

An Analysis of Indoor Positioning Technologies using Wireless Signals

Min-Seok Choi*, Beakcheol Jang**

Abstract

In this paper, we present indoor positioning technologies using the wireless signal categorizing them into triangulation based, fingerprinting based, and cell ID based technologies. We describe several representative techniques for each of them emphasizing their strengths and weaknesses. We define important performance issues for indoor positioning technologies and analyze recent technologies according to the performance issues. We believe that this paper provide wise view and necessary information for recent indoor positioning technologies using wireless signals.

▶ Keyword : Localization technology, GPS, Wireless signal, Triangulation, Fingerprinting, Cell ID

1. Introduction

최근 사람들이 편리하게 사용하는 내비게이션과 같은 목적지까지의 길을 안내해주는 길 찾기 애플리케이션의 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 기업들은 보다 정확도 높은 서비스를 제공하고자 GPS 방법을 사용한 실외 길 찾기 뿐 아니라 실내에서도 길 안내를 할 수 있는 실내 위치 기반 서비스에 초점을 맞추고 있다. 길 찾기 서비스에서 가장 중요시 되는 위치정보 파악 기술은 GPS 방법을 기본적으로 사용하고 있다. 위치정보란 위치정보의 보호 및 이용 등에 관한 법률 제2조에 의한 “이동성이 있는 물건 또는 개인이 특정한 시간에 존재하거나 존재했던 장소에 관한 정보로서 전기통신설비 및 전기통신회선설비를 이용하여 수집한 것”을 의미하는 것으로 물건 및 개인에 대한 위치정보의 수집, 제공 및 이용 등과 연계된 위치정보 기반의 서비스를 말한다 [1]. 하지만, GPS는 인공위성에서 송신되는 신호를 바탕으로 수신되는 단말의 위치를 파악하는 기술로써 실내에서는 인공위성의 신호를 수신하기에는 장애 요소가 많기에 부적절한 방법이다. 이러한 장애 요소를 극복할 수 있게 실

내에 설치되어 있는 Wifi의 AP 또는 블루투스과 같은 무선신호를 통하여 실내에 있는 사람의 위치를 파악하는 기술에 관심이 높아지고 있다 [2]. Wifi와 스마트폰의 보급화로 단말을 이용한 Wifi 기반 실내 측위 기술 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히, 요즘 Apple에서 블루투스 신호를 활용하여 개발한 iBeacon으로 블루투스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. iBeacon은 Bluetooth LE 기반으로 송신기를 이용하여 사용자의 위치정보를 측정하는 기술이다. 이러한 기술로 실내에서 사용자의 상대적인 위치 측정이 가능하며 최소 수십 cm 최대 49m의 인식률로 측정할 수 있다 [3]. 이 외에도 LED, UWB(Ultra-Wideband) 등의 다양한 무선통신 기반 측위기술이 연구개발 중이다. 그러나 실내 위치 기반 서비스를 제공하기에 실내 공간의 구조가 복잡하고, 사람 및 장애물의 유동성이 높기 때문에 무선통신 환경 또한 매우 유동적인 특성을 갖는다. 불안정한 환경은 무선통신 기반 위치측위의 정확도에 큰 영향을 주는 요인이기 때문에 정확도를 높이기 위한 다양한 기반별 기술들의 연구가 진행되고 있다 [4]. 이렇듯 실내 측위 기술의

• First Author: Min-Seok Choi, Corresponding Author: Beakcheol Jang
*Min-Seok Choi(cmspizz@hanmail.net), Dept. of Computer Science, Sangmyung University
**Beakcheol Jang (bjang@smu.ac.kr), Dept. of Media Software, Sangmyung University
• Received: 2016. 05. 15, Revised: 2016. 05. 31, Accepted: 2016. 06. 07.
• This work was supported by Sangmyung University Research Grant.

정확도를 높이기 위한 다양한 기술들을 크게 세 가지의 기반 기술로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 무선통신을 사용한 실내 위치 측위 기술을 삼각측량법, Fingerprinting, Cell-ID 기반 세 가지의 기반 기술로 분류하여 각각의 대표 연구들의 기술, 장점과 단점을 살펴봄으로써 현재 실내 위치 측위 기술을 파악하고자 한다. 이후 차세대 무선통신을 사용한 실내 위치 측위 기술을 전망을 살펴본다.

II. Positioning technology

1. Triangulation based Positioning Technology

현재 위치인식 기술 중에서 가장 널리 사용하는 GPS의 기본 원리인 삼각측량법은 어떤 한 점의 좌표와 거리를 삼각형의 성질을 이용하여 알아내는 방법이다. 최소 세 개 기준점의 좌표를 바탕으로 사인, 코사인, 피타고라스의 정리를 이용하여 일련의 계산을 수행한다. 이러한 계산으로 원하는 위치의 좌표 및 거리를 알아내는 방법이다 [5-6].

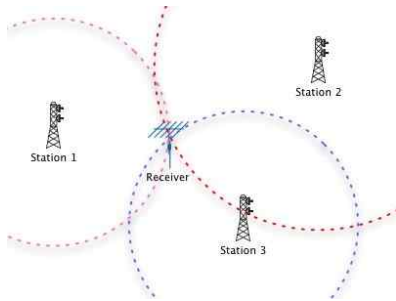


Fig. 1. System Architecture

그림 1은 삼각측량법을 나타낸 그림으로써, 정확한 위치를 알고 있는 3개 지점에서부터 사용자의 위치까지의 거리를 구한 뒤, 각 지점을 중심으로 사용자 위치까지의 거리를 반지름으로 하는 3개의 원을 그리면 3개의 원은 한 점에서 만나게 된다. 그 원들이 만나는 지점이 사용자의 위치가 되는 것이다.

삼각측량법을 수식으로 설명하면 기준점을 Station1, Station2, Station3라고 하고, 각 Station의 좌표를 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 으로 한다. 이동하는 개체를 M으로 나타내고, 현재의 위치가 (x, y) , 이동 개체 M으로부터 세 개의 기준점까지의 거리를 d_1, d_2, d_3 으로 한다. 이 때 이동 개체 M로부터 각 기준점 사이의 거리는 피타고라스 정리에 의해 간단히 계산될 수 있다.

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2$$

여기서 d_1, d_2, d_3 의 값은 RSSI(Received Signal Strength

Indicator) 값을 이용해서 구할 수 있다.

수신 신호 세기를 이용하는 경우 이동 개체로부터 기준점 사이의 거리는 Friis의 공식을 통해 구할 수 있다.

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) [dB]$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}}$$

여기서 λ 는 전파의 파장을 나타내며 거리 d와 동일한 단위를 사용한다. c는 전파 속도이며 f는 주파수를 나타낸다. 이 식을 통해 나온 값을 처음 피타고라스 정리에 의한 식에 대입하면 이동 개체의 현재 위치인 (x, y) 의 좌표값을 구할 수 있게 된다. 그러나 삼각측량법은 신호 감쇠값만으로는 정확한 거리 측정이 어려우며, 가구나 벽, 문과 같은 장애물이 많은 실내 공간에서는 사용하기 어렵다는 단점을 가진다.

1.1 Positioning with Bluetooth [7]

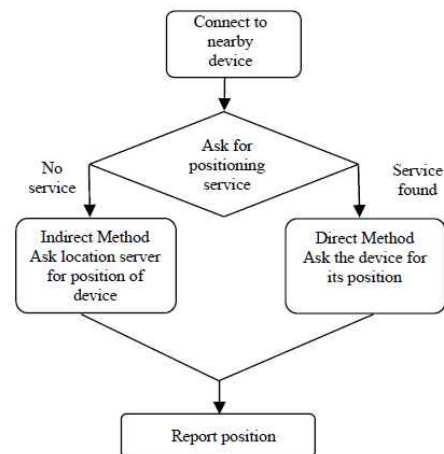


Fig. 2. Flowchart for positioning task

2003년 Lulea 대학의 연구진이 발표한 논문인 Positioning with Bluetooth는 무선신호를 기반으로 블루투스 장치에 위치 로컬 서버가 고유 주소를 받아와 데이터베이스에 저장하고 각각의 블루투스 장치의 위치를 찾는 방법이다. 삼각측량법을 기반으로 위치 시스템에서 가장 널리 사용하는 위치 측정인 TOA(Time of Arrival)방식을 사용하였다. 특히 위치 결정 작업에 블루투스 장치가 위치 결정 작업을 처리하도록 프로그래밍 한 직접적인 방법, 그리고 프로그래밍이 필요하지 않은 간접 방법을 사용한다. 그림 2는 위치 결정 작업의 순서도를 보여준다. 클라이언트는 블루투스 장치에 위치 서비스 제공을 요구하게 되면, 블루투스 장치는 이 요청에 응답하면 클라이언트의 위치를 검색하기 위해 해당 서비스에 접속한다. 하지만 블루투스 장치가 클라이언트 요청에 응답하지 못하게 되면 클라이언트는 다시 간접적인 방법으로 요청하게 되어 로컬 위치 서버에 클라이언트 무선 단말 장치의 고유 주소를 송신하고 데이터베이스에 위치를 조회하도록 한다. 또한 이 데이터베이스의 서버

는 위치 서버에 호출되는 로컬 또는 네트워크상의 다른 컴퓨터에서 실행 할 수 있다. 이러한 방법으로 대부분의 위치 소스의 블루투스 장치를 사용하여 이동성 측면을 저하시키지 않고, 특수한 하드웨어 필요 없이 위치를 검색할 수 있다.

이러한 Positioning with Bluetooth의 장점으로는 블루투스를 기반으로 실내 위치 측위를 하기 때문에 보안 기능, 인증 및 링크의 암호화로 통합되어 보안에 높은 안정성을 제공한다. 또한, 서비스 검색 및 블루투스를 통해 위치 작업을 수행할 수 있도록 설계되어 있기 때문에 자동화를 만들기 쉽다. 마지막으로 클라이언트의 위치 소스를 이동시키지 않고 위치 검색을 한 실험에서 평균 5.3초의 시간으로 실내 위치를 측정하였으며, 5.3초를 넘어가는 경우 클라이언트와 다른 장치로의 연결을 진행하여 위치를 측정하는데 16.7초 이상을 넘지 않고, 오차 역시 평균 1.7m를 확인하였다.

반면, 단점으로는 블루투스의 특성상 블루투스 장치의 전력 등급에 따라 10m에서 100m까지의 전형적인 범위를 갖기 때문에 실내 공간의 범위에 민감하다. 또한 블루투스는 제한적인 전력을 갖고 있어 최저 전력 소비를 위해 연결에 남은 송신 전력을 협상할 가능성이 있지만 여전히 소비전력은 문제로 남고 있다. 또한 삼각측량법만의 실내 위치 측위는 수신 신호의 강도 및 다양한 장애물에 영향을 받기 때문에 다른 기술과의 융합으로 보다 더 정확도를 높일 수 있다.

1.2 Bluetooth Triangulator [8]

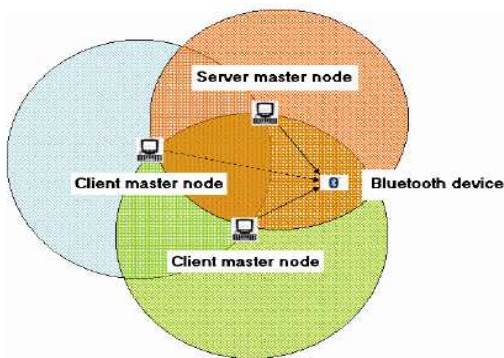


Fig. 2. Diagram illustrating master node layout

Bluetooth Triangulator는 미국 캘리포니아 주 샌디에고 대학 연구진이 발표한 논문으로 블루투스 삼각 측량을 동적으로 측정하여 블루투스 장치 주변 거리를 보고할 수 있는 시스템에 대한 논문이다. 특히, 블루투스 장치가 서로 통신 및 신호 세기 측정을 이용하여 다른 블루투스 장치의 위치를 결정하도록 허용하는 하드웨어 및 소프트웨어 디자인을 조합한 실험에 대해서 설명하고 있다. 실제 설치하는 그림 3과 같이 3개의 마스터 노드로 구성되고, slave 모바일 장치로부터 각각의 RSSI 값을 측정한다. 3개의 마스터 노드 중 하나는 두 개의 클라이언트 마스터 노드에서 측정값을 수집하는 서버 역할을 한다. 또한 모든

마스터 노드는 블루투스 라이브러리와 유틸리티의 BlueZ 패키지에 의존하고 있다. 서버 마스터 노드로 메시지 패킷을 전송하기 전에 클라이언트 마스터 노드는 각 발견된 블루투스 장치로부터의 RSSI 값을 네 번 반복 수집한다. 그리고 slave는 메시지 패킷 팩 및 추가 처리를 위해 호스트로 보낸다. 서버 마스터 노드는 두 개의 클라이언트 마스터 노드에서 수신 메시지 패킷을 기다리는 동안 발견 할 수 있는 모든 장치에 대한 RSSI 판독을 수행한다. 수신 패킷을 수신하면, 서버 노드는 정보를 처리하고 이를 이미 알고 있는 장치에서 일치하는 RSSI 측정값을 찾는다. 세 개의 마스터 노드에서 RSSI를 판독하는 장치의 경우, 서버는 모바일 장치까지의 대략의 거리 계산을 진행한다. 각 마스터 노드는 검색 결과로 수집하는 장치를 검색하여 연결하고, RSSI 판독 결과와 중복되는 값을 얻을 수 있었다. 클라이언트 마스터 노드의 경우, 이 정보를 압축하고, 처리를 위해 서버 마스터 노드로 전송한다. 이 후 서버 마스터 노드에 의해 수신된 정보를 처리하고, 거리가 일반적인 블루투스 기기를 유추한다.

Bluetooth Triangulator의 장점은 블루투스의 라이브러리와 BlueZ 유틸리티 패키지를 사용하여 구현하였기 때문에, 다른 측위 방법보다 구현에 용이한 장점이 있다. 또한 다수의 샘플링 포인트의 변동을 정규화시켜 RSSI 값을 읽을 때마다 메시지 패킷을 보내는 대신에 하나의 패킷으로 다수의 RSSI 값을 측정함으로써 장치들의 네트워크 오버 헤드를 줄이는 방법이다. 또한, 삼각 측량 방식으로 좌표 거리를 예측한 결과 5~10피트 내 90%의 정확도를 확인하였다.

이러한 장점과는 달리 Bluez 패키지에 의존하는 방법이므로 유틸리티의 버전에 따라 구현 방법과 성능이 달라지는 치명적인 단점이 있다. 또한, 현재 제안된 방법은 Bluez(3.3.7)의 최신 버전이 아닌 이전 버전인 (2.2.5) 버전을 채택하여 구현하였다. 또한, RSSI를 판독하기 위하여 HCL_Inquiry 명령을 지원하지 않는 가격이 비싼 D-Link 동글을 사용하여야한다. 마지막으로 정확도 실험이 원점으로부터의 좌표 거리를 예측하는 실험을 진행하여 실제와 같은 장애물이 존재하는 환경에서 3개 이상의 마스터 노드를 설치하여 좌표 거리를 예측하는 실험이 추가로 진행될 필요성이 있다.

2. Fingerprint based Positioning Technology

Fingerprint 방식은 확률론적 모델링에 의한 위치 추정 방법으로 특정 위치에서 수신되는 신호를 기록한 데이터들을 모아 주변 신호와 비교하여 비슷한 값을 가지는 위치를 나타내는 방법이다. 기록되는 데이터는 AP의 고유번호, 수신 신호 세기 등이 있다. Fingerprint 방식에서 위치 추정을 시작하기 전 이러한 데이터들을 기반으로 데이터베이스를 구성하는 Training 단계를 수행해야 한다. 즉, 측정하고자하는 지역에 다수의 포인트를 설정하고 설정된 포인트에서 수신되는 RSSI 값을 데이터베이스화하여 저장하는 단계이다. Training 단계를 거쳐 측위를 수행하는 단계에서는 AP들로부터 수신된 전파의 특성을 데이

터베이스 검색을 통해 최적의 위치값으로 단말의 위치 정보를 제공한다. 이 방법에서 얻을 수 있는 위치정확도는 데이터베이스에 저장된 AP의 지점 간격과 밀접한 관련이 있다. 즉, 데이터베이스가 좁은 간격으로 구축된 경우에는 그만큼의 정밀한 위치정확도를 얻을 수 있는 반면, 넓은 간격으로 구축된 데이터베이스를 사용하면 위치정확도도 낮아지게 되는 문제점이 있다 [9-10]. 하지만, 다른 방식들과 달리 주위의 환경정보를 측위에 사용하므로 정확한 위치 해를 제공할 수 있는 장점이 있다. 그러나 모든 샘플 포인트에서 다양한 전파 특성값을 추출하는 과정의 번거로움과 환경이 변화할 때마다 다시 training 과정을 수행해야 하는 어려움이 있다. 이동 개체의 위치 추정을 위한 데이터베이스 검색의 복잡성은 시스템의 성능을 제한하는 요인이 될 수 있으며 데이터베이스 제작 시에 모델링되지 않은 상황에 의해 정확도가 떨어질 수도 있다 [11].

2.1 Fingerprinting Bayesian Algorithm for Indoor Location Determination [12]

Fingerprinting 방식의 정확도를 높이기 위해 Bayesian 알고리즘을 사용하여 제안한 이 방법은 2010년 목포대학교 연구진이 발표하였다. 이 방법은 Fingerprinting 기법으로 수집된 신호 강도의 데이터를 베이지안 학습의 사후 확률 분포를 이용한 나이브 베이지안 분류기(NBC)를 사용하여 객관적인 퍼지 군집화의 유사도 행렬을 구하여 실내 측위를 추정하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 크게 3가지 단계로 진행된다.

1. 학습 데이터의 수집 : 실시간 측정 단계에서 실측하여 얻은 AP들의 신호 강도들을 m개의 후보지점으로 만들어 데이터를 수집한다.
2. 후보지점에 대한 분포 : m개의 후보지점에 대한 신호강도들의 평균과 표준편차를 계산한다. m개의 후보지점에 대한 각각의 평균과 분산을 이용하여 사후확률 분포로 사용할 가우시안 분포의 모수를 결정한다.
3. NBC를 이용한 후보지점 결정 : I번째 후보지점의 신호 강도 데이터 수를 후보지점에 속한 신호 강도 데이터 수들의 총합으로 나누어 계산한 다음 후보지점에 대한 각각의 평균과 분산을 이용하여 최종 군집화를 위한 NBC의 사후 확률분포를 구한다.

위의 3단계의 과정을 거쳐서 최종적으로 신호 강도 데이터 x는 후보지점들 중에서 사후확률이 가장 큰 후보지점을 할당하는 방식이다.

이 기술의 장점은 샘플의 수가 적은 경우 Fingerprinting 알고리즘에서 널리 사용되고 있는 1-NN방법, 신경망 방법보다 정확도가 높으며, 일부 셀에서만 신호 데이터를 수집하고 보간법을 사용하여 다른 셀에 대한 신호 정보를 생성하는 방법으로 Training 단계에서의 효율성을 높일 수 있다.

단점으로는 샘플의 수가 증가할수록 기존 Fingerprinting 알고리즘과의 정확도 차이가 없으며, 샘플의 수가 50개가 넘어서는 기존 알고리즘의 비해 정확도가 떨어짐을 확인하였다. 또한,

실내 건물 한 층에 AP3대로의 정확도 비교 실험으로 신뢰성 있는 실험으로 보기 힘든 단점이 있다.

2.2 Design and Implementation of Path Loss Model Based on Reliability for Efficient Fingerprinting [13]

이 시스템은 Log-distance 경로 손실 모델을 적용하여 사전에 수집해야할 정보를 줄이고, 각 경로 손실 모델에서 거리에 따른 신뢰도를 부여하여 정확도를 보장할 수 있도록 한다. 또한 미리 생성한 신호 세기 정보를 가지고 위치를 추정할 때 각 Cell의 신호 세기 정보와의 차이를 기준으로 Grade를 부여하여, 이를 통해 위치를 추정하는 방법이다.

1. Training 과정 : 사전 측정을 통해서 얻은 정보를 이용하여 데이터베이스를 구축하는 단계로 먼저 서비스 지역을 1m의 격자로 구분을 한다.

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

위의 식은 실제 경로 손실 모델의 Log-distance 방식으로 여기서 d는 AP와 Cell의 거리, $PL(d)$ 는 d만큼의 거리에서의 경로 손실을 나타낸다. $PL(d_0)$ 는 기준거리에서의 경로 손실을 의미하고, n은 환경변수를 나타낸다. 이 식을 통하여 먼저 AP를 기준으로 모든 격자에 대한 경로 손실 모델을 적용한다. 이때 참조위치에서 실제 측정된 RSSI값과 경로 손실 모델을 통해 예측된 RSSI값을 비교하여 그 오차를 다른 격자의 경로 손실 모델을 통해 예측된 값에 적용한다. 이러한 과정을 통해 생성된 경로 손실 모델 신뢰도를 반영하여 가중 평균을 이용하여 각 격자에 대한 RSSI 값을 Mapping한다.

2. Positioning 과정 : Training 과정에서 생성된 Map을 이용하여 실제로 사용자의 위치를 추정한다. 사용자가 특정 위치에서 신호세기를 스캔할 경우 사용자의 위치와 데이터베이스의 정보를 비교하여 위치를 결정하게 된다. 위치를 추정할 때에는 Euclidean Distance 방식을 사용하여 위치를 추정한다.

$$D_i = \sqrt{(RSSI_1 - RSSI'_1)^2 + (RSSI_2 - RSSI'_2)^2 + \dots + (RSSI_N - RSSI'_N)^2}$$

여기서 $RSSI'_1$ 는 데이터베이스에 저장된 I번째 Cell의 N번째 AP의 신호세기, $RSSI'_N$ 는 측정된 I번째 Cell의 N번째 AP에 대한 신호세기이다. 즉, 모든 Cell에 대한 D(Distance)를 구하여 그 가장 작은 D값을 갖는 Cell이 현재 위치로 결정된다.

이러한 시스템의 장점은 별도의 추가적인 설비 없이 기존보다 적은 참조위치의 수를 사용한다. 또한, Log-distance 경로 손실 모델을 적용하여 사전에 수집해야할 정보를 줄이고, 각 경로 손실 모델에서 거리에 따른 신뢰도를 부여하여 정확도를 보장한다. 마지막으로, Fingerprinting의 대표적인 방법인 RADAR 방식과의 평균 오차 비교 결과 RADAR는 평균 6.5m의 오차인 반면, 제안한 방법은 평균 3.6m의 오차로 RADAR 방식보다 정확도를 약 40% 감소시켰다.

하지만 단점으로는 참조위치에서의 신호세기를 실제로 측정하여 측정된 값과 경로 손실 모델을 통해 예측된 값을 비교하며 진행되는 방식으로 환경 변화 요소에 크게 민감하다. 참조위

치에서의 신호세기를 측정된 뒤 실내 사람이나 장애물과 같은 요소의 이동에 따라 측정된 신호세기와는 다른 신호세기가 측정될 수 있기 때문이다. 또한, Fingerprinting 기법에서 대표적으로 사용되는 RADAR 시스템과의 비교평가를 하여 정확도 측면을 일반화하기 어려운 점이 있다.

3. Cell ID based Positioning Technology

Cell ID는 무선통신망 내 기지국마다 할당된 고유 번호로서 단말이 접속해있는 기지국의 위치를 단말의 위치로 판단하는 기술이다. 이 기술은 구현이 단순하고 별도의 비용이 들지 않으며 위치 정보를 신속히 얻을 수 있지만, AP 혹은 기지국의 통신가능 영역의 크기가 클수록 단말의 위치 가능 영역이 넓어지기 때문에 정확도가 낮아지고, 셀의 밀도가 높아질수록 구현이 어려워지고, 구축 및 관리 비용도 커지는 단점이 있다. 이 방식은 단말의 이동 경로와 같이 관심의 대상이 되는 주요 지점만을 골라서 이동 개체의 존재 여부를 확인하는 경우에 적합한 기술이다.

3.1 Positioning Mechanism Using GPS and Pico-cell ID Access Probability [14]

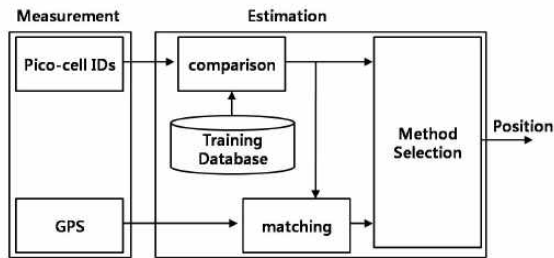


Fig. 5. On-line position estimation method in step

Fingerprint방식의 측위 방법을 응용하여 Training 단계와 On-line 단계를 통해 Pico-Cell ID 기반의 측위 방법과 GPS기반 측위 방법을 결합한 모델이다. GPS를 활용하여 측위를 측정시 좌표간의 오차가 Pico-Cell의 통신영역보다 클 경우 Cell-ID 기반 측위 방법으로 얻어진 좌표값을 적용하는 선택 알고리즘을 사용한다.

1. Training 단계 : 각 참조위치에서의 단말의 접속 확률을 여러 번 스캔하고, 각 참조위치 별 접속확률과 정확한 좌표를 데이터베이스에 저장한다.
2. On-line 단계 : 그림 5와 같이 On-line 단계에서는 단말의 위치를 추정하기 위한 과정으로 좌표 측정 및 비교, 매칭, 방법 선택 알고리즘으로 구성된다.

비교 알고리즘은 단말의 스캔으로 얻은 값과 Cell-ID를 비교하여 예상되는 참조 위치를 후보로 정한 뒤, 후보들의 좌표와 데이터베이스에 저장된 각 Pico-Cell 셀별 접속확률을 이용하여 단말의 예상 위치를 계산하는 과정이다. 이후 매칭 알고리

즘을 사용하여 측정된 좌표와 GPS로 수신한 좌표 값의 차이를 계산하여 어느 좌표가 더 정확도가 높은 좌표인지 구분한다. 마지막으로 방법 선택 알고리즘을 사용하여 Pico-Cell 통신가능영역을 설정하고 매칭 알고리즘을 통해 얻은 차이와 Pico-Cell 통신가능영역을 비교하여 두 방법 간 차이가 작은 경우 GPS 기반 위치 좌표를 단말의 최종 예측 위치로 결정한다. 또한 Pico-Cell 통신가능영역이 두 방법 간 차이 보다 작은 경우 비교 알고리즘을 통해 얻은 단말의 예측 위치 좌표를 최종 예측 위치로 결정하는 방식이다.

이 방식의 장점으로는 다른 실내 측위 방법에 비해 저렴하고 구현이 용이하다. 또한, 순간 측위 에러, 최대 측위 에러, 에러의 누적 상대 빈도, 오차율 면에서 제안한 알고리즘이 기존 GPS, Cell-ID, RSSI를 이용한 Fingerprint 방법보다 성능이 높다. 특히 평균 측위 에러가 평균 7.74로 기존 실내 측위 방법의 12.21m, 17.78m 보다 개선되었다.

장점과 달리 단점으로는 실내 측위에서 정확도가 현저히 낮은 GPS를 기반으로 하는 방식이다. 실내에서 GPS 방식의 정확도를 높이고자 비교, 매칭, 방법 선택 알고리즘을 사용하였지만, GPS에서 수신된 신호가 아닌 RSSI 혹은 Fingerprint 방식으로 나온 좌표 값과의 비교, 매칭 알고리즘을 사용하면 보다 더 정확도 높은 결과가 나올 것이라 전망된다.

3.2 Implementation of Zone-based Indoor Location Tracking System using Bluetooth [15]

이 논문에서는 블루투스 AP와 스마트폰을 이용한 영역기반 실내위치 추적 시스템을 제안한다. 정확한 위치가 아닌 구역별 인식의 응용에 적합하도록 관심 영역에 블루투스 AP를 설치하고 이동자는 스마트폰의 기본 기능인 블루투스를 활용하여 별도의 장치를 추가하지 않고 위치정보를 전송한다. 제안한 방법은 블루투스 AP와 스마트폰을 연결하지 않고 검색만을 수행하여 이동자 주변 AP에서 보내오는 신호의 신호세기를 3G Wifi를 통해 서버로 보내서 어느 구역에 있는지 확인한다.

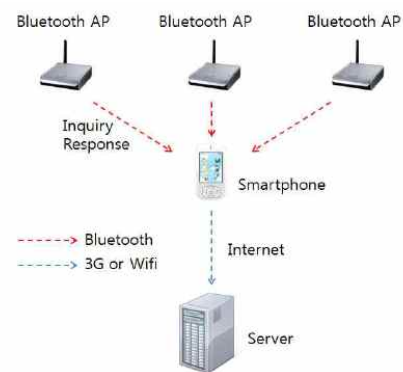


Fig. 5. System Configuration

일반적인 블루투스 동작은 마스터와 슬레이브로 구성된다.

Table 1. Analysis Positioning technology Table

Base	Triangulation		Fingerprinting		Cell-ID	
Technical Representative	Positioning with Bluetooth	Bluetooth Triangulator	실내 측위 결정을 위한 Fingerprinting Bayesian 알고리즘	효율적인 Fingerprinting을 위한 신뢰도 기반의 경로 손실모델 설계와 구현	GPS와 Pico-cell ID접속 확률을 이용한 위치 추정 방법	블루투스를 이용한 영역기반 실내 위치 추적 시스템 구현
Communication Range	Average	Average	Average	Average	Qualified	Average
Power Consumption	Unqualified	Unqualified	Qualified	Average	Average	Qualified
Accuracy	Average	Average	Qualified	Qualified	Average	Average
Ease of Implementation	Average	Qualified	Average	Average	Qualified	Qualified
Additional device	Qualified	Average	Qualified	Qualified	Average	Qualified

Qualified: 좋음, Average: 중간, Unqualified: 나쁨

슬레이브는 탐색대기 상태에서 마스터의 탐색에 응답을 하고, 상호연결이 되면 데이터를 전송한다. 탐색응답에서는 설정된 슬레이브의 장치이름과 MAC 주소를 전송하는데, 본 논문에서는 실내에 설치되는 고정 블루투스 AP는 슬레이브로 동작하고, 사용자가 휴대한 스마트폰을 마스터 기능으로 하여 탐색응답 정보를 이용하여 위치 추적 시스템을 구성하였다. 고정 블루투스 AP에서 inquiry를 한다면 이동 대상을 검색하여 맵을 만들기가 쉽다. 그러나 이동 대상의 블루투스 장치가 스마트폰일 경우 제약이 있다. 보안과 전력소모 문제로 사용자가 기능 활성을 매번 실행시켜야 하고, 검색 가능한 정보를 120초만 보내고 discoverable 상태를 자동으로 해지하기 때문이다. 스마트폰은 고정 블루투스 AP의 MAC 주소와 수신 신호 강도를 확인하여 가까운 고정 AP의 MAC 주소를 3G 혹은 Wifi를 통해 서버로 전송한다. 서버에서는 정보를 저장하여 사용자의 위치와 이동 동선을 파악한다.

이 기술의 장점은 스마트폰의 블루투스 기능을 활용하기 때문에 별도의 장치를 추가하지 않고 위치를 파악할 수 있다. 고정 블루투스 AP에서 검색을 하지 않고 스마트폰에서 고정 블루투스 AP로 검색함으로써 기능 활성을 매번 실행시키지 않을 수 있다. 또한, 블루투스 AP와 스마트폰을 연결하지 않고 검색만을 수행하여 사용자 주변 블루투스 AP에서 보내오는 신호의 세기를 통해 실내 측위가 가능하게 된다. 이는 보안과 전력소모의 제약을 효율적으로 감소시킬 수 있다.

하지만 단점으로는 블루투스를 활용하여 실내 위치인식을 하는 방법으로 블루투스는 실내의 사람, 장애물의 영향을 받아 신호세기가 일정하지 못하는 단점이 있다. 이러한 블루투스를 연결하지 않고 검색만을 통해 실내 위치인식을 한다면 스마트폰을 소지한 사용자가 장애물이 많은 지역 또는 고정 블루투스 AP가 설치된 곳을 빠른 속도로 지나갈 시 정확한 측정에 한계가 있다.

III. Analysis

본 장에서는 먼저 실내 측위 기술에 대한 중요한 성능 이슈들을 정의하고, 앞서 소개한 기술들을 제시된 성능 이슈에 따라 분석한다. 중요하게 고려되는 성능 이슈에는 통신범위, 소비전력, 구현 용이성, 정확도, 추가장치 유/무 등이 있다.

- **통신범위:** 실내 측위 기술의 성능을 평가할 때 고려사항 중 하나인 통신범위는 실내 측위 시 측위 가능한 거리를 나타낸 것이다. 건물 내에서의 측정이므로 cm~m까지 평균적으로 정확도 높은 통신 범위에 대해서 평가를 한다.
- **소비전력:** 블루투스 및 Wifi의 무선통신을 사용하여 실내 측위 시 사용되는 단말 및 AP에서 사용되는 전력을 뜻한다. AP의 거리가 멀수록, 장애물이 많을수록 소비전력은 높아지며, 이러한 소비전력은 곧 전원 및 수명으로 연결되므로 소비전력은 중요이슈 중 하나이다.
- **구현 용이성:** 구현이 어려울수록 비용이 높아지며, 유지보수에 힘든 단점이 있다. 이러한 구현의 용이성을 평가함으로써 보다 쉽고 빠르게 정확도 높은 실내 위치 측위를 할 수 있는지를 판단하는 사항이다.
- **정확도:** 실내 측위 기술 평가 시 가장 중요한 이슈이며, 정확도를 높이기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 또한 GPS로는 정확도 낮은 실내 측위가 되기 때문에 블루투스, Wifi 등과 같은 무선통신 기술을 기반으로 한 기술들에 대한 연구가 진행 중이다. 실내의 사람의 이동, 장애물의 유무에 따라 정확도에 영향을 받으므로 이를 최대한 극복하여 높은 정확도를 구현했는지를 판단하는 사항이다.
- **추가장치 유/무:** 건물 내에 추가적인 장치를 부착하는 것은 건물 관리 측면에서 예민한 사항일 수밖에 없다. 따라서 실내 측위 시 추가 장치가 있는 경우와 추가 장치가 없는 경우

는 중요한 고려사항이다. 특히, 추가 장치의 유/무는 비용과 사용자의 편리성 등에 영향을 준다.

표 1 은 각 대표적인 기술들을 성능이슈 항목들에 대해 분석한 표로써 Qualified, Average, Unqualified로 각각 좋음, 중간, 나쁨을 나타낸다. 먼저 삼각측량의 대표연구인 Positioning with Bluetooth와 Bluetooth Triangulator는 블루투스를 사용하여 삼각측량을 한 기술로써 통신범위가 수십cm 단위로 범위가 작다. 또한 블루투스 자체적으로 소모하는 소비전력의 양도 많은 단점이 있었다. 또한, 삼각측량은 RSSI 신호의 값에 의존하는 방식으로 블루투스의 신호세기가 다양한 원인에 의해 불안정하기 때문에 정확도면에서 높은 신뢰도를 나타내지는 못하였다. 하지만 실내에서의 측위이므로 통신 범위가 넓지 않아도 되고, 블루투스를 사용하기 때문에 자동화에 편한 장점을 살려 구현이 용이한 장점이 있다. 또한 사용자가 추가적인 장치를 사용할 필요 없이 쉽게 실내 측위가 가능한 기술이다. Fingerprinting 기술의 대표적인 연구인 실내측위 결정을 위한 Fingerprinting Bayesian 알고리즘, 효율적인 Fingerprinting을 위한 신뢰도 기반의 경로 손실모델 설계와 구현은 특정 지역에 대한 신호 특성 값을 추출하기 때문에 주위 환경 특성을 반영한 신호 값을 저장할 수 있으며 주위 환경이 크게 변하지 않는 한 그 지역에 대한 신호 특성 값은 대체로 일정하게 유지되기 때문에 저장된 신호 값과 현재 특정된 신호 값의 비교를 통하여 보다 정확한 위치 측정이 가능하다. 또한 삼각 측량법과 달리 AP의 위치, 맥 어드레스, 안테나 속성과 같은 장치 의존적인 정보를 알고 있을 필요가 없이 어떤 AP라도 위치 측정에 사용할 수 있다. 한편 신호를 수집하는데 필요한 시간이 위치 측정 대상 지역의 규모와 분할된 셀에 비례하므로 실제 위치 측위 단계 전에 많은 사전 작업이 요구되며 수집된 신호는 주변 환경에 대한 특성을 반영하고 있기 때문에 주변 환경이 바뀌면 새로 데이터 수집을 해야 하는 단점이 존재한다. 마지막으로 Cell-ID 기술인 GPS와 Pico-cell ID 접속 확률을 이용한 위치 추정 방법과 블루투스를 이용한 영역기반 실내 위치 추적 시스템 구현은 각 셀마다 위치가 지정된 ID를 부여하고 해당 셀에 단말이 등록되면 이를 Cell-ID로 매칭하여 셀의 위치를 통해 단말의 위치를 구하는 기술이다. 단말기와 통신망의 하드웨어 및 소프트웨어 대한 특별한 수정 없이 거의 모든 이동 통신망에서 구현이 용이하다는 장점이 있다. 하지만, 위치 정확도가 Cell의 반경과 같기 때문에 도심 지역과 외곽 지역에 따라 위치 오차가 수백m~수십 Km에 달할 수 있는 단점이 있다.

이렇듯 각 기반별로 대표적인 연구들을 살펴본 결과 삼각측량을 기반으로 한 기술들은 공통적으로 구현이 용이하고 추가적인 장치없이 실내 측위를 할 수 있지만, 신호의 세기에 의존하고, 장애물에 영향을 많이 받으며 통신범위가 작은 단점이 있다. 이에 Fingerprinting 방식의 기술들은 주위의 환경이 크게 변하지 않는 한 측정된 값을 활용하여 실내 측위를 하여 삼각측량보다 정확한 측정이 가능하다. 하지만 주위 환경이 조금이라도 달라질 경우 측정값을 다시 측정해야하는 치명적인 단점이 있다.

또한 Cell-ID 기반 기술들 역시 셀마다 위치가 지정된 ID를 부여하고 해당 셀에 단말이 등록되면 매칭시켜 실내 측위를 하여 구현이 용이하고 정확도가 높지만 Cell의 반경, 그리고 지역에 따라 오차의 범위가 수십Km까지 커지는 치명적인 단점이 있다.

IV. Conclusions

실내 측위 기반 서비스들의 관심이 높아짐에 따라 GPS로는 실내 측위에 어려움이 있어 이러한 단점을 보완하고자 블루투스, Wifi 와 같은 무선신호 기술들을 사용하여 실내 측위 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 무선통신 기술들을 사용한 실내 측위 연구를 삼각측량, Fingerprinting, Cell-ID 기반으로 분류하여 각각의 대표연구들의 알고리즘과 장단점을 기술했다. 이를 통해 실내 측위 기술의 동향을 파악하고, 그들의 성능을 평가하는데 유용한 정보를 제공했다고 믿는다.

향후 무선신호 기술을 사용한 실내 측위 기술의 연구는 별도의 추가 장치 없이, 정확도 높고, 구현이 용이하며, 실내의 여러 재질의 장애물에 영향을 최소한으로 한 정확도 높은 연구가 진행되어야 할 것이다. 이를 위하여 삼각측량, Fingerprinting, Cell-ID 기반의 기술의 융합한 연구 또는 새로운 실내 측위 기술에 대한 연구가 필요할 것이라 전망한다.

REFERENCES

- [1] Chang Min Park, "Changes in the trend of the service location and paradigms", Internet&Security Focus, VOL. 5, May 2013
- [2] Sang Woo Lee, Sun Woo Kim, "Indoor positioning technology trends and outlook", The Journal of the Korean institute of communication sciences, VOL.32, p p. 81-88, January 2015
- [3] Sudarshan S. Chawathe, "Beacon Placement for Indoor Localization using Bluetooth", 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. pp. 980-985, October 2008
- [4] Ki-young Kim, Sun-jib Kim, "Handoff Method Supporting LBS Information in Mobile Clouding Computing", Journal of The Korea Society of Computer and Information, VOL. 20, NO. 2, February 2015

- [5] Silke Feldmann, Kuandoghene Kyamakya, Ana Zapater, Zighuo Lue, "An indoor Bluetooth-based positioning system: concept, Implementation and experimental evaluation", International Conference on Wireless Networks-ICWN, pp. 109-113, 2003
- [6] Hui Liu, Houshang Darabi, Pat Banerjee, Jing Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, VOL. 37, NO. 6, November 2007
- [7] Josef Hallberg, Marcus Nilsson, Kare Synnes, "Positioning with Bluetooth", Telecommunications, ICT 2003 10th International Conference, VOL. 2, pp. 954-958, March 2003
- [8] Varun Almaula, David Cheng, "Bluetooth Triangulator", Final Project, Department of Computer Science and Engineering, University of California, San Diego, 2006
- [9] Sun Guk Choi, Hyun Soo Park, Sung Han Lee, Min Hyun Son, Yong Hyun Koo, Kyung Soon Park, Tae Seok Kim, "An indoor location recognition scheme combining the triangulation method and fingerprinting", KOREA INFORMATION SCIENCE SOCIETY, VOL. 38, pp. 112-114, November 2011
- [10] Soong-Sun Shin, Gyoung-Bae Kim, Hae-Young Bae, "FingerPrint building method using Split-tree based on Indoor Environment", Journal of The Korea Society of Computer and Information, VOL. 17, NO. 6, June 2012
- [11] Young Soo Cho, Sung Youn Cho, Byeon Du Kim, Sung ho Lee, Jae Chul Kim, Wan Sick Choi, "Technical Trend of Indoor/Outdoor Seamless Positioning", 2014 ETRI Journal, pp. 51-61, 2014
- [12] Jang Jae Lee, Jang Woo Kwon, Min A Jung, Seong Ro Lee, "Fingerprinting Bayesian Algorithm for Indoor Location Determination", The Journal of the Korean institute of communication sciences, VOL. 35, pp. 888-894, June 2010
- [13] Jun Yeon Choi, Young Seon Park, Jin Seop Woo, Woo Sung Jung, Pu Leum Bae, Young Bae Ko, "Design and Implementation of Path Loss Model Based on Reliability for Efficient Fingerprinting", KOREA INFORMATION SCIENCE SOCIETY, pp. 1656-1658, June 2014
- [14] Won Young Jeong, Tae Jin Lee, "Positioning Mechanism Using GPS and Pico-cell ID Access Probability", The Journal of the Korean institute of communication sciences, VOL. 36, pp. 1459-1467, December 2011
- [15] Min Goo Lee, Yong Kuk Park, Kyung Kwon Jung, "Implement of Zone-based Indoor Location Tracking System using Bluetooth", THE INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS OF KOREA, pp. 163-164, April 2013

Authors



Min-Seok Choi received the B.S. degree from Sangmyung University in 2015, and now he is a MS student in the department of Computer Science at Sangmyung University, Seoul, Korea.

He is interested in wireless sensor networking, 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.