

다중 경로손실모델을 이용한 효율적인 실내 위치추정 알고리즘

이병호*, 김영준*, 소형민**, 김성철^o

Efficient Indoor Localization Algorithm Using Multi Path Loss Model

Byeong-ho Lee*, YoungJoon Kim*, Hyoungmin So**, Seong-Cheol Kim^o

요약

본 논문은 Wi-Fi 통신의 신호세기를 이용하여 무선 단말의 위치를 추정함에 있어서, 실내의 무선 채널환경을 고려하여 측위 정확도를 향상시키는 방안을 제시한다. 실내의 채널환경은 매우 복잡하여 여러 개의 경로손실 모델이 중첩되어 있기 때문에 기존의 신호 세기를 이용한 거리기반 측위 알고리즘을 적용하기 어렵다. 특히 경로에 존재하는 벽의 수에 따라 채널 환경이 크게 달라지기 때문에 특정 순간에 단말에 연결된 AP들 사이의 경로손실모델이 서로 다를 수 있다. 본 연구에서는 실내의 다중 채널환경을 고려하여 경로손실모델을 모델링하고 측위 예상 오차를 최소화하는 링크별 경로손실모델을 선택하여 측위 정확도를 높이는 방안을 제시한다. 제안한 방법을 평가하기 위해 실제 실내 공간에서 측정된 자료를 바탕으로 채널을 모델링 하고 측위 알고리즘의 성능을 모의실험을 통해 검증했다. 또한 실제 측정값을 이용한 평가 또한 진행하였으며 제안한 알고리즘의 효과를 확인하였다.

Key Words : Indoor localization, Positioning, Wi-Fi localization, Indoor channel model, Path loss model

ABSTRACT

In this paper, we propose a method to improve a positioning accuracy considering an indoor wireless channel environment in estimating the location of a mobile device using a signal strength of Wi-Fi communication. Since the indoor channel environment is very complicated and several path loss models are overlapped, it is difficult to apply the conventional localization algorithm. In particular, since the channel varies depending on the number of walls existing in the path, the path loss models among the APs connected to the device at a specific moment could be different from each other. In this paper, we propose a channel modeling about multi - channel environment and positioning method selecting path loss models for links to minimize positioning error. Based on the data measured in the actual indoor space, we made channel model and the performance of the proposed algorithm is verified through simulation and evaluation using real data.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

◆ First Author : Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media & Communication, Seoul National University, bhlee@maxwell.snu.ac.kr, 학생회원

○ Corresponding Author : Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media & Communication, Seoul National University, sckim@maxwell.snu.ac.kr, 중신회원

* Department of Electrical and Computer Engineering and Institute of New Media & Communication, Seoul National University, cylon@maxwell.snu.ac.kr, 학생회원

** Agency for Defense Development, Korea, hms0@add.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-05-143, Received May 8, 2017; Revised August 2, 2017; Accepted September 1, 2017

I. 서 론

위치기반서비스 (LBS: Location based service)란 통신 시스템을 이용하여 사람이나 사물의 위치를 파악하고, 해당 위치에 적합한 정보를 제공하는 서비스를 의미한다. 초기의 위치기반서비스는 위성항법시스템(GNSS: Global navigation satellite system)을 이용한 실외용 어플리케이션이 주를 이루었으며 차량용 네비게이션 및 지도 시스템을 비롯한 대부분의 경우에 높은 수준의 정확도를 보장한다¹⁾. 하지만 위성항법시스템은 위성으로부터 가시경로가 확보되기 어려운 실내 환경에서는 사용이 제한되기 때문에 실내에서의 위치추정을 위해서는 이를 대체할 다른 방법이 필요하다. 실내측위 기술은 복합환승센터, 쇼핑몰에서의 길안내 서비스, 대형 병원에서의 환자 또는 의사의 동선 관리에 사용될 수 있고, 공장이나 물류창고에서 기자재 및 물품의 관리에 사용되는 등 다양한 분야에 적용될 수 있고 그 필요성이 증가하고 있다. 특히 사람들의 실내생활 비중이 늘어나고, 스마트폰 등 다양한 종류의 무선통신단말이 보급됨에 따라 단말의 실내 위치를 정밀하게 추정하려는 시도가 많이 진행되고 있다. 단말을 이용한 방법을 측정요소에 따라 나누면 크게 전파의 도달시간을 이용한 시스템, 각도정보를 이용한 시스템, 신호세기를 이용한 시스템으로 나눌 수 있다. 도달시간을 이용한 시스템은 기준 노드와 타깃 노드간의 신호 전달에 소요되는 시간을 이용하는 것으로, 구체적으로는 ToA(Time of arrival), TDoA(Time difference of arrival), ToF(time of flight)등을 들 수 있다. 이 방법들은 다른 시스템에 비해 상대적으로 높은 정확도를 확보할 수 있지만 송수신장비들의 시각동기화 및 정확한 지연시간 측정을 위해 별도의 하드웨어와 복잡한 신호처리 시스템이 필요한 단점이 있다. 반면 AoA(Angle of arrival)를 이용한 시스템은 신호의 도래각을 추정하기 위하여 기본적으로 배열 안테나를 구성하고 있어야 하며 전파 전달 거리가 길어질수록 각도오차에 의한 측위 오차가 커진다는 단점이 있다. 마지막으로 RSS (Received signal strength)를 이용한 방법은 송수신노드 사이의 수신신호세기를 측정하여 이용하는 방법으로, 일반적으로 추가적인 장비를 필요로 하지 않아서 구현이 편리하지만 측정 정확도 자체가 높지 않거나 실내의 복잡한 전파환경으로 인하여 높은 정확도를 보장할 수 없다는 단점이 있다²⁻⁴⁾.

본 논문에서는 Wi-Fi 단말의 수신신호세기를 이용한 거리기반 측위 시스템의 정확도 향상을 위한 알고

리즘을 제시한다. IEEE 802.11 표준에 따르면 수신신호세기는 RSSI(Received signal strength indicator) 형태로 쉽게 획득할 수 있으며, 이를 이용한 알고리즘을 소프트웨어 상으로 구현하여 측위 시스템에 이용할 수 있다. RSSI를 이용한 방법은 크게 핑거프린팅 기반 측위방법과 거리기반 측위방법이 있다. 핑거프린팅 방법은 목표 공간 내에 다수의 AP(Access point)들을 설치해두고 타깃 단말이 특정 지점들에서 신호를 송수신할 때에 각 AP와의 송수신 신호세기를 미리 측정하여 저장한 라디오맵을 만들고, 이를 위치추정이 필요한 순간에 측정된 데이터와 비교하여 위치를 추정하는 방법이다. 미리 많은 측정이 이루어진 공간 내에서는 높은 정확도를 보이지만, 사전에 많은 측정을 통해 라디오맵을 만들어야하고 목표 공간의 장애물의 위치가 바뀌는 등 전파환경이 바뀌게 되면 라디오맵도 수정해야 한다는 단점이 있다. 거리기반 측위방법은 수신신호세기와 실내 환경의 경로손실모델을 이용하여 타깃 단말과 AP들 사이의 거리를 추정하고, 이 정보를 이용한 다변측량(Multi-lateration)기법으로 위치를 추정한다. 이 경우 거리 추정에 이용한 경로손실 모델에 따라 추정되는 거리의 정확도가 달라지며 이로 인하여 최종 추정된 위치의 오차도 달라진다. 따라서 정확한 경로손실모델을 이용하는 것으로 측위 정확도를 높힐 수 있다. 하지만 실내 환경에서는 다양한 형태의 지형지물이 많고 움직이는 사람 등에 의해서도 신호세기변화가 빈번하게 발생하기 때문에 이를 보정하기 위한 방법이 필요하다. 특히 AP와 단말 사이의 가시경로 확보유무에 따라 LOS(Line of sight), NLOS(Non line of sight) 환경으로 나뉘며, 이들 둘 환경의 경로손실모델은 크게 달라지며, 특히 NLOS 환경 내에서도 AP와 단말 사이에 존재하는 장애물의 종류나 수에 따라 경로손실모델이 달라진다.

기존에는 Wi-Fi 통신을 고려한 2.4 GHz 대역의 경로손실 특성에 대한 연구가 많이 진행되었으며 실내 측위 시스템 구현을 위해서는 이미 알려진 일반적인 채널 모델을 사용하되, 공간에 맞추어 적절한 매개변수를 선택 또는 추가적인 요소를 포함시키는 것이 일반적이다⁵⁻⁷⁾. 하지만 실내 채널은 매우 복잡하여 하나의 단일 모델로 표현되기 어려우며, 모델링 된 채널과 실제 측정치의 오차로부터 발생하는 문제를 개선하기 위한 방법으로 실시간으로 채널 매개변수를 측정하여 측위시스템에 반영하거나⁸⁾ 측위오차의 예상치가 가장 낮아지도록 각 링크별로 가중치를 다르게 주는 방법⁹⁾ 등이 제안된 바 있다. 하지만 이러한 방법들은 채널 매개변수를 추정하기 위해서 많은 센서 노드들을

필요로 하거나, 많은 수의 연속적인 측정치로부터 측정 신호 세기의 통계적인 정보를 이용해야 하는 단점이 있으며^[8], 위치추정 단계에서 링크별 가중치를 조절하더라도 기본적으로 링크별로 같은 경로손실모형을 바탕으로 채널 매개변수를 다소 조정하는 효과를 얻으며^[9] 이는 실내 채널환경이 매우 복잡할 때는 성능이 떨어질 수 있다. 또한 실내 환경에서의 통계적인 실험을 바탕으로 실내에서 거리에 따른 중단점(Breakpoint) 거리를 설정하여 서로 다른 매개변수를 사용한 채널모델링을 이용한 NLOS문제 개선방법이 있지만^[10], 이 방법은 한 공간의 경로손실을 나타내는 모델을 다소 개선했을 뿐, 각 링크별로 같은 경로손실 모델을 설정했기 때문에 실제 채널 환경을 반영하는데 한계가 있고, LOS/NLOS 오프라인으로 실내측위를 위한 거리추정에서 심각한 오차를 발생시킬 가능성 또한 내포한다. 특정 순간에 목표 단말과 AP들 사이의 링크별로 경로손실모델이 다를 수 있음을 고려하여 각 링크별 최적 경로손실지수를 추정하여 이용하는 방법 또한 제시되었는데^[11], 이 방법은 경로손실 모델의 매개변수들 중, 경로손실지수만을 고려했기 때문에 실내환경에서 빈번히 나타나는 벽에 의한 NLOS 환경을 반영하는데 한계가 있고, 목표 공간 내의 모든 지점에서 매우 많은 경로손실지수의 조합을 시험해보는 방식으로 계산량이 너무 많은 단점이 있다.

본 논문에서는 특정 순간에 다수의 AP로부터 측정된 신호세기들의 조합들로부터 위치추정을 함에 있어서, 각 링크별로 다른 채널모델을 적용하여 거리추정 및 위치추정 정확도를 향상시키는 방법을 제안한다. 다수의 얇은 칸막이, 다수의 장애물이 존재하는 실내 환경에서는 다양한 지형지물, 다중경로의 영향으로 실내의 전파 전달 모델이 다수의 서로 다른 경로손실모델이 중첩된 형태로 나타날 수 있다. 즉 특정 순간에 AP들과 단말 사이의 링크들은 여러 개의 경로손실모델 중 하나를 따르지만 측정 시에는 정확한 경로손실 모델을 알 수 없어서 AP와 단말간의 정확한 거리를 추정할 수 없다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 실내 공간에서 발생 가능한 다수의 경로손실모델을 모두 고려하고, 위치추정 단계에서 예상되는 오차를 최소화 하도록 각 링크별 적합한 모델을 선택하도록 하는 다중 경로손실모델 기반 알고리즘을 제안한다. 해당 알고리즘은 경로손실지수뿐만 아니라 벽에 의한 감쇠요소 또한 포함한 경로손실모델을 고려했으며, 실내채널 특성에 대한 선행연구들을 참고하여 LOS/NLOS 및 벽에 의한 감쇠효과를 주요 변수로 한 양자화된 경로손실 모델을 선택하여 사용하였다. 제안한

알고리즘을 평가하기 위하여, 실제 응급실 환경에 AP를 설치하고 단말을 이용하여 측정한 데이터를 이용하여 실험 공간에 대한 전파환경을 모델링 및 시뮬레이션을 통한 검증을 했으며, 특정 순간의 실제 측정값들을 이용한 평가 또한 실시하였다^[12].

II. 다중 채널모델을 이용한 측위 알고리즘

2.1 실내 환경에서의 다중 채널모델을 이용한 거리추정

신호세기를 이용한 거리기반 측위를 위해서는 송수신간 거리에 따른 신호세기를 정확하게 모델링 하는 것이 중요하다. 일반적으로 널리 알려진 WINNER II 문서에서는 실내 환경의 경로손실 모델을 아래와 같이 표현한다.^[5]

$$P_r = P_0 - 10n \log_{10} \left(\frac{d_i}{d_0} \right) - WAF + X_\sigma \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

위 식 (1)에서 P_r 은 송신기로부터의 거리 d_i 인 지점에서의 수신신호 세기, P_0 는 기준거리 d_0 에서의 기준 수신신호세기이다. n 은 경로감쇠지수를 의미하며 실내공간에서는 일반적으로 2~4 사이의 값을 갖는다. WAF(Wall Attenuation Factor)는 벽에 의한 감쇠 요소를 나타낸다. X_σ 는 변화하는 주변 환경에 의한 선택도잉 요소로, 데시벨 단위로 나타냈을 때 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 노이즈로 가정할 수 있다. 위의 채널 모델을 이용하면 측정된 신호세기로부터 역으로 거리를 추정할 수 있다.

$$d_i = d_0 \cdot 10^{\frac{(P_0 - P_r) + X_\sigma}{10n}} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

또한 X_σ 가 log-normal distribution임을 고려하여 불편추정량(Unbiased estimator)을 유도하면 다음과 같다.

$$\hat{d}_i = d_0 \cdot 10^{\frac{(P_0 - P_r)}{10n}} / \exp\left(\frac{(\sigma \ln 10)^2}{200n^2}\right) \quad (3)$$

그런데, 본 논문에서 제시한 환경처럼 지형지물이 복잡한 실내에서는 하나의 경로손실모델만으로 실내 채널을 표현하기 어려우며, 식 (1)에서의 채널 매개변수 n, P_0, WAF, σ 는 경로상의 지형지물에 따라 다르게 모델링 될 수 있다. 특정 실내 공간을 서로 다른 K개

의 채널모델이 중첩된 환경으로 가정한다면 실내 경로손실모델을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r(m_i) = \sum_{j=0}^{K-1} (P_{0,j} - 10n_j \log_{10}(\frac{d_i}{d_0}) - WAF_j + X_{\sigma_j}) \delta(j - m_i) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

단, $\delta(j)$ 는 디랙 델타 함수를 의미한다. 이에 따라 추정 거리는 다음과 같이 다시 유도될 수 있다.

$$\hat{d}_i(m_i) = \sum_{j=0}^{K-1} (d_0 \cdot 10^{\frac{(P_{0,j} - P_r)}{10n_j}} / \exp(\frac{(\sigma_j \ln 10)^2}{200n_j^2})) \delta(j - m_i) \quad (5)$$

위의 m_i 는 거리 d_i 를 추정할 때에 중첩된 채널들 중에서 특정 채널모델을 선택하기 위한 지표로, 0과 K-1 사이의 정수이다.

2.2 추정된 거리들을 이용한 위치추정 알고리즘

다수의 AP들과 디바이스간의 추정된 거리정보들을 바탕으로 최소제곱법을 이용하여 타깃 단말의 위치를 추정할 수 있다. N개의 AP로부터의 신호세기가 측정 되었을 때, 사용자의 2차원 위치좌표를 (x, y) , i 번째 AP의 좌표를 (x_i, y_i) 라 하고 i 번째 AP와 사용자간의 추정거리 \hat{d}_i 는 식 (3)으로부터의 추정치를 이용하면 디바이스의 위치를 추정하기 위한 비용함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N (\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \hat{d}_i)^2, \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

즉, 위의 비용함수를 최소화 하는 최적화 문제인 식 (7)을 풀어서 단말의 위치 (\hat{x}, \hat{y}) 를 추정할 수 있다.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \underset{(x,y)}{\text{argmin}} (\varepsilon) \quad (7)$$

위 최적화식을 해결하는 다양한 방법이 있는데 선형최소제곱법(LLS : Linear Least Square)방법을 사용하거나 비선형성을 고려한 최적해를 찾는 반복선형최소제곱법(ILS : Iterative Least Square)방법을 사용할 수 있다¹³⁾. LLS를 이용한 추정위치는 다음과 같다.

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\vec{Ax} = \vec{b} \quad (9)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_N) & 2(y_1 - y_N) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{N-1} - x_N) & 2(y_{N-1} - y_N) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_N^2 + y_1^2 - y_N^2 + \hat{d}_N^2 - \hat{d}_1^2 \\ \vdots \\ x_{N-1}^2 - x_N^2 + y_{N-1}^2 - y_N^2 + \hat{d}_N^2 - \hat{d}_1^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$(\hat{x}, \hat{y}) = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} \quad (12)$$

위의 식 (9)는 3개 이상의 서로 다른 위치의 AP를 이용하여 측정된 거리정보를 이용하여 2차원 위치를 추정하는 방정식으로, A는 AP의 수에 따라 정방행렬 또는 과대결정행렬(Overdetermined matrix)이며 이때의 선형근사 해를 계산하기 위해 식 (12)와 같이 의사역행렬을 사용한다. 이는 비선형 시스템을 선형으로 근사하여 해를 추정하는 방법으로 계산량이 적지만 추정오차가 다소 크게 발생하는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 비선형해를 찾는 ILS는 다음과 같이 유도될 수 있다.

현재 추정위치를 (x_c, y_c) 로 표현할 때,

$$\hat{d}_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (13)$$

식 (13)으로부터, 현재 추정거리는 다음과 같고

$$d_{ci} = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}, \quad i = 1, \dots, N \quad (14)$$

위의 식 (14)를 테일러 전개를 이용하여 선형 근사하면 다음과 같다.

$$\hat{d}_{ci} = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} + \frac{(x_i - x_c)\delta x + (y_i - y_c)\delta y}{\sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}} \quad (15)$$

이를 이용하여

$$\delta d_i = \hat{d}_i - d_{ci} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x_c}{d_{c1}} & \frac{y_1 - y_c}{d_{c1}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{x_N - x_c}{d_{cN}} & \frac{y_N - y_c}{d_{cN}} \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} \delta d_1 \\ \vdots \\ \delta d_N \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$(x_c, y_c) \leftarrow (x_c + \delta x, y_c + \delta y) \quad (18)$$

위의 식과 같이 현재 위치 (x_c, y_c) 를 갱신할 수 있다. $[\cdot]^+$ 는 의사역행렬을 의미한다. 초기 위치는 임의의 지점(목표공간의 중앙 또는 원점)으로 설정하거나 별도의 계산량이 낮은 다변측량 알고리즘을 사용하여 지정할 수 있다. 갱신 과정은 반복적으로 이루어지며, 일반적으로 5~10번의 시행 내에서 특정 좌표로 수렴한다.

위의 LLS 또는 ILS 알고리즘을 적용하여 위치를 찾을 때, 식 (3)을 식 (5)로 대체하여 적용하면, 각 거리추정치 d_i 에 대한 m_i 또한 함께 추정해야한다. 즉, 식 (7)은 다음과 같이 변형된다.

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \underset{(x, y, \vec{m})}{\operatorname{argmin}} \left(\sum_{i=1}^N (\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \hat{d}_i(m_i))^2 \right) \quad (19)$$

$i = 1, \dots, N$

위 식의 최적 해를 계산하기 위해서 LLS, ILS 방법을 응용할 수 있으며 이후 시간상으로 연속적인 입력에 대해서는 트래킹 알고리즘을 적용함으로써 최적 해를 찾기 위한 계산량을 줄일 수 있다. 하지만 본 논문에서는 한 순간의 측정치 조합만이 주어진 상황을 가정하였다.

III. 제한한 알고리즘의 성능 평가

3.1 실내 채널 측정 및 모델링

알고리즘을 복잡한 실내 환경에 대해 평가하기 위해서 실제 실내 공간에서 측정된 자료를 이용하였다. 다양한 두께의 벽들과 가구가 많고 사람들이 많이 왕래하는 종합병원 응급실 내부에서 측정을 했다. 그림 1은 측정 실험을 진행한 공간을 나타낸 것으로, 종합병원 응급실의 내부와 외부에서 측정을 한 지점들을 표시한 것이다. 가로 세로 약 35m인 응급실 내부의 천장에 총 7개의 AP들을 설치하고, 사람이 소지한 무선통신 단말을 이용하여 802.11n 규격의 Wi-Fi 통신을 할 때의 RSSI를 측정하여 이용하였다. 측정지점들을 AP들과 단말 사이의 연결정도에 따라 세 개의 그룹으로 나누었다. 실험에 사용한 AP 및 단말은 약 -80 dBm의 신호세기까지가 안정적으로 측정되며 그 이하 세기의 신호는 신뢰성 있게 측정되지 않는다. 또한 약한 신호세기와 주변 기기에 의한 간섭으로 Wi-Fi 패킷 전송 실패가 빈번한 경우에는 신호 세기를 측정하기 어려우며, 거리기반측위로 2차원 좌표를 추정하기 위한 필수요소인 3개 이상의 AP에 접속되지 않는



그림 1. 실내 채널 측정실험 공간
Fig. 1. Indoor channel measurement experiment space

경우가 발생한다. 때문에 측정시간 5초 이내에 3개 이상의 AP에 접속되며, 연속적인 신호세기를 측정할 수 있는 지역을 그룹 1로, 2개 이하의 AP로부터 신호 세기가 측정되거나 측정값이 불연속적인 지점을 그룹 2로, 설치된 AP들과 통신이 거의 불가능한 지역을 그룹 3으로 나누어 분석하였다. 측정 결과 응급실 내부에서는 대부분의 지역에서 3개 이상의 AP와 연속적인 통신이 가능하여 거리기반 측위를 이용할 수 있음을 확인했으며, 응급실과 가까운 외부 및 복도에서는 짧은 순간의 측정만으로 거리기반 측위를 적용하기는 어렵고, 핑거프린팅 기반의 방법 등을 사용해야 할 것임을 확인할 수 있었다.

응급실 내부 및 외부의 120개 지점에서 측정을 시행하였는데, 각 위치에 사람이 단말을 들고 서 있는 상태에서 측정을 하였으며 측정자에 의한 쉐도잉 효과, 측정에 사용한 단말의 안테나 방향성 등을 고려하여 일반적인 측정치를 얻기 위해 여러 방향을 바라보며 측정을 했다. 또한 해당 공간은 24시간 운영되는 응급실로, 시간에 따라 공간을 점유하는 사람들의 수가 달라지며 이를 임의로 조절할 수 없는 관계로, 다양한 시간대에 걸쳐 여러 번 측정실험을 진행했다. 측정된 신호는 벽이나 병원 기자재 등의 고정된 지형지물에 의한 쉐도잉 효과 이외에도 측정시간별로 달라지는 주변 사람들 및 환경변화에 의한 쉐도잉 효과, 단말을 들고 있는 사람의 쉐도잉 효과, 안테나 방향성,

기타 소규모 페이딩에 의한 오차 요소를 포함하고 있다. 경로손실모델을 모델링 할 때, 소규모 페이딩 및 단말 소지자의 방향에 의한 오차를 완화하기 위해 일정 시간동안 측정된 신호세기의 평균치를 사용하였다. 측정된 신호세기를 바탕으로 경로감쇠모델을 추정하기 위해 거리에 따른 수신신호를 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에서 나타낸 결과를 측정상황을 바탕으로 LOS 환경과 NLOS 환경으로 나누고, 경로상에 존재하는 벽 등의 선택요소 고려하여 다중 경로손실모델을 고려한 측위시스템에 이용하기 적절한 형태로 나누어 모델링 한 결과는 그림 3 및 그림 4 및 표 1과 같다.

그림 3은 LOS환경에서 측정된 결과를 바탕으로 실내채널을 모델링 한 결과이다. 단말을 소지한 사람이 경로를 일부 가리는 등의 선택요소가 포함되어 있고, 각 AP가 설치된 공간의 차이에 의해서도 오차가 발생한다. 그림 4는 NLOS 환경의 측정값들을 3가지 그룹으로 나누어 모델링 한 그래프를 나타낸다. 각 그

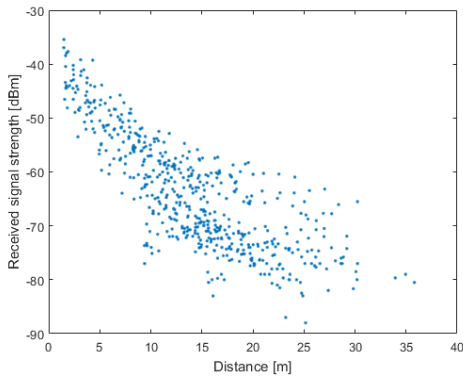


그림 2. 거리에 따른 수신 신호 세기
Fig. 2. Received signal strength with distance

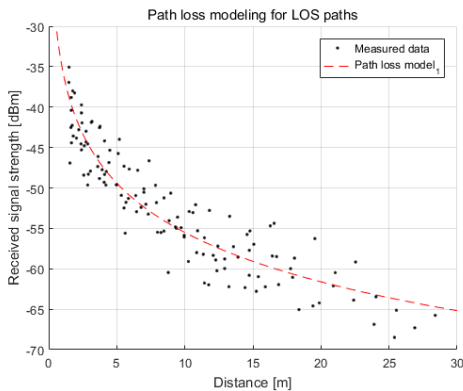


그림 3. 가시경로에서의 경로감쇠모델
Fig. 3. Line of sight path loss modeling

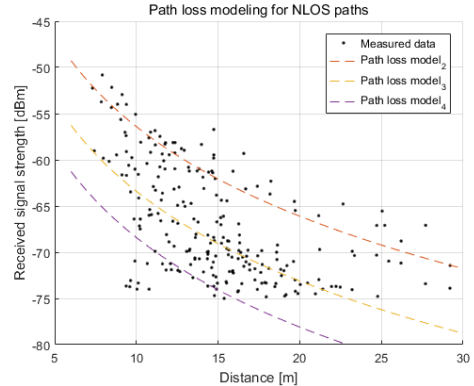


그림 4. 비가시경로에서의 경로감쇠모델
Fig. 4. Non line of sight path loss modeling

룹간의 명확한 경계는 존재하지 않으며, 더 많은 그룹으로 군집화가 가능하지만 계산량을 고려하여 임의로 3개의 모델로 나누었다. 기존의 연구 [7]에서는 도면을 이용하여 실제 측정 지점들에서 각 링크별로 존재하는 벽의 숫자를 고려하여 최대 4개의 경로손실 모델을 이용하였는데, 본 논문에서는 이와 유사하지만 LOS 환경과 NLOS 환경에 대해 서로 다른 경로손실 지수를 사용하고 실제 측정값들을 그룹화 하여 매개변수를 추정함으로써 실내측위에 사용하기 적합한 경로손실모델을 추정하였다. 각 측정값들을 식 (1)과 같은 형태로 모델링하기 위한 채널 매개변수를 찾기 위해 최소제곱법 기반의 회귀분석을 사용했으며, 각 모델에 대해 추정된 매개변수의 값은 표 1과 같다.

표 1. 실내 채널 모델링 매개 변수
Table 1. Indoor channel model parameter

Channel environment		n	P_0 [dBm]	WAF [dB]	σ [dB]
LOS	Model 1	2.03	-39.37	0	2.85
	Model 2			0	1.95
NLOS	Model 3	3.22	-30.78	7	1.78
	Model 4			12	2.48

3.2 제안한 알고리즘의 성능평가 모의실험

위의 채널 측정 결과를 이용하여 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다. 거리기반 다변측량 측위를 위해서는 단말이 최소 3개 이상의 AP와 연결되어 있어야 한다. 실내 측정 실험 결과를 바탕으로 3개 이상의 AP에 일정 신호세기 이상으로 동시 연결이 가능한 그룹 1 지역 내에서 측정된 지점들에 대해 평가를 했다. 실내 환경의 채널특성을 고려하여, 실제로 자료를 측

정할 때의 환경보다 다양한 환경을 모델링하여 모의 실험을 하였다. 각 지점별로 측정되는 신호의 분포를 가우시안 분포로 모델링 하고, 모델링 결과를 바탕으로 특정 지점에서 쉐도잉 효과로 인해 발생 가능한 다양한 신호 조합을 생성하여 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 사용하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 기존의 방법과 비교하기 위하여, 실내 채널을 중단점을 고려한 채널모델 하나만을 사용한 방법과 비교했으며 모의실험 결과는 다음과 같다.

그림 5는 모의실험 결과 추정된 측위 오차의 RMSE(Route mean square error)값을 경험적 누적분포함수로 나타낸 것이다. LLS와 ILS는 기존의 방법을 사용했을 때의 그래프이고, MPLM_LLS와 MPLM_ILS는 각각 LLS와 ILS 방법에 제안한 다중 경로손실모델을 고려한 알고리즘을 적용했을 때의 결과를 나타낸 그래프이다. 모의실험 결과, 제안한 방법을 적용한 MPLM_LLS와 MPLM_ILS가 각각 기존의 LLS, ILS보다 높은 성능을 나타냄을 확인할 수 있으며 RMSE 값의 중앙값을 기준으로 했을 때 LLS 기법에 대해서는 38.3%, LLS 기법에 대해서는 15.3%의 성능향상이 있었다. 또한 65개 지점들에서 실제로 측정된 값을 이용하여 위치를 추정해본 결과 제안한 알고리즘을 LLS와 ILS 기법에 각각 적용한 결과 RMSE 값의 중앙값을 기준으로 했을 때 ILS 기법에 대해서는 16.8%, LLS 기법에 대해서는 35.3%의 성능향상이 있었다. 제안한 알고리즘과 ILS를 결합하여 추정된 위치를 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6에서 빨간색 점은 실제로 사람이 단말을 들고 있던 위치이고, 빨간 점선으로 연결된 초록색 원은 추정된 위치를 나타낸다. 65개 지점에 대해 분석한 결과 위치좌표의

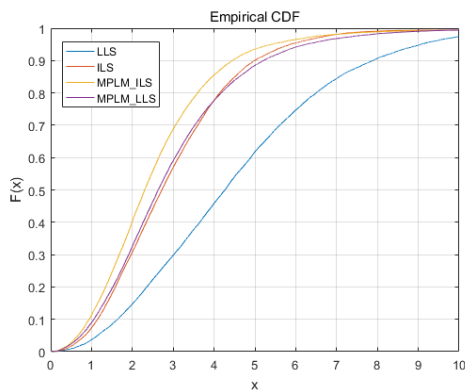


그림 5. 각 방법별 측위 오차의 경험적 누적분포함수
Fig. 5. Empirical cumulative distribution function of RMSE for each method

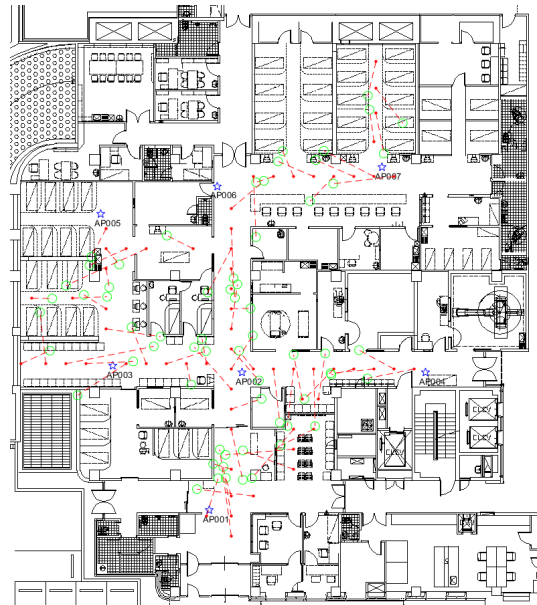


그림 6. MPLM_ILS기법으로 추정된 위치 결과
Fig. 6. Estimated position result using MCM_ILS

RMSE 중앙값은 2.19 m, 평균은 2.23 m이었다. 거리 기반 측위의 특성상 연결되는 AP의 숫자와 배치 또한 중요하기 때문에 목표공간의 바깥지역이 상대적으로 오차가 크게 발생했음을 확인할 수 있다. 또한 특정 위치 하나만의 신호를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 전체적으로 오차가 크게 발생했으며, 실제로 단말의 위치 및 동선을 추정하기 위해서는 다른 종류의 측위 알고리즘 또는 적절한 트래킹 알고리즘이 복합적으로 적용되어야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 채널환경이 복잡한 실내에서 단말이 3개 이상의 Wi-Fi AP와 통신 가능한 상황에서 짧은 시간 내에 측정되는 신호 세기만을 이용하여 거리기반 측위를 할 때에, 기존의 다변측량 알고리즘을 이용한 측위 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고 그 성능을 분석하였다. 제안한 방법의 핵심은 일정 순간에 여러 AP와 연결된 단말이 각 AP로부터의 거리를 추정할 때에 경로손실모델이 다를 수 있음을 고려한 점이다. 특정 채널환경에 가장 비슷한 하나의 경로손실모델을 설정하고 위치를 추정하는 기존의 방법들과 달리 특정 공간에 존재할 수 있는 경로손실 환경을 미리 여러 개로 모델링하여 이용함으로써 각 링크별로 최적 거리 추정치를 이용하도록 알고리즘을 설계하였

다. 실제 실내 공간에서 측정된 결과를 바탕으로 실내에서 측정 가능한 신호세기 조합들을 모델링하여 모의실험을 한 결과 제안한 알고리즘이 측위 성능을 향상시킴을 확인하였다.

실내에서의 Wi-Fi 신호세기를 이용한 거리기반 측위 성능은 실내 경로손실모델을 모든 지역에서 정확히 맞도록 모델링하기 어렵기 때문에 거리추정 단계에서 큰 오차가 발생하곤 한다. 따라서 측위 정확도는 일반적으로 핑거프린팅 기반 방법들에 비하여 떨어지지만, 사전에 목표공간에 대한 수신신호세기 데이터베이스를 만들지 않아도 되며 장애물 등 웨도잉 요소의 변화에 대해서는 핑거프린팅보다 좋은 성능을 보이고 계산량이 적다는 장점이 있으므로, 실내측위에 적합한 기술이다. 본 연구에서는 실제 측정을 바탕으로 하여 4개의 경로손실모델이 중첩된 것으로 가정하였으나, 활용성을 증대하기 위해서는 앞으로 중첩된 채널 모델의 숫자 및 매개변수를 최적화하고 유사한 환경의 다른 공간들에서도 보편적으로 동작하는 경로손실모델을 찾기 위한 연구가 필요할 것이다. 또한 특정 순간의 신호조합만을 이용하지 않고, 연속으로 측정되는 데이터를 바탕으로 트래킹 알고리즘을 적용한다면 제안한 알고리즘의 필요 계산량이 낮아지고 측위 정확도 또한 향상될 것으로 예상된다.

References

[1] M. S. Lee, J. W. Kim, and S. S. Lee, "Pedestrian positioning method using multi-level transmission signal strength," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 124-131, Jan. 2015.

[2] J. Y. Lee and D. M. Lee, "Indoor localization algorithm using smartphone sensors and probability of normal distribution in Wi-Fi environment," *J. KICS*, vol. 40, no. 9, pp. 1856-1864, Sept. 2015.

[3] N. Patwari, et al., "Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Sign. Process. Mag.*, vol. 22, no. 4, pp. 54-69, Jul. 2005.

[4] J. K. Lee, Y. J. Kim, and S. C. Kim, "Efficient localization algorithm for non-linear least square estimation," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 88-95, Jan. 2015.

[5] J. H. Jung, W. H. Lee, J. C. Choi, and S. C. Kim, "Property and standardization of wireless

communication channel," *Telecommun. Rev.*, TR14-098, Dec. 2014.

[6] A. Bose and C. H. Foh, "A practical path loss model for indoor WiFi positioning enhancement," in *Proc. Int. Conf. Inf., Commun. Sign. Process.*, pp. 1-5, Singapore, Dec. 2007.

[7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based userlocation and tracking system," in *Proc. IEEE INFOCOM 2000*, vol. 2, pp. 775-84, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000.

[8] A. Bel, J. L. Vicario, and G. Seco-Granados, "Localization algorithm with on-line path loss estimation and node selection," *Sensors*, vol. 11, no. 7, pp. 6905-6925, Jul. 2011.

[9] Y. Wang, "Linear least squares localization in sensor networks," *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, vol. 2015, Mar. 2015.

[10] S. R. Go, S. D. Kim, and J. W. Chong, "An efficient non line of sight error mitigation method for TOA measurement in indoor environments," in *Proc. Int. Conf. Ubiquitous Inf. Manag. Commun.*, no. 72, Jan. 2014.

[11] J. Shirahama and T. Ohtsuki, "RSS-based localization in environments with different path loss exponent for each link," in *Proc. VTC Spring 2008 - IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1509-1513, Singapore, May 2008.

[12] B. H. Lee, Y. J. Kim, H. M. So, and S. C. Kim, "A study on the improving performance of multi-lateration algorithm based on multi channel model using wi-fi signal strength in indoor," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, vol. 2017, no. 1, pp. 278-279, Jeongseon, Korea, Jan. 2017.

[13] A. Coluccia and R. Fabio, "RSS-based localization via bayesian ranging and iterative least squares positioning," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp. 873-876, May 2014.

이 병 호 (Byeong-ho Lee)



2015년 2월 : 서울대학교 전기
정보공학부 학사
2015년 3월~현재 : 서울대학교
전기정보공학부 석박사 통합
과정
<관심분야> 통신공학, 측위 알
고리즘, 레이더공학

소 형 민 (Hyoungmin So)



2001년 2월 : 고려대학교 기계
공학과 학사
2003년 8월 : 서울대학교 기계
항공공학부 석사
2009년 8월 : 서울대학교 기계
항공공학부 박사
2010년 12월 : 서울대학교 정밀
기계설계공동연구소 선임연구원
2011년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원
<관심분야> 위성항법, 보강시스템, 교란대응기법

김 영 준 (YoungJoon Kim)



2012년 2월 : 서울대학교 전기
공학부 학사
2012년~현재 : 서울대학교 전기,
컴퓨터공학부 석박사 통합과
정
<관심분야> 통신공학, 센서네
트워크, 측위 알고리즘

김 성 철 (Seong-Cheol Kim)



1984년 2월 : 서울대학교 전기
공학과 학사
1987년 2월 : 서울대학교 전기
공학과 석사
1995년 2월 : 뉴욕대학교 폴리
테크닉 인스티튜트 전기공학
박사
1995년~1999년 : AT&T Bell Lab. Member of
Technical Staff
1999년~현재 : 서울대학교 전기·정보공학부 교수
<관심분야> 통신공학, 채널모델링, 레이더공학