Journal of Korea Multimedia Society Vol. 21, No. 5, May 2018(pp. 583-591)
https://doi.org/10.9717/kmms.2018.21.5.583

2개의 이중대역 AP와 스마트폰을 이용한 Wi-Fi LOS 신호 기반의 실내 측위 기법

조현정[†], 안현성[††], 김승구[†††]

Wi-Fi Line-of-Sight Signal based Indoor Localization Method Using Smartphone and Two Dual-band APs

Hyeonjeong Jo[†], Hyunseong An[††], Seungku Kim[†††]

ABSTRACT

With the development of ICT(Information and Communication Technology), the number of smart devices is rapidly increasing. LBS(Location Based Service) applications that provide user's location based service are used in various fields. There is also a growing demand for indoor precision positioning technology to provide seamless services. In this paper, we propose an indoor positioning system that estimates the location of a smartphone user. The proposed algorithm determines whether the received signal is LOS(Line-of-Sight) or NLOS(Non-Line of-Sight) in order to decrease multipath effect by the indoor environment. The proposed positioning algorithm is very simple and requires only the AP(Access Point) coordinates. In addition, it requires only two APs for estimating the location of a smartphone user. The proposed algorithm is a practically applicable technology without any additional hardware and kernel modification in the smartphone. In the experiment results, the reliability of the positioning system was found to be within 0.83 m.

Key words: Dual-band AP, Indoor Positioning, LOS/NLOS, Smartphone, Wi-Fi

1. 서 론

정보통신기술의 발전과 함께 다양한 스마트 디바이스의 수가 급격히 증가하고 있다. 스마트 디바이스의 증가와 함께 사용자의 위치를 활용한 위치기반서비스(LBS: Location Based Service) 어플리케이션 역시 증가하고 있으며, 이를 위한 연구도 활발히 진행되고 있다[1,17]. 과거 군사, 항해에서 분야에서 많이 활용되었던 LBS 어플리케이션은 스마트 디바이스의 mobile 특성을 이용한 다양한 분야에서 활용되고 있다. 대표적인 어플리케이션으로는 실내 내비게이션, 재난상황에서 무인 로봇을 이용한 구호 시스템, 위치 기반 증강현실 게임, 물류 추적 시스템, 사용자 주변에 위치한 상점의 정보와 쿠폰을 받을 수 있는 LBA(Location Based Advertisement) 등이 있으며 추후 더욱 다양한 분야에서의 활용이 예상된다.

사용자가 LBS를 보다 원활히 사용하기 위해서는 정밀 측위 기술이 요구된다. 대표적인 측위 기술로는

※ Corresponding Author : Seungku Kim, Address: (28644) Chungbuk National University, Chungdaero 1, Cheongju-si, Chungbuk, Korea, TEL : +82-43-261-2479, E-mail : kimsk@cbnu.ac.kr
Receipt date : Feb. 1, 2018, Revision date : Mar. 26, 2018
Approval date : Apr. 3, 2018
[†] Dept. of Electronic Eng., Chungbuk National University (E-mail : johj0840@cbnu.ac.kr)
[††] Dept. of Electronic Eng., Chungbuk National University (E-mail : ahj3460@cbnu.ac.kr)
[†††] Dept. of Electronic Eng., Chungbuk National University
※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2016R1C1B1015863)
※ This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2015

위성 신호를 이용하는 GPS(Global Positioning System) 시스템이 있으나 실내에서는 위성 신호를 수신할 수 없어 실내 측위에는 부적절하다[2]. 실내에서의 위치를 측정하기 위해 Bluetooth, ZigBee, UWB (Ultra Wide Band)와 같은 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술을 이용한 다양한 측위 기술[3]들이 제안되고 있지만 추가적인 인프라 구축이 필요하다는 단점이 있다. 수신기와 송신기 간 신호의 도달 시간과 방향을 통해 사용자의 위치를 추정하는 TOA(Time of Arrival)와 AOA(Angle of Arrival)가 있으나 TOA의 경우 송수신기간의 정확한 시간동기가 요구되며, AOA의 경우 여러 개의 수신 안테나가 요구되어 스마트폰에서 구현할 수 없고 별도의 하드웨어를 사용해야하는 한계가 있다[4]. Wi-Fi 기술이 기본적으로 탑재되어 있는 스마트폰과 같은 모바일 디바이스의 보편화로 Wi-Fi AP(Access Point) 역시 그 수가 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 현재 IEEE 802.11n 표준화로 2.4GHz와 5GHz를 제공하는 듀얼 밴드 AP의 비율이 급격히 증가하는 추세이다. 따라서 Wi-Fi를 이용한 실내 측위 시스템은 인프라 구축을 위한 별도의 비용이 추가되지 않는다는 장점이 있다.

실내 환경에서 무선 신호는 가구, 기둥, 벽과 같은 장애물로 인해 감쇠가 발생하여 수신기에서 측정하는 신호 세기(RSSI, Received Signal Strength Indicator)의 신뢰도가 낮아진다. 이러한 RSSI를 통한 측위 결과 역시 오차가 발생하게 되므로 전파경로 상의 장애물 유무에 따른 LOS(Line-of-Sight), NLOS (Non-Line-of-Sight) 환경을 판별하여 거리 추정 오차를 줄이는 시스템을 설계하는 것이 실내 측위의 중요한 과제 중 하나다. 많은 연구[5]에서는 통계적 모델을 사용하여 LOS와 NLOS를 판별한다. 그러나 계산량이 증가하기 때문에 추정된 결과에 지연이 발생하므로 사용자의 모바일 특성 측면에서 측위의 신뢰도가 낮아진다. Friis 전송 방정식에 의하면 무선 신호는 송수신기간의 거리와 주파수 대역에 따라 감쇠량의 차이를 보인다[6]. David와 Cliff의 연구[7]에 의하면 LOS의 경우 2.4GHz와 5GHz 대역 신호의 경로 손실 계수가 크게 차이 나지 않는다. 그러나 NLOS의 경우 두 대역 신호의 경로 손실 계수 차이가 증가하여 두 대역 신호의 감쇠량 차이 역시 증가하게 된다. 기존의 연구[8]에서는 이러한 특성을 활용하여 AP와 사용자 사이의 벽의 개수에 따라 변하는 이중 대역 신호의 감쇠 차이를 통해 사용자의 위치를 추정하는 시스템을 제안했다. 그러나 사용자의 정확한 위치를 추정하는 것이 아닌 사용자가 위치한 방의 번호를 추정한다는 한계가 있다. 본 논문에서는 복잡한 계산이 필요한 시스템이 아닌 무선 신호의 주파수 특성을 이용하여 LOS/NLOS 여부를 판별한 후, LOS 신호만 경로 손실 모델에 적용시켜 거리를 추정하고 사용자의 위치를 추정하는 시스템을 제안한다. 본 시스템은 안드로이드 플랫폼 기반에서 스마트폰 어플리케이션으로 구현했으며, 실험 결과 최대 0.83 m의 오차를 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 스마트폰에서 활용 가능한 기존의 실내 측위 기술에 대해 소개한 후 3장에서 실내 측위의 해결 과제인 LOS/NLOS 환경과 보편적인 측위 기술인 삼변측량과 최소제곱법에 대해 소개한다. 4장에서는 신호의 감쇠 특성을 이용한 LOS/NLOS 판별과 제안하는 알고리즘을 설명한다. 5장에서는 제안한 알고리즘을 실재 환경에서 실험으로 검증하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 실내 측위 기술

실내 측위의 정확도를 향상시키기 위한 다양한 기술들이 이미 많이 제안되었지만 스마트폰에서 활용하기에는 한계가 있다. 본 장에서는 RSSI를 통한 송수신기간 거리 추정 방식, Fingerprint 방식, PDR, 지자기 방식과 같이 스마트폰에서 활용 가능한 실내 측위 기술에 대해 소개한다.

2.1 RSSI 거리 추정 방식

로그-거리 경로 손실 모델은 자유공간에서의 전파 감쇠 모델인 Friis 전송 방정식을 실내 환경에 적합하게 보완한 모델이다[9]. 수신기에서 측정된 RSSI와 로그-거리 경로 손실 모델을 통해 거리 값 d를 도출할 수 있다. Friis 전송 방정식은 송수신전력과 안테나 이득, 주파수, 거리 간의 관계를 정의한 식으로 아래와 같이 표현된다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20\log_{10}(\frac{\lambda}{4\pi R}) \quad (1)$$

이 식에 실내 환경에서의 경로 손실 계수를 적용한 로그-거리 경로 손실 모델은 다음과 같이 표현된

다. PL은 경로 손실이며 PL_0는 기준거리 d_0에서의 경로 손실을 의미한다. n은 무선 신호의 주파수, 투과하는 매질, 통신 환경에 따라 달라지는 경로 손실 계수이다.

$$PL = P_t - P_r = PL_0 + 10n\log_{10}\frac{d}{d_0} \quad (2)$$

송신기에서 송출된 무선 신호는 실내 환경 특성에 따라 다중 경로를 통하여 수신기에 도달 가능하며 반사, 굴절, 회절과 같은 현상을 일으키게 된다. 이로 인해 수신기에서 측정되는 RSSI는 같은 거리에서도 편차가 심해 보정이 필수적으로 요구된다.

2.2 Fingerprint

Fingerprint 방식은 측위 구역을 일정 크기의 Cell 단위로 구분된 Radio Map을 사용하는 측위 기법이다[10]. 미리 수집된 데이터베이스와 특정 Cell의 무선 신호의 RSSI 분포의 매칭을 통해 사용자의 위치를 쉽게 추정할 수 있다. 보다 정밀한 측위를 위해서는 Cell의 크기를 줄여야 하지만 측위 공간이 커질수록 사전 정보 수집 및 유지 보수 등 경제적 측면에서 큰 단점으로 부각되고 있다. 또한 NLOS 환경에서의 신호 감쇠, 통신 채널 상태에 따라 신뢰성이 낮아진다는 점 역시 Fingerprint 방식의 단점이다.

2.3 PDR과 지자기 방식

가속도센서(Accelerometer)와 자이로센서(Gyroscope), 지자기센서(Magnetometer) 등으로 구성된 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)를 이용한 기술인 보행자 추측 항법(PDR, Pedestrian Dead Reckoning)과 지자기(Geo-magnetism)를 활용한 방법이 있다. 스마트폰에는 가속도센서와 자이로센서, 지자기센서가 탑재되어 있어 하드웨어 측면에서의 요구사항이 없다는 장점이 있다. PDR은 사용자의 걸음 수와 보폭, 진행 방향을 통해 이전 위치로부터 현재 위치를 추정하는 기법이다[11]. PDR은 사용자의 보행 자세와 키, 몸무게와 같은 특성에 따라 달라지는 보폭의 너비를 결정하기 위한 별도의 기술이 필요하다. 그러나 보폭의 너비를 결정하는 과정에서 발생하는 작은 오차는 시간이 지날수록 누적되어 큰 오차를 야기한다. 또한 이전 위치로부터의 상대적인 위치를 계산하기 때문에 최초의 위치를 찾기 위해서는 다른 기술과의 결합이 필요하다는 단점이 있다. 지자기를 활용한 방법에는 측위 공간의 자기장 정보를 기반으로 구축된 자기장 맵을 통해 사용자의 위치를 추정하는 기법이 있다[12]. 실내에서는 철근 등과 같은 구조로 인해 자기장에 왜곡이 발생하여 구역별로 고유한 자기장 값을 갖는다. 구역별 자기장 값을 데이터베이스화하여 자기장 맵을 구축한 후, 사용자의 위치에 해당하는 자기장을 매칭하여 위치를 추정할 수 있다. 하드웨어 인프라가 전혀 필요 없다는 장점이 있지만 사전에 자기장 맵을 구축하는 과정에서 시간과 비용이 소모되며, 차량과 엘리베이터 등 움직이는 물체가 있는 공간에서는 자기장이 변화하므로 사용하기 어렵다. 또한 사용자의 키에 따른 스마트폰의 위치에 따라서도 자기장 값이 달라질 수 있으므로 실제 적용에는 어려움이 있다.

3. 관련 연구

3.1 LOS/NLOS

전파의 송신기와 수신기 사이에 장애물이 없는 상태를 LOS 환경이라 부른다. 이러한 환경에서는 전파 신호의 감쇠가 잘 일어나지 않아 비교적 정확한 측위 결과를 얻을 수 있다. 반면, NLOS 환경의 경우 송신기와 수신기 사이에 존재하는 장애물로 인해 신호 감쇠가 크게 발생한다. 따라서 정확한 측위를 위해서는 송신기로부터 송출된 신호가 수신기까지 도달하는 경로가 LOS 환경인지 NLOS 환경인지 판별한 후, NLOS 상태인 경우에는 보정을 통해 측위 결과의 오차를 줄여야 한다.

3.2 삼변측량과 최소제곱법

삼변측량은 AP와 사용자 간의 거리를 이용한 가장 기본적인 측위 기법이다[13]. Fig. 1에서 AP_1의 좌표를 (x_1,y_1), 사용자의 좌표를 (x,y)이라 하고, 둘 사이의 거리를 d_1이라 정의한다. d_1은 스마트폰에서 수신된 RSSI와 path loss model을 통해 구할 수 있다. 마찬가지로 사용자와 AP_2, AP_3의 관계를 정의하면 다음과 같은 수식이 완성된다.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 \\ d_2^2 &= (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 \\ d_3^2 &= (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

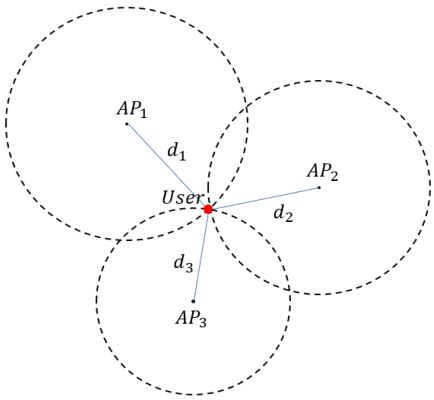


Fig. 1. Trilateration.

식 (3)의 방정식을 차례로 빼면 아래와 같이 두 원의 교점을 지나는 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} 2(x_1-x_3)x+2(y_1-y_3) &= x_1^2-x_3^2+y_1^2-y_3^2-d_1^2+d_3^2 \\ 2(x_2-x_3)x+2(y_2-y_3) &= x_2^2-x_3^2+y_2^2-y_3^2-d_2^2+d_3^2 \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식을 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$Ax=b \quad (5)$$

$$A=\begin{bmatrix} 2(x_1-x_3) & 2(y_1-y_3) \\ 2(x_2-x_3) & 2(y_2-y_3) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$x=\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$b=\begin{bmatrix} x_1^2-x_3^2+y_1^2-y_3^2-d_1^2+d_3^2 \\ x_2^2-x_3^2+y_2^2-y_3^2-d_2^2+d_3^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

A의 역행렬 A^-을 양변에 곱하면 사용자의 추정된 위치 $\hat{x}$을 구할 수 있다.

$$\hat{x}=A^-b \quad (9)$$

최소제곱법은 4개 이상의 Anchor node에서 수신된 신호를 처리할 때 사용되며 측정치와 모델의 오차 제곱의 합을 최소로 하는 모델의 파라미터를 구하기 위한 기법이다[14]. 측정치과 추정치의 차이 r은 아래와 같이 정의한다.

$$r=b-A\hat{x} \quad (10)$$

최소제곱법에 사용되는 목적함수 J는 r을 통하여 구할 수 있으며, J를 최솟값으로 만드는 $\hat{x}$이 최소제곱법의 해가 된다. 먼저 목적함수 J를 $\hat{x}$에 대해 전개한 후 $\hat{x}$에 대해 편미분을 한다. 목적함수 J를 최소화하기 위해서는 편미분을 한 값이 0이 되는 $\hat{x}$을 구해야 한다.

$$J=r^Tr=b^Tb-2(A^Tb)^T\hat{x}+\hat{x}^TA^TA\hat{x} \quad (11)$$

$$\frac{\partial J}{\partial \hat{x}}=-2A^Tb+2A^TA\hat{x}=0 \quad (12)$$

최종적으로 식 (13)을 유도하여 사용자의 위치를 추정할 수 있다.

$$\hat{x}=(A^TA)^{-1}A^Tb \quad (13)$$

AP와 사용자 간의 거리가 정확하게 추정되어 거리정보를 기반으로 생성된 3개의 원이 1개의 점에서 만나게 되는 경우에는 삼변측량과 최소제곱법을 이용하여 사용자의 위치를 정확하게 추정할 수 있다. 작은 오차를 가진 거리 값이 포함된 경우에도 비교적 정확한 위치를 추정할 수 있다. 그러나 추정된 거리가 큰 오차를 포함하게 되는 경우에는 추정된 사용자의 위치 역시 큰 오차를 포함하게 된다. 따라서 AP와 사용자 간의 거리 값에 포함된 오차를 최대한으로 줄이는 것이 삼변측량 및 최소제곱법의 해결 과제이다.

4. 제안하는 측위 알고리즘

본 장에서는 듀얼 밴드 AP를 활용하여 판별된 LOS 신호로 사용자의 위치를 추정하는 시스템을 제안한다. 송신기에서 출력된 무선 신호는 실내 환경 특성에 따라 다중 경로를 통하여 수신기에 도달 가능하며 반사, 굴절, 회절과 같은 현상을 일으키게 된다[15]. 이로 인해 수신기에서 측정되는 RSSI는 같은 거리에서도 편차가 심해 보정이 필요하다. 많은 양의 비컨을 수집하여 RSSI의 편차를 줄이는 방법이 있지만 안드로이드 어플리케이션은 Wi-Fi의 모든 채널을 검색하여 주변 AP가 주기적으로 전송하는 비컨 프레임을 수집하기 때문에 1회 스캔에 약 1초 이상의 시간이 소요되므로 다량의 비컨 신호를 수집하기에는 어려움이 있다. 스캔 주기를 감소시키기 위해 특정 채널만 스캔하기 위해서는 안드로이드 커널 수정이 필요하다[16]. 이러한 스캔 주기로 인해 측위 과정에 지연이 발생하지만 사용자가 1초에 이동할 수 있는 거리는 크지 않으며, 제안하는 알고리즘의 경우 실시간으로 측위를 하는 목적보다는 LOS 신호만을 사용하여 측위의 정확도 향상을 목적으로 하므로 지연에 대한 영향은 미비하다. 본 논문에서 제안하는

측위 시스템은 주변의 모든 듀얼 밴드 AP의 비컨을 수집하며, 두 대역 신호의 감쇠량 차이를 측정한다. LOS 환경에서 두 대역의 감쇠 차이는 NLOS 환경에서의 감쇠 차이보다 적으므로 계산된 감쇠량이 미리 설정해놓은 임계값보다 낮은 경우 LOS 신호로 판단한다.

4.1 LOS/NLOS 판별

신호의 감쇠량은 식 (14)와 같이 송신 전력 P_t와 수신 전력 P_r의 차이를 의미하고, P_r는 RSSI로 표기한다.

$$PL = P_t - P_r \tag{14}$$

두 대역 신호는 같은 AP에서 송출되므로 동일한 세기로 전송된다고 가정한다. 따라서 두 대역 신호의 감쇠량 차이 $\triangle PL$은 식 (15)로 다시 표현된다. LOS 환경에서는 일반적으로 5GHz 대역 신호의 RSSI가 2.4GHz보다 크기 때문에 $\triangle PL$은 양의 값을 갖는다.

$$\triangle PL = RSSI_{5GHz} - RSSI_{2.4GHz} \tag{15}$$

기존 연구[6]에서는 2.4GHz 대역 신호와 5GHz 대역 신호 감쇠의 차이가 LOS 환경에서 거리와 무관하게 일정하고 NLOS 환경에서는 그 차이가 증가함을 수식으로 증명하였다. 따라서 수신기에서 측정된 2.4GHz와 5GHz 대역의 RSSI 값 차이가 임계값보다 작으면 LOS, 그렇지 않으면 NLOS로 판별한다. 임계값은 사용자의 환경에 따라 다르며 본 논문에서는 송수신기 사이에 사람의 유무에 따른 실험을 통해 5로 설정하였다.

$$\begin{cases} RSSI_{5GHz} - RSSI_{2.4GHz} < TH & \cdots LOS \\ otherwise & \cdots NLOS \end{cases} \tag{16}$$

4.2 Narrow Space Localization Algorithm(NSLA)

삼변측량 및 최소제곱법은 최소 3개 이상의 Anchor node에서 송출된 신호가 필요하다. 사무실이나 학교의 복도는 그 폭이 보통 5m를 넘지 않아 3개의 AP로부터 LOS 신호를 수신하기 어렵기 때문에 삼변측량과 최소제곱법을 사용하기에 부적절하다. 폭이 좁은 실내 환경에서 사용자가 진행하는 방향의 수직방향 움직임은 크지 않으므로 본 논문에서는 고려하지 않는다. NSLA는 복도와 같이 좁은 환경에서 활용되며 2개의 AP만을 사용하여 측위가 가능하다.

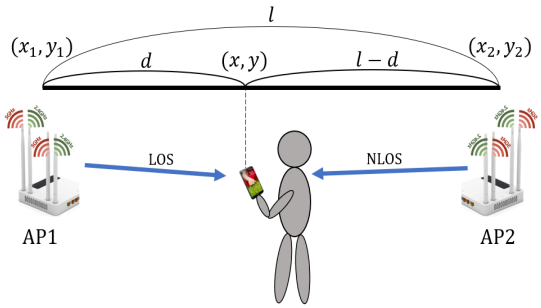


Fig. 2. An example of positioning.

4.2.1 LOS AP와 NLOS AP 설정

NSLA는 LOS AP와 NLOS AP, 각 AP별로 갖고 있는 count와 LOS AP의 플래그 역할을 하는 max Count라는 파라미터를 갖는다. 첫 번째 AP인 LOS AP는 Fig. 2의 AP1과 같이 현재 사용자가 바라보고 있는 AP이다. 두 번째 AP인 NLOS AP는 이전의 LOS AP로 Fig. 2의 AP2와 같이 사용자가 등을 지고 있는 상태이며 사용자의 신체가 스마트폰과 사용자 간의 장애물 역할을 한다. 스마트폰은 Wi-Fi 전 채널을 검색하여 듀얼 밴드 AP의 비컨을 수집한 후 각 AP의 2.4GHz대역과 5GHz 대역 신호의 감쇠 차이를 계산하고, 감쇠 차이가 미리 설정된 임계값(TH)보다 작으면 LOS로 판단된다. AP에서 송출된 신호가 LOS로 판단된 경우 해당 AP의 count가 증가하고, count가 미리 설정된 maxCount와 같게 되면 해당 AP는 LOS AP가 되고 모든 AP의 count가 0으로 초기화된다. 사용자가 방향을 전환하여 새로운 AP의 count가 maxCount와 같게 되면 기존의 LOSAP는 NLOS AP가 되고 해당 AP가 LOS AP로 갱신되어 측위를 진행한다. Fig. 2의 AP1이 LOS AP인 상황에서 사용자가 진행 방향을 전환하여 AP2를 향하게 된다면 위와 같은 AP 설정 과정을 통해 AP2가 LOS AP가 되고 AP1은 NLOS AP가 되어 측위에 필요한 준비과정을 모두 마치게 된다. Fig. 3은 AP 설정 과정을 흐름도로 나타낸 것이다. 측위 시작 시 약 10초간의 AP 설정 과정이 필요하다는 단점이 있지만 사전에 데이터베이스를 구축해야하는 Fingerprint 방식과 비교하면 아주 적은 비용이 발생한다는 장점을 갖는다.

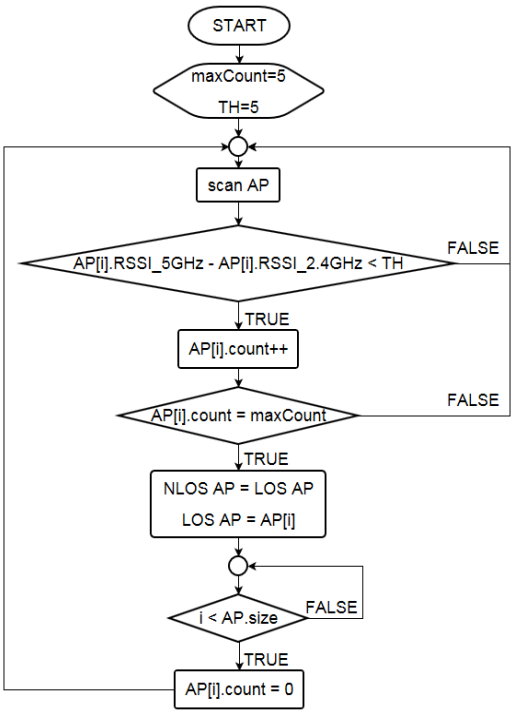


Fig. 3. LOS AP and NLOS AP selection process.

4.2.2 측위 기술

LOS AP와 NLOS AP 설정이 완료되면 측위를 시작한다. Fig. 2의 AP1이 LOS AP, AP2가 NLOS AP로 설정되었다고 가정한다. AP1에서 송출된 LOS 신호의 RSSI를 Log-distance path loss model에 적용해 AP1과의 거리 d를 계산하고 AP1과 AP2 좌표와 거리 l에 내분점의 공식을 적용하여 사용자의 좌표 (x, y)를 쉽게 알아낼 수 있다.

$$x = \frac{mx_1 + nx_2}{m+n}, \quad y = \frac{my_1 + my_2}{m+n} \tag{17}$$

식 (17)은 내분점의 공식으로 점 (x_1, y_1)과 점 (x_2, y_2)를 이은 선분을 $m:n$으로 내분하는 점 (x, y)를 계산하는 공식이다. Fig. 2의 l은 AP 간의 거리, d는 사용자와 AP 사이의 거리, (x_1, y_1)은 AP1의 좌표, (x_2, y_2)는 AP2의 좌표이고 이를 이용하여 스마트폰 사용자의 위치 (x, y)는 다음과 같이 구할 수 있다.

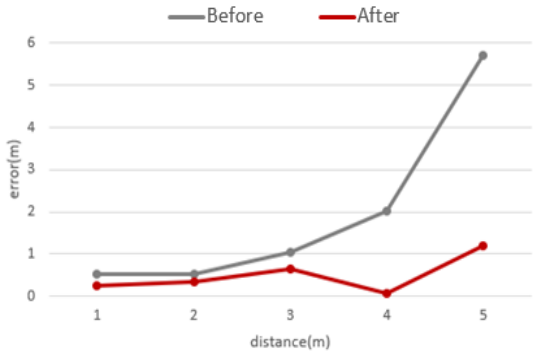


Fig. 4. Distance error according to LOS distinction.

5. 실험 및 결과

5.1 LOS 판별 후 성능 평가

시스템의 성능 평가에 앞서 LOS 판별 전과 후의 거리추정 성능을 평가한다. Fig. 4와 같이 사용자와 AP간 거리가 증가할수록 LOS 판별을 거치지 않은 경우의 추정거리 오차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 1은 LOS/NLOS 판별 전후의 거리에 따른 평균 거리 오차와 표준편차이다. 또한 각 위치에서 추정거리 오차의 평균 표준편차는 LOS 판별을 거친 경우에는 0.206으로 LOS 판별을 거치지 않은 경우의 표준편차인 5.606과 확연한 차이를 보임으로써 LOS 여부 판단의 타당성을 입증하였다.

5.2 성능 분석

본 절에서는 NSLA와 삼변측량법을 통한 측위 결과의 평균 거리 오차를 비교하여 성능을 분석한다. 삼변측량법은 RSSI 기반 위치 측위 기술에서 가장

Table 1. Mean distance error and standard deviation according to distance before and after LOS / NLOS discrimination

		1m	2m	3m	4m	5m
Mean Error	before	0.54	0.5	1.02	2.01	5.81
	after	0.24	0.41	0.78	0.07	1.09
Standard Deviation	before	0.74	1.55	0.23	6.06	19.42
	after	0.02	0	0.08	0.5	0.43

Table 2. Mean distance error accoding to Trilateration and NSLA

Position	(7,9)	(6.2,9)	(5.4,9)	(4.6,9)	(3.8,9)	(3,8)	(3,7.2)	(3,6.4)	(3,5.6)	(3,4.8)
Trilateration	5.08	5.21	4.98	3.56	2.83	3.16	3.63	4.97	4.78	5.37
NSLA	0.83	0.58	0.26	0.54	0.43	0.31	0.36	0.79	0.36	0.54

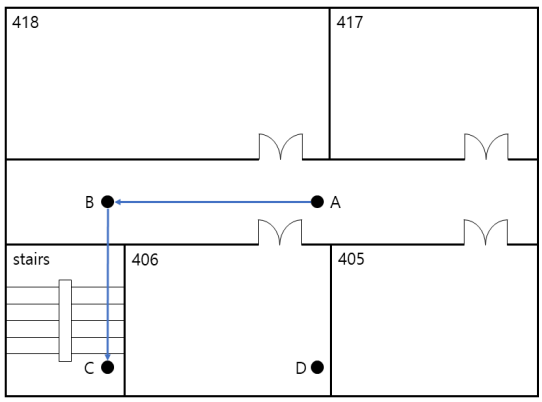


Fig. 5. Indoor positioning experiment scenario. A(8,9), B(3,9), C(3,4), D(8,4).

대표적인 방식으로 fingerprint 방식과 비교해 정확도는 떨어지지만 실제 활용 가능성은 더 높은 기술이다. 본 연구는 스마트폰에서 실제 활용 가능한 위치 측위 기술을 제안하기 때문에 비교 대상을 삼변측량법으로 선택한다. 최소 3개 이상의 AP를 사용해야 하는 삼변측량법과 2개의 AP만 사용하는 NSLA의 성능을 비교한다. 삼변측량법의 경우 Fig. 5의 복도에 설치된 3개의 AP와 방 안에 설치된 1개의 AP를 활용하여 최소제곱법으로 측위를 하였고, NSLA는 복도에 설치된 3개의 AP를 활용하여 측위를 하였다. LOS AP는 B, NLOS AP는 A로 설정 후 A에서 B를 지나 C방향으로 0.8 m씩 움직이면서 10개의 데이터를 수집하였다.

삼변측량법에 사용되는 AP 중 방 안에 위치한 AP가 송출한 신호를 복도에서 수신하게 되는 경우 벽에 의해 주파수의 감쇠가 크게 발생한다. 따라서 사용자와 AP 사이의 거리가 실제로 가까울지라도 감쇠된 RSSI를 path loss model에 적용하여 거리로 환산한다면 훨씬 더 먼 거리로 추정된다. 이러한 결과는 사용자의 위치 측위에 큰 오차를 발생시키게 된다. Fig. 6은 NSLA와 삼변측량을 통한 측위 결과를 나타낸 그림이다. Table 2는 각각 A와 B, B와 C 사이에서의 위치별 거리오차를 나타낸 표로 삼변측량법의 경우

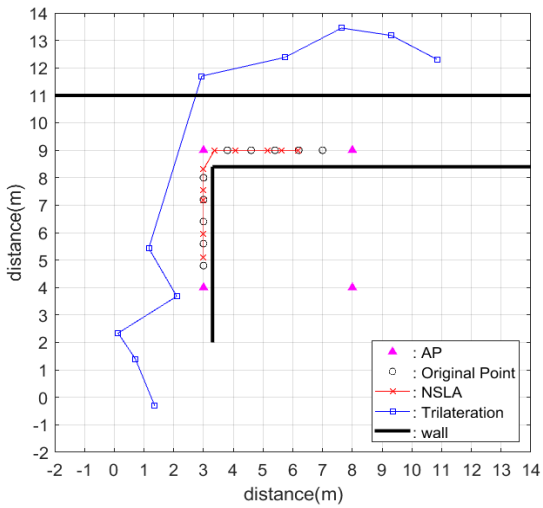


Fig. 6. Localization result of NSLA and Trilateration.

약 2~6 m의 오차를 보인 반면 제안된 측위 시스템은 최대 0.83 m의 거리 오차를 보였다.

6. 결 론

본 논문에서는 2개의 AP와 스마트폰을 활용하여 주파수 대역에 따라 LOS, NLOS 환경에서 감쇠되는 특성을 이용하여 실시간으로 LOS 여부를 판단한 후 위치를 추정하는 측위 시스템을 제안하였다. 2개의 AP를 활용하여 별도의 하드웨어 추가 없이 스마트폰 어플리케이션으로 구현된 측위 시스템으로 기존의 측위 시스템과 달리 사전 데이터베이스를 구축하지 않는다는 점에서 강점을 갖는다.

REFERENCE

[1] A. Roba, K. Michael, and M.G. Michael, “The Regulatory Considerations and Ethical Dilemmas of Location-Based Services (LBS) A Literature Review,” *Information Technology and People,* Vol. 27, No. 1, pp. 2-20, 2014.

[2] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning*

System: Signals, Measurements and Performance Second Edition, Ganga-Jamuna Press, Massachusetts, 2006.

[3] Z. Farid, R. Nordin, and M. Ismail, "Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System," *Journal of Computer Networks and Communications,* Vol. 2013, pp. 12, 2013.

[4] C. Yang and H. Shao, "WiFi-Based Indoor Positioning," *IEEE Communications Magazine,* Vol. 53, No. 3, pp. 150-157, 2015.

[5] J. Khodjaev, Y. Park, and A.S. Malik, "Survey of NLOS Identification and Error Mitigation Problems in UWB-Based Positioning Algorithms for Dense Environments," *Annals of Telecommunications-Annales Des Telecommunications,* Vol. 65, No. 5-6, pp. 301-311, 2010.

[6] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proceedings of the Investigative Reporters and Editors,* Vol. 34, No. 5, pp. 254-256, 1946.

[7] D. Cheung and C. Prettie, *A Path Loss Comparison Between the 5 GHz UNII Band (802.11 a) and the 2.4 GHz ISM Band (802.11 b),* Intel Labs Report, 2002.

[8] K. Kim, S.K. Lee, J. Jung, S. Yoo, and H. Kim. "Indoor Wi-Fi Localization with LOS/NLOS Determination Scheme Using Dual-Band AP," *Journal of Communications and Networks,* Vol. 40, No. 8, pp. 1643-1654, 2015.

[9] S.Y. Seidel and T.S. Rappaport, "914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* Vol. 40, No. 2, pp. 207-217, 1992.

[10] A. Farshad, J. Li, M.K. Marinaa, and F.J. Garcia, "A Microscopic Look at WiFi Fingerprinting for Indoor Mobile Phone Localization in Diverse Environments," *Proceeding of Indoor Positioning and Indoor Navigation,* pp. 28-31, 2013.

[11] W. Kang and Y. Han, "SmartPDR: Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning for Indoor Localization," *IEEE Sensors Journal,* Vol. 15, No. 5, pp. 2906-2916, 2015.

[12] J. Chung, M. Donahoe, C. Schmandt, I. Kim, P. Razavai, and M. Wiseman, "Indoor Location Sensing Using Geo-Magnetism," *MobiSys '11 Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services,* pp. 141-154, 2011.

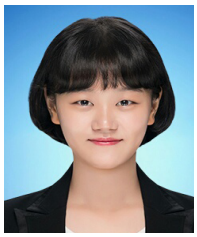
[13] H. Liu, W. Lo, C. Tseng, and H. Shin, "A WiFi-Based Weighted Screening Method for Indoor Positioning Systems," *Wireless Personal Communications,* Vol. 79, No. 1, pp. 611-627, 2014.

[14] J. Park, J. Lee, and S. Kim, "Performance Improvement Algorithm for Wireless Localization Based on RSSI at Indoor Environment," *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences,* Vol. 36, No. 4C, pp. 254-264, 2011.

[15] K. Heurtefeux and F. Valois, "Is RSSI a Good Choice for Localization in Wireless Sensor Network?," *Proceeding of Advanced Information Networking and Applications, 2012 IEEE 26th International Conference on* IEEE, pp. 732-739, 2012.

[16] N. Brouwers, M. Zuniga, and K. Langendoen. "Incremental Wi-Fi Scanning for Energy-Efficient Localization," *Proceeding of Pervasive Computing and Communications, 2014 IEEE International Conference on* IEEE, pp. 24-28, 2014.

[17] S. Kwon, S. Lee, K. Kim, and K. Kwo, "Implementation of Location Based Services Using Satellite DMB System," *Journal of Korea Multimedia Society,* Vol. 15, No. 1, pp. 32-39, 2012.



조 현 정

2016년 2월 충북대학교 전자공학부 졸업
2018년 3월 충북대학교 전자공학전공 석사
관심분야 : 무선네트워크, 임베디드 시스템

안 현 성

2017년 2월 충북대학교 전자공학부 졸업
2017년 3월 현재 충북대학교 전자공학전공 석사
관심분야 : 센서네트워크, 스마트그리드

김 승 구

2007년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부 공학사
2010년 2월 고려대학교 전자컴퓨터공학과 공학석사
2013년 8월 고려대학교 전자컴퓨터공학과 공학박사
2013년 9월～2015년 8월 삼성전자 소프트웨어센터 책임연구원
2015년 9월～현재 충북대학교 전자공학부 조교수
관심분야 : WSN, WBAN, VANET, Bluetooth