

WiFi 핑거프린트를 이용한 지하철 위치 추적 정확성 향상을 위한 연구

안태기¹, 안치형¹, 남명우², 박진홍², 이영석^{3*}

¹한국철도기술연구원, ²해전대학교 전자캐드과, ³청운대학교 전자공학과

A Study on Improving Accuracy of Subway Location Tracking using WiFi Fingerprinting

Taeki An¹, Chihyung Ahn¹, Myungwoo Nam², Jinhong Park², Youngseok Lee^{3*}

¹Korea Railroad Research Institute, ²Dept. of Electronic CAD, Hyejeon College,

³Dept. of Electronics, Chungwoon Univ.

요약 본 논문에서는 GPS를 이용할 수 없는 지하철 승강장에서 움직이는 지하철의 위치 추적 정확성을 높이기 위해 WiFi 핑거프린트 기법에 k-nn 기반 알고리즘들을 적용한 후 오류를 검출하고 비교하였다. 승강장내 지하철의 위치 정보는 지하철 제어를 위해 종합사령실에서 필요로 하며, 이용객의 안전과 편의를 위해 다양하게 사용되어지고 있다. 현재 역사 또는 승강장 내에는 승객의 편의를 위해 각 통신사별로 WiFi용 AP(Access Point)들이 다수 설치되어 있어 이를 활용한 다양한 위치 추정 연구들도 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 설치되어진 WiFi용 AP를 활용할 경우와 신규로 WiFi용 AP를 설치할 경우 등을 고려하여 다양한 조건에서 지하철의 위치를 추적할 수 있는 시뮬레이터를 개발한 후 모의실험을 진행하였다. 개발된 시뮬레이터는 설치된 WiFi용 AP들의 개수와 승강장 넓이, 지하철 진입속도 등에 따라 지하철의 위치를 추적할 수 있도록 설계되었다. 그리고 k-nn 알고리즘과 fuzzy k-nn 알고리즘을 선택적으로 적용할 수 있으며 핑거프린트 데이터베이스를 기반으로 4가지의 거리 측정 알고리즘을 적용하여 위치 추적 오류를 비교할 수 있도록 하였다. 시뮬레이터를 이용한 모의 실험결과 0.5m의 그리드 단위길이에 8개의 WiFi용 AP를 설치하고 'minkowski' 거리 측정 알고리즘을 적용한 k-nn 알고리즘을 사용할 경우 가장 정확한 위치 추적결과를 얻을 수 있었다.

Abstract In this study, an WiFi fingerprinting method based on the k-nn algorithm was applied to improve the accuracy of location tracking of a moving train on a platform and evaluate the performance to minimize the estimation error of location tracking. The data related to the position of the moving train are monitored by the control center for trains and used widely for the safety and comfort of passengers. The train location tracking methods based on WiFi installed by telecom companies were evaluated. In this study, a simulator was developed to consider the environments of two cases; in already installed WiFi devices and new installed WiFi devices. The developed simulator can simulate the localized estimation of the position under a variety of conditions, such as the number of WiFi devices, the area of platform and entry velocity of train. To apply location tracking algorithms, a k-nn algorithm and fuzzy k-nn algorithm were applied selectively according to the underlying condition and also four distance measurement algorithms were applied to compare the error of location tracking. In conclusion, the best method to estimate train location tracking is a combination of the k-nn algorithm and Minkoski distance measurement at a 0.5m grid unit and 8 WiFi AP installed.

Keywords : WiFi based positioning system, Subway platform, k-nn classification, Fingerprint database, Access point

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 “ICT기반 철도 이용객 정보 제공기술 개발” 연구비지원 (15RTRP-B086929-02)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Youngseok Lee(Chungwoon Univ.)

Tel: +82-32-770-8225 email: yslee@chungwoon.ac.kr

Received December 22, 2015

Revised January 4, 2016

Accepted January 5, 2016

Published January 31, 2016

1. 서론

이동 통신 기술의 빠른 발전과 컴퓨터를 이용한 정보 처리 기술이 확산되면서 위치 인식 서비스 기술에 대한 요구가 빠르게 증가하고 있다 [1]. 일반적으로 위치 인식 서비스 기술은 글로벌 위치 시스템(Global Positioning System)이 정확하고 신뢰성 있는 위치 정보를 제공한다는 점에서 널리 사용되고 있지만 수신된 전파 신호의 강도(strength) 및 수신 대역 문제로 인하여 지붕이 있는 건물의 안쪽에서는 사용할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 글로벌 위치 시스템을 사용할 수 없는 영역에 대하여 센서 네트워크(sensor network), RFID 또는 WiFi 기술을 이용한 위치 인식 서비스 기술이 다양하게 연구되고 있다. 이러한 기술들 가운데 WiFi를 이용한 위치 인식 서비스 기술은 스마트폰(smart phone)의 보급 활성화와 군중이 운집되어 있는 교통의 중심인 역사(station), 터미널(terminal) 등에 WiFi용 AP들이 설치되어 있다는 점에서 글로벌 위치 인식 시스템에 대한 상호 보완적인 기술로 각광을 받고 있다[2]. 따라서 WiFi 네트워크와 스마트폰을 이용한 위치 인식 서비스 기술은 이미 갖추어진 통신 기술 인프라 구조(infra structure)를 이용하여 적은 비용으로 위치 인식 서비스를 할 수 있다는 점에서 충분히 연구할 만한 가치가 있다.

WiFi 기반 위치 인식 기술은 어떠한 방식으로 위치를 인식하느냐에 따라 두 가지 분야로 나누어 연구가 진행되고 있다. 첫 번째 분야는 WiFi의 신호 전파 모델을 기반으로 하는 위치 인식 알고리즘을 연구하는 분야이고 다른 한 분야는 WiFi 핑거프린트(WiFi fingerprint)를 기반으로 하는 분야이다[3]. WiFi의 신호 전파 모델을 이용하는 분야는 WiFi용 AP로 부터 수집된 신호 정보의 강도를 위치와 관련한 정보로 변환한 다음 이미 알려져 있는 WiFi용 AP들의 좌표들과 움직이는 목표물 사이의 거리를 계산하여 목표물의 좌표를 구해내는 방식이다. 이 기술을 적용하기 위해서는 WiFi용 AP들의 좌표를 정확하게 알 수 있어야 하며 각 구역 내의 좌표 설정이 우선적으로 수행되어 져야 한다.

그러나 대부분의 글로벌 위치 시스템을 적용할 수 없는 건물 등과 같은 구조물의 경우에는 건물 구조로부터 기인하는 물리적인 요소들에 의하여 WiFi용 AP의 실제적인 위치가 복잡하고 불규칙적이기 때문에 이를 좌표로 설정하기에는 어려운 실정이다[4]. 또한 신호가 전송되

는 과정에서 WiFi 신호는 벽, 창문과 같은 구조물과 사람들과 같은 움직이는 물체들의 영향에 매우 취약한 것으로 알려져 있으며, 신호 감쇄도 물체의 모양, 크기, 구성 물질 등에 따라 결과가 달라진다. 그러므로 지하철 역사와 같은 복잡한 구조를 갖는 건물의 경우에는 신호 전파 모델을 이용한 위치 인식 서비스를 적용할 경우 신호 강도와 실제 거리 사이의 관계를 명확히 관련지을 수 없는 단점이 있다[5].

두 번째 기술인 WiFi 핑거프린트를 이용한 기술은 오프라인 핑거프린트 데이터베이스와 온라인 위치 추정 부분으로 나누어 구성되어 있다. WiFi 핑거프린트 데이터베이스 단에서는 지하철 역사의 지정된 장소들에서 WiFi용 AP들의 BSSID(Mac 주소)와 신호의 강도(dBm)를 측정하여 수집한 후, 이 데이터들을 해당 위치에서의 WiFi 핑거프린트 데이터로서 데이터베이스에 저장한다. 온라인 위치 인식 단에서는 임의의 위치에서 수집된 WiFi용 AP 신호들을 WiFi 핑거프린트 데이터베이스에 수집되어 있는 데이터들과 비교하여 가장 최적의 정합(matching)을 갖는 데이터를 찾은 후 임의의 위치를 핑거프린트의 위치로 추정하게 된다. 이 기술은 비록 최초 기술 적용 시에는 WiFi 핑거프린트 데이터베이스를 필요로 하지만 복잡한 승강장과 같은 건물의 구조적 영향을 피할 수 있는 장점이 있다. 또한 WiFi 핑거프린트 기반 위치 인식 기술은 앞에서 설명한 WiFi의 신호 전파 모델을 기반으로 하는 위치 인식 기술에서 반드시 필요로 하는 WiFi용 AP들의 좌표 데이터가 필요하지 않은 장점이 있다[6,7].

본 연구에서는 WiFi 핑거프린트를 이용한 위치 인식 기술을 기반으로 승강장에 진입하는 지하철의 정확한 위치 추적을 위해, 다양한 조건에서 여러 알고리즘을 사용하여 모의실험을 실시하였다. 이 실험은 먼저 지하철 승강장 내의 선로를 따라 WiFi 핑거프린트 데이터베이스를 구축하고, 지하철이 역사로 진입하는 속도와 정차 시까지 걸리는 시간을 고려하여 시간에 따른 승강장 내의 지하철 위치를 예측하였다. 다음으로 예측 위치에서 WiFi용 AP들의 신호 강도를 수집한 후, 여러 알고리즘을 이용하여 가장 최적의 데이터를 찾은 후 알고리즘별로 오차를 비교하였다. 오차 비교를 위해 모의실험 환경을 변경하고 반복 실험을 실시하였다. 본 연구의 모의실험을 위해 지하철이 승강장에 진입했을 때부터 정차 시까지의 위치를 추적할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였

다. 개발된 시뮬레이터는 다양한 승강장 구조를 고려하여 승강장 넓이를 입력할 수 있으며 설치된 WiFi용 AP 개수, 지하철 진입속도 등을 변경하며 모의실험을 진행할 수 있도록 설계하였다.

현재 지하철 역사 내에서는 지하철 위치 추적을 위해 다양한 기술들이 사용되어지고 있으나, WiFi를 이용한 위치 추정 기술은 추가적인 하드웨어 구축비용 없이 시스템 구축이 가능하므로 향후 위치 추적을 위한 기본 방법 또는 보조 기술, 비상상황 대처방법 등으로 사용이 가능할 것이다.

2. 모의실험 환경 모델링

2.1 지하철 위치 모델링

지하철은 승강장에 진입할 때 승강장 구조에 따라 속력을 달리한다. 일반적으로 직선구간에서는 60km/h로 진입하고 곡선구간에서는 45km/h로 진입하게 된다. 진입한 지하철은 승강장 종료부분에서 정차하게 되며 승강장 길이는 5호선과 6호선, 7호선은 165m이고 8호선은 125m로 설계되어 있다. 이러한 정보를 이용하여 시뮬레이터에서는 지하철의 가속도와 진입 후 정지시까지의 시간을 식 (1)로 구하였다.

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - v_0}{t} \quad (1)$$

$$LoP(m) = \frac{1}{2} \times a \times t^2$$

$$= \frac{1}{2} \times \left(\frac{-v_0}{t} \right) \times t^2$$

$$= \frac{1}{2} \times (-v_0) \times t$$

식 (1)에서 a는 가속도, t는 지하철이 승강장에 진입한 후 정차하는데 까지 걸린 시간을 의미한다. v_0 는 지하철의 승강장 내 진입속도, v_t 는 시간 t에 따른 지하철의 속도를 의미하며 LoP는 승강장의 길이를 나타낸다. Fig 1은 길이 165m의 승강장에 60km/h의 속도로 진입한 지하철의 시간에 따른 위치변화를 보여준 것이다.

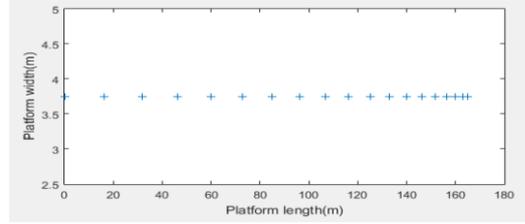


Fig. 1. Subway position in platform

2.2 WiFi 전파 모델링

WiFi용 AP에서 전파된 신호는 지하철 선두 차량 내에 설치된 WiFi용 수신기로 수신된다고 가정하였다. WiFi용 수신기로 측정된 각 WiFi용 AP들의 신호 세기(received signal strength indication:RSSI)는 WiFi 핑거프린트 방법에 사용되어 WiFi용 수신기의 위치를 추정하게 된다. 실내 승강장에서 무선 신호는 송신기와 수신기의 거리에 의해 발생하는 전파 경로 손실과 터널 벽면과 구조물 등에 의해 반사되어 생기는 반사 손실이 발생하게 된다. 이러한 변수들을 고려하여 식(2)와 같이 수신신호의 세기(RSSI)를 모델링하였다.

$$P_{rz} (dB) = P_{d_0} (dBm) - 10\alpha \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) - WL \quad (2)$$

식 (2)에서 P_{d_0} 는 WiFi용 AP에서 방사된 전파 신호의 거리 d_0 에서의 세기(dBm)를 나타내며 d는 임의의 신호 수신 위치까지의 거리를 나타낸다. 또한 WL은 터널의 벽면과 구조물에 의한 전파 손실(wall loss)를 의미한다.

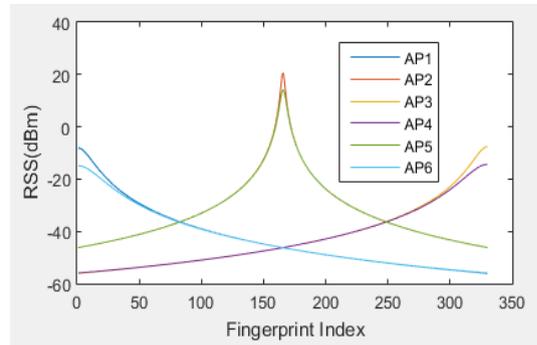


Fig. 2. WiFi signal propagation

Fig 2는 330개의 그리드로 분할된 승강장의 각 지점에서 6개의 WiFi용 AP 신호들의 세기인 RSSI(dBm)를 식 (2)를 이용하여 모델링한 후 도식화한 것이다.

3. WiFi 핑거프린트 데이터베이스와 k-nn 알고리즘을 이용한 위치 추정

3.1 WiFi 핑거프린트 데이터베이스

지붕이 있는, 즉 글로벌 위치 시스템의 영향을 받을 수 없는 전철 또는 지하철 역사의 각 층에서 위치를 인식하는 기술은 실내 무선 로컬 네트워크(indoor wireless local area network)을 기반으로 구현된다. 특정 구역에 N개의 WiFi용 AP들이 있고, 이들이 IEEE 802.11b 프로토콜에 의해 WiFi 통신이 이루어지고 있는 상황을 가정한다면, 각 WiFi용 AP들로부터 발생하는 무선 신호는 거리에 반비례하는 무선 신호들을 송출하고 있을 것이다. 그러므로 승강장 구역을 2차원의 그리드(grid)로 분할하면 각 그리드에서는 N개의 WiFi용 AP들에서 발생되어 전파된 서로 다른 강도를 가진 N개의 RSSI가 측정되게 된다.

RSS(received signal strength)는 일반적으로 자유 공간에서 존재하는 잡음들에 비하여 월등한 신호 대 잡음비(signal to noise ratio: SNR)를 갖고 있기 때문에 수집된 무선 신호들은 강한 자기상관성(autocorrelation)을 갖고 있다고 알려져 있다. 각 그리드의 2차원 좌표(x,y)에 대하여 RSSI 신호는 승강장에 설치된 WiFi용 AP의 개수 L에 의해 (L×1)의 열벡터로 구성된다. 따라서 각 그리드 영역에서 얻어진 RSSI 열벡터로부터 생성된 행렬은 (L×L2)의 크기를 갖는 행렬로서 표현할 수 있다. 단, L2는 그리드의 전체 수를 나타낸다. 이 행렬은 역사의 2차원 그리드들에서 얻어진 RSSI를 나타내는 것이고 강한 자기상관성을 갖고 있기 때문에 승강장의 각 위치를 특징지을 수 있는 특징 벡터로 활용할 수 있다. 그러므로 위치 인식을 위한 특징 벡터 데이터베이스를 구성하고 실시간으로 수집되는 순시 RSSI에 정합 알고리즘을 적용하면 승강장에 있는 지하철의 현재 위치를 추정할 수 있다.

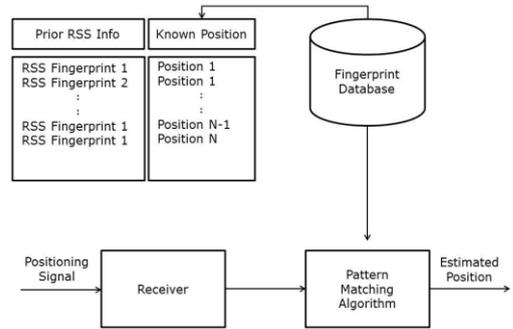


Fig. 3. Structure of fingerprint database

Fig 3은 위치 인식 핑거프린트 데이터베이스와 샘플 RSSI가 정합 알고리즘에 의하여 위치를 추정하는 방법을 그림을 통하여 설명하고 있다. 위치 인식 핑거프린트 데이터베이스에 저장되는 특징 벡터들을 구성하는 RSSI는 무한개의 샘플 RSSI를 이용하여 실제 값(real value)을 나타내기에 불가능하다. 즉 무선 신호의 불규칙한 특성(random characteristic)으로 인하여 RSSI 또한 불규칙한 성질을 나타낼 것이기 때문이다. 따라서 핑거프린팅 데이터베이스를 구성하는 특징 벡터들은 가능한 많은 수의 측정을 통한 앙상블 평균(ensemble average)으로 구성된다. 또한 정합 방법은 핑거프린트 데이터베이스에 저장된 앙상블 평균 특징 벡터들과 샘플 RSSI 벡터 간의 기하학적 거리를 비교하고, 거리가 가장 짧은 특징 벡터의 좌표를 찾는 알고리즘으로 구현할 수 있다.

3.2 k-nn 기반 위치 추정 알고리즘

k-nn(k-Nearest neighbor)은 패턴인식 분야에서 많이 사용되는 분류 알고리즘이다. 미리 저장되어 있는 데이터베이스의 특징 벡터들을 유사한 특징을 가진 그룹들로 분류한 후, 순시 벡터가 주어지면 유사도를 측정하는 함수를 이용하여 가장 비슷한 속성을 가진 k개의 특징 벡터를 추출하게 된다. 그리고 추출된 k개의 특징 벡터가 가장 많이 속해 있는 그룹으로 순시 벡터를 분류해 주는 방법이다. k-nn 알고리즘에서 유사도 측정은 euclidean과 city block, chebychev, minkowski 거리 등의 방법을 사용하게 된다.

승강장 내 임의의 위치에서 수신된 k개의 WiFi용 AP들의 RSSI를 순시 벡터 x 라고 할 경우 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_k | x_j \in R^k\}$ 로 표현할 수 있다. 그리고 각 그리드 좌표와 함께 위치 인식 핑거프린트 데이터

베이스에 저장된 RSSI값들로 구성된 벡터를 $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ik} | r_{ij} \in R^k\}$ 로 나타낼 수 있다. 벡터 r_i 의 구성 성분들은 그리드 각 구역에서 수신되는 WiFi 용 AP들의 RSSI로 구성된 벡터 성분으로 서로 독립적인 신호 원(signal source)에서 발생하였기 때문에 상호 독립적인(mutually independent) 랜덤 변수로 이해될 수 있다. 본 연구에서는 RSSI 벡터, r_i 의 성분들이 표준 편차 σ 를 갖는 가우시안 랜덤 분포를 갖는다고 가정하였으며 이 랜덤 변수의 실제 평균 $E[r_{ij}]$ 는 상수 평균을 갖는다고 가정하였다. 이와 같은 가정은 IEEE 802.11 무선 네트워크상에서 신호 강도를 측정하고, 그 분포에 대한 실제적인 실험 결과를 그 기반으로 하고 있다.

순서 벡터 x 와 핑거프린트 데이터베이스 벡터 r_i 간의 기하학적 거리는 두 벡터간의 유사도 (similarity)를 나타내는 척도로서, 두 벡터 간의 기하학적 거리가 짧으면 짧을수록 서로 유사한 정도가 강하며, 핑거 프린트데이터베이스에 저장된 좌표에 지하철이 위치해 있을 가능성이 크다는 것을 의미한다. 식 (3)은 두 신호 벡터들 사이의 기하학적 거리를 측정하는 가장 일반적인 거리 척도인 유클리디안 거리 (Euclidean distance)를 나타낸다.

$$D = [d_i] = [|r_i - x|] = \left[\sqrt{\sum_i^k (r_i - x)^2} \right] \quad (3)$$

식 (4)는 fuzzy k-nn 알고리즘으로 기존의 k-nn 기법에 퍼지 집합의 개념을 적용한 것이다. u_i 는 학습데이터 r_i 와 query instance x 와의 유사성(similarity)을 의미하며, k 는 nearest neighbor들의 수, m 은 퍼지화 계수 (fuzzification coefficient)를 의미한다.

$$u_i(r) = \frac{1 / \| r_i - x \|^{2/(m-1)}}{\sum_{j=1}^k (1 / \| r_j - x \|)^{2/(m-1)}} \quad (4)$$

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 실험을 위하여 Fig 4와 같이 지하철 승강장을 모델링 하였다.

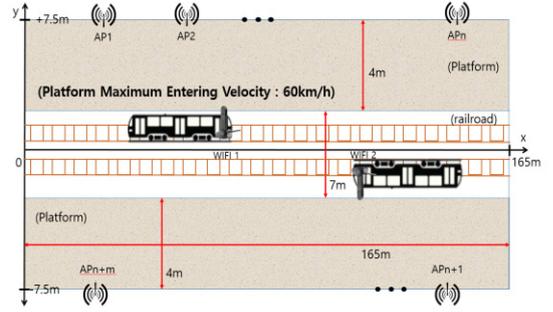


Fig. 4. Subway platform modeling

일반적으로 지하철 승강장 구조는 ‘섬식’과 ‘상대식’이 있으나 모델링에서는 상대식을 사용하였다. 실제 승강장에서 RSSI를 측정할 경우 공간의 구조와 건축자재 등의 차이에 의해 신호의 감쇄정도가 달라진다. 따라서 시뮬레이션에서 사용한 식 (2)에 의해 계산된 RSSI와 실제 값 사이에는 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차를 보정하기 위하여 본 논문에서는 WiFi 무선 신호의 전파 경로 손실과 터널 벽면에 반사돼 발생하는 반사 손실계수를 상수로 설정하고 상수 값의 $\pm 10\%$ 를 랜덤변수로 발생시켜 시뮬레이션을 진행하였다. Fig 4의 지하철 승강장을 각각 0.3m, 0.5m 및 1m의 가로×세로 규격을 갖는 세 가지 그리드로 구성하고, 165m × 15m의 크기를 갖는 승강장에 각각 4개, 6개 및 8개의 WiFi용 AP들이 설치된 것으로 가정하여 시뮬레이션을 하였다. 구성된 승강장 모델은 앞서 기술한 승강장의 규격을 토대로 각 그리드에서 RSSI를 수집하여 핑거프린트 데이터베이스를 작성하였다. 이와 같은 방식으로 만들어진 그리드의 위치에 따른 RSSI 데이터는 임의의 위치에서 측정된 RSSI와 k-nn 알고리즘을 이용하여 유사도를 측정하는데 사용된다. 가장 유사도가 크게 계산된 그리드상의 좌표는 지하철의 위치 추정 좌표로 결정되어지며, 공간의 분할 방법과 WiFi AP의 설치 수 등에 따라 위치 추정 오차가 달라진다. Fig 5는 RSSI의 핑거프린트 데이터베이스를 구성하는데 필요한 그리드 위치의 좌표 구성을 나타낸다.

| | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----|---------------------------------------|--|
| (1,1) (0.25,1.75) Index 1 | (2,1) (0.75,1.75) Index 2 | ... | (329,1) (164.25,1.75) Index 329 | (330,1) (164.75,1.75) Index 330 |
| (1,2) (0.25,-1.75) Index 360 | (2,2) (0.75,-1.75) Index 359 | ... | (329,2) (0.25,-1.75) Index 332 | (330,2) (164.75,-1.75) Index 331 |

Fig. 5. Radio frequency map of platform(165m × 15m)

또한 Table 1은 각 그리드 좌표에서 승강장에 설치된 WiFi AP들의 RSSI값들을 식 (2)를 이용하여 모의 계산한 후 구축한 데이터베이스를 나타낸다. Table 1은 승강장에 설치된 WiFi AP들의 개수는 6개, 그리고 각 WiFi AP들의 위치들은 균등한 간격으로 배치되었다고 가정하였다.

앞에서 기술된 모델링 기법들과 수식을 적용하여 지하철 승강장내 지하철 위치 추적 시뮬레이터를 Matlab을 사용하여 개발하였다. 개발된 시뮬레이터의 초기 화면은 Fig 6과 같다. 승강장의 구조 정보와 지하철 진입 속도 및 WiFi용 AP 개수 등을 입력하고 실행하면 WiFi 핑거프린트 기법으로 계산된 지하철 추정위치가 Fig 7과 같이 도시되며, 각 지점별 오차 거리도 표시되도록 하였다.

Table 1. The training database in simulation area(165m × 15m)

| Index | Position(m) | | RSSI values(dBm) | | | | | |
|-------|-------------|-------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Px | Py | AP1 | AP2 | AP3 | AP4 | AP5 | AP6 |
| 1 | 0.25 | 1.75 | -8.0825 | -46.2061 | -56.0658 | -55.9333 | -46.2166 | -14.8879 |
| 2 | 0.75 | 1.75 | -8.1895 | -46.1188 | -56.0246 | -55.8951 | -46.1293 | -14.9292 |
| 3 | 1.25 | 1.75 | -8.3988 | -46.0309 | -55.9831 | -55.8564 | -46.0415 | -15.0112 |
| ... | | | | | | | | |
| 330 | 164.75 | 1.75 | -56.0659 | -46.1931 | -7.5779 | -14.3819 | -46.1830 | -55.9335 |
| 331 | 0.25 | -1.75 | -14.8879 | -46.2166 | -55.9333 | -56.0658 | -46.2061 | -8.0825 |
| ... | | | | | | | | |
| 660 | 164.75 | -1.75 | -55.9335 | -46.1830 | -14.3819 | -7.5779 | -46.1931 | -56.0659 |

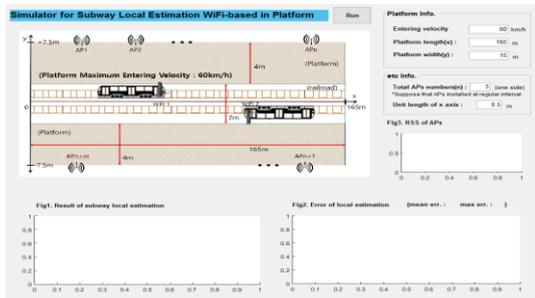


Fig. 6. Simulator initialize view

또한 승강장에 설치된 각 WiFi용 AP 신호의 전파 정보도 보여주도록 구성하였다. Fig 7은 165m × 15m 승강장에 모두 6개(윗면 3개, 아래면 3개)의 WiFi용 AP들이 설치되었다고 가정된 경우의 모의실험 결과를 나타내는 화면이다. 이때 승강장의 무선 주파수 지도를 생성하기 위해 승강장 길이(x축)를 0.5m 단위로 분할하였음을

알 수 있다. 지하철은 20초 동안 165m를 진행하고 정지하게 되고, 매초 지하철이 위치한 장소와 WiFi 핑거프린트 기반으로 계산된 지하철 추정위치와의 오차를 계산하면 18초에서 1.5m의 오차가 발생함을 알 수 있다. 이는 지하철이 정지되는 시점이며서 변경되는 거리가 적고 이로 인해 그리드 간격에 의해 발생하는 오차로 판단된다.

Table 2와 Table3은 승강장의 그리드 단위 길이와 WiFi용 AP 개수를 변경하며 k-nn과 fuzzy k-nn 알고리즘 그리고 4가지 거리 함수를 이용하여 모의 실험한 결과를 보여준다.

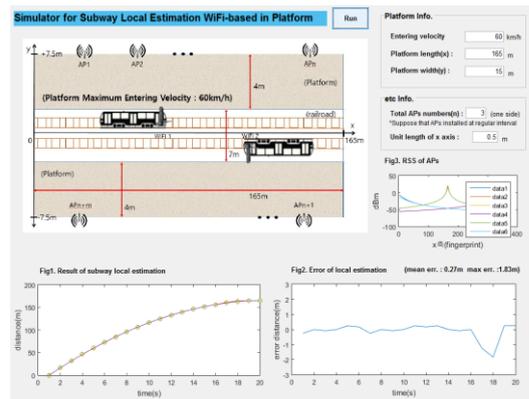


Fig. 7. Simulator result view

Table 2. The distance errors of 6 WiFi APs

| algorithm | distance type | x axis unit length | distance error | |
|------------|---------------|--------------------|----------------|---------|
| | | | (mean) | (max) |
| k-nn | euclidean | 0.3m | 1.0078m | 3.4050m |
| | | 0.5m | 1.3450m | 4.2500m |
| | | 1.0m | 1.1125m | 3.3667m |
| | minkowski | 0.3m | 1.0443m | 3.0317m |
| | | 0.5m | 1.1408m | 3.3083m |
| | | 1.0m | 1.1350m | 3.4000m |
| | city block | 0.3m | 1.0098m | 3.2717m |
| | | 0.5m | 1.3917m | 4.4000m |
| | | 1.0m | 1.1592m | 3.7500m |
| chebychev | 0.3m | 1.0915m | 3.1783m | |
| | 0.5m | 1.3075m | 3.9750m | |
| | 1.0m | 1.2275m | 3.8083m | |
| fuzzy k-nn | euclidean | 0.3m | 1.0078m | 3.4050m |
| | | 0.5m | 1.3450m | 4.2500m |
| | | 1.0m | 1.1125m | 3.3667m |

Table 2의 결과는 WiFi용 AP를 6개 설치했을 경우로 k-nn의 euclidean 거리 함수를 이용할 때 가장 작은 평균 오차를 보여주었다. 그리고 k-nn의 minkowski 거리 함수를 이용할 때 가장 작은 최고 오차를 나타내었다.

Table 3의 결과는 WiFi용 AP를 8개 설치했을 경우로 k-nn의 minkowski 거리 함수를 이용할 때 가장 작은 평균 오차와 최고 오차를 보여주었다.

Table 3. The distance errors of 8 WiFi APs

| algorithm | distance type | x axis unit length | distance error (mean) | distance error (max) |
|------------|---------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| k-nn | euclidean | 0.3m | 0.8390m | 2.2817m |
| | | 0.5m | 0.8708m | 2.7750m |
| | | 1.0m | 1.0008m | 2.5750m |
| | minkowski | 0.3m | 0.8482m | 2.2817m |
| | | 0.5m | 0.8008m | 2.4250m |
| | | 1.0m | 0.9708m | 2.9583m |
| | city block | 0.3m | 0.8667m | 2.4467m |
| | | 0.5m | 0.8358m | 2.5917m |
| | | 1.0m | 0.9683m | 2.6167m |
| chebychev | 0.3m | 0.9923m | 3.2533m | |
| | 0.5m | 0.9433m | 3.0000m | |
| | 1.0m | 1.0617m | 2.6250m | |
| fuzzy k-nn | euclidean | 0.3m | 0.8390m | 2.2817m |
| | | 0.5m | 0.8708m | 2.7750m |
| | | 1.0m | 1.0008m | 2.5750m |

이와 같은 모의실험 결과를 바탕으로 WiFi용 AP의 개수는 8개가 적절하며 그리드 단위길이는 0.5m로 설정하는 것이 위치 추적 정확도를 높이는데 효과적임을 알 수 있다. 또한 알고리즘은 k-nn에 minkowski 거리함수를 사용하는 것이 적합한 것으로 해석할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 승강장에 진입한 지하철의 위치 추적 정확성을 높이기 위한 방법을 찾기 위해 WiFi기반 위치 추정 방법을 적용한 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 승강장 넓이와 승강장에 설치된 WiFi의 접근 점의 개수를 변경하며 지하철의 위치 추정 오차를 계산할 수 있는 기능을 가지고 있으며 시뮬레이션 결과, 8개의 WiFi용 AP를 설치하고 그리드 단위길이를 0.5m로 설정할 경우 가장 정확한 지하철의 위치 인식이 가능함을 알 수 있었다. 또한 위치 인식 알고리즘으로는 k-nn에 minkowski 거리함수가 효과적임을 알 수 있었다. 이러한 결과로 개발된 시뮬레이터는 지하철의 정밀 위치 추적을 위해 다양한 형태의 승강장에 WiFi기반 AP들의 설치 위치 및 개수 등을 미리 모의실험 할 수 있는 방법을 제공 할 수 있다.

개발된 시뮬레이터는 향후 지하철 현장에서 전파 측

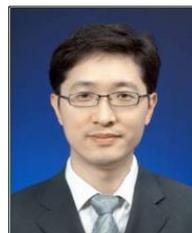
정을 실시하여 전파 손실 상수를 보정하고 WiFi기반 AP들이 설치된 정확한 위치를 추가할 경우 더 정확한 결과를 보일 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Ministry of Land and Transport, City railway construction rules, July. 2014.
- [2] A.S. Ja'afar, "Analysis of Indoor Location and Positioning via WiFi Signals at FKEKK, UTeM", International Journal of Engineering and Technology (IJET), 2013.
- [3] Peerapong Torteekay, XIU Chundi, "Indoor Positioning based on WiFi Fingerprint Technique using Fuzzy K-Nearest Neighbor," Sciences and Technology(IBCASC), pp. 461-465, January, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IBCASC.2014.6778188>
- [4] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 775 - 784, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/infcom.2000.832252>
- [5] K. Jones , L. Liu , F. A. Shabdiz, "Improving Wireless Positioning with Look-ahead Map-Matching," Proceedings of the 2007 Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking&Services (MobiQuitous), pp.1-8, August, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MOBIQ.2007.4450983>
- [6] B. Kobben, "Wireless Campus LBS: A Test Bed for WiFi Positioning and Location Based Services," Cartography & Geographic Information Science 34, pp. 285 - 292, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1559/152304007782382936>
- [7] B. Li, "Indoor positioning techniques based on wireless LAN," The 1st IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communication, Sydney, Australia, pp. 13-16, 2006.

안 태 기(Tae-Ki An)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(공학박사)
- 1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (책임연구원)

<관심 분야>

멀티미디어 통신, 영상분석, 인공지능

안 치 형(Chi-Hyung Ahn)

[정회원]



- 2002년 2월 : 인하대학교 전기공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 포항공대 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : TEXAS A&M 전기전자공학과 (공학박사)
- 2010년 10월 ~ 2013년 12월 : 삼성전자(삼성종합기술원)

- 2014년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (선임연구원)

<관심 분야>

전자과해석, 안테나, 무선전력전송, 무선통신시스템

이 영 석(Young-Seok Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 인천캠퍼스 전자공학과 교수

<관심분야>

디지털신호처리, 워터마킹, 임베디드시스템, 기계학습

남 명 우(MyungWoo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 혜전대학교 전자캐드과 교수

<관심분야>

디지털신호처리, 워터마킹, 회로설계, 마이크로프로세서

박 진 흥(Jin-Hong, Park)

[정회원]



- 1991년 2월 : 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 혜전대학 전자캐드과(교수)

<관심 분야>

회로설계, 전력전자