

실내 환경에서 측위 정확도 향상을 위한 기준 AP 선택 기법

(A Selection Method of Reference Access Points to Improve
the Localization Accuracy in Indoor Environments)

임 유 진 [†]

(Yujin Lim)

박 재 성 ^{**}

(Jaesung Park)

요 약 래터레이션 기반 실내 위치 측위 기법은 단말기와 AP(Anchor Point) 사이의 거리 예측을 위하여 RSS(Received Signal Strength)를 주로 사용한다. 그러나 무선 신호는 시간과 공간에 따라 무작위로 변화하는 특성을 가지므로 RSS를 이용한 거리 예측에서 오류의 발생은 불가피하다. 단말기와 AP사이의 거리 예측 정확도는 단말기 위치 예측 정확도에 많은 영향을 미치게 되므로 기존 기법들은 이를 해결하기 위하여 다수의 AP를 사용하였다. 그러나 많은 실험 결과들은 다수의 AP 사용보다는 경로 손실 모델에 잘 부합하는 RSS 측정 값을 가진 AP 즉 기준 AP 만을 선택하여 이용하는 것이 위치 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 방법임을 보였다. 따라서 본 논문에서는 실내 환경에서 단말기의 측위 정확도를 향상시키기 위한 기준 AP 선택 기법과 선택된 기준 AP들을 이용한 적응적 거리 예측 기법을 제안한다. 또한 실내 위치 측위 시스템을 구현하여 다양한 실험 환경에서의 실험함으로써 제안 기법의 타당성을 검증하였다.

키워드 : RSS, 래터레이션 기법, 실내 위치 측위

Abstract In an indoor localization method taking the lateration-based approach, the distance between a target and an AP (Anchor Point) is estimated using RSS (Received Signal Strength) measurements. Since the characteristics of a radio signal randomly vary in time and space, errors are unavoidable in distance estimation with measured RSS. Since the accuracy of distance estimation affects the localization accuracy of a lateration-based method, additional APs hearing a target have been used for localization in the literature. However, lots of experimental results show that the accuracy of a lateration-based method is improved by using carefully selected APs measuring the high quality RSSs which the distances estimated is close to the actual distances between nodes as reference APs, not using merely more APs. In this paper, we focus on selection method of reference AP and distance estimation method reflecting on environmental dynamics. We validate our method by implementing an indoor localization system and evaluating the accuracy of our method in the various experimental environments.

Key words : RSS(Received Signal Strength), lateration, indoor localization

· 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2010-0017251)

[†] 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 교수
yujin@suwon.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 교수
jaesungpark@suwon.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2010년 3월 12일

심사완료 : 2010년 5월 26일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제6호(2010.12)

1. 서 론

최근 들어 RF(Radio Frequency) 기반 시스템에서 RSS(Received Signal Strength)를 이용한 실내 측위 기법들이 많이 제안되었으며 제안된 많은 측위 기법들은 측위 대상 단말기(target)의 위치 예측을 위하여 래터레이션(lateration) 기법을 주로 활용하고 있다. RSS 기반 래터레이션 기법은 거리와 RSS 사이의 경로손실 관계를 기반으로 예측된 단말기와 AP(Anchor Point)사이의 거리 및 AP들의 위치 정보를 이용하여 단말기의 위치를 예측한다. 그러나 무선 신호는 시간과 공간에 따

라 무작위로 변화하는 특성을 가지므로 거리와 RSS 사이의 경로손실 예측모델을 설정하는 단계에서 오류의 발생은 불가피하다. 기존의 많은 연구들은 예측 정확도를 높이기 위하여 AP의 개수를 증가시키는 방법을 사용하였다. 그러나 일정 수준 이상의 많은 AP를 사용하는 경우 오히려 예측 정확도가 떨어지게 된다는 실험 결과[1]와 전파 환경 특성이 같은 지역에 대한 위치 예측은 가장 높은 RSS 값을 가지는 AP 하나만 사용해도 충분하다는 실험 결과[2]는 단순한 AP개수의 증가가 위치 예측 정확도를 항상 향상시키는 것은 아님을 보여준다. B. Turgut et al.[3] 또한 다수의 AP 사용보다는 높은 품질의 RSS 값, 즉 경로 손실 모델에 잘 부합하는 RSS 측정 값을 가진 소수의 AP 만을 이용하는 것이 위치 예측 정확도를 향상시킬 수 있는 방법임을 보였다. 래터레이션 기법의 또 다른 특징은 단말기로부터 신호를 수신한 AP들 중 단말기의 위치 예측을 위해 사용되는 AP들, 즉 기준 AP들(reference APs)로 구성된 다각형의 내부에 단말기가 존재하는 경우 그렇지 않을 때보다 위치 예측 오차를 줄일 수 있다는 것이다. 그러나 단순히 기준 AP의 개수를 적게 사용함으로써 다각형의 면적을 줄이게 되면 실제로 단말기가 다각형 내에 위치하지 않을 확률이 증가하게 되므로 이로 인하여 예측 오류가 증가할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 관계에 착안하여 실내 환경에서 단말기의 측위 정확도를 향상시키기 위한 기준 AP 선택 기법과 선택된 기준 AP들을 이용한 적응적 거리 예측 기법을 제안한다. 또한 제안 기법을 기반으로 실내 측위 시스템을 구현함으로써 측위 정확도 측면에서의 제안 기법의 성능을 검증한다.

2. 관련연구

P. Barsocchi et al.[4]은 거리와 RSS 사이의 경로손실 예측모델 설정 단계에서 발생하는 오류를 줄이기 위하여 예측 모델 설정 시 벽에 의한 감쇄 손실을 추가로 고려하였다. 이들은 AP들 사이에 측정된 RSS 값들을 사용하여 경로손실 파라미터 값과 벽에 의한 감쇄 손실 값을 추출하고 추출된 파라미터 값들을 기반으로 경로손실 모델을 설정하였다. 또한 설정된 모델을 사용하여 가상 그리드 상의 각 지점에서의 RSS 값을 예측하여 데이터베이스로 구축한 후 단말기의 RSS 측정 값과 데이터베이스의 값들을 비교하여 가장 일치하는 가상 그리드 상의 지점을 단말기의 위치로 예측하였다.

G. Chandrasekaran et al.[1]은 위치 예측 정확도를 향상시키기 위하여 다수의 AP를 사용하는 기존 래터레이션 기반 기법들에 대한 성능을 측정하였다. 실험 결과는 처음에는 기준 AP 개수가 증가함에 따라 성능이 향상되지만 AP의 개수가 일정 수준 이상을 넘어서면 오

히려 성능이 급감하는 것을 보인다. 이는 다수의 AP가 사용될수록 낮은 품질의 RSS, 즉 경로손실 모델에 부합되지 않는 RSS가 거리 예측에 사용되기 때문이다.

Gwon et al.[5]은 단말기와 AP 사이의 거리를 예측하기 위한 PSS기법을 제안하였다. 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 이용하여 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. 마지막으로 예측된 거리와 AP들의 위치 정보를 기반으로 LSE(Least Square Error) 기법을 적용하여 단말기의 위치를 예측한다.

3. 제안 기법

제안하는 실내 위치 예측 시스템은 위치 서버와 AP들로 구성된다. 위치 서버는 위치 기반 시스템 내의 모든 AP들에 대한 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. AP는 정기적으로 자신의 이웃 AP들에게 비콘(beacon) 메시지를 전송한다. 이웃 AP(AP_j)들로부터 비콘 메시지를 수신한 AP(AP_i)는 자신이 측정된 RSS 값($P_{i,j}$)을 위치 서버에게 알린다. $P_{i,j}$ 는 AP_j 가 전송한 비콘 메시지에 대하여 AP_i 가 측정된 RSS 값을 나타낸다. 단말기는 정기적으로 주변 AP들에게 헬로우(hello) 메시지를 전송하며 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신한 AP들은 자신들이 측정된 RSS 값을 서버에게 알린다. 단말기(t)가 전송한 헬로우 메시지를 AP_j 가 수신할 때 측정된 RSS 값을 $P_{t,j}$ 로 표기하면, 위치 서버는 $P_{t,j}$, $\bar{P}_{t,j}$, 그리고 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신한 AP들의 위치 정보를 기반으로 단말기 위치 예측을 시작한다. $\bar{P}_{t,j}$ 는 AP_j 가 AP_i 의 비콘 메시지에 대하여 측정된 RSS 값들의 평균을 나타낸다.

첫째로, 서버는 단말기의 위치 예측을 위해 사용되는 기준 AP 선정을 위하여 $P_{t,j}$ 를 사용한다. K. Whitehouse et al.[6]에서 보인 바와 같이 RSS 값이 작을수록 경험적으로 설정된 RSS와 거리간의 경로손실 모델에 의해 예측된 거리와 실제 거리와의 차이가 커지므로 가장 높은 RSS 측정 값을 가지는 4개의 AP를 기준 AP로 선택하였다. 기준 AP가 선택되면 단말기의 위치 예측을 위하여 4개의 기준 AP 중에서 가장 큰 RSS 값을 가지는 AP를 중심으로 두 개의 삼각형을 서로 겹치지 않게 형성한다. 두 개의 삼각형을 서로 겹치지 않게

형성하는 이유는 두 개의 삼각형이 서로 겹치게 되는 경우 4개의 AP로 구성된 다각형의 전체 범위에서 일부는 단말기의 위치 예측 대상 범위에서 배제되기 때문이다.

둘째로, 서버는 각 삼각형에 대하여 $P_{i \rightarrow j}$ 와 AP들 사이에 설정된 경로손실 예측모델을 이용하여 단말기와 기준 AP사이의 거리를 예측한다. 단말기와 기준 AP사이에서 예측된 거리는 위치 예측에 사용되므로 거리 예측의 정확도가 측위 시스템의 성능에 많은 영향을 미치게 된다. 기존 기법의 경우 하나의 AP를 선정하고 선정된 AP의 경로손실 모델을 이용하여 해당 AP와 단말기의 거리 예측뿐만 아니라, 다른 모든 AP와 단말기 사이의 거리를 예측하였다[5]. 그러나 선정된 AP와 단말기 사이의 전파 전송 환경은 다른 AP와 단말기 사이의 전파 전송 환경과는 다를 확률이 크기 때문에 단말기와 AP사이의 예측 거리와 실제 거리의 차이는 커지고 결과적으로 위치 추정 오류가 증가된다[7]. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제를 완화시키기 위하여 각 기준 AP에 대하여 기준 AP의 이웃 AP들 중에서 가장 큰 RSS 값을 가지는 이웃 AP와 기준 AP 사이에 설정된 경로손실 모델을 이용하여 단말기와 기준 AP 사이의 거리를 예측한다. 또한 본 논문에서는 Friis[8]와 같은 경로손실 모델에서 RSS 측정값과 지리적인 거리의 로그 값은 선형 관계를 이루고 있고 전파 환경이 짧은 시간 동안 갑자기 바뀌지 않는 점에 착안하여 다음과 같이 단말기와 AP사이의 거리 예측 기법을 제안하였다. P. Barsocchi et al.[4]와 같은 기존 기법들은 경험적인 경로손실 파라미터 값을 추출하여 이를 기반으로 경로손실 모델을 설정하였다. 그러나 시간과 공간에 따라 변화하는 무선 환경에서 이러한 파라미터의 최적 값을 유지하는 것은 매우 어렵다. 반면 본 논문에서 제안한 거리 예측 기법은 이러한 경험적인 파라미터 값을 추출을 요구하지 않는다. 단말기의 기준 AP, 즉 AP_i 에 대하여 AP_j 의 이웃 AP들 중에서 가장 큰 RSS 값을 가지는 AP_k 와 AP_i 사이의 지리적인 거리를 $dist_{i,j}^k$ 로 표기하면 단말기와 AP_i 사이의 거리는 다음과 같이 예측된다.

$$dist_{i,j}^k = 10^{\frac{\log_{10}(dist_{i,j}^k)P_{i \rightarrow j}}{P_{j \rightarrow i}}} \quad (1)$$

단말기와 기준 AP와의 거리 예측이 완료되면 서버는 2개의 삼각형 각각에 대하여 LSE 기법을 사용하여 단말기의 위치 예측 기준점 $c(x_c, y_c)$ 을 계산한다. 즉, 기준 AP의 위치를 (x_i, y_i) , $i \in \{1, 2, 3\}$ 라고 표기하면 단말기의 위치 예측 기준점은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$Ax = B, \quad (2)$$

$x = [x_c, y_c]^T$ 이며, 행렬 A와 B는 다음과 같이 정의된다.

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_i) & 2(y_1 - y_i) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{i-1} - x_i) & 2(y_{i-1} - y_i) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_i^2 + y_1^2 - y_i^2 + dist_1^2 - dist_i^2 \\ \dots \\ x_{i-1}^2 - x_i^2 + y_{i-1}^2 - y_i^2 + dist_{i-1}^2 - dist_i^2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

따라서, 단말기의 위치는 다음과 같이 예측된다.

$$x = A^{-1}B. \quad (5)$$

2개의 삼각형에 대하여 계산된 단말기의 위치 예측 기준점 c_1, c_2 가 계산되면, 기준 AP의 잘못된 선정으로 인하여 발생할 수 있는 오류를 보정하기 위하여 기준 AP들 중에서 가장 높은 RSS 측정 값을 가지는 AP와 c_1, c_2 로 구성된 삼각형의 무게 중심을 구함으로써 단말기의 위치 예측이 완료된다.

4. 성능 평가

본 논문에서는 제안한 위치 측위 기법의 성능 검증을 위하여 실내 측위 시스템을 구현하였다. 시스템에 사용된 AP와 단말기는 CC2420 RF 칩을 장착한 모뎀(mote) 모듈[9]에 구현되었으며 IEEE 802.15.4 표준을 따라 상호 통신한다. AP와 단말기는 정기적으로 1초마다 비콘 메시지와 헬로우 메시지를 자기 전송한다. 실험 환경은 그림 1과 같이 학교 건물 내 약 50m² 면적 실험실에서 8개의 AP를 지상에서 1m 높이에 배치하였으며 모든 AP들은 서로의 전송 범위 내에 있다. 단말기는 그림에서와 같이 4개의 서로 다른 지점에 위치시켜가면서 성능을 실험하였다. 실험 결과의 통계적 신뢰성을 높이기 위해 각 실험 환경 당 동일 실험을 1000회씩 수행하였고 위치 예측 정확도 측정을 위하여 단말기의 실제 위치와 예측 위치 사이의 차이를 사용하였다.

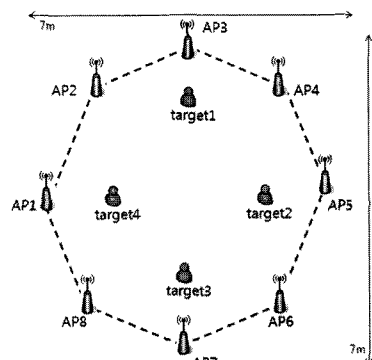


그림 1 실험 환경

제안 기법의 성능 분석을 위하여 단말기로부터 신호를 수신한 모든 AP들 중에서 4개의 기준 AP를 선택한 후 이를 기반으로 2개의 삼각형을 만들어 단말기의 위치를 예측하는 제안기법(PS_4AP)과 4개의 기준 AP에 대하여 LSE 기법을 적용하는 기법(LSE_4AP)에 대한

성능 비교뿐만 아니라, 단말기로부터 신호를 수신한 모든 AP(본 실험에서는 8개의 AP)에 대하여 가장 높은 RSS 값을 가지는 AP를 중심으로 이웃 AP들과 6개의 삼각형을 만들어 단말기의 위치를 예측하는 기법(PS_8AP)과 모든 AP에 대하여 LSE 기법을 적용하는 기법(LSE_8AP)에 대한 비교 또한 수행하였다. 예를 들어, 그림 1과 같은 환경에서 기준 AP가 AP1, AP2, AP3, AP4이고 단말기로부터 가장 높은 RSS 값을 측정된 AP가 AP1이라고 가정하면 PS_4AP 방식은 면적이 겹치지 않게 두 개의 삼각형 AP1-AP2-AP3와 AP1-AP3-AP4을 구성하여 단말기의 위치 예측을 시작한다. PS_8AP 방식은 AP1을 기준으로 AP1-AP2-AP3, AP1-AP3-AP4, AP1-AP4-AP5, AP1-AP5-AP6, AP1-AP6-AP7, AP1-AP7-AP8의 6개의 삼각형을 구성하여 각 삼각형에 대하여 단말기 위치 예측 기준점을 계산하고, 계산된 6개의 위치 예측 기준점과 AP1으로 구성된 다각형의 무게 중심을 구함으로써 단말기의 위치를 예측한다. PS와 LSE 기법 실험에서 거리 예측은 식 (1)을 사용하였다. PSS[5]는 가장 큰 RSS 측정 값을 가지는 2 개의 AP를 사용하는 기법이다.

그림 2는 AP들과 단말기 사이에 장애물이 없는 LOS (Line-of-Sight) 환경에서 실험한 결과이다. 위치 예측 정확도 평가를 위하여 50%의 예측 오류를 기준으로 75% 신뢰구간을 에러 바(error bar)로 나타내었다. 4가지 서로 다른 단말기의 위치에 대하여 본 논문에서 제안한 PS_4AP 방식은 나머지 네 가지 방식(LSE_4AP, PS_8AP, LSE_8AP, PSS)에 비하여 약 57%, 60%, 72%, 그리고 67% 감소된 예측 오류를 보였다. 먼저 PS_4AP와 LSE_4AP 방식을 비교해보면 PS_4AP 방식은 2개의 삼각형 각각에 대하여 단말기의 위치 예측 기준점을 계산하고 이를 사용하여 단말기의 최종 위치를 예측하기 때문에 단순히 4개의 AP로 구성된 다각형 내에서 단말기의 위치를 예측하는 기법(LSE_4AP)에 비하여 더 나은 성능을 보였다. 또한 각 기준 AP의 경로 손실 모델을 사용하여 단말기와 AP 사이의 거리를 예측하는 PS기법(PS_4AP, PS_8AP)이 하나의 기준 AP의 경로 손실 모델을 사용하는 PSS 기법에 비하여 보다 57%와 23% 더 향상된 측위 정확도를 보였다. 위치 예측을 위하여 4개의 기준 AP를 사용하는 경우와 8개의 기준 AP를 사용하는 경우를 비교해보면 PS_4AP 방법이 PS_8AP 방법에 비하여 약 60% 향상된 예측 오류를 보였으며 LSE_4AP 방법이 LSE_8AP 방법에 비하여 약 35% 향상된 성능을 보였다. 이는 다수의 AP가 위치 예측에 사용될수록 경로손실 모델에 부합하지 않는 낮은 품질의 RSS 측정값이 사용되어 오히려 예측 오류가 증가할 수 있다는 실험 결과[1]와 일치되는 결과이다.

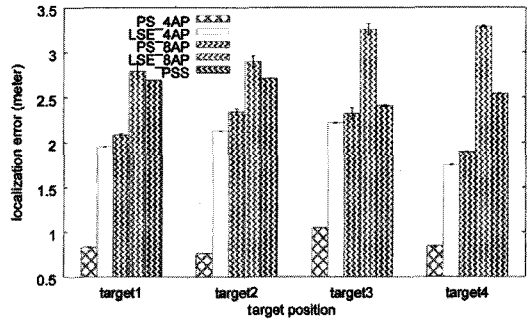


그림 2 LOS 실험환경에서의 예측 오류

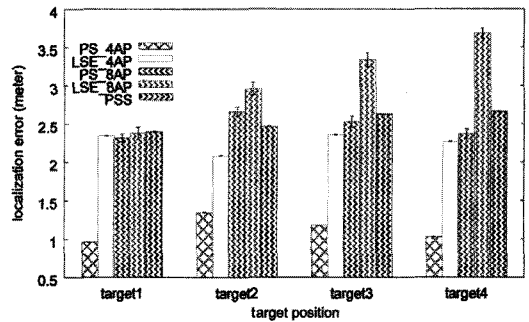


그림 3 AP 1개가 분리된 환경에서의 예측 오류

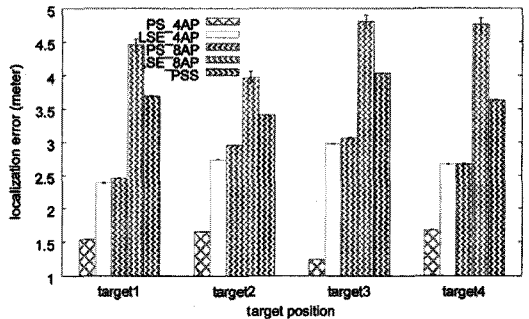


그림 4 AP 2개가 분리된 환경에서의 예측 오류

그림 3과 4는 AP들과 단말기 사이에 장애물(콘크리트 벽)이 존재하는 환경에서의 실험 결과이다. 그림 3은 LOS 환경에서 단말기로부터 가장 큰 RSS 값을 측정된 AP를 콘크리트 벽 뒤에 위치시킴으로써 해당 AP가 단말기 및 다른 AP들과 분리되어 있는 환경이다. 그림 4는 LOS 환경에서 단말기로부터 가장 큰 RSS 값을 측정된 2개의 AP를 콘크리트 벽 뒤에 위치시킴으로써 단말기 및 다른 AP들과 이들을 분리시킨 환경이다. 이러한 환경은 단말기와 가장 가깝게 위치한 AP들이 낮은 RSS 측정값을 가지게 됨으로써 위치 예측에서 배제되었을 때의 성능을 측정하기 위한 것이다. 각 예측 기법

별 성능은 그림 2 실험에서와 마찬가지로 PS_4AP 방식이 나머지 네 가지 방식에 비하여 평균 47%, 50%, 65%, 58%의 예측 오류 감소를 보였다.

또한 본 논문에서는 그림 1과 같은 약 50m² 면적에서 8개의 AP를 그리드 형태로 배치한 환경에서 실험을 진행하였다. PS 방식이 LSE나 PSS에 비하여 LOS 환경에서 평균 36%와 39%, AP가 벽에 의하여 분리된 환경에서는 평균 37%와 33% 더 나은 성능을 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 단말기의 측위 정확도를 향상시키기 위한 방안으로 기준 AP를 선택기법과 선택된 기준 AP들을 이용한 적응적 거리 예측 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 단말기로부터 가장 큰 RSS 값을 측정된 4개의 AP를 기준 AP로 선정하고 선정된 기준 AP들로 구성된 2개의 삼각형에 대하여 단말기의 위치 예측 기준점을 계산한다. 이후 제안 기법은 계산된 2개의 위치 예측 기준점과 가장 큰 RSS 값을 가지는 하나의 기준 AP를 사용하여 단말기의 위치를 최종적으로 예측한다. 본 논문에서는 제안 기법의 성능 평가를 위하여 학교 건물 내 실험실에 실내 위치 측위 시스템을 구현하였다. 또한 다양한 실험 환경에서의 예측 오류 측정을 통하여 제안 기법이 기존 기법들에 비하여 약 45%의 예측 오류를 감소시킬 수 있음을 보였다.

참고 문헌

- [1] G. Chandrasekaran, M. A. Ergin, J. Yang, S. Liu, "Empirical Evaluation of the Limits on Localization Using Signal Strength," *Proc. of the IEEE Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks*, pp.1-9, 2009.
- [2] M. Youssef, A. Agrawala, "The Horus WLAN Location Determination System," *Proc. of the ACM Mobile Systems, Applications, and Services*, pp.205-218, 2005.
- [3] B. Turgut, R. P. Martin, "Localization for Indoor Wireless Networks Using Minimum Intersection Areas of Iso-RSS Lines," *Proc. of the IEEE Local Computer Networks*, pp.962-972, 2007.
- [4] P. Barsocchi, S. Lenzi, S. Chessa, G. Giunta, "Virtual Calibration for RSSI-Based Indoor Localization with IEEE 802.15.4," *Proc. of the IEEE Communications*, pp.1-5, 2009.
- [5] Y. Gwon, R. Jain, "Error Characteristics and Calibration-Free Techniques for Wireless LAN-Based Location Estimation," *Proc. of the ACM Mobility Management and Wireless Access*, pp.2-9, 2004.
- [6] K. Whitehouse, C. Karlof, D. Culler, "Practical Evaluation of Radio Signal Strength for Ranging-Based Localization," *Journal of ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol.11, no.1, pp.41-52, Jan. 2007.
- [7] E. Elnahrawy, X. Li, R. P. Martin, "The Limits of Localizations Using Signal Strength: A Comparative Study," *Proc. of the IEEE Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, pp.406-411, 2004.
- [8] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice," Prentice Hall, 2002.
- [9] HBE-ZigBex "http://www.hanback.co.kr/".



임 유 진

1995년 숙명여자대학교 전산학과 학사
 1997년 숙명여자대학교 전산학과 석사
 2000년 숙명여자대학교 전산학과 박사
 2000년 서울대학교 박사후 연구원. 2000년~2002년 UCLA 박사후 연구원. 2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원
 2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 조교수. 관심분야는 센서네트워크, VANET, 무선 통신

박 재 성

정보과학회논문지 : 정보통신
 제 37 권 제 4 호 참조