

# Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술개발 동향

지명인 | 조영수 | 박상준 | 임동선

한국전자통신연구원

## 요 약

최근 GPS와 Wi-Fi가 내장된 스마트폰의 보급으로 이를 활용한 위치기반서비스 (Location-based Service)가 각광을 받고 있다. 이를 통해 GPS를 이용한 실외 위치추정 및 항법서비스뿐만 아니라 실내에서도 Wi-Fi 신호를 이용하여 사용자의 위치를 추정하고 다양한 서비스를 제공받을 수 있게 되었다. 본 논문에서는 Wi-Fi를 이용한 실내 위치추정 기술의 기본원리에 대해 살펴보고, 이를 활용한 기술의 동향을 소개하고자 한다.

## 1. 서 론

Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술은 Wi-Fi가 내장된 사용자의 단말에서 주변의 Wi-Fi AP로부터 전송되는 패킷을 수신하고 이를 활용하여 사용자의 위치를 추정하는 기술을 말한다.

따라서 위치정보를 제공하려는 실내에서는 기본적으로 Wi-Fi AP가 일정수준 이상 설치되어 있어야 하며, AP의 수는 곧 위치정확도와 밀접한 관계가 있다. 또한, 위치정보를 제공하는 사용자의 단말에는 Wi-Fi가 내장되어 있어야 하고 위치추정 기법에 따라 서버와의 통신이 이루어질 필요가 있다.

Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술은 추정방식에 따라 단말기 기반 위치추정과 네트워크기반 위치추정으로 구분할 수 있다 [1].

단말기 기반 위치추정은 추정에 활용할 Wi-Fi AP DB가 단말

에 내장되어 AP 정보를 가진 서버와 통신할 필요가 없을 때, 또는 위치추정에 필요한 계산량이 적을 때 활용한다. 이에 반해 네트워크 기반 위치추정은 단말에 AP DB가 저장되어 있지 않으므로, 단말이 주변 AP를 검색한 결과를 서버로 송신하여 서버에서 계산해야 할 때 활용한다. 또한, 위치를 추정하기 위해 수행해야 할 계산량이 많아 계산능력이 뛰어난 서버에서 계산하여 단말에 전달해야 하는 경우에 활용한다.

주로 AP DB 정보의 양이 적을 때 단말기 기반 위치추정을 활용하고, AP DB정보의 양이 많은 경우에는 네트워크 기반 위치추정 방식을 활용하게 되는데, 서비스지역과 활용목적에 따라 다르게 설계한다.

적용지역과 목적이 다른 곧 적용할 기술이 다름을 의미한다. 이에 본 논문 2장에서는 Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술에 사용되는 대표적인 3가지 기술에 대해 살펴보고, 3장에서는 이러한 방식을 활용하여 실제 구축하고 적용한 사례를 알아본다. 4장에서는 결론을 맺는다.

## II. Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술

Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술은 구현방법에 따라 다양하게 분류할 수 있지만, 이미 타당성이 입증된 기법으로 다음과 같이 3가지를 꼽을 수 있다.

### 1. Cell-ID 기반 위치추정 기법

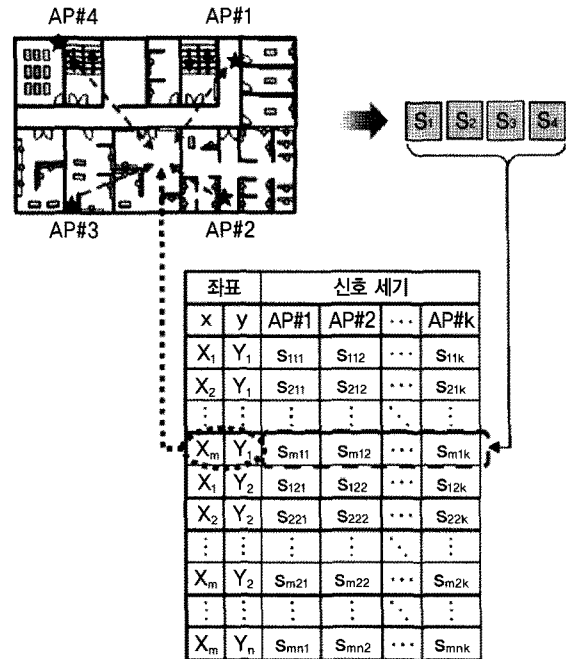
이동통신 기지국(Cell-tower) 기반 휴대폰 위치추정 기술

로 잘 알려진 Cell-ID 기반 위치추정 기술은 주변의 Wi-Fi AP의 고유번호를 기준으로 현재의 위치를 추정하는 기술을 말한다.

특정 건물에서 AP의 설치위치가 DB에 저장되어 있다면, 단말이 접속한 (또는 검색한) AP의 고유번호를 DB에서 검색하여 AP 설치위치를 곧 단말의 현재위치로 추정하게 된다.

전송거리가 수백 m에서 수 Km에 이르는 이동통신 기지국과는 달리, Wi-Fi AP의 전송거리는 환경에 따라 수십m에서 최대 200m안팎으로 짧다. 전송거리가 짧다는 것은 곧 단말의 위치정확도가 그만큼 높아진다는 의미가 되므로, 이 방법은 단순하면서도 비교적 높은 정확도를 가짐에 의미가 있다.

이 기법은 주로 해당 영역 내에 단말의 존재여부를 판단할 때 활용하며, Wi-Fi AP가 일정간격으로 조밀하게 설치되어 있는 경우에 비례하여 위치정확도가 높아진다.



(그림 1) Fingerprint 기반 위치추정 기법 개념도 [4]

## 2. Fingerprint 기반 위치추정 기법

Fingerprint 기반 실내위치 추정기술은 2000년대 초반 Wi-Fi에 적용한 이래 가장 많이 연구된 기법 중 하나이다 [2]. 실내 환경에서는 다양한 재질의 장애물과 다중경로로 인해 거리에 따른 수신신호의 세기가 일정하지 않을 뿐 아니라 수신 세기 값의 변동폭이 크다. 따라서 Wi-Fi 신호 전파모델을 일반화 하는 대신, 위치추정 이전에 서비스 지역의 각 기준점 (Reference Point) 별로 다수의 AP로부터 수신되는 신호세기를 DB화 한 후, 위치추정 단계에서 수신된 신호를 DB에서 비교하여 가장 유사한 전파특성을 갖는 위치를 단말의 위치로 추정하게 된다.

Fingerprint 데이터베이스가 각 기준점 별로 갖는 정보는 다음과 같다 [3].

$$FP_{refP_i} = \left\{ refP_i, (AP_{MAC_0}, RS_0, AP_{MAC_1}, RS_1, \dots) \right\}$$

위 수식에서  $FP_{refP_i}$ 는 기준점  $refP_i$ 에서 수신된 AP의 고유번호와 신호세기 정보를 나타낸다. 고유번호는 AP의 MAC Address ( $AP_{MAC_i}$ )로 나타낼 수 있으며, 해당 AP로부터 받은 신호의 세기는  $RS_i$ 로 표현하여 이 두 가지 정보를 쌍으로

보고 수신된 AP의 수만큼이  $FP_{refP_i}$ 에 저장된다.

Fingerprint 데이터베이스 구축단계가 끝나면 위치추정이 가능해진다. 위치추정 단계에서 단말은 주변에 설치된 AP로부터 다음의 정보를 수신한다.

$$(AP_{MAC_0}, RS_0, AP_{MAC_1}, RS_1, \dots)$$

Wi-Fi 신호의 특성상  $RS_i$ 는 Fingerprint 데이터베이스를 생성할 때와는 다르게 오차를 내포하므로, 수신된 신호세기를 데이터베이스와 비교하여 똑같은 값은 찾기 힘들다. 따라서 확률적으로 수신신호와 가장 비슷한 신호 모델을 갖는 위치를 추정하게 되는데, 다음 식을 이용하여  $d_i$ 가 최소가 되는 기준점을 현재위치로 추정한다.

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n |rs_j - RS_j|^2}$$

위 식에서  $i$ 는 Fingerprint 데이터베이스의 인덱스가 되고  $n$ 은 단말이 수신한 Wi-Fi AP수신세기의 수이다.  $r_s$ 는 단말이 수신한 특정 AP의 신호세기이며,  $RS_j$ 는 이와 대응되는 Fingerprint 데이터베이스에 저장되어있는 AP의 신호세기이다.

이 방법에서 얻을 수 있는 위치정확도는 Fingerprint 데이터베이스에 저장된 기준점의 간격과 밀접한 관련이 있다. 즉, 데이터베이스가 좁은 간격으로 구축된 경우에는 그만큼의 정밀한 위치정확도를 얻을 수 있는 반면, 넓은 간격으로 구축된 데이터베이스를 사용하면 위치정확도도 낮아지게 된다.

하지만, 넓은 지역에서 Fingerprint 데이터 베이스를 구축하기 위해서는 구축에 필요한 시간과 데이터베이스 크기가 기준점 수에 비례하여 증가하는 문제가 있다.

### 3. Weighted Centroid 기반 위치추정 기법

Weighted Centroid기반 위치추정 기법은 설치된 Wi-Fi AP의 위치를 알고 있다는 가정하에 수신된 신호세기만큼 가중치를 주어 단말의 위치를 추정하는 방법이다.

단말에서 주변에 설치된 Wi-Fi AP를 검색하고, 각 AP로부터 받은 신호의 세기는 다음의 식을 통해 가중치로 변환된다.

$$w_i = \frac{1}{(d_i)^g}$$

이 때,  $w_i$ 는  $i$ 번째 AP에 대한 가중치를 나타내고 이는 AP와 단말 간 거리의  $g$ 제곱에 반비례한다.

각 AP의 위치를 알고 있으므로, 단말의 추정위치는 다음 식을 통해 계산한다.

$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times AP_{i\text{Position}}(x, y))}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

위 식에서  $AP_{i\text{Position}}(x, y)$ 는  $i$ 번째 AP가 설치된 위치를 나타내고  $P(x, y)$ 는 Weighted Centroid 기법을 통해 추정된 단말의 위치를 나타낸다 [5].

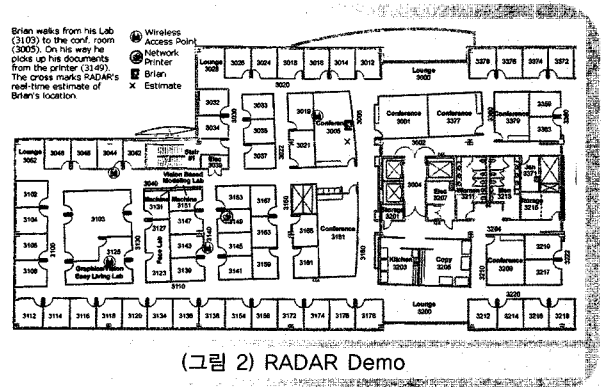
이러한 Weighted Centroid 기법은 위치추정에 필요한 계산량이 적어 단말 기반 위치추정에 활용하기 용이하다. 하지만, 미리 Wi-Fi AP의 위치를 정확히 알아야 하고 Wi-Fi AP가 둘러싸지 않는 지역이나 적게 설치된 지역에서는 위치오차가 비교적 커지는 단점이 있다.

## III. Wi-Fi 기반 실내 위치추정 적용사례

본 장에서는 Wi-Fi 기반 실내 위치추정을 실제 적용하여 구현한 사례를 살펴보고자 한다. 2000년대 초반 Microsoft에서 발표한 RADAR를 시작으로 AeroScout, Ekahau 등의 업체가 관련기술을 발표하였으며, 최근 스마트폰이 빠르게 보급됨에 따라 Skyhook Wireless의 솔루션이 주목을 받고 있다. 아울러, 넓은 실내공간에서 기존에 설치된 Wi-Fi AP를 DB화 하여 높은 정밀도를 제공하고, 실내외 천이구간과 실외에서도 끊임없는 위치추정이 가능한 ETRI 실내외 연속측위 기술도 소개한다.

### 1. RADAR [2]

Microsoft Research Group 에서 2000년에 소개한 RADAR는 위치추정에 앞서 off-line phase를 통해 각 기준점 별로 Base Station에서 전송되는 신호의 세기(SS)와 신호 대 잡음비(SNR)를 측정하여 DB화 한다. 이 정보를 이용하여 실제 사용자가 받는 신호를 real-time phase에서 분석하여 위치를 추정하게 된다. RADAR는 초반에 연구된 Wi-Fi기반 실내 위치추정 기술의 결과물임에도 건물 내에 설치된 Wi-Fi AP 인프라를 그대로 사용하고, 미리 측정한 DB와 사용자가 실시간으로 받는 신호의 특성을 조합하여 비교적 높은 정확도를 제공하는 데에 의의가 있다.

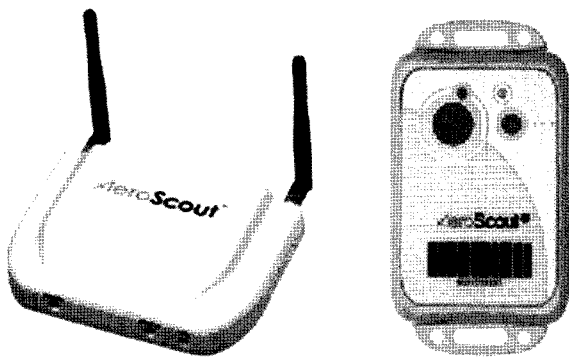


(그림 2) RADAR Demo

### 2. AeroScout [6]

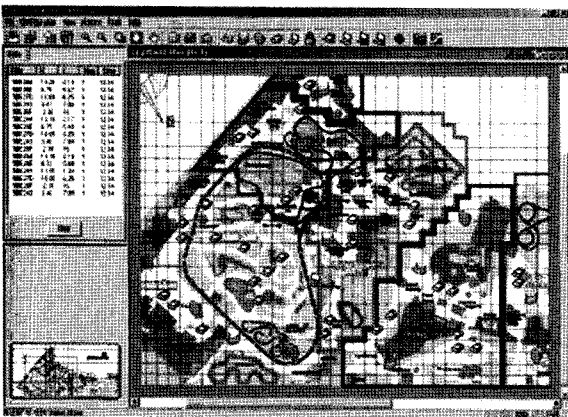
Wi-Fi기반 실내 위치인식 기술을 제품화하여 사용자에게 솔루션을 제공하는 업체로 이스라엘 계열의 AeroScout을 꼽

을 수 있다. AeroScout은 응용과 환경에 따라 RSSI와 TDoA 방식으로 위치를 추정하게 된다. 일반적인 실내환경에서는 RSSI를 측정하여 추정하므로 기존의 IEEE 802.11 표준을 따르는 Wi-Fi AP를 그대로 사용해도 되지만, Multi-path의 영향을 비교적 덜 받는 체육관이나 공장과 같은 실내영역, 또는 실외 위치인식에는 TDoA (Time Difference of Arrival) 방식을 사용하기 위해 전파도달거리가 긴 전용 Wi-Fi reader인 AeroScout Location Receiver를 사용한다.



(그림 3) AeroScout Location Receiver(좌), AeroScout 명찰형 T3 Tag(우)

전용 AP이외에 AeroScout 솔루션은 Positioning Engine, Tag, Activator, Exciter로 구성된다. Positioning Engine은 실시간 위치추정을 위해 다수의 Location Receiver가 수신한 태그의 정보를 분석하여 태그의 위치를 추정하는 기능과 특정지역에서 태그의 존재유무만을 판단하는 기능 등을 제공한다. 이때, 태그의 존재유무만을 판단하는 기능을 사용할



(그림 4) AeroScout 레고랜드 구축사례

때에는 Location Receiver의 수가 대폭 줄어도 무방하다.

전용장치의 특징을 갖는 AeroScout 솔루션의 또 다른 기능은 125KHz에서 동작하는 수동형 RFID receiver를 태그에 내장하고 있다는 것이다. 이에 따라 태그의 설정 변경을 통해 다양한 환경에 맞는 기능을 제공한다.

(그림 4)는 AeroScout 시스템의 대표적인 구축사례인 네덜란드 레고랜드의 데모화면이다.

### 3. Ekahau [7]

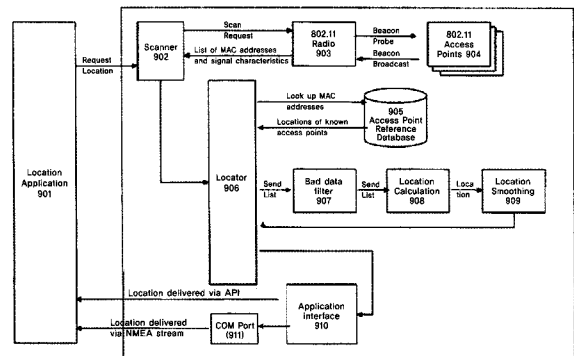
Ekahau는 병원, 마트, 물류, 공장, 공공시설 등에서 Wi-Fi가 장착된 Tag의 위치를 추정하기 위해 개발된 것으로 Fingerprint방식을 사용하여 기 설치된 Wi-Fi AP를 위치추정 용도로 사용하게 된다. 이 솔루션은 Positioning Engine, Manager, Applications (Finder, Tracker, Logger), 그리고 Tag로 구성되어 있으며, Tag는 활용목적에 따라 다양한 형태로 제공된다.

Fingerprint 방식을 사용하므로 위치추정 서비스 구축 시 해당 지역에 수집단계를 거쳐야 하며, 위치정확도는 수집을 얼마나 조밀하게 했는지에 비례한다.

### 4. Skyhook Wireless [8]

미국 Skyhook Wireless는 GPS, 이동통신망 (CDMA/GSM), Wi-Fi가 장착된 단말을 가진 사용자가 실내외 어디에 있어도 해당 위치를 빠르고 비교적 정확하게 알려주는 솔루션을 개발하여 많은 스마트폰에 보급하였다.

GPS정보를 확인할 수 없는 실내에서는 미리 구축된 Wi-Fi AP DB와 사용자의 단말에서 검색한 Wi-Fi AP 신호를 비교

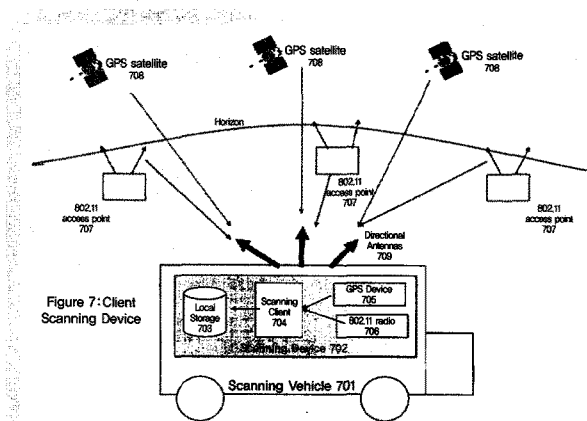


(그림 5) Positioning Software 개념도(Skyhook Wireless) [9]

하여 위치 정보가 알려진, 즉 미리 구축된 Wi-Fi AP 만을 이용하여 단말의 위치를 계산하게 된다. 이에 따라 사용자 단말에서 검색된 Wi-Fi AP 정보는 Skyhook Wireless 중앙서버로 전송하여 위치 추정에 사용한다.

다른 기술과 달리, Skyhook Wireless의 기술에서 특징적인 부분은 Wi-Fi AP를 차량용 스캐너 장치로 직접 구축한다는 점이다. 아래 (그림 6)에서 살펴볼 수 있듯이, 고성능 Wi-Fi 스캔 기능이 장착된 차량이 서비스 지역을 운행하면서 GPS 경위도 정보와 해당 좌표에서 검색된 Wi-Fi AP의 ID를 DB에 저장하게 된다. 이때 검색되는 Wi-Fi AP는 차량이 진입할 수 있는 구간에서도 신호가 도달하는 AP이며, 이 AP들로 하여금 사용자가 실내에 있어도 어느 건물에 있는 지를 알 수 있게 된다.

(그림 5)는 구축된 AP DB를 기반으로 단말 위치를 추정하는 단계의 개념도를 나타낸 것이다.



(그림 6) Client Scanning Device 개념도(Skyhook Wireless) [9]

### 5. ETRI 실내외 연속측위 기술

ETRI에서는 실내외에서 끊김없는 위치기반 서비스를 제공하기 위하여 실내에서는 Wi-Fi 를 사용하고, GPS가용도가 떨어지는 실내/실외 경계지역에서는 Wi-Fi와 GPS를 결합하는 실내외 연속측위 기술을 개발하였다.

별도의 태그를 추가하지 않고 GPS/Wi-Fi가 장착된 기존 노트북이나 스마트폰을 사용하되 전용 Client 프로그램을 설치하여 위치를 추정한다. Fingerprint 방식을 사용하지 않아 Wi-Fi DB의 크기가 줄어들어 서비스 영역에 해당하는 DB를 단말에 탑재하는 데에 무리가 없다. 또한, 위치추정에 필요

한 계산량이 적으므로 Wi-Fi AP DB 서버와의 통신이 필요하지 않다. (그림 7)은 서울 삼성동 COEX 지하 1층의 COEX 몰에서 실내 위치추정 기술을 시연하는 화면이다.

앞서 설명한 다른 기술과 마찬가지로, ETRI에서 개발한 기술에서도 Wi-Fi AP DB는 위치추정 단계에 앞서 미리 구축되어야 한다. 하지만, 실내에서도 높은 위치정확도를 갖는 서비스를 제공하기 위해 Wi-Fi AP의 위치 자체를 정밀하게 추정하는 점에서 차이가 있다. 위치추정 서비스 제공지역의 관리자가 수집장치를 들고 돌아다니면 여러 지점에서 동일한 Wi-Fi AP가 검색될 때 AP의 위치를 추정하게 되는 방식이다.

(그림 8)은 구축된 Wi-Fi AP DB를 이용하여 사용자가 이동한 경로대비 추정된 위치의 정확도를 나타내는 실험이다.

실내외 경계지역에서는 일반적으로 GPS 위성의 가시성이 양호하지 않고 다중경로로 인한 오차가 발생하게 된다. ETRI에서 개발한 기술의 또다른 특징점은, 이러한 경계지역에서도 위치 정확도를 향상시키고자 WLAN 및 GPS의 측정 잡음 공분산 및 프로세스 잡음 공분산을 적응형으로 설계하여 오차 분포가 작은 측정값에 대한 영향력을 증가함으로써 최적의 복합위치 값을 추정하는 Adaptive Kalman Filter 기반 복합측위 알고리즘을 설계 및 시험/검증하였다.

(그림 9)는 동적 환경에서 GPS 단독 위치(빨간선) 계산값과 AKF로 계산한 위치(파란선) 계산값을 시험환경의 지도상에 도시한 결과를 나타낸다. (그림 10)은 기준이동경로 상에서 각각의 알고리즘의 위치정확도 성능을 비교하여 도시한 결과를 나타낸다. 이를 통해 실내외 경계지역에서



(그림 7) 실내외 연속측위 기술 시연화면

Adaptive Kalman Filter 기반 복합측위 알고리즘을 적용하여 비정상적인 위치오차 증가를 완화시키고 측위 환경에 관계 없이 강건한 위치정보를 제공할 수 있음을 확인하였다 [10].

## IV. 결론

본 논문에서는 Wi-Fi기반 실내 위치추정 기술의 기본 원리와 적용사례에 대해 살펴보았다. 각 기술은 서비스 지역과 범위, 목적에 따라 다르게 적용할 수 있으며, 그에 따라 앞서 언급한 각 기술 별 단점이 장점이 되기도, 장점이 단점이 되기도 한다.

Wi-Fi는 노트북뿐만 아니라 이미 대부분의 스마트폰에 장착되어 널리 보급되었고, 이에 맞추어 최근에는 각 이동통신사가 경쟁적으로 Wi-Fi AP를 설치하는 추세에 있으므로 가용성도 날로 증가하고 있다.

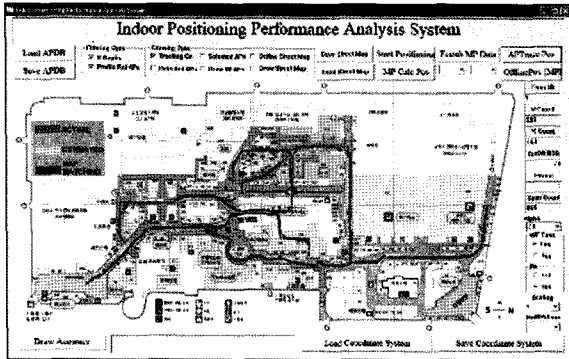
기 설치된 Wi-Fi AP의 정보를 실내 위치추정에 활용하여 실내외에 관계없이 높은 정밀도를 제공하는 친구찾기 서비스, 실내에서도 현재 위치의 주변 정보와 목적지 경로를 안내해주는 실내 네비게이션, 실내 주차장 진입 시 주차 가능한 위치를 알려주고 진출 시 주차한 위치를 알려주는 서비스 등 실내 위치정보와 관련된 비즈니스모델이 계속 생겨나고 있으므로 Wi-Fi 기반 실내 위치추정 기술은 앞으로도 각광을 받을 전망이다.

### 감사의 글

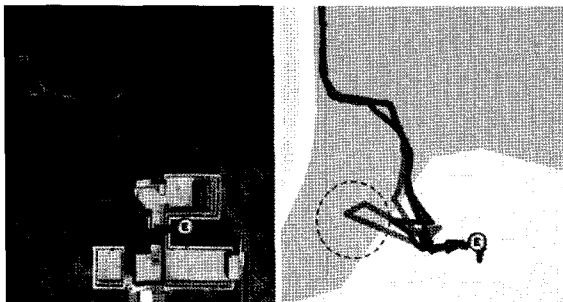
본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천 기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [11913-04003, 5m 정밀도의 증강현실 서비스 지원 LBS 플랫폼 개발].

### 참고 문헌

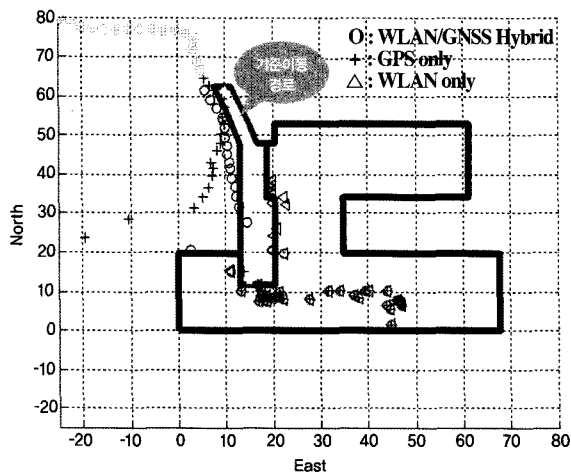
- [1] TTA Standard, "WLAN기반 무선측위기술 Stage1: 요구 조건," TTAS.KO-06.0210, 2009년 12월.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in Proceedings of 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies



(그림 8) AP DB 구축 및 위치추정 정확도 실험



(그림 9) 동적위치정확도 시험결과 (GPS 단독위치(빨간색) 대 AKF 복합위치(파란색) 비교)



(그림 10) 동적위치정확도 시험결과(실내→실외)

- (INFOCOM '00), Vol. 2, pp.775-784, Tel Aviv,Israel, Mar. 2000.
- [3] Thomas J. Gallagher, Binghao Li, Andrew G. Dempster, and Chris Rizos, "A sector-based campus-wide indoor positioning system," in Proceedings of IEEE IPIN 2010, Sep. 2010, pp.126-133.
- [4] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, "실내의 연속측위 기술 동향," 전자통신동향분석, 제22권 제3호, 2007년 6월, pp.20-28.
- [5] R. Behnke, D. Timmermann, "AWCL: Adaptive Weighted Centroid Localization as an Efficient Improvement of Coarse Grained Localization," 5th Workshop on WPNC (Positioning, Navigation and Communication) 2008, Mar. 2008, pp. 243-250.
- [6] AeroScout, <http://www.aeroscout.com>.
- [7] Ekahau, <http://www.ekahau.com>.
- [8] Skyhook Wireless, <http://www.skyhookwireless.com>.
- [9] Edward James Morgan, Farshid Alizadeh-Shabdiz, Russel Kipp Jones, and Michael George Shean, "Method and system for building a location beacon database," U.S. Patent 7403762, Jul. 2008.
- [10] 조영수, 지명인, 윤성조, 최완식, "스마트폰에서 적응형 칼만 필터를 이용한 GPS/WLAN 복합측위 시험결과," 제17차 GNSS Workshop, 2010년 11월.
- [11] 김학용, "무선 랜 기반 위치 정보 서비스," Telecommunications Review, 제16권 제2호, 2006.

약 력



지명인

2006년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 학사  
 2009년 KAIST 정보통신공학과 석사  
 2009년 ~ 현재 ETRI 자동차/조선IT융합연구부  
 위치정보기술연구팀 연구원  
 관심분야: 실내외 위치인식 기술



조영수

2000년 서울대학교 기계항공공학부 학사  
 2002년 서울대학교 대학원 기계항공공학부 석사  
 2002년 ~ 2005년 공군사관학교 항공우주공학과 전임강사  
 2005년 ~ 현재 ETRI 자동차/조선IT융합연구부  
 위치정보기술연구팀 선임연구원  
 관심분야: LBS 표준화, GNSS 신호처리 및 측위 기술,  
 실내외 연속측위 기술



박상준

1988년 경북대학교 공학사  
 1990년 경북대학교 공학석사  
 1990년 ~ 2001년 국방과학연구소 선임연구원  
 2006년 North Carolina State University 공학박사  
 2006년 ~ 현재 ETRI 자동차/조선IT융합연구부  
 위치정보기술연구팀 팀장  
 관심분야: 센서네트워크, 모바일 메쉬네트워크, 위치인식,  
 다중센서 데이터 퓨전



임동선

1986년 숭실대학교 전산학과 공학사  
 1996년 KAIST 정보 및 통신공학과 공학석사  
 2010년 강원대학교 정보통신공학과 공학박사  
 1986년 ~ 현재 ETRI 자동차/조선IT융합연구부 부장  
 관심분야: 시스템 SW, 임베디드 SW, 센서 네트워크,  
 멀티미디어 시스템