

논문 2008-45TC-12-14

실내 위치 측위 시스템을 위한 기하학적 접근 기법

(A Geometric Approach for the Indoor Localization System)

임 유 진*, 박 재 성*, 안 상 현**

(Yujin Lim, Jaesung Park, and Sanghyun Ahn)

요 약

위치 기반 서비스는 위치 측위 기술을 통해 사용자의 위치를 파악하고 이에 따라 각종 정보나 서비스를 제공하는 서비스이다. 그러나 기존의 실외 측위 시스템은 보다 높은 측위 정확도를 요구하는 실내 환경에 적용하기에 적합하지 않다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 무선 PAN(personal area network) 환경에서 삼각법을 이용한 실내 측위 시스템에 초점을 맞추며 기준점과 단말기 사이의 거리 예측을 위하여 RSS(received signal strength)를 사용한다. 실내 위치 측위 시스템 구축을 위하여 본 논문에서는 위치 측위 정확도를 극대화할 수 있는 최적의 기준점을 선택하는 기법과 선택된 기준점과 단말기 사이의 거리 예측을 위하여 전파 환경 변화에 적응력있는 거리 예측 기법을 제안한다. 시스템 구현을 통하여 위치 정확도 측면에서 제안 기법의 성능을 검증하였다.

Abstract

Location-based services provide customized information or services according to the user's location. The existing localization schemes for outdoor environment are not applicable to the indoor localization system which requires higher accuracy of location estimation than that of the outdoor localization system. In this paper, we employ the received signal strength(RSS) to approximate the distance between a moving target and a reference point and use the triangulation method to estimate the location of the moving target for the indoor localization system in IEEE 802.15.4 wireless PAN(personal area network). For the indoor localization system, we propose a scheme which selects the best reference points to enhance the localization accuracy and adaptively reflects the changes in propagation environments of a moving target to the distance approximation. Through the implementation of the localization system, we have verified the performance of the proposed scheme in terms of the estimation accuracy.

Keywords : IEEE 802.15.4, Localization, Received signal strength, Triangulation method

I. 서 론

이동 통신 기술의 발달과 휴대폰이나 PDA와 같은 휴대 기기의 급속한 확산으로 기존의 가정이나 회사와 같은 정적인 환경에서 제공되던 서비스들이 모바일 환경에서 제공되게 되었다. 이러한 모바일 서비스 중 대표적인 것으로 사용자의 위치에 따라 각종 정보나 서비

스들을 제공하는 위치 기반 서비스를 들 수 있다. 이러한 위치 기반 서비스 제공에 있어서 가장 중요한 기반 기술 중 하나가 정확한 위치 측위 기술이다. 현재 GPS 위성이나 이동 통신망을 이용한 위치 측위가 주를 이루고 있지만, GPS 기반 위치 측위^[1]의 경우 실내 및 건물 밀집 지역에서는 수신율이 상당히 저하되고 이동 통신망 기반 위치 측위의 경우 수백 미터의 오차를 가지기 때문에 긴급 구조 및 재난 서비스 등에 사용하기에 오차 범위가 너무 크다. 따라서 실내에서 사람이나 사물의 위치를 정확히 파악하기 위한 기술이 요구된다.

실내 측위 기술은 상업용, 공공 안전, 국방용 응용 등 그 범위가 아주 다양하다. 먼저 상업용 응용으로는 가정이나 요양시설에서의 노인이나 어린이들의 위치 추적

* 정회원, 수원대학교
(University of Suwon)

** 정회원, 서울시립대학교
(University of Seoul)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터(홈네트워크연구센터) 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2008년10월7일, 수정완료일: 2008년12월10일

을 들 수 있다^[2]. 공공 안전이나 국방용 응용은 감옥에서의 죄수 관리, 또는 빌딩 내 군인, 소방관, 경찰 등의 네비게이션을 들 수 있다^[3]. 이러한 실내 측위 기술은 실외 측위 기술에 비해서 보다 높은 측위의 정확도, 측위의 정밀도 등을 요구하며, 다른 무선 시스템들과의 전파 간섭이나 제한된 출력 파워 등의 제약 사항을 가진다.

실내 측위 시스템은 일반적으로 전송된 무선 신호를 측정하여 가공함으로써 위치 측위의 대상이 되는 단말기의 위치를 예측한다. 주변 전파 환경에 많은 영향을 받는 수신 신호를 기반으로 위치 예측이 이루어지므로 동적으로 변화하는 전파 환경의 특성은 위치 예측 정확도를 저하시키는 원인이 된다. 따라서 전파 환경의 변화에도 적절한 위치 측위 정확도를 유지할 수 있는 측위 기법이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반 환경에서 실내 위치 측위 기법을 제안하는 것을 목표로 한다. 제안 기법은 위치 측위 정확도를 극대화할 수 있는 최적의 기준점(AP: access point)을 선택하는 기법과 선택된 기준 AP와 단말기 사이의 거리 예측을 위하여 무선 환경 변화에 적응력있는 거리 예측 기법으로 구성된다. 제안 기법을 실제로 구현하고 이를 다양한 환경에서 실험함으로써 제안 기법의 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실내 위치 측위 관련 기법들을 소개하고 그 문제점을 기술한다. III장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 위치 측위 기법을 자세히 설명한다. IV장에서는 실내 위치 측위 시스템을 구축하고 다양한 환경에서의 실험을 통하여 제안 기법의 성능을 검증한다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구 및 문제점

1. 실내 위치 측위 기법

실내 측위 시스템은 측위를 위해 사용되는 신호의 종류, 신호 측량 단위, 그리고 측량 데이터 처리 방법에 따라 분류 될 수 있다.

가. 신호 종류

신호 종류는 적외선, 초음파, UWB(ultra wideband), RF(radio frequency) 등을 들 수 있으며, 적외선 기반 시스템은 시스템 구성이 간단하고 비용이 저렴한 반면 사용자 증가에 따른 시스템 확장이 용이하지 못하며 고

정밀도의 위치 측위 시스템을 구현하기 힘들다. 초음파 기반 시스템은 10cm 오차 정도를 가지는 비교적 정확한 성능을 보이거나 LOS(line of sight) 채널 환경 하에서 별도의 초음파 송수신 장치가 추가로 필요하며, 초음파의 방향성 때문에 다수의 송수신기가 필요하다는 단점을 가진다. UWB를 이용한 측위 시스템은 수 센티미터 이내의 정확도를 갖는 고 정밀 측위 시스템 구축이 가능하나 아직까지 산업계에 하나로 통일된 표준이 제공되고 있지 않으며 구축비용이 높고, 많은 대역폭을 차지하므로 기존의 다른 무선 통신 시스템에 장애를 일으킬 수 있다.

RF 기반 시스템은 IEEE 802.11 등의 표준을 이용한 무선 LAN(wireless local area network^[4]) 기반 방식과 IEEE 802.15.4 등의 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 위치 측위 시스템 단말기 구현에 장애가 될 수 있다. 따라서 무선 PAN 기반 위치 측위 기술이 그 동안 상대적으로 무선 LAN 기반 기술 보다 관심을 덜 받았지만 점차 센서 네트워크나 위치 측위 시스템 같은 응용에서 그 경쟁력을 인정받고 있다. 무선 PAN 기술은 전송량은 많지 않지만 초저전력 소비를 한다는 장점을 가진다. 송수신시 평균 전력 소비 수준은 50mW 정도로 무선 LAN의 1W에 비하면 매우 낮은 수준이며 한번 AA 배터리를 장착하면 최대 2~3년 정도 사용할 수 있다. 따라서 데이터 송수신 빈도가 그리 많지 않은 위치 측위 시스템을 구성하는데 적합하며 무선 LAN에 비하여 보다 세밀한 위치 인식이 가능하다.

나. 신호 측량 단위

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. AoA 방식은 AP에서 단말기로 전송되는 신호의 각도를 이용하여 단말기의 위치를 파악하는 기술로서, 두 개의 AP에서 들어오는 신호의 방향을 측정하여 방향각을 구하고 두 개의 방향선

의 교차점으로 단말기의 위치를 인식한다. TDoA 방식은 한 개의 서비스 AP와 두 개의 주변 AP 사이의 단말기 신호 도달시간의 차이를 이용하여 위치를 인식할 수 있는 기술이다. 그러나 일반적으로 RF 기반 실내 위치 측위 시스템에서는 AoA 또는 TDoA를 정확하게 측정하기가 어렵기 때문에 주로 ToA나 RSS를 이용한다^[6]. ToA 방식은 단말기와 AP 간의 전파 전달 시간을 측정하여 이를 기반으로 단말기의 위치를 추정하는 방식으로 반드시 단말기와 AP 간의 동기를 유지해야 하는 부담을 가진다. 따라서 RSS 방식이 RF 기반 실내 측위 시스템에서 각광을 받고 있으며, 이 방식은 다양한 수신 신호세기 예측 모델을 사용하여 단말기와 AP 사이의 거리와 신호 세기의 관계를 나타냄으로써 단말기의 위치를 파악한다.

다. 측량 데이터 처리 방식

실내 측위 시스템을 위한 측량 데이터 처리 방법은 크게 근접성을 이용한 방식, 삼각법을 이용한 방식, 핑거 프린팅 방식으로 나눌 수 있다^[7-8]. 근접성을 이용한 방식은 가장 단순한 형태의 위치 추적 방법이다. 추적하고자 하는 단말기가 셀(cell)이라 불리는 지정된 공간에 존재하는지의 여부를 통해 단말기의 위치를 확인하는 방법이다. 따라서 셀의 크기가 작고 촘촘하게 배치되어 있을수록 위치 측위정확도는 높아진다. 구현이 간단하고 구축비용이 저렴하나 셀의 밀도가 높아질수록 구현이 어려워진다는 단점이 있다.

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 노이즈 및 주변 환경 정보를 위치 측위에 활용하는 방식이다. 이 방식은 트레이닝(training) 단계와 트래킹(tracking) 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 다른 방식들과 달리 단말기가 향하고 있는 방향이나 노이즈를 포함한 환경 정보 까지도 위치 측위에 반영하고 있기 때문에 가장 높은 측위 정확도를 제공할 수 있다.

그러나 다수의 샘플 포인트에 대해 다양한 전파 특성 값을 여러 번 측정해야 하는 문제와 가구의 재배치 등과 같은 환경 변화가 발생할 때마다 샘플 포인트에 대한 전파 특성 값을 새로 측정해야 하는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 최근 들어 온라인 RSS 측정 기법이 많은 주목을 끌고 있다. 온라인 RSS 측정 기법은 별도의 트레이닝 과정 없이 AP들 사이에 정기적으로 측정되는 RSS 값을 기반으로 RSS 측정값과 지리적인 거리 사이의 관계를 이끌어내는 방법이다. Gwon et.al^[9]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 기법은 각 AP가 이웃 AP들에 대하여 정기적으로 측정한 RSS 측정값과 지리적인 거리사이의 관계 함수를 유지한다. 단말기로부터 신호를 수신한 AP들 중에서 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP를 기준 AP로 선정한다. 기준 AP의 관계 함수를 이용하여 기준 AP를 제외한 다른 AP들과 단말기 사이의 거리를 예측한다. 다음으로, 단말기로부터의 신호에 대하여 측정된 RSS 값 중에서 두 번째로 가장 큰 측정값을 가지는 AP의 관계 함수를 사용하여 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 기준 AP와 단말기 사이의 거리를 예측한다. TIX 기법은 단말기로부터 전송된 신호에 대한 RSS 측정값이 가장 큰 AP 세 개를 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 선정(TIX 기법)하거나 AP와 단말기 사이의 거리를 예측(PSS방식) 하였다. 그러나 RSS는 단말기와 AP 사이의 거리뿐만 아니라 창문, 문, 벽과 같은 실내 내부구조나 사람, 가구들의 배치, 그리고 페이딩 현상에 영향을 받기 때문에, 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.

2. 문제점

본 논문에서는 삼각법을 이용한 RF 기반 시스템에 초점을 맞추며 신호 측량 단위로 RSS를 사용한다. 이와 같은 시스템에서 발생할 수 있는 이슈로는 단말기

주변에 세 개 이상의 AP가 존재하는 경우 삼각법을 적용하기 위한 최적의 기준 AP 세 개를 선택하는 방법과, 선택된 세 개의 기준 AP와 단말기 사이의 거리를 예측하는 방법을 들 수 있다. 첫째로, 단말기로부터 신호 수신 가능한 AP가 세 개 이상 존재하는 경우, 이 중에서 단말기와의 지리적 거리가 가장 가까운 세 개의 AP를 선택하는 것이 단말기의 위치 측위 정확도를 높이는 데 가장 바람직하다. 이는 단말기에 가까이 위치한 AP일수록 단말기의 주변 전파 환경을 가장 잘 반영할 수 있기 때문이다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이, 단말기로부터 전송된 신호에 대해 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP가 반드시 단말기에서 가장 가까운 AP는 아닐 수 있다. 따라서 세 개의 기준 AP 선정이 잘못되면, 이를 기반으로 예측된 단말기의 위치 정확도 또한 악화되므로 최적의 AP 선정은 위치 측위 정확도 향상을 위하여 가장 기본적인 요소 중 하나이다. 둘째로, 기준 AP가 주어졌을 때 단말기와 AP 사이의 거리 예측을 위하여 일반적으로 다음과 같은 형태를 가지는 다양한 경로 손실 모델들이 존재한다.

$$[R_{t \rightarrow i}]_{dB} = a_1 - a_2 \log_{10}(dist_i^t) + X_{dB} \quad (1)$$

$[R_{t \rightarrow i}]_{dB}$ 는 단말기 t와 AP_i 사이의 거리가 $dist_i^t$ 일 때 단말기로부터 전송된 신호에 대하여 AP_i가 측정된 RSS 측정값을 나타낸다. a_1 은 무선 통신에 사용되는 주파수와 안테나 이득(gain)에 의해 결정되며, a_2 는 전파 감쇄 특성을 반영하는 값으로 전파 측정 환경에 따라 변화하는 값이다. 마지막으로 X_{dB} 는 그림자 효과(shadowing effect)를 반영하는 랜덤 변수이다^[10]. a_2 와 X_{dB} 은 경험적인 측정값에 의해 결정되며 시간 및 공간에 따라 그 값이 변화하는 특성을 가진다^[11]. 시간 및 공간에 따라 파라미터 값이 변화하는 이와 같은 경로 손실 모델을 사용하여 단말기와 AP 사이의 거리를 예측하는 것은 위치 측위 정확도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 전파 측정 시간 및 공간이 변화한다 하더라도 환경 변화에 적응력있게 대처할 수 있는 거리 예측 기법이 실내 위치 측위 시스템에 요구된다.

III. 제안 기법

일반적으로 실내 위치 측위 시스템은 그림 1과 같이 위치 기반 서비스 제공을 위한 위치 정보 서버(location server), 위치 측위를 위한 기준점으로 사용되는 AP들,

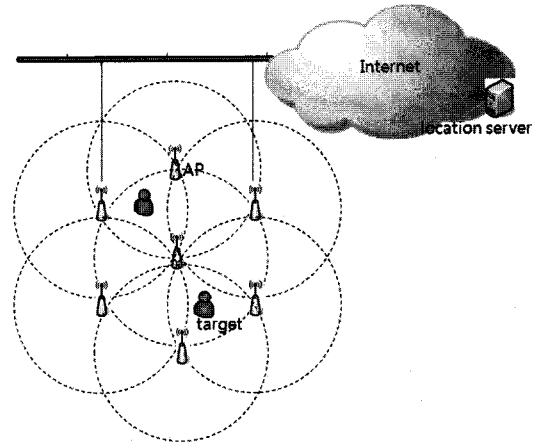


그림 1. 위치 기반 시스템
Fig. 1. Localization system architecture.

그리고 위치 측위 대상이 되는 단말기(target)들로 구성된다. 위치 정보 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 측정된 RSS 값 ($R_{t \rightarrow i}$)을 서버에게 알린다. $R_{t \rightarrow i}$ 는 단말기로부터 전송된 비콘 메시지에 대하여 AP_i가 측정된 RSS 값을 나타낸다. AP들로부터 RSS 측정값을 수신한 위치 정보 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.

1. 최적의 기준 AP 선택 기법

본 논문에서는 최적의 기준 AP 선택을 위하여 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 각 AP에서 측정된 RSS 값뿐만 아니라, 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게 중심과 각 AP 사이의 거리를 추가로 고려하는 기법을 제안한다. 제안 기법에서 위치 정보 서버는 최적의 기준 AP, 즉 단말기에 가장 가깝게 위치한 AP들을 선택하기 위하여 비콘 메시지를 수신한 각 AP에 대하여 API(AP preference index) 값을 계산한다. API의 API 값은 다음과 같이 계산한다.

$$API_i = (1 - \alpha) \left(1 - \frac{dist_i^c}{dist_{max}^c}\right) + \alpha \frac{R_{t \rightarrow i}}{R_{max}} \quad (2)$$

$dist_i^c$ 는 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게 중심(centroid)과 API 사이의 거리이며, α 는 $0 \leq \alpha \leq 1$ 사이의 값이다. $dist_{max}^c$ 와 R_{max} 의 정의는

다음과 같다.

$$dist_{max} = \max_{\forall i} \{dist_i^c\} \quad (3)$$

$$R_{max} = \max_{\forall i} \{R_{t \rightarrow i}\} \quad (4)$$

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 측정된 RSS 값 중에서 가장 큰 값을 나타낸다.

식 (2)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 값을 기반으로 기준 AP를 선정하므로 장애물이 없는 LOS 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 있으므로 단말기와 가장 가까운 위치에 있는 AP가 기준 AP로 선정되지 않을 수 있다. 그러므로 적절한 α 값 설정을 통하여 각 환경에 맞는 최적의 기준 AP 선정이 필요하다. 따라서 위치 정보 서버는 가장 큰 API 값을 가지는 세 개의 AP를 단말기의 위치 측위를 위한 기준 AP로 선택한다.

2. 기준 AP와 단말기 사이의 거리 예측

본 논문에서는 별도의 트레이닝 과정 없이 AP들 사이에 정기적으로 측정되는 RSS 값을 기반으로 AP와 단말기 사이의 거리를 예측하는 온라인 RSS 측정 기법을 제안한다. 이를 위하여 각 AP는 정기적으로 자신의 이웃 AP들에게 헬로우(hello) 메시지를 전송한다. 헬로우 메시지를 수신한 이웃 AP들은 자신들이 측정된 RSS 값($P_{j \rightarrow i}$)을 위치 정보 서버에게 알린다. $P_{j \rightarrow i}$ 는 AP_j가 전송한 헬로우 메시지에 대하여 AP_i가 측정된 RSS 값을 나타낸다. 위치 정보 서버는 모든 AP_i에 대하여 RSS 평균값($\bar{P}_{j \rightarrow i}$)을 유지한다. 각 AP의 RSS 평균값은 RSS 측정값의 불확실성을 보정하기 위하여 가중 이동 평균(weighted moving average)을 사용하였다. AP_i가 단말기로부터 비콘 메시지를 수신하면, AP_i는

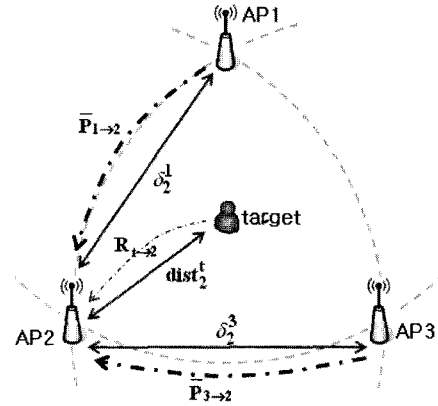


그림 2. AP와 단말기 사이의 거리 예측

Fig. 2. Distance estimation between an AP and a target.

수신된 메시지에 대하여 측정된 RSS 값($R_{t \rightarrow i}$)을 위치 정보 서버에게 전송한다. AP_i가 기준 AP라면 위치 정보 서버는 자신이 유지하고 있는 RSS 평균값($\bar{P}_{x \rightarrow i}$, AP_x는 AP_i의 이웃 AP중에서 기준 AP를 나타낸다)을 확인하여, 그 중에서 가장 큰 평균값($\bar{P}_{j \rightarrow i}$)을 선택한다. 예를 들어, 그림 2에서와 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 2에서 $\bar{P}_{1 \rightarrow 2}$ 와 $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 중에서 큰 값이 $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 인 경우, $\bar{P}_{3 \rightarrow 2}$ 과 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 (5)와 같이 예측한다. 일반적으로 위치 정보 서버는 단말기와 AP_i사이의 거리를 다음과 같이 예측한다.

$$dist_i^t = 10^{\frac{R_{t \rightarrow i} - \log_{10} \delta_j^i}{\bar{P}_{j \rightarrow i}}} = \delta_j^i \frac{R_{t \rightarrow i}}{\bar{P}_{j \rightarrow i}} \quad (5)$$

δ_j^i 는 AP_i와 AP_j 사이의 지리적인 거리이다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안한 위치 측위 기법의 성능 검증을 위하여, 수원대학교 IT대학 건물에 실내 측위 시스템을 구현하였다. 실내 측위 시스템을 위하여 4개의 AP와 한 개의 단말기를 사용하였으며, 이들 사이의 통신은 IEEE 802.15.4를 기반으로 한다. 시스템에 사용된 AP와 단말기는 ATMega128 마이크로 컨트롤러와 CC2420 RF 칩으로 구성된 모트(mote) 통신 모듈^[12~13]을 장착하고 있다.

구현된 실내 측위 시스템의 성능 실험을 위하여 그림 3과 같이 서로 다른 전파 특성을 가지는 세 가지 장소에 시스템을 설치하였다. 실험 환경 1은 개방 형태의 로비로 모든 AP와 단말기가 서로 보이는 LOS 환경이다. 실험 환경 2는 콘크리트 벽들이 여러 겹 존재하는 복도로 하나의 AP가 다른 세 개의 AP 및 단말기와 콘크리트 벽에 의해 분리되어 있고, 콘크리트 벽에 의해 분리된 하나의 AP는 단말기와의 거리가 가장 가깝게 위치하였다. 실험 환경 3은 AP와 AP 사이, AP과 단말기 사이에 장애물이 많이 존재하는 강의실로 NLOS (non line of sight) 환경이다. 모든 실험 환경에서 단말기는 4개의 AP 통신 범위 안에 포함되며, 각 AP는 나머지 세 개의 AP 통신 범위 안에 포함되도록 배치하였다. AP와 단말기는 정기적으로 1초마다 헬로우 메시지와 비콘 메시지를 각기 전송한다. 실험은 각 실험 환경 특성 당 두 가지 서로 다른 장소 (1층과 2층)에서 각기 1000회씩 수행되었다. 또한 성능 비교를 위하여 경험론적인 방법(ES)과 온라인 RSS 측정 기법의 대표적인 방법인 PSS 방법을 사용하였다. ES는 일종의 평균 프린팅 방식으로 전파 환경 변화 시 마다 식 (1)의 경로 손실 파라미터 값(a_2 와 X_{dB})들을 결정하기 위하



(a) 실험 환경 1 (b) 실험 환경 2 (c) 실험 환경 3
 (a) Test area 1 (b) Test area 2 (c) Test area 3

그림 3. 실내 측위 시스템의 성능 테스트 환경
 Fig. 3. Performance testing environments for indoor localization system.

여 전파 특성 값을 새로 측정해야 하므로 실제 시스템 구축에 있어서 실용적이지 못하지만, 현재 가장 높은 위치 측위 정확도를 가지는 방식으로서 성능 검증을 위한 기준 척도로 사용할 수 있다. 본 논문에서 제안한 위치 측위 기법은 식 (2)에서의 α 값을 $\alpha = 0.0 \sim 1.0$ 로 변화시켜가면서 성능을 측정하였다. 성능 측정 요소로는 단말기의 실제 위치 값과 위치 측위 알고리즘에 의해 예측된 위치 값과의 차이, 즉 위치 측위 정확도를 사용하였다.

그림 4~6은 각 실험 환경에서 측정된 위치 측위 정확도를 나타낸다. 실험 환경 1과 2에서는 본 논문에서 제안된 기법이 ES 기법과 비슷하거나 약간 더 좋은 성능을 보이고 있다. 반면 실험 환경 3과 같이 장애물에 의한 굴절, 반사 등의 전파 방해 요인이 많은 환경에서는 ES가 제안된 기법보다 좋은 성능을 보인다. 그러나 온라인 RSS 측정 기법을 도입한 PSS와 제안 기법의 성능 비교를 살펴보면, 실험 환경 1, 2, 3에서 모두 제안된 기법이 각기 58%, 77%, 22%의 성능 향상을 보였다. 이는 제안된 기법이 PSS 처럼 가장 큰 RSS 측정값을 가지는 AP를 기준 AP로 사용하는 대신, 식 (2)에서와 같이 RSS 측정값과 다각형의 무게중심과의 거리를 함께 고려하여 기준 AP를 선택함으로써 보다 정확한 위치 예측이 가능하도록 했기 때문이다. 제안된 기법에서의 중요한 성능 요소인 α 값에 의한 성능은 그림 4~6에서 보는 바와 같이 $\alpha < 0.8$ 인 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 평균 29%의 성능 향상을 보였다. 이는 다시 말해서, 기준 AP 선택 시 RSS 측정값에 많은 비중을 두는 방식 보다는 RSS 값뿐만 아니라 다각형의 무게중심과의 거리를 추가로 고려하는 방식이 위치 측

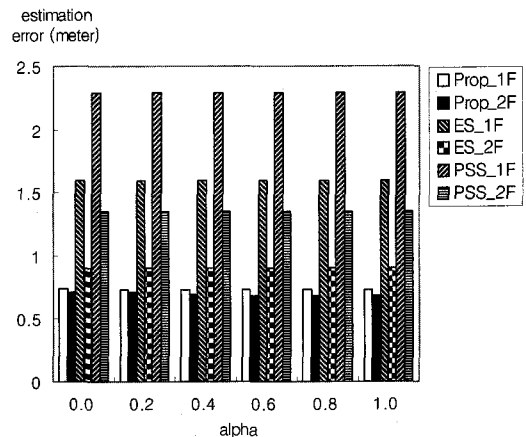


그림 4. 실험 환경 1에서의 위치 정확도
 Fig. 4. Estimation error in the test area 1.

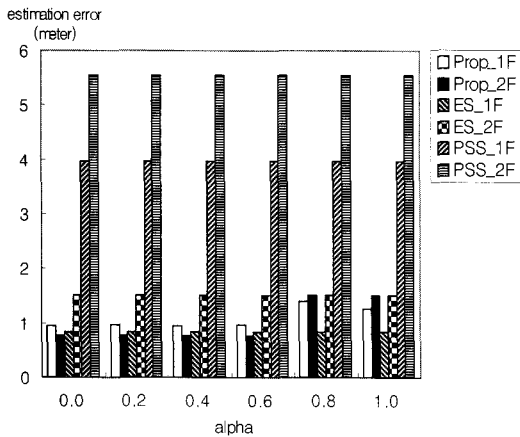


그림 5. 실험 환경 2에서의 위치 정확도
Fig. 5. Estimation error in the test area 2.

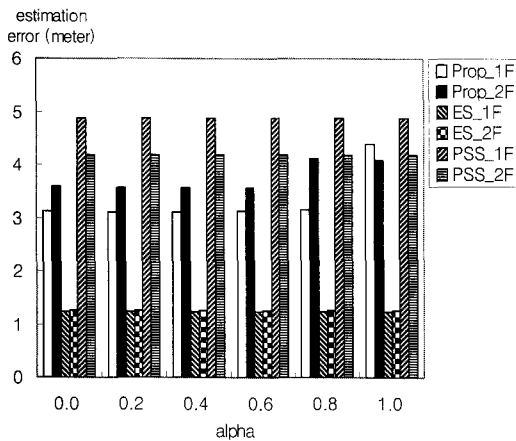


그림 6. 실험 환경 3에서의 위치 정확도
Fig. 6. Estimation error in the test area 3.

표 1. 각 실험 환경에서의 위치 측위 정확도 표준편차 (단위:cm)

Table 1. Standard deviation of estimation error for each test area (unit:cm).

	실험환경 1		실험환경 2		실험 환경 3	
	1층	2층	1층	2층	1층	2층
ES	1.179	1.651	1.610	0.167	0.678	1.784
$\alpha=0.0$	0.015	0.012	0.058	0.016	0.086	0.085
$\alpha=0.2$	0.015	0.026	0.030	0.019	0.052	0.060
$\alpha=0.4$	0.001	0.060	0.268	0.018	0.112	0.033
$\alpha=0.6$	0.009	0.012	0.044	0.304	0.050	0.015
$\alpha=0.8$	0.001	0.011	0.049	0.035	0.073	0.259
$\alpha=1.0$	0.016	0.016	0.300	0.021	0.197	0.119
PSS	0.585	0.524	0.476	0.659	0.396	0.622

위 정확도 측면에서 더 나은 기준 AP를 선택할 수 있다는 것을 보여준다.

표 1은 각 실험 환경에서 측정된 위치 정확도에 대한 표준 편차이다. 전체적으로 ES 방식의 표준 편차가 제안 기법에 비하여 약 95%정도 높은 표준 편차를 보이

고 있다. 그 이유는, ES 방식은 전파 특성 값 측정 시 결정된 파라미터 값들을 사용하여 단말기의 위치를 예측하기 때문에 전파 환경의 변화를 신속하게 위치 측위에 반영하지 못하는 반면, 제안 기법은 온라인 RSS 기법의 도입으로 인하여 전파 환경의 변화에 적응력있게 대처할 수 있기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 실내 측위 시스템을 위한 위치 측위 기법을 제안하였다. 기존의 핑거프린팅 방식은 전파 환경 특성 값을 얻어내기 위한 추가적인 트레이닝 과정을 요구하므로 이로 인하여 시스템 구축 및 유지비용이 상승하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안된 기법이 온라인 RSS 측정 기법이다. 본 논문에서는 온라인 RSS 측정 기법을 기반으로 기존의 경로 손실 모델들이 가지고 있는 송수신기기 사이의 거리와 RSS 사이의 선형 관계를 이용함으로써 AP와 단말기 사이의 거리 예측 기법을 제안하였다. 또한 단말기의 위치 측위 정확도를 향상시키기 위하여 RSS 측정값 이외에도 단말기로부터 비콘 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게중심과 각 AP사이의 거리를 추가로 고려함으로써 최적의 기준 AP 선택이 가능하도록 하였다. 이렇게 제안된 기법의 성능 검증을 위하여 본 논문에서는 제안된 기법을 중심으로 실내 측위 시스템을 구현하였으며, 다양한 전파 환경에서의 실험을 통하여 제안된 기법이 위치 측위 정확도 측면에서 기존 PSS 방식에 비하여 약 52%의 성능 향상을 가져온다는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] E. D. Kaplan, "Understanding GPS: Principles and applications", Artech House, 1996.
- [2] 김진태, 권영미, "RFID와 ZigBee를 이용한 유비쿼터스 u-Health 시스템 구현", 대한전자공학회 논문지, 제43권 제1호, pp. 79-88, 2006년 1월.
- [3] K. Pahlavan, X. Li, and J. P. Makela, "Indoor geolocation science and technology", IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 112-118, February 2002.
- [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, pp. 85-95, 2006년 12월.

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

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

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

[10] K. Pahlavan and A. Levesque, "Wireless information networks", New York: Wiley, 1995.

[11] 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", in Proceedings in IEEE VTC, pp. 97-101, May 2005.

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

[13] 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, pp. 2236-2240, March 2007.

저 자 소 개



임 유 진(정회원)
 1995년 숙명여자대학교 전산학과 학사
 1997년 숙명여자대학교 전산학과 석사
 2000년 숙명여자대학교 전산학과 박사

2000년 서울대학교 박사후연구원
 2000년~2002년 UCLA 박사후연구원
 2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원
 2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사
 <주관심분야 : 센서네트워크, 에드혹네트워크>



박 재 성(정회원)
 1995년 연세대학교 전자공학과 학사
 1997년 연세대학교 전자공학과 석사
 2001년 연세대학교 전기전자 공학과 박사

2001년~2002년 Univ. of Minnesota Post Doc.
 2002년~2005년 LG전자 선임연구원
 2005년~현재 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수
 <주관심분야 : 4세대 이동통신, VANET, 성능분석>



안 상 현(정회원)
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
 1989년 University of Minnesota 컴퓨터학과 박사

1988년 (주)데이콤연구원
 1994년~1998년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사 / 조교수
 1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 정교수
 <주관심분야: 에드혹 네트워크, 센서 네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜>