

수신 신호 핑거프린트와 전파 예측 모델을 이용한 무선랜 기반 실내 위치추정

김 현 수*, 배 지 민*, 최 지 훈^o

Wireless LAN Based Indoor Positioning Using Received Signal Fingerprint and Propagation Prediction Model

Hyunsu Kim*, Jimin Bae*, Jihoon Choi^o

요 약

본 논문에서는 핑거프린트(fingerprint)기법과 전파 예측 모델을 결합한 무선랜 기반 실내 위치추정 기법을 제안한다. 실내에 설치된 무선랜 AP(access point)는 공용 AP와 사설 AP로 구분되고, 설치 위치가 고정된 공용 AP의 경우 핑거프린트 방식을 적용하기 용이하지만 사설 AP의 경우 위치가 임의로 변경될 수 있으므로 핑거프린트 방식을 적용하기 힘들다. 제안된 방식에서는 공용 AP로부터 수신된 신호에 핑거프린트 방식을 적용하고, 사설 AP로부터 수신된 신호에 전파 예측 모델을 적용하여 공용 AP와 사설 AP를 모두 이용함으로써 위치 추정 정확도를 높인다. 무선랜 환경에서의 데이터 실측과 모의실험을 통해 기존 실내 위치 추정 방식과 제안된 방식의 성능을 비교한다.

Key Words : Indoor Positioning, Fingerprint, Propagation Model, Wireless LAN, Received Signal Strength (RSS)

ABSTRACT

In this paper, we propose a new indoor location estimation method which combines the fingerprint technique with the propagation prediction model. The wireless LAN (WLAN) access points (APs) deployed indoors are divided into public APs and private APs. While the fingerprint method can be easily used to public APs usually installed in fixed location, it is difficult to apply the fingerprint scheme to private APs whose location can be freely changed. In the proposed approach, the accuracy of user location estimation is improved by simultaneously utilizing public and private APs. Specifically, the fingerprint method is used to the received signals from public APs and the propagation prediction model is employed to the signals from private APs. The performance of the proposed method is compared with that of conventional indoor location estimation schemes through measurements and numerical simulations in WLAN environments.

I. 서 론

최근 스마트폰의 급속한 보급에 따라 이동 단말의

위치정보를 이용한 위치기반 서비스가 크게 주목 받고 있다. 실내 환경에서의 위치추정은 대형 건물이나 쇼핑몰 내에서 단말의 위치인지 및 경로 안내, 대형

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2012R1A1B4000498)

※ 본 연구의 주저자와 제2저자는 해양수산부 해양시설과 해양교통 전문인력 양성사업(GNSS 부분)의 지원을 받고 있습니다.

♦ First Author : 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부 정보통신공학전공, kekehyunsu@kau.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부 정보통신공학전공, jihoon@kau.ac.kr, 종신회원

* 한국항공대학교 항공전자및정보통신공학부 정보통신공학전공, jimin1203@kau.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2013-09-394, 접수일자 : 2013년 9월 2일, 심사일자 : 2013년 11월 7일, 최종논문접수일자 : 2013년 11월 11일

주차장에 주차된 차량까지의 위치 안내, 화재나 지진 등 재난이 발생한 경우 대형 건물 안에 고립된 인명 구조 등 다양한 방면에서 활용될 수 있다.

실외의 경우 GPS(global positioning system)를 이용한 위치추정 방법이 주로 사용되지만, 실내 환경에서는 GPS 신호가 안정적으로 수신되지 않으므로 GPS를 이용한 위치추정이 힘들다. GPS 신호가 수신되지 않는 경우 위치 추정을 위한 방안으로 무선 RF (radio frequency) 신호를 이용하여 AOA(angle of arrival)를 이용한 위치추정 기법, TOA(time of arrival)를 이용한 위치추정 기법 등이 [1]에서 제안되었으나, 이런 방식의 경우 수신 신호의 LOS (line-of-sight) 성분이 강한 경우에만 적용 가능하므로 실내 위치추정에는 적용하기 힘들다^[2,3]. 이에 대한 대안으로 이동통신 기지국 신호, 무선랜 AP(access point) 신호, 초광대역 (UWB, ultra wide band) 통신, 블루투스 등을 이용한 실내 위치추정 기법과 실내공간에 다수의 센서를 부착한 후 WSN (wireless sensor network) 기술을 이용하여 실내에서 위치를 추정하는 기법이 연구되고 있다^[2-11].

UWB의 경우 초광대역 펄스를 이용하여 실내에서 1m 이하의 정밀한 위치추정이 가능하고 소비 전력이 낮다. 하지만 송수신기 사이에 매우 정확한 시간 동기화가 요구되고, 광대역주파수 특성으로 인해 고가의 안테나가 필요하며, 신호의 대역폭이 넓으므로 다른 통신시스템과의 간섭 문제가 발생할 수 있다^[12]. 또한 아직 상용화가 안 된 상황이므로 UWB를 이용해서 실내 위치추정을 하고자 하는 경우 UWB 네트워크를 신규로 구축해야 하는 어려움이 있다. 블루투스를 이용한 실내 위치추정 기법은 전력소모가 적어 휴대용 기기에 적합하며 네트워크의 자유도가 높고 다른 기종과의 접속이 용이해 높은 포괄성을 가진다. 하지만 신호의 짧은 인식거리로 인해 서비스 범위가 제한적인 문제가 있다^[13]. 적외선을 이용한 실내 위치추정 기법은 실내 곳곳에 부착된 적외선 센서가 고유 ID코드를 가진 적외선 장치를 인식하여 위치를 찾아내는 방식이다. 적외선 기반 위치추정 기법은 위치추정 정확도가 높고 다양한 상용화 솔루션이 존재하는 장점이 있지만, 짧은 인식거리로 인해 서비스 범위가 제한적이고 설치 및 유지보수 비용이 높으며 직사광선이 존재할 때 신호가 차단되거나 성능이 떨어지는 문제가 있다^[14].

무선랜의 경우 이동통신 시스템의 부하를 경감하기 위해 지하철역, 학교, 터미널, 백화점, 커피숍 등의 공공장소에 다수 설치되어 있고 상대적으로 서비스 범

위가 넓어서 실내 위치추정에 널리 이용된다. 무선랜을 이용한 실내 위치추정 기법으로는 Cell-ID 기반 추정 기법, 핑거프린트 (fingerprint) 기반 위치추정 기법, 전파 예측 모델을 이용한 추정 기법 등이 있다^[2-8]. Cell-ID기반 위치추정 기법은 주변 무선랜 AP의 신호를 수신한 후 신호가 가장 강하게 수신되는 AP의 위치를 단말의 위치로 정하는 방식으로 추정 정확도는 AP의 최대 전송거리에 반비례한다. 핑거프린트 기반 위치추정 기법은 위치를 추정하고자 하는 영역에 일정한 간격으로 기준점을 정하고 각 기준점에 인접한 다수의 AP로부터 수신되는 신호의 RSS(received signal strength)를 여러 번 측정 후 평균한 값을 DB (database)에 저장하고, 실제 위치추정 단계에서 수신된 신호의 RSS 값과 DB에 저장된 RSS 값을 비교하여 가장 비슷한 특성을 갖는 기준점을 단말의 위치로 정하는 방식이다. 이 방식을 이용하면 무선랜 AP의 위치 정보가 필요 없고, 건물 내부 구조나 LOS 수신 신호의 유무 등에 상관없이 적용 가능하므로 실내 위치추정에 가장 널리 이용된다. 다만, 위치를 추정하는 공간에 다수의 기준점을 지정한 후 기준점에서 측정된 RSS 값을 DB로 미리 저장해두어야 하고, 실내공간의 배치에 따라 RSS 값의 변화가 크기 때문에 공간적 배치가 달라졌을 경우 DB를 다시 생성해야 하는 단점이 있다. 전파 예측 모델 기반 위치추정 기법은 위치를 추정하고자 하는 영역에서 거리별 RSS 값을 실측하여 전파 예측 모델을 정하고, 위치를 알고 있는 다수의 AP로부터 수신된 RSS 값을 전파 예측 모델에 적용하여 삼각측량법을 이용하여 단말의 위치를 추정한다. 핑거프린트 방식의 경우 DB 생성을 위해 다수의 기준점에서 반복적으로 RSS 값을 측정해야 하는데 비해, 전파 예측 모델 기반 방식의 경우 RSS 값을 측정하는 노력을 크게 줄일 수 있고, 실내 구조나 가구 배치 등의 변화에 둔감한 장점이 있다.

핑거프린트 기법과 전파 예측 모델을 적용한 실내 위치추정 기법은 기존 문헌에서 활발히 연구되어 왔다. 사전 측정을 통해 DB로 구축된 핑거프린트 지도를 이용하여 단말이 측정한 RSS 값과 핑거프린트 지도상의 RSS 값의 유클리디언 거리(Euclidean distance)를 계산하여 거리가 가장 가까운 기준점을 찾아 위치를 추정하는 방식이 [5]에서 제안되었고, 단말에서 수신된 RSS 값을 전파 예측 모델에 적용하여 실내 환경에서 단말의 위치를 추정하는 방식이 [6]에서 제안되었다. 또한 최근에는 단말의 방향에 따른 RSS 값과 측정 중에 발생하는 잡음 구역을 필터링 한 후 핑거프린트 기법을 적용하는 방식이 [7]에서 제안

되었다. 실내에 설치된 무선랜 AP는 사업자 혹은 건물주에 의해 계획적으로 설치되고 관리되는 공용 AP와 개인의 필요에 의해 임의로 설치된 사설 AP로 구분된다. 공용 AP의 경우 설치 위치가 고정되어 있지만 무선랜 AP의 대부분을 차지하는 사설 AP의 경우 사용자에게 의해 설치 위치가 임의로 변경될 수 있다. 따라서 AP의 위치가 변경되면 측정을 통해 핑거프린트 지도를 다시 작성해야 하는 핑거프린트 기법의 경우 사설 AP를 위치 추정에 활용하기 힘들다. 또한, 전파 예측 모델의 경우 삼각측량법을 적용하기 위해 AP의 위치 정보를 알아야하므로 위치가 임의로 변경될 수 있는 사설 AP를 사용하기 힘든 문제가 있다.

본 논문에서는 실내 위치추정 정확도를 높이기 위해 공용 AP와 사설 AP를 모두 이용하는 위치 추정 기법을 제안한다. 제안된 기법의 경우 우선 공용 AP에 대해 작성된 핑거프린트 지도를 이용하여 사설 AP의 위치를 추정하고, 단말에서 인접한 무선랜 AP의 RSS 값을 측정할 후 공용 AP에는 핑거프린트 기법을 적용하고 사설 AP에는 전파 예측 모델을 적용하여 단말의 위치를 추정한다. 제안된 방식의 경우 기존 실내 위치추정 방식과는 달리 임의로 위치가 변경되는 사설 AP도 위치추정에 사용하므로 공용 AP만을 이용하는 위치를 추정하는 기존 방식에 비해 추정 정확도가 높다. 그리고 공용 AP에 대해서만 측정을 통해 핑거프린트 DB를 작성하면 되므로 핑거프린트 지도 작성에 따른 부담을 줄일 수 있다.

본 논문의 2절에서는 무선랜 기반의 기존실내 위치추정 기법에 대해 설명하고 3절에서는 공용 AP와 사설AP에 각각 핑거프린트기법과 전파 예측 모델을 적용한 실내 위치추정 기법을 제안한다. 4절에서는 모의 실험을 통해 제안된 기법의 성능을 분석하고, 5절에서 결론을 맺는다.

II. 무선랜 기반의 기존 실내 위치추정 기법

2.1. 핑거프린트 기반 실내 위치 추정

핑거프린트 기법은 무선랜을 이용한 실내 위치추정에 가장 널리 이용되는 기법이다. 실내 환경에서는 벽, 가구 등과 같이 다양한 재질의 장애물과 다중 경로로 인해 거리에 따른 수신 신호의 세기가 일정하지 않고 신호 세기의 변동폭이 크다. 따라서 핑거프린트 기법에서는 위치추정을 수행하기 이전에 서비스 지역에 일정한 간격으로 기준점을 설정하고, 각 기준점에서 인접한 AP로부터 수신되는 신호 세기를 DB에 저장한 후, 위치추정 단계에서 수신한 인접 AP의 수신 신호

세기와 DB에 저장된 값을 비교하여 가장 유사한 전파 특성을 갖는 기준점을 단말의 위치로 추정하게 된다^{3,7,11}. 핑거프린트 기반 실내 위치추정 기법은 DB 작성 단계와 위치추정 단계로 구분되며 각 단계에서 수행하는 일은 다음과 같다.

- DB 작성 단계

- 1) 서비스 영역에서 일정 간격으로 기준점 설정
- 2) 각 기준점에서 인접한 AP의 RSS값을 측정
- 3) 측정된 RSS값을 DB화하여 핑거프린트 지도 생성

- 위치추정 단계

- 1) 현재 단말 위치에서 인접한 AP의 RSS값 측정
- 2) DB에 저장되어 있는 RSS값과 측정된 RSS값을 비교해서 유사한 값을 갖는 기준점 선택 (1개 이상 선택)
- 3) 선택된 기준점을 이용하여 단말의 위치 추정

위치추정 단계 2)에서 DB에 저장되어 있는 RSS값과 단말에서 측정한 RSS값을 비교하는 방법으로는 유클리디언 거리를 이용한 방법과 확률분포를 이용한 방법 등이 있고, 위치추정 단계 3)에서 선택된 기준점을 이용하여 단말의 최종 위치를 추정하는 방법으로 NN (nearest neighbor), WKNN (weighted K nearest neighbor), 확률론적 방법 (probabilistic method) 등 다양한 알고리즘이 사용될 수 있다. 이런 방법들 중 가장 간단한 방식인 유클리디언 거리와 NN 알고리즘을 사용하는 경우 단말의 위치는 다음과 같이 추정된다.

$$D_i = \|\hat{\mathbf{r}} - \mathbf{r}_{DB}(i)\|_2 \quad (1)$$

$$L = \min D_i \quad (2)$$

$\hat{\mathbf{r}}$ 는 수신신호벡터, \mathbf{r}_{DB} 는 DB에 저장된 RSS 벡터, i 는 핑거프린트 DB의 기준점에 따른 인덱스를 의미한다. 핑거프린트 기법에서 위치추정 정확도는 기준점의 간격과 RSS값을 측정하는 시간에 의해 결정된다. 기준점의 간격이 좁아지면 위치추정 정확도가 높아지지만 DB 구축에 걸리는 시간과 비용이 증가한다. 따라서 핑거프린트 기법으로 위치추정 서비스를 제공하는 범위가 넓어지면 위치추정 정확도가 낮아지거나 DB 구축 시간과 비용이 증가하게 된다¹¹. 또한 실내 공간의 배치에 따라 RSS 값의 변화가 크기 때문에 공간적 배치가 달라지거나 AP의 위치가 변경될 경우 DB를 다시 생성해야 하는 문제가 있다.

2.2. 전파 예측 모델을 이용한 실내 위치 추정

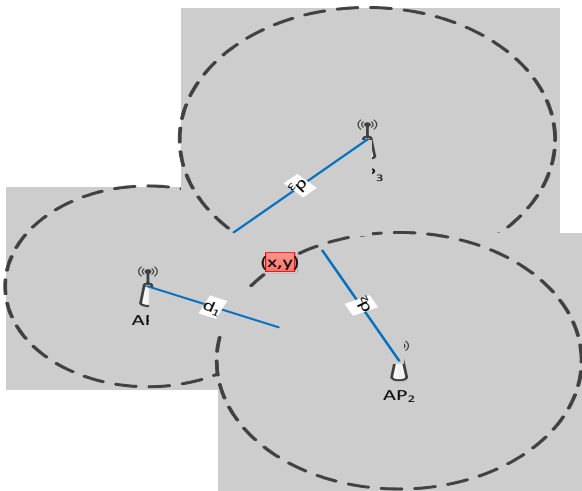


그림 1. 전파 예측 모델을 이용한 실내위치 추정
Fig. 1. Indoor location estimation using propagation prediction models.

전파 예측 모델은 전송 거리에 따라 수신 신호 전력이 감소하는 특성을 이용한 방법으로 일반적으로 많이 사용되는 로그거리 전파 예측 모델(log-distance path loss model)은 다음과 같이 주어진다¹⁵⁾.

$$r(k) = r_0 - 10\alpha \log(d/d_0) + \chi_\sigma \quad (3)$$

이때 $r(k)$ 는 k 번째 AP에서 수신한 RSS 값을 dB 로 표현한 값이고, d 는 단말과 AP 사이의 거리를 나타내며, r_0 는 기준 거리 d_0 에서의 RSS 값을 나타낸다. 또한, χ_σ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 분포를 따르는 잡음이다. 식 (3)을 이용하면 송신기의 위치와 수신기에서의 신호 세기를 알면 송신기와 수신기 사이의 거리를 추정할 수 있고, 다수의 송신기에 이 방식을 적용하면 삼각측량법을 이용해 수신기의 위치를 추정할 수 있다. 전파 예측 모델을 이용한 실내 위치 추정 기법은 전파 예측 모델 생성 단계와 위치추정 단계로 구분할 수 있고, 각 단계에서 수행하는 일은 다음과 같다.

- 전파 예측 모델 생성 단계
 - 1) 송신기와 수신기 사이의 거리를 변경하면서 RSS 값을 반복해서 측정
 - 2) 송수신기 사이의 거리와 측정된 RSS값을 이용해서 식 (3)의 예측 모델에서 r_0 와 α 를 추정
- 위치추정 단계
 - 1) 현재 위치에서 인접한 AP의 RSS값 측정
 - 2) 전파 예측 모델에 RSS값을 대입하여 다수의 AP

들과 단말 사이의 거리 계산

- 3) 송신 AP 위치와 AP와 단말 사이의 거리를 이용하여 삼각측량법으로 단말 위치 추정

그림 1은 전파 예측 모델을 이용한 위치추정 단계의 3)에서 삼각측량법을 이용하여 단말의 위치를 추정하는 방법을 나타낸다. 이때 d_1, d_2, d_3 는 각각 AP1, AP2, AP3와 단말 사이의 거리를 나타낸다. AP1, AP2, AP3로부터 반지름이 d_1, d_2, d_3 인 원이 정의되고, 세 원이 교차하는 점이 단말의 위치가 된다. 전파 예측 모델은 기준점마다 RSS값을 측정하여 지도를 작성하는 핑거프린트 방식에 비해 RSS값을 측정하는데 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있고, 실내 구조나 가구 배치 등의 변화에 둔감하다는 장점이 있다. 반면 전파 예측 모델은 건물의 구조에 따라 거리 감쇄의 정도가 달라지므로 건물 별로 측정을 통해 경로 손실 기율기 α 등의 파라미터를 설정해 주어야 하고, 송신단과 수신단 사이의 거리를 계산하기 위해 송신단의 위치를 알고 있어야 한다. 또한 식 (3)에서 χ_σ 로 표현한 바와 같이 음영(shadowing) 등에 의한 오차가 포함되므로 미리 작성된 핑거프린트 지도와 직접적으로 비교하는 핑거프린트방식에 비해 정확도가 떨어지는 문제가 있다.

III. 제안된 실내 위치 추정 기법

3.1. IEEE 802.11 비콘 프레임 구조

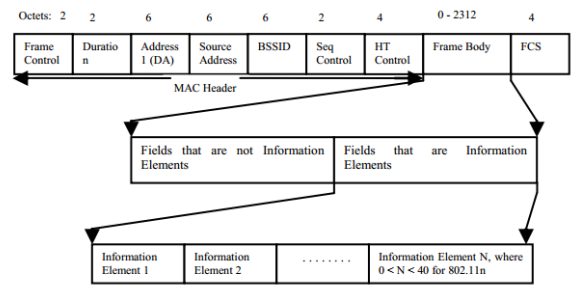


그림 2. IEEE 802.11 비콘프레임 구조
Fig. 2. IEEE 802.11 beacon frame format.

무선랜 AP에서는 AP의 동작 정보와 커버리지를 인접한 단말에 알리기 위해 비콘 프레임(beacon frame)을 주기적으로 전송한다. 따라서 위치 추정을 위해 별도의 자원을 할당받아서 신호를 주고받을 필요 없이 비콘 프레임을 이용하여 위치 추정이 가능하다. 그림 2는 IEEE 802.11에 정의된 비콘 프레임의 구조를 나타낸다¹⁶⁾. 비콘 프레임에는 제어필드, 기간

필드, 주소필드, 프레임 제어필드, 순서제어필드 등이 포함되고, 이 중 주소필드에는 목적지 주소, 발신지 주소, 그리고 수신측에서 필터링을 위해서 사용하는 BSSID로 각각 6바이트가 할당된다. 무선랜 기반 실내 위치추정에서는 이 주소필드의 발신지 MAC (medium access control) 주소 정보를 사용하여 인접한 AP를 구분한다. 또한, 수신단에서 비콘 프레임 수신시 RSS값을 측정한다. 이렇게 측정된 RSS값을 이용하여 핑거프린트 지도를 작성하거나 전파 예측 모델을 추정하고, 단말에서 측정된 RSS값을 이용하여 최종적으로 단말의 위치를 추정한다.

3.2. 제안된 무선랜 기반 실내 위치추정 기법

본 절에서는 핑거프린트 기법과 전파 예측 모델을 결합한 무선랜 기반 실내 위치추정 기법을 제안한다. 그림 3은 공용 AP와 사설 AP가 공존하는 무선랜 통신 환경을 나타낸다. 공용 AP의 경우 설치 위치가 고정되어 있지만 무선랜 AP의 대부분을 차지하는 사설 AP의 경우 사용자에게 의해 설치 위치가 임의로 변경될 수 있다. 따라서 기존의 실내 위치추정 기법은 위치가 고정된 공용 AP만을 이용하여 핑거프린트 기법으로 단말의 위치를 추정하거나 공용 AP의 설치위치정보를 이용하여 전파 예측 모델을 이용하여 단말의 위치를 추정한다. 본 논문에서는 실내 위치추정 정확도를 높이기 위해 공용 AP와 사설 AP를 모두 이용하는 위치 추정 기법을 제안한다. 제안된 기법의 경우 우선 공용 AP에 대해 작성된 핑거프린트 지도를 이용하여 사설 AP의 위치를 추정하고, 단말에서 인접한 무선랜 AP의 RSS 값을 측정 후 공용 AP에는 핑거프린트 기법을 적용하고 사설 AP에는 전파 예측 모델을 적용하여 단말의 위치를 추정한다. 제안된 기법은 사설 AP 위치추정 단계와 단말 위치추정 단계로 구분되고 각 단계에서 수행하는 일은 다음과 같다.

- 사설 AP 위치추정 단계

- 1) 인접 AP로부터 비콘 프레임 신호 수신
- 2) 공용AP의 비콘 프레임 신호 추출 및 RSS값 측정
- 3) 핑거프린트 기법을 적용하여 사설 AP 위치 추정

그림 3에서 볼 수 있듯이 사설 AP는 인접한 주변 AP로부터 비콘 프레임 신호를 수신한다. 이때, 사설 AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호의 경우 사설 AP의 위치를 알 수 없기 때문에 공용 AP DB에 저장되어 있는 SSID, MAC주소 등의 식별정보와 주기적으로 전송되는 비콘 프레임을 통해 수신되는 발신지 주소정보를 비교하여 공용 AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호를 추출하여 사용한다. 추출된 공용 AP의

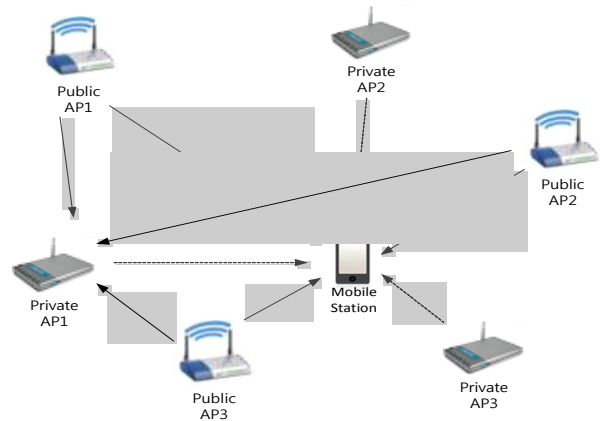


그림 3. 공용 AP와 사설AP를 이용한 실내 위치 추정
Fig. 3. Indoor location estimation using public and private APs.

무선랜 신호의 세기를 일정 시간 동안 평균하여 RSS 값을 측정하고, 공용 AP DB에 저장되어 있는 공용 AP 핑거프린트 지도를 이용하여 측정된 RSS 값과 핑거프린트 지도상의 RSS 값의 거리가 가장 작은 기준점을 사설 AP의 위치로 결정한다. 이 과정에서 사설 AP의 위치 추정에는 NN, WKNN, 확률론적 방법 등 다양한 알고리즘이 사용될 수 있다. 추정된 사설 AP의 위치정보는 비콘 프레임에 포함시켜 브로드캐스팅함으로써 인접한 AP나 단말에게 자신의 위치 정보를 알린다. 사설 AP의 위치가 추정되고 나면 주변 단말들은 추정된 사설 AP의 위치정보를 이용하여 공용 AP와 함께 위치추정에 사용할 수 있다. 단말 위치추정 단계는 다음과 같은 절차에 따라 진행된다.

- 단말 위치추정

- 1) 인접 AP로부터 비콘 프레임 신호 수신
- 2) 수신된 비콘 프레임 신호를 공용 AP신호와 사설 AP신호로 구분
- 3) 사설 AP신호 중 위치정보를 아는 사설 AP 추출
- 4) 공용 AP에는 핑거프린트 방식을 적용
- 5) 사설 AP에는 전파 예측 모델 방식 적용
- 6) 핑거프린트방식과 전파 예측 모델 방식을 결합하여 단말의 위치 결정

단말 역시 그림3에서 볼 수 있듯이 인접한 주변 AP로부터 비콘 프레임 신호를 수신한다. 이어서 사설 AP의 위치 정보를 추정할 때와 마찬가지로 공용 AP DB를 통해 공용 AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호와 사설 AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호를 구분하고 사설AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호는 다시 위치정보를 아는 신호와 위치정보를 모르는 신호로 구분하여 위치정보를 아는 사설 AP로부터 전송된 비콘 프레임 신호를 추출한다. 사설 AP는 위치가 변경

될 가능성이 있고 정확한 위치정보가 아닌 추정된 위치정보를 사용하기 때문에 핑거프린트기법을 적용하기 어렵다. 따라서 추정된 위치정보를 전파 예측 모델에 적용하여 유클리디언 거리 차를 구하고 공용AP를 이용하여 핑거프린트기법을 적용해서 얻은 유클리디언 거리 차와 결합해서 가장 가까운 기준점을 찾는다. 핑거프린트 방법과 전파 예측 모델을 결합한 실내위치 추정 방법은 다음과 같다.

$$D_i = \sqrt{w_{DB} \|\hat{\mathbf{r}} - \mathbf{r}_{DB}(i)\|_2^2 + w_{PL} \|\hat{\mathbf{r}} - \mathbf{r}_{PL}(i)\|_2^2} \quad (4)$$

$$L = \min D_i \quad (5)$$

이때 w_{DB} 와 w_{PL} 은 핑거프린트 방식과 전파 예측 모델의 가중치를 나타낸다. 사실 AP의 위치에는 추정 오차가 포함되어 있으므로 필요할 경우 공용 AP의 가중치를 사실 AP보다 높게 설정할 수 있다. 식 (5)에서 찾은 K 개의 가장 가까운 기준점에 WKNN 위치 추정 알고리즘을 적용하여 다음과 같이 단말의 위치를 추정한다.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) / \hat{d}_i \quad (6)$$

이때 (x_i, y_i) 는 i 번째 가장 가까운 기준점의 좌표를 나타내고, \hat{d}_i 는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{d}_i = D_i \sum_{i=1}^K (1/D_i) \quad (7)$$

그림 4는 이동통신 백본(backbone) 네트워크에 우선으로 연결된 위치추정 서버에서 본 논문에서 제안된 위치추정 기법으로 단말의 위치를 추정하는 경우 신호 흐름도를 나타낸다. 우선 사설 AP에 인접한 AP에서 수신된 비콘 신호를 이용하여 RSS 값을 계산하고, AP 식별 정보와 RSS 값을 위치추정 서버로 전송한 후, 서버에서 핑거프린트 기법을 이용하여 사설 AP의 위치를 추정한다. 다음으로 단말에 인접한 공용 AP와 사설 AP로부터 비콘 프레임 신호를 수신한 후 수신된 AP의 식별 정보와 RSS 값을 위치추정 서버로 전송한다. 그리고 서버에서 단말로부터 수신된 AP 식별 정보와 RSS 정보를 이용하여 식 (4)-(7)의 방법으로 단말의 위치를 추정한 후 최종적으로 추정된 위치 정보를 단말로 전송한다.

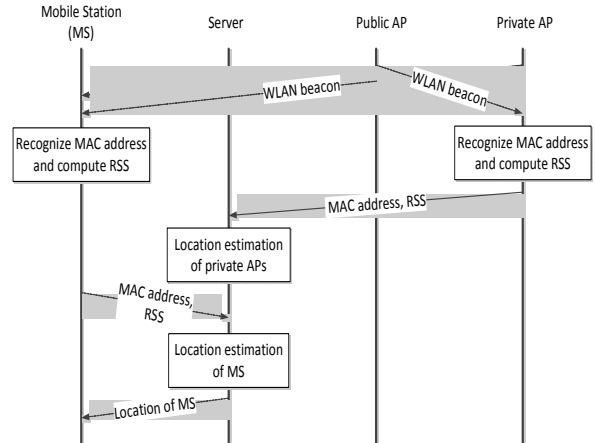


그림 4. 서버에서 단말의 위치를 추정하는 경우 제안된 실내 위치추정 기법의 신호 흐름도
Fig. 4. Signal flow diagram for the proposed indoor positioning scheme when the position of the mobile station is estimated in the server.

IV. 모의실험 결과

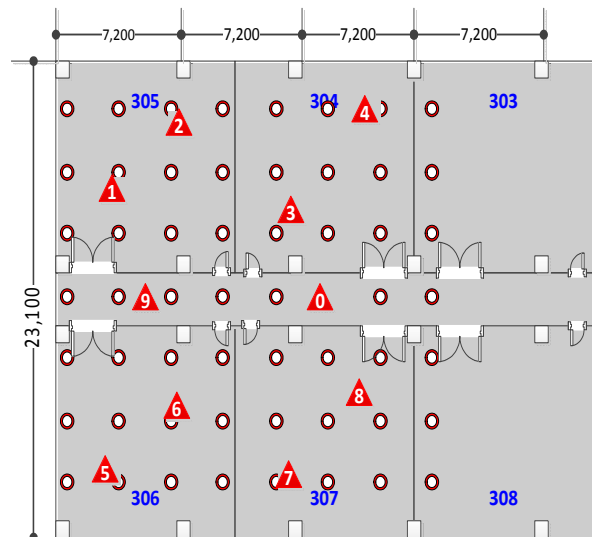


그림 5. 데이터 실측과 모의실험을 위한 기준점 및 AP 배치도
Fig. 5. Arrangement of fingerprint reference points and APs for data measurements and computer simulations.

모의실험을 통해 기존의 핑거프린트 기법을 이용한 추정 방식과 제안된 방식의 위치 추정 성능을 비교한다. 성능 비교를 위해 한국항공대학교 연구동 3층에서 실측을 통해 핑거프린터 지도를 작성하고 전파 예측 모델의 파라미터를 결정하였으며, 실제 단말 위치와 위치추정 기법에 의해 계산된 위치를 이용하여 추정 오차를 계산하였다. 그림 5는 데이터 실측과 모의실험에 사용한 연구동 3층의 핑거프린터 기준점과 AP 위

치를 나타낸다. 전체 25m×23m인 공간에 가로/세로 각 3.15m 간격의 바둑판 형태로 핑거프린트 기준점을 정의하여 총 56개의 기준점에서 10분 동안 측정된 값으로 핑거프린트 지도를 작성하였다. 이때 AP의 위치는 그림 5에 0~9의 붉은색 숫자로 표시하였고, 홀수는 사설 AP, 짝수는 공용 AP를 나타낸다. 단말의 위치는 주어진 실내 환경에서 랜덤하게 선정하고, 각 위치에서 1분 동안 측정된 값을 사용하였다. 위치 추정을 위해 공용 AP 2대와 사설 AP 2대를 이용하는 경우(시나리오 1)와 공용 AP 2대와 사설 AP 3대를 사용한 경우(시나리오 2)를 고려하였다.

시나리오 1에서는 공용 AP 2대를 이용하여 핑거프린트 방식으로 위치를 추정하는 경우, 공용 AP 2대와 사설 AP 2대를 이용하여 제안된 기법으로 위치를 추정하는 경우, 그리고 공용 AP 4대를 사용하여 핑거프린트 방식으로 위치를 추정하는 경우를 비교한다. WKNN 방식을 사용하기 위해 K 값에 따른 위치추정 오차의 MSE(mean square error)값을 비교하면 표 1과 같다.

표 1. K 값의 변화에 따른 MSE
Table 1. MSE as a function of K in the WKNN algorithm.

	Fingerprint with 4 public APs	Proposed with 2 public and 2 private APs	Fingerprint with 2 public APs
K=3	15.1581	13.2822	16.9919
K=4	13.8349	13.1045	15.7667
K=5	13.1191	12.8297	14.9077
K=6	12.5065	12.6936	14.1484
K=7	12.3665	12.5138	14.0176
K=8	12.4250	12.4586	13.8972

표 2. 시나리오 1에서의 위치추정 오차가 거리오차 기준 x보다 작을 확률
Table 2. Probability that the location estimation error is less than the threshold x in Scenario 1.

x	Fingerprint with 4 public APs	Proposed with 2 public and 2 private APs	Fingerprint with 2 public APs
1m	0.0967	0.0966	0.0653
2m	0.2559	0.2559	0.2115
3m	0.4883	0.4178	0.3969
4m	0.7128	0.6684	0.6057
5m	0.8642	0.8956	0.8668

이때 제안된 기법에서 핑거프린트 기법과 전파 예측 모델의 가중치는 7:3으로 적용하였다. 표 1에서 K가 증가함에 따라 세가지 추정 방식의 MSE 성능이

개선되는데 K가 6 이상인 경우에는 MSE 값의 개선이 미미하므로 K=6으로 정하였다. 그림 6은 시나리오 1에서 세가지 추정기법의 위치추정 오차의 누적분포함수(CDF : cumulative distribution function)를 비교한다. 전체적으로 제안된 기법이 공용 AP 2대를 사용한 핑거프린트 방식에 비해 우수한 성능을 보이고, 공용 AP 4대를 사용한 핑거프린트 기법에 근접한 성능을 보인다.

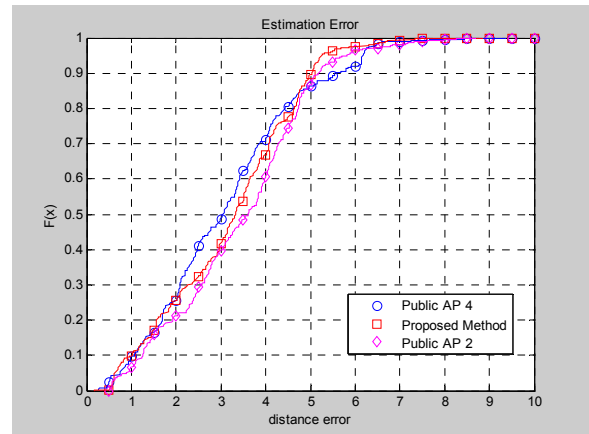


그림 6. 시나리오 1에서 위치 추정 방식에 따른 위치 추정 오차의 누적 분포 함수
Fig. 6. CDF of location estimation error of several indoor positioning methods in Scenario 1.

구체적으로 표 2는 거리오차 기준을 정하고 추정된 오차가 거리오차 기준 이하가 될 확률을 나타낸다. 모든 거리오차 기준값에서 제안된 추정 기법이 공용 AP 2대를 사용한 기법에 비해 성능이 우수하고, 1m, 2m, 5m에서는 공용 AP 4대를 사용한 기법과 추정 성능이 유사함을 알 수 있다. 특히 거리오차 기준을 5m 이상으로 할 경우 제안된 기법의 추정 정확도가 공용 AP 4대를 사용한 기법보다 우수하다.

시나리오 2에서는 AP 5대를 이용하는 경우를 고려하기 위해 공용 AP 2대를 이용하여 핑거프린트 방식으로 위치를 추정하는 경우, 공용 AP 2대와 사설 AP 3대를 이용하여 제안된 기법으로 위치를 추정하는 경우, 그리고 공용 AP 5대를 사용하여 핑거프린트 방식으로 위치를 추정하는 경우를 비교한다. 세 방식 모두 WKNN 기법을 적용하고, K=6으로 정하였고, 제안된 기법에서 핑거프린트 기법과 전파 예측 모델의 가중치는 5:5로 적용하였다. 그림 7은 세가지 추정기법의 위치추정 오차 누적분포함수를 나타내고, 표 3은 위치추정 오차가 거리오차 기준값보다 작을 확률을 나타낸다. 시나리오 1에서와 유사하게 전 영역에서 제안된 기법이 공용 AP 2대를 사용한 기법보다 우수한 성능

을 보이고, 공용 AP 5대를 사용한 기법과 유사한 성능을 보인다. 따라서 제안된 방식을 사용할 경우 공용 AP와 사설 AP를 동시에 이용함으로써 공용 AP가 상대적으로 적은 환경에서 위치추정 정확도를 개선할 수 있다.

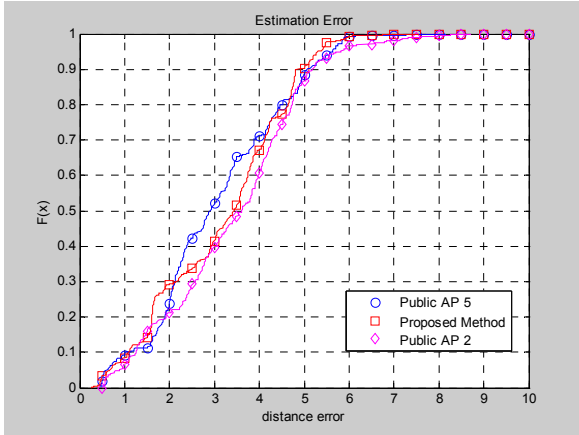


그림 7. 시나리오 2에서 위치 추정 방식에 따른 위치 추정 오차의 누적 분포 함수
 Fig. 7. CDF of location estimation error of several indoor positioning methods in Scenario 1.

표 3. 시나리오 2에서 위치추정 오차가 거리오차 기준 x보다 작을 확률

Table 3. Probability that the location estimation error is less than the threshold x in Scenario 2.

	Fingerprint with 4 public APs	Proposed with 2 public and 2 private APs	Fingerprint with 2 public APs
1m	0.0914	0.0836	0.0653
2m	0.2376	0.2898	0.2115
3m	0.5222	0.4151	0.3969
4m	0.7128	0.6710	0.6057
5m	0.8851	0.9034	0.8668

V. 결 론

본 논문에서는 무선랜 기반 실내 위치추정의 정확도를 높이기 위해 실내에 설치된 AP를 공용 AP와 사설 AP로 구분하고, 각각 핑거프린트 기법과 전파 예측 모델을 적용한 후 결합하는 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 제안된 실내 위치추정 기법이 공용 AP만을 사용하여 핑거프린트 방식으로 추정하는 기존 기법에 비해 성능이 우수하고, 공용 AP와 사설 AP에 모두 핑거프린트 방식을 적용한 기법과 추정 성능이 유사함을 보였다. 실제 위치추정

환경에서 사설 AP의 경우 사용자에 의해 임의로 위치가 변동될 수 있으므로 핑거프린트 기법 적용이 매우 힘들다. 반면에 제안된 위치추정 기법은 공용 AP 수가 충분하지 않고 사설 AP에 대한 핑거프린트 지도가 없는 환경에서 사설 AP에 전파 예측 모델을 적용하여 위치추정 정확도를 높일 수 있으므로 실제 실내 환경에서의 위치추정에 폭넓게 사용될 수 있다. 본 논문에서 제안된 무선랜 기반 실내 위치추정기법은 무선랜 네트워크가 갖춰진 실내 환경에 모두 적용 가능하고, 실내 위치 정보를 이용하는 다양한 응용 프로그램에 활용될 수 있다.

References

- [1] D. S. Kim and S. W. Kim, "Hybrid TDOA/RSSI localization method for indoor positioning systems," in *Proc. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS) Summer Conf.*, pp. 1714-1717, Jeju Island, Korea, June 2009.
- [2] G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K. J. R. Liu, "Signal processing techniques in network-aided positioning: a survey of state-of-the-art positioning designs," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22, no. 4, pp. 12-23, July 2005.
- [3] H. Liu, H. Darabi, and J. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C, Appl. Rev.*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [4] W. Y. Hwang and C. Y. Choi, "Implementation of WLAN based indoor positioning system using fingerprint," in *Proc. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS) Fall Conf.*, pp. 267-270, Gangneung, Korea, Nov. 2007.
- [5] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting," in *Proc. IEEE INFOCOM*, vol. 2, pp. 1012-1022, Hong Kong, China, Mar. 2004.
- [6] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in *Proc. IEEE INFOCOM*, vol. 2, pp. 775-784, Tel Aviv, Israel, Mar.

2000.

[7] J.-S. Leu and H.-J. Tzeng, "Received signal strength fingerprint and footprint assisted indoor positioning based on ambient Wi-Fi signals," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)*, pp. 1-5, Yokohama, Japan, May 2012.

[8] R. Hansen, R. Wind, C. S. Jensen, and B. Thomsen, "Algorithmic strategies for adapting to environmental changes in 802.11 location fingerprinting," in *Proc. IEEE Indoor Positioning Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-10, Zurich, Switzerland, Sep. 2010.

[9] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range free localization schemes in large scale sensor networks," in *Proc. Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Networking (MobiCom '03)*, pp. 81-95, San Diego, U.S.A., Sep. 2003.

[10] W. Meng, Y. He, Z. Deng, and C. Li, "Optimized access points deployment for WLAN indoor positioning system," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. (WCNC)*, pp. 2457-2461, Shanghai, China, Apr. 2012.

[11] M. I. Ji, Y. S. Cho, S. J. Park, and D. S. Lim, "Wi-Fi based indoor location estimation technology development trend," *Inform. Commun. (KICS Mag.)*, vol. 28, no. 7, pp. 52-58, June 2011.

[12] R. J. Fontana and S. J. Gunderson, "Ultra-wideband precision asset location system," in *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. Technol.*, pp. 147-150, Baltimore, U.S.A., May 2002.

[13] M. G. Lee, Y. K. Park, and K. K. Jung, "Implementation of zone-based indoor location tracking system using bluetooth," in *Proc. Inst. Electron. Eng. Korea (IEEK) Inform. Control Symp. (ICS)*, pp. 163-164, Seoul, Korea, Apr. 2013.

[14] C. H. Lee, Y. Chang, and G. H. Park, "Indoor positioning system based on incident angles of infrared emitters," in *Proc. Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (IECON 2004)*, vol. 3, pp.

2218-2222, Busan, Korea, Nov. 2004.

[15] T. S. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice*, Prentice Hall, 1996.

[16] IEEE Std 802.11-2007, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Computer Society, June 2007.

김 현 수 (Hyunsu Kim)



호처리, 펌토셀

2012년 2월 한국항공대학교
항공전자및정보통신공학부
졸업
2012년 3월~현재 한국항공대
학교 정보통신공학과 석사
과정
<관심분야> 이동통신, 통신신

배 지 민 (Jimin Bae)



호처리

2012년 2월 한국항공대학교
항공전자및정보통신공학부
졸업
2012년 3월~현재 한국항공대
학교 정보통신공학과 석사
과정
<관심분야> 이동통신, 통신신

최 지 훈 (Jihoon Choi)



1993년~1997년 KAIST 전기
및전자공학과 학사
1997년~1999년 KAIST 전자
전산학과 석사
1999년~2003년 KAIST 전자
전산학과 박사
2003년~2004년 Univ. of
Texas, Austin 방문연구원
2004년~2008년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
2008년~현재 한국항공대학교 항공전자및정보통신
공학부 부교수

<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 모델설계