

# 실내 환경에서 래터레이션을 이용한 위치 측위 기법

임 유 진<sup>†</sup> · 박 재 성<sup>††</sup>

## 요 약

래터레이션 기법을 사용한 실내 위치 측위 기법은 단말기의 위치 예측을 위하여 RSS(Received Signal Strength)를 기반으로 예측된 단말기와 AP(Anchor Point)사이의 거리와 AP의 위치 정보를 사용한다. 따라서 단말기와 AP사이의 거리 예측 정확도가 단말기 위치 예측 정확도에 많은 영향을 미치게 된다. 무선 전파 환경은 시간과 공간에 따라 변화하므로 가장 높은 RSS 측정 값이 거리 예측에 가장 적합한 RSS 값은 아닐 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다수의 AP들이 사용되었으나 일정 수준 이상의 AP의 사용은 오히려 위치 측위 대상 면적이 증가하게 되어 단말기 위치 예측 정확도를 악화시킨다. 따라서 본 논문에서는 위치 측위 대상 면적을 감소시킴으로써 위치 예측 정확도를 향상시키기 위한 기법을 제안한다. 이를 위하여 본 논문에서는 단말기의 신호를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게중심을 사용하여 단말기의 상대적인 위치를 예측하였다. 일단 단말기의 상대적인 위치가 예측되면 단말기에서 지리적으로 가장 근접한 AP를 단말기 위치 예측을 위한 기준 AP로 선택함으로써 측위 대상 다각형의 면적을 줄일 수 있다. 본 논문에서 구현한 실내 측위 시스템을 이용한 다양한 환경에서의 실험을 통하여 위치 예측 정확도 측면에서의 제안 기법의 타당성을 검증하였다.

키워드 : 실내 측위 시스템, 수신 신호 세기(RSS), 래터레이션(lateration) 기법

## Accurate Localization Scheme using Lateration in Indoor Environments

Lim Yujin<sup>†</sup> · Park Jaesung<sup>††</sup>

### ABSTRACT

In an indoor localization method taking the lateration-based approach, the location of a target is estimated with the location of anchor points (APs) and the approximated distances between the target and APs using received signal strength (RSS) measurements. The accuracy of distance estimation affects the localization accuracy of a lateration-based method. Since a radio propagation environment varies randomly in time and space, the highest RSSs do not necessarily give the best estimation of the distances between a target and APs. Thus, all APs hearing a target have been used for localization. However, the accuracy of a lateration-based method degrades if more APs beyond a certain threshold are used because the area of polygon with the APs increases. In this paper, we focus on reducing the size of the polygon to further increase the localization accuracy. We use the centroid of the polygon as a reference point to estimate the relative location of a target in the polygon. Once the relative location is estimated, only the APs which are closest to the target are used for localization to reduce the area of the polygon with the APs. We validate the proposed method by implementing an indoor localization system and evaluating the accuracy of the proposed method in the various experimental environments.

Keywords : Indoor Localization System, RSS(Received Signal Strength), Lateration

### 1. 서 론

최근 들어 RF(Radio Frequency) 기반 시스템에서 RSS(Received Signal Strength)를 이용한 실내 측위 기법들이 많이 제안되었다. 제안된 많은 측위 기법들은 측위 대상 단

말기(target)의 위치 예측을 위하여 래터레이션(lateration) 기법[1]을 주로 활용하고 있다. 래터레이션 기법은 거리와 RSS 사이의 경로손실 관계를 기반으로 예측된 단말기와 AP사이의 거리 및 AP들의 위치 정보를 이용하여 단말기의 위치를 예측한다. 따라서 단말기와 AP사이의 거리 예측 정확도가 단말기 위치 예측 정확도에 많은 영향을 미친다. P. Barsocchi et al.[2]은 거리와 RSS 사이의 경로손실 예측모델 설정에 벽에 의한 감쇄 손실을 추가로 고려하였다. 다시 말해서, AP 사이에 측정된 RSS 값을 사용하여 경로손실 파라미터 값과 벽에 의한 감쇄 손실 값을 예측하였다. 이들은

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2009-0067341).

† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 조교수

†† 정 회 원 : 수원대학교 인터넷정보공학과 조교수(교신저자)

논문접수: 2009년 12월 30일

수정일: 1차 2010년 4월 2일

심사완료: 2010년 4월 2일

이와 같은 파라미터 값들을 기반으로 가상 그리드 상의 각 위치에서 주변 AP로부터의 RSS 값을 예측하여 데이터베이스로 구축한 후, 단말기의 RSS 측정 값과 데이터베이스의 값들을 비교하여 가장 일치하는 가상 그리드 상의 위치를 단말기의 위치로 예측하였다. M. Dominguez-Duran et al.[3]은 AP 사이의 지리적인 거리와 Friis 경로손실 모델[4]을 사용하여 단말기와 AP사이의 거리를 예측한다. 또한 예측된 거리와 AP들의 위치 정보를 기반으로 단말의 위치를 추정한다.

그러나 무선 신호는 시간과 공간에 따라 무작위로 변화하는 특성을 가지므로 경로손실 예측모델을 설정하는 단계에서 오류의 발생은 불가피하다. 따라서 여러 실내 측위 기법들은 거리 예측 정확도를 높이기 위하여 다수의 AP를 사용하였다. 그러나 일정 수준 이상의 많은 AP를 사용하는 경우 오히려 예측 정확도가 떨어지게 된다[5]. 이는 다수의 AP가 사용될수록 낮은 품질의 RSS, 즉 경로손실 모델에 부합되지 않는 RSS가 거리 예측에 사용되기 때문이다. 거리 예측 정확도를 향상시키기 위한 또 다른 방법은 높은 품질의 RSS, 즉 경로손실 모델에 잘 부합하는 RSS를 구별하여 이를 거리 예측에 이용하는 방법이다. PSS[6] 기법에서 각 AP는 이웃 AP들로부터 측정된 RSS 값을 정기적으로 위치 서버(location server)에게 전송하며 위치 서버는 해당 AP와 각 이웃 AP들과의 경로손실 모델을 유지한다. 단말기의 주변의 AP들은 단말기로부터 측정된 RSS 값들을 위치 서버에게 전송하고 이를 수신한 서버는 가장 높은 RSS 값을 측정된 AP의 경로손실 모델을 이용하여 단말기와 주변 AP들간의 거리를 예측한다. 그러나 단말기와 가장 높은 RSS 값을 측정된 AP사이의 경로손실 관계가 단말기와 다른 AP들간의 경로손실 관계와 일치하는 것은 아니므로 이러한 기법의 측위 정확도는 근본적인 한계가 존재한다[7].

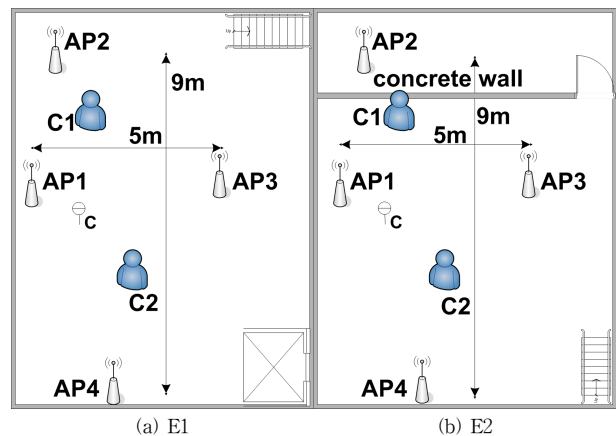
래터레이션 기법에서는 단말기 위치 측위에 사용되는 기준 AP들, 즉 단말기로부터 신호를 수신한 AP들 모두 또는 그 일부로 구성된 다각형 내부에 단말기가 존재한다고 가정한다. 본 논문에서는 단말기의 측위 정확도를 향상시키기 위하여 단말기 주변의 AP들 중 최적의 기준 AP들을 선택하고 기준 AP들로 구성된 다각형의 면적을 최소화하는 측위 기법을 제안한다. 이를 위하여 본 논문에서는 단말기로부터 신호를 수신한 모든 AP들로 구성된 다각형의 무게중심을 사용하여 단말기의 상대적인 위치를 추정한다. 또한 기존의 방식처럼 단말기 주변 모든 AP들 중에서 단말기로부터 가장 높은 RSS를 측정된 AP의 RSS 값을 측위에 사용하는 대신, 측위 정확도 향상을 위해 기준 AP들 중에서 가장 높은 RSS 측정값을 가지는 기준 AP와 그 이웃 AP들 사이의 RSS 값을 사용한다.

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

## 2. RSS 기반 실내 위치 측위의 문제점

RSS 기반 실내 측위 시스템은 단말기의 위치 측위를 위하여 다음과 같이 동작한다. 먼저 AP들은 이웃 AP들과의 RSS를 측정하여 정기적으로 위치 서버에게 전송한다. 위치 서버는 수신한 RSS 값들과 AP 위치 정보를 기반으로 각 AP들 사이의 경로손실 모델을 설정한다. 단말기로부터 신호를 수신한 AP들은 자신들이 측정된 RSS 값을 서버에게 전송하며 서버는 수신된 RSS 값을 사용하여 단말기의 위치 측위를 시작한다. 서버는 수신된 RSS 값과 AP간 경로손실 모델을 사용하여 단말기와 AP 사이의 거리를 예측한다. 예측된 거리 정보와 AP의 위치를 이용하여 LSE(Least Square Error)[8] 기법을 기반으로 단말기의 위치를 예측한다.

(그림 1)은 RSS 기반 기법의 측위 정확도에 영향을 미치는 요소를 분석하기 위한 실험 환경이다. 각 환경에서 3개의 AP를 이용한 래터레이션 방법으로 단말기의 위치를 예측하였다. 그림에서 E1 환경은 모든 노드(단말기와 AP)들 사이에 장애물이 존재하지 않는 전파 환경이며, E2 환경은 AP2가 다른 노드들과 콘크리트 벽에 의해 분리되어 있는 전파 환경이다. 그림에서 C는 AP1, AP2, AP3, AP4로 구성된 다각형의 무게 중심을 나타낸다. 실험을 위하여 단말기를 두 개의 위치(C1과 C2)에 배치한 후 동일 실험을 1000회씩 반복하여 단말기의 실제 위치와 예측된 위치와의 거리 차이인 위치 예측 오류의 중간 값(median error)을 구하였다. 단말기가 C1에 위치한 경우 단말기에서 지리적으로 가장 근접한 AP는 AP1, AP2, AP3이며, C2에 배치된 경우는 AP1, AP3, AP4가 단말기에 가장 근접한 AP이다. <표 1>은 각 실험환경에서 측정된 위치 예측 오류의 중간 값이다. E1 환경에서는 모든 노드의 무선 전파 환경이 동일하므로 단말기로부터 가장 높은 RSS를 측정된 AP들이 단말기에 지리적으로 가장 인접한 AP가 된다. 그러나 AP1, AP2, AP3로 구성된 다각형의 면적이 AP1, AP3, AP4로 구성된 다각형의 면적보다 작으므로 단말기가 C1에 위치한 경우의



(그림 1) 측위 정확도에 영향을 미치는 요소 분석을 위한 실험 환경

〈표 1〉 AP 선택에 따른 위치 예측 정확도 (median localization error)

| 단위: meter             | E1-C1 | E1-C2 | E2-C1 | E2-C2 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| 가장 높은 RSS를 가지는 AP 사용시 | 0.73  | 1.03  | 1.51  | 1.55  |
| 가장 근접한 AP 사용시         | 0.73  | 1.03  | 0.78  | 1.55  |

예측 오류가 C2에 위치한 경우보다 작다[9]. E2 환경에서는 AP2가 콘크리트 벽에 의하여 다른 노드들과 분리되어 있기 때문에 단말기와 AP2사이의 거리가 단말기와 AP4사이의 거리보다 짧아도 단말기와 AP2사이에 측정된 RSS 값이 단말기와 AP4사이에 측정된 값보다 작다. 따라서 단말기가 C1에 위치한 경우 단말기로부터 가장 높은 RSS 측정 값을 가지는 AP들(AP1, AP3, AP4)로 구성된 다각형 내에 단말기가 위치하지 않게 되며 이로 인하여 위치 예측 오류가 증가하게 된다. 그러나 단말기에서 지리적으로 근접한 AP들(AP1, AP2, AP3)로 구성된 다각형을 가지고 위치 예측을 한 경우는 높은 RSS 측정 값을 가지는 AP들로 구성된 다각형으로 위치 예측을 한 경우에 비하여 예측 오류가 1.51m에서 0.78m로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 실험을 통하여 경로손실 모델에 부합하는 RSS 값의 사용이 항상 가장 좋은 위치 예측 정확도를 가지는 것을 아니라는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 실험을 통하여 위치 예측 정확도는 단말기에서 지리적으로 근접한 AP들의 사용과 해당 AP들로 구성된 다각형의 면적을 줄임으로써 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 이후 이와 같은 AP를 기준 AP(reference AP)로 지칭한다. 기존의 많은 연구들은 AP들로 구성된 다각형 내부에 단말기가 위치할 확률을 높이기 위하여 AP의 개수를 증가시키는 방법을 사용하였다. 그러나 M. Youssef et al.[10]는 전파 환경 특성이 같은 지역에 대한 위치 예측은 여러 AP들 중에서 가장 높은 RSS 값을 가지는 AP 하나만 사용하면 충분하다는 점을 실험을 통하여 보였다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 일정 이상 많은 AP를 사용하는 경우 오히려 예측 정확도가 떨어지게 된다[5]. 따라서 본 논문에서는 적절한 기준 AP의 선택을 통하여 기존 기법들, 즉 다수의 AP를 사용하는 기법 또는 가장 높은 RSS 값을 사용하는 기법들에 비하여 향상된 위치 예측 정확도를 얻을 수 있음을 보이고자 한다.

### 3. 제안 위치 예측 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( $R_{j-i}$ )을 위치 서버에게 알린다.  $R_{j-i}$ 는  $AP_j$

가 전송한 비콘 메시지에 대하여  $AP_i$ 가 측정된 RSS 값을 나타낸다. 위치 서버는 수신한  $R_{j-i}$  값을 기반으로  $AP_i$ 와  $AP_j$ 사이의 전파 환경을 모델링 한다. 본 논문에서는 RSS 측정 값에 포함된 랜덤 오류를 보정하기 위하여 다음과 같은 가중 이동 평균(weighted moving average)을 사용한다.

$$\bar{R}_{j-i}(n) = (1 - \beta)\bar{R}_{j-i}(n - 1) + \beta R_{j-i}(n) \quad (1)$$

$R_{j-i}(n)$ 은 n번째 측정된 RSS 측정값이며,  $\bar{R}_{j-i}(n)$ 은 n번째 RSS 측정 후의 RSS 평균 값,  $\beta$ 는  $0 \leq \beta \leq 1$ 사이의 값으로 일반적으로 0.01 값을 사용한다[11]. 단말기는 정기적으로 주변 AP들에게 헬로우(hello) 메시지를 전송하며 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신한 AP들은 자신들이 측정된 RSS 값을 서버에게 알린다. 단말기 t가 전송한 헬로우 메시지를  $AP_i$ 가 수신할 때 측정된 RSS 값을  $R_{t-i}$ 로 표기하면, 위치 서버는  $R_{t-i}$ ,  $\bar{R}_{j-i}$ , 그리고 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신한 AP들의 위치 정보를 기반으로 단말기 위치 예측을 시작한다. 먼저, 서버는  $R_{t-i}$ 와 단말기로부터 메시지를 수신한 AP들의 위치 정보를 사용하여 기준 AP를 선택한다. 다음으로,  $R_{t-i}$ 와 AP들 사이의 경로손실 예측모델을 이용하여 단말기와 기준 AP사이의 거리를 예측한다. 마지막으로, 예측된 거리와 기준 AP의 위치 정보를 기반으로 LSE 기법을 통하여 단말기의 위치를 예측한다.

#### 3.1 기준 AP 선택

본 논문에서는 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신한 AP들로 구성된 다각형 내부에서의 단말기의 상대적인 위치를 예측하기 위한 기준점으로 다각형의 무게중심(이후 C로 지칭)을 사용하였다. 위치 서버는 다각형을 구성하는 AP들 중에서 C와 지리적으로 가장 근접한 3개의 AP를 선택한다. 선택된 3개의 AP로 구성된 삼각형 내부에 단말기가 위치하는 경우, 선택된 3개의 AP가 단말기에 지리적으로 가장 근접하고 3개의 AP로 구성된 다각형의 면적이 단말기로부터 메시지를 수신한 모든 AP들로 구성된 다각형의 면적보다 작기 때문에 선택된 3개의 AP를 기준 AP로 선택한다. 단말기가 선택된 3개의 AP로 구성된 삼각형 외부에 위치하는 경우에는 단말기로부터 전송된 메시지에 대하여 가장 높은 RSS를 측정된 AP를 기준 AP로 선택한다. 이는 K. Whitehouse et al.[12]에서 보인 바와 같이 RSS 값이 작을수록 경험적으로 설정된 RSS와 거리간의 경로손실 모델에 의해 예측된 거리와 실제 거리와의 차이가 커지기 때문이다.

C와 가장 근접한 3개의 AP를 AP1, AP2, AP3라고 가정할 때 단말기가 AP1, AP2, AP3로 구성된 삼각형 내부에 존재한다면 단말기와  $AP_i(i \in \{1,2,3\})$ 사이의 RSS 값은  $AR_i$ 와 이웃 AP, 즉  $AP_j(j \in \{1,2,3\})$ 사이의 RSS 측정 값들 중 최소 하나보다는 큰 값일 확률이 높다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 조건이 만족된다면 단말기는 삼각형 내부에 위치해 있다고 가정한다.

$$\forall_{i \in \{1,2,3\}} \{P_{t-i} \geq \forall_{j=i} \min \{P_{t-j}\}\} \quad (2)$$

3.2 단말기와 기준 AP사이의 거리 예측

단말기와 기준 AP사이의 예측된 거리는 단말기의 위치 예측에 사용되므로 거리 예측의 정확도가 측위 시스템의 성능에 많은 영향을 미치게 된다. 기준 기법의 경우 단말기가 전송한 헬로우 메시지를 수신한 모든 AP가 측정된 RSS 값 중에서 가장 큰 RSS 값을 이용하여 단말기와 모든 AP 사이의 거리가 예측되었다. 그러나 AP와 단말기 사이의 전파 전송 환경은 가장 큰 RSS를 측정된 AP와 단말기 사이의 전파 전송 환경과 다를 확률이 크며 이 경우 단말기와 AP 사이의 예측 거리와 실제 거리의 차이는 커지고 결과적으로 위치 추정 오류가 증가된다.

따라서 본 논문에서는 이와 같은 문제를 완화시키기 위해 단말기가 전송한 헬로우 메시지를 수신한 모든 AP가 측정된 RSS 중에서 가장 큰 RSS를 이용하는 대신 거리 예측이 필요한 기준 AP와 해당 기준 AP의 이웃 AP 사이의 RSS 값 중 최대 값과 단말기와 해당 AP 사이의 RSS 값을 이용하여 단말기와 해당 기준 AP 사이의 거리를 예측한다. 즉, 단말기와 기준 AP 사이의 전파 전송 환경은 단말기가 전송한 헬로우 메시지의 RSS가 최대인 AP와 단말기 사이의 전파 전송환경보다 해당 기준 AP와 이 AP의 이웃 AP 사이의 전파 전송환경과 유사할 확률이 크며 이로 인해 단말기와 기준 AP 사이의 거리 예측 오류를 감소시킬 수 있다. 또한 본 논문에서는 전파 환경이 짧은 시간 동안 갑자기 바뀌지 않는 점에 착안하여 Friis[4]와 같은 경로손실 모델에서 사용하는 RSS 측정값과 지리적인 거리의 로그 값의 선형 관계를 이용하여 식 (3)과 같은 거리 예측 기법을 제안하였다. 즉,  $AP_i$ 의 이웃 AP인  $AP_j$ 와  $AP_k$  사이의 지리적인 거리를  $dist_{jk}^i$ 로 표기하고  $AP_j$ 가 단말기의 기준 AP이면 단말기와  $AP_k$  사이의 거리는 다음과 같이 예측한다.

$$dist_{jk}^i = 10^{\frac{\log_{10}(dist_{jk}^i)P_{t-i}}{P_{j-i}}} \quad (3)$$

3.3 단말기의 위치 예측

단말기와 기준 AP와의 거리 예측이 완료되면 LSE 기법을 사용하여 단말기의 위치  $(x_t, y_t)$ 를 예측한다. 기준 AP의 위치를  $(x_i, y_i), i \in \{1,2,3\}$ 라고 표기하면 단말기의 위치는 다음과 같이 얻을 수 있다 [3].

$$Ax = B \quad (4)$$

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

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_i) & 2(y_1 - y_i) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{i-1} - x_i) & 2(y_{i-1} - y_i) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_i^2 + y_1^2 - y_i^2 + dist_1^2 - dist_i^2 \\ \dots \\ x_{i-1}^2 - x_i^2 + y_{i-1}^2 - y_i^2 + dist_{i-1}^2 - dist_i^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

따라서, 단말기의 위치는 LSE 기법에 의해 다음과 같이 예측된다.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (7)$$

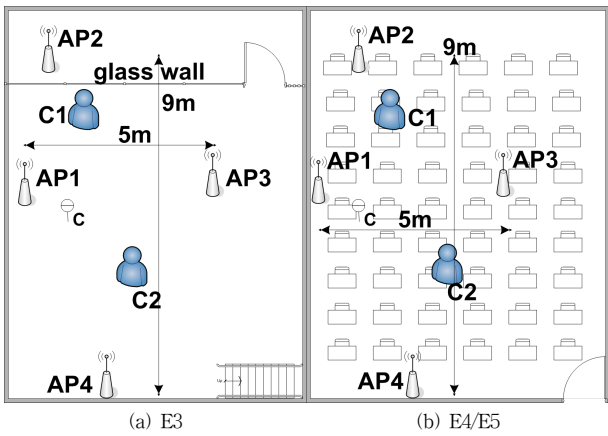
4. 구현 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 위치 측위 기법의 성능 검증을 위하여 수원대학교 IT대학 건물 내에 실내 측위 시스템을 구현하였다. 시스템에 사용된 AP와 단말기는 CC2420 RF 칩을 장착한 모트(mote) 모듈[13, 14]에 구현되었으며 IEEE 802.15.4[15] 표준을 따라 상호 통신한다. AP와 단말기는 정기적으로 1초마다 비콘 메시지와 헬로우 메시지를 각기 전송한다. 실험 결과의 통계적 신뢰성을 높이기 위해 각 실험 환경 당 동일 실험을 1000회씩 수행하였고 성능 측정 요소로 위치 예측 정확도 평가를 위하여 25<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>의 예측 오류를 사용하였다.

4.1 위치 예측 정확도 분석

본 논문에서는 제안 기법의 성능 분석을 위하여 핑거프린팅(fingerprint)[16] 방식을 따르는 ES(Empirical Scheme) 기법과 앞서 설명한 PSS 기법과의 성능을 5가지 실험 환경에서 비교하였다. ES 기법은 핑거프린팅 기법을 기반으로 동작하기 때문에 무선 전파 환경이 변화하지 않는 한 가장 높은 위치 예측 정확도를 가진다. 그러나 시스템 구축 및 관리 측면에서 비실용적이므로 본 논문에서는 성능 비교를 위한 참조 목적으로 사용하였다. PSS 기법은 단말기로부터 수신한 신호에 대하여 가장 높은 RSS 측정 값을 가지는 3개의 AP를 기준 AP로 사용하고 단말기와 AP 사이의 거리 예측을 위해 단말기가 전송한 헬로우 메시지를 수신한 AP가 측정된 RSS 값들 중 최대값을 이용하는 기법이다. 실험 환경 5가지 중에서 2 가지는 (그림 1)에서 설명한 E1과 E2이며 나머지 3 가지 환경은 (그림 2)와 같다.

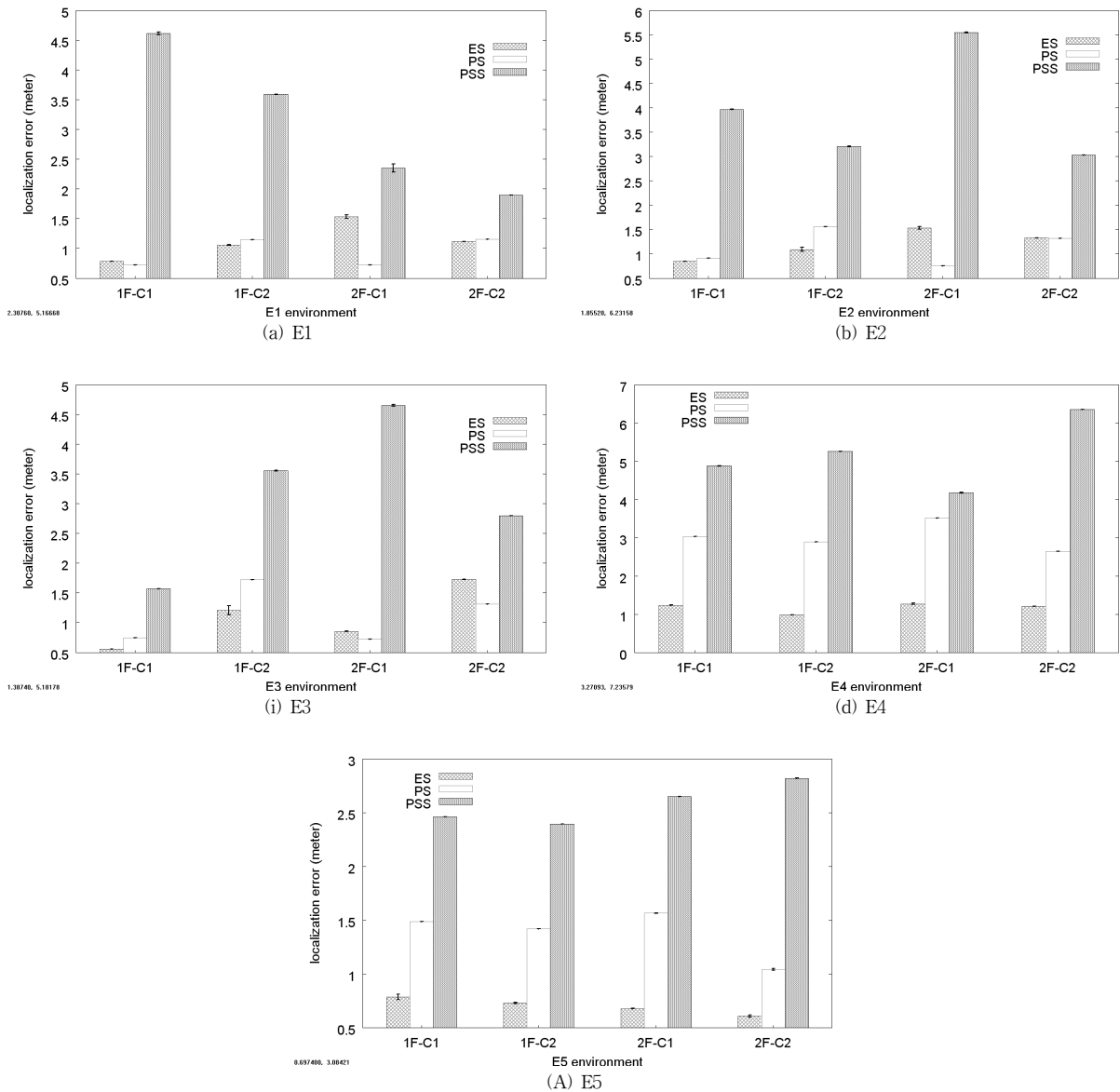
E3은 E2와 각 노드의 위치가 같으며 유일한 차이점은 AP2와 다른 노드들 사이의 장애물이 E2에서는 콘크리트 벽이었으나 E3에서는 유리 벽이라는 점이다. E4와 E5 환경은 다수의 의자와 책상들이 배치되어 있는 전형적인 강의실 환경으로 다른 실험 환경들에 비하여 상대적으로 다중경로 페이딩과 음영 손실이 많이 발생하는 환경이다. E4와 E5는 노드의 배치가 같으며 차이점은 E4는 각 노드들이 바닥에 배치되어 노드들 사이의 전파 환경이 NLOS(non-line-of-sight) 환경이며, E5는 노드들이 천장에 배치되어 노드들 사이의 전파 환경이 LOS(line-of-sight) 환경이라는 점이다. 모든 실험 환경에서 단말기는 두 가지 위치, 즉 C1과 C2에 배치하여 각기 실험하였으며 C1은 단말기로부터 메시지를



(그림 2) 위치 예측 정확도 분석을 위한 실험 환경

수신한 AP들, 즉 AP1, AP2, AP3, AP4로 구성된 다각형의 무게 중심 (그림에서 C)에서 가장 근접한 3개의 AP, 즉 AP1, AP2, AP3로 구성된 삼각형의 내부에 단말기가 위치한 경우를 말한다. 반면에 C2는 이와 같은 삼각형 외부에 단말기가 위치한 경우이다. 실험은 각 실험 환경 당 두 가지 서로 다른 장소 (1층과 2층)에서 진행되었으며 모든 노드의 송신 전력은 -18dBm으로 설정하였다.

(그림 3)은 각 실험 환경에서 위치 예측 정확도를 측정된 결과이다. 그림에서 막대 그래프는 50<sup>th</sup>예측 오류를 나타내며, 오류 바(error bar)는 25<sup>th</sup>%와 75<sup>th</sup>% 범위(range) 예측 오류 범위를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 오류 바의 범위는 아주 작다. 전체적으로 제안 기법(PSS: Proposed Scheme)이 PSS 기법보다 우수한 성능을 보인다. 이는 PSS 기법이 RSS 값만을 기준으로 기준 AP를 선택하기 때문에



(그림 3) 제안 기법과 ES, PSS 기법의 위치 예측 오류 비교 (1F: 1층, 2F:2층)

단말기가 높은 RSS 측정 값을 가지는 3개의 AP들로 구성된 삼각형의 외부에 위치해 있을 가능성이 있기 때문이다. 또한 PSS는 가장 높은 RSS 측정 값을 가지는 AP의 경로 손실 모델을 가지고 다른 모든 기준 AP와 단말기와의 거리를 예측하기 때문에 예측된 거리에 오류가 포함될 확률이 높다. ES 기법과의 성능 비교는 대부분의 경우에 있어서 ES기법이 가장 작은 예측 오류를 보인다. 특히 노드들 간 NLOS 전파 환경을 가지는 E4 환경에서의 오류는 PS 기법이 ES 기법에 비하여 2.5배 높은 예측 오류를 보였고, 노드들 간 LOS 전파 환경을 가지는 다중경로 페이딩과 음영 손실이 많은 E5 환경에서는 PS 기법이 ES 기법에 비하여 1.98배 높은 오류를 보였다. 그러나 나머지 E1, E2, E3 환경에서의 예측 오류는 ES 기법과 거의 비슷한 수준의 낮은 예측 오류를 보였다.

ES 기법과 비교할 때 PS 기법은 E4와 E5 환경에서 높은 예측 오류를 보였으나 ES 기법이 비실용적인 점을 감안하여, IEEE 802.15.4 시스템에서 래티레이션 방법을 사용하는 관련 기법들[2, 3]과의 성능 비교를 추가로 진행하였다. 관련 기법들[2, 3]의 경우 AP사이의 평균 거리가 3.5m 인 것은 앞서 설명한 본 논문의 실험 환경과 동일하나 노드의 송신 전력으로 0dBm을 사용하였다. 이러한 환경에서 [2]와 [3]은 50<sup>th</sup>% 예측 오류로 각기 2.5m와 3m를 보인다. 이러한 수치는 노드의 송신 전력이 -18dBm인 (그림 3)의 실험 결과와 비교할 때 실험 환경 E4만을 제외하고는 PS 기법의 성능이 훨씬 우수함으로 확인 할 수 있다. 심지어 E5 환경에서조차 예측 오류가 1.04m에서 1.56m로 관련 기법들에 비하여 우수한 결과를 보였다. 한편 노드 간 NLOS 전파 환경이 설정된 E4 환경에서는 예측 오류가 2.64m에서 3.51m로 측정되었다. 그러나 관련 기법들은 본 실험보다 훨씬 강한 RF 전송 세기를 사용했을 뿐만 아니라 모든 노드 간 LOS 전파 환경을 설정하였다. 따라서 본 논문에서는 관련 기법들과의 공정한 성능 비교를 위하여 노드의 송신 전력을 -18dBm에서 0dBm으로 증가시켜 E4 환경에서 추가 실험을 진행하였다.

<표 2> E4환경에서 RF 전송 세기를 -18dBm에서 0dBm으로 증가시켰을 때의 위치 예측 오류 중간값

| 단위: meter |    | ES   | PS   | PSS  |
|-----------|----|------|------|------|
| 1F        | C1 | 0.66 | 0.71 | 0.99 |
|           | C2 | 1.04 | 1.17 | 1.73 |
| 2F        | C1 | 0.99 | 0.77 | 0.94 |
|           | C2 | 1.21 | 0.96 | 1.85 |

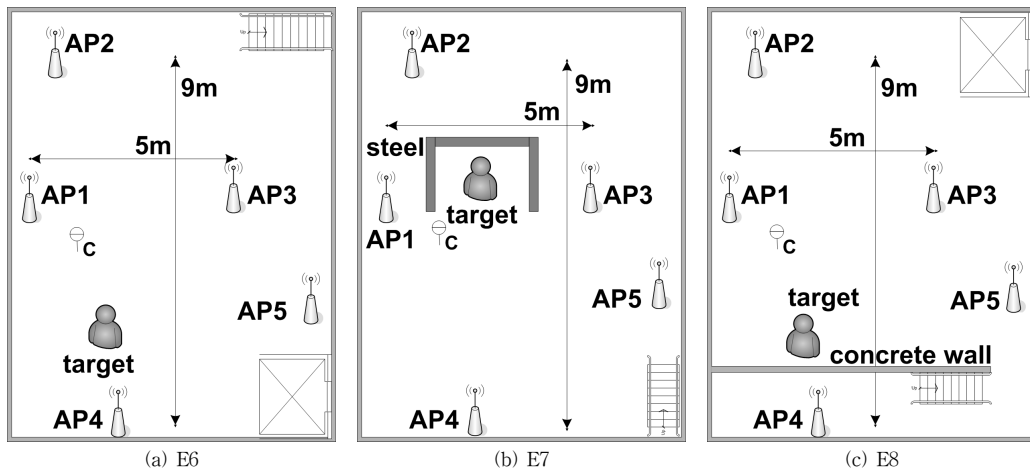
<표 2>에서 보는 바와 같이 단말기가 C1에 위치한 경우 1층 실험 결과는 -18dBm일 때 3.04m에서 0dBm일 때 0.71m로 향상되었고 2층 실험 결과는 3.51m에서 0.77m로 향상되었다. 단말기가 C2에 위치한 경우 1층 실험 결과는 2.89m에서 1.17m로, 2층 실험 결과는 2.64m에서 0.96m로 향상되었다. <표 2>는 또한 실험 결과는 송신 전력을 0dBm으로 증가시켰을 때 ES 기법과 PSS 기법의 성능을 보인다. 보는 바와 같이 PS기법은 ES 기법과 비슷한 수준의 낮은 예측 오류를 보임을 알 수 있다.

4.2 기준 AP 개수에 의한 영향 분석

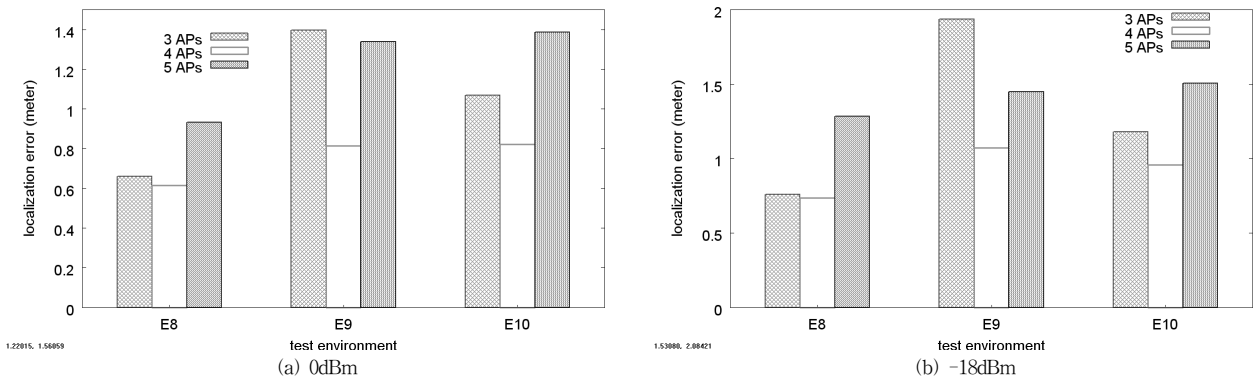
본 논문에서는 기준 AP개수가 의한 위치 예측 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 단말기로부터 신호를 수신할 수 있는 AP의 개수를 4개에서 5개로 증가시키고, 단말기의 위치 예측을 위해 사용되는 기준 AP의 개수를 3, 4, 5로 변화시켰을 때의 예측 정확도를 측정하였다.

(그림 4)는 새로운 실험 환경 E6, E7, E8을 보이고 있으며, AP5는 단말기와의 거리가 가장 먼 AP이다. 각 실험 환경에서 단말기로부터 헬로우 메시지를 수신할 수 있는 AP1, AP2, AP3, AP4, AP5로 구성된 다각형의 무게 중심(그림에서 C)과 가장 근접한 3개의 AP는 AP1, AP2, AP3이다. E6와 E8 환경에서 단말기는 삼각형 외부에 위치해 있으며, E7 환경에서의 단말기는 삼각형 내부에 위치한다.

(그림 5)는 각 실험 환경에서 기준 AP개수가 3, 4, 5개일 때 위치 예측 오류를 측정된 결과이다. (그림 5)-(a)는 RF



(그림 4) 기준 AP 개수에 의한 위치 예측 정확도 분석을 위한 실험 환경



(그림 5) 기준 AP 개수에 의한 위치 예측 정확도 분석

전송 세기가 0dBm일 때 측정된 결과이고 (그림 5)-(b)는 전송 세기가 -18dBm일 때 측정된 결과이다. E6 환경은 E1 환경과 같이 모든 노드 사이에 장애물이 없는 환경으로 기준 AP개수가 3개인 경우와 4개인 경우의 성능 차이가 거의 없다. 이는 전파 환경 특성이 같은 지역에 대한 위치 예측은 여러 AP들 중에서 가장 높은 RSS 값을 가지는 AP 하나만 사용하면 충분하다는 실험 결과[10]와 동일한 결과이다. 그러나 5개의 기준 AP를 사용한 경우는 오히려 성능이 악화된다. 이는 기준 AP개수의 증가로 인하여 기준 AP로 구성된 다각형의 면적이 증가했으며 또한 단말기와 가장 먼 AP5가 기준 AP에 포함되어 단말기 위치 예측에 낮은 품질의 RSS 값이 포함되었기 때문이다. E7 환경은 단말기 주변에 철제 벽이 존재하는 환경이다. E7 환경에서는 비록 단말기에서 가장 근접한 AP1, AP2, AP3가 기준 AP로 맞게 선정되었다 하더라도 단말기와 기준 AP사이의 전파 전송 환경이 철제 벽으로 인하여 악화되었기 때문에 E6에서보다 높은 예측 오류를 보인다. 그러나 기준 AP로 AP4가 포함되게 되면 RSS와 지리적 거리 간의 경로손실 모델에 잘 부합되는 높은 품질의 RSS 측정 값이 추가로 사용됨으로써 단말기 위치 예측 정확도가 향상되게 된다. 5개의 기준 AP를 사용하는 경우에는 AP4가 포함하는 같은 지역에 대하여 AP5의 RSS 측정 값이 추가됨으로써 얻어지는 예측 정확도에 대한 이득 보다는 추가된 기준 AP로 구성된 다각형 면적의 증가로 인한 손실이 더 커지므로 결과적으로 예측 정확도가 나빠지게 된다. E8은 AP4가 다른 노드들과 콘크리트 벽에 의하여 분리되어 있는 환경이다. 3개의 기준 AP가 사용될 경우 단말기는 기준 AP로 선택된 AP1, AP2, AP3로 구성된 다각형의 외부에 위치하게 되어 예측 오류가 증가하게 된다. 그러나 4개의 기준 AP를 사용함으로써 추가로 포함된 AP4로 인하여 단말기는 AP1, AP2, AP3, AP4로 구성된 다각형 내부에 위치하게 됨으로써 위치 예측 오류가 향상되는 결과를 볼 수 있다. 5번째 기준 AP(AP5)의 추가는 앞서 설명한 바와 같이 다각형의 면적 증가로 인한 손실이 RSS 측정 값의 추가로 인한 이득보다 크기 때문에 예측 오류가 증가하게 된다.

### 5. 결론

본 논문에서는 RSS를 이용한 실내 위치 측위 기법을 제안하였다. RSS를 이용한 라터레이션 기법에서의 위치 예측 정확도 향상을 위해서는 단말기와 AP사이의 거리 예측 단계에서 발생하는 오류를 감소시키고 또한 단말기의 위치 예측에 사용하는 기준 AP로 구성된 다각형의 면적을 감소시켜야 한다. 먼저 단말기와 AP사이의 거리 예측에서 발생하는 오류를 감소시키기 위하여 많은 관련 기법들은 다수의 AP를 사용하였다. 그러나 여러 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 거리 예측 오류 감소에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 기준 AP로 구성된 다각형의 면적을 감소시켜 위치 예측 정확도를 향상시키기 위한 기법에 초점을 맞추었다.

본 논문에서는 단말기의 상대적인 위치를 예측하기 위하여 단말기로부터 신호를 수신한 AP들로 구성된 다각형의 무게중심을 사용하였다. 다각형의 무게중심에서 지리적으로 가장 근접한 3개의 AP로 구성된 삼각형을 기준으로 단말기가 삼각형 내부에 있는 경우는 무게중심에서 가장 근접한 3개의 AP를 단말기의 위치 예측을 위한 기준 AP로 사용하였다. 반대로 단말기가 삼각형 외부에 있는 경우에는 단말기로부터 수신한 신호에 대한 RSS 측정 값이 가장 높은 3개의 AP를 기준 AP로 사용하였다. 본 논문에서는 제안 기법의 성능 분석을 위하여 실내 위치 측위 시스템을 구현하여 다양한 환경에서 실험을 진행하였다. 실험 결과, 위치 예측 정확도 측면에서 제안 기법은 기존에 가장 높은 예측 정확도를 보이는 핑거프린팅 기반 기법과 비슷한 수준의 성능을 보임을 확인하였다.

본 논문에서 여러 실험들을 통하여 3개 이상 추가적인 기준 AP의 사용은 경로손실 모델에 잘 부합하는 높은 품질의 RSS의 사용으로 인한 이득과 위치 예측 대상 면적의 증가라는 손실 사이의 균형 유지가 가장 중요하다는 점을 인식하게 되었다. 따라서 향후 연구 과제로 단말기의 위치 예측 정확도를 극대화할 수 있는 기준 AP의 개수 선택 기법을 진행할 계획이다.

**참 고 문 헌**

[1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," Proc. IEEE Intl. Conf. Computer Communications (INFOCOM), Israel, pp.775-784, March, 2000.

[2] P. Barsocchi, S. Lenzi, S. Chessa, and G. Giunta, "Virtual calibration for RSSI-based indoor localization with IEEE 802.15.4," IEEE Intl. Conf. Communications (ICC), Dresden, Germany, pp.1-5, June, 2009.

[3] M. Dominguez-Duran, D. Claros, C. Urdiales, F. Coslado, and F. Sandoval, "Dynamic calibration and zero configuration positioning system for WSN," IEEE Intl. Mediterranean Electrotechnical Conf. (MELECON), France, pp.145-150, May, 2008.

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

[5] G. Chandrasekaran, M. A. Ergin, J. Yang, and S. Liu, "Empirical evaluation of the limits on localization using signal strength," Proc. IEEE Intl. Conf. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), Rome, Italy, pp.1-9, June, 2009.

[6] Y. Gwon and R. Jain, "Error characteristics and calibration-free techniques for wireless LAN-based location estimation," Proc. ACM Intl. Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MOBIWAC), Philadelphia, pp.2-9, Sep., 2004.

[7] E. Elnahrawy, X. Li, and R. P. Martin, "The limits of localizations using signal strength: a comparative study," Proc. IEEE Intl. Conf. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), Santa Clara, USA, pp.406-411, Oct., 2004.

[8] K. Langendoen and N. Reijers, "Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison," Elsevier Computer Networks, 43(4), pp.499-518, Nov., 2003.

[9] B. Turgut and R. P. Martin, "Localization for indoor wireless networks using minimum intersection areas of iso-RSS lines," Proc. IEEE Intl. Conf. Local Computer Networks (LCN), Dublin, Ireland, pp.962-972, Oct., 2007.

[10] M. Youssef and A. Agrawala, "The Horus WLAN Location Determination System," ACM Intl. Conf. Mobile Systems, Applications, and Services (MOBISYS), Seattle, USA, pp.205-218, June, 2005.

[11] S. Woon, N. Golmie, and Y. A. Sekercioglu, "Effective link triggers to improve handover performance," Proc. IEEE Intl. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Finland, pp.1-5, Sep., 2006.

[12] K. Whitehouse, C. Karlof, and D. Culler, "Practical evaluation of radio signal strength for ranging-based localization," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 11(1), pp.41-52, Jan., 2007.

[13] HBE-Zigbex, <http://www.hanback.co.kr/english/sub0101.htm>.

[14] C. Suh, J-E. Joung, and T-B. Ko, "New RF models of the TinyOS simulator for IEEE 802.15.4 standard," Proc. IEEE Intl. Conf. Wireless Communications & Networking Conference (WCNC), Hong Kong, pp.2236-2240, March, 2007.

[15] IEEE Std 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.

[16] K. Pahlavan, X. Li, and J-P Makela, "Indoor geolocation science and technology," IEEE Communications Magazine, 40(2), pp.112-118, Feb., 2002.



**임 유 진**

e-mail : yujin@suwon.ac.kr

2000년 숙명여자대학교 전산학과(박사)

2000년 서울대학교 박사후연구원

2000년~2002년 UCLA 박사후연구원

2003년~2004년 삼성종합기술원 전문연구원

2004년~현 재 수원대학교 정보미디어학

과 조교수

관심분야 : 에드혹 네트워크, 센서 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜



**박 재 성**

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr

1995년 연세대학교 전자공학과(학사)

1997년 연세대학교 전자공학과(공학석사)

2001년 연세대학교 전기전자공학화(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