실내 위치 측정을 위한 Wi-Fi 신호 특성 분석

하일규* · 장철호* · 박희주** · 김종근***

Analysis of Wi-Fi Signal Characteristics for Indoor Positioning Measurement

IlKyu Ha* · Zhehao Zhang* · HeeJoo Park** · ChongGun Kim***

요 약

실내 위치인식 방법은 GPS 기반의 실외 위치인식 방법과 비교하여 보다 높은 정확도를 요구하며 그 중요성 또한 증가하고 있다. FingerPrint 위치인식 방법은 데이터베이스에 참조변수의 수신신호패턴을 미리 저장하고, 단말기의 실시간 측정 신호를 매칭시킴으로써 단말의 위치를 추정하는 뛰어난 실내 위치인식 방법이다. FingerPrint 위치인식 방법에서는 정확한 데이터베이스 구축이 요구되지만 여러 가지 요인에 의하여 오차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 접근 지점의 연결여부에 따른 각 단말기의 수신신호 패턴을 분석하여, 접근 지점의 연결 여부에 따른 오차가 FingerPrint DB 구성의 중요한 오차 요인이 될 수 있음을 실험을 통하여 밝힌다.

ABSTRACT

A different and effective method for indoor positioning system is needed and increased its importance compare to the outdoor GPS based method. The FingerPrint positioning method is known as a superior method in indoor positioning system that maintains signal strength patterns for RPs(Reference Points) in database and compare the DB with the measured real-time signals on the mobile device. FingerPrint positioning method is necessary to establish an accurate database, but errors can occur by several factors. In this paper, we analyze the signal patterns of each terminal in accordance with connection state of access point and trace that the error in accordance with connection state of access point can be an important error in FingerPrint DB configuration through an experimental case study.

키워드

실내 위치인식, Fingerprint, Wi-Fi AP, 실시간 신호 분석, 패턴 비교

Key word

Indoor positioning, FingerPrint, WI-Fi AP, real-time signal analysis, pattern comparison

* 정회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과
** 정회원 : 경일대학교 컴퓨터공학과
*** 정회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 (교신저자, cgkim@yu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 08. 07
심사완료일자 : 2012. 09. 26

I. 서 론

실외에서 인공위성을 사용하는 GPS(Global Positioning System)는 가장 일반적인 위치인식 시스템이다. 그러나 GPS는 실내에서는 사용할 수 없고 대도시의 빌딩밀집 지역 같은 곳에서는 제대로 작동하지 않는다. 때문에 실내위치추정을 위해서는 다른 방안이 필요하다. 실내위치추정을 위해 사용가능한 무선 자원으로는 WLAN(Wireless LAN), WiBro, UWB(Ultra Wideband), RFID, Zigbee 등이 있다[1-2]. 사업성, 인프라 구축, 위치추정 기술 구현성, IPR(Intellectual Property Right) 확보 가능성 등 측면에서 분석해 보면 WLAN이 실내위치추정에 있어서 우월함을 보이고 있다[3-4]. WLAN용으로 현재 인프라가 가장 잘 구축되어 있는 것은 Wi-Fi이다. 무선 LAN 표준으로 승인된 Wi-Fi는 처음 발표된 이후 지속적으로 새로운 버전이 개발되어 점차 데이터 전송 속도가 향상되었다. 그러나 이러한 실내 무선 채널환경에서는 다중경로(Multi Path)로 인해 실시간으로 불규칙한 신호 감쇄 현상이 일어나게 된다. 또한 AP(Access Point)에서 송신된 신호는 서로 다른 전송 길이를 가지고 여러 경로를 통해 수신기에 도달하기 때문에 한 장소에서 측정하더라도 불규칙한 RSSI(Received Signal Strength Indication)가 측정될 수 있다[5-6].

본 연구에서는 실내 위치추정을 위한 다양한 방법을 조사하고, 특히 FingerPrint 방식에서 이용되는 DB의 정확성을 보장하기 위한 오차요인과 해결방법을 연구한다. AP 연결 상태에 따른 각 단말기의 수신신호 패턴을 분석하여 AP 연결여부에 따른 오차가 FingerPrint DB 구성의 중요한 오차요인이 될 수 있음을 확인한다. 2장에서는 무선위치특정 관련 방법에 대하여 조사하고, 3장에서는 실내 Wi-Fi 신호분석실험을 실시하며, 4장에서는 AP 연결 상태에 따른 유사도 오차분석을 실시한다.

II. 무선위치 측정 관련연구

대표적인 무선 위치추정 방법으로는 Cell ID 방식, 삼각측량법(Triangulation), FingerPrint DB 방법 등이 있다[7].

2.1. Cell ID

Cell ID 방식은 이동 통신사의 기지국마다 가지고 있는 Cell ID를 이용하는 방법으로서 이용자가 속한 기지국의 Cell ID를 통해서 위치를 측정하는 방식이다. 가장 기본적인 무선측위 방법은 proximity 방식이다. 통신용 전파 송수신 인프라에 연결된 단말의 위치를 해당 AP의 위치로 매칭 시키는 방법이다. 이 방법은 시각 동기나 다중 AP 이용 등의 제약 조건이 없으며, 특정 AP의 cell 내에 단말이 위치하여 그 AP와 연결됨으로써 단말의 위치 정보를 제공할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 이 기법으로 단말의 위치정보를 제공하는 경우 측위 오차는 최대 cell 반경만큼 발생할 수 있으므로 이 기법으로 제공되는 위치 정보를 사용하는 응용 서비스는 제한될 수밖에 없다[8].

2.2. 삼각측량법

삼각측량법은 거리를 알고 있는 두 고정점으로부터 방향을 측정하여 다른 지점의 거리를 측정하는 기법이다. 삼각측량법에는 AOA(Angle of Arrival), TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival) 등과 같은 무선위치인식 방식이 있다. AOA 방식은 이용자의 단말기로부터 들어오는 전파의 각도를 기지국에서 측정하여 위치를 인식하는 방식이다. TOA 방식은 단말기로부터 신호를 수신한 1개의 기지국을 중심으로 다른 두개의 기지국에서 수신한 신호와의 신호도달 시간을 이용하여 위치를 측정하는 방식이다. TDOA 방식은 이용자가 속한 기지국의 신호와 인접 기지국들로부터의 신호 도달 시간 차이를 이용하는 기술이다[9-10].

2.3. FingerPrint DB 방법

대부분의 무선 위치추정 방법은 모델링만으로 실내 위치인식을 수행할 경우 오차가 클 수 있다. 때문에 실내 위치인식에서는 측정대상 영역의 각 참조지점(Reference Point)에서의 패턴을 미리 FingerPrint DB에 저장하고 실시간 측정 데이터와의 유사도를 비교하는 FingerPrint 방식 위치추정 방법을 자주 사용한다. 그림 1은 FingerPrint 위치추정 과정을 보여준다. 그림 1의 (a)에서 AP(Access Point)는 Wi-Fi 액세스 포인트이고, RP(Reference Point)는 단말기가 위치한 참조 포인트이다. (b)는 단말기의 참조지점의 위치 예를 나타내며, 위치정보를 이용하여 (c)의 FingerPrint DB에서 포지션을 결정한다[11-12].

그림 1. Fingerprint 위치측정과정

(a) Fingerprint DB의 개념 (b) Fingerprint DB에서 참조포지션 예 (c) Fingerprint DB에서 포지션의 결정

Fig. 1 Process of Fingerprint Positioning

(a) Concept of Fingerprint DB (b) A positioning example with Fingerprint DB (c) A decision of positioning on Fingerprint DB

각 참조지점(RP)에서 각각의 AP로부터 받는 신호세기를 측정하여 그 패턴을 DB에 저장한다. 참조지점에서 수신신호세기 패턴을 보다 정확하게 측정하기 위하여 여러 번 측정하여 평균을 취한다. Fingerprint DB 구성이

완료되면 이를 기반으로 단말기의 실시간 위치측정을 실행한다. 시스템은 유사도함수를 이용하여 실시간 측정데이터와 Fingerprint DB 데이터간의 유사도를 판단하여 단말이 유사도가 가장 높은 참조지점에 위치해 있다고 판단한다[13].

Fingerprint 방식은 모델링기술만으로 이루어지는 위치측정방법에 비해 정확도가 높고, 가장 효율적인 실내 위치측정 방법으로 알려져 있다[14]. 그러나 Fingerprint 방식 역시 오차가 발생한다. Fingerprint 방식에서 오차가 발생할 수 있는 개연성은 다음 두 단계에서 발생한다. 첫째, Fingerprint 트레이닝 단계이다. Fingerprint 트레이닝이란 Fingerprint DB 구성을 위해 각 참조지점에서의 수신신호패턴을 측정하는 단계를 말한다. Fingerprint 방식에서는 미리 구성된 Fingerprint DB를 기준으로 위치를 측정하기 때문에 트레이닝 단계에서 측정한 데이터들의 정확도를 확보하는 것이 매우 중요하다. 트레이닝 단계에서 오차를 줄이기 위한 방법으로 각 참조지점에서 여러 번 측정하여 평균치를 취하는 방법 등이 있다[14]. 둘째로는 실시간으로 측정된 패턴과 Fingerprint DB간의 매칭단계이다. Fingerprint DB에서 실제 측정된 패턴과 가장 유사한 것을 찾으려면 유사도함수가 필요하다. 각 함수의 특성으로 인해 매칭과정에서 오차가 발생할 수 있다.

2.4. 신호세기 측정법

RSSI(Received Signal Strength Indication)는 수신된 신호세기 강도를 표시하며 Wi-Fi 통신일 경우 신호세기를 보통 dBm으로 표시하고 수치가 클수록 강도가 높음을 나타낸다. 거리의 변화에 따라 신호의 세기도 따라서 변화되는 특징을 활용하여 근거리에서는 수신 신호세기를 거리로 환산하는 위치인식방법을 자주 사용한다[15]. 다시 말하면 AP(Access Point)에서 수신된 이동 단말의 신호 세기를 측정하여 이용하는 것으로 이동 단말과 AP 사이에서의 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실(path loss)을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다. RSSI를 사용한 위치 추정의 정확성은 RSSI 측정의 정확성과 실제 이동 장치가 있는 환경에 따라 달라진다. 즉 환경에 따라 측정된 RSSI 값이 안정적이지 않을 수 있다는 것이다. 따라서 RSSI를 이용한 위치 추정은 상대적으로 낮은 위치 추정 정확성 및 낮은 위치 추정 안정성을 제공한다. 그러나 RSSI를 이용하기 위한 장치의 구조가 간단하고

기존의 근거리 무선 통신 기술들이 RSSI 정보를 이용할 수 있는 구조를 취하고 있기 때문에 위치 추적과 관련된 분야에서 광범위하게 사용되고 있다.

III. 실내의 Wi-Fi 신호 분석 실험

본 논문에서는 FingerPrint DB의 정확도 향상을 위해 Wi-Fi 표준에서의 좀 더 다양한 수신신호세기 패턴을 알아보고자 AP 연결 상태에 따른 수신신호에 대해 분석한다.

3.1. 실험환경

실험을 위하여 저자의 대학 공대본관 2층 복도에 1m 간격으로 60개의 참조지점을 설정하고 각 참조지점에서 AP에 연결하였을 경우와 AP와의 연결이 없는 경우로 나누어 신호세기 패턴을 분석한다. 하나의 AP에서만 나타나는 우연한 패턴을 피하기 위하여 서로 다른 연구실에 설치되어 있는 두 개 다른 모델의 AP를 연결 AP로 사용한다. 그중에서 205-1호와 204호를 기준으로 20개의 참조지점의 신호세기 패턴에 대해 중점적으로 분석한다. 그림 2와 같이 205-1호와 가까운 참조지점을 참조지점 1(RP1)이라고 설정하고 204호로 가면서 참조지점 20(RP20)까지 설정한다. 테스트용 수신 단말로는 삼성 SenSQ45 모델에 Intel(R) Wireless WiFi Link 4965AGN 무선 어댑터 규격을 사용하였으며, 연결 AP1은 205-1호 창문가에 위치해 있고 802.11g 규격으로 SSID가 AP1이며 WEP 보안 방식을 사용하고, 연결 AP2는 204호 출입문가에 위치해 있고 802.11g 규격에 SSID가 AP2며 보안방식이 설정되어 있지 않다. 수신 테스트 단말에는 미국 Wi-Fi 솔루션 업체인 지러스에서 제공하는 Wi-Fi Inspector v1.2.0이 설치되어있다. Wi-Fi Inspector v1.2.0은 주위에 있는 AP들의 상세정보를 수집하여 일괄적으로 보여준다[16].

각 참조지점에서는 수신신호패턴 관찰을 위해 AP1과 AP2와의 연결이 없을 경우와 AP1에서만 연결했을 경우, AP2에만 연결하였을 경우 세 가지로 나누어 1분 간격으로 100번 씩 측정하고 그 결과를 분석한다. 표 1은 실험환경을 보여준다.

그림 2. 20개의 참조지점 및 실험환경
Fig. 2 Reference points for analysis and experimental environments

표 1. Wi-Fi 신호분석 실험환경
Table. 1 Experimental environments of Wi-Fi signal analysis

구분	내용
RP(참조지점)	실내 복도 1m간격 20개
AP(접근지점)	AP1(myLGNet), AP2(CIS_Lab)
무선 어댑터	Wireless Wi-Fi Link 4965AGN
무선 규격	IEEE 802.11g
수신프로그램	Wi-Fi Inspector v1.2.0
측정	AP1와AP2연결,AP1연결,AP2연결 세 경우, 각 1분 간격 100회

3.2. AP 연결 없는 수신신호

그림 3은 AP 연결이 없는 경우 참조지점에서 시간에 따라 각 AP로부터 수신된 신호세기 변화를 나타낸다. 가로축은 시간 축으로서 최소 단위가 1분이고 세로축은 신호세기로서 최소단위가 -1 dBm이다. AP1과 AP2와의 연결이 없을 경우에 10개 정도의 AP로부터 받는 신호세기는 일정한 시간 동안 안정성을 유지하다가 신호세기가 갑작스럽게 변화된 후에도 안정적인 패턴을 유지한다. 갑작스럽게 신호가 변화되는 시점은 실험 시 테스트 단말 주위로 사람이 지나갔거나 주위 출입문이 열리고 닫히는 환경요소 변화가 있을 경우이다. 또 각 AP로부터의 수신신호가 변화하는 시점은 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 특정 환경요소 변화가 모든 수신 신호의 전파경로에 영향을 끼쳐 신호전파의 새로운 다중경로가 생성되어 순간적으로 신호의 갑작스러운 변화를 초래하기 때문이다. 그림 3은 20개의 참조지점 중 2개 참조지점의 수신 신호세기 패턴을 추출하여 표시한 것이다.

(a)

(b)

그림 3. AP 연결이 없는 경우 각 AP로부터의 수신신호세기. (a) 참조지점 1에서의 수신 신호세기 패턴 (b) 참조지점 5에서의 수신 신호세기 패턴
Fig. 3 Received signal strength from APs based on disconnected APs. (a) Received signal strength at RP1 (b) Received signal strength at RP5

3.3. AP 연결 있는 수신신호

그림 4는 AP 연결이 있는 경우를 나타낸다. 동일한 환경에서 테스트 단말을 AP1에 연결시키고 측정하면 기타 AP로부터 받은 신호세기 패턴은 큰 차이를 보이지 않지만 AP1에서 수신된 신호세기에서만 흔들림 현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 AP 연결 상태에 따라 신호세기 패턴에 변화가 있음을 말해준다. 또한 환경요소로 인해 기타 AP로부터의 수신 신호세기가 갑작스레 변화하는 시점에도 연결되어 있는 AP로부터 수신되는 신호세기에는 큰 변화가 없음을 볼 수 있다. 즉, AP와의 연결이 있을 경우, 다른 AP와 달리 신호세기가 시간에 따라 흔들리면서 변화하지만 전반적으로는 큰 차이로 갑작스럽게 변화하는 경우가 적음을 보여준다. 같은 방법으로 테스트 단말을 AP2에 연결시키고 측정해도 동일한 패턴이 관찰되었다.

(a)

(b)

그림 4. AP 연결이 있는 경우 각 AP로부터의 수신신호세기. (a) 참조지점1에서의 수신 신호세기 패턴 (b) 참조지점7에서의 수신 신호세기 패턴
Fig. 4 Received signal strength from APs based on AP connection. (a) Received signal strength at RP1 (b) Received signal strength at RP7

3.4. AP 연결 상태에 따른 수신신호세기 변화

그림 5는 AP 연결 상태에 따른 수신신호의 세기 변화를 나타낸다. 각 참조지점(RP1과 RP4의 경우)에서 AP와 연결이 안 된 상태로 일정한 시간 동안 측정을 하다가 AP에 연결하면 전반적인 수신 신호세기는 강해지는 것을 볼 수 있다. 그림 5에서 신호가 안정적으로 수신되는 부분은 AP와 연결이 없는 경우이다. 갑자기 흔들림 현상이 나타나는 시점은 테스트 단말을 AP1(myLGNet)에 연결시킨 시점이다. 그래프에서 알 수 있듯이 연결이 있을 경우에 없을 경우보다 신호강도가 높음을 알 수 있다.

이와 같이 AP 연결 상태에 따른 수신신호의 세기 차이는 실시간 측정데이터와 FingerPrint DB 데이터 간의 매칭 과정에서 정확도를 하락시킬 수 있다. Finger Print DB를 구성할 때 AP와 연결이 없는 상태에서 패턴이 저장되고 실시간 측정과정에 이동 단말이 어느 한 위치측정용 AP에 연결되었다면 유사도 측정함수에서는 연결이 된 상태에서의 측정 데이터와 연결이 없는 상태에서 저장

된 참조데이터를 매칭 시키게 된다. 그러므로 Finger Print DB 구축과정에 AP연결 상태에 따른 신호세기 패턴을 반영해줄 필요가 있다.

(a)

(b)

그림 5. AP(myLGNet) 연결 상태에 따른 수신신호세기 변화. (a) 참조지점1에서의 수신 신호세기 패턴 (b) 참조지점4에서의 수신 신호세기 패턴

Fig. 5 The change of received signals strength by AP1 connection. (a) The change of received signal strength at RP1 (b) The change of received signal strength at RP4

그림 6. AP 연결 유지 과정

Fig. 6 Wi-Fi connection process to an AP

AP에 연결했을 때 수신신호 흔들림 현상은 Wi-Fi의 Multi-Rates 특성으로 해석할 수 있다. 그림 6과 같이 AP 연결 유지 과정에서 단말과 AP는 Reassociation Request/

Response 과정에서 자신이 지원하는 전송속도와 확장된 지원 전송속도를 supported rates와 Ext.supported rates 필드를 이용하여 주고받는다. AP는 단말의 지원속도에 따라 데이터를 전송하고 전송이 원활하지 못할 경우 단말이 지원하는 확장된 전송속도에 따라 한 레벨 낮은 전송속도로 데이터를 전송한다. 이 과정이 반복되면서 이동 단말의 수신신호세기는 변화될 수 있다.

IV. AP 연결 상태에 따른 유사도 오차분석

그림 7은 위의 실험결과로 얻어진 AP 연결 상태에 따른(AP연결, AP비연결) RP1 ~ RP10의 수신신호세기 차이를 보여준다. 측정용 단말이 AP에 연결했을 때 수신신호세기는 AP와의 연결이 없을 경우에 비해 평균 4.4 dBm 정도 강하다.

그림 7. AP 연결 상태에 따른 수신신호세기
Fig. 7 Received signal strength based on AP connection state

이 차이는 실시간 측정 데이터와 FingerPrint DB 데이터를 매칭 시킬 때 발생할 수 있는 오차로 볼 수 있다. 즉, 그림 1 (C) 패턴을 AP와의 연결이 없는 경우에 구성된 FingerPrint DB라고 가정하고, 모바일 단말이 AP에 연결되었을 때 실시간 측정을 하면 AP에서의 수신신호세기는 그림 1 (C) 패턴보다 4.4 dBm 높아야 함을 의미한다. 그림 8은 AP 연결 상태를 고려하지 않은 경우와 AP 연결 상태를 고려한 경우의 유사도 차이를 나타낸 것이다. 유사도 계산은 KNN (K-Nearest Neighbor) 알고리즘을 사용하였고 결과값은 유사도 거리로 산출하였다. 유사도 측정을 위하여 AP 연결이 된 경우(AP1에 연결)와 AP 연결

이 되지 않은 경우 각각 50회 측정을 실시하였다. 그림의 X축은 실험횟수를 나타내고 Y축은 유사도 거리를 나타낸다.

(a)

(b)

그림 8. AP 연결 상태 고려 여부에 따른 유사도 오차
(a) 그림 1 (C)의 A7 패턴에 근거한 유사도
(b) 그림 1 (C)의 A8 패턴에 근거한 유사도

Fig. 8 Similarity error based on AP connection states
(a) Similarity error based on pattern A7 of Figure 1 (C)
(b) Similarity error based on pattern A8 of Figure 1 (C)

그림 9. AP 연결 상태에 따른 유사도 오차율
Fig. 9 The error rate of received signal strength at each RP based on AP connection states

그림 8의 유사도 평균 오차에 근거하여 그림 1 (C)의 A7~B4 패턴 6가지에 대해 AP 연결 상태에 따른 유사도 평균 오차율을 구하면 그림 9와 같다. 즉 AP 연결 상태를 고려하지 않았을 경우와 AP 연결 상태를 고려하였을 경우 사이에는 3.28% 유사도 오차가 발생하게 된다.

V. 결 론

본 연구에서는 실내의 Wi-Fi 신호분석 실험을 통하여 이동 측정 단말이 AP와 연결이 있는 경우가 연결이 없는 경우보다 해당 AP에서 수신된 신호세기가 강하다는 패턴을 발견하였다. 이러한 실험 결과를 FingerPrint DB 구성에 반영함으로써 FingerPrint DB 정확도를 향상시킬 수 있다. 향후 더 다양한 AP 모델과 단말 종류에서 나타나는 다양한 수신신호세기 패턴을 분석하여 보다 정확한 FingerPrint DB 구축 방법을 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", IEEE Tran. on System, and, and cybernetics-Part C: Applications and reviews, Vol. 37, No. 6, pp.1067-1080, 2007.
- [2] H. Koyuncu and S. Yang, "A Survey of Indoor Positioning and Object Location Systems", International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 10, No. 5, pp.121-128, 2010.
- [3] 박세진, 김민구, "802.11 무선 신호 학습 기법을 이용한 실내 위치 인식 시스템의 구현", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 제34권, 제 1(c)호 pp.361-365, 2007.
- [4] 최완식, 옥창석, 이훈주, 기태훈, "실내 위치측정기술 개발 현황 및 방향", 전기의 세계 기획시리즈, 제 58권, 제11호 pp.36-42, 2009.
- [5] X. Xiao, X. Jing, S. You, and J. Zeng, "An Environmental-adaptive RSSI based Indoor Positioning approach using RFID", Proc. of Advanced Intelligence and Awareness Internet 2010, pp.127-130,

- 2010.
- [6] A. B. Jorgen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida; "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.33, No.1, pp.42-49, 1995.
- [7] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks", *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, Vol. 11, No. 1, pp.13-32, 2009.
- [8] E. Trevisani and A. Vitaletti, "Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study", *Proc. of Mobile Computing Systems and Applications 2004*, pp.51-60, 2004.
- [9] 이호철, 이동명, "비컨노드의 동적배치 기반 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템에 대한 연구", *한국통신학회논문지*, 제36권, 제4호, pp.378-385, 2011.
- [10] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, No. 3, pp.439-447, 2002.
- [11] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of Indoor Positioning System Based on Location Fingerprinting", *Proc. of INFOCOM 2004*, Vol. 2, pp.1012-1022, 2004.
- [12] T. Lin and P. Lin, "Performance Comparison of Indoor Positioning Techniques based on Location Fingerprinting in Wireless Networks", *Proc. of 2005 International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, Vol. 2, pp.1569-1574, 2005.
- [13] Ahmad Hatami and Kaveh Pahlavan, "Comparative Statistical Analysis of Indoor Positioning Using Empirical Data and Indoor Radio Channel Models", *Proc. of IEEE CCNC 2006*, pp.1018-1022, 2006.
- [14] 이장재, 권장우, 정민아, 이성로, "실내 측위 결정을 위한 Fingerprinting Bayesian 알고리즘", *한국통신학회논문지*, 제35권, 제6호, pp.888-894, 2010.
- [15] G. Zanca, F. Zorzi, A. Zanella, and M. Zorzi, "Experimental comparison of RSSI-based localization algorithms for Indoor wireless sensor networks", *Proc.*

of REALWSN'08, pp.1-5, 2008.

[16] <http://www.xirrus.com/>.

저자소개

하일규(HilKyu Ha)

영남대학교 전산공학과 공학사
영남대학교 컴퓨터공학과 공학박사
증권감독원 전산업무실 근무
영남대학교 강사, 객원교수

※관심분야: 무선 네트워크, 소프트웨어공학

장철호(Zhehao Zhang)

영남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
영남대학교 컴퓨터공학과
네트워크연구실 연구원

※관심분야: 무선 네트워크, 인터넷 응용

박희주(HeeJoo Park)

대구카톨릭대학교 공학박사
경일대학교 교수

※관심분야: 신경망 컴퓨터, 무선 네트워크

김종근(ChongGun Kim)

영남대학교 전자공학과 공학사
일본 동경 전기통신대학 공학박사
영남대학교 컴퓨터공학과 교수
Virginia Tech. 연구교수

※관심분야: 무선 네트워크, 인터넷 응용, SNS