

WPAN에서 환경 변화에 적응력 있는 실내 위치 측위 기법

임 유 진[†] · 박 재 성^{††}

요 약

모바일 환경에서 사용자의 위치를 기반으로 각종 정보나 서비스를 제공하는 위치 기반 서비스는 향후 정보 통신 산업의 핵심 응용으로 예상되고 있다. 위치 기반 서비스의 요소 기술로는 위치 측위 기술, 플랫폼 기술, 응용 서비스를 들 수 있다. 위치 측위 기술은 전송된 무선 신호를 측정 및 가공함으로써 측위 대상 단말기의 위치를 예측하는 기술이다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반 환경에서 실내 측위 시스템 구축을 위한 적응력 있는 위치 측위 기법을 제안한다. 제안 기법은 RSS(Received Signal Strength)를 이용한 삼각법 측위 시스템에서 위치 측위 정확도를 극대화할 수 있는 최적의 기준 AP를 선택하는 기법과 단말기 주변 전파 환경의 변화에 적응력 있게 대처할 수 있는 단말기와 기준 AP 사이의 거리 예측 기법으로 구성된다. 실내 측위 시스템을 실제로 구축함으로써 측위 정확도 측면에서의 제안 기법 성능을 검증하였다.

키워드 : IEEE 802.15.4, WPAN, 위치 측위, 수신 신호 강도

Adaptive Indoor Localization Scheme to Propagation Environments in Wireless Personal Area Networks

Lim Yujin[†] · Park Jaesung^{††}

ABSTRACT

Location-based service providing the customized information or service according to the user's location has attracted a lot of attention from the mobile communication industry. The service is realized by means of several building blocks, a localization scheme, service platform, application and service. The localization scheme figures out a moving target's position through measuring and processing a wireless signal. In this paper, we propose an adaptive localization scheme in an indoor localization system based on IEEE 802.15.4 standard. In order to enhance the localization accuracy, the proposed scheme selects the best reference points and adaptively reflects the changes of propagation environments of a moving target to approximate distances between the target and the reference points in RSS(Received Signal Strength) based localization system using triangulation. Through the implementation of the localization system, we verify the performance of the proposed scheme in terms of the localization accuracy.

Keywords : IEEE 802.15.4, WPAN, Localization, Received Signal Strength

1. 서 론

위치 기반 서비스는 휴대폰이나 PDA와 같은 휴대 기기의 급속한 확산에 힘입어 무선 통신 시장의 새로운 콘텐츠로 부각되고 있다. 또한 모바일 환경에서 위치 정보를 활용한 다양하고 혁신적인 첨단 서비스로 향후 정보 통신 산업의 핵심 기술로 예상되고 있다. 위치 기반 서비스의 요소 기술로는 위치 측위 기술, 플랫폼 기술, 응용 서비스를 들 수 있다[1]. 위치 측위 기술은 전송된 무선 신호를 측정 및 가공함으로써 측위 대상 단말기의 위치를 예측하는 기술이

다. 플랫폼 기술은 위치 서버, 위치 데이터 서버, 위치 응용 서버로 나누어 볼 수 있으며, 위치 서버는 대상 단말기의 위치를 예측하는 기능을 담당한다. 위치 데이터 서버는 대용량의 단말기 위치 정보를 실시간으로 저장 및 처리하는 데이터 베이스이다. 위치 응용 서버는 획득된 위치 정보를 기반으로 사용자에게 트래킹(tracking) 서비스, 디렉토리 서비스, 광고 서비스 등을 제공한다. 응용 서비스는 정보 제공, 엔터테인먼트, 보안 및 안전, 트래킹으로 나누어 볼 수 있다. 정보 제공 및 엔터테인먼트 분야 응용은 주로 이동통신망을 이용하여 제공되고 있으며 주변 정보 서비스, 교통 정보 서비스, 디렉토리 서비스 및 위치 기반 게임 등을 들 수 있다. 보안 및 안전 분야 응용은 주로 실외 환경에서 GPS 위성을 이용하여 제공되며 가족 안전 귀가 서비스 등을 들 수 있다. 마지막으로, 트래킹 분야 응용으로는 가정이나 요양시설과 같은 환경에서 노인이나 어린이들에 대한 위치 추적, 또는 빌딩 내 군

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00342).

† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어공학과 전임강사

†† 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수

논문접수 : 2009년 5월 12일

수정일 : 1차 2009년 8월 13일

심사완료 : 2009년 8월 13일

인, 소방관, 경찰 등의 네비게이션 등을 들 수 있다[2-3].

본 논문에서는 실내 환경에서 사람이나 물건 등의 위치를 추적하기 위한 실내 위치 측위 시스템에 초점을 맞춘다. 실내 측위 시스템은 측위를 위해 사용되는 신호의 타입, 신호 측량 단위, 그리고 측량 데이터 처리 방법 등에 따라 분류될 수 있다. 신호 타입은 적외선, 초음파, UWB (ultra-wideband), RF (radio frequency) 등이 있다. RF 기반 시스템은 가장 보편화되어 있는 시스템으로 IEEE 802.11등의 표준을 이용한 무선 LAN (wireless local area network[4]) 기반 방식과 IEEE 802.15.4등의 표준을 이용한 무선 PAN (wireless personal area network[5]) 기반 방식으로 나눌 수 있다. 무선 LAN 기반 측위 기술은 이미 널리 보급되어 있는 무선 LAN을 사용함으로써 기존에 설치된 하드웨어의 재사용이 가능하기 때문에 위치 측위 시스템 도입 비용이 적고 신규 설치 및 구조 변경이 용이하기 때문에 이미 많은 주목을 받아왔다. 그러나 무선 LAN 송수신기의 크기와 무선 PAN에 비하여 상대적으로 큰 전력 소모는 휴대의 용이성과 배터리를 기반으로 동작하는 실내 측위 시스템 단말기 구현에 장애가 될 수 있다. 따라서 전송량은 많지 않지만 초저전력 소비를 한다는 장점을 가진 무선 PAN 기반 위치 측위 기술이 점차 그 경쟁력을 인정받고 있다. 무선 PAN 기반 기술은 데이터 송수신 빈도가 그리 많지 않은 위치 측위 시스템을 구성하는데 적합하며 무선 LAN에 비하여 보다 세밀한 위치 인식이 가능하다.

실내 측위 시스템에서 사용되는 신호 측량 단위로는 AoA (Angle of Arrival), ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), 그리고 RSS (Received Signal Strength)를 들 수 있다[6]. 이 중에서 RSS 방식이 RF 기반 실내 측위 시스템을 위하여 각광을 받고 있으며, 이 방식은 다양한 신호 세기 예측 모델을 사용하여 측위 대상 단말기와 기준점(AP: Access Point) 사이의 거리와 신호 세기의 관계를 나타냄으로서 단말기의 위치를 파악한다.

측량 데이터 처리 방법은 크게 근접성을 이용한 방식, 삼각법을 이용한 방식, 핑거 프린팅 방식으로 나눌 수 있다[7-8]. 삼각법을 이용한 방식은 삼각형의 기하학적인 특성을 이용하는 가장 보편적인 위치 추정 방법으로 세 개의 기준 AP와 단말기 사이의 거리를 기반으로 단말기의 위치를 예측하는 방법이다. 핑거 프린팅 방식은 가장 높은 측위 정확도를 제공하는 방법으로 노이즈 및 주변 환경 정보를 위치 측위에 활용하는 방식이다. 이 방식은 트레이닝(training) 단계와 트래킹 단계로 구성된다. 트레이닝 단계에서는 위치 추적 대상이 되는 공간에 다수의 샘플 포인트를 설정하고 모든 샘플 포인트에서의 전파 특성 값을 측정해서 데이터베이스를 만든다. 트래킹 단계에서는 단말기에 대해 실시간으로 전파 특성 값을 측정하고 데이터베이스 검색을 통해 이와 가장 유사한 값을 찾은 후 그에 해당하는 샘플 포인트를 제시함으로써 단말기의 위치를 파악한다. 핑거 프린팅 방식은 다수의 샘플 포인트에 대해 다양한 전파 특성 값을 여러 번 측정해야 하는 문제와 가구의 재배치 등과 같은 환경 변

화가 발생할 때마다 샘플 포인트에 대한 전파 특성 값을 새로 측정해야 하는 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반 환경에서 실내 측위 시스템 구축을 위한 적응력있는 위치 측위 기법을 제안하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여, 위치 측위 정확도를 극대화할 수 있는 최적의 기준 AP를 선택하는 기법을 제안하고, 단말기 주변 전파 환경의 변화에 적응력있게 대처할 수 있는 단말기와 기준 AP사이의 거리 예측 기법을 제안한다. 또한 제안 기법을 실제로 구현하고 이를 다양한 환경에서 실험함으로써 제안 기법의 성능을 검증한다.

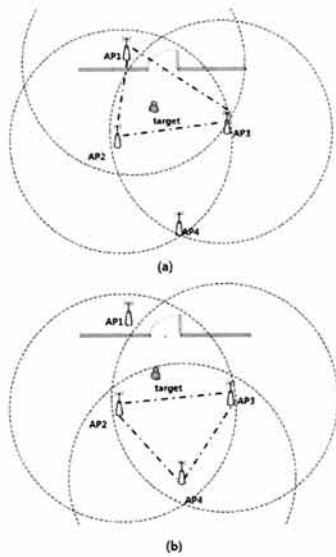
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 RSS 기반 실내 위치 측위 기법의 문제점을 기술하고 온라인 RSS 측정 기법을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 위치 측위 기법을 자세히 설명한다. 4장에서는 실내 위치 측위 시스템을 구축하고 다양한 환경에서의 실험을 통하여 제안 기법의 성능을 검증한다. 마지막으로, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구 및 문제점

2.1 RSS 기반 실내 위치 측위 기법의 문제점

RSS를 이용한 삼각법 측위 시스템에서 발생할 수 있는 이슈로는 단말기 주변에 세 개 이상의 AP가 존재하는 경우 삼각법을 적용하기 위한 세 개의 기준 AP를 선택하는 방법과, 선택된 기준 AP와 단말기 사이의 거리를 예측하는 방법을 들 수 있다. 첫째로, 단말기로부터 신호 수신 가능한 AP가 세 개 이상 존재하는 경우, 이 중에서 단말기와 지리적 거리가 가장 가까운 세 개의 AP를 기준 AP로 선택하는 것이 단말기의 위치 측위 정확도를 높이는 데 바람직하다. 이는 단말기에 가까이 위치한 AP일수록 단말기 주변 전파 환경을 잘 반영할 수 있기 때문이다. 그러나 RSS는 단말기와 AP 사이의 거리뿐만 아니라 문이나 벽과 같은 실내 내부구조나 사람, 가구들의 배치, 그리고 페이딩(fading) 현상 등에 영향을 받는다. 따라서 단말기로부터 전송된 신호에 대해 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP가 반드시 단말기에서 가장 가까운 AP는 아닐 수 있다. (그림 1)에서 단말기(target)는 4개의 AP (AP_1 - AP_4)의 통신 영역에 위치하고 있으며 AP_1 이 단말기에서 지리적으로 가장 가깝게 위치해 있다. 그러나 AP_1 과 단말기 사이의 콘크리트 벽으로 인하여 AP_1 이 다른 AP들(AP_2 , AP_3 , AP_4)에 비하여 작은 RSS 측정값을 가질 수 있다. 따라서 RSS 측정값을 기준으로 기준 AP를 선택한다면 지리적으로 단말기에서 가장 가까운 세 개의 AP들, AP_1 , AP_2 , AP_3 (그림 1)(a)대신 AP_2 , AP_3 , AP_4 로 기준 AP가 잘못 선정되어 단말기의 위치 측위가 부정확해 질 수 있다 (그림 1)(b) 기준 AP 선정이 잘못되면, 이를 기반으로 예측된 단말기의 위치 정확도 또한 악화되므로 최적의 기준 AP 선정은 위치 측위 정확도 향상을 위한 가장 기본적인 요소 중 하나이다.

둘째로, 기준 AP가 주어졌을 때 단말기와 AP 사이의 거리 예측을 위한 다양한 경로 손실 모델들이 존재하며 이리



(그림 1) 기준 AP 선택 문제

한 모델들을 일반적으로 다음과 같은 형태를 가진다.

$$[R_{t \rightarrow i}]_{dB} = a_1 - a_2 \log_{10}(dist'_t) + X_{dB} \quad (1)$$

$[R_{t \rightarrow i}]_{dB}$ 는 단말기 t와 AP_i사이의 거리가 $dist'_t$ 일 때 단말기로부터 전송된 신호에 대하여 AP_i가 측정된 RSS 측정값을 dB 단위로 나타낸 것이다. a_1 은 무선 통신에 사용되는 주파수와 안테나 이득(gain)에 의해 결정되며, a_2 는 전파 감쇠 특성을 반영하는 값으로 전파 측정 환경에 따라 변화하는 값이다. 마지막으로 X_{dB} 는 shadowing effect를 반영하는 랜덤 변수이다[9]. a_2 와 X_{dB} 은 경험적인 측정값에 의해 결정되며, 시간 및 공간에 따라 그 값이 변화하는 특성을 가진다[10]. 따라서 전파 환경 변화 시 마다 경로 손실 파라미터 값(a_2 와 X_{dB})들이 변화하므로 이때마다 전파 특성 값을 새로이 측정하는 것은 어렵다. 이러한 문제 해결을 위하여 전파 환경 변화에 적응력있게 대처할 수 있는 온라인 RSS 측정 기법이 제안되었다.

2.2 온라인 RSS 측정 기법

온라인 RSS 측정 기법은 경로 손실 파라미터 값 획득을 위한 별도의 측정 과정 없이, AP들 사이에 정기적으로 측정되는 RSS 값을 기반으로 RSS 측정값과 지리적인 거리 사이의 관계를 이끌어내는 방법이다.

Gwon et al.[11]은 단말기와 AP 사이의 거리를 예측하기 위한 PSS (Proximity in Signal Space) 기법과 단말기의 위치를 추정하기 위한 TIX (Triangular Interpolation and eXtrapolation) 기법을 제안하였다. PSS 기법에서 각 AP는 이웃 AP들에 대하여 측정된 RSS 측정값과 지리적인 거리와의 관계를 함수로 유지한다. 단말기로부터 신호를 수신한 AP들 중에서 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP를 기준 AP로 선정한다. 기준 AP가 유지하고 있는 관계 함수를 이

용하여 기준 AP를 제외한 다른 AP들과 단말기 사이의 거리를 예측한다. 다음으로, 단말기로부터의 신호에 대하여 측정된 RSS 값 중에서 두 번째로 가장 큰 측정값을 가지는 AP가 유지하는 관계 함수를 사용하여 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 기준 AP와 단말기 사이의 거리를 예측한다. TIX 기법은 단말기로부터 전송된 신호에 대하여 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 세 개의 AP를 단말기 위치 측위를 위한 기준 AP로 선정하고, 선정된 기준 AP를 사용하여 삼각형을 형성한 후 삼각형의 interpolation 또는 extrapolation 방식을 이용하여 단말기의 위치를 예측하는 방식이다. Gwon et.al 방식은 RSS 측정값이 가장 큰 AP가 단말기에서 가장 가깝다는 가정 하에 기준 AP를 선정하였다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 단말기로부터 전송된 신호에 대하여 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP가 반드시 단말기에 가장 가까운 AP는 아닐 수 있다. 따라서 이러한 가정은 단말기 위치 측위의 정확성을 떨어뜨리게 된다.

Lim et. al[12]는 대부분의 RSS 기반 위치 측위 기법이 등방성(isotropic) 환경을 가정한 것에 문제를 제기하였다. 실제로 무선 전파 환경은 전파 측정 방향이나 위치에 따라 그 특성이 모두 다른 이방성(anisotropic) 환경이다. 따라서 이러한 특성을 RSS 측정값과 지리적인 거리 사이의 관계 설정에 반영하기 위하여 Lim et. al은 SDM (Signal-Distance Map)을 제안하였다. SDM 기법은 단말기로부터 신호를 수신할 수 있는 모든 AP에서 측정된 RSS 측정값의 weighted sum을 AP와 단말기 사이의 거리 예측에 사용하기 위하여 행렬 T의 선형 변환 기법을 도입하였다. 측위 시스템 내의 AP가 m개 일 때, 행렬 T는 다음과 같이 계산된다.

$$T = \log(D)S^T(SS^T)^{-1} \quad (2)$$

D와 S는 다음과 같은 $m \times m$ 행렬이다.

$$\begin{aligned} D &= [d_1, \dots, d_m] \\ S &= [s_1, \dots, s_m] \end{aligned} \quad (3)$$

d_i 는 AP사이의 거리를 나타내는 벡터이며, s_i 는 AP사이에 정기적으로 측정된 RSS 값을 나타내는 벡터이고, 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} d_i &= [d_{i1}, \dots, d_{im}]^T \\ s_i &= [s_{i1}, \dots, s_{im}]^T \end{aligned} \quad (4)$$

d_{ij} 는 AP_i와 AP_j 사이의 지리적인 거리이며, s_{ij} 는 AP_j가 전송한 신호에 대해 AP_i가 측정된 RSS 값이다. SDM 방식은 주어진 한 쌍의 AP 사이에서 정기적으로 측정되는 RSS 값들 중에서 대표 값을 선택하기 위하여 median filter를 사용한다. Median filter는 일정 시간 T_s 동안 측정된 RSS 값들의 중간 값을 주어진 AP 사이의 대표 RSS 값으로 사용하는 방식이다. 행렬 T가 주어지면 단말기와 AP 사이의 거리 예측을 위하여 다음과 같은 matrix multiplication을 한다.

$$d_t = T \cdot s_t \quad (5)$$

단말기로부터의 신호를 수신할 수 있는 AP에 대하여, d_i 는 단말기와 AP_i사이의 거리(d_{ti})를 나타내는 거리 벡터이며, s_i 는 단말기로부터 전송된 신호에 대하여 AP_i가 측정 한 RSS 측정값(s_{ti})을 나타내는 신호 강도 벡터이다. 일단 AP들과 단말기 사이의 거리가 예측되면 삼각법과 같은 기존의 위치 예측 기법을 사용하여 단말기의 위치를 추정한다. SDM 방식은 median filter를 사용함으로써 RSS 측정값의 변동으로 인한 영향을 최소화할 수 있는 장점[13]을 가지는 반면, 단말기의 위치 측위 지연시간이 T_s 에 의하여 결정되는 문제를 내포하고 있다. 또한 T_s 는 단말기의 이동 속도나 AP 사이의 메시지 교환 주기 등에 영향을 받기 때문에 최적의 T_s 값을 결정하는 것은 어렵다.

3. 제안 기법

일반적으로 실내 위치 측위 시스템은 위치 기반 서비스 제공을 위한 위치 서버(location server), 위치 측위를 위한 기준점으로 사용되는 AP들, 그리고 위치 측위 대상이 되는 단말기들로 구성된다. 위치 서버는 위치 기반 시스템 내의 모든 AP들에 대한 위치 정보를 알고 있다. 단말기들은 정기적으로 주변 AP들에게 비콘(beacon) 메시지를 전송함으로써 자신의 존재를 알린다. 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 AP들은 자신들이 측정 한 RSS 값 ($R_{t \rightarrow i}$)을 서버에게 알린다. $R_{t \rightarrow i}$ 는 단말기로부터 전송된 비콘 메시지에 대하여 AP_i가 측정 한 RSS 값을 나타낸다. AP들로부터 RSS 측정값을 수신한 위치 서버는 이 중에서 단말기 위치 측위를 위한 세 개의 기준 AP들을 선택하고, 단말기와 기준 AP들 사이의 거리를 예측한다. 마지막으로, 예측된 거리를 기반으로 삼각법을 이용하여 단말기의 위치를 추정한다.

3.1 기준 AP 선택 기법

본 논문에서는 최적의 기준 AP 선택을 위하여 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 각 AP에서 측정 한 RSS 값뿐만 아니라, 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게 중심[14]과 각 AP사이의 거리를 추가로 고려하는 기법을 제안한다. 위치 서버는 최적의 기준 AP, 즉 단말기에 가장 가깝게 위치한 AP들을 선택하기 위하여 비콘 메시지를 수신한 각 AP에 대하여 API(AP preference index) 값을 계산한다. AP_i의 API 값은 다음과 같이 계산한다.

$$API_i = (1 - \alpha) \left(1 - \frac{dist_i^c}{dist_{max}}\right) + \alpha \frac{R_{t \rightarrow i}}{R_{max}} \quad (6)$$

$dist_i^c$ 는 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게 중심(centroid)과 AP_i사이의 거리이며, α 는 $0 \leq \alpha \leq 1$ 사이의 값이다. α 값이 증가할수록 RSS 측정값이 큰 AP를, α 값이 감소할수록 다각형의 무게 중심과의 거리가 짧

은 AP를 기준 AP로 선택하게 된다. $dist_{max}$ 와 R_{max} 의 정의는 다음과 같다.

$$dist_{max} = \max_{\forall i} \{dist_i^c\} \quad (7)$$

$$R_{max} = \max_{\forall i} \{R_{t \rightarrow i}\} \quad (8)$$

AP_i는 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 AP이다. 다시 말해서, $dist_{max}$ 는 다각형의 무게 중심과 AP_i와의 거리 중에서 가장 큰 값을, R_{max} 는 단말기로부터의 신호에 대하여 측정 한 RSS 값 중에서 가장 큰 값을 나타낸다. 위치 정보 서버는 가장 큰 API 값을 가지는 세 개의 AP를 단말기의 위치 측위를 위한 기준 AP로 선택한다.

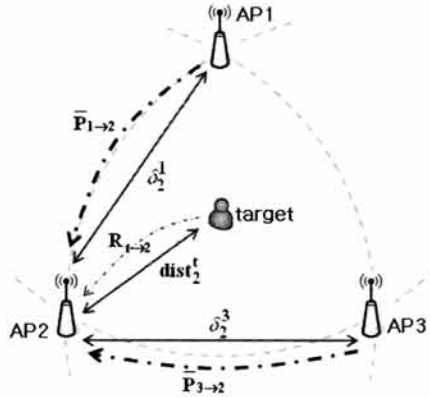
3.2 기준 AP와 단말기 사이의 거리 예측

AP는 정기적으로 자신의 이웃 AP들에게 헬로우(hello) 메시지를 전송한다. 헬로우 메시지를 수신한 이웃 AP들은 자신들이 측정 한 RSS 값($P_{j \rightarrow i}$)을 위치 서버에게 알린다. $P_{j \rightarrow i}$ 는 AP_j가 전송한 헬로우 메시지에 대하여 AP_i가 측정 한 RSS 값을 나타낸다. 위치 서버는 각 AP_i에 대하여 RSS 평균값($\bar{P}_{j \rightarrow i}$)을 유지한다. 그러나 RSS 측정값에는 shadowing effect나 무선 통신 시스템 간의 간섭 등으로 인한 랜덤 오류가 포함된다. 따라서 이러한 랜덤 오류를 보정하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 가중 이동 평균(weighted moving average)을 사용한다.

$$\bar{P}(n) = (1 - \beta)\bar{P}(n-1) + \beta P(n) \quad (9)$$

$P(n)$ 은 n 번째 측정된 RSS 측정값이며, $\bar{P}(n)$ 은 n 번째 측정 후의 RSS 평균 값, β 는 $0 \leq \beta \leq 1$ 사이의 값으로 일반적으로 0.01 값을 사용한다[15].

AP_j가 단말기로부터 비콘 메시지를 수신하면, AP_i는 자신이 비콘 메시지에 대하여 측정 한 RSS 값($R_{t \rightarrow i}$)을 위치 서버에게 전송한다. AP_j가 기준 AP라면, 위치 서버는 AP_i에 대하여 유지하고 있는 RSS 평균 값($\bar{P}_{x \rightarrow i}$, AP_x는 AP_i의 이웃 AP 중 기준 AP로 선택된 AP)을 확인하여, 그 중에서 가장 큰 평균 값($\bar{P}_{j \rightarrow i}$)을 선택한다. 예를 들어, (그림 2)에서와 같이 기준 AP가 AP₁, AP₂, AP₃일 때 AP₂와 단말기 사이의 거리 예측을 위하여 AP₁과 AP₂ 사이, AP₃과 AP₂ 사이에 유지되고 있는 $\bar{P}_{1 \rightarrow 2}$ 와 $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 중에서 큰 값을 사용한다. 이는 AP₁과 AP₂ 사이, AP₃과 AP₂ 사이의 전파 환경이 단말기와 AP₂ 사이의 전파 환경과 가장 유사하기 때문이다. 본 논문에서는 전파 환경이 짧은 시간동안 갑자기 바뀌지 않는 점에 착안하여, 식 (1)에서의 $[R_{t \rightarrow i}]_{dB}$ 와 $\log_{10}(dist_i^t)$ 사이의 선형 관계를 이용함으로써 경험적인 측정값에 의하여 결정되는 a_2 와 X_{dB} 없이도 $dist_i^t$ 를 계산할 수 있는 방법을 제안한다. 예를 들어 (그림 2)에서 $\bar{P}_{1 \rightarrow 2}$ 와 $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 중에서 큰 값이 $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 인 경우, $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 과



(그림 2) AP와 단말기 사이의 거리 예측

δ_2^3 (AP₃과 AP₂ 사이의 거리)와의 선형 관계를 이용하여 $R_{t \rightarrow 2}$ 를 기반으로 $dist_2^t$ (단말기와 AP₂ 사이의 거리)를 식 (10)과 같이 예측한다. 일반적으로 위치 서버는 단말기와 AP_i사이의 거리를 다음과 같이 예측한다.

$$dist_i^t = 10 \frac{\delta_j R_{t \rightarrow i}}{P_{j-i}} \quad (10)$$

δ_j^i 는 AP_i와 AP_j 사이의 지리적인 거리이다.

3.3 단말기의 위치 예측

단말기와 기준 AP들 사이의 거리가 예측되면, 다음과 같은 삼각법을 이용하여 단말기의 위치(x_t, y_t)를 예측한다.

$$\begin{aligned} dist_1^t &= \sqrt{(x_t - x_1)^2 + (y_t - y_1)^2} \\ dist_2^t &= \sqrt{(x_t - x_2)^2 + (y_t - y_2)^2} \\ dist_3^t &= \sqrt{(x_t - x_3)^2 + (y_t - y_3)^2} \end{aligned} \quad (11)$$

(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)은 기준 AP들, AP₁, AP₂, AP₃의 좌표 값을 나타낸다.

식 (11)을 통하여 단말기의 좌표 값이 하나 이상 주어질 경우, 다음과 같은 목적 함수를 최소화 하는 값을 단말기의 최종 좌표 값으로 결정한다.

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n (\sqrt{(x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2} - dist_i^t) \quad (12)$$

AP_i는 단말기의 위치 측위를 위한 기준 AP이다.

3.4 기준 AP 선택 기법의 최적화

최적의 기준 AP 선택을 위한 식 (6)에서, $\alpha = 0$ 인 경우 다각형의 무게 중심에서 가까운 AP를 기준 AP로 선정하므로 단말기가 다각형의 무게 중심에 가까이 위치해 있다면 무게중심에서 가장 가까운 AP가 최적의 기준 AP가 된다. 그러나 단말기가 무게중심에서 떨어져 있다면 무게중심에서

가까운 AP는 더 이상 최적의 기준 AP가 되지 못한다. $\alpha = 1$ 인 경우는 RSS 값만을 기반으로 기준 AP를 선정하므로 장애물이 없는 LOS(line of sight) 전파 환경이라면 큰 RSS 측정값을 가지는 AP가 최적의 기준 AP가 된다. 그러나 벽이나 가구와 같은 장애물이 존재하는 경우에는 단말기와 AP사이의 거리가 가까워도 상대적으로 작은 RSS 측정값을 가질 수 있다. 그러므로 적절한 α 값 설정을 통하여 각 환경에 맞는 최적의 기준 AP 선정이 필요하다. (그림 3)은 단말기의 위치 변화에 따른 최적의 기준 AP를 보여준다. (그림 3)(a)는 LOS 환경에서 단말기로 부터의 비콘 메시지를 수신한 AP들(AP₁~AP₄) 중에서, 다각형의 무게중심(centroid)과 지리적으로 가장 가까운 세 개의 AP (AP₁, AP₂, AP₃)와 단말기로부터의 비콘 메시지에 대하여 측정된 RSS 값들 중에서 가장 큰 값을 가지는 세 개의 AP가 동일하며, 이들이 최적의 기준 AP인 경우(CASE 1)를 보인다. 또한 CASE 2는 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 세 개의 AP가 최적의 기준 AP인 경우이다. (그림 3)(b)는 하나의 AP가 다른 세 개의 AP 및 단말기와 콘크리트 벽에 의해 분리되어 있는 환경으로, CASE 3은 무게 중심과 가장 가까운 세 개의 AP가 측위를 위한 최적의 기준 AP인 경우이고, CASE 4는 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 세 개의 AP가 최적의 기준 AP인 경우를 나타낸다.

<표 1>은 (그림 3)의 네 가지 경우에 대하여 식 (6)의 α 값 변화에 따른 위치 측위 정확도를 측정한 결과이다. CASE 2와 CASE 4는 RSS 측정값에 weight를 두어 ($\alpha > 0.7$) 기준 AP를 선택하는 것이 위치 측위 정확도 측면에서 좋으며, CASE 3의 경우는 무게 중심과의 거리에 weight를 주는 것이($\alpha < 0.7$) 더 나은 성능을 보인다. CASE 1은 RSS 측정값이나 무게 중심과의 거리 중 어느 것에 weight를 주어도 비슷한 성능을 보인다. 본 논문에서는 이와 같은 실험 결과를 토대로 기준 AP 선정을 위하여 α 값을 전파 환경에 따라 동적으로 조절하는 기법을 추가로 제안한다. 먼저, 무게 중심과 가장 가까운 세 개의 AP들과 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 세 개의 AP들이 동일한 경우 (CASE 1)와 그렇지 않은 경우 (CASE 2, 3, 4)로 나누었다. 다음으로 단말기가 무게 중심과 가장 가까운 세 개의 AP들로 구성된 삼각형 내에 있는 경우 (CASE 3)와 그렇지 않은 경우 (CASE 2, 4)로 분류하여 α 값을 동적으로 조절하였다. 다음은 단말기가 무게 중심과 가장 가까운 AP들로 구성된 삼각형 내에 있는 경우를 식별하기 위한 식이다.

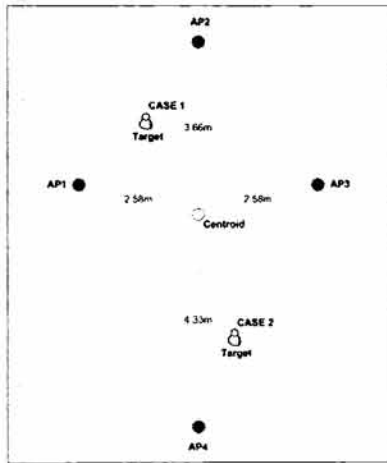
$$R_{t \rightarrow i} \geq \min_{j \neq i} \{P_{j \rightarrow i} RIGHT\} \quad (13)$$

AP_i는 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게 중심에서 지리적으로 가장 가까운 AP이며, AP_j는 다각형의 무게 중심에서 두 번째, 세 번째로 가까운 곳에 위치한 AP이다. CASE 3인 경우는 $\alpha < 0.7$ 값을, 나머지 경우 (CASE 1, 2, 4)는 $\alpha > 0.7$ 값을 α 값으로 설정한다.

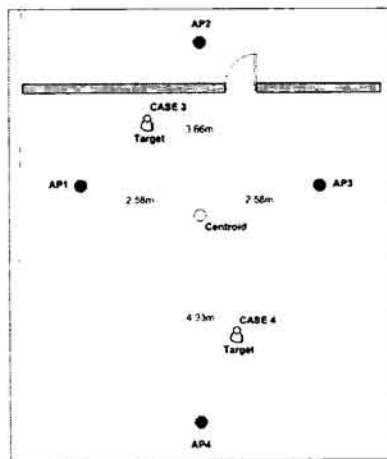
<표 1> α 값에 의한 위치 정확도 변화

(단위 : meter)

	LOS 환경		콘크리트 벽 환경	
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
$\alpha=0.0$	0.736	1.624	0.773	1.926
$\alpha=0.1$	0.732	1.628	0.773	1.940
$\alpha=0.2$	0.732	1.613	0.777	1.942
$\alpha=0.3$	0.734	1.609	0.775	1.927
$\alpha=0.4$	0.729	1.612	0.777	1.923
$\alpha=0.5$	0.732	1.619	0.745	1.933
$\alpha=0.6$	0.733	1.583	0.772	1.964
$\alpha=0.7$	0.733	1.581	0.776	1.554
$\alpha=0.8$	0.730	1.042	1.509	1.554
$\alpha=0.9$	0.731	1.188	1.515	1.557
$\alpha=1.0$	0.730	1.129	1.516	1.559



(a) LOS환경



(b) 콘크리트 벽이 있는 환경

(그림 3) 단말기의 위치에 따른 최적의 기준 AP의 변화

4. 성능평가

본 논문에서 제안한 위치 측위 기법의 성능 검증을 위하여 수원대학교 IT대학 건물 내에 실내 측위 시스템을 실제

로 구현하였다. 실내 측위 시스템을 위하여 4개의 AP와 한 개의 단말기를 사용하였으며, 이들 사이의 통신은 IEEE 802.15.4를 기반으로 한다. 시스템에 사용된 AP와 단말기는 ATMegat28 마이크로 콘트롤러와 CC2420 RF 칩으로 구성된 모트(mote) 통신 모듈[16, 17]을 사용하여 구현되었다.

실내 측위 시스템의 성능 실험을 위하여 (그림 4)와 같이 서로 다른 전파 특성을 가지는 네 가지 장소에 시스템을 설치하였다. 실험 환경 1은 개방 형태의 로비로 모든 AP와 단말기가 서로 보이는 LOS 환경이다. 실험 환경 2와 3은 콘크리트 벽 또는 유리벽으로 분할되어 있는 공간으로, 하나의 AP가 다른 세 개의 AP 및 단말기와 콘크리트 벽 또는 유리벽에 의해 분리되어 있다. 실험 환경 4는 AP와 AP 사이, AP와 단말기 사이에 장애물이 상당히 많이 존재하는 강의실로 모든 AP와 단말기가 서로 보이지 않는 NLOS (non-LOS) 환경이다. 모든 실험 환경에서 단말기는 네 개 AP의 통신 범위 안에 포함되며 각 AP는 나머지 세 개의 AP의 통신 범위 안에 포함되도록 배치하였다. 단말기의 위치는 다각형의 무게중심과의 거리가 가장 가까운 세 개의 AP들로 구성된 삼각형 내에 단말기가 위치한 경우(C1)와 그렇지 않은 경우(C2)로 나누어 실험하였다. AP와 단말기는 정기적으로 1초마다 헬로우 메시지와 비콘 메시지를 각기 전송한다. 실험은 각 실험 환경 당 두 가지 서로 다른 장소 (1층과 2층)에서 1000회씩 수행되었다. 또한 성능 비교를 위하여 경험적인 측정 방법으로 식 (1)의 a_2 와 X_{dB} 값을 결정하는 방법(ES)과 온라인 RSS 측정 기법의 대표적인 방법인 PSS 방법을 사용하였다. ES는 시스템 구축 및 관리 측면에서 비실용적이나 가장 높은 측위 정확도를 가지므로 성능 비교 목적으로 사용하였다. 성능 측정 요소로는 단말기의 실제 위치 값과 위치 측위 알고리즘에 의해 예측된 위치 값과의 차이를 평균값(avg.)과 표준편차(stdev.)로 나타냄으로써 위치 정확도를 표현하였다.

<표 2>와 <표 3>은 각 실험 환경에서 측정된 결과이다. 실험 환경 1, 2, 3에서는 본 논문에서 제안된 기법이 ES 기법과 비슷하거나 약간 더 좋은 성능을 보이고 있다. 반면, 실험 환경 4와 같이 장애물에 의한 굴절, 반사 등의 전파 방해 요인이 많은 환경에서는 ES가 제안된 기법보다 62% 더 좋은 성능을 보인다. 그러나 위치 측위 정확도의 표준편차 측면에서 살펴보면 ES는 제안된 기법에 비하여 12.8배나 높은 표준편차를 보이고 있다. 이는 제안된 기법이 단말기 주변 전파환경의 변화에 적응력있게 대처함으로써 일정



(a) 실험환경1 (b) 실험환경2 (c) 실험환경3 (d) 실험환경4

(그림 4) 실내 측위 시스템의 성능 테스트 환경

한 성능 수준을 유지한다는 것을 보이는 것이다. 반면 ES는 전과 환경 변화에도 불구하고 a_2 와 X_{dB} 값을 결정한 그 시점에서의 측정값을 기반으로 측위를 하므로 성능 편차가 크다. 제안된 기법과 같이 온라인 RSS 측정 기법을 도입한 PSS와 위치 측위 정확도 측면에서의 성능을 비교해보면, 제안된 기법이 각 실험 환경에서 70%, 72%, 65%, 42%의 성능 향상을 보였다. 또한 표준 편차 측면에서 PSS는 제안된 기법에 비하여 6.87배 높은 표준 편차를 보이고 있다. PSS는 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP가 유지하고 있는 관계 함수를 이용하여 다른 모든 AP들과 단말기 사이의 거리를 예측하는 반면, 제안된 기법은 각 기준 AP를 중심으로 해당 기준 AP와 이웃 AP사이에 측정된 값을 기반으로 거리를 예측함으로써 주변 전과 환경을 보다 잘 반영할 수 있기 때문이다. 또한 제안된 기법은 PSS처럼 RSS 측정값이 가장 큰 AP를 기준 AP로 선택하는 대신, RSS 측정값과 다각형의 무게중심을 함께 고려함으로써 단말기에서 가까운 AP를 기준 AP로 선정했기 때문에 보다 정확한 위치 예측이 가능하였다.

(그림 5)와 (그림 6)은 헬로우 메시지 전송 주기와 비콘 메시지 전송 주기에 의한 성능 변화를 위치 측위 정확도와 측위 지연시간 측면에서 보이고 있다. AP들 사이에서 교환되는 헬로우 메시지의 전송 주기는 전과 환경 변화에 대한 적응력에 영향을 미친다. (그림 5)에서 보는 바와 같이 헬로우 전송 주기가 60초 이내이면 환경 변화에 너무 민감하게 반응하게 되어 오히려 위치 측위 정확도를 떨어뜨리게 된다. 또한 전송 주기가 100초 이상 길어지면 주변 환경 변화에 신속히 대처하지 못함으로써 성능 저하를 초래하게 된다. 따라서 50~70초 정도의 전송 주기가 적합하다고 할 수 있다. 또한 위치 측위 정확도 측면에서 단말기가 전송하는 비콘 메시지의 전송 주기는 그 영향력이 아주 작음을 알 수 있다. 비콘 메시지 전송 주기는 (그림 6)에서 보는 바와 같이 위치 측위 지연시간에 영향을 미친다. 위치 측위 지연시간이란 위치 서버에 위치 측위 요청이 들어오는 시점부터 단말기의 위치가 예측 완료되는 시점까지의 시간을 나타낸다. 비콘 메시지 전송 주기가 증가할수록 측위 지연시간 또한 증가함을 볼 수 있다. 측위 지연 시간의 기준은 측위 대상의 이동성, 이동 속도, 이동 패턴 등과 응용 서비스의 특성에 따라 달라질 수 있다. 또한 측위 지연 시간 측면에서 AP사이에 교환되는 헬로우 메시지의 전송 주기는 그 영향력이 아주 작음을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 실내 측위 시스템을 위한 위치 측위 기법을 제안하였다. 기존의 핑거프린팅 방식은 전과 환경 특성을 얻어내기 위한 추가적인 트레이닝 과정을 요구하므로, 이로 인하여 시스템 구축 및 유지비용이 상승하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 온라인 RSS 측정 기법이 제안되었다. 온라인 RSS 측정 기법은 AP들 사이에 정기적

〈표 2〉 다양한 실험 환경에서의 위치 정확도

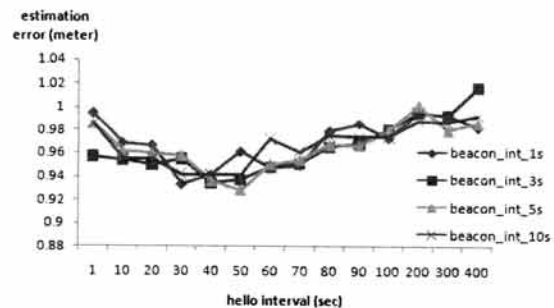
(단위: meter)

			ES	Proposed	PSS
실험환경1	1F	C1	0.782	0.725	4.616
		C2	1.059	1.150	3.591
	2F	C1	1.535	0.725	2.384
		C2	1.115	1.152	1.894
실험환경2	1F	C1	0.840	0.906	3.971
		C2	1.081	1.557	3.208
	2F	C1	1.521	0.757	5.548
		C2	1.328	1.314	3.028
실험환경3	1F	C1	0.557	0.742	1.572
		C2	1.210	1.719	3.555
	2F	C1	0.852	0.726	4.657
		C2	1.727	1.314	2.795
실험환경4	1F	C1	1.235	3.036	4.873
		C2	0.981	2.894	5.255
	2F	C1	1.270	3.513	4.173
		C2	1.208	2.640	6.356

〈표 3〉 다양한 실험 환경에서의 위치 정확도 표준 편차

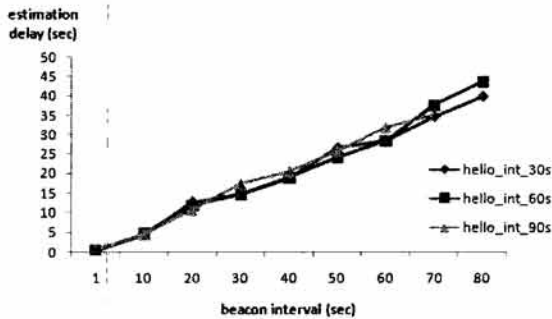
(단위: mm)

			ES	Proposed	PSS
실험환경1	1F	C1	12.68	1.719	18.15
		C2	7.269	1.055	5.790
	2F	C1	28.95	0.070	52.65
		C2	0.506	1.412	1.872
실험환경2	1F	C1	16.10	7.733	4.768
		C2	53.39	0.152	10.63
	2F	C1	1.678	0.196	6.599
		C2	3.159	1.799	0.559
실험환경3	1F	C1	2.701	0.272	3.003
		C2	93.03	0.666	5.092
	2F	C1	5.553	0.509	11.57
		C2	1.059	1.799	2.924
실험환경4	1F	C1	6.785	1.256	3.960
		C2	0.188	0.509	1.989
	2F	C1	17.84	0.631	6.221
		C2	4.364	0.080	0.751



(그림 5) 헬로우 메시지 전송 주기에 따른 측위 정확도

으로 메시지를 교환함으로써 별도의 트레이닝 과정 없이도 전과 환경 변화를 위치 측위에 반영하는 기법이다. 본 논문에서는 이러한 온라인 RSS 측정 기법을 기반으로, 기존의 경로 손실 모델들이 가지고 있는 RSS 측정값과 지리적인 거리 사이의 선형 관계를 이용하여 AP와 단말기 사이의 거리 예측 기법을 제안하였다. 또한 단말기의 위치 측위 정확



(그림 6) 비콘 메시지 전송 주기에 따른 측위 지연시간

도를 향상시키기 위하여 기준 AP 선택 시 RSS 측정값 이외에도 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게중심과 각 AP사이의 거리를 추가로 고려함으로써 최적의 기준 AP 선택이 가능하도록 하였다. 제안된 기법의 성능 검증은 위하여 실내 측위 시스템을 실제로 구현하였으며, 다양한 전파 환경에서의 실험을 통하여 제안된 기법이 기존의 온라인 RSS 측정 기법, 즉 PSS 기법보다 평균 63%정도 더 높은 위치 측위 정확도를 가짐을 보였다.

참 고 문 헌

[1] 이성호, 민경욱, 김재철, 김주완, 박종현, "위치기반서비스 기술 동향", ETRI 전자통신동향분석, 제20권, 제3호, 2005년 6월, pp. 33-42.

[2] 김진태, 권영미, "RFID와 ZigBee를 이용한 유비쿼터스 u-Health 시스템 구현", 대한전자공학회 논문지, 제43권 제1호, 2006년 1월, pp.79-88.

[3] K. Pahlavan, X. Li, and J. P. Makela, "Indoor geolocation science and technology", *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, February 2002, pp.112-118.

[4] IEEE Standard 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4GHz Band", 1999.

[5] IEEE Standard 802.15.4, "Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANs)", 2003.

[6] 이종훈, 김상동, 정우영, 김선미, 박용완, "실시간 실내의 측위 기술 개발 동향 분석", 대한전자공학회 텔레콤, 제22권 제2호, 2006년 12월, pp.85-95.

[7] 최희동, 안와 나즐레이브, 박용완, 최정희, "무선랜 기반의 실내 측위 시스템을 위한 신호 세기 예측 모델에 관한 연구", *SK Telecommunications Review*, 제18권, 제2호, 2008년 4월, pp. 248-260.

[8] 김학용, "무선랜 기반 위치 정보 서비스", *SK Telecommunications Review*, 제16권, 제2호, 2006년 4월, pp. 188-202.

[9] K. Pahlavan and A. Levesque, "Wireless information

networks", New York: Wiley, 1995.

[10] S. Hara, D. Zhao, K. Yanagihara, J. Taketsugu, K. Fukui, S. Fukunaga, and K. Kitayama, "Propagation characteristics of IEEE 802.15.4 radio signal and their application for location estimation", *Proceedings of IEEE VTC*, May 2005, pp. 97-101.

[11] Y. Gwon and R. Jain, "Error characteristics and calibration-free techniques for wireless LAN-based location estimation", *Proceedings of ACM MobiWac*, October 2004, pp.2-9.

[12] H. Lim, L-C Kung, J. C. Hou, and H. Luo, "Zero-configuration, robust indoor localization: theory and experimentation", *Proceedings of IEEE INFOCOM*, April 2006, pp.1-12.

[13] A.S. Krishnakumar and P. Krishnan, "On the accuracy of signal strength-based location estimation techniques", *Proceedings of IEEE INFOCOM*, March 2005, pp.642-650.

[14] M. J. Smith, M. F. Goodchild, and P. A. Longley, "Geospatial Analysis," Troubador Publishing Ltd, 2006.

[15] S. Woon, N. Golmie, and Y. A. Sekercioglu, "Effective Link Triggers to Improve Handover Performance", *Proceedings of IEEE PIMRC*, September 2006, pp.1-5.

[16] <http://www.hanback.co.kr/>

[17] C. Suh, J-E Joung, and T-B Ko, "New RF models of the TinyOS simulator for IEEE 802.15.4 standard", *Proceedings of IEEE WCNC*, March 2007, pp.2236-2240.

임 유 진



e-mail : yujin@suwon.ac.kr
 1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)
 1997년 숙명여자대학교 전자계산학과(석사)
 2000년 숙명여자대학교 전자계산학과(박사)
 2000년 서울대학교 Post-Doc
 2000년 서울시립대학교 연구교수
 2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc
 2003년 삼성종합기술원 전문연구원
 2004년~현 재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사
 관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등

박 재 성



e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr
 1995년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1997년 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 2001년 연세대학교 전기,전자공학과(공학박사)
 2001년~2002년 University of Minnesota PostDoc. Research Faculty
 2002년~2005년 LG전자 선임연구원
 2005년~2008년 수원대학교 인터넷정보공학과 전임강사
 2008년~현 재 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수
 관심분야 : 이동성 관리 기술, 성능 평가, 무선 매쉬 네트워크 설계 등