

---

# AP 주변 환경 정보를 이용한 WLAN 기반 실내 위치추정 알고리즘

김미경\* · 신요순\*\* · 박현주\*\*\*

## WLAN-based Indoor Positioning Algorithm Using The Environment Information Surround Access Points

Mikyeong Kim\* · YoSoon Shin\*\* · Hyun-Ju Park\*\*\*

---

본 논문은 2단계 BK21 사업과 한국연구재단(사업번호 : 2010-0010904)의 지원을 받아 수행된 연구임

---

### 요 약

최근 WLAN을 기반으로 하는 실내 위치추정 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 대부분의 WLAN을 기반으로 하는 위치추정 시스템들은 fingerprinting 기법을 사용한다. fingerprinting 기법에서 이동객체의 위치정확도는 참조 점의 수에 비례한다. 하지만 참조 점의 수에 따라 training 단계에서 fingerprint 데이터베이스를 생성하기 위해 많은 시간과 노력을 요구한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해, 본 논문에서는 WLAN 기반 AP들의 주변 환경정보를 이용하여 AP와 이동 객체 간의 거리를 산출하여 위치를 추정하는 새로운 알고리즘을 제안하였으며, 이동 객체의 위치 정확도를 개선하기 위하여 제안 알고리즘에 파티클 필터를 적용하였다. 이 알고리즘을 구현하기 위하여 먼저 AP들의 주변에 존재하는 벽, 철문, 유리문, 파티션 등과 같은 환경 정보 데이터베이스를 구축하였고 위치 추정은 감쇠 모델과 경로 손실 모델을 이용하였다. 제안 알고리즘을 실험을 통하여 확인한 결과 위치 정확도는 낮았지만 fingerprinting의 문제점을 해결하였다.

### ABSTRACT

Recently, There has been increasing concern about WLAN-based indoor positioning system. Most of the existing WLAN-based positioning systems use a fingerprinting method as a main approach. In the fingerprinting approach, the accuracy of the location of a mobile objects is proportional to the number of reference points. However, depending on the increasing number of reference points in the training phase, it requires more time and effort to create fingerprint database. To solve these problems, we propose the new indoor positioning algorithm that calculate the distance between a mobile objects and an AP using the information of surrounding environment WLAN based APs and applied the particle filter to the proposed algorithm in order to improve the accuracy of the estimated location in this paper. To implement this algorithm, at first environmental information database such as wall, iron door, glass door, partition etc. existing in the periphery of the AP should be established. The positioning use attenuation model and path loss model. Our experimental results with proposed algorithm are verified that the positioning accuracy was low but solved the problems with fingerprinting, compared with other positioning algorithms.

### 키워드

위치추정, 파티클, 필터, 알고리즘

### Key word

position estimation, particle, filter, algorithm

---

\* 정회원 : 한밭대학교 (mkkim922@dreamwiz.com)

\*\* 준회원 : 한밭대학교

\*\*\* 정회원 : 한밭대학교

접수일자 : 2011. 01. 20

심사완료일자 : 2011. 02. 10

## I. 서 론

지난 몇 년 동안 실내 이동 객체의 위치를 추정하기 위해 여러 가지 기술들을 기반으로 하는 많은 실내 위치 추정시스템들이 설계되었다. 이들 실내 위치추정 기술들 중에서 무선 랜 네트워크(WLAN : Wireless LAN)를 기반으로 하는 위치 시스템은 인프라 구축을 위한 추가 비용이 필요하지 않으며, 실외와 실내를 연계한 위치추적이 가능하다는 장점 때문에 최근 WLAN 기반 실내 위치 추정시스템들에 대한 관심이 증가하고 있다.

WLAN을 기반으로 하는 대부분의 위치추정 시스템들은 fingerprinting 기법을 사용한다. 그러나 참조 점들의 수의 증가와 한 지점에서 RSSI 샘플 수의 증가는 더 많은 training 시간과 노력을 요구한다. 또한 환경 변화가 심한 실내의 fingerprinting 기법은 환경의 변화가 있을 때마다 retrain 작업이 필요할 뿐만 아니라 이에 따른 전체 fingerprint 데이터베이스를 수정해야 하는 문제점이 있다. WLAN 기반 실내 위치추정 시스템들은 WLAN 신호들이 다중경로와 난청 지역, 노이즈, 간섭 등으로 인해 불규칙한 패턴을 포함하므로 부정확한 위치정보를 제공하게 된다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 본 논문은 AP들의 주변 환경정보를 고려하여 AP와 이동객체 간의 거리를 산출하고 위치를 추정하는 새로운 알고리즘에 파티클 필터를 적용하여 위치정확도를 향상시키는 방법을 제안하고자한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 기존 실내 위치추정 시스템 중 무선랜(WLAN) 기반 시스템에 대해 설명하고 실내 전파 경로 손실모델들에 대해 설명한다. 3장에서는 환경 데이터베이스를 적용한 위치추정 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 파티클 필터와 환경 정보를 이용한 알고리즘에 파티클 필터를 적용한 추정위치 정확도 개선 방법에 대해 설명하고, 마지막으로 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 실내에서 이동 객체와 이동객체들의 위치 정보를 제공하기 위해 설계된 기존 WLAN을 기반으

로 하는 실내 위치인식 서비스, 위치 인식에 적용되는 무선 기술들 그리고 실내 전파 경로 손실모델들에 대해 기술한다.

### 2.1. 무선랜(WLAN)을 이용한 위치 인식 시스템

무선 랜(IEEE 802.11b, Wi-Fi로 명명)은 전파(RF : Radio Frequency) 신호를 기반으로 하는 기법으로 저비용이면서 안정적인 시스템이라는 장점 때문에 최근에 많은 관심을 받고 있는 기술이다[1]. 하지만, 입력 신호로 RSSI를 활용하기 때문에 실내 환경의 다양한 요소에 영향을 받아 위치 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

WLAN을 이용한 대표적인 위치 인식 시스템으로는 Microsoft의 RADAR와 Ekahau Inc.의 Ekahau Wi-Fi RTLS(Real-time Location System) 시스템, 그리고 COMPAS 시스템 등이 있다 [2]-[3].

RADAR는 1990년대 후반 마이크로소프트(Microsoft Corp.) 연구소에서 제안한 시스템으로 IEEE 802.11을 기반으로 실내 환경에서 이동객체의 위치를 인식하는 시스템이다 [4]. RADAR는 실내 환경에 설치된 BS와 이동객체가 송출하는 신호의 세기와 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 통해 이동객체의 위치를 추정한다. WLAN 기반의 위치 인식 시스템에서 일반적으로 활용하는 장면 분석법(Scene Analysis)의 일종인 fingerprint 기법을 활용한다. RADAR에서 활용하는 fingerprint 기법은 오프라인 단계(offline phase)와 온라인 단계(online phase)로 구성된다. 오프라인 단계는 fingerprint 데이터베이스를 구축하는 단계이다. 이 단계에서는 특정 위치를 참조 위치(Reference Point, RP)로 지정하고, 그 지점에서 측정된 BS와 이동객체 사이의 신호 강도를 데이터베이스로 구축한다. 온라인 단계는 이동객체의 위치추정을 하는 단계로서 이동객체가 요청하는 위치에서의 신호강도를 fingerprint 데이터베이스에서 검색하여 알맞은 참조 위치를 찾은 후, KNN(K nearest neighbor) 알고리즘을 활용하여 이동객체의 위치를 추정한다.

Ekahau Wi-Fi RTLS 시스템은 Ekahau Inc.에서 개발한 IEEE 802.11 기반의 실내 위치 인식 시스템으로, 삼각측량법을 활용하여 Wi-Fi가 활성화된 장치의 위치를 추정하는데, 기존 RADAR 시스템과 마찬가지로 WLAN의 RSSI를 활용하고, 장면 분석법과 확률(Probabilistic method)을 활용한다.

Ekahau 시스템은 위치 추정 엔진(Ekaha Positioning Engines), 태그(Wi-Fi Location Tag)로 구성된다[5]. 위치 추정 엔진은 특정 장치의 실시간 위치를 추정할 수 있는 소프트웨어로, 태그가 부착된 장치의 위치를 계산하고, 추정된 위치를 보여주는 역할을 담당한다. 태그는 이동객체가 위치를 알고 싶은 사람이나 물건에 부착한다. Ekahau 시스템은 3개 이상의 BS(AP)가 있을 때, 약 1~3m의 위치 추정 정확도를 제공하며, 하나의 위치 서버는 최대 50,000개의 장비를 추정할 수 있고, 일반 표준 서버에서 초당 1,000개의 장치를 추정할 수 있다[6].

## 2.2 실내 전파 경로손실 모델

경로손실 모델은 사용자가 측정한 RSSI 값으로 이동객체의 위치를 추정하는 것이다. 이동객체의 위치를 추정하기 위해서는 실내에 대한 환경 정보를 획득해야 한다. 모든 전자기파는 감쇠를 겪는다[7]. 신호의 감쇠는 AP와 이동객체 간의 거리와 전파 경로의 물리적인 환경으로 인해 발생한다.

실내에서 AP와 이동 단말장치간의 거리 계산 방식은 거리에 따른 RSSI 감쇠현상을 이용하여 감쇠 정도로부터 거리를 산출한다. 실내에 장애물이 없는 경우에는 Log-distance 경로 손실 모델을 적용하고 벽이나 층에 의한 감쇠가 있을 때는 Attenuation Factor 모델을 적용한다.

### 2.2.1. Log-distance 경로 손실 모델

어떠한 환경에서 경로 감쇠는 보통 1m 거리 내에서 이동 단말장치에서 수신한 AP 신호의 세기는 AP와 이동 단말장치가 같은 위치에 있을 때 감쇠 정도를 0dB로 가정하고, 이동 단말장치까지 신호가 도달하는데 감쇠된 크기를 dB 값으로 나타낸다. 경로손실 모델에서 평균 수신 신호 전력은 거리에 따라 지수함수 형태로 감소하며 AP와 이동 단말장치 사이의 거리  $d$ 와 경로 손실  $n$ 에 의한 함수로 표현될 수 있다. 실내 경로 손실을 나타내기 위한 거리 전력법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(r)[dBm] = P(r_0)[dBm] + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

여기서  $d$ 는 AP와 이동객체간의 추정거리이며,  $d_0$ 는 기준 거리이다.  $n$ 은 경로손실 지수로서 주위 환경과 건물의 타입에 따라 좌우되며,  $X_\sigma$ 는 환경에 의한 감쇠를 나타내는 것으로 표준편차가  $\sigma$ 인 가우시안 분포를 따르는 랜덤 변수를 dB로 나타낸 것이다[8].

### 2.2.2. Attenuation Factor 모델

건물 내에서 신호 전달 특성은 건물의 내부 구조나 벽, 층간에 가장 큰 영향을 받으며, 벽에 의한 감쇠는 벽의 재질과 두께에 따라 다르다. 또한 실내 가구의 배치, AP들의 배치에 따라 서로 다른 특성들을 갖게 된다.

건물 내 벽이나 층에 의한 감쇠가 있을 때의 경로손실 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PL(d)[dBm] = PL(d_0)[dBm] + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF[dBm] + \sum PAF[dBm] \quad (2)$$

여기서  $n_{SF}$ 는 동일 층에서의 측정을 나타내고 FAF는 층 감쇠계수를 PAF는 파티션에 의한 감쇠계수를 나타낸다[9].

## III. 환경 데이터베이스를 이용한 실내 위치추정 알고리즘

fingerprinting 기법은 위치정확도를 높이기 위해서는 참조 점들의 수가 중요하고, 참조 점들의 수가 증가하면 많은 training 시간과 노력이 필요하며 유지보수가 어렵다는 문제점이 있다. 이러한 문제점 해결을 위해 본 절에서는 환경 데이터베이스를 이용하는 실내 위치추정 기법을 제안한다.

### 3.1. 환경 데이터베이스의 구축

환경 정보 데이터베이스를 활용한 위치추정 시스템은 AP 주변에 산재한 장애물들에 대한 정보와 위치추정에 사용되는 AP들에 대한 정보들을 데이터베이스로 생성하고, 이동객체의 위치 추정 시 생성된 환경정보 데이터베이스를 활용하는 기법이다.

제안 기법은 환경데이터베이스를 구축하는 단계와 이동객체의 위치를 추정하는 단계로 구성된다. 환경데이터베이스는 각 AP에 대한 정보를 갖는 AP 테이블과 각 AP 주변의 장애물들에 대한 정보를 갖는 Obstacle 테이블, 두 개의 테이블로 구성된다. AP 테이블은 각 AP들에 대한 단위 거리에 대한 RSSI 특성과 경로손실 등을 분석한 데이터들을 저장한 테이블로서 AP들의 SSID, Mac 주소, AP들의 x, y 좌표, 기준 단위 거리에 대한 RSSI, 분산, 경로 손실지수 등으로 구성되어 있으며, Obstacle 테이블은 AP 주변에 존재하는 벽, 철문 등의 장애물들에 대한 정보와 그들로 인한 RSSI 감쇠정도를 저장한 테이블로 AP 구분을 위한 SSID, AP로부터 장애물의 방향, 장애물들에 대한 감쇠 크기, AP와 장애물 간의 거리 등으로 구성된다.

### 3.2. 환경 데이터베이스를 이용한 위치추정

제안 기법에서 이동객체의 위치추정은 먼저 각 AP들로부터 RSSI 들을 수신하고, 그 크기가 가장 큰 세 개의 AP들을 선정한다. 그리고 구축된 환경 데이터베이스로부터 선정된 AP의 주변에 있는 장애물들에 대한 정보들을 취득하여 수신 RSSI의 크기를 보정하고 보정된 값과 환경 데이터베이스로부터 획득한 AP의 기준 거리에 대한 RSSI의 크기, 경로손실 지수 등을 경로손실 모델에 적용하여 선정된 3개의 AP와 이동객체 간의 거리를 산출하고 삼각측량 기법을 통하여 이동객체의 위치추정을 한다.

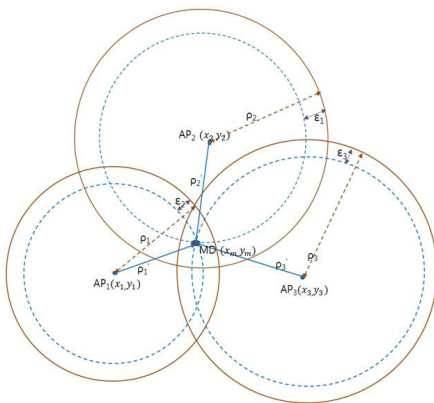


그림 1. 환경 데이터베이스를 이용한 이동객체 위치추정

Fig. 1 Location estimation of mobile devices using environment database

표 1. 환경 데이터베이스를 이용한 이동객체의 위치추정 알고리즘

Table. 1 Location estimation algorithm of mobile devices using environment database

1. Input : Collected SSID, Mac Address, RSSI from APs  
//AP 정보를 RSSI의 내림 차순으로 정렬
2. Sort the APs descending with RSSI  
// RSSI 크기가 가장 큰 3개 AP를 선택
3. Select the APs that three strongest RSSI  
// 각 AP로부터 이동객체가 위치한 방향 추정
4. if there are previous location information then
5. compute priori location using speed vector and time
6. else Triangulation with three strongest RSSIs
7. for i=1 to 3
5. Search environment information for an selected AP from the environment database.
5. Compute attenuation values
6. Modify the RSSI values
7. end
8. Triangulation with three modified RSSIs
9. Particle filtering

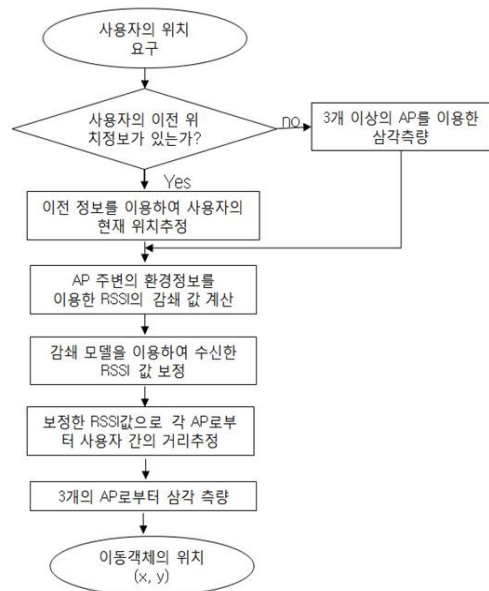


그림 2. 제안 알고리즘의 위치결정 과정

Fig. 2 The location Decision-making process of proposed algorithm

#### IV. 파티클 필터의 적용

본 절에서는 먼저 이동객체의 추정위치 정확도 개선을 위한 필터링 기법인 파티클 필터에 대해 기술하고 다음으로 이동 중인 이동객체의 추정된 위치의 정확도를 더 높이기 위해 이동벡터를 적용하여 파티클의 확률 분포를 생성하여 이동객체의 위치를 보정하는 기법을 적용하는 방법을 기술한다.

##### 4.1. 파티클 필터(Particle Filter)

파티클 필터의 주목표는 non-Gaussian이면서 시간에 따라 전개되는 이동 객체에 대해 연속적으로 들어오는 오차가 존재하는 관측 값만을 가지고 시스템에 적절하게 제안된 확률분포를 이용하여 위치를 추정하는 것이다. 파티클 필터는 non-Gaussian 이고, 비선형인 동력 시스템에서 더 실제 posterior에 수렴한다[10].

파티클 필터는 순차 몬테카를로 알고리즘 즉, 시간 구조를 사용하는 분포에 근접하는 샘플링 기법으로, 이동객체의 추정 위치를 하나의 파티클이 되도록 하는 확률분포를 생성한다[11]-[15]. 베이즈 필터의 posterior  $Bel(x_t)$ 는 가중치  $w_t$ 를 갖는  $n$ 개의 샘플의 집합  $S_t$ 로 나타낸다. 이 확률분포는  $x_t$ 가 시간  $t$ 일 때 관찰되지 않은 상태를 나타내고,  $z_{0:t}$ 가 시간 0에서 시간  $t$ 까지의 연속적인 관측 값들이라고 할 때  $P(x_t|z_{0:t})$ 로 나타낸다.

파티클 필터  $P(x_t|z_{0:t})$ 는  $n$ 개 가중된 샘플들 또는 파티클들의 집합을 이용하여 표현할 수 있다. 파티클 집합은  $w_t^{(i)}$ 가 파티클  $x_t^{(i)}$ 의 가중치를 나타낼 때  $S_t = \{x_t^i, w_t^i\}$ 로 표현할 수 있다. 여기서  $x_t^{(i)}$ 는 시간  $t$ 일 때 이동객체의 이동 위치를 나타내고,  $w_t^{(i)}$ 는  $x_t^{(i)}$ 에 대한 가중치(Importance Weights)로서 음이 아닌 수이며, 총합이 1이 되어야 한다. 파티클 필터의 기본 형식은 샘플 추출을 하고 SISR(Sequential Importance Sampling with Resampling)을 참조하는 순환 베이즈 필터로[19], 하나의 파티클은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$P(x_t|z_{0:t}) \approx \sum_i w_{t-1}^{(i)} \delta(x_t - x_{t-1}^{(i)}) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 각 필터링 단계는 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$P(x_t|z_{0:t}) = \alpha P(z_t|x_t) \int P(x_{t-1}|z_{0:t-1}) P(x_t|x_{t-1}) dx_{t-1} \quad (4)$$

필터된  $P(x_t|z_{0:t})$  분포 계산은 재귀적(recursive)인 정의를 사용한다.

$$P(x_t|z_{0:t}) \approx \alpha P(x_{t-1}|z_{0:t-1}) \sum_i w_{t-1}^{(i)} P(x_t|x_{t-1}^{(i)}) \quad (5)$$

$P(x)$ 가 샘플들을 추출하기 어려운 밀도라고 가정하면  $P(x)$ 는 식(6)처럼 근사할 수 있다.

$$w^{(i)} = \frac{P(x)}{q(x^{(i)})} \text{ 일 때,}$$

$$P(x) \approx \sum_i w^{(i)} \delta(x - x^{(i)}) \quad (6)$$

파티클 필터 알고리즘은 세 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 샘플 추출 단계로 이동객체의 이전 belief를 나타내는 샘플 집합  $S_{t-1}$ 과, 제어입력  $u_t$ , 관측값  $z_t$ 를 이용하여 posterior belief를 나타내는  $n$ 개의 샘플을 추출한다. 두 번째 단계는 가중치 계산 단계이다. 센서로부터 수신된 관측 값과 첫 번째 단계에서 예측한 값을 비교하여 각 샘플의 가중치를 계산한다. 마지막 단계에서는 새로이 계산된 가중치를 고려하여 새로운 샘플을 추출한다. 파티클 필터는 순환적인 방법으로 이러한 샘플들을 추출하여 위치 보정을 하는 베이즈 필터이다.

##### 4.2. 문제의 공식 표현

이동 객체의 이동 모델에 대한 문제의 공식의 수학적 인 표기는 다음과 같다.  $(x_k, y_k)$ 는  $k$ 번째 시간 구간에서 이동객체의 위치를 표시하고,  $(\hat{x}_k, \hat{y}_k)$ 는 이동객체의 추정 위치,  $i$ 번 AP의 위치는  $(x^i, y^i)$ 로 표기한다. 시간  $k$ 일 때  $i$ 번 AP의 수신 RSSI는  $z_k^i$ 로 다음 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$z_k^i = \sqrt{(x_k - x^i)^2 + (y_k - y^i)^2} + N(0, \sigma_{z_k}^2) \quad (7)$$

이동객체의 이동 모델은 상수 속도 모델로 근사할 수 있다. 상태 변수  $(x_k, y_k)$ 는 이동객체의 위치를 나타내고,  $(v_{x_k}, v_{y_k})$ 를 이동객체의 이동 속도라면, 상태 방정식은 식 (8)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + Tv_{x_k} + N(0, \sigma_{r_k}^2) \\ y_{k+1} &= y_k + Tv_{y_k} + N(0, \sigma_{r_k}^2) \\ v_{x_{k+1}} &= \alpha v_{x_k} + (1-\alpha)\mu_{v_{x0}} + N(0, \sigma_{r_k}^2) \\ v_{y_{k+1}} &= \alpha v_{y_k} + (1-\alpha)\mu_{v_{y0}} + N(0, \sigma_{r_k}^2) \\ \sigma_{z_{k+1}} &= \beta \sigma_{z_k} + (1-\beta)\mu_{\sigma_{z0}} + N(0, 10^{-6}) \\ \sigma_{r_{k+1}} &= \gamma \sigma_{r_k} + (1-\gamma)\mu_{\sigma_{r0}} + N(0, 1.11 * 10^{-10}) \end{aligned} \quad (8)$$

### 4.3. 위치추정 개선을 위한 파티클 필터 적용 알고리즘

본 논문의 3장에서 제안한 위치추정 알고리즘에 파티클 필터를 적용하는 방법은 다음과 같다.

이동객체의 위치추정을 위해 이전 시간의 belief  $Bel(x_{t-1})$ 를 나타내는 샘플들의 집합과 제어 입력 값  $u_{t-1}$ , 관찰 값  $z_t$ 를 수신하면, 첫 번째 단계에서는 제어 입력 값에 따른 예측분포 belief  $Bel^-(x_t)$ 을 유도한다. 이 분포는  $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ 과 이전 시간의 belief  $Bel(x_{t-1})$ 로부터  $x_t^{(i)}$ 를 추출하여 구할 수 있다.

두 번째 단계는 수신 RSSI 신호를 AP와 이동객체 간의 거리로 환산하는 단계이다. 이 단계에서는 수신 RSSI 신호를 이용하여 거리를 산출할 때 3장에서 제안한 것과 같은 방법으로 환경정보 데이터베이스의 AP들과 장애물들에 대한 정보를 이용하여 먼저 RSSI 값을 보정하여 예측되는 오차를 제거한 후 경로손실 모델을 이용하여 세 개의 AP와 위치추정을 위한 이동객체 간의 거리를 구한다.

세 번째 단계는 파티클들을 생성 단계이다. 두 번째 단계에서 수신한 RSSI들의 이동평균을 이용하여 이동객체와 각 AP들 간의 거리 값들을 가지고 이동객체의 위치 추정을 위한 파티클들을 생성하고 이 파티클들에 대한 가중치를 구한다.

네 번째 단계는 파티클 재추출 단계이다. 첫 번째 단계에서 이전 시간 단계에서 생성된 파티클들에 제어 입력 값을 적용하여 생성한 파티클들과 세 번째 단계에서 생성된 파티클들의 집합을 통합하여 각 파티클들의 가중치에 따라 새로운 파티클들을 재추출하여 새로운 파티클들의 집합을 생성한다.

표 2. 파티클 필터를 이용한 이동객체 위치추정 알고리즘  
Table. 2 Positioning algorithm of mobile devices using particle filter

|  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 입력: 이전 샘플들의 집합 <math>S_{t-1}</math>, 제어 입력 <math>u_{t-1}</math>, 관찰값 <math>z_t</math></li> <li>2. 초기화: <math>S_t = \Phi</math>, <math>\alpha = 0</math><br/>// 예측 분포 <math>Bel^-(x_t^{(i)})</math> 유도</li> <li>3. <math>S_t^- = \{x_t^{(i)}   p(x_t   x_{t-1}, u_{t-1}) Bel(x_{t-1})\}</math><br/>// 측정 RSSI에서 장애물 정보와 경로손실 모델을 이용한 감쇠치를 고려한 샘플 생성</li> <li>4. for i=1, ..., n do</li> <li>5. distance = Distance(rssi, path_loss)<br/>// 5단계에서 얻은 세 개의 거리를 이용하여 삼각측량</li> <li>6. <math>x_t^{(i)} = \text{Triangulation}(\text{distance}, \text{ap})</math>;</li> <li>7. <math>w_t^{(i)} = p(z_t   x_t^{(i)})</math>; // 가중치 계산</li> <li>8. <math>\alpha = \alpha + w_t^{(i)}</math>; // 정규화 상수 갱신</li> <li>9. <math>S_t = S_t^- \cup \{x_t^{(i)}, w_t^{(i)} &gt; \};</math></li> <li>10. for i=1, ..., n do</li> <li>11. <math>w_t^{(i)} = w_t^{(i)} / \alpha</math> // 가중치 정규화<br/>// 샘플 재추출: (3)에서 생성된 샘플과 (9)에서 생성된 샘플을 통합한 후 가중치에 의해 새로운 샘플 추출</li> <li>12. <math>S'_t = S_t^- \cup S_t</math>;</li> <li>13. <math>\beta = 0</math>; // 재추출된 샘플의 정규화 상수</li> <li>14. for i=1, ..., n do</li> <li>15. <math>S_t = S_t^- \cup \text{select}(S'_t, id)</math>;</li> <li>16. <math>\beta = \beta + w_t^{(i)}</math>; // 정규화 상수 갱신</li> <li>17. for i=1, ..., n do</li> <li>18. <math>w_t^{(i)} = w_t^{(i)} / \beta</math> // 가중치 정규화<br/>// positioning: 가중치와 가능도에 의해 위치 보정</li> <li>19. <math>P_t = \sum_{i=1}^n w_t^{(i)} * S_t^{(i)}</math></li> </ol> |
|--|

마지막으로 재추출한 파티클들에 대한 가중치를 다시 계산하고, 네 번째 단계에서 재추출 과정을 통하여 생성된 파티클들과 그 파티클들의 가중치를 이용하여 이동객체의 위치를 추정한다.

이 때 추출되는 파티클들의 수는 고정된 수와 가변적인 수로 추출할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 고정된 수의 파티클 분포를 생성하여 위치추정을 하였다. 표 2는 이동객체의 위치추정을 위한 파티클 필터 적용 알고리즘을 기술한 것이다.

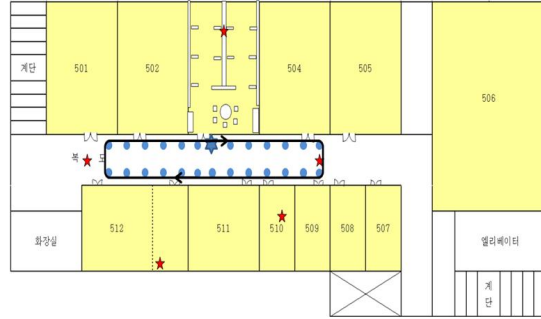


그림 3. 이동객체의 이동방향, 거리 및 위치  
Fig. 3 Movement direction of mobile devices, distance and location

V. 실험

환경 데이터베이스의 구축 및 이동객체의 위치추정을 위한 실험은 한밭대학교 정보통신대학원 5층에서 이루어졌으며, 실험에 사용한 테스트 환경은 표 3과 같으며, AP의 위치와 이동객체의 이동 경로는 그림 3과 같다.

표 3. 실험 환경  
Table. 3 Experimental environment

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| AP의 종류            | 802.11n, SMCWBR14S-N2         |
| AP의 수             | 6개                            |
| 이동 단말             | 노트북                           |
| 이동 단말의 수          | 1개                            |
| RSSI 수신 안테나       | 802.11n, ipTime N150UA 외장 안테나 |
| Network 정보 수집 S/W | Managed WiFi                  |
| 위치추정 처리 S/W       | MATLAB 7                      |
| 측정 면적             | [X] 5,160 [Y] 3,970           |

좌표는 그림 3의 왼쪽 상귀 부분을 (0, 0)으로 하여 cm 크기로 좌표를 부여하였다. 환경 데이터베이스의 기준 거리에 대한 RSSI 크기와 경로손실 지수, AP 주변의 장애물들에 대한 감쇠 크기를 구하기 위해 각각 300개 이상의 RSSI를 수집하여 분석하였다.

실험 환경의 존재하는 장애물들과 그들로 인한 감쇠 크기는 표 4와 같다.

표 4. 장애물들에 대한 정보  
Table. 4 Information about obstacles

| 장애물 | 장애물 통과 전 RSSI | 장애물 통과 후 RSSI | 감쇠 크기  |
|-----|---------------|---------------|--------|
| 벽   | -17 dBm       | -24.73 dBm    | -7.73  |
| 철문  | -22.21 dBm    | -44.44 dBm    | -22.23 |
| 나무문 | -17.20 dBm    | -19.01 dBm    | -1.81  |
| 유리문 | -22.03 dBm    | -18.63 dBm    | -6.2   |
| 책장  | -17 dBm       | -19.22 dBm    | -2.22  |

이동객체의 위치추정을 위해 그림 3와 같이 ★ 지점에서 시작 하여 화살표 방향으로 복도를 돌면서 각 위치에서 6개의 AP들로부터 300개씩의 RSSI들을 수집하여 각각에 대해 이동 평균을 구하고, 3장에서 기술한 것처럼 환경 데이터베이스의 장애물들과 AP들에 대한 정보를 이용하여 RSSI의 이동평균 값들을 보정한 후 보정된 RSSI 값들 중 크기가 작은 3개를 선택하여 경로 손실 모델을 통하여 각 AP와 이동객체간의 거리를 구한 결과는 그림 4과 같다. 그림 5는 환경 데이터베이스를 이용한 위치추정 에러와 삼각측량을 이용한 위치추정 에러를 나타낸 것이다.



그림 4. 환경데이터베이스를 이용하여 보정한 RSSI를 이용한 거리 변환 결과  
Fig. 4 Distance transform result of modified RSSI using environment database

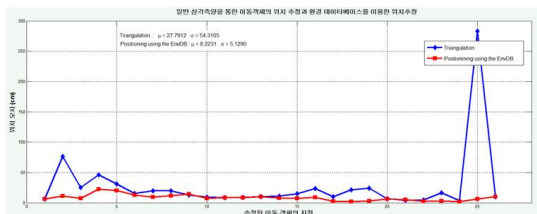


그림 5. 환경 데이터베이스를 이용한 위치추정 결과  
Fig. 5 Position estimation result using environment database

삼각측량을 통하여 파티클들을 생성하였다. 파티클들의 예측 이동 위치는 이동 거리와 이동방향을 제어 입력 값으로 하고, 이전 시간의 파티클들에 식 (8)을 적용하여  $belief\ Bel^-(x_t)$ 를 유도하여 파티클들의 표 2의 알고리즘 과정을 통하여 추정하였다.

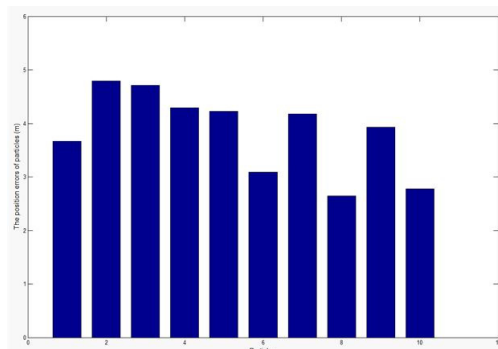


그림 6. 한 지점의 이동 객체의 파티클들과 이동객체 실제 위치 간의 거리 오차  
Fig. 6 distance error between particle of mobile devices at a point and the real position of mobile devices

그림 6는 한 지점에서 채추출한 파티클들과 실제 이동객체의 위치와의 오차를 그래프로 나타낸 것이고, 그림 7은 파티클 필터를 이용한 정적인 이동 객체의 실제 위치와 추정 오차와 동적인 이동객체에 이동벡터를 적용하였을 때 위치추정 오차를 나타낸 것이다.

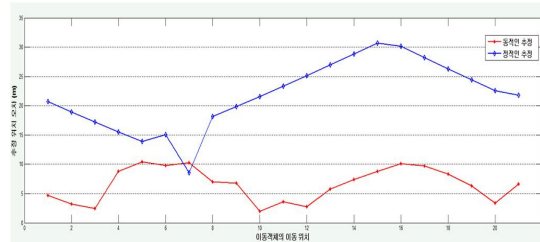


그림 7. 파티클 필터를 이용한 동적인 이동객체와 정적인 이동객체의 위치 추정 오차  
Fig. 7 position estimation error between dynamic mobile devices using particle filter and static mobile devices

한 이동객체의 위치추정을 하는 경우 이동벡터를 적용한 동적 위치추정 방법이 정적인 위치추정보다 실제 이동객체의 위치와 추정위치 간의 오차가 적다는 것을 그림 7에서 확인할 수 있다. 하지만 연속적으로 변이가 큰 RSSI가 수신되어지는 경우 오히려 다음 위치의 이동객체의 위치추정에도 영향이 미침을 볼 수 있다.

## VI. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 WLAN 기반 이동객체의 위치 추정을 위한 기존 fingerprinting 기법의 training과 retraining 문제점을 해결하기 위해 환경 정보 데이터베이스를 이용하는 방법을 제안하였으며, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 추정위치 정확도를 높이기 위해 파티클 필터를 적용하였다. 그 결과 fingerprinting 기법의 training과 retraining에 따른 많은 시간과 노력, 데이터베이스의 크기, 데이터베이스 유지에 따른 노력을 크게 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 제안 알고리즘의 추정위치 정확도와 정밀도는 45%, 7m 정도로 fingerprinting 기법을 이용한 RADAR 시스템[4]의 50%, 4.5m에 비해 좋지 않았다.



이것은 실험에서 같은 지점, 같은 AP로부터 300개의 RSSI를 수신하였을 때 RSSI의 크기 변동 폭이 큼을 알 수 있었다. 이러한 변동 폭이 큰 RSSI를 경로손실 모델을 이용하여 AP와 이동객체 간의 거리를 구하고, 삼각 측량을 통하여 위치추정을 하는 경우 추정위치 오차가 커지게 된다. 그러므로 향후 이런 문제점을 해결하기 위한 방법으로 AP와 이동객체 간의 거리를 구하기 위해 경로손실 모델이 아닌 사전 확률 분포 등과 같은 AP와 이동객체 간의 거리를 산출하기 위한 다른 방법을 연구할 필요가 있으며, 추정위치 정확도 개선을 위해 파티클 필터링을 적용할 때 바로 이전 시간 단계인  $t-1$  뿐만 아니라  $t-2$  시간 단계의 정보를 함께 활용하는 방법도 고려할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [ 1 ] Yanying Gu, Anthony Lo, "A Survey of Indoor Positioning System for Wireless Personal Networks", *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 11, NO. 1, FIRST QUARTER 2009
- [ 2 ] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger and W. Effelsberg, "COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses", *Proc. First ACM Intl Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental evaluation and Characterization (WiNTECH)*, Sep 2006.
- [ 3 ] Hui Liu, Darabi H., Banerjee P., Jing Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and System", *IEEE TRANSACTIONS ON System, MAN, AND CYBERNETICS*, vol.37, no.6, pp.1067-1080, Nov 2007.
- [ 4 ] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system", *INFOCOM 2000*, pp.775-784, Mar 2000.
- [ 5 ] Ekahau, <http://www.ekahau.com/>
- [ 6 ] Ekahau RTLS(Real Time Locating System), <http://www.plds.co.kr/>
- [ 7 ] A. B. Jorgen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida; "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels"; *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no. 1, Jan. 1995, pp. 4249.
- [ 8 ] Ahmad Hatami "Application of Channel Modeling for Indoor Localization Using TOA and RSS" Degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Computer Engineering may 2006
- [ 9 ] 김동석 "AP를 추정기준으로 하는 WLAN 기반 실내 위치인식" 서울 시립대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사학위논문 2010. 2
- [10] S.J. Julier and J.K. Uhlmann. "A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems." In *Proc. of AeroSense: The 11th International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls*, 1997
- [11] F. Gustafsson, F. Gunnarsson, N. Bergman, U. Forsell, J. Jansson, R. Karlsson, and P.-J. Nordlund. "Particle filters for positioning, navigation and tracking." *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2002.
- [12] E.A.Wan and R. van der Merwe. "The unscented Kalman filter for nonlinear estimation." In *Proc. of Symposium 2000 on Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control*, 2000.
- [13] P. Del Moral and L. Miclo. "Branching and interacting particle systems approximations of Feynman-Kac formulae with applications to nonlinear filtering. In *Seminaire de Probabilites XXXIV*, Volume 1729/2000 in *Lecture Notes in Mathematics*. Springer-Verlag, 2000.
- [14] A. Doucet, S.J. Godsill, and C. Andrieu. "On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering.", *Statistics and Computing*, Vol.10, Number 3, pp. 197-208 2000.
- [15] D. Fox, W. Burgard, F. Dellaert, and S. Thrun. "Monte Carlo Localization: Efficient position estimation for mobile robots." In *Proc. of the National Conference on Artificial Intelligence*, 1999.



**김미경(Mikyeong Kim)**

1983년 동국대학교 수학과  
학사  
1986년 동국대학교 대학원  
전자계산학과 이학석사

2011년 한밭대학교 정보통신대학원 정보통신공학과  
박사

※관심분야: 임베디드 소프트웨어, 임베디드 리눅스,  
무선통신 프로토콜, 네트워크 시뮬레이터, etc.



**신요순(YoSoon Shin)**

2010년 한밭대학교  
정보통신공학과 학사  
2010년~한밭대학교  
정보통신전문대학원  
전파공학과재학(석사)

※관심분야: 임베디드 소프트웨어, 임베디드 리눅스,  
무선통신 프로토콜, 네트워크 시뮬레이터, etc.



**박현주(Hyun-Ju Park)**

1997년 서울대학교 전산학과  
이학박사  
2004년~2009년 한밭대학교 정보통신  
컴퓨터공학부 부교수

2009년~한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수

※관심분야: 공간 데이터베이스, 위치 추정 알고리즘,  
실내 위치기반 서비스, 임베디드 리눅스, etc.