

철도 이용객 정보 제공을 위한 실내 위치인식 기술 동향

한 동 수 / 한국과학기술원 전산학과

I. 서론

최근 들어 급속하게 보급되어 사용되고 있는 스마트폰의 영향으로 실내 위치인식에 대한 관심이 고조되고 있다. 다소 정확도가 떨어지기는 하지만 구글, 애플을 필두로 한 글로벌 기업은 다양한 방식을 통해 실내에서도 위치 정보를 제공하고 있다. 국내에서도 통신 3사와 포탈 업체를 포함한 여러 기업이 실내 위치인식 서비스를 제공하거나 준비 중이다. 최근 주목을 받고 있는 철도 이용객 정보제공 기술에 있어서도 실내 위치인식은 핵심적인 기술로 부상하고 있다. 철도, 버스, 그리고 지하철 내비게이션을 실내 내비게이션과 연계시켜, 공공 교통기관을 이용하는 사용자에게 출발지에서 목적지까지 끊김 없이 길 안내 서비스를 제공하는 하는 소위 도어-투-도어 내비게이션의 실현이 철도 이용객 정보제공 기술의 주요 목표 중 하나이다.

실내 위치인식에는 무선랜, 블루투스, 지지국, 지자기 신호와 스마트폰에 탑재된 3축 가속기, 자이로스코프와 같은 관성 센서로부터 얻어지는 센싱 정보, 카메라 영상, 소리, 기압계 센서로부터 얻어지는 기압 정보가 활용될 수 있다. 그 중에서도 특별히 무선랜 신호는 정확도와 가용성 측면에서 상대적으로 유리한 환경을 갖추고 있어 주목을 받고 있다. 국내의 경우에는 수백만 기의 무선랜

신호중계기(일명 AP)가, 전 세계적으로는 수천만 - 수억 기의 AP가 전 세계 건물의 실내 공간에 설치되어 있는 것으로 알려져 있다.

본 고에서는 AP로부터 수신되는 무선랜 신호를 중심으로 실내 위치인식 시스템, 더 나아가 전 세계 실내 공간에서 위치정보를 제공할 수 있는 글로벌 실내 위치인식 시스템(Global Indoor Positioning System, GIPS 혹은 실내 GPS)에 대한 국내,외 기술 동향에 대해 살펴본다. 아울러 카이스트에서 개발하고 있는 클라우드소싱 GIPS 시스템, KAIST Indoor Locating System (KAILOS)에 대해서도 소개한다.

II. 위치기술 스택

GIPS 시스템은 위치기술 스택(Location Technology Stack) 관점에서 조망하면 좀더 쉽게 이해된다. 위치기술 스택은 위치인식에 요구되는 기반 환경과 위치기반 응용 서비스에서 요구되는 위치정보 제공에 요구되는 기술적인 요소들의 상호 관계를 계층 구조로 도식화한 것이다. 각 계층의 세부적인 요소에서 다소 차이가 있긴 하지만 위치기술 스택은 큰 틀에서 실내와 실외가 크게 다르지 않다. [그림 1]은 위치기술 스택 구조와 스택을 구성하는 각 계층별 실내,외 현황을 보여주고 있다.

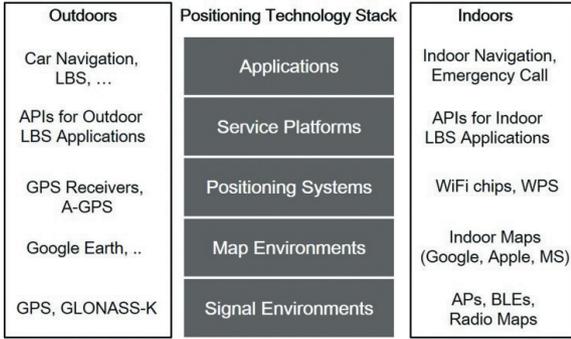


그림 1 위치기술 스택

위치기술의 가장 하부를 구성하는 것은 지도와 신호 환경이다. 실외의 경우, 미국의 GPS 위성 항법 시스템이 1990년대 초에, 그리고 러시아의 GLONASS-K 시스템이 2012년도에 구축되어 실외에서 위치를 추정할 수 있도록 지원하고 있다. 위성 신호가 도달하지 않는 실내에서는 위치 인식에 활용할 수 있는 범용적인 무선 신호 환경이 제공되어야 한다. 현재는 기지국 신호나 무선랜 신호가 가장 널리 쓰이고 있고, 향후에는 블루투스 신호나 지자기 신호 등도 쓰일 것으로 예상된다. 한편 추정된 위치는 사용자가 알기 쉽게 가시적인 형태로 지도 상에 표시할 수 있어야 한다. 지도 없이 표시된 위치는 그 효용 가치가 급격히 떨어진다. 실외의 경우에는 오랜 노력 끝에 지도정보가 비교적 잘 정비된 상태이다. 전 세계 지도로는 구글 지도가 있고 국내에도 여러 기업이 지도 서비스를 제공하고 있다. 하지만 실외와는 달리 실내의 경우에는 위치 정보를 표시할 실내지도가 턱 없이 부족한 상황이다.

실내 지도가 부족한 상황을 해소하기 위해서 구글은 2012년부터 일반 사용자로부터 실내지도를 수집하는 사이트를 개설하고 운영하고 있다 [1]. 현재까지 전 세계 13개국에서 공항, 관공서, 박물관, 실내 쇼핑몰 등을 중심으로 약 1만5천여 건물의 지도를 수집한 것으로 알려져 있다. 국내에서도 정부와 지방자치 단체 그리고 몇몇 기업이 지하철 역사와 백화점 등을 중심으로 실내 지도를 구축

하는 사업을 진행하고 있지만 실내지도는 여전히 매우 부족한 상황이다.

신호환경과 지도환경이 갖추어지고 나면 실외의 경우에는 GPS 수신기를 통해서 수신된 위성 신호를 분석하여 해당 수신기가 내장된 기기의 위치를 추정할 수 있다. 추정된 위치 정보는 항공기의 이착륙, 차량 내비게이션과 같은 다양한 위치기반 응용서비스의 구현에 활용된다. 반면 실내의 경우, 무선랜 신호를 활용하여 위치를 추정하기 위해서는 각각의 건물에서 얻어지는 신호 환경 특성 정보를 담고 있는 라디오맵이 추가적으로 구축되어야 한다. 라디오맵 구축이 완료되면 그 위에 위치인식 시스템을 탑재시키고 위치서비스 플랫폼을 통해서 길안내나 응급 구조와 같은 위치정보를 필요로 하는 응용 프로그램에 위치정보를 제공한다.

III. 실내 위치인식 원리

위치인식을 위한 다양한 원리와 기술이 존재하지만 무선랜 신호를 활용한 위치인식에는 무선랜 신호 중계기 (AP) 에서의 거리를 기준으로 위치를 추정하는 삼변측량 (trilateration) 기법과 실내의 각 지점별로 수신되는 신호의 특성 (일명 핑거프린트) 을 기준으로 위치를 추정하는 핑거프린트 방식이 널리 사용되고 있다. 두 방식 중 삼변측량 방식은 정확도가 핑거프린팅 방식에 비해 다소 떨어지는 단점과, 사전에 AP의 설치위치가 요구되는 제약으로 인해 현재는 핑거프린팅 방식이 더 선호

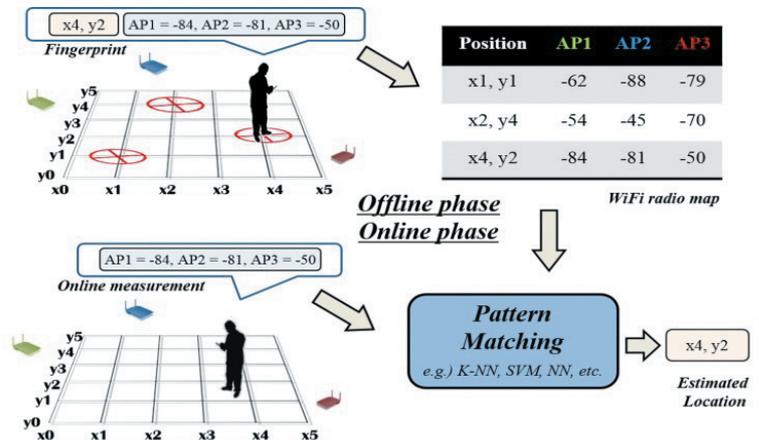


그림 2 라디오맵에 기반한 위치인식 시스템의 위치 추정 방법

되고 있다. [그림 2]는 핑거프린팅에 기반한 무선랜 실내 위치인식 시스템의 구동 과정을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 핑거프린팅 방식의 위치인식에서는 오프라인 단계에서 핑거프린트를 수집위치 정보와 함께 수집하여 구축한 라디오맵을 기반으로 온라인 단계에서 수집된 무선랜 신호와의 유사도 매칭을 통해서 현재의 위치를 추정한다. 따라서 핑거프린팅 방식은 AP가 설치된 위치 정보를 요구하지는 않지만 오프라인 단계에서 해당 공간의 라디오맵을 구축해야 하는 부담이 있다.

라디오맵은 보통 수작업을 통해서 구축되고, 건물의 크기가 크면 클 수록 비용이 증가한다. 게다가 전 세계 실내 공간의 라디오맵을 구축한다고 가정하면 그 비용은 상상을 초월한다. 그 동안 라디오맵 구축 비용을 절감하기 위한 다양한 시도가 있었다. 다음 장은 라디오맵 구축 방법에 대한 간략한 소개이다.

IV. 라디오맵 구축 방법

앞서 소개한 바와 같이 실내에서 무선랜 신호를 사용하여 위치정보를 제공하기 위해서는 무선랜 신호와 해당 무선랜 신호가 수집된 장소 정보를 가지고 있는 데이터베이스인 라디오맵의 구축이 필요하다. 실제로 무선랜 측위를 위한 라디오맵 구축을 위한 다양한 방법이 시도되고 왔다. 라디오맵 구축의 효시는 Point-by-Point Manual Calibration (PMC) 이다. PMC에서는 무선랜 신호를 수집하는 경로를 수집 대상 건물의 실내지도 상에서 계획한다. 주로 복도, 로비와 같은 건물의 통로를 중심으로 수집 경로를 설정하고 수집 지점은 경로 상에 보통 3-5미터 간격으로 설정한 뒤 각 지점에서 약 20-30 여개의 핑거프린트를 사람이 직접 수집한다. 정밀한 라디오맵 구축이 요구되는 실내 쇼핑몰이나 전시장, 공항 등에서 자주 사용되는 방식이다.

실제로 이 방식은 KAIST와 KINET이 2010년 공동으로 수행한 삼성동 코엑스 라디오맵 구축을 위해 사용된 바

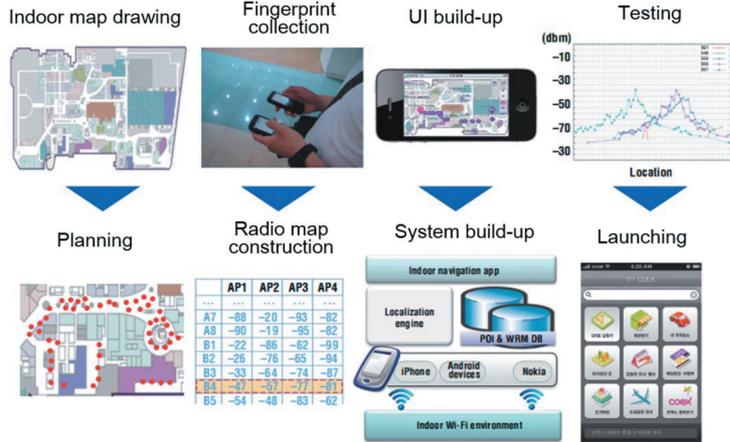


그림 3 라디오맵 구축을 포함한 코엑스 실내 위치인식 시스템 개발 과정

있다[2]. [그림 3]은 라디오맵 구축을 포함한 코엑스 실내 위치인식 및 내비게이션 시스템 개발 과정을 보여주고 있다.

당시 코엑스 라디오맵 구축을 위하여 약 2주간 10여명의 수집 인원이 투입되었으며, 약 10km에 달하는 수집 경로 상에 설정된 1만여 수집 지점에서 20만여개의 핑거프린트를 수집하였다. 하지만 PMC 방식은 라디오맵 구축에 지나치게 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있다.

PMC 방식에 요구되는 신호 수집 시간과 비용을 줄이기 위해서 새롭게 고안된 방식이 Walking Survey (WS) 이다 [3]. WS에서도 PMC 방식과 동일하게 사전에 신호를 수집하는 경로를 설정한다. 신호 수집은 수집자가 설정된 경로를 천천히 이동하는 과정에서 이루어진다.

이동 중에 수집된 신호의 위치는 수집자가 경로의 출발점, 종착점, 혹은 분기점 등을 지날 때마다 수집기기에 표기한 정보를 참조하여 추정한다. WS 방식은 PMC 방식에 비해 수집되는 신호의 양이 현격하게 줄어들어 정확도 손실을 초래하긴 하지만 신호를 수집하는 비용과 시간을 대폭 절감하는 장점이 있다.

이 방식은 2014년 2차 코엑스 라디오맵 구축 사업에 적용되었으며, 비교 결과 2010년도에 적용한 PMC 방식에 비해 약 90% 이상의 비용과 시간을 절감하는 효과가 있는 것으로 확인되었다.

WS 방식이 PMC 방식에 비해 라디오맵 구축 비용을 대폭 절감할 수 있기는 하지만 여전히 수작업을 통해서 라디오맵을 구축해야 하는 문제를 안고 있다. 따라서 전



세계 주요 실내 공간의 라디오맵을 구축하기에는 적합하지 않다. 대량으로 라디오맵을 구축하기 위한 기법은 스카이훅사의 War-driving 방식이 효시이다. War-driving에서는 무선랜 신호와 GPS 신호를 동시에 수집하는 기기를 차량에 탑재하고 도심의 주요 도로를 운행하면서 GPS 신호와 무선랜 신호를 수집한다. 무선랜 신호의 수집 지점은 함께 수집된 GPS 신호를 참조위치로 활용하여 라벨링한다. 실제로 스카이훅사는 이 방식을 사용하여 미국 주요 도시의 라디오맵을 구축하였고, 애플의 WiFi Positioning Service (WPS)에 적용되어 서비스되고 있다. 하지만 GPS를 참조위치로 사용하는 War-driving 방식은 GPS 신호가 도달하지 않는 실내에서 수집된 무선랜 신호를 활용하지 못하는 단점과 참조위치에 GPS 오류가 반영되는 단점을 가지고 있다.

라디오맵 구축에 있어 최근 주목을 받고 있는 방법은 클라우드소싱 기법을 활용하는 것이다. 이 방식은 불특정 다수의 스마트폰 사용자들로부터 얻어지는 무선랜 핑거프린트의 수집 지점을 자동으로 라벨링하여 라디오맵을 구축하는 기법이다. 클라우드소싱 라디오맵 구축 자동화 기법은 라디오맵 구축 비용 절감 측면에서 획기적이긴 하지만 불특정 다수의 스마트폰에서 수집위치 정보 없이 수집된 무선랜 핑거프린트의 자동으로 라벨링해야 하는 난제를 해결해야 한다. 무선랜 핑거프린트의 수집 위치를 자동으로 라벨링하기 위해 현재 널리 알려진 방법은 무선랜 신호와 함께 다양한 센서를 통해서 얻어진 신호를 활용하는 것이다 [4]. 건물 입구나 유리창 부근에서 얻어지는 GPS 신호, 관성 센서와 기압 센서들로부터 얻어지는 센싱 정보가 참조위치로 자주 활용한다.

V. KAIST Indoor Locating System

KAIST Indoor Locating System (KAILOS)는 앞서 설명한 GIPS와 실내,외 통합 내비게이션 시스템을 사용자 참여 방식을 통해서 실현하기 위해 카이스트에서 개발하여 2014년 3월에 일반에 공개한 클라우드소싱 글로벌 실내 위치인식 시스템이다 [3]. KAILOS는 임의의 사용자가 실내지도와 라디오맵을 수집에 참여할 수 있도록 웹 상에 (<http://kailos.io>) 실내지도 그리고 라디오맵을 등록하

는 사이트를 개설하고 관련 툴들을 제공하고 있다.

사용자는 누구든지 자신의 건물 혹은 관심이 있는 건물의 실내지도를 KAILOS에 등록하고, KAILOS가 제공하는 툴을 사용하여 신호를 수집하여 등록함으로써 해당 건물에서 실내 위치인식 서비스와 실내,외 통합 내비게이션 서비스를 사용할 수 있다. 더 나아가 자신이 원하는 위치기반 응용 서비스도 KAILOS가 제공하는 위치정보 서비스 API를 사용하여 개발할 수 있다.

[그림 4]는 KAILOS를 구성하고 있는 KAI-Map, KAI-Pos, KAI-Navi와 위치기술 스택과의 연계 관계를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 KAILOS는 위치기술 스택의 전 계층에 연관되어 있다. 다음은 이들 각각의 구성 요소에 대한 상술이다.

A. KAI-Map

앞서 설명한 바와 같이 KAI-Map은 사용자 참여 방식으로 KAILOS에 수집된 실내지도와 라디오맵에 대한 총칭이다. 사용자로부터 얻어지는 실내지도와 라디오맵의 원활한 수집을 위해 KAILOS는 사용자에게 실내지도 등록 툴과 수집 경로 설계 인터페이스, 그리고 신호수집 툴

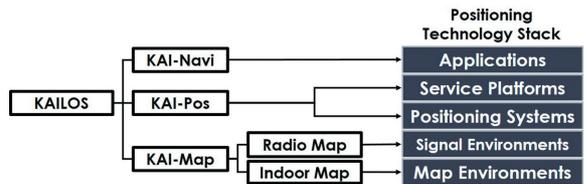


그림 4 KAILOS와 위치기술 스택



그림 5 KAI-Map에 실내지도와 신호 수집 계획을 등록하는 과정

들을 제공한다. [그림 5]는 사용자가 KAILOS상에서 특정 건물의 실내 지도도를 등록하고 등록된 실내 지도 상에서 신호를 수집하기 위한 경로를 설정하는 일련의 작업 과정을 보여주고 있다.

그림에서 보듯이 특정 건물의 실내 지도도와 라디오맵을 수집하는 절차는 먼저 대상 건물을 등록함으로써 시작된다. 건물 등록이 완료되면 해당 건물의 각 층의 평면도를 등록할 수 있다. 각 층의 평면도가 준비되면 사무실, 점포, 연구실, 강의실, 회의실과 같은 POI를 등록된 평면도 상에 등록한다. 라디오맵 구축은 각 층의 평면도에 어떤 경로를 통해서 무선랜 핑거프린트를 수집할 것인지를 설정하는 것으로 시작된다. 보통은 복도와 같은 이동 공간을 중심으로 신호를 수집하는 경로를 설정한다.

신호수집계획이 완료되면 해당 건물의 해당 층에서 신호를 수집할 수 있다. 수집자는 KAILOS에서 제공하는 WS용 신호수집 툴을 사용하여 계획된 경로를 따라 천천히 움직이면서 신호를 수집한다. 수집이 완료된 신호는 모아져 KAILOS에 송신된다.

KAILOS는 라디오맵 수집 비용 절감을 위해 WS 지원 툴 외에도 학습에 기반한 매우 독특한 핑거프린트 라벨링 자동화 기법을 제공한다. KAILOS가 제공하는 핑거프린트 라벨링 기법은 특정 건물의 이동 공간과 핑거프린트를 Hidden Markov Model (HMM)의 숨겨진 위치 상태 (hidden location state)와 관측치(observation)로 모델링하고 수집 위치를 라벨링한다.

자율 학습 모델에 대한 개요를 보여 주고 있다. HMM에 기반하여 고안된 자율 학습 모델은 거대한 솔루션 탐색 공간을 적절하게 제어하는 문제를 해결해야 하는 어려움을 극복해야 하지만, 충분한 양의 핑거프린트가 수

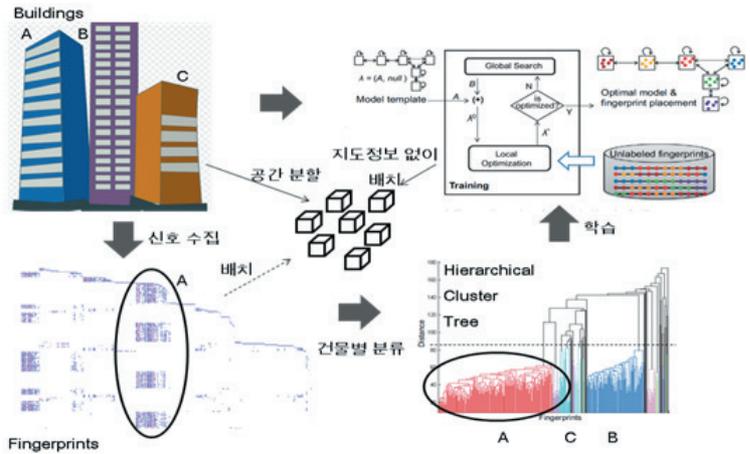


그림 6 전 세계 실내 공간의 라디오맵 구축 자동화

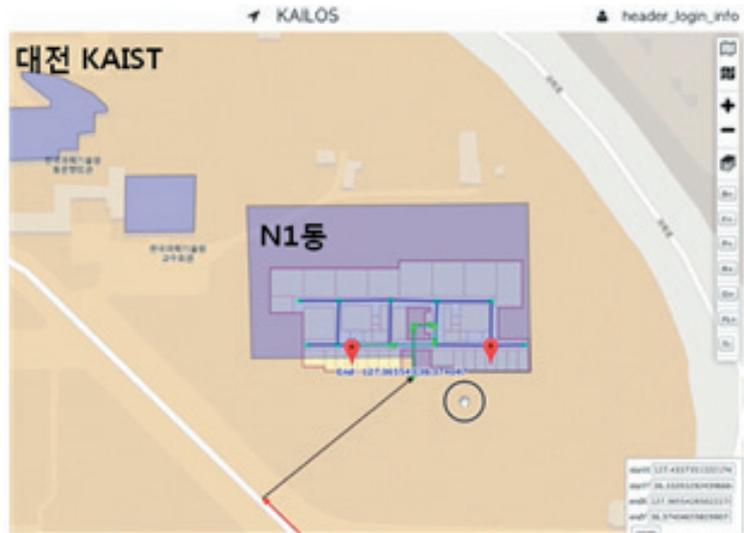


그림 7 실내,외 통합 내비게이션

집된 경우 수작업으로 구축된 라디오맵에 필적할 비교적 정밀한 라디오맵을 자동으로 구축할 수 있다. [그림 6]은 불특정 다수의 스마트폰에서 수집된 핑거프린트를 모으고 이들의 수집위치를 자동으로 라벨링하는 일련의 과정을 보여주고 있다. 불특정 다수의 스마트폰을 통해서 수집된 핑거프린트는 클러스터링을 통해서 건물별로 분류되고 앞서 소개한 자율학습을 통해 수집위치가 라벨링된다. 이 기술은 궁극적으로는 실내지도 정보조차도 없이 수집된 신호의 수집위치를 라벨링하는 목표를 가지고 있다. 아직도 개발 중이 이 기법이 완성되면 매우



적은 비용으로 단 기간 내에 GIPS를 실현할 수 있을 것으로 기대된다.

B. KAI-Pos

KAI-Pos는 앞서 수집된 라디오맵을 기반으로 위치를 추정하는 실내 위치인식 시스템이다. KAI-Pos는 무선랜 신호를 주로 사용하지만 위치인식의 정확도와 안정성 향상을 위하여 블루투스 신호와 지자기 신호 그리고 스마트폰에 장착된 3축가속기, 자이로스코프, 기압계 등의 정보도 복합적으로 사용할 수 있는 구조로 설계된 복합 측위 시스템이다. KAI-Pos는 현재 무선랜 신호와 PDR, 그리고 블루투스 신호를 복합적으로 사용하고 있으며 향후에는 지자기 신호 활용 기법을 접목시킬 예정으로 있다. 한편 KAILOS 측위 시스템은 위치 인식을 위해서 이력 정보를 적극적으로 활용하고 있다. 이를 위해서 KAILOS는 Viterbi 알고리즘과 kNN 기법을 혼합한 독자적인 확장된 Viterbi 알고리즘을 개발하여 사용하고 있다.

확장된 Viterbi 알고리즘의 정확도를 대전 카이스트 N1 건물 7층에서 확인한 결과, kNN 방식에 비해 평균 약 30% 정도의 정확도 개선 효과가 있는 것으로 확인되었다.

이를 2014년 12월 말 코엑스 실내 위치인식 시스템에 실제로 적용하였을 때에는, 라디오맵이 WS 방식으로 구축되었음에도 불구하고, 2010년 PMC 방식으로 구축된 라디오맵에서 구동된 Weighted kNN 방식의 위치인식 알고리즘을 사용한 결과보다 현격하게 개선된 정확도를 보이는 것으로 확인되었다.

C. KAI-Navi

KAILOS는 실내지도와 라디오맵이 수집된 건물에 대해서 실내 위치정보 서비스와 함께 실내,외 통합 내비게이션 서비스를 제공한다. 이를 위해서 KAILOS는 KAI-Pos가 제공하는 실내 위치정보에 기반하여 구동되는 실내 내비게이션 시스템을 장착하고 이를 다시 실외 내비게이션 시스템과 통합시켜 실내,외 통합 내비게이션 시스템을 제공한다. 현재는 구글 실외 내비게이션 시스템과 SKT T-Map이 KAILOS 실내 내비게이션 시스템과 연동될 수 있다. 실외 내비게이션과의 연계를 위하여 실외 경로는 각 건물에 표시된 입구를 통해서 실내 경로와 연결된다. [그림 7]은 T-Map과 KAILOS 실내 내비게이션이

구글 맵 상에서 연결된 상태를 보여주고 있다. 한편 실외에서 실내로 그리고 실내에서 실외로 환경이 바뀌는 시점에 위치인식 시스템을 즉각적으로 GPS에서 무선랜 위치인식 시스템으로 그리고 무선랜 위치인식 시스템에서 GPS로 전환해 주어야 한다. KAI-Navi는 음향에 기반한 스마트폰의 실내,외 위치를 판별한다는 점에서 매우 독특하다. 구체적으로 KAI-Navi는 실내에서 수신되는 주변의 음향과 실외에서 수신되는 음향에 차이가 있다는 것에 착안하여 실외와 실내를 구분할 수 있는 음향 샘플을 채취하여 학습한 뒤 실내,외를 판단한다.

실험 결과 사용된 기법의 실내,외 위치 판별 정확도는 평균 90%를 상회하였고 판별에 소요되는 시간은 약 2.5초에 불과한 것으로 확인되었다.

D. KAIST 캠퍼스 내비게이션 시스템

KAIST 캠퍼스 내비게이션 시스템은 현재 대전 카이스트 캠퍼스에서 서비스 되고 있다. KAI-Navi 구축을 위해 캠퍼스에 위치한 약 40여개의 건물에 대한 실내지도를 등록하였으며, 라디오맵 구축을 위한 핑거프린트는 WS를 통해서 수집하였다. 실내지도 그리고 라디오맵의 등록과 함께 약 4,000개에 달하는 KAIST의 교수 연구실, 행정실, 강의실, 회의실 등의 POI 정보 또한 모두 등록하였다. 캠퍼스 길 안내를 위한 스마트폰 앱도 개발하여 배포하였다. KAIST 캠퍼스 실내,외 통합 내비게이션 시스템이 구축되고 앱이 배포됨으로써 카이스트 구성원과 방문자들은 처음 방문하는 건물의 경우에도 실내,외 구분 없이 길 안내를 받으며 손쉽게 목적지를 찾아가는 새로운 경험을 할 수 있다.

아직은 캠퍼스 실내,외 통합 내비게이션이 사용되기 시작한 시점이어서 그 유용성을 확인하기에는 이른 시점이다. 지속적으로 앱을 내려 받은 사용자가 증가하고 있어 곧 서비스의 효용성이 확인될 것이다. 장래에는 마을, 도시, 국가 수준으로 범위가 넓어진 실내,외 통합 내비게이션 서비스에 대한 요구가 증대될 것으로 예상되고 있다.

VI. 결 론

본 고에서는 철도 이용자 정보제공을 위한 실내 위치 인식 환경과 기술을 위치기술 스택이라는 틀을 통해서 소개하고 실내 위치인식 기술 동향을 무선랜 신호 기반 위치인식의 기반이 되는 라디오맵 구축 기술을 중심으로 소개하였다. 또한 GIPS의 구체적인 실현을 위한 방안으로 개발된 클라우드소싱 GIPS인 KAILOS를 소개하였다.

무선랜 신호에 기반한 완성도 높은 GIPS 실현에는 오랜 기간이 소요될 것으로 예상된다.

이는 GIPS 실현의 기반이 되는 실내지도를 많은 기업과 사용자의 적극적인 참여 없이는 단 기간 내에 확보하기가 쉽지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 철도, 지하철 역사와 같은 공간에 대한 실내지도는 수 많은 철도 및 지하철 이용자의 편의를 위하여 조기에 구축될 가능성이 높다. 라디오맵의 경우도 마찬가지이다. 철도 이용자 정보제공을 위한 기반 인프라가 구축되고 철도, 지하철 역사, 그리고 주변 지하 상가의 실내지도와 라디오맵 구축이 완료되면 도어-투-도어 내비게이션이 가까운 장래에 실현될 수 있을 것이다. 지난 수년에 걸쳐 카이스트에서 개발해 온 KAILOS가 도어-투-도어 내비게이션 시스템 개발에 일익을 담당하기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Google Indoor Maps, <http://support.google.com/gmm/bin/topic.py?hl=en&topic=1685871>
- [2] Han, Dongsoo, et al. "Building a Practical Wi-Fi-Based Indoor Navigation System." *Pervasive Computing*, IEEE 13.2 (2014): 72-79.
- [3] KAIST Indoor Locating System, <http://kailos.io>
- [4] Rai, Anshul, et al. "Zee: zero-effort crowdsourcing for indoor localization." *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2012.