

지하철 역사에서 실내 내비게이션 서비스를 위한 KAI-R 시스템

KAI-R: KAIST Railroad Indoor Navigation System for Subway Station

이 건 우* · 고 대 권** · 김 현*** · 한 동 수****

* 주저자 : 한국과학기술원 전산학부 박사과정
 ** 공저자 : 한국과학기술원 전산학부 석사과정
 *** 공저자 : 한국교통대학교 교통ICT융합연구센터 부교수
 **** 교신저자 : 한국과학기술원 전산학부 교수

Gunwoo Lee* · Daegweon Ko** · Hyun Kim*** · Dongsoo Han****

* School of Computing, KAIST
 ** School of Computing, KAIST
 *** Research Center for Convergence of roads, vehicles, people and advanced ICT, KNUT
 **** School of Computing, KAIST
 † Corresponding author : Dongsoo Han, dshan@kaist.ac.kr

Vol.18 No.5(2019)

October, 2019

pp.156~170

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.5.156)

2019.18.5.156

Received 29 August 2019

Revised 23 September 2019

Accepted 27 September 2019

© 2019. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

급속히 늘어난 스마트폰의 보급은 인간의 라이프 스타일 변화에 영향을 미치고 있으며, 스마트폰 기반 위치정보는 실내외 공간에서 다양한 편의성 서비스를 제공할 수 있는 환경을 마련하고 있다. 특히, GPS 정보가 제공되고 있지 않은 지하공간의 경우에서 위치 기반 서비스가 제공된다면 정보약자와 교통약자를 위한 길 찾기와 길 안내 등 많은 편의를 제공할 수 있다. 그러나, 지하철 역사에서 길 안내 서비스 구현은 측위 정확도를 확보하는 것은 여전히 어려운 과제이다. 본 연구는 지하철 역사에서 실내 내비게이션을 위해 선행되어야 하는 모든 과정을 하나의 시스템에서 수행할 수 있도록 융합 측위 알고리즘과 함께 연속 측위에서 사용하는 새로운 보행자 걸음 인식기법을 개발하고, 평가하고 있다.

핵심어 : 지하철 역사, 실내 측위, 실내 내비게이션, 위치 기반 서비스

ABSTRACT

Rapid increasing of smartphones has changed people's lifestyles, and location-based services are providing a platform to provide various conveniences in accordance with these changes. In particular, it may provide convenience to many users if location-based services are provided in an indoor area such as subway station. However, it is still a difficult task to ensure accurate positioning result for guiding routes in subway stations. This study proposes a KAI-R system that allows all processes to be performed in one system for indoor navigation in subway stations. The proposed system includes a new pedestrian step detection method for continuous positioning along with an improved fusion positioning algorithm.

Key words : Subway station, Indoor localization, Indoor navigation, Location based service

I. 서론

최근 스마트폰 기기 보급과 활용이 증가하면서 사람들은 더욱 편리한 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 요구하고 있다. 최근에 출시되고 있는 스마트폰은 GPS 센서 Wi-Fi 모듈, 그 외 여러 가지 센서들을 탑재해 다양한 위치 기반 정보를 제공할 수 있다(Jin et al., 2011; Alzantot and Youssef, 2012). 이러한 개인의 위치 정보를 활용하면서, 이에 대한 서비스 수요와 맞물려 기업이나 기관들이 주차, 광고, 매장 정보 제공 등의 모빌리티는 위치기반 서비스(LBS : Location Based Service)를 제공해 부가가치를 창출하려는 움직임 또한 활발하다.

사용자 위치 측위방법들은 서로 다른 정확도, 측위 가능 범위, 에너지 소비, 스마트폰의 수용성 등에 따라 여러 특징이 있다. 측위기술의 선택은 각 실내 공간의 특징, 구축하고자 하는 서비스의 종류 및 요구사항, 그리고 측위 인프라 구축의 난이도 등을 종합적으로 고려하여 판단하여야 한다. 실내공간 대상으로 하는 측위는 무선 랜(WLAN)을 기반으로 하는 측위가 해당된다(Zou et al., 2014). 이는 무선 랜의 인프라가 이미 대중적으로 보급되어 있기 때문이다. 또한 최근에는 자기 시스템(Shao et al., 2016) 및 관성측정(Combettes and Renaudin, 2017) 기반으로 한 실내 측위의 연구가 활발히 진행되고 있다.

철도 역사공간의 실내 측위는 주로 Wi-Fi 인프라를 이용하는 데, 대부분의 서비스는 전동차에 설치되어 있는 Wi-Fi SSID를 이용하여 사용자의 대략적인 위치를 추정하는 방법을 사용한다. 다시 말해, 철도 역사마다 고유의 ID를 가진 AP 설치정보는 고유 AP의 ID로부터 해당 철도 역사 정보를 확인할 수 있다. 이러한 연구에서는 데이터베이스에 열차 번호와 해당 열차에 설치되어 있는 Wi-Fi 정보를 저장하고, 사용자의 디바이스로부터 Wi-Fi 정보가 넘어오면 사용자의 위치를 추정하는 방식이다. 또는 전동차 내에 위치한 사용자의 디바이스로부터 Wi-Fi 정보를 수신하고, 역정보를 추출하여 전동차의 위치를 추정한다. 이 측위 방법은 각 철도 역사마다 설치되어 있는 Wi-Fi 인프라가 상이함을 이용하여 전동차의 위치를 추정하는 방법이지만 길안내를 목적으로 하는 보행자 내비게이션 서비스와는 그 목적이 부합하지 않는다. 지하철종결자, 네이버 맵, 카카오 맵 등의 어플리케이션 서비스는 대부분 열차의 도착과 환승경로 정보를 안내하는 수준에 머물러 있다.

본 논문에서는 철도 역사에서 보행자가 스마트폰으로 길안내 서비스를 제공받아 원하는 목적지에 도착할 수 있도록 하는 보행자 내비게이션 시스템을 구현하는 데 있어 융합 측위 알고리즘과 함께 연속 측위에서 사용하는 새로운 보행자의 노이즈(열차 출도착과 AP 환경 변화 등에 따른 Wi-Fi 강도 변동)를 극복하고자 하며, 웹 기반으로 걸음 인식기법을 개발하고 이를 평가하고자 한다. 본 보행자 내비게이션은 철도 역 사용자에게 특정 지역에 대한 측위 계획 수립, 정확도 도출, 서비스 제공 등 최종 내비게이션 서비스까지의 모든 과정에 대해 쉽게 접근성을 제공하고자 한 시스템으로 KAI-R로 정의한다.

II. 관련 연구

1. 지하철 역사에서의 서비스 연구

철도 역사 내에서의 실내 내비게이션 연구는 철도와 IT기술의 융합을 통해 지하철 이용 고객에게 편리성 제공을 목적으로 한다. 이는 유비쿼터스 환경의 이점을 활용하여 지하철 이용 고객에게 사용자 맞춤형 교통 정보서비스를 제공하는 연구(Lee et al., 2010; Shin et al., 2008; Park et al., 2004), 타 교통수단과의 연계 시스템 연구(Kim et al., 2006; Lee et al., 2009), 그리고 측위 오차를 보정하는 연구(Kim et al., 2014)를 하고 있는 것으로 구분된다. Lee et al.(2010)은 유비쿼터스 통신네트워크의 효과적인 구축을 위해 IT의 장점을 활용하여

도시철도 관계자들과 승객이 각종 정보를 제공 받을 수 있는 승객 맞춤 서비스를 통해 승객 안전에 큰 도움을 줄 수 있는 도시철도 정보제공시스템 구성방안을 제시하고 있다. 또한, Shin et al.(2008)는 통행자의 통행 거리, 요금, 환승 횟수 등과 같은 서비스 시간 제약 조건을 고려하여 최적의 경로를 탐색하기 위해 K-경로 알고리즘을 사용하고 있다. Park et al.(2004)은 철도 이용객들이 교통수단을 이용할 시 배차와 운행시간표, 노선 및 경유 지역, 소요 시간, 이용 요금의 정보에 대한 필요성이 강하다는 것을 인지하고 이에 대응한 지능형 철도정보 서비스를 제공한다.

Lee et al.(2009)은 철도와 다른 교통수단과의 효과적인 연계환승 시스템이 향후 철도중심의 교통체계를 구축하는데 중대한 역할을 할 것으로 예측하고 있다. 향후 철도와 다른 교통수단 간의 연계 환승 체계에 대한 효과적인 운영을 통하여 철도가 다른 교통수단에 비해 정부의 비전에 부합하는 교통수단이 될 것으로 전망한 것이다. Kim et al.(2006)연구는 환승이 이루어지는 철도역을 대상으로 이용객들의 동선과 역 주변의 주요 환승 지점 조사를 통해 역내의 환승 정보 제공 기본전략을 제시하였다. 환승 정보를 제공하기 위해 환승 정보 단말기, 환승 정보 안내게시기, 환승 안내 사인 등을 활용한다. Kim et al.(2014)은 역사 내의 특수한 환경(열차가 승강장을 지나는 경우)이 기존 실내 위치 인식방법의 정확도를 낮아지게 함을 알아내고 실내 조명장치(LED)를 사용하여 이용객의 위치를 정밀하게 측정할 수 있는 시스템을 제안하고 있다.

2. 실내 측위 기술 연구

가장 널리 사용되고 있는 RF 기술은 무선 랜 등과 같이 무선 주파수와 관련된 특징을 이용하여 위치를 추정하는 방법으로, 일반적으로 무선 신호의 감쇄를 이용한 거리 측정 및 삼각측량 기반의 측위 방법과 사전에 이미 구축된 전파 맵을 활용하는 핑거프린팅 방법 등이 있다. 실내공간에서는 무선신호의 Multipath Propagation 현상으로 인해 삼각측량 기법이 잘 동작하지 않기 때문에 주로 핑거프린팅 기법이 사용된다(Kim, 2006; Jung et al., 2011). Jung et al.(2016)은 클라우드 소싱을 통해 수집한 핑거프린트를 비지도학습(Unsupervised Learning)을 활용하여 라디오 맵을 구축하고, 측위를 위한 확률적 실내 측위 알고리즘을 개발하였다. 또한, Lee et al.(2010)은 Wi-Fi 핑거프린트를 숙련된 전문가가 아닌 다수의 일반인으로부터 수집하여 라디오 맵을 구성하는 클라우드소싱 방법을 제안하였다.

한편, 블루투스 4.0에 포함된 BLE(Bluetooth Low Energy)도 실내 측위에 적용할 수 있는 대표적인 기술이다. 실내 측위에는 두 가지 기술이 주로 적용되고 있는데, 애플의 iBeacon으로 대표되는 Proximity 기법과 Nokia의 High Accuracy Indoor Positioning(HAIP)으로 대표되는 AOA이다(Cho et al., 2007). Anastasi et al.(2003)은 블루투스와 이더넷(ethernet) LAN을 사용하여 건물 내 사용자의 위치를 알아내고, 같은 건물 내의 다른 사용자와의 최단경로를 나타내어 주는 등의 실내 측위 서비스를 제공한다. Baniukevic(2011)은 bluetooth hotspot을 배포하여 실내공간을 여러 작은 지역으로 나누었고, 나누어진 지역 정보를 이용하는 온라인 위치 추정 알고리즘을 개발하였다.

지자기 기반의 실내 측위 방법은 Wi-Fi, 블루투스와 달리 추가적인 인프라 장비를 설치하지 않고 지구의 지자기장을 이용해 측위를 진행한다. 지자기장은 위치에 따라 강도가 다르게 나타나며, 특히 실내공간에 들어오게 되면 철골 구조물, 전자 장비 등에 의해 지자기장이 왜곡되게 된다. Grand et al.(2012)는 지자기 3축 값을 사용하여 오직 스마트폰의 자력계와 가속계만으로 Wi-Fi 라디오 맵을 사용하는 시스템보다 뛰어난 측위 능력을 보여주었다.

위 기술들과는 달리 탑재된 스마트폰의 센서들을 활용하여 연속적인 측위를 진행하는 기술도 있다. 보행자 추측 항법(Pedestrian Dead Reckoning)이라고 불리는 기술은 관성 측정장치를 이용하여 최근 이동정보를

누적 및 추적함으로써 단말의 위치를 추정한다. 이동 거리에 따라 오차가 누적되는 특징이 있어 단독으로 사용되기보다는 주로 다른 측위방법을 보완하기 위해 사용된다. Chen et al.(2015)는 라디오 맵 구축 시 수집된 핑거프린트 밀도에 의존적인 Wi-Fi 측위의 정확도를 향상하기 위해 보행자 추측 항법과 무향 칼만 필터 알고리즘을 적용하였다. 또한, Ban et al.(2015)은 목표 지역에 대해 미리 구축된 지자기 맵과 라디오 맵의 핑거프린트와 보행자 추측 항법의 결과를 비교하고 보정함으로써 측위 정확도를 높였다.

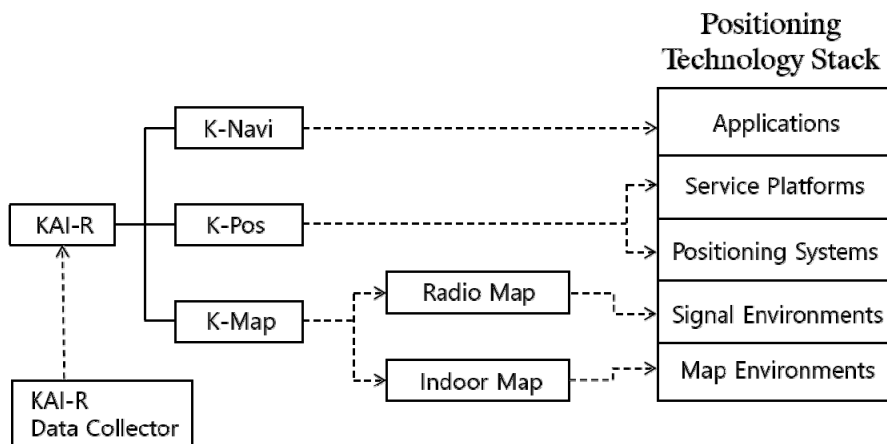
3. 기존 연구와의 차별성

실내 측위 연구는 단일 기술 적용에 한계가 있다(Kim et al., 2019). Kim et al.(2019)의 연구에서는 QR-마커와 카메라 기술을 활용하여 보행자 속도 1.2m/sec 이내, 마커와 거리 2.0m에서 98% 수준 정확도이라는 평가 결과를 제시하고 있지만, 이는 연속적 내비게이션 서비스가 아닌 마커가 있는 지점만 서비스가 가능한 한계를 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 실내 내비게이션 구현에 있어 단일 측위가 아닌 융합적 측위 방법으로 측위 오차 개선과, 연속 측위에서 사용하는 새로운 보행자 걸음 인식기법 적용이라는 점에서 기존 연구들과의 차별성이 있다. 또한 본 연구는 측위 오차 개선 알고리즘과 연속적 측위 값을 얻고자 하는 PDR 연구 분야에 학술적 기여가 가능하다.

Ⅲ. 철도 역사 적용 실내 내비게이션(KAI-R) 시스템

KAI-R 시스템은 <Fig. 1>과 같이 크게 K-Map, K-Pos, K-Navi의 세 부분으로 구성된다. K-Map은 다시 실내 지도와 라디오 맵으로 구분된다. K-Pos는 K-Map 상에 탑재되는 실내 위치인식 엔진으로, 무선 랜 핑거프린트에 기반 하여 위치를 추정한다. K-Navi는 KAI-R이 제공하는 실내/외 통합 내비게이션 시스템으로 K-Pos가 제공하는 위치정보를 기반으로 실내 내비게이션 시스템을 구현하고 이를 다시 실외 내비게이션 시스템과 통합하여 내비게이션 서비스를 제공한다. 한편, KAI-R에서는 데이터 수집을 위한 KAI-R 데이터 컬렉터를 제공하고 있는데, 이 데이터 컬렉터는 학습 데이터를 수집할 때 사용된다.



<Fig. 1> System Structure of the KAI-R

1. K-Map

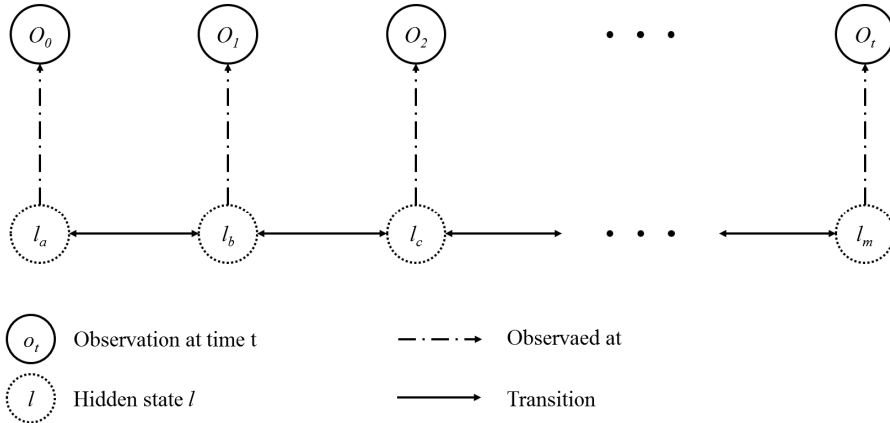
KAI-R은 사용자 참여 방식으로 실내지도와 라디오 맵을 수집하는 클라우드소싱 방식을 채택하고 있다. 실내 위치인식 및 내비게이션 서비스를 제공하기를 희망하는 지하철 역사는 KAI-R에서 제공하는 톨과 인터페이스를 통해서 해당 역사의 실내지도와 라디오 맵을 업로드 하여 서비스를 제공 받을 수 있다. <Fig. 2>는 사용자가 특정 건물의 실내지도와 라디오 맵을 KAI-R에 제공하는 과정을 보여준다. 특정 지하철 역사의 실내지도와 라디오 맵을 수집하기 위해서는 먼저 대상 건물과 각 층의 평면도를 등록한다. 각 층의 평면도가 등록된 상태에서는 화장실, 역사 사무실과 같은 POI를 등록할 수 있다. 한편, 라디오 맵을 구축하기 위해서는 각 층의 평면도에 어떤 경로로 무선 랜 핑거프린트를 수집할 것인지를 계획해야 한다. 이 경로는 주로 평면도의 복도를 중심으로 지정한다. 신호 수집 계획이 수립되면 해당 건물의 해당 층에서 신호를 수집할 수 있다. 이를 위해 KAI-R은 스마트폰을 이용하여 신호를 수집하는 톨을 제공한다. 수집자는 KAI-R에서 제공하는 수집 톨을 사용하여 계획된 경로를 따라 천천히 움직이며 데이터 수집을 완료한다. 이 때, 계획된 경로는 시작 위치와 끝 위치를 포함하고 있으며, 기둥과 같이 명확하게 실제 공간에서도 기준으로 삼을 수 있는 지점을 시작 위치나 끝 위치로 지정한다. 이 경로에서 시작 위치와 끝 위치는 웹상에서 위도, 경도 좌표로 등록되며 수집자가 데이터 수집을 시작해서 완료하기까지의 시간과 이들 좌표의 거리를 계산하여 일정 간격으로 라디오 맵을 생성하여 저장한다. 웹 기반의 KAI-R은 실내 내비게이션 서비스 제공에 필요한 다양한 메뉴를 제공하며, 이를 통해 <Fig. 2>의 과정을 쉽게 진행할 수 있다



<Fig. 2> Collection Procedure of the Indoor and Radio Map

2. K-Pos

K-Pos는 앞서 수집된 라디오 맵을 기반으로 위치정보를 제공하는 측위 엔진에 해당한다. K-Pos는 측위를 위해 무선 랜 신호를 주로 사용하며, 측위 엔진은 위치 인식을 위해서 이력 정보를 활용한다. 이를 위해 KAI-R은 Viterbi-Tracking 알고리즘(Jung and Han, 2016)과 K-NN 기법을 혼합한 K-Best Viterbi-Tracking 알고리즘(Brown and Golod, 2010)에 기반한 측위 방법을 사용한다. 제안하는 알고리즘은 핑거프린트 기반 실내 위치 측위를 함에 있어, 과거의 측위 결과를 반영하여 현재의 위치 측위 정확도를 향상시키는 기법이다. 이 기법은 Hidden Markov Model (HMM)을 근간으로 하는데, HMM은 여러 상태들(states)과 한 상태에서 다른 상태로의 전이(transition)로 이루어진 모델이다. 또한 각 상태마다 관찰 가능한 값(observations)이 발생하는 것을 모델로 한다. 여기서 은닉된 상태(hidden state)라 함은 관찰된 값은 있지만 어느 상태에서 해당 값이 관찰됐는지는 알지 못함을 의미한다. <Fig. 3>은 HMM을 도식화한 그림이다.

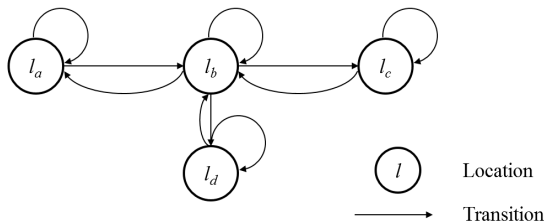


<Fig. 3> Hidden Markov Model

핑거프린트 방식의 실내 위치 인식은 HMM으로 표현할 수 있을 만큼 그 특징이 유사하다. 핑거프린트 방식에서는 수집된 Wi-Fi 신호 값이 각 위치마다 다르다는 것에 착안하여, 수집된 신호 값으로 위치를 찾는 방식이다. 그러므로 수집된(혹은 관찰된) 값은 위치(혹은 상태) 종속적이라는 점과 함께, 실내 측위를 하는 경우 목표물의 위치는 알 수 없지만 해당 목표물이 수집한 신호 값을 알 수 있다는 점에서 은닉된 상태(hidden state)와 유사하다. 실제로 이와 같은 유사성으로 인해 실내 위치 인식 분야에서 HMM을 응용한 방식이 연구되어 왔다. 특히 HMM에서 유명한 Viterbi algorithm은 실내 위치 인식에 활용한 연구들이 많이 있어왔다. 그러나 HMM에 기반을 둔 측위 방법은 크게 다음과 같은 두 가지 단점을 가지고 있다.

첫째로, HMM 기반의 측위에서는 주어진 상태에 대한 해당 값이 관찰될 확률 $P(o|l)$ 을 알아야 하는데, 이를 구하기 위해서는 많은 수의 핑거프린트를 수집하여 신호 분포를 확보해야 한다는 단점이 있다. 즉, 한 위치에서 수집된 핑거프린트 수가 많으면 많을수록 측위 결과 자체는 정확하게 나오지만, 그만큼 시간적인 면에서 수집 비용이 크다는 단점이 있다. 수집 비용을 줄이기 위해서는 수집할 핑거프린트 수를 줄여야 하는데, 그만큼 측위 정확도는 하락하므로 트레이드오프 관계에 있다고 볼 수 있다.

둘째로, 해당 알고리즘은 전이 확률(transition probability)을 요구하는데, 이를 계산하기가 상당히 난해하다는 점이다. 전이 확률이란, 한 위치(혹은 상태)에서 다른 위치(혹은 상태)로 전이될 확률을 의미한다. <Fig. 4>에서 l_b 의 경우, 전이 가능한 상태가 자기 자신을 포함하여 총 네 개의 상태이므로 동일한 분포를 따른다고 할 때, 상태 l_b 로부터 전이 가능한 상태로의 전이 확률은 1/4가 된다. 그러나 실제로 위치 측위를 위해서는 이동 방향과 거리에 따라 확률이 달리 주어져야 하는데, 이를 계산하는 방법은 현재까지는 구체적으로 제시되고 있지 않고 기존의 연구에서도 즉흥적이고 임기응변으로 계산되어 자세한 설명을 하지 않고 있다.



<Fig. 4> State transition of the HMM

이러한 어려움을 해결하기 위해 본 논문에서는 확률 이론에 근거한 확률적 융합 알고리즘을 제안한다. 제안하는 기법은 기존의 Viterbi 알고리즘의 개념적인 사상에 확률 이론에 기인한 수식을 전개하여 얻어진 알고리즘을 융합하여 창출되었다. 제안하는 알고리즘의 근간이 되는 확률은 조건부 확률로써, 아래와 같다.

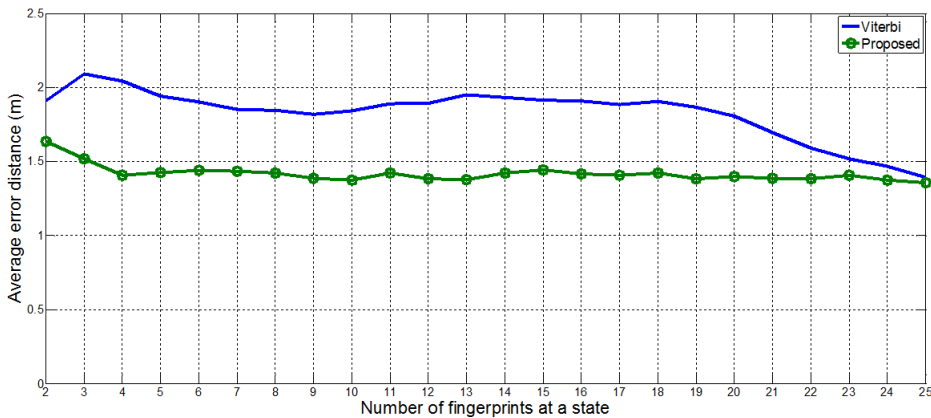
$$P(l_t, l_{t-1} | o_t, o_{t-1}, d_{t,t-1}, hmm) \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 보는 것처럼 해당 알고리즘은 주어진 모델이 HMM 이고 임의의 시간 $t-1$ 에서 t 사이의 이동한 거리를 $d_{t,t-1}$, 임의의 시간 $t-1$ 에서 관찰된 값을 o_{t-1} , t 에서 관찰된 값을 o_t 라고 할 때, $t-1$ 에서 위치가 l_{t-1} , t 에서 위치가 l_t 일 조건부 확률을 구하는 것에서 시작한다. 위 식 (1)은 수식 전개를 통하여 아래와 같은 도출에 이른다.

$$\frac{P(l_t | o_t) \times P(l_{t-1} | o_{t-1}) \times P(d_{t,t-1} | l_t, l_{t-1}, hmm) \times P(hmm | l_t, l_{t-1})}{P(d_{t,t-1}, hmm | o_t, o_{t-1})} \dots\dots\dots (2)$$

식 (2) 에 Viterbi 알고리즘의 사상을 융합하면 최종적으로 다음과 같은 식이 도출된다.

$$V_t(o_t, l_t) \approx P(l_t | o_t) \times \max_{l_{t-1} \in S(l_t)} [V_{t-1}(o_{t-1}, l_{t-1}) \times P(d_{t,t-1} | l_t, l_{t-1})] \dots\dots\dots (3)$$



<Fig. 5> Accuracy comparison of the proposed and viterbi algorithm at a certain point

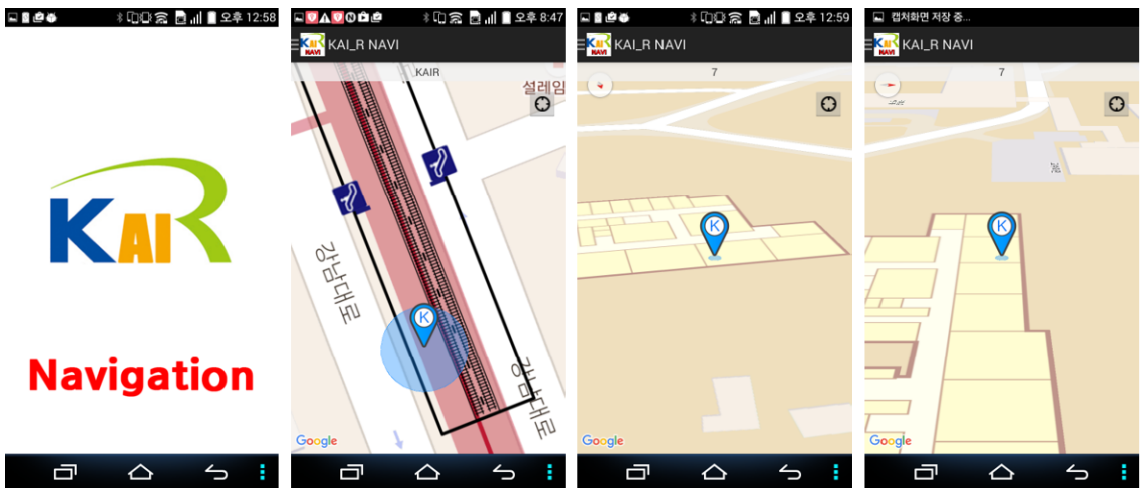
$V_t(o_t, l_t)$ 는 시간 t 에서의 관찰 값 o_t 을 포함하여 임의의 시간 t 까지의 관찰된 값을 고려했을 때 현재 위치가 l_t 일 확률을 의미한다. 해당 확률은 $P(l_t | o_t)$ 와 $P(d_{t,t-1} | l_t, l_{t-1})$, 그리고 이전 $t-1$ 에서 이미 계산된 $V_{t-1}(o_{t-1}, l_{t-1})$ 을 이용하여 계산 가능하다. $S(l_t)$ 는 위치 l_t 에서 전이 될 수 있는 모든 상태의 집합을 의미한다. $P(l_t | o_t)$ 의 경우 기존의 유사도(similarity)를 활용하여 확률 값을 구할 수 있다.

위 알고리즘은 이전의 Viterbi 알고리즘이 가지고 있는 두 가지 문제점을 해결한다. 우선 여러 개의 핑거프린트를 수집해야 한다는 조건이 사라진다. 위치 별로 하나의 핑거프린트만을 갖고 있다 하여도 $P(l_t | o_t)$ 는 0 유사도 기반으로 구해질 수 있으므로 문제되지 않는다. 또한, 임의로 구해졌던 전이 확률을 구하지 않고, 명시적으로 이동거리에 대한 확률 값을 계산함으로써 계산의 편의성 및 정확성을 확보할 수 있다.

<Fig. 5>에서 보는 것처럼, 한 위치(혹은 상태)에서 핑거프린트 수가 줄어들에 따라 Viterbi 알고리즘의 정확도는 줄어드는 반면, 제안하는 알고리즘은 일정한 정확도를 보이다가 한 지점에서 핑거프린트 수가 3개 이하로 떨어질 때 정확도가 하락하는 모습을 보였다. 더욱이 개발된 알고리즘이 정확도 면에서도 전체적으로 향상된 모습을 보이기 때문에 제안하는 기법을 통해 더욱 정확한 측위 결과를 제공할 수 있다.

3. K-Navi

지하철 역사에서 내비게이션 서비스를 위한 모든 준비가 완료되면, 최종적으로 사용자는 스마트폰을 통해 <Fig. 6>과 같이 다양한 기능을 포함하고 있는 K-Navi를 사용하여 원하는 목적지까지 길안내를 받을 수 있게 된다. 어플리케이션에서 안내하는 경로를 벗어났을 때 새로운 경로를 제안하는 경로 재탐색, 방향 전환 알림, 비상 상황 시 POI 표시, 지하철 구간 이동시 사용자 UI에 이동 상황 안내 및 맵 매칭을 통한 자연스러운 길 안내를 제공하는 등의 다양한 기능들을 K-Navi에서 제공한다.

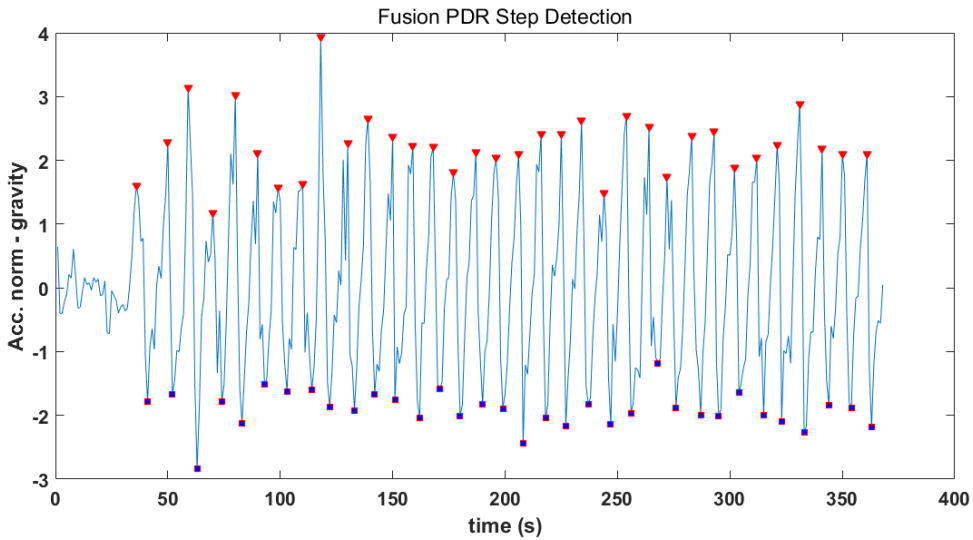


<Fig. 6> K-Navi user interface

한편, KAI-R은 Wi-Fi 기반의 핑거프린트 정보를 사용하지만, 무선 환경이 열악하거나 핑거프린트의 특성이 두드러지지 않는 경우에는 실내 측위 정확도가 저하될 수 있다는 것을 고려한다. 이 문제에 대한 대안으로 가속도 센서를 이용한 보행자의 상대적인 위치를 파악할 수 있는 PDR 기술과 Wi-Fi 측위 기술을 융합하여 측위 정확도를 높일 수 있도록 한다. PDR 기법을 적용시키기 위해서는 파라미터로 보행자의 보행 거리와 보행자의 걸음수를 필요로 하는데, 문제는 기존에 고안된 보행 인식 기법으로는 보행자의 정확한 걸음수를 인지하지 못할 뿐 아니라, 보행자가 걸음을 때자마자 즉각적으로 걸음 수를 세는 응답성도 떨어진다는 것에 있다. 본 논문에서는 기존의 보행 인식 기법인 꼭짓점 검출 기법과 푸리에 변환 기법을 융합한 알고리즘으로서 두 보행 인식 기법의 장점을 모아 보행자의 걸음수를 기존 보행 인식 기법보다 정확히 인식 하도록 하였다.

본 연구에서 보행 감지 알고리즘은 보행 중 스마트폰의 가속도 값이 나타내는 파형을 분석하여 보행자의 보행 여부와 보행자의 걸음 수 그리고 보행자의 걸음 주기를 판단한다. 보행자의 파형을 푸리에 변환 기법을 이용하여 주파수 성분을 확보하면, 보행자의 걸음 주기를 알 수 있다. 보행자의 걸음주기는 보행자의 걸음을 정확하게 인식하는 데에 큰 도움을 준다. 왜냐하면, 보행자의 가속도 값의 파형을 보행자의 걸음 주기만큼

보았을 때, 크기가 가장 큰 꼭짓점과, 크기가 가장 작은 꼭짓점으로 보행자의 걸음을 인식하면 되기 때문이다. 꼭짓점 검출 기법만을 사용하여 보행자의 걸음을 인식하는 경우에는, 국소 최댓값과 최솟값을 모두 걸음으로 인식하기 때문에, 어느 꼭짓점을 보행자의 걸음으로 인식해야 하는 지에 대한 문제가 있다. 그러나 푸리에 변환을 통해서 얻은 보행자의 보행 주파수를 이용하여 일정 시간 동안의 꼭짓점의 최댓값과 최솟값을 찾는 문제로 축소시킬 수 있어 보행 인식의 정확도를 높일 수 있다. 아래 <Fig. 7>은 본 논문에서 제시한 알고리즘을 바탕으로 보행 인식 실험을 한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 꼭짓점 검출 기반 보행 인식 결과에 비해서 국소 최솟값과 국소 최댓값을 잘 인식하는 것을 볼 수 있다.



<Fig. 7> Step detection result of the proposed fusion method

실험에서는 총 40개의 보행자 가속도 값 데이터로 본 연구에서 제안한 융합 PDR 기법으로 보행자의 걸음 수와 걸음인지 시점을 예측하였다.

꼭짓점 검출 기법, 푸리에 변환 기법, 그리고 이 두 가지 기법을 융합한 기법에 대해 실험 결과는 <Table 1>과 <Table 2>에 제시하고 있다. 이 실험 시나리오는 사용자가 평소 걷는 속도보다 약간 느린 걸음으로 이동하도록 설정하였다. 왜냐하면, 사용자가 내비게이션 서비스를 이용하는 경우 디바이스 화면을 보며 이동하는데, 화면을 보면서 빠르게 이동하거나 뛰는 것은 드문 경우로 간주했기 때문이다. 4명의 모델 별로 PDR 결과에 차이가 있지만 본 기법에서 고안한 PDR 기법이 기존 PDR 기법보다 실제 보행자 걸음 수 대비 오차 표준편차가 5보다 작은 값이 나왔다는 점에서 좋은 성능을 발휘한 것을 확인할 수 있다.

<Table 1> Total error average of the user steps(%)

	Peak Detection	Fourier Transform	Proposed
User 1	-5%	-7%	-7%
User 2	-14%	-9%	-1%
User 3	-15%	-5%	6%
User 4	-16%	-2%	3%

<Table 2> Standard deviation of the user step count errors

	Peak Detection	Fourier Transform	Proposed
User 1	1.04	1.21	1.96
User 2	2.82	2.97	4.30
User 3	3.50	2.11	0.98
User 4	10.09	5.58	4.28

IV. 평가

1. 일반 건물에서의 KAI-R 시스템 평가

철도 역사에서 필드테스트를 진행하기에 앞서 개발된 KAI-R의 시스템 성능과 오류 여부를 판단하기 위해 일반 실내 건물에서의 정확도 테스트와 분석을 진행하였다. KAI-R의 시스템 성능 테스트를 위해 카이스트의 8개 건물이 선정되었으며, KAI-R에서 수집계획과 라벨 링을 진행하고, 개발된 KAI-R 어플리케이션을 사용하여 내비게이션 테스트와 함께 정확도 분석을 진행했다. 정확도 테스트는 Wi-Fi 무선 신호만을 사용하는 측위 기법과 Wi-Fi와 PDR기법이 혼합된 측위 기법을 사용하여 비교 분석하였다.

<Table 3> Comparison of positioning accuracy in general buildings

Building	Wi-Fi + PDR	Wi-Fi
E2-1	2.37	6.04
E2-2	1.82	3.50
E3	12.26	12.22
E6	5.09	5.96
N1	4.79	6.62
N4	2.89	2.43
N5	2.47	2.31
N9	2.96	2.89

<Table 4> Total accuracy test result

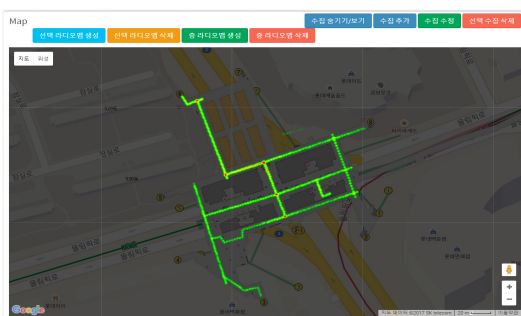
	Wi-Fi + PDR	Wi-Fi
Min	0.20	0.25
Max	28.24	28.53
Median	2.73	4.33
Mean	4.30	5.29

<Table 3>에서 볼 수 있듯이 건물별로 결과가 다양하게 나오는 것을 알 수 있는데, 이는 건물별로 Wi-Fi 무선 신호 환경이 상이하여 측위 결과에 미치는 영향이 다르기 때문이다. 또한, PDR을 사용했을 경우에도 Wi-Fi 환경의 영향과 더불어 PDR의 센서를 사용하는데 발생하는 누적 오차에 따라 측위 결과도 상이하게 도출 되는

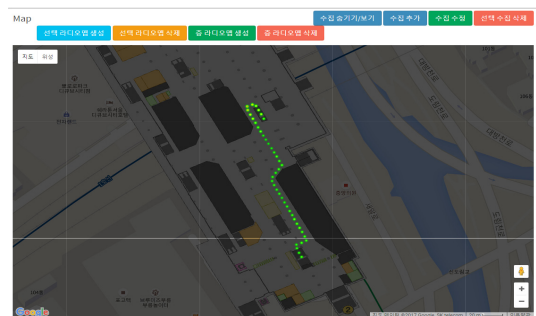
것을 확인할 수 있었다. 실험 결과 Wi-Fi만을 사용한 측위 결과가 PDR과 융합하는 기법보다는 다소 부정확하게 나왔으나, 경우에 따라서는 PDR과의 융합 기법이 더 안 좋게 나오는 경우도 있었다. E3 건물의 경우 Wi-Fi 무선 신호 환경이 매우 열악하여 측위 결과가 다른 건물들에 비해 좋지 않음을 알 수 있는데, 철도 역사의 경우에도 이 건물과 같이 매우 열악한 무선 환경을 갖고 있을 때는 추가적으로 AP를 설치하거나 새로운 기법을 적용할 필요성이 있다. <Table 4>는 카이스트 전체 건물에 대한 정확도를 종합적으로 도출한 결과이다. 표에서 볼 수 있듯이 일반 건물의 실내에서는 Wi-Fi만 적용한 측위 기법의 결과로 약 5.29미터의 정확도를 보였고, PDR과 융합된 기법의 측위 결과는 약 4.3미터임을 알 수 있다. 그러나, <Table 3>의 일반 건물에서의 융합 측위 결과가 Wi-Fi 단일 측위만을 진행한 결과보다 낮은 정확도를 보이는 곳이 있다. 이러한 건물들은 Wi-Fi 환경이 좋지 않거나, 복도가 넓은 경우, 그리고 개방형 구조를 형성하는 곳이다. 즉, Wi-Fi의 초기 위치가 잘못되거나 PDR의 에러가 상대적으로 크게 나타나, Wi-Fi 단일 측위를 진행하는 것보다 안 좋은 결과를 도출할 수 있다.

2. 철도 역사에서의 KAI-R 시스템 평가

지하철 역사에서 KAI-R 시스템에 대한 성능 평가는 Wi-Fi 측위를 기반으로 진행하였다. 앞 절에서 일반 건물의 Wi-Fi와 PDR기법의 융합 측위의 경우 여러 가지 이유로 Wi-Fi 단독 측위를 진행하는 경우보다 안 좋은 결과가 도출되었다는 것을 언급하였다. 일반적으로 지하철 역사는 복도를 포함하는 구조보다는 개방형 구조를 형성하고 있다. 그리고, 복도가 존재하더라도 일반 건물에 비해 상대적으로 넓은 폭을 갖는다. 이러한 지하철 역사의 구조적 특성을 고려해보면, Wi-Fi와 PDR의 융합 측위를 진행하는 것 보다는 Wi-Fi 단독 측위만을 진행하는 것이 더 합리적이라는 것을 알 수 있다. 실험에서는 새로운 AP를 추가하지 않고, 테스트 역사에 설치되어 있는 AP만을 사용하였다. 정확도 도출을 위해 웹상의 KAI-R에서 테스트 포인트를 지정하고, 테스터가 실제로 내비게이션 서비스를 구동해가며 해당 테스트 포인트에 위치했을 경우, 어플리케이션을 클릭하여 좌표를 저장하도록 하였다. 이 때, 좌표는 테스터가 수동으로 어플리케이션상의 포인트를 이동하여 저장하도록 하였으며, 테스트 포인트를 저장할 때 시스템으로부터 도출되는 측위 결과 좌표와의 거리를 계산하여 이를 오차 거리로 지정하였다.



<Fig. 8> Radio map construction of the Jamsil subway station



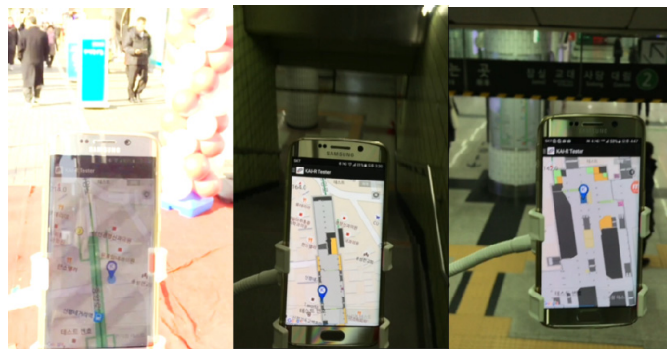
<Fig. 9> Radio map construction of the Sindorim subway station

철도 역사에서의 KAI-R 성능 실험을 위해 테스트 베드 역사 3군데를 선정하고 도어 투 도어의 개념을 적용하기 위해 실내 → 실외 → 실내 → 실외의 경로를 설정하였다. 전체 테스트 시나리오는 다음과 같다. 먼저, 신정네거리역 3번 출구 앞 투썸플레이스 실내에서 출발하여 신정네거리 3번 출구로 이동 후, 신정네거리

3번 출구에서 지하 1층으로 진입하여 표를 끊고 다시 지하 2층 지하철 플랫폼으로 이동한다. 신도림 방향 지하철을 탑승하고 신도림역에서 하차 한 후 잠실 방향 내선 순환 열차로 환승하도록 한다. 환승 후 잠실역에서 하차하고, 하차한 지하 2층에서 지하 1층 대합실로 이동, 지하 1층 대합실에서 잠실역 6번 출구로 이동하여 실외로 진출한다. 진출 후에는 6번 출구 앞 약 50미터 전방에 위치한 버스 정거장까지 이동한 후 시나리오를 종료하도록 설정하였다.

신도림역과 잠실역은 유동 인구가 많고 다수의 상점이 존재하는 역사로써, 이들 역사의 실내지도를 KAI-R 시스템에 등록하고, 내비게이션 서비스를 위해 서버라인을 구축하여 무선 신호 데이터를 수집할 수 있도록 하였다. 총 수집 시간은 역사별로 약 1~2시간 정도가 소요되었다. 신호 수집은 본 연구에서 개발한 KAI-R 데이터 컬렉터 앱을 이용하였다. 실험을 위한 서버라인 수립 계획 및 테스트 위치 지정은 KAI-R 시스템을 이용하여 진행하였는데, 주요 테스트 지점은 최종적으로 서비스가 제공되는 도어 투 도어의 개념을 사용하여 실제 사용자가 이동할 수 있는 경로를 설정하여 정확도를 도출하도록 하였다. 도어 투 도어 시나리오의 의미는 일반 사용자가 스마트폰 어플리케이션을 사용하여 집이나 일반 건물의 실내에서 출발지와 목적지를 설정하고 내비게이션 서비스를 받는 것이다. 즉, 본 시나리오에서는 일반 사용자가 임의의 커피숍에서 앱을 이용하여 출발지를 투썸플레이스로, 목적지를 잠실역 6번 출구 버스정거장까지 간다고 가정한다.

전체 시나리오를 보다 자세히 살펴보면, 투썸플레이스(실내) → 신정네거리 3번출구로 이동(실외) → 신정네거리 3번 출구로 진입하여 지하철 플랫폼까지 이동(실내) → 지하철 탑승 후 신도림 역 하차(실내) → 잠실 방향 내선 순환 열차 플랫폼으로 이동(실내) → 잠실역 하차 후 지하 2층에서 지하 1층 6번 출구로 이동(실내) → 잠실역 6번 출구로 진출 후 버스 정거장 도착(실외)이 된다. 즉, 실내/외의 구분 없이 궁극적으로 서비스하고자 하는 시나리오가 완성되어 테스트를 진행하게 되는 것이다. 본 연구진은 <Fig. 10>과 같이, KAI-R 테스트 내비게이터를 사용하여 설정된 시나리오를 수행하였으며, 모든 구간에서 만족할만한 결과를 도출하고 시스템이 동작하는 것을 확인하였다. <Table 5>는 내비게이션 UI와는 별도로 각 역사에 대한 측위 정확도를 도출해 낸 것이다.



<Fig. 10> K-Navi User Interface

<Table 5> Error estimation result of the scenario using Wi-Fi only

Subway Station	Min	Max	Mean
Sinjeongnegeori	2.45	7.56	3.42
Sindorim	2.47	6.02	3.25
Jamsil	2.00	6.87	3.21

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 철도 역사에서 내비게이션 서비스를 진행하는 데 필요한 모든 과정을 하나의 시스템에서 해결할 수 있도록 하는 KAI-R 시스템을 제안하였다. 본 시스템에서는 융합 측위 엔진을 새롭게 고안하여 측위 정확도를 높이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 새로운 보행자 걸음 인식 알고리즘을 통해 연속 측위에 지원이 가능하다는 점을 확인할 수 있었다. K-Map은 다양한 메뉴를 제공하여 내비게이션 계획 수립을 용이하게 하였으며, K-Pos는 융합 측위 엔진을 통해 정확도 향상을 유도할 수 있도록 하였다. 내비게이션 기능을 제공하는 K-Navi는 보다 새로운 보행 감지 알고리즘을 적용하고, 사용자가 부드러운 길안내 서비스를 제공할 수 있도록 다양한 기능을 탑재 하였다. 본 연구의 새로운 보행 감지 알고리즘은 Kim(2019)가 제안한 QR-마커 기반 증강현실 기법으로 보행자에게 길 안내 하는 서비스를 연속적으로 제공할 수 있는 데 기여할 수 있다. 이는 실내 측위의 오차 문제는 QR-마커로 극복하고, 보행자 Tracking 위치 정보는 본 연구에서 제안한 보행알고리즘을 융합하는 분야로의 연구 확장이 필요하다.

한편, 실내 측위 분야에서 데이터 수집 비용을 감소시키는 방법은 현재까지도 이슈로 남아있다. 철도 역사의 데이터 수집문제도 피해갈 수는 없다. 이를 위한 연구로 클라우드 소싱 기법(Jung and Han, 2016), 유저 피드백을 활용하는 방법(Lim et al., 2013)등이 연구 되어 있다. 향후 이러한 연구들은 KAI-R에 적용하여 비용을 줄이기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018X1A3A1068603, NRF-2018R1A2A1A05078018).

본 연구는 국토교통기술촉진사업 “세계시장 진출을 위한 구글맵(Google Maps) 기반의 증강현실(AR) 적용 실내공간용 보행자 내비게이션 플랫폼 개발” 과제번호 19CTAPC15272801000000) 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Alzantot M. and Youssef M.(2012), “UPTIME: Ubiquitous pedestrian tracking using mobile phones,” *IEEE Wireless Commu. Netw. Conf*, pp.3204-3209.
- Anastasi G., Bandelloni R., Conti M., Delmastro F., Gregori E. and Mainetto G.(2003), “Experimenting an indoor bluetooth-based positioning service,” *Intern. Conf. on Distributed Comp. Syst. Workshops*, pp.480-483.
- Ban R., Kaji K., Hiroi K. and Kawaguchi N.(2015), “Indoor positioning method integrating pedestrian Dead Reckoning with magnetic field and WiFi fingerprints,” *International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, pp.167-172.
- Baniukevic A., Sabonis D., Jensen C. S. and Lu H.(2011), “Improving Wi-Fi based indoor positioning using Bluetooth add-ons,” *IEEE 12th Intern. Conf.on Mob. Data Manag.*, pp.246-255.
- Brown D. G. and Golod D.(2010), “Decoding HMMs using the k best paths: Algorithms and

- applications,” *BMC Bioinformat.*, vol. 11, no. 1, p.S28.
- Chen G., Meng X., Wang Y., Zhang Y., Tian P. and Yang H.(2015), “Integrated WiFi/PDR/Smartphone using an unscented kalman filter algorithm for 3D indoor localization,” *Sensors*, no. 9, pp.24595-24614.
- Cho Y., Cho S., Kim B., Lee S., Kim J. and Choi W.(2007), “Technical trend of indoor/outdoor seamless positioning,” *Electronics and telecommunications trends*, vol. 22, no. 3, pp.20-28.
- Combettes C. and Renaudin V.(2017), “Walking direction estimation based on statistical modeling of human gait features with handheld MIMU,” *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 22, pp.2502-2511.
- Jin Y., Toh H. S., Soh W. S. and Wong W. C.(2011), “A robust dead-reckoning pedestrian tracking system with low cost sensors,” *IEEE Intern. Conf. Perv. Comput. Commu.*, pp.222-230.
- Jung S. and Han D.(2016), “Unsupervised learning for crowdsourced indoor localization in wireless networks,” *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 11, pp.2892-2906.
- Jung S., Lee C. and Han D.(2011), “Wi-Fi fingerprint-based approaches following log-distance path loss model for indoor positioning,” *IEEE MTT-S Workshop Series on Intellig. Radio for Future Personal Terminals*, pp.1-2.
- Jung S., Lee G. and Han D.(2018), “Methods and tools to construct a global indoor positioning system,” *IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybernetics: Syst.*, vol. 48, no. 6, pp.906-919.
- Kim H.(2006), “Wireless LAN-based LBS services,” *Telecommu. Review*, vol. 16, no. 2, pp.188-202.
- Kim S. H., Ahn T. K. and Kim J. H.(2014), “Study on location-based services using LED indoor real-time locating system in railway system,” *Jour. of the Kor. Soci. for Railway*, pp.1331-1335.
- Kim W. G., Kim H. and Lim G. H.(2019), “Development of Indoor Navigation System based on the Augmented Reality in Subway Station,” *Journal of ITS*, vol. 18, no. 1, pp.43-55.
- Kim Y. H.(2006), “A Basic strategy of intermodal transfer information at the railway station,” *Jour. of the Kor. Soci. for Railway*, pp.12-17.
- Le Grand E. and Thrun S.(2012), “3-Axis magnetic field mapping and fusion for indoor localization,” *IEEE Intern. Conf. on Multi. Fusion and Integ.or Intelli. Syst. (MFI)*, pp.358-364.
- Lee H., Yang D., Han and Yu C.(2010), “Crowdsourced radiomap for room-level place recognition in urban environment,” *Intern. Conf. on Perv. Comput. and Commu. Workshops*, pp.648-653.
- Lee J. H. and Shim M. G.(2009), “A study on connection & transfer system between railroad and other transportation Mode,” *Jour. of the Kor. Soci. for Railway*, pp.1457-1463.
- Lee M. H., An T. K. and Shin J. R.(2010), “A Study on Information Sharing Systems for the Urban Transit,” *Symp. of the Kor. Inst.of commu. and Info. Scie.*, pp.202-203.
- Lim J. S., Jang W. H., Yoon G. and Han D.(2013), “Radio map update automation for WiFi positioning system,” *IEEE Comm. Lett.*, vol. 17, no. 4, pp.693-696.
- Park J. H., Kim Y. H. and Hong S. H.(2004), “A study on the user requirement for intelligent railway information service,” *Jour. of the Kor. Soci. for Railway*, pp.137-143.
- Shao W., Zhao F., Wang C., Luo H., Zahid T. M., Wang Q. and Li D.(2016), “Location fingerprint extraction for magnetic field magnitude based indoor positioning,” *Journal of Sensors*, vol. 2016, pp.1-16.
- Shin S. I., Park J. J., Lee J. C. and Ha T. J.(2008), “Development of User Customized Path Finding

Algorithm for Public Transportation Information,” *Jour. of the Kor. socie. of civil engineers D*, vol. 28, no. 3D, pp.317-323.

Yu I. S., Song S. T., Park S. G., Jang H. H. and Choi S. Y.(2014), “A study on the ICT grafting way of railway sector,” *Jour. of the Kor. Soci. for Railway*, pp.870-876.

Zou H., Jiang H., Lu X. and Xie L.(2014), “An online sequential extreme learning machine approach to WiFi based indoor positioning,” *IEEE Intern. of Things Forum*, pp.111-116.