신호를 수신할 수 있는 비콘의 개수가 최소 3개 이상 필요하다.

삼각측량법을 활용하기 위해서는 단말기와 비콘 간의 거리가 필요하다. Fig 1과 같이 단말기와 비콘 간의 Received Signal Strength(RSSI)로 둘 사이의 거리를 추정할 수 있다. 각각의 노드들은 RSSI로 단말기와의 거리를 알 수 있다. Fig 2와 같이 각 노드를 중심으로 측정된 거리를 반지름으로 가지는 원을 그릴 수 있다. 단말기는 이 원들의 교점에 위치한다. 이 방식의 오차원인으로는 물리적 장애물 또는 다른 전파로 인한 RSSI값 왜곡이 있다[6].

#### (2) Angle Based Triangulation(AoA)

AoA(Angle of Arrive)는 비콘에서 단말기의 신호가 들어오는 각도를 이용해 측위 하는 방법이다. 비콘의 위치와 각도로 삼각측량법을 활용하여 위치를 추정할 수 있다. 비콘에서 신호가 들어오는 각도를 측정하고 측정된 값과 삼각측량법을 이용하여 단말기의 위치를 추정한다. 2개의 비콘만 있어도 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 비콘에 들어오는 신호의 각도로 각 비콘의 좌표에서 충분한 길이의 직선을 긋는다. Fig 3과 같이 단말기는 세 개의 직선이 교차하는 범위 내에 위치한다[6]. AoA 방식의 오차 원인으로는 전파가 여러 방향으로 들어올 경우 또는 벽이나 장애물들로 인한 굴절 등이 있다. 정확도면에서 아주 뛰어나지만 블루투스 표준에 부합하는 기기가 상용화되지 않아서 기존 스마트폰으로 사용할 수 없다[7].

#### (3) Time Based Triangulation(TOA, TDOA)

ToA(Time of Arrive)는 단말기에서 비콘까지의 절대적인 시간을 계산하여 거리를 추정하는 방식이다. 측정된 거리와 삼각측량법을 활용해 단말기의 위치를 추정할 수 있다. 이 방식은 모든 비콘과 단말기 간의 시간 동기화가 필요하다. 각 노드는 단말기와의 전파 전달시간으로 단말기와의 거리를 측정할 수 있다. Fig 2와 같이 각 노드를 중심으로 측정된 거리를 반지름으로 가지는 원을 그릴 수 있다. 단말기는 이 원들의 교점에 놓이게 된다. 실내 측위에서는 비콘과의 거리가 너무 가까워서 사용하기 힘들다.

TDoA(Time Difference of Arrive) 방식은 서로 다른 노드에서 송신한 신호의 도달 시간차를 이용하여 위치를 결정한다. 노드 간의 시간 동기화가 필수적이지 않다. Fig 4와 같이 노드에서 단말기까지 거리 차에 비례하는 전파 도달 시간차가 측정되고, 거리 차가 일정한 곳에 단말기가 위치한다. 즉, 두 노드를 초점으로 하는 쌍곡선 위에 단말기가 위치하게 된다. 실내 측위에서는 비콘과의 거리가 너무 가까워서 사용하기 힘들다[8].

### 3. Fingerprinting

Fingerprinting 기법은 경험적 접근 방식을 이용한 방법이다. 측위 할 지역을 셀 단위로 나누어 각 셀마다 RSSI를 측정하고 저장하여 셀마다 RSSI를 가지게 된다. 이를 이용해 위치를 추정하는 방법이다. 실내 공간의 장애물들에 의한 간섭, 반사, 회절, 감쇄 등의 노이즈를 측위를 위한 정보로 활용한다. 이 방

법은 공간의 특성이 반영된 데이터를 추출하기 때문에 다른 기법들에 비해 정확도가 훨씬 높다. 주위 환경이 크게 변하지 않는 한 신호 값은 대체로 일정하게 유지된다. Fingerprinting 기법은 크게 두 단계로 진행된다. 먼저 측위대상지역을 셀 단위로 구분한다. 이 셀은 사용자의 위치를 나타내는 용도로 쓰인다. 셀을 구성한 후 각 셀에서 단말기가 수신하는 비콘들의 신호 값을 모아 Map을 구성해야 한다. 이 신호 값들로 셀의 특징을 구분할 수 있고 사용자의 위치를 추정할 수 있다. 데이터베이스를 구성하기 전 측위 대상 지역을 임의의 크기의 셀로 분할하는 과정을 수행해야 한다. 측위 결과는 셀 단위로 결정되기 때문에 공간의 크기가 일정하지 않은 경우 셀을 크기를 조절해야 한다. 여기서 측위 오차 범위보다 작은 크기로 셀을 할당한다면 잘못된 결과가 나올 수 있으므로 오차 범위 이상의 크기로 셀을 할당해야 한다[9]. 셀을 할당한 후 데이터베이스를 구성하는 단계를 수행해야 한다. 각 셀을 대표할 수 있는 신호 값을 추출해야 한다. 가능한 정확하고 많은 신호 값을 수집해야 해당 셀에 맞는 신호 값을 얻을 수 있다. 측위의 정확도를 결정하는 중요한 과정이기 때문에 가능한 많은 시간을 필요로 한다. 모든 셀에 신호 값이 저장되면 그 값을 이용해 실질적인 측위를 할 수 있다. 단말기에 수신된 신호 값들을 데이터베이스의 모든 셀의 신호 값들과 비교 분석하여 현재 위치를 추정하여 보여준다 [Fig 5]. 실제 구조에 변화가 있을 경우 유지 보수가 필요하다 [10].

```
protected static double calculateDistance(int txPower, double rssi) {
    if (rssi == 0) {
        return -1.0; // if we cannot determine distance, return -1.
    }

    double ratio = rssi*1.0/txPower;
    if (ratio < 1.0) {
        return Math.pow(ratio,10);
    }
    else {
        double accuracy = (0.89976)*Math.pow(ratio,7.7895) + 0.111;
        return accuracy;
    }
}
```

Fig 1. RSSI formula for use in Android Beacon Library

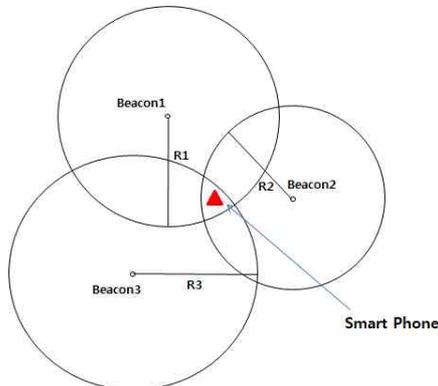


Fig 2.Triangulation based on RSSI,ToA

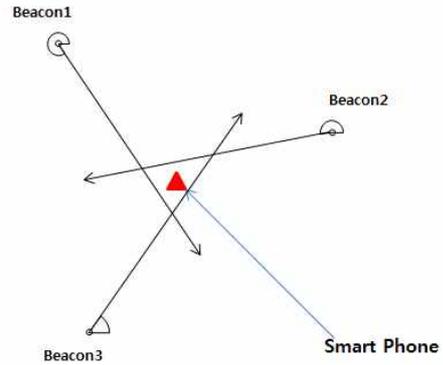


Fig 3.Triangulation based on AoA

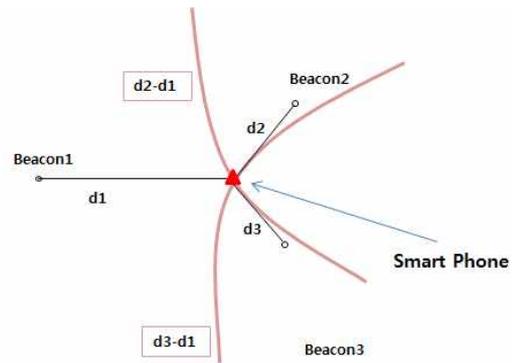


Fig 4.Triangulation based on TDOA

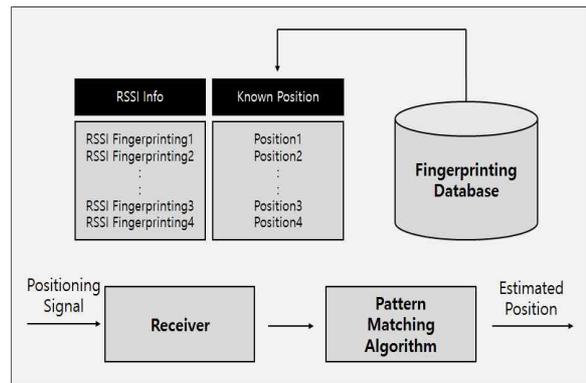


Fig 5.Fingerprinting Based Localization Systems

### III. Localization Accuracy Improvement Algorithms

불확실한 센서 데이터에 의존하여 의미 있는 측위 값을 내기 위해서는 상황에 맞는 효과적인 알고리즘을 활용해야 한다. 다양한 알고리즘을 통해 불확실한 데이터의 효과적인 활용이 가능하다. 이 장에서는 측위 또는 측위 성능 개선에 도움이 될 수 있는 알고리즘을 기술한다.

### 1. Moving Average Algorithm

Moving Average Algorithm이란 측정값  $x_1, x_2, x_3, \dots$ 가 계속해서 얻어질 때 각 값에서 시작하여 순서대로 일정 개수를 취하여 구한 상가(相加) 평균의 전체이다. 예를 들면  $(x_1+x_2+x_3)/3, (x_2+x_3+x_4)/3, (x_3+x_4+x_5)/3, \dots$  이와 같이 진행된다. Fig 6을 보면 알고리즘을 적용한 값이 적용하지 않은 값보다 이론값과의 오차가 줄어들음을 알 수 있다.

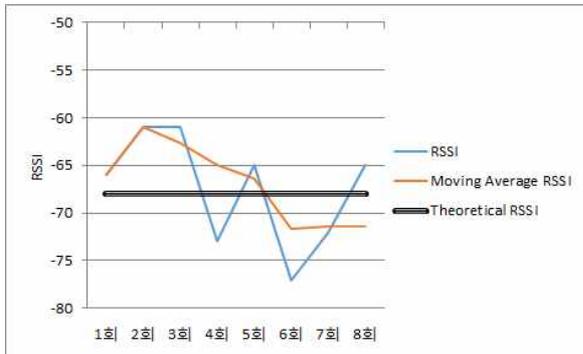


Fig 6.RSSI with Moving Average Algorithm

### 2. K-means algorithm

k-평균 클러스터링 알고리즘은 클러스터링 방법 중 분할법에 속한다. 분할법은 주어진 데이터를 여러 파티션으로 나누는 방법이다. 예를 들어 n 개의 데이터 오브젝트를 입력받았다고 가정하자. 이때 분할법은 입력 데이터를 n보다 작거나 같은 k 개의 그룹으로 나누는데, 이때 각 군집은 클러스터를 형성하게 된다. 다시 말해, 데이터를 한 개 이상의 데이터 오브젝트로 구성된 k 개의 그룹으로 나누는 것이다. 이때 그룹을 나누는 과정은 거리 기반의 그룹 간 비유사도(dissimilarity)와 같은 비용 함수(cost function)을 최소화하는 방식으로 이루어지며, 이 과정에서 같은 그룹 내 데이터 오브젝트끼리의 유사도는 증가하고, 다른 그룹에 있는 데이터 오브젝트와의 유사도는 감소하게 된다[11]. k-평균 알고리즘은 각 그룹의 중심(centroid)과 그룹 내의 데이터 오브젝트와의 거리의 제곱합을 비용 함수로 정하고, 이 함수값을 최소화하는 방향으로 각 데이터 오브젝트의 소속 그룹을 업데이트 해 줌으로써 클러스터링을 수행하게 된다. 다양한 위치에서 무작위로 수집된 RSSI를 이용하여 추정된 위치를 기반으로 한 fingerprinting map을 구성하는데 도움이 된다.

### 3. Particle Filter Algorithm

Particle Filter는 객체 추적이 있어서 최근 가장 널리 사용되고 있는 알고리즘이다. Particle Filter의 목적은 연속적으로 들어오는 정보를 오차가 존재하는 관측 값만을 가지고 정보를 예측하는 확률 기반의 기법이다. 시스템에 적절하게 제안된 확률분포로 임의로 생성된 입력을 여럿 가하여보고 그것들을 종합하여 시스템의 정보를 추측하는 것이다. 이 알고리즘은 fingerprinting map을 구성하는데 도움이 된다[12].

### 4. K-Nearest Neighbor Algorithm

K-Nearest Neighbor(KNN) 알고리즘은 새로운 Fingerprint를 기존 클러스터 내의 모든 데이터와 Instance 기반 거리를 측정하여 가장 많은 속성을 가진 클러스터에 할당하는 군집 알고리즘이다. 다시 말해, 분류가 되어있지 않은 데이터들을 분류된 데이터들 중 가장 비슷한 속성을 가진 그룹으로 분류해주는 방식이다. KNN은 구현이 쉽고 정확도가 높은 장점이 있다. KNN의 성능은 Instance의 개수에 크게 좌우된다. 이 알고리즘은 추정된 위치가 여러 셀에 포함될 경우가 있는 Proximity 기법과 Fingerprinting 기법에 적절하다. 추정된 위치가 여러 셀에 포함될 경우 KNN 알고리즘이 판단 기준 역할을 할 수 있다.

## IV. Analysis

이번 장에서는 앞서 소개한 실내 측위기술들을 몇 가지 조건에 따라 비교 분석한다. 조건에는 비용, 시간, 정확성, 공간의 제약, 노동력, 효율성, 범용성, 복잡성, 오차 범위 등이 있다.

- **Cost** : 실내 측위에 필요한 장비나 준비나 유지 보수에 필요한 비용을 나타낸다.
- **Accuracy** : 객체의 위치를 얼마나 정확하게 측정하는지를 나타낸다.
- **Space constraint** : 공간의 특성에 따라 제약 조건이 생기는 정도를 나타낸다.
- **Time** : 실내 측위를 하기 위해 준비되는 시간이나 소모되는 인력을 나타낸다.
- **Effectiveness** : 같은 측위 장소에서 비콘의 개수를 점점 늘려갈 때 얼마나 더 정확한 측위가 가능한지를 나타낸다. 다시 말해 비콘의 개수와 측위의 정확도가 얼마나 비례하는지를 나타낸다.
- **Practicality** : 실제로 실내 측위에 사용될 가능성이 높은지를 나타낸다.

Table 1은 실내 측위 기술들을 중요시되는 조건들에 대해 분석한 표로써, O, △, X 기호는 분석된 실내 측위 기법들 중 상대적으로 좋음, 보통, 나쁨을 의미한다.

cost에서는 필수 장비인 스마트폰이 대부분의 사용자에게 있기 때문에 장비 비용으로는 비콘을 제외하면 거의 들지 않는다. 측위기술 특성상 Proximity는 다른 두 기술에 비해 적은 양의 비콘이 필요하다. Accuracy를 보면 Fingerprinting은 다른 기술에 비해 높은 정확도로 측위가 가능하다. 비콘의 개수가 정확성과 크게 관련이 되어 비콘이 가장 많이 필요하다. 그렇기 때문에 비용은 정확성과 관계가 높다. 높은 정확성을 요구하는 기술일수록 비용이 많이 든다.

Table1. Localization analysis

				time	effectiveness	practicality
				O	X	O
RSSI Based Triangulation	△	△	X	△	O	△
Fingerprinting	X	O	O	X	O	O

Space constraint에서는 실내 공간의 장애물들에 의한 간섭, 반사, 회절, 감쇄 등의 노이즈를 측위를 위한 정보로 활용하는 Fingerprinting이 우수하다. 신호의 세기가 측위 정확도에 크게 영향을 미치는 RSSI Based Triangulation은 장애물이 많은 공간에서는 좋은 측위 결과를 기대하기 힘들다.

Time에서는 미리 fingerprinting map을 구성해야 하는 Fingerprinting이 상대적으로 많은 시간을 필요로 했다. map을 얼마나 잘 구성하느냐에 따라 측위 정확도가 갈리기 때문에 많은 시간이 필요하다. 단순히 오차 범위 이상의 간격으로만 설치해도 문제가 없는 Proximity와는 대조적이다.

Effectiveness에서는 Proximity가 가장 비효율적이다. Proximity는 오차 범위 이상의 설치 간격을 유지해야 잘못된 결과를 예방할 수 있다. 비콘의 개수를 계속 늘려도 오차 범위 보다 작은 간격으로 설치하게 되는 순간부터 정확도가 올라가지 않는다. 반면에 Fingerprinting과 RSSI Based Triangulation은 비콘이 많으면 많을수록 정확도가 높아진다.

Practicality는 각각의 평가를 종합한 결과라고도 볼 수 있다. Proximity의 경우 정확성과 효율성이 떨어지지만 위치를 구분해야 할 대상이 서로 멀리 떨어져 있는 경우에는 활용하기 좋다. 예를 들어 백화점의 코너, 놀이공원의 놀이기구는 각각의 개체가 충분히 멀리 떨어져 있기 때문에 Proximity에 매우 적합하다. RSSI Based Triangulation은 공간의 제약을 크게 받기 때문에 실용성이 떨어진다. 다른 전파에 의한 간섭이 있거나 신호가 벽을 통과해야 하는 경우에는 오차가 아주 심하다. Fingerprinting은 비용도 시간도 상대적으로 많이 필요하지만 공간의 제약 없이 어떤 장소에서도 활용이 가능하고 정확성도 뛰어나 실용성이 높다.

## V. RSSI Experiment

이 장에서는 블루투스 비콘을 이용하여 측정한 RSSI를 분석한다. 먼저 일반적인 RSSI의 특성에 대해 알아본다. 거리, 각도를 변수로 이용하여 실험한 결과를 분석하여 그 특성에 대해 더 자세히 알아본다.

### 1. RSSI Characteristics

관련 연구 결과에 의하면 RSSI로 측정한 거리는 실제 거리와 항상 같지는 않다. 어떤 논문에서는 블루투스의 RSSI는 거

리 측정에 부적합하다고 하고 있고, 반면에 어떤 논문은 아주 적합하다고 말하고 있다. 이전의 블루투스에 기초해 BLE의 RSSI는 다음과 같은 특징을 가진다고 할 수 있다[7].

(1) 단말기와 비콘이 고정되어 있어도 RSSI값은 고정되어 있지 않다. 대신 그 값은 오차는 한정되어 있다.

(2) 단말기와 비콘의 사이를 거리를 점차 늘릴 때, RSSI값과 상관관계가 있다. 단 측정 시에는 단말기와 비콘은 고정된 상태이다.

(3) 단말기와 비콘의 거리가 멀어질수록 오차가 커진다.

(4) RSSI와 거리(d)간의 관계식:

$$RSSI = - ( 10n\log_{10}d + A ) \dots (1)$$

여기서 상수 A, n은 시스템이 사용되는 환경 및 사용 주파수 대역에 따라 결정된다. A, n은 실험을 통해 RSSI와 거리사이의 관계에 따라 합리적으로 부여한다[13].

## 2. RSSI Experiments

RSSI가 측위에 활용할 수 있는지에 대해 판단하기 위해 몇 가지 테스트를 하였다. 먼저 RSSI가 거리와 상관관계가 있는지, 또 RSSI로 도출한 거리 값의 일관성 여부를 알기 위한 실험을 하였다. 두 번째로 더 정확한 거리 값을 얻어낼 수 있는지에 대해 판단하기 위해 측정값을 몇 가지로 분류하여 이론값과 비교해 보았다. 세 번째로 거리에 따른 RSSI의 분포를 나타내는 그래프를 통해 RSSI의 특성을 알아보았다. 네 번째로 단말기의 각도에 따른 RSSI 측정으로 실제 측위의 오차 범위를 예상할 수 있었다. 모든 실험은 비콘과 단말기가 고정된 상태로 기기 간에 물리적 요소없이 RSSI를 측정하였다.

### (1) Correlation between RSSI and distance

RSSI와 거리의 상관관계가 있는지 판단하기 위한 실험이다. 단말기와 비콘의 거리는 k로 하고(k=0,1,2,3...13,14(m)) 고정된 상태로 측정하였다. k의 범위를 14까지 정한 이유는 k가 14를 초과하면 신호가 잘 잡히지 않는 경우가 생기기 때문이다. 각각의 거리에서 30회씩 측정하여 그 평균을 내었다. 거리에 따른 이론적 RSSI값과 거리에 따른 측정된 RSSI의 관계를 비교하여 측위에 사용이 가능한지 여부에 대해 알 수 있다. Fig 7을 보면 k ≤ 6일 때, k가 증가함에 따라 RSSI가 꾸준히 증가함을 볼 수 있다. k > 6이 되면서 거리와의 상관관계가 없어짐을 확인할 수가 있다. 또한 k ≤ 6일 때, 이론적 RSSI값과도 큰 차이가 없다.

**(2) Classified RSSI**

측정된 RSSI를 average, max, minimum으로 분류하여 이론값과 비교하여 거리에 따라 가장 효율이 좋은 방법을 찾고자 하였다. Fig 8을 보면  $k \leq 6$ 일 때, 이론값은 AVG와 MAX에 가장 근접해 있고 MIN은 거리가 있다.  $6 < k \leq 9$ 일 때, AVG에 가장 근접해 있고,  $9 < k$ 일 때, MIN에 가장 근접해 있다. RSSI를 통하여 거리를 측정할 때, 거리가 가까울수록 MAX RSSI가, 거리가 멀수록 MIN RSSI가 가장 이론적 RSSI와 비례한다.

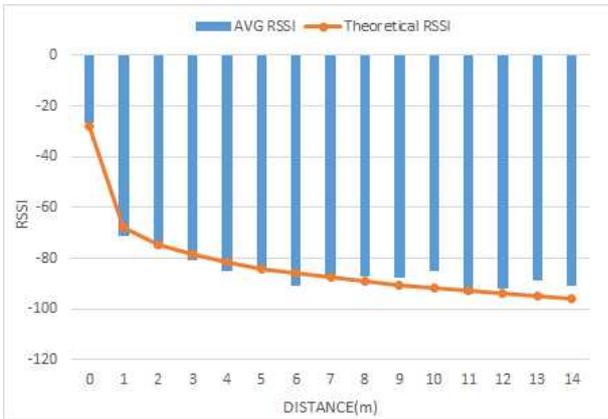


Fig 7. Comparison between average RSSI and theory RSSI on Distance

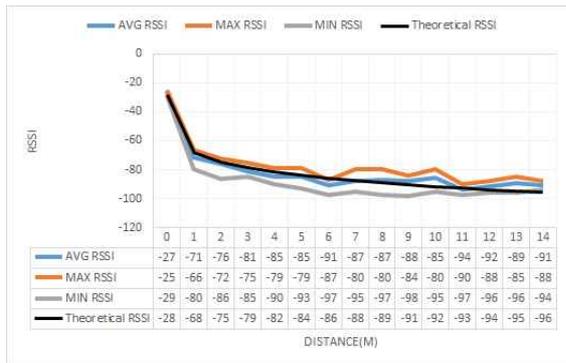


Fig 8. Classified RSSI on Distance

**(3) RSSI dispersion and deviation on distance**

위치에 따른 RSSI의 분산과 편차가 얼마나 큰지 알아보기 위한 실험이다. Fig 9를 보면 각각의 거리에서 측정된 RSSI를 원으로 나타내었다. 원의 크기는 원의 중심이 위치한 RSSI값이 측정된 횟수에 비례한다. Fig 10은 각각의 거리에서 측정된 RSSI의 분산과 표준편차이다. 여기서 분산과 표준편차는 측정된 RSSI의 밀집도를 가리킨다. 값이 낮을수록 밀집도가 높고 높을수록 밀집도가 낮다. 단말기와 비콘의 거리가 멀어질수록 오차가 커지는 RSSI의 특성에 비해 거리와 RSSI의 밀집도는 상관관계를 찾을 수 없었다. 거리가 가까워도 밀집도가 낮은 경우가 있고, 거리가 멀어도 밀집도가 높은 경우가 있었다. 이것은 건물 내부의 지형 또는 다른 전파에 의한 신호의 반사, 회절, 굴절, 간섭 등으로 인한 것이라고 생각할 수 있다.

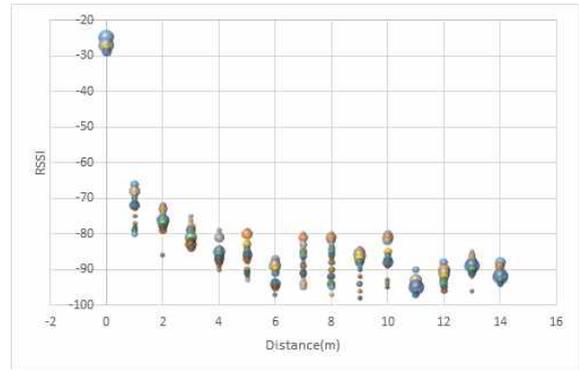


Fig 9. Variance of measured RSSI on Distance

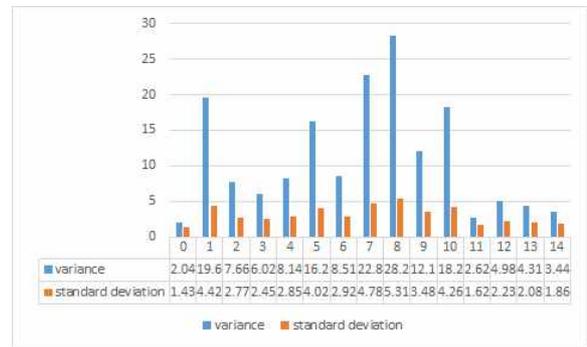


Fig 10. Variance and Standard Deviation on Distance

**(4) RSSI dispersion and deviation on angle**

단말기의 각도는 언제든지 수시로 변할 수 있기 때문에 각도에 따른 RSSI의 변화량이 크다면 거리를 통한 측위에 문제가 생길 수 있다. 단말기의 상태를 눕힌 상태[Fig 11], 세운 상태[Fig 12]로 크게 두 가지로 나누어 45° 단위로 각도를 조정하면서 실험을 진행하였다. 거리는 1m로 고정된 상태로 측정하였고 각각의 각도에서 30회씩 측정하여 평균값을 나타내었다. Fig 13을 보면 각각의 각도마다 측정된 RSSI의 평균이 차이가 남을 알 수 있다. 단말기의 각도가 RSSI에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 모든 값의 평균을 내어보니 이론값 -68에 거의 근접하였다. 실제 측위에서는 단말기가 고정되어 있지 않기 때문에 각도가 계속 변한다. 측정 횟수가 충분히 많아지면 각도에 상관없이 RSSI가 이론값에 근접하게 된다고 볼 수 있다.



Fig 11. LD position



Fig 12. SU position

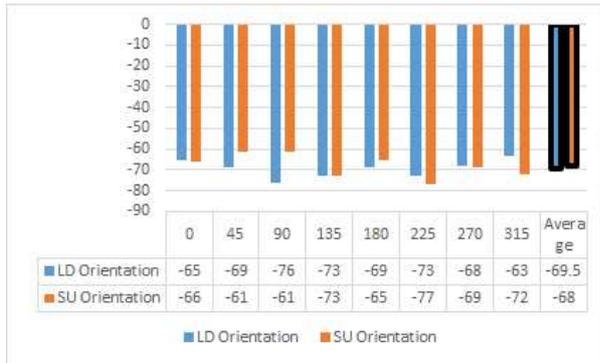


Fig 13. RSSI by angle

### 3. Results

위 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. RSSI가 6m 이하의 가까운 거리에서는 큰 오차 없이 단말기와 비콘 간의 거리를 쉽게 추정할 수 있다. 하지만 그 이상의 거리에서는 거리를 추정하기 쉽지 않다. 신호의 세기는 대체로 가까울수록 최댓값이 멀수록 최솟값이 정확하다. 신호의 오차 범위는 거리와 크게 상관이 없고, 단말기의 각도에 따라 신호의 세기가 변함을 알 수 있다. 이러한 특징들을 통해 RSSI는 여러 조건에 따라 다양한 오차범위가 발생함을 알 수 있다. RSSI의 오차는 측위의 정확도에 직접적인 영향을 미치기 때문에 오차를 최소화할 필요가 있다. 이 실험을 통해 오차범위를 줄이기 위한 알고리즘의 필요성을 강조한다.

## VI. Conclusions

본 논문에서는 Bluetooth를 이용한 실내 측위 기법 중 대표적인 기법들을 Proximity, Triangulation, Fingerprinting로 구분하여 기술하였다. 그리고 그 기법들의 측위 오차를 줄이기 위한 알고리즘을 소개하였다. 각각의 측위기술을 측위에 있어서 중요한 성능을 기준으로 평가하였다. Proximity는 넓은 공간 내에서 띄엄띄엄 위치하는 장소를 구분하기에 좋은 기법이다. 정확한 위치를 측정한다기보다는 어느 장소에 있는지 알려주는 용도에 적합하다. Triangulation은 비콘 간의 거리가 멀어질수록, 장애물이 많을수록 측위 정확도가 급격히 떨어져 정확한 측위가 힘들다. 하지만 조건이 갖춰진다면 적은 수의 비콘으로 효율적인 측위가 가능하다. Fingerprinting은 공간의 특성에 상관없이 어느 곳에서도 사용이 가능하고 정확도도 비교적 높다. 그러나 공간의 크기가 넓을수록 map을 구성하는 사전 비용이 크고, 공간의 구조나 장애물의 배치가 바뀔 때 마다 map을 다시 구성해야 하는 단점이 있다. 이어서 측위기술들의 필수 기술이자 측위 정확도에 큰 영향을 미치는 RSSI에 대해 알아보았다. 몇 가지 실험을 통해 RSSI의 특성을 자세히 알 수 있었다.

실내 측위에 있어서 가장 중요한 RSSI의 특성은 오차 범위가 굉장히 크다는 점이다. 전파의 간섭, 장애물에 의한 반사, 회절 등 오차가 생기는 원인이 다양하다. RSSI를 통한 거리 추정은 오차가 상대적으로 적은 6m 이하의 짧은 거리 내에서 활용도가 높다. 그 이상의 거리는 정확한 거리 측정이 힘들지만 상황에 맞는 알고리즘을 적절히 활용하면 오차를 줄일 수 있다.

현재로서는 한 가지 측위 기술로 다양한 조건에 맞는 실내 측위를 하기는 어렵다. 측위 장소의 환경과 측위 기법의 다양한 특성들을 고려하여 여러 기법들과 적절한 알고리즘을 융합하여 사용하여야 효과적인 측위를 할 수 있다.

## REFERENCES

- [1] doopedia
- [2] Jungmin Joo, HyungJin Na, "A Study of Research Trend about Internet of Things"
- [3] terms.naver.com, Bluetooth Low Energy
- [4] unjie Liu, Survey of Wireless Based Indoor Localization Technologies"
- [5] H. Hashemi. The indoor radio propagation channel. In Proceedings of the IEEE, volume 81, pages 943-968, July 1993.
- [6] Dr. A. Wombacher, MSc. B.J. Dil ,Prof. dr. P.J.M. Havinga, "Practical Indoor Localization using Bluetooth"
- [7] Kimmo Kalliola, Quuppa Oy, "Locating Anything Anywhere" March 26, 2013
- [8] Cheoljin Choi, "3D Indoor localization tech using Bluetooth low energy"
- [9] Sungwook Choi, Hyunsoo Park, Sunghan Lee, Minhyun Son, Yonghyun Koo, Kyungsoon Park, Taeseok Kim. "An indoor location recognition scheme combining the triangulation method and fingerprinting"
- [10] J.A.B. Link, P. Smith, N. Viol, K. Wehrle, "FootPath : Accurate map-based indoor navigation using smartphones," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011
- [11] Han Jiawei, Jian Pei and Micheline Kamber (2012). 《Data Mining: Concepts and Tech-niques》. Morgan Kaufmann. 451p.
- [12] Erik Dahlgren, Hasan Mahmood, "Evaluation of indoor positioning based on Bluetooth Smart technology" June 2014
- [13] Junghwan Kim, "Indoor localization service system

design and implementation using Bluetooth 4.0”

### Authors



Yang-Su Kim is expected to receive the B.S. degree in Media Software from Sangmyung University, Seoul, Korea in 2016.

He is interested in machine learning, Human Computer Interaction and Internet of Things.



Beakcheol Jang received the B.S. degree from Yonsei University in 2001, the M.S. degree from Korea Advanced Institute of Science and Technology in 2002, and the Ph.D. degree from North Carolina State University in 2009, all in

Computer Science. Dr. Jang joined the faculty member of the department of Media software at Sangmyung University, Seoul, Korea, in 2012. He is currently an assistant professor in the Department of Media Software, Sangmyung Univerisy. He is interested in wireless networking with an emphasis on ad hoc networking, wireless local area networks, and mobile network technologies.