

# 802.11 기반 개선된 Kalman-Filter를 적용한 실내 위치 탐지 알고리즘

구용기\*, 남춘성\*, 윤종완\* 신동렬\*  
\*성균관대학교 전기·전자 컴퓨터공학과  
e-mail:cutedual@skku.edu

## Indoor Localization Algorithm Using Advanced Kalman-Filter base on 802.11 beacon frame

Yong-Ki Ku\*, Choon-Sung Nam\*, Jong-Wan Yoon\*  
Dong-Ryeol Shin\*

\*School of information and Communication Engineering,  
Sungkyunkwan University

### 요약

최근 무선통신과 전자공학의 발전으로 무선 통신 관리와 연산 능력을 할 수 있는 마이크로 센서의 개발을 가능하게 했다. 현재, 사람, 컴퓨터 그리고 사물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 서비스를 제공해 주는 컴퓨팅 기술에 대한 연구들이 진행 되고 있다. 또한, 실외 위치탐지 서비스 뿐만 아니라 실내에서의 위치탐지 서비스에 대한 사회적 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 빈번이 변화하는 실내 환경에서 802.11 beacon frame를 통한 하나의 전송 객체에 개선된 Kalman-Filter를 적용한 효과적인 위치탐지 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 접근 방식은 두 단계로 나뉘진다. 첫 번째 단계는 기존 알고리즘의 문제점과 실내 적용 시 센서 범위와 전력소비에 관한 문제점을 제시한다. 두 번째 단계에서는 제시된 문제점들을 해결하기 위해, 개선된 Kalman-Filter 알고리즘과 오차보정 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

최근 무선통신 기술의 급격한 발달과 함께 무선 통신은 생활환경과 밀접한 관계를 갖고 있는 중요한 기술로 발전 하였다. 그와 함께 유비쿼터스의 개념이 중요한 이슈로 떠오르면서 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술 개발을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 유비쿼터스의 핵심 기술 중 하나인 위치기반 서비스(LBS)에 대한 관심이 높아지고 있다.

위치 기반 서비스의 핵심 기술인 측정 기술은 GPS(Global Positioning System)가 실외 환경에서 대표적으로 사용되고 있다. 하지만 실내와 같은 환경에서는 GPS의 적용이 어렵기 때문에 새로운 방식의 측정 기술에 관련된 연구가 이루어지고 있다.

무선 환경에서의 위치 측정은 NLOS(None Line Of Sight)[1] 전파의 특성(전파의 반사, 회절, 감쇄)으로 인해 direct path가 방해받게 된다. 이로 인해 정확한 위치 측정에 어려움을 가지게 된다. 이러한 NLOS 특성은 위치 정확도 향상을 위한 중요한 요소로 인식되어, 위치 측정에 있어 정확도 향상에 관한 많은 연구가 진행 중이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 위치탐지 알고리즘 관련 연구에 대한 소개와 문제점을 제시하고, 3장에서는 제시된 문제점을 해결한 개선된 Kalman-Filter를 적용한 실내 위치 탐지 알고리즘과 오차 보정 알고리즘에 대해 기술한다. 마지막으로 결론을 맺고 향후 연구 과제를 제시한다.

## 2. 관련 연구

실내 위치 측정 알고리즘은 크게 측정거리 비 기반 방식(Range-free scheme)과 측정거리 기반 방식(Range-based scheme)으로 분류할 수 있다.

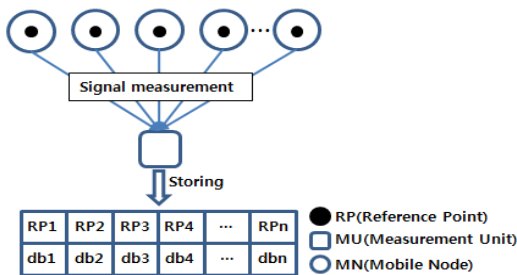
측정 비 거리 기반 방식으로 대표적으로 APIT[2], APS[3] 그리고 Centroid[4]가 있지만, 성능이 노드의 밀집도에 따라 크게 좌우되는 문제점이 있다. 따라서, 측정거리 비 기반 방식은 실내 환경의 네트워크 형상을 모두 고려하기에 적당하지 않다.

측정거리 기반 알고리즘은 TOA, TDOA, AOA 그리고 ROA 등이 있다[5][6][7]. 본 장에서는 기존 알고리즘의 문제점을 보완한 Fingerprint와 Kalman-Filter를 적용한 RSSI 알고리즘을 소개하고 문제점을 제시한다.

### 2.1. Fingerprint Algorithm

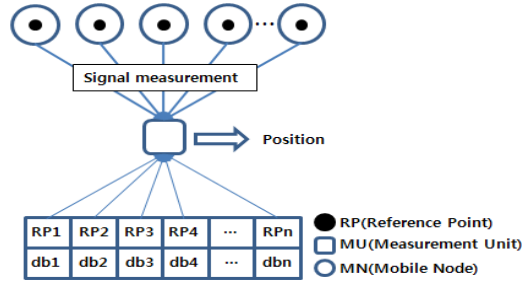
DCM(Data Correlation Method)에서 가장 대표적 기법인 Location Fingerprint 기법은 휴리스틱 정보를 데이터베이스에 저장한 후 위치를 원하는 디바이스에서 입력된 위치데이터 값과 비교하여 현재 위치를 보고하는 기법이다.

이 기법은 WLAN 커버리지 영역에서 무선 신호 세기의 측정 데이터를 포함하는 데이터베이스를 생성하는 단계와 이동 매체의 신호세기를 받아 저장 데이터와 비교하여 위치를 측정하는 두 가지로 나뉜다.



[그림 1] Fingerprint의 storing 단계

Storing 단계는 실내에서 사용자의 이동이 많은 위치를 참조 포인트로 선택하며, 선택된 참조 위치에서 이동 매체를 배치한 후 MU(Measurement Unit)로 측정된 모든 신호세기를 데이터베이스에 저장한다.



[그림 2] Fingerprint의 Position 단계

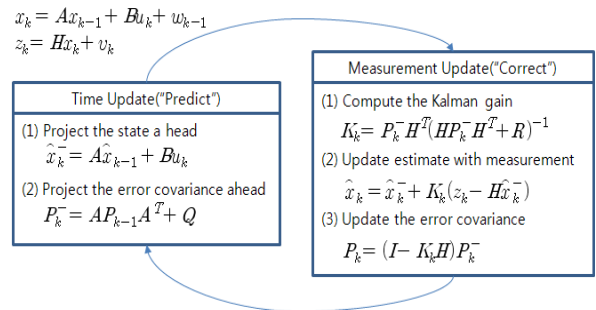
[그림 2]는 Database와 현재 측정된 신호세기를 이용하여 이동 매체의 위치를 추정하는 Positioning 단계를 보여준다. 해당 단계는 세 곳의 고정된 센서 노드로부터 신호세기를 수신 받고, 해당 신호에 맞는 데이터베이스 정보를 바탕으로 이동 매체의 위치를 추정한다[8-9].

Fingerprint 기법은 크게 두 가지의 단점이 있다. 첫 번째로, Database 생성 시 세 곳의 MU에서 모든 RP(Reference Point)의 신호세기를 측정해야 하기 때문에 오랜 시간이 소요된다. 또한 실내 환경이 변할 때 마다, 데이터베이스를 업데이트 해주어야 한다.

두 번째로, 이동 매체의 위치를 추정하는데 있어, 장애물이 존재한다면, 올바른 위치를 추정하지 못하며, RP의 개수를 증가하면 정확도 역시 증가하지만, 반비례 하게 데이터베이스의 검색 소요시간과 측정 시간이 증가하게 되는 단점이 존재한다.

### 2.2. RSSI Algorithm using Kalman-Filter

Kalman-Filter 알고리즘에 사용되는 방정식은 예측을 위한 시간 갱신 방정식과 측정 갱신 방정식으로 구성된다.

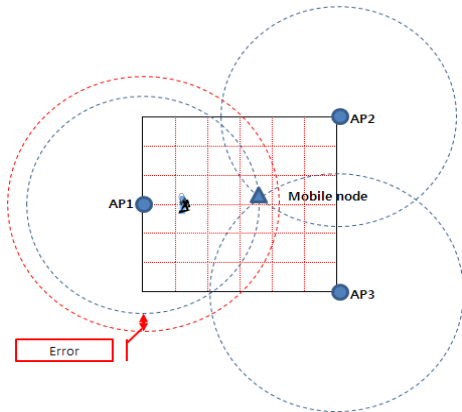


[그림 3] Kalman-Filter Cycle Process

Time Update 과정은 시간에 앞서 미리 현재 상태를 예측하는 단계로 현재 상태 추정 결과를 전달하며, Measurement Update 과정은 해당 시간에 실

제 측정에 의해 전달된 추정 상태 값들을 조정한다. 이 방정식을 통해, 실내 장애물에 의해 수신 장애가 발생할 경우와 약한 신호에 좋은 결과를 검출해 내는 장점이 있으며, RSSI에서 큰 문제점이 되는 신호 점핑현상을 방지할 수 있다.

하지만, 해당 기법은 Kalman-Filter의 원리에서 알 수 있듯이 보정된 정보가 안정화 되는 시간까지 확실치 않은 위치 데이터를 감수해야 하는 문제점이 있다. 즉, 중간에 장애물(사람, 물건)이 존재한다면, 장애물로 인해 발생하는 신호 감쇠 현상을 그대로 반영하여 정확한 위치를 추정하지 못한다[10-11].



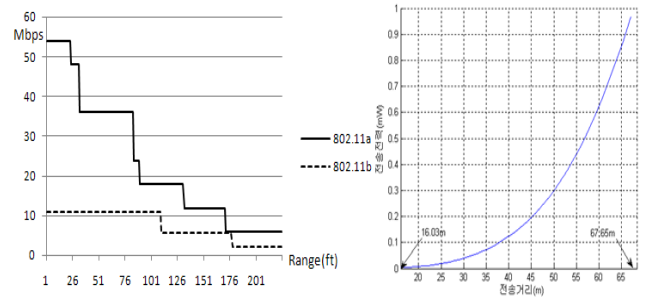
[그림 4] Kalman-Filter의 문제점

2.3. Environment Problem

센서 네트워크에 있어서 신뢰적으로 Data를 전송하는데 있어 고려해야 할 중요한 조건이 있다.

첫 번째로, 전력 소비량이다. 물론 센서에서 RF 세기를 최대한 높이면 50m까지 Data 또는 신호세기를 전송할 수 있다. 하지만, RF 전력세기와 센서의 전력 소비량은 반비례 관계가 있기 때문에, RF 세기가 높아지는 만큼 전력을 소모하게 된다[그림 5].

두 번째로, 신뢰적인 Data전송이다. 무선 통신을 사용 시 필수 불가결하게 실내 환경의 특성 즉, 신호 왜곡, 잡음 등의 영향을 받는다. Node 간의 거리가 멀어질수록, Data의 신뢰성이 떨어지게 된다. 예를 들어 Node 간의 거리를 5m 이상으로 설정한다면, 위에서 열거한 조건들로 인해 효과적으로 위치를 탐지하기 힘들어진다. 또한 5m 이내에 설치해도, 실내 방의 크기가 크다면, 설치할 노드의 수가 늘어나기 때문에 금액적인 문제를 야기할 수 있다.



[그림 5] (좌)거리 대비 전송 속도 (우)거리 대비 전력 소비량

따라서, 본 논문에서는 알고리즘 문제와 실내 환경의 특성 문제를 해결하기 위해, 802.11 Beacon frame 기반 개선된 Kalman-Filter를 적용한 위치탐지 알고리즘과 오차보정 알고리즘을 제안 한다.

3. Proposing algorithm.

3.1. Indoor Localization

제안 위치탐지 알고리즘은 수신 신호 세기를 이용하여 이동 매체로부터 기준점까지의 거리를 구하고자 Friis 공식 즉, 자유공간에서의 신호 손실을 이용한다. 식(1)과 같다.

$$L = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) [dB] \tag{1}$$

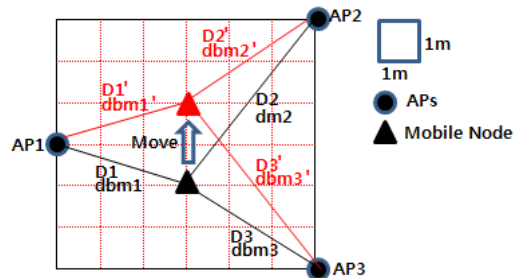
식(1)을 거리(d)에 대해 정리하면, 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\frac{L}{20}} [m] \tag{2}$$

식(2)에서 L은 수신 신호 세기, λ는 전파 파장을 의미한다. 식(2)을 통해 나온 거리 값을 반지름으로 하는 원을 그리고 삼 원의 교점을 이동 매체의 위치로 판별한다.

3.1.1. Advanced Kalman-Filter

기존 Kalman-Filter의 문제점을 해결하기 위해, Kalman-Filter를 적용하기 전 이동 매체와 고정된 세 곳의 AP간의 신호 세기를 측정할 때, 장애물이 존재하는지 먼저 판단을 한다.



[그림 6] 이동 매체의 이동 시

[그림 6]와 같이 모바일 노드가 (3, 4)에서 (2, 4)로 이동을 했다면, Pythagoras의 정리에 의하여,

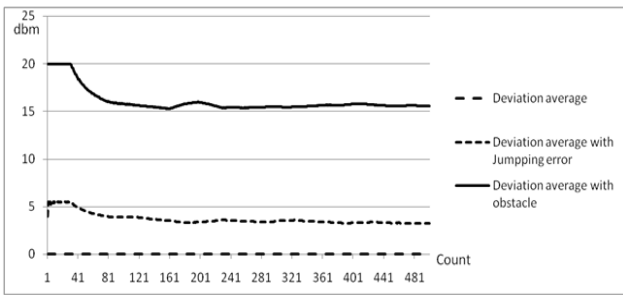
$$\begin{aligned} D1 &= \sqrt{3^2+1^2} \approx 3.16227766, D1' = \sqrt{3^2+1^2} \approx 3.16227766 & (3) \\ D2 &= \sqrt{3^2+4^2} = 5, D2' = \sqrt{3^2+2^2} \approx 4.89897948 \\ D3 &= \sqrt{3^2+2^2} \approx 4.89897948, D3' = \sqrt{3^2+4^2} = 5 \end{aligned}$$

식(3)과 같은 결과가 나온다. 이 값을 수식(1)에 적용을 하면, 아래와 같은 신호세기 값이 나온다.

$$\begin{aligned} dbm1 &= 50.40057234[m], dbm1' = 50.40057234[m] & (4) \\ dbm2 &= 54.37997343[m], dbm2' = 54.20271191[m] \\ dbm3 &= 54.20271191[m], dbm3' = 54.37997343[m] \end{aligned}$$

따라서,  $(dbm1' - dbm1) + (dbm2' - dbm2) + (dbm3' - dbm3) = 0$  이 된다. 하지만, 실내의 특성상 신호의 점핑현상을 감안 할 때, 신호 변화폭의 합이 0과 유사하다면, 모바일 노드가 이동 한 것으로 판단할 수 있다. [그림 6]에서는 무선 신호의 Jumping 현상과 장애물로 인한 오차 값을 식(5)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \alpha : \text{jumpping error}, \alpha &= \{-3dbm \leq \alpha \leq +3dbm\}, & (5) \\ \beta : \text{obstacle error}, \beta &= \{10dbm \leq \beta \leq 20dbm\} \end{aligned}$$



[그림 7] 실내 측정 신호 변동 폭의 합

[그림 7]과 같이 평균 신호 변동 폭의 합은 거의 0에 근접하다. 실내에서 장애물이 존재한다면, 해당 신호 변동 폭이 10~20[dbm]정도 감소 현상이 일어난다. 따라서 신호 변동 폭의 합은 항상  $7dbm \leq \text{threshold value} \leq 15$  가 된다. 이 경우 현재 받은 신호세기는 버려지게 되고, Kalman-Filter에서 미리 예측된 세기 값을 사용한다.

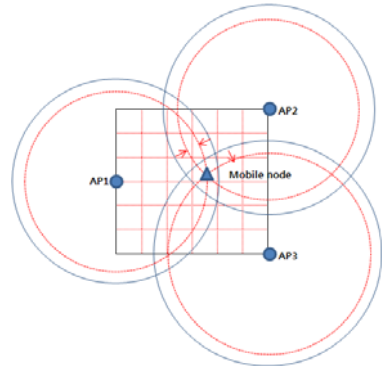
[그림 3]에서 Time Update 과정은 시간에 앞서 현재 상태를 예측하여 그 결과를 전달한다. 해당 단계에서 'x'는 최적화를 하고자 하는 상태 변수를 의미하며, 계수 'A'는 현 단계에서의 상태변수와 다음 단계의 상태변수를 연결하는 변환 계수를 표현한다. 'B'와 'u'는 하나의 값으로 인식할 수 있으며, 추가 입력 값이다. 그리고 'Q'는 k단계에서의 오차이다. 즉, 선형 추측 방정식을 통해 Priori 추정 값을 생성한 후, 다음 단계를 진행 한다.

Measurement Update의 단계에서 'z'는 관측 값

이고, 상태변수 'x'와 변환계수 'H'에 의해 표현되며, 'R'은 관측 오차 값이다. 이 방식은 실내 장애물에 의해 수신 장애가 발생할 경우와 약한 신호에도 좋은 결과를 내며, 신호 점프 현상을 방지하는 장점으로 본 논문에서 이 알고리즘을 그대로 적용한다.

### 3.2. Error revision

정확한 세 곳 AP의 고정좌표를 알고 있고, Kalman-Filter를 통해 신호 점핑현상을 낮추어도 정확한 삼 원의 교점이 나타나는 경우가 드물다, 따라서 [그림 7]과 같은 유형을 갖게 된다.



[그림 8] RF 기반 실내 위치 탐지 결과 유형

해당 오차를 줄이기 위해서 Kalman-Filter에서 'w'값 즉, 각 원에 대한 참 값에 대한 편차 값을 사용하여 AP들을 기점으로 원을 증/감 시켜 교점을 찾아 모바일 노드의 위치로 선택한다.

## 4. 결론

무선 통신 환경에서 이동 매체의 위치 추적은 유비쿼터스 시대를 선도하고 실현하기 위한 준비기술이라 할 수 있다. 그에 따라 많은 연구 기관에 위치 추정 알고리즘에 관한 연구를 활발하게 진행하고 있다.

본 논문에서는 기존의 위치추정 알고리즘의 문제점과 실생활에 적용 시 결부되는 문제점을 제시하고, 그 문제를 효율적으로 보완 하고 보다 정확한 위치 추정 알고리즘을 제안 하였다. 향후 연구 과제로는 각각의 실내의 환경이 다르고 NLOS 예러가 다양하기 때문에, 이를 보완 할 수 있는 보다 더 정확한 위치 추정 알고리즘에 대한 연구와 센서의 범위와 전력문제에 대한 연구를 진행하고, 시뮬레이션을 통한 기존 알고리즘과의 비교를 통해 연구 알고

리즘의 성능을 평가할 예정이다.

### Acknowledgement

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음.[2008-064-0002-0003, 적응형 온톨로지 센서 미들웨어]

### 참고문헌

- [1] S.S. Woo, H.R. You, and J.S. Koh, "The NLOS mitigation technique for position location using IS-95 CDMA networks," Proc. IEEE VTC, Boston, USA, 24-28, vol. 6, pp. 2556-2560, September 2000.
- [2] He, T., Huang, C., Blum, B., Stankovic, J. A., and Abdelzaher, T. Range-Free localization schemes in large scale sensor networks. In ACM Inter-national Conference on Mobile Computing and Networking, Mobicom, 2003.
- [3] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS)," IEEE Global Telecommunications Conference, vol. 5, pp.2926-2931, November 2001.
- [4] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," IEEE Personal Communications Magazine, October 2000.
- [5] G. P. Yost and Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival(TOA) from Timing Advance(TA)," IEEE International Conference on Universal Personal Communications, Vol.2, pp.1367-1372, Oct, 1998.
- [6] N. j. Thomas et al., "A Robust Location Estimator Architecture with Based Kalman Filtering of TDOA Data for Wireless Systems", Spread Spectrum Techniques and Applications, 2000.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA," in INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, vol. 3, pp. 1734-743, Mar. 2003,
- [8] K. Kaemarungsi, P. Krishnamurthy, Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting, in: Proc. IEEE First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MOBIQUITOUS'04, Boston, MA, 2004.
- [9] C. M. Takenga, Q. Wen and K. Kyamakya, "On the Accuracy improvement Issues in GSM Location Fingerprinting", IEEE 2006.
- [10] G. V. Zaruba, M. Huber, F. A. Kamanger, I. Chlamtac Indoor location tracking using RSSI reading from a single Wi-Fi access point, Springer Science LLC 2007, vol. 13, pp. 221-235.
- [11] GMengyin Fu, Zhihong Deng, and Jiwei Zhang, "Kalman filter theory and its application in navigation system", Beijing, Science Publisher, 2003.