

하이브리드 알고리즘을 이용한 Wi-Fi 기반의 실내 측위 시스템

Wi-Fi Based Indoor Positioning System Using Hybrid Algorithm

신 건 식 · 신 용 현*

서울과학기술대학교 컴퓨터공학과

Geon-Sik Shin · Yong-Hyeon Shin*

Department of Computer Science & Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

[요 약]

위치 정보를 제공하는 대표적인 측위 기술은 GPS다. 이 기술은 밀도가 높은 도심이나 숲, 그리고 실내와 같은 음영지역에서는 동작하지 않는 단점이 있다. 본 논문은 실내의 AP로 부터의 Wi-Fi 신호의 세기를 이용하여 보다 정확한 단말의 위치를 추정하게 해주는 실내 측위 하이브리드 알고리즘을 제안한다. 사용자의 위치를 결정하기 위해 건물 구조, 사람, 거리 등 다양한 환경에서 측정한 RSSI (received signal strength indicator) 값을 이용하여 측정 환경에 맞는 가장 적절한 경로손실모델을 수립한다. 이러한 경로손실 모델에서 구해진 경로손실지수를 환경에 따라 변화시켜, AP로 부터 얻은 측정값을 이용하여 REKF (robust extended kalman filter)와 PF (particle filter) 알고리즘을 사용하여 단말기의 위치를 추정하게 된다. 보다 더 정확한 위치 추정을 위해 하나의 측위 방식만을 사용하지 않고, 실험을 통하여 구해진 임계값에 따라 어떠한 측위방식을 사용할 것인지를 결정한다. 제안한 하이브리드 알고리즘을 이용하여 실험한 결과 기존의 단일 측위 방식 보다 평균 17% 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있었다.

[Abstract]

GPS is the representative positioning technology for providing the location information. This technique has the disadvantage that does not operate in the shadow areas, such as urban or dense forest and the interior. This paper proposes a hybrid indoor positioning algorithm, which estimates a more accurate location of the terminal using strength of the Wi-Fi signal from the indoor AP. To determine the location of the user, we establish the most appropriate path loss model for the measurement environment. by using the RSSI value measured in a variety of environment such as building structure, person, distance, etc. The path loss exponent obtained by the path loss model is changed according to the environment. REKF, PF estimate the position of the terminal by using measured value from the AP with path loss exponent. For more accurate position estimation, we select positioning system by the value of threshold measured by experiments rather than a single positioning system. Experimental results using the proposed hybrid algorithm show that the performance is improved by about 17% than the conventional single positioning method.

Key word : GPS, Hybrid, Indoor positioning system, Kalman filter, Particle filter.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.6.564>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 20 November 2015; Revised 25 November 2015
Accepted (Publication) 22 December 2015 (30 December 2015)

*Corresponding Author; Yong-Hyeon Shin

Tel: +82-2-970-6709

E-mail: yshin@seoultech.ac.kr

1. 서론

위치정보에 대한 관심이 증가하면서 사용자의 위치정보를 신속하고 정확하게 파악하여 이를 각종 서비스와 연계하여 제공하는 LBS (location based service)의 발전이 가속화 되고 있다[1]. GPS (global positioning system)는 가장 널리 쓰이고 있는 측위 방식으로 수신기의 성능에 따라 정밀한 위치 측정이 가능하고 지구상의 어느 지점에서나 사용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 GPS의 특성상 실내 사용이 곤란하고, 정밀한 위치 측정을 위해 사용되는 GPS는 비교적 고가이기 때문에 컴퓨터가 주변 환경과 사물에 내재되는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 적합하지 않다[2].

위치기반 서비스의 적용 분야 및 활용이 다양해지면서, 실외뿐만 아니라 실내 환경에서도 위치정보를 바탕으로 한 서비스의 필요성이 증가하고 있다. 특히 스마트폰 보급이 보편화되면서 무선 AP 기기들로 부터 수신되는 신호의 세기를 이용하여 위치를 파악하는 시스템이 나타나고 있다. 무선 랜을 이용한 WPS(wi-fi positioning system)는 GPS 신호가 수신되지 않는 실내와 같은 음영지역에서도 측위가 가능하도록 돕는다.

본 논문에서는 실내지역에서 Wi-Fi 신호를 이용하여 무선 단말기의 위치를 추정할 수 있는 WPS 시스템의 구현을 목표로 한다. 이와 같은 연구의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 방법으로 연구를 진행한다. 먼저 실내지역에서 Wi-Fi를 이용하여 사용자가 가진 단말기로 위치 측정이 가능한 시스템을 구현한다. 이후 WPS의 정확한 성능을 구현하기 위해 RSSI의 특징 및 환경적인 요인에 대한 분석을 통하여 환경에 적합한 경로손실 모델(path loss model)을 구현 한다. 마지막으로 KEKF와 PF를 사용하여 측정된 RSSI의 dB값을 이용하여 추정값을 구하고, 구한 추정값과 가중치를 결합하여 계산함으로써 정확한 위치를 추정하고, 해당 추정 값을 분석하고 성능을 개선시킬 수 있는 방안을 연구한다.

II. 관련 연구

일반적인 실내측위 시스템의 구조는 그림 1과 같다. 먼저 측위에 사용하는 신호를 수신기를 통하여 받는다. 이 신호를 이용하여 측위 알고리즘에 사용할 데이터를 생성하고 그 데이터를 측위 알고리즘에 적용하여 위치를 구한다.

실내 측위에 사용되는 위치 결정 알고리즘은 실외 측위에서 사용되는 것과 비슷한 여러 가지 알고리즘이 존재한다.

2-1 수신 신호 패턴을 이용한 방법

핑거프린트 방식은 확률론적 모델링에 의한 추정 방법으로 노이즈 및 주위 환경 정보를 위치추정을 위한 정보로 활용하는 방법이다. 핑거프린트 기법은 과거의 경험적 정보(heuristic)를

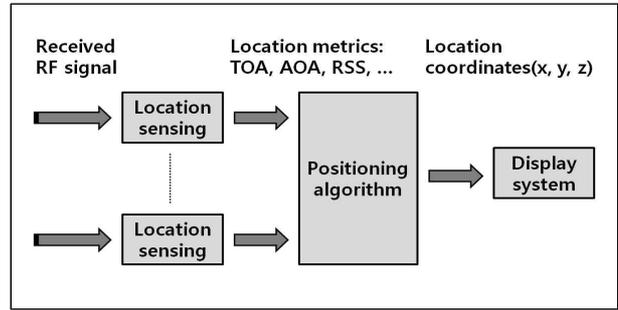


그림 1. 실내 측위 시스템의 구조

Fig. 1. The structure of indoor positioning system.

데이터베이스에 저장한 후, 이동 객체에서 입력된 위치 데이터 값과 비교하여 위치를 추정한다[3].

핑거프린트 방식은 환경 정보 데이터베이스를 구축하는 오프라인 훈련(training) 단계와 온라인 측위(positioning) 단계로 나누어 수행된다. 훈련 단계에서는 추정을 위한 셀에서 위치 측정 정확도가 낮은 지점을 참조 위치(RP; reference point)로 설정하고, 측정할 수 있는 모든 AP들로 부터 RSSI 값과 노이즈 등의 환경정보와 함께 측정 위치를 데이터베이스에 저장한다. 이 과정을 모든 참조 위치에서 정보를 얻을 때까지 반복 수행한다 [4].

위치 추정을 수행하는 측위 단계에서는 훈련 단계에서 작성한 데이터베이스 검색을 통해 최적의 위치 값을 추출하여 위치 정보를 제공한다. 다른 측위 방식들과 달리 주위의 환경정보를 추정에 사용하므로 정확한 위치 값을 제공할 수 있는 장점이 있다. 그러나 많은 참조 위치를 유지하면 높은 정확도는 얻을 수 있지만 연산 비용이 커지고, 다수의 참조 위치를 구축하고 유지하는데 문제가 있으며, 모든 참조 지점에서 다양한 전파 특성 값을 추출하는 과정의 번거로움과 환경이 변화할 때마다 재훈련 과정을 수행해야 하는 어려움이 있다.

2-2 거리를 이용한 방법

GPS에서 사용된 측위 기법인 TOA (time of arrival)[5],[6]는 거리를 이용하는 대표적인 방법이다. 보통의 경우 측위 대상과 신호원의 거리를 측정하고 측정된 신호원 당 거리가 3 개 이상이면 삼각측량 등의 위치결정기법을 이용하여 측위대상의 위치를 구하는 방법이다.

1) 전파 도달시간을 이용한 위치 인식

TOA (time of arrival)[5],[6] 측위 방식은 AP 간의 전파 전달 시간을 측정하여 거리를 구하는 방식이다. 이러한 원리는 그림 2와 같이 여러 측정값으로 각 AP를 중심으로 한 원들이 생기게 되고, 찾고자 하는 단말기의 위치는 이 원들의 교점에 위치하게 된다. 이 때 수신된 신호의 전송시간을 측정하고 이를 이용하여 거리를 구한 다음 삼각측량 등의 기법을 이용하여 위치를 결정한다.

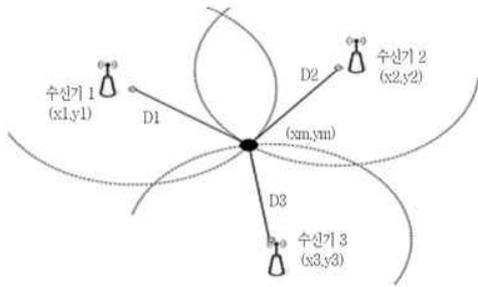


그림 2. TOA 측위 알고리즘 원리
 Fig. 2. The principle of TOA positioning algorithm.

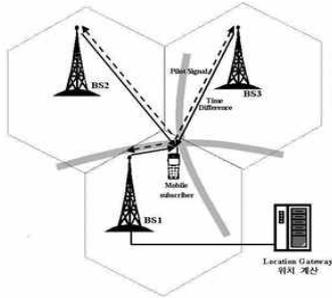


그림 3. TDOA 측위 알고리즘 원리
 Fig. 3. The principle of TDOA positioning algorithm.

기본적으로 TOA는 기지국과 수신기가 모두 정확하게 동기화 되어야 하고 기지국에서 수신기로부터 신호가 언제 출발했는지를 알기 위해 시각표시 (time-stamped)를 해야 한다. TOA 방식을 이용한 측위 시스템에서는 단말기의 위치를 구하기 위해서 4 개 이상의 기지국에 대한 위치와 각 기지국까지의 거리를 알아야 한다. 만약 고도를 고정시킨 상태에서라면 최소 3개의 기지국 위치가 필요하다.

2) 전파 도달시간 차를 이용한 위치 인식

TDOA (time difference of arrival)[5],[6] 측위 방식은 서로 다른 곳에서 송신한 신호의 도달 시간차를 이용하여 위치를 결정한다. 두 기지국 사이의 거리 차에 비례하는 전파 도달 시간차가 측정되고, 두 기지국에서 거리 차가 일정한 곳, 즉, 두 기지국을 초점으로 하는 쌍곡선 위에 찾고자 하는 단말기가 위치하게 된다. 3개의 기지국으로부터 2개의 쌍곡선을 얻을 수 있고, 이 두 쌍곡선의 교점이 단말기의 위치가 된다. TDOA의 측정은 일반적으로 상호 상관 방법을 사용한다. TDOA 방식은 절대적인 시각 정보를 측정하는 것이 아니라 수신된 시간차만을 측정하게 되므로 TOA 보다 구현하기 쉽다.

3) 도래각을 이용한 방법

AOA (angle of arrival)[5],[6] 측위 방식은 수신되는 신호의 각도를 측정하여 위치를 추정하는 대표적인 방법이다. 위치를 추정하기 위해서는 최소 2개 이상의 방향각(LOB; line of bearing)들이 필요하고 이들을 교차시킴으로써 위치 추정이 가

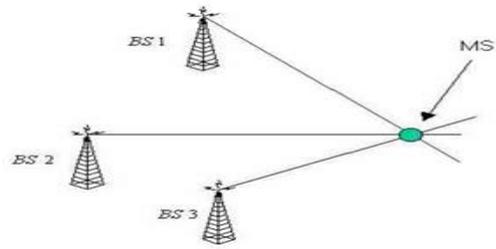


그림 4. 도래각을 이용한 DF(direction finding) 시스템
 Fig. 4. The DF system using angle of arrival.

능하다. 그러나 2개의 방향각만 가지고는 구하지 못하는 경우가 생기므로 실제 시스템에서는 3개 이상의 방향각을 이용하게 된다.

도시지역에서와 같이 음영 환경에서는 실제의 LOS (line of sight) 신호의 경로가 다중경로 성분에 의해서 방해될 수 있다. 이러한 경우 가장 신호의 세기가 센 다중경로 성분 방향으로 결정이 되므로 그에 따른 위치측정 오차가 발생한다. 이동체와 기지국의 거리가 멀어질수록 AOA의 오차는 측위에서 결정적인 오차 요인으로 작용하며 심지어 LOS 신호 성분이 존재하더라도 다중 경로에 의해서 DF 방법의 정확도를 크게 감소시킨다.

4) 전파 위상을 이용한 방법

RSSI (received signal strength indicator)[5],[6] 측위 방식은 수신 신호의 세기를 측정하여 거리에 따른 경로 손실을 고려한 전파모델을 이용하여 거리를 추정하는 방법이다. 신호의 경로 손실 L과 거리 d와의 관계는 Friis의 공식(1)에 의해 설명된다.

RSSI를 사용한 위치 추정의 정확성은 RSSI 측정의 정확성과 실제 환경에 따라 달라진다. 예를 들면, 센서 노드 및 AP의 안테나 방향성, 송신기와 수신기 사이에 존재하는 장애물(벽, 기둥, 가구, 사람 등), 사무실의 칸막이나 벽의 재질은 신호의 경로 손실에 커다란 영향을 미친다. 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.

$$P_R = G_T G_R P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \tag{1}$$

- P_R : 단말기 전력, P_T : AP 전력,
- G_R : 단말기 전력이득, G_T : AP 전력이득,
- λ : 파장, d : 기기간의 거리

III. Wi-Fi 기반 실내 측위 시스템

3-1 RSSI 신호 특성 분석

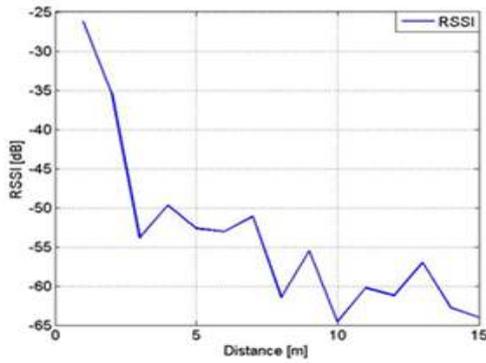


그림 5. 실내에서 거리에 따른 RSSI 변화
 Fig. 5. RSSI changes according to the distance from indoor.

무선 채널 환경에서 송신된 전파는 반사, 산란, 회절, 멀티패스 등 물리적 현상을 거치며 수신되기 때문에 수신 신호의 세기는 시간에 따라 변동하는 특징을 가지고 있다. 위와 같은 특성 때문에 무선랜의 신호세기를 실내 위치결정에 적용하기 위해서는 우선 신호세기와 거리 사이의 일정한 관계가 보장되어야 한다[7].

무선랜의 신호세기를 측정하면 동일한 위치에서도 RSSI가 계속 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이는 무선 신호가 전송되면서 여러 잡음에 노출되어 신호 세기가 변화하기 때문이다. 그래서 이 값들을 이용하기 위해서는 측정된 RSSI가 어떠한 분포를 가지는지 확인할 필요가 있다. AP에서 단말기로 송신된 신호가 직접 닿는 가시신호일 경우와 송신된 신호가 닿지 않는 비가시신호(NLOS; non-line of sight)인 경우의 RSSI 분포를 실험을 통해 확인한 결과 LOS/NLOS 환경에 상관없이 가우시안 분포도가 나오는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 실내에서 거리에 따른 RSSI의 변화를 나타낸다. 그림에서 무선랜의 전파 신호세기는 전파가 전달된 거리에 반비례하는 것을 확인할 수 있다. 일정한 패턴을 가지며 감소하는 것이 아니라 불규칙한 감소량을 보인다. 이는 AP에서 방출한 신호가 건물 벽이나 다른 전자 장비의 신호 및 기타 환경 요인으로 인해 반사 및 회절 등의 변화로 오차가 발생하는 것으로 보인다. 이처럼 건물 내 여러 환경 요인들로 인해 AP로부터 방출하는 신호가 도달하는 최대 거리는 확 트인 공간에 비해 짧을 수밖에 없다.

3-2 환경요인에 따른 RSSI 변화 분석

신호는 주위 환경이나 다양한 장애물로 인해 감소 및 회절, 반사 등으로 변화한다. 이에 따라 RSSI도 변화하게 된다. 그렇기 때문에, 각 장애물에 대한 RSSI 변화량 분석이 필요하다. 각각의 환경 요인들에 대해 RSSI가 어떻게 변화하는지 확인하기 위해 AP와 단말기의 거리는 2 m로 고정하고 그 중간점인 1 m의 거리에 장애물을 배치하여 측정하였다.

표 1. 동적 장애물에 따른 신호 감소량

Table 1. Signal reduction of the dynamic obstacle.

	existence	nonexistence	error (dB)
human	-44.237	-44.919	0.682

표 2. 정적 장애물에 따른 신호 감소량

Table 2. Signal reduction of the static obstacle.

	existence	nonexistence	error (dB)
concrete wall	-50.532	-42.315	8.217
fake wall	-48.669	-42.928	5.741
iron door	-52.349	-43.137	9.212
double wall	-67.942	-31.137	36.805
between floors	-78.282	-42.211	36.071

표 3. 환경 요인에 따른 RSSI 측정 표준편차 비교

Table 3. RSSI measurement standard deviation.

	office	corridor	error (dB)
standard deviation	1.722	1.778	0.056

표 1~표 3의 여러 요인들을 분석한 결과 표 2와 같이 실내에서 RSSI에 가장 큰 영향을 끼치는 요인은 AP와 단말기 사이에 벽의 존재 유무로 볼 수 있다. 이는 실험에서 사용하는 주파수인 802.11b/g/n의 주파수 대역이 벽과 같은 장애물을 만나 반사 및 회절 등의 변화를 거치며 신호의 세기가 떨어지는 것으로 볼 수 있다[8].

3-3 경로손실모델 분석

무선랜의 신호세기를 거리 정보로 환산하기 위해서는 경로 손실 모델이 필요하다. 이상적인 환경에서 신호의 도달범위는 원의 형태인 등방성 방사패턴을 나타낸다. 그러나 다양한 환경 요인(장애물)에 의해 신호의 형태가 변화하게 된다. 때문에 다양한 환경 요인으로부터 오차를 줄이기 위한 최적의 경로손실 모델이 필요하다.

일반적으로 도심지역에서는 COST Action 231이 개정된 Hata 모델을 기반으로 경로손실모델을 정의하고 있다[9]. 그러나 환경적인 요인에 따라 다양하게 변화하는 신호의 특성을 고려하기 위해선 실험을 통해 적절한 환경변수(경로손실지수)를 측정하는 것이 중요하다.

그림 6은 환경변수의 변화에 따라 경로 손실 모델을 이용하여 정한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 측정된 RSSI 값을 경로 손실 모델을 통해 거리(m) 값으로 변환한 결과 $n=3.5$ 일 경우가 실제 거리와 가장 비슷한 결과를 보이고 있다.

그림 7은 그림 6과 같은 환경에서 실험하여 환경 변수에 따른 경로 추정 거리를 나타낸다. 대체적으로 10 m 이내에서는 $n=3.5$ 일 경우에 실제 거리와 비슷한 결과가 나오고, 10 m 이후에서는 $n=3$ 일 경우에 비교적 정확한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그리고 중요한 특성으로 가시신호 환경에서 측정할 결

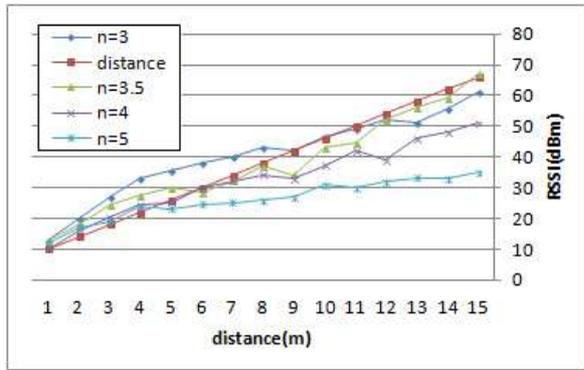


그림 6. 환경변수 변화에 따른 경로손실모델
 Fig. 6. Path loss model according to environment factor changes.

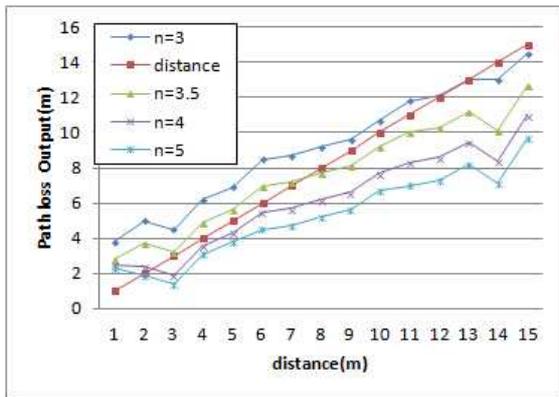


그림 7. 환경변수 변화에 따른 경로추정거리
 Fig. 7. Estimated distance of the environment variable changes.

과와 비가시신호 환경에서 측정된 결과가 10 m를 넘어가면서 비슷한 RSSI를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 단말기와 AP 사이에 벽, 철문 등의 환경적 요소의 영향을 많이 받지만, 거리가 멀어짐에 따라서 가시신호 환경과 비가시신호 환경 모두 다중 경로 신호를 받게 된다. 결과적으로 단말기와 AP 사이에 어떠한 환경적인 요인이 있다고 하더라도 거리가 멀어지면 환경적인 요소의 영향은 줄어들게 된다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 하이브리드 측위 알고리즘

4-1 환경오차 보정 알고리즘

기존 RSSI 기반 시스템은 RSSI의 불균등한 신호 품질로 인해 신뢰성이 낮은 결과를 얻게 되는 문제점이 있다. RSSI를 측위에 이용하기 위해서는 신호 품질에 대한 신뢰성을 높일 수 있는 기법에 대한 연구가 필요하다.

1) 이상신호 오차 보정 알고리즘

정확한 위치추정을 유지하기 위해서는 이상신호에 강인한

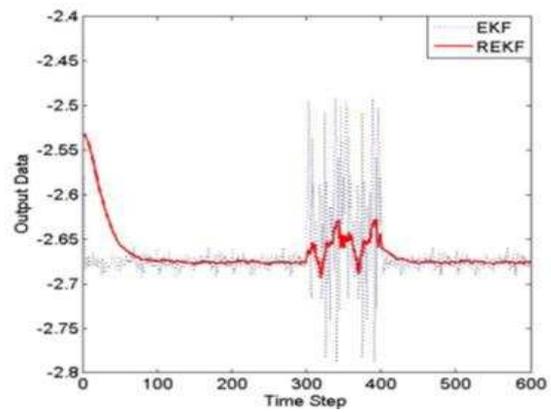


그림 8. EKF와 REKF의 출력 데이터 비교
 Fig. 8. output data compared to EKF and REKF.

측정 데이터를 얻어야 한다. 실시간으로 데이터를 측정할 때, 잡음에 강인한 성능을 가지는 데이터를 얻기 위해서는 원신호로부터 발생하는 잡음이 가지는 범위를 벗어나는 이상 잡음이나 일시적인 측정 실패 또는 예기치 못한 환경적인 요인으로 인해 발생하는 잡음 등에서도 원하는 측위 데이터를 얻을 수 있어야 한다[10].

본 논문에서는 원신호로부터 발생하는 잡음이 가지는 범위를 벗어나는 이상잡음을 무시할 수 있는 REKF를 사용한다. 이상잡음에 강인한 칼만 필터는, 실시간으로 측정하는 시스템에서 측정값에 대한 가중치를 적용하여 이상 잡음의 영향을 최대한 무시할 수 있다.

그림 8은 EKF와 REKF의 출력 데이터를 나타낸다. 그림에서 약 300에서 400까지의 구간에서 EKF에서는 이상 오차(outlier)가 발생한 것을 볼 수 있다. 이 구간의 이상 신호에서 REKF의 출력을 보면 이상 오차가 크게 완화됨을 볼 수 있다.

2) 적응형 환경변수를 고려한 경로손실모델

수신된 전파세기는 경로손실모델을 통해 거리로 환산된다. 경로손실모델의 경로손실지수(n)는 환경적 변화지수로 주변의 환경적 요인에 따라 달라진다. 단말기와 AP와의 LOS/NLOS 상황을 판별하여 각 AP 마다 경로손실지수를 다르게 적용시킬 수 있다. RSSI는 송수신기 간의 거리의 n 승에 반비례하여 변화하게 된다. n 값은 송수신기 간의 환경에 따라 2~6까지 변화하는 값을 나타내게 되는데 복수의 AP로 부터의 RSSI를 다양한 n 값을 사용하여 거리로 변환하는 경우 좀 더 정확한 측위 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다. LOS/NLOS에 대한 구분은 단말기와 AP가 같은 공간 내에 있으면 LOS 환경으로, AP와 단말기가 다른 공간 내에 있으면 NLOS 환경으로 가정하고 LOS와 NLOS에서 경로손실지수를 측정해 본 결과 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

동적으로 움직이는 단말기의 LOS/NLOS를 완벽하게 판별할 수 없기 때문에, 반복 실험을 통해서 환경에 따른 임계값(threshold)을 미리 정하고 이 값을 기준으로 하여 LOS/NLOS를

표 4. LOS/NLOS의 경로손실지수

Table 4. Path loss exponent of LOS/NLOS.

	LOS	NLOS
path loss exponent(n)	3.5	4.0

구분한다. 임계값 보다 작을 경우 LOS 경로손실지수를 사용하고, 임계값 보다 클 경우에는 NLOS 경로손실지수를 사용한다. 수신 신호 환경에 따른 성능을 알아보기 위해 다음과 같은 파라미터를 사용하였다. 단말기와 AP가 LOS 상황일 때 경로손실지수 3.5를 적용하였고 NLOS 상황일 때는 4를 적용하였다. 실험 결과 제안한 경로손실모델의 정확도가 기존의 수신 환경을 고려하지 않은 경로손실모델에 비해 정확도가 높은 것을 확인할 수 있었다.

3) 보정알고리즘 성능 평가

AP와 단말기의 거리는 경로손실모델에 의해 결정된다. 2차원의 공간에서 거리는 최소 3개의 이상의 AP로부터 신호 수신을 받을 수 있을 경우에 결정 될 수 있다. 일반적인 측위 시스템은 불규칙한 환경오차의 영향으로 인해 단말기의 위치를 추정하는데 무리가 따른다. 실제 측위 시스템에서 RSSI 신호를 이용하기 위해서는 누적한 관측 데이터에 위치를 추정을 위한 필터 측위 알고리즘을 통해 이를 해결한다. 환경오차 보정을 통한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 이상 잡음에 대한 환경적 영향을 고려한 REKF, 비선형 데이터가 연속 측위에 있어 강력한 성능을 나타내는 PF, 각각의 실험 결과를 비교 분석 한다.

Objective-C로 환경오차 보정 전/후를 비교할 수 있는 시스템을 구현하였다. 실험은 실내 주차장에서 진행하였고, 장비는 iPhone을 사용하였다. AP는 8개를 설치하고 9개의 측정 위치를 정하고 각 위치에서 초당 1회씩 1,000회의 데이터를 측정하였다. 그림 9는 측정 장소의 단면도와 AP의 위치를 나타낸다.

보다 더 정확한 측위 성능을 비교하기 위해 표 5에서 각각의 측정 위치에 따른 평균 거리 오차를 비교하였다. 수집된 데이터를 비교해본 결과 표 5와 같이 PF의 성능이 상대적으로 우수함을 알 수 있었다. 그러나 AP와 상대적으로 거리가 먼 측정위치 1, 2, 3 의 경우는 KF의 성능이 더 우수하거나 상대적인 오차가 작음을 확인할 수 있다.

RSSI 신호세기에 따른 알고리즘의 성능 평가를 위해, AP에서 거리가 가까워 신호세기가 강한 위치 9와 상대적으로 거리가 먼 위치 3에서 약 1,000회의 실험데이터를 수집하였다.

실험결과 표 6과 같이, AP에서 가까운 측정위치의 경우에는 PF의 성능이 상당히 우수하게 나타나고 AP와 단말기의 거리가 멀어진 경우에는 오히려 REKF의 성능이 우수해지는 비정규분포의 오차를 나타낸다. 이러한 신호의 특성과 환경적 요인을 휴리스틱 기법으로 분석을 해본 결과 AP에서 상대적으로 거리가 멀어진 측정 위치의 경우에는 표 6과 같이 PF와 같은 필터를 통해 얻어진 x, y 위치의 평균값을 사용하였을 때 대체적으로 실제 측정 위치에 더 가까운 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 경로손실모델의 LOS/NLOS의 오차 패턴과도 유사한

표 5. 각 위치 별 REKF / PF 평균 오차

Table 5. REKF/PF average error at each location.

location	an average error (m)			
	REKF correction		PF correction	
	before	after	berfore	after
1	3.88	3.38	2.82	2.69
2	2.10	1.43	2.81	2.19
3	2.71	2.51	3.66	2.90
4	3.93	2.92	2.10	1.96
5	3.42	2.46	2.45	2.28
6	3.29	2.92	2.29	2.32
7	5.28	4.62	1.90	1.88
8	3.51	3.46	3.28	2.91
9	3.44	3.00	1.73	1.52
measurement count : 1,000				

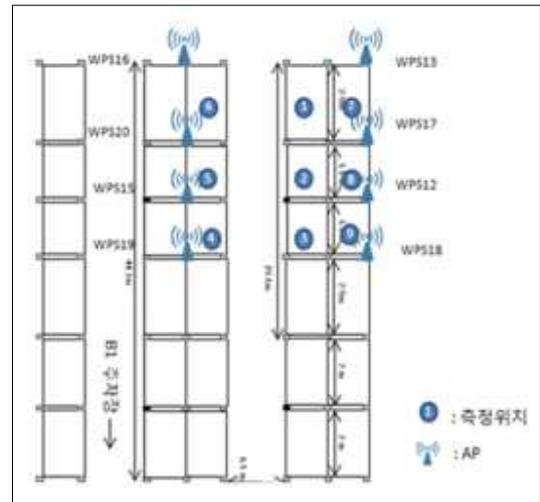


그림 9. 보정 알고리즘 성능 평가 실험 환경

Fig. 9. Performance evaluation experiment environment of correction algorithm.

표 6. 알고리즘에 따른 평균오차 비교

Table 6. Comparison of the average error between algorithms.

	REKF	PF	REKF/PF average
far from AP	2.51	2.90	2.18
near from AP	3.00	1.52	2.42

패턴을 가지고 있기 때문에 경로손실모델의 임계 값을 기준으로 AP와의 관계를 가정하고 실험을 진행하였다.

4-2 실내 측위 하이브리드 알고리즘

AP와 단말기의 거리는 경로 손실 모델에 의해 결정된다. RSSI 기반 측위의 경우 가시신호 환경에서는 어느 정도 신뢰성이 높은 측위 결과를 보여주지만, 매 순간 측정 시 RSSI의 불규칙한 큰 폭의 변화, 단말기의 성능 등의 문제로 인해 측위 알고리즘으로 단말기의 위치를 추정하기엔 무리가 있다. 반면에 현재까지 관측 받은 데이터를 누적하여 추정하는 필터 기법을 이용하여 환경적 요인에 의한 오차를 최소화 시킬 수 있다.

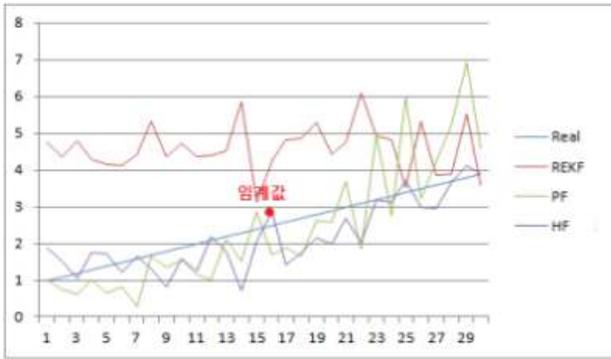


그림 10. 경험적 임계값에 따른 오차 패턴 분석
 Fig. 10. Error path analysis of experimental threshold.

```

Initialization
Ki = GetRobustKalmanFilter(AP_Information, Effective_RSSI, Tolerance_Ratio);
Pi = GetParticleFilter(AP_Information, Effective_RSSI, Tolerance_Ratio);

IF Algorithm_Selection(AP_information, Effective_RSSI, Min_APCount,
Tolerance_Ratio)
    Ni = Pi
ELSE
    Ni = { (PiX + KiX) / 2, (PiY + KiY) / 2 }
END IF

SetDisplayPosition(Ni)
    
```

그림 11. 하이브리드 알고리즘
 Fig. 11. Hybrid algorithm.

실제 RSSI 측위 시스템을 이용하기 위해서는 이러한 불규칙한 환경에서의 측위 성능을 높일 수 있는 필터 기법이 필요하다. 앞서 실험결과 RSSI 실내 측위에서 중요한 부분은 이상잡음에 대한문제점과 LOS/NLOS 환경에 따른 RSSI의 불규칙성의 고려이다[11].

본 논문에서는 이에 대한 해결 방안으로 이상 잡음을 고려한 EKF와 환경 적응형 경로손실모델을 사용한다.

그림 11은 임계 값에 의한 오차 패턴을 분석한 결과이다. 그림에서 보여지는바와 같이 임계 값을 기준으로 이전 영역에서는 다소 적은 오차로 PF의 성능이 우수하다. 그러나 임계값 보다 높은 영역에서는 대체로 제안한 하이브리드 알고리즘(HF)을 통한 결과치가 실제의 값과 근사한 것을 알 수 있다.

먼저 PF는 초기 위치를 알지 못하면 적용하기 어려운 단점이 존재한다. 그래서 PF를 사용하기 전에 초기 위치를 찾을 수 있는 측위 알고리즘이 필요하다. 이상 잡음의 영향을 무시할 수 있는 REKF에서 초기좌표를 얻어 PF의 초기좌표로 사용한다. 그리고 실험에서 얻은 결과와 같이 환경적 요인에 따른 변수(계산에 사용된 AP 수, 수신신호 강도)를 기준으로 하여 PF와 하이브리드 알고리즘을 선택하도록 한다.

실제 실험결과 제안한 방법이 기존의 방식에 비해 더 나은 성능을 보여주었다. 실험에서 얻어진 데이터를 그림 11과 같이

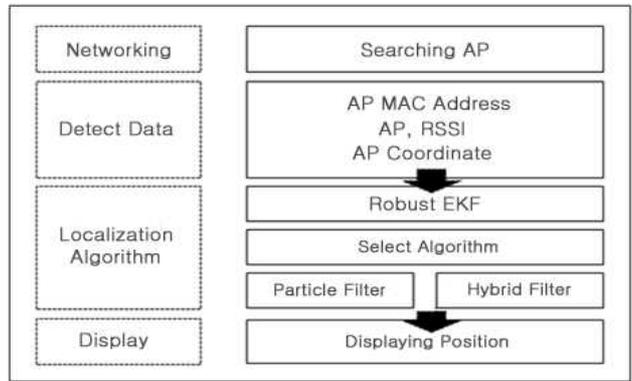


그림 12. 측위 알고리즘 선택 프로세스
 Fig. 12. Selection process of positioning algorithm.

경험적으로 분석해본 결과 일정 영역의 실내에서의 측위는 AP와의 거리에 따른 특정 임계값을 기준으로 임계값 보다 작은 RSSI 신호 결과를 수신하는 경우엔 PF의 성능이, 임계값 보다 높은 영역의 RSSI 신호의 경우엔 REKF와 PF의 측위 평균값을 사용하였을 때 실제 측위 위치와 유사한 결과를 얻어냄을 알 수 있었다. 이 실험 결과에 따라 본 논문에서는 신호 패턴에 따라 효율적인 측정 결과를 얻어낼 수 있는 그림 11의 하이브리드 측위 알고리즘을 제안한다.

실험에서 얻어진 경험적인 데이터 분석결과 임계값 이내에 유효 RSSI가 속할 경우는 PF, 임계값 보다 클 경우는 PF와 REKF의 위치 (x,y)에 대한 평균값이 실제 측위 위치에 근접함을 실험을 통해 알 수 있었다. 그에 따라 임계값을 벗어나는 경우 두 필터에서 얻어진 결과의 평균값을 사용한다.

먼저 초기화 단계를 거치고 REKF와 PF 알고리즘을 각각 구동하여 결과 값 K_t, P_t를 얻는다. PF에서는 최초 수행된 REKF에서 얻어진 값 K_t를 초기 값으로 설정하고 이후 정의된 선택 알고리즘을 수행하여 환경 임계값을 비교하고, 해당 조건에 따라 N_t에 P_t를 사용할 지 아니면 하이브리드 알고리즘의 REKF와 PF의 평균치를 사용할지를 결정한다.

단말기에서 수행되는 측위 알고리즘의 순서는 그림 13과 같이 간략하게 나타낼 수 있다. 실행과정은 먼저 단말기에서 주변의 AP정보를 검색하고 AP의 정보를 수신하여 각각의 AP의 MAC 주소와 평면상의 AP의 위치좌표를 설정한다. 그리고 실험을 통해 얻어진 환경 요인에 따른 변수들을 설정한다. 이렇게 설정된 데이터를 기준으로 REKF를 통과하여 단말기의 초기 위치를 결정하게 된다. 이 때 초기좌표를 설정하는 과정에 있어 필터 알고리즘의 특성상 반복 되는 필터링 과정이 필요하기 때문에 약 3초의 초기화 시간을 둔다. 그리고 오프라인 실험에서 얻어진 환경 파라미터(임계값)를 통해 측위를 위한 알고리즘을 선택하게 되고 위치 값이 결정 되면 단말기 화면에 위치를 보여 준다.

그림 13은 측위 수행 명령이 내려진 이후 단말기에서 수행되는 작업들에 대한 순서도이다.

먼저 단말기에서 측위가 시작 되면 주변의 AP를 검색하고,

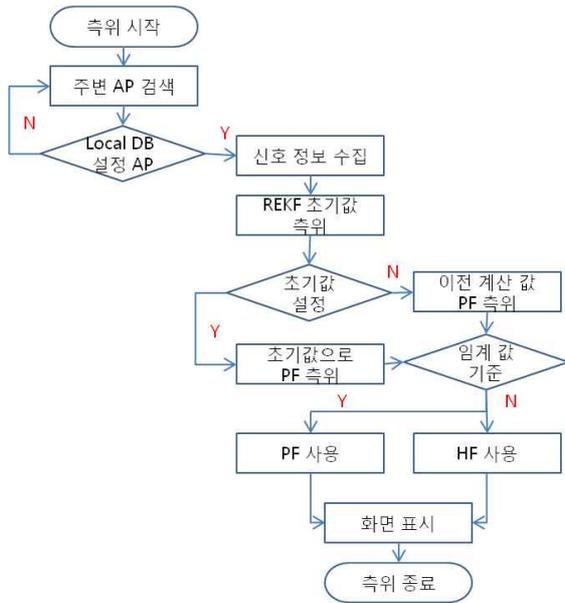


그림 13. 측위 알고리즘 선택 상세 순서도
 Fig. 13. Detailed selection flowchart of positioning algorithm.

검색된 AP 중 로컬에 설정된 MAC 정보가 존재하는지 확인하고, 설정된 AP들로부터 RSSI를 수집한다. 수집된 정보를 가지고 잡음을 제거한 REKF를 이용하여 초기 값을 정한다. 최초 초기 값을 설정하였을 경우 초기 값으로 PF를 수행하고 아닐 경우엔 이전 단계에서 얻어진 추정 값을 가지고 REKF와 PF를 수행한다. 그리고 로컬 데이터베이스 상에 설정된 사전 오프라인 실험을 통해 얻어진 임계값을 기준으로 임계값 보다 작을 경우 PF를 임계값 보다 클 경우에는 하이브리드 필터 알고리즘(HF)을 수행한다. 수행 결과를 화면에 표시하고 다시 REKF 측위 과정으로 돌아가 이 과정들을 반복 수행한다.

RSSI를 경로 손실 모델을 통하여 거리(d)를 추정할 때 건물 내의 장애물과 구조물로 인해 가장 영향을 끼치는 요인이 경로 손실지수(n)이다. 각각의 AP와 단말기 간의 거리를 예러가 최소가 되도록 추정하기 위해서는 각 환경에 맞는 환경 변수를 적용하여야 한다. 또한 그래서 AP와 단말기 간의 LOS/NLOS에 따라 각 AP 마다 환경 변수를 다르게 적용시킬 수 있다.

RSSI는 송, 수신 거리의 n 승에 반비례하여 변화하게 된다. 그러므로 복수의 AP로부터 얻어지는 RSSI에 다양한 n 값을 사용하여 거리로 변환하는 경우 좀더 정확한 측위 데이터를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

4-3 하이브리드 필터 알고리즘 성능 평가

제한한 알고리즘에 대한 성능 평가를 위해 사무실을 실험 장소로 정하고 AP를 설치하였다. 먼저 실험 장소에 AP를 위치시키고 고정 측위 기준점을 정했을 경우 그리고 사전에 움직일 동선을 정하고 실시간으로 위치를 트래킹하여 단말기의 실시간 이동 경로를 측정하였다. 측정된 위치는 단말기 로컬 데이터

표 7. 실험에 사용된 환경 설정 값
 Table 7. Environment value used in the experiment.

	environment value
path loss exponent	3.5
base threshold value	-37
status noise	1
measurement noise	1
base AP quantity	3
particle quantity	2,000

베이스에 수집하여 실제 위치와 측위 위치를 비교하였다. 테스트를 위해 PF, REKF, HF 세 가지 측정모드를 동시에 지원할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 그리고 각각의 실험에 사용되는 환경변수들을 동적으로 설정할 수 있도록 하며 각각의 AP 이름, MAC 주소, 환경변수 등을 설정할 수 있다. 프로그램은 사전에 설정된 기준 AP에서 RSSI 신호를 수신하여 화면에 결과를 표시하고 로컬 데이터베이스에 저장한다. 해당 실험에 사용된 환경 설정 값은 다음과 같다.

실험에 사용된 환경설정 값은 표 7과 같다. 경로손실지수는 경로손실모델의 환경 복잡도를 의미하고 기준 신호 임계값은 사전 오프라인에서 얻어진 선택 알고리즘을 위한 기준이 되는 값이다. 그리고 상태 잡음과 측정 잡음은 KF, REKF에서 사용되는 연산 변수이다. 그리고 기준 AP 수는 좌표 측위를 위해 최소 수선되어야 하는 유효 AP의 개수이다. 단위 픽셀은 수신된 좌표를 화면에 표시하기 위해 실제 거리에서 화면과의 축척 비율에 따라서 변환 표시하기 위해 사용되는 값이다. 파티클 수는 PF에 사용되는 파티클 수다.

1) 실내 고정 측위 성능 분석

실제 실내 측위와 가장 유사한 환경을 가진 사무실을 실험 공간으로 지정하고, 지하주차장 실험과 같은 방식으로 실험을 진행하였다. AP는 그림 14와 같이 6개를 설치하였고 각각의 공간은 이중 판넬로 된 벽이 존재한다. 이 공간에 4개의 측위 지점을 지정하고 각각의 위치에서 1,000회의 실험 데이터를 수집하였다. 측정 결과는 표 8과 같다.

각각의 측정위치에서 실험 데이터를 얻은 결과 측정위치 1에서는 상대적으로 제한한 알고리즘의 결과 값이 PF에 비해 낮게 나타났다. 이는 오프라인에서 사전에 수행되는 임계값이 실내 주차장 환경에서 얻어진 값을 사용했기 때문이라 판단된다. 임계값에 따라 알고리즘의 선택이 달라지기 때문에 제한한

표 8. 알고리즘 별 RMSE 측정 결과
 Table 8. Measured RMSE results for each algorithm.

measurement location	PF RMSE(m)	KF RMSE(m)	HF RMSE(m)
1	1.31	3.11	1.92
2	3.92	5.67	3.18
3	1.66	2.71	1.53
4	2.71	3.24	2.14



그림 14. 사무실 단면도 및 측위 지점
Fig. 14. Cross-sectional diagram and positioning point.

하이브리드 알고리즘에서는 사전에 설정된 임계값이 중요하다. 측위위치 2의 경우 실제로 중간에 관벨이 존재하여 측정 오차가 매우 크다는 문제가 있었으나, 제안한 하이브리드 알고리즘을 사용하였을 경우 상대적으로 오차 폭을 크게 줄여 효과적임을 확인할 수 있었다. 실험 결과 RMSE(root mean square error)는 2.11m를 나타냈다. 하이브리드 알고리즘을 사용하였을 경우 실제 오차의 범위가 약 17.1% 정도의 성능 향상 효과를 확인할 수 있었다.

2) 실내 이동 측위 성능 분석

사무실에서 일정한 경로를 이동 경로로 설정하고, 그림 15와 같이 단말기를 들고 이동경로를 따라 이동하며 측위한 내용을 로컬 데이터베이스에 저장하고 실제 경로와 비교하였다. 실제 경로는 실선으로 표시하였고, 로컬 데이터베이스를 통해 얻어진 이동 트래킹 정보는 점선으로 표시를 하였다.

실험결과 트래킹 경로가 거의 유사하게 따라 감을 확인할 수 있었다. 그러나 오차가 크게 발생하는 영역이 있었는데, 이 부분은 AP와 큰 오차가 발생하는 영역 사이에 이중 관벨 벽이 존재하고 있어서 그런 것으로 판단된다. 실험에서 확인 했듯이 RSSI 신호를 이용한 측위에서 가장 크게 영향을 끼치는 장애물은 벽에 의한 신호의 반사, 회절 현상임을 알 수 있었다.



그림 15. 사무실 실시간 이동 측위 결과
Fig. 15. Mobile positioning result at office.

V. 결 론

본 논문에서 연구한 REKF와 PF를 결합하여 사용한 하이브리드 시스템은 실내 또는 실외의 음영지역과 같은 GPS 신호 수신에 양호하지 않은 지역에서 단독으로 하나의 필터 알고리즘으로 추정된 결과보다 신뢰성 있는 위치정보를 사용자에게 제공할 수 있다.

기본적으로 REKF와 PF의 추정 값을 구하고, 사전에 미리 분석한 RSSI 기준 임계값에 도달하였을 경우 자동적으로 하이브리드 알고리즘의 결과를 위치 추정 정보로 사용하도록 하였다.

실내에서의 측위 성능을 높이기 위해서는 RSSI에 대한 분석과 특성 파악이 중요하다. 본 논문에서는 다양한 환경에서 RSSI 측정 테스트를 실시하여 RSSI의 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 최적의 경로 손실 모델을 결정하였다. 또한 무선 단말기가 이동하는 경로를 추정 할 수 있는 결합 알고리즘을 연구하였다.

본 논문은 스마트폰을 이용하여 Wi-Fi 기반의 위치 시스템의 기존의 단일 측위 알고리즘 보다 더 나은 성능을 보여줌을 확인하였다. RSSI의 환경적 특성과 AP의 위치를 사전에 알고 있어야 한다는 단점이 존재하지만 기존의 핑거 프린트 방식과는 달리 위치정보 데이터베이스를 구축할 필요가 없어져서 인프라 구축이 용이함을 실험적으로 확인할 수 있었다.

그러나, 최적의 결과를 얻기 위해 필요한 유효 신호 임계값과 LOS/NLOS의 결정이 사전 오프라인 실험으로 얻어진 값에 의해 결정되기 때문에 시스템이 적용될 영역의 환경이 매우 크게 변화되었을 경우 결과 데이터의 오차가 늘어날 수 있는 문제점이 있다. 향후 이러한 부분을 개선하기 위하여 지능형 LOS/NLOS 판단 알고리즘 등을 구성하여 환경에 적응할 수 있는 동적 환경 설정 값을 연산 할 수 있다면 사전 AP 위치 조사만으로 시스템을 구성할 수 있어 매우 이로운 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] V. Patmanathan, Area localization using WLAN, Electrical Engineering, Master of Science Thesis Stockholm, Sweden, SE, 2006.
 [2] J. Hightower and G. Borriello, "Location system for ubiquitous computing," *IEEE Computer Society*, Vol. 34, No. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.

- [3] A. Ward, A. Jones and A. Hopper, "A new location technique for the active office," *IEEE Personal Communication* Vol. 4, No. 5, pp. 42-47, Oct. 1997.
- [4] M. Brunato and K. Csaba, "Transparent location fingerprinting for wireless services," in *Proceedings of Med-Hoc-Net, Mediterranean Workshop on Ad-hoc Networks*, Baia Chia: Cagliari, pp. 2-3, 2002.
- [5] N. Patwari, J. Ash, N. Joshua, S. Kyperountas, A. O. Hero, R. L. Moses and N. S. Correal, "Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.22, No.4, pp. 54-69, Jul. 2005.
- [6] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.22, No.4, pp. 41-53, Jul. 2005.
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "Radar: an in-building rf-based user location and tracking system," in *Proceedings of Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Tel Aviv: Israel, Vol. 2, pp. 775-784, 2000.
- [8] T. S. Kim, Wlan-based Indoor Localization with APs as reference points, Ph.D. dissertation, University of Seoul, Korea, 2010.
- [9] Y. Wang and X. Jia, "An indoors wireless positioning system based on wireless local area network infrastructure," in *The 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Service*, Melbourne: Australia, pp. 5-11, Jul, 2003.
- [10] J. Ting, A. D'Souza and S. Schaal, "Automatic outlier detection: a bayesian approach," in *2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Angelicum University Roma: Italy, Vol.10, No.14, pp.2489-2494, Apr. 2007.
- [11] B. Le, K. Ahmed and H. Tsuji, "Mobile location estimator with NLOS mitigation using Kalman filtering," *IEEE Wireless Communications and Networking*, Vol.3, pp.1969-1973, 2003.



신 건 식 (Geon-Sik Shin)

2012년 2월 : 서울과학기술 대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
 ~ 현재 : Dyvis, Technical Support Team Manager
 ※ 관심분야 : SW Engineering, IoT, LBS 등



신 용 현 (Yong-Hyeon Shin)

2004년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
 2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 교수
 ※ 관심분야 : 시스템 소프트웨어, 웹시스템 등