

# 이중대역 AP를 이용한 LOS/NLOS 판별 및 실내 위치 측위 기술

김강호\*, 이석규\*, 정종택\*, 유승호\*, 김황남<sup>o</sup>

## Indoor Wi-Fi Localization with LOS/NLOS Determination Scheme Using Dual-Band AP

Kangho Kim\*, Suk Kyu Lee\*, Jongtack Jung\*, Seungho Yoo\*, Hwangnam Kim<sup>o</sup>

### 요약

IEEE 802.11n의 표준화와 더불어 2.4GHz와 5GHz대역을 모두 사용하는 AP가 개인과 통신 사업자에 의하여 널리 보급되고 있다. 더불어 실내 위치 측위 등의 분야에서 위치 측정의 정확도 향상을 이유로 line-of-sight (LOS)와 non-line-of-sight (NLOS)를 분간하는 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 논문은 주파수 대역에 따른 전파 감쇠 특성의 차이를 이용하여 AP와 사용자 사이의 LOS와 NLOS여부를 식별 하고자 하였으며, 해당 기술에 기반 하여 실내 위치를 측정하는 시스템을 설계 하고자 하였다. 본 논문에서 제안하는 LOS/NLOS 판별 알고리즘은 AP로부터의 거리가 알려지지 않은 상황에서도 LOS/NLOS를 판별 할 수 있다는 강점을 갖으며, 실내 위치 측위 알고리즘은 방 단위에서의 정확한 위치 측위를 가능하게 한다는 강점을 갖는다. 제안 기술을 Android 어플리케이션으로 구현하였으며, 스마트폰을 이용한 실험 결과를 제시함으로써 타당성을 입증하였다.

**Key Words** : Indoor localization, Dual-band AP, Wi-Fi, LOS/NLOS, Smartphone

### ABSTRACT

With standardization of IEEE 802.11n, APs with the 2.4GHz and 5GHz dual-band capability have widely been deployed over a metropolitan area by individuals and internet service providers. Moreover, due to the increasing attentions on indoor-localization technique using Wi-Fi, the need for LOS and NLOS determination scheme is increasing to enhance accuracy of the localization. In this paper, we propose a novel LOS/NLOS determination technique by using different radio attenuation characteristics in different frequency bands and different mediums. Based on this technique, we designed a LOS/NLOS-aware indoor localization scheme. The proposed LOS/NLOS determination algorithm can be used when the distance between an user device and an AP is unknown, and the proposed localization scheme provides very accurate room-level position information. We validated the proposed scheme by implementing it on Android smart phones.

\* 이 논문은 2015년도 BK21 플러스 사업과 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2013R1A1A2010388)

<sup>o</sup> First Author : School of Electrical Engineering, Korea University, mybalam2k@korea.ac.kr, 학생회원

<sup>\*</sup> Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea University, hnkim@korea.ac.kr, 중신회원

\* School of Electrical Engineering, Korea University, {sklee25, skylover89, pen0423}@korea.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2015-05-148, Received May 15, 2015; Revised July 16, 2015; Accepted August 3, 2015

## I. 서 론

IEEE 802.11로 표준화 된 Wi-Fi 기술의 급격한 발전으로 인하여 Wi-Fi AP가 급격히 보급 되는 추세이다. Wi-Fi는 이더넷과 연결된 access point (AP)를 통하여 여러 주변 기기들이 무선으로 데이터를 주고받을 수 있도록 하는 기술로써 설치가 쉽고, 저렴한 비용으로 사용자들이 인터넷 서비스를 사용할 수 있게 해준다는 강점을 갖는다. 이에 개인 사용자들이 일반 가정에서 Wi-Fi AP를 설치하고 이용하는 비율이 급격히 증가하는 추세이다. 더불어 인터넷 서비스 제공업자 (ISP)의 경우에도 이러한 Wi-Fi의 보급을 선호한다. 스마트폰의 보급, 그리고 더 나아가 IoT 기술의 발전으로 인하여 통신기능을 보유한 기기의 수는 2008년 이후로 이미 인구수를 넘어선지 오래이며, 2020년도에는 500억~1조개에 달할 것으로 전망되고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 상황에서 ISP들은 Wi-Fi를 도심 지역에 무료로 설치함으로써 사용자들이 3G, 4G망이 아닌 공용 주파수 대역인 ISM 대역을 통하여 통신을 하게 함으로써 급격하게 물리는 인터넷 트래픽을 분산시키고, 이를 통하여 서비스 품질의 향상과 셀 타워의 설치비용을 절감 하고자 하고 있다.

이렇듯 Wi-Fi의 보급이 증가함에 따라 기존에 널리 사용되던 2.4 GHz 대역의 통신 품질이 급감하게 되었다. 이에 따라 IEEE 802.11n 등의 표준에서는 5 GHz 대역에서의 Wi-Fi 서비스를 제공하고 있으며, 최근 두 개 이상의 네트워크 인터페이스를 이용함으로써 2.4 GHz와 5 GHz 두 대역에서 동시에 Wi-Fi 서비스를 제공하는 이중 대역 AP들이 다수 출시되고 있다. 이들 AP는 하나의 AP에서 2.4GHz와 5GHz 통신을 모두 허용함으로써 무선 용량 (wireless capacity)을 급격히 증가시켰다. 저자들의 이전 연구에서는 이중 대역 AP를 통신 품질의 향상이라는 기존의 접근 방식에서 탈피하여 주파수 대역에 따른 무선 신호 감쇠 특성의 차이를 이용한 line-of-sight (LOS)와 non-line-of-sight (NLOS) 여부를 판별 하는 알고리즘의 개발에 사용 하고자 하였다. Friis 전송 방정식을 비롯하여 널리 알려진 여러 무선 신호의 전파 모델에 의하면, 무선 신호의 세기 감소량은 거리에 따라 영향을 받는 동시에 그 신호의 주파수에도 영향을 받는다. 일반적으로 주파수 대역이 높아지면 보다 큰 감쇠를 겪게 된다. 더불어 감쇠의 정도는 무선 신호가 통과하는 매질의 종류에도 크게 영향을 받는다. 무선 신호는 벽 과 같은 장애물로부터도 많은 영향을 받는다. 무선 신호는 NLOS 환경에서는 LOS에 비하여 급격한 감쇠 량

을 보인다. 본 논문에서 제시하는 중요한 요점 중의 하나는, 비록 두 대역의 신호들이 다른 주파수 대역에서 전파되더라도 신호 세기의 감쇠 량의 차이는 거리와 무관한 상수 값으로 나타난다는 것이다. 이러한 특성에 기반 하여 본 논문에서는 사용자의 거리에 무관하게 LOS와 NLOS를 판별하는 기술을 제안한다. 이러한 기술은 우선 Wi-Fi를 이용한 사용자 위치 측정 기술에 있어서 LOS/NLOS에 다른 오차 보정 값으로 사용 될 수 있다. 대표적인 RF기반 실내 위치 측위 논문인 RADAR<sup>[2]</sup>에서는 wall attenuation factor (WAF)라는 값을 도입하여 실내 위치 측위의 오차를 보정하고자 하였다. 이 논문의 경우 WAF는 입력되어야 하는 값인데, 본 논문의 방법을 사용한다면 이러한 값들을 자동으로 탐색하는 것이 가능하다. 본 기술은 실내 위치 측위 이외에도 도심지역에서 감지되는 수많은 AP중에서 신호 세기에만 기반 하는 것이 아니라 같은 공간 내에 있는 AP를 파악하여 최적의 AP를 탐지하는 기술 등에도 폭넓게 응용 될 수 있는 기술이다.

본 논문은 앞서 언급한 LOS/NLOS 판별 기술을 응용한 실내 위치 측위 시스템을 제안한다. 일반적인 Wi-Fi를 이용한 실내 측위 기술들의 문제점은 그 오차가 수 미터 단위로써, 실내 환경의 크기를 감안 하였을 때 무시할 수 없는 수준의 큰 값을 갖는다는 것이다. 이러한 수준의 오차는 사용자가 실제로 존재하지 않는 방에 위치하는 것으로 보여주는 수준의 오차를 만들어낸다. 사무실, 소핑몰, 가정과 같은 실내 환경에서는 사용자가 공간 내의 어느 위치에 정확히 있는가 보다는 어느 방에 있는냐를 올바르게 판별해 내는 것이 더 중요한 정보일 수 있다. WILL<sup>[3]</sup>에서는 사용자의 이동성 정보와 RSSI의 패턴을 분석하여 사용자의 위치를 방 수준에서 파악하고자 하였으며, 이러한 논문을 통하여 방 수준에서의 위치 측위시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음을 확인 할 수 있다. 본 논문에서는 앞서 제안한 LOS/NLOS 판별 기술을 이용하여 사용자가 자신의 위치를 방 수준에서 정확히 알아내는 알고리즘을 함께 제안한다.

본 논문에서는 이러한 제안 기술을 Android 기반의 스마트폰 어플리케이션으로 구현하고, 실제 실험을 통하여 제안 기술이 효과적으로 동작함을 보이고자 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 우선 2장에서는 본 논문에서 사용되는 이론들에 대한 배경을 제시한다. 3장에서는 LOS와 NLOS를 판별하는 알고리즘을 상세하게 설명한다. 4장에서는 3장의 기술을 응용한 실내 위치 측위 시스템을 제안한다. 5장에서는 제안

알고리즘들을 Android 기반의 스마트폰에 구현하고, 이를 이용하여 실험한 결과를 제시한다. 6장에서는 결론과 더불어 추후 연구 목표를 제시한다.

## II. 관련 이론

본 장에서는 본 논문의 알고리즘을 구현하는 기본적인 이론들에 대하여 간략하게 다룬다.

### 2.1 LOS와 NLOS

LOS란 line-of-sight의 약어로서, 전파의 신호원과 수신 장비 사이에 장애물이 없는 상태를 의미 한다. 이러한 상태에서는 전파의 감쇠가 이론적인 모델들을 잘 따른다. 따라서 수신 신호의 세기를 예측하는 것이 상대적으로 용이하다. 이에 반하여 NLOS는 non-line-of-sight의 약자로서, 신호원과 수신기 사이에 벽과 같은 장애물이 위치하는 상황을 나타낸다. NLOS에서는 송신기와 수신기 사이의 장애물로 인하여 전파가 반사 및 심한 감쇠를 겪게 되고, 따라서 수신 신호의 세기가 예측하였던 것보다 더 작게 나타난다는 문제점을 가지고 있다. 그림 1에 LOS와 NLOS의 개념을 비교 도식화 하였다.



그림 1. LOS와 NLOS의 도식화된 비교  
Fig. 1. Schematic comparison of LOS and NLOS

### 2.2 Friis 전송 방정식

Friis 전송 방정식은 Harald T. Friis에 의하여 고안된 자유공간에서의 전파의 감쇠 모델로서, 감쇠의 정도를 전파 거리와 주파수 대역에 대하여 표현한 모델이다<sup>[4]</sup>. 해당 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

위의 식에서  $P_r$ 은 수신 신호 세기를,  $P_t$ 는 송신 신호 세기를 나타낸다. 즉 좌변은 내보낸 신호가 어떠한 세기로 수신 되는 지를 나타낸다. 우변의  $G_t$ 와  $G_r$ 은 각각 송신 안테나와 수신 안테나 이득을 나타내며,  $\lambda$ 는 신호의 파장을,  $d$ 는 송신자와 수신자 사이의 거리를 나타낸다. 위의 식을 dB에 대하여 표현하면 아래와 같은 관계를 보이게 된다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right) \quad (2)$$

### 2.3 Log-distance 경로 감쇠 모델

Log-distance 경로 감쇠 모델은 Friis 전송 방정식이 자유공간에서는 잘 성립하지만 일반적인 실내 환경이나 밀집된 도심 지역에서는 잘 들어맞지 않는 것을 보완하기 위하여 제안된 모델이다. 해당 모델은 아래와 같이 표현된다<sup>[5]</sup>.

$$PL = P_{Tx,dBm} - P_{Rx,dBm} = PL_0 + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (3)$$

위 식에서 PL은 dB단위로 측정된 경로손실이며  $PL_0$ 은 Friis 전송 방정식을 통하여 얻어진 기준 거리  $d_0$ 에서의 경로손실이다. 이 값은 식 (2)를 통하여 얻어 질 수 있다. 더불어  $n$ 은 매질, 주파수, 혹은 통신 채널 환경에 따라 달라지는 경로 손실 계수이며  $X_\sigma$ 는 0을 평균으로 하는 가우시안 랜덤 변수이다. 그림 2는 노이즈의 분산이 7 dB일 때의  $n$ 값과  $d$ 값에 따른 수신 신호 세기 값이다. 수신 신호의 세기는 경로 손실

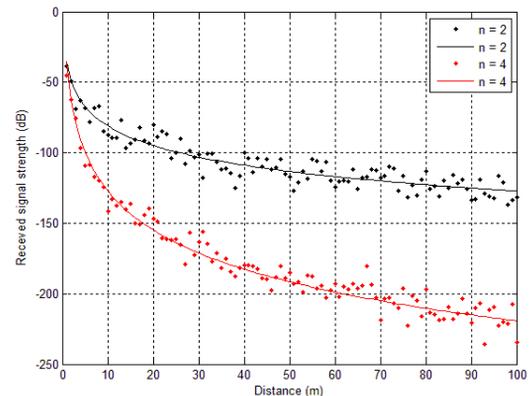


그림 2. Log-distance 경로 감쇠 모델에서 얻어진 거리에 따른 수신 신호 세기 변화  
Fig. 2. Received signal strength obtained from the log-distance path loss model.

이 커질수록 감소하게 된다. 그래프 속에서 점은 노이즈로 인하여 달라진 값을 표현하며, 실선은 경향성을 나타낸다. n과 d가 증가할수록 손실 값이 점점 증가하는 것을 볼 수 있다.

### III. LOS와 NLOS 분간 알고리즘

본 절에서는 이중 대역 AP와 사용자간의 장애물 여부를, 즉 LOS와 NLOS 여부를 감지하는 기법에 대하여 소개한다. 앞서 언급하였던 것처럼, 무선 신호 세기의 감쇠 분은 매질에 따른 주파수 대역의 감쇠 특성에 큰 영향을 받는다. 일반적인 실내 및 도심지역에서의 전파 감쇠를 수식화한 식 (3)에 의하면, 주파수에 의하여 신호의 감쇠 량이 영향을 받는 부분은 기준 거리에서의 손실 값  $PL_0$ 와 경로손실계수 n이 있다.  $PL_0$ 는 기준거리  $d_0$ 에서 Friis 전송 방정식을 통하여 얻어진 경로 손실 값으로, 식 (1)과 (2)에 따라 이 값이 주파수 대역의 값과 관계가 있음을 확인 할 수 있다 (주파수는 파장과 반비례 관계에 있는 값이다). 또한 n은 물질에 따른 신호의 감쇠 값으로, 이 값은 주파수 대역에 따라 다른 감쇠 량을 보이 되는 값이다. Wilson과 Robert의 연구에서는<sup>[6]</sup> 주파수 대역에 따른 경로손실계수 값들에 대한 분석을 수행 하고 있으며, 해당 논문의 결과는 주파수 대역이 n의 값에 큰 영향을 미침을 시사하고 있다. 제안 알고리즘은 이러한 이론에 근거하여 LOS와 NLOS를 판별하며, 제안 방법은 사용자의 위치에 관계없이 LOS/NLOS여부를 판별할 수 있다는 강점을 갖는다.

#### 3.1 LOS 여부 판단 알고리즘

만약 우리가 식(3)에서 신호원과 수신지점 사이의 거리 d, 그리고 매질 상수 값 n등을 정확하게 알고 있고, 다중 경로에 의한 영향 등 신호의 감쇠에 영향을 미치는 값들을 정확하게 알 수 있다면, 하나의 대역의 신호만으로도 LOS 여부를 판별하는 것이 가능하다. 대상 지점 d에서의 예상되는 감쇠 량의 이론값을 구하고, 이 값을 실제로 관측된 수신 신호의 세기 값과 비교 하였을 때 감쇠 량이 이론 값 보다 더 크다면 NLOS라고 판별 할 수 있을 것이다. 하지만 이러한 방식을 도입하는 것은 불가능에 가깝다. 우선 사용자 기기와 신호원과의 정확한 거리를 알아내는 것이 불가능하다. 물론 측량 기술 등을 이용하여 측정 하는 것은 가능 할 수 있으나 이는 AP의 위치를 정확히 알아야 하며, 사람이 인력을 들여 거리를 측정해야 하는 등 불필요한 노력이 요구된다.

제안 알고리즘은 하나의 대역에서 얻어진 신호 세기 값에 근거하여 감쇠 정도를 분석하기 보다는, 이중 대역 AP가 가지는 장점인 두 대역의 신호가 가지는 다른 감쇠 특성을 활용하고자 하였다. 두 대역의 신호는 하나의 AP로부터 송출되므로, 두 신호는 같은 경로를 통하여 사용자 기기에 도착하였을 가능성이 높다. 이는 순수한 매질에 의한 전파 감쇠 외적인 요인들이 상대적으로 비슷한 수준으로 적용됨을 의미한다. 따라서 이 두 신호를 함께 고려한다면 하나의 대역의 신호만을 고려하였을 때보다 더 의미 있는 경로 감쇠 값을 얻을 수 있다. 더 흥미로운 것은 LOS에서는 두 대역 신호의 수신 신호 세기의 차가 거리에 무관하게 항상 상수 값을 갖는다는 점이다. 이어지는 분석에서는 LOS에서 두 대역 신호의 수신 신호의 세기 차이가 거리에 무관하게 항상 상수 값을 갖는다는 것을 증명한다. 해당 값이 항상 상수 값을 갖기 때문에 사용자는 두 대역 신호의 세기 차이 값을 미리 알려진 LOS 지표 상수와 비교함으로써 LOS여부를 판별하는 것이 가능하다.

앞서 식 (3)을 기반으로 하면 LOS에서 두 대역의 경로 손실의 차이는 다음과 같이 나타나게 된다.

$$\Delta PL_{LOS} = PL_{LOS_{5GHz}} - PL_{LOS_{2.4GHz}} \quad (4)$$

이 식에서  $PL_{LOS_{5GHz}}$  와  $PL_{LOS_{2.4GHz}}$  는 각각 5 GHz와 2.4 GHz에서 겪는 신호 세기 감쇠 량을 나타낸다. 각각의 항에 식 (3)을 대입하고 정리하면 다음과 같은 관계가 나타나게 된다.

$$\Delta PL_{LOS} = PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}} + 10(n_{LOS_{5GHz}} - n_{LOS_{2.4GHz}}) \log \frac{d}{d_0} \quad (5)$$

즉, 5GHz와 2.4GHz에서의 신호 감쇠 량의 차이는 기준 거리에서의 Friis 전송 방정식에 의한 감쇠 량 차이  $PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}}$  와 각 대역에서의 매질상수의 차이인  $10(n_{LOS_{5GHz}} - n_{LOS_{2.4GHz}}) \log \frac{d}{d_0}$ 에 따라 나타남을 볼 수 있다. 먼저, 기준 거리에서의 Friis 전송 방정식에 의한 감쇠 량 차이는, 식 (2)를  $PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}}$  의 각 항에 대입함으로써 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\Delta PL_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi d_0 * 2.4 * 10^9}{c} \frac{c}{4\pi d_0 * 5 * 10^9} \right) \quad (6)$$

$$\approx -0.319$$

위의 식은 두 대역의 신호의 송출 세기가 동일하다는 가정 하에 구해진 결과이다. 이 식에서 볼 수 있듯이, 해당 값은 거리에 무관하게 항상 상수 값을 갖는다.

이제 주파수 대역에 따른 물질상수의 차를 고려해 보자. 기존 연구[7]에 따르면, LOS 환경에서는 n의 값은 2.4GHz 대역과 5GHz 대역에서 모두 1.9로 동일하다는 것이 입증되었다. 따라서  $n_{LOS_{2.4GHz}}$  와  $n_{LOS_{5GHz}}$  에 1.9를 대입하고,  $PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}}$  에 앞서 얻은 -0.319를 대입 한다면 두 대역에서의 경로 감쇠의 차이는 아래와 같이 나타나게 된다.

$$\Delta PL_{LOS} = -0.319 + 10(1.9 - 1.9) \log \frac{d}{d_0} \quad (7)$$

$$= -0.319 = Constant$$

위의 식에서 볼 수 있듯이, 거리 d에 관한 항이 모두 소거되어 결과적으로 경로 손실 값은 -0.319 dB로 일정함을 볼 수 있다. 실제로는 2.4GHz와 5GHz 대역의 송출 신호 세기가 다르기 때문에 결과 값은 항상 -0.319 dB로 나타나지는 않는다. 이 값은 두 안테나의 송출 신호 세기가 같을 때 얻어지는 값으로써 실제로는 두 대역의 송출 세기가 다른 경우가 일반적이기 때문에 식 (7)에서 얻은 -0.319dB보다는 크거나 작은 값을 보이게 된다. 중요한 것은, 송출 신호 세기가 다르더라도 결국 수신 신호 세기의 차는 거리에 무관한 특정 상수 값으로 일정하다는 것이다.

### 3.2 NLOS에서의 신호 감쇠 분석

III-1에서 LOS에서는 2.4GHz에서의 신호 수신 세기와 5GHz에서의 수신 신호 세기의 차가 거리와 무관하게 상수 값이라는 결과가 제시되었다. 이 장에서는 NLOS에서의 신호 감쇠를 분석한다. LOS와 유사한 접근 방법을 사용하면, NLOS에서의 두 대역의 수신 신호의 경로 감쇠의 차이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta PL_{NLOS} = PL_{NLOS_{5GHz}} - PL_{NLOS_{2.4GHz}} \quad (8)$$

기준 거리에서의 경로 감쇠의 차는 식 (6)과 같은 결과를 나타낸다. NLOS에서는 기존 연구 결과[7]가 보여주듯이 매질 상수 n의 값이 두 대역에서 다른 값

을 보인다. 이 값은 2.4GHz의 경우 3.7이며, 5GHz의 경우 이 값은 4.6이다. 이 두 값을 이용하면, NLOS에서의 두 대역의 경로 손실 차이 값을 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$\Delta PL_{NLOS} = PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}} + 10(n_{NLOS_{5GHz}} - n_{NLOS_{2.4GHz}}) \log \frac{d}{d_0}$$

$$= PL_{0_{5GHz}} - PL_{0_{2.4GHz}} + 9 \log \frac{d}{d_0} \quad (9)$$

$$\approx -0.319 + 9 \log \frac{d}{d_0}$$

NLOS의 경우에는 LOS보다 더 큰 두 대역의 수신 신호 세기 차이를 보이는 것을 볼 수 있다. 기준 거리  $d_0$ 의 크기는 일반적으로 1미터이며, 만약 수신자와 AP의 거리가 10미터라면, 결과 값은 8.681로, LOS일 경우의 -0.319보다 훨씬 더 큰 두 대역의 경로 감쇠 차이를 보이는 것을 확인 할 수 있다. 비록 -0.319라는 상수 값은 송신기와 수신기의 출력과 안테나 이득에 의하여 변화 될 수 있는 값이지만, 이러한 변화는 NLOS에도 동일하게 반영되는 값이며, 따라서 NLOS가 항상 더 큰 수준의 대역간 감쇠량 차이를 보이게 된다.

### 3.3 LOS/NLOS의 판별

앞선 절들에서는 LOS와 NLOS에서 2.4GHz와 5GHz 두 대역에서의 경로 손실의 차이 값의 특징들을 분석하여 보았다. LOS의 경우에는 거리에 무관한 상수로 나타났으며, NLOS의 경우에는 거리에 따라 증가하는, 그리고 LOS의 경우 얻어진 상수 값보다 항상 더 큰 손실 값이 나타나는 것을 관찰 할 수 있었다. 이 결과는 우리가 LOS에서의 경로손실 차이 값을 얻을 수 있다면, 측정값과 해당 값과의 비교를 통하여 LOS/NLOS 여부를 판별 할 수 있음을 의미한다.

제안 알고리즘은 발신기와 송신기 사이에서 어느 정도의 장애물이 존재하는지, 혹은 몇 개의 벽이 신호원과 수신자 사이에 존재하는지를 판별하도록 확장될 수 있다. II-2에서, NLOS일 때는 두 대역간의 수신 신호 세기 차이가 거리에 따라 증가한다는 것을 보았다. 하지만 이러한 결과는 신호원과 수신지점 사이에 어느 정도의 매질이 있는지를 모르고 있을 때 얻은 일반적인 결과이다. 즉, 송신기와 수신기 사이의 거리가 증가함에 따라 사이에 존재하는 장애물의 양도 비례하여 증가한다고 보았을 때 얻어지는 값이다. 벽과 같은 장애물이 존재하는 공간에서는, 벽을 통과하고

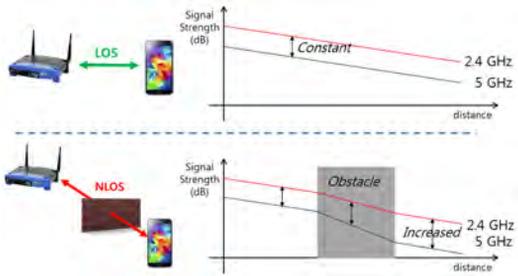


그림 3. LOS와 NLOS 환경에서 2.4GHz와 5GHz 대역의 수신신호 세기 차이의 비교  
 Fig. 3. Comparison of the received signal strength difference between 2.4GHz band and 5GHz band in LOS/NLOS environments

난 신호는 다음 벽에 도달하기까지 LOS와 같은 성질을 보이며 전파된다.

즉, 실제 상황에서는 송신기와 수신기 사이에 장애물이 존재할 경우, 해당 장애물을 지나며 다른 정도의 감쇠를 겪게 되고, 장애물 이후에는 다시 같은 수준의 감쇠를 겪게 되므로 결국 거리와 무관한 감쇠량을 보이게 된다. 이러한 상황이 시사하는 바를 그림 3에 도식화 하였다. 그림 3에서는 LOS에서 두 대역의 경로 감쇠 차이가 일정하게 나타난다는 결과와, 벽으로 인하여 NLOS가 보장되지 않는 경우 감쇠량에 차이가 나타나게 되는 원리를 묘사하였다. 그림에서는 거리에 따라 dB 기준의 신호 세기가 선형적으로 감소하는 것으로 묘사하였으나 이는 실제 감쇠형태와는 조금 다르며, 이해를 위한 도식화라는 측면에서 묘사된 그림이다. 그림3의 2번째 그림, 즉 NLOS의 경우 벽을 지나는 부분을 제외하고는 LOS의 영역이므로 LOS와 같은 형태의 감쇠 경향을 보이는 것을 볼 수 있다. 따라서 감쇠된 정도 값을 분석하면, 신호원과 수신 지점 사이에 얼마나 많은 벽이 존재하는지를 판단하는 것이 가능하다.

#### IV. 실내 위치 측위 기술

III장에서는 이중대역 AP를 이용하여 장애물의 여부를 파악하는 기술을 소개하였다. 해당 기술을 이용하면, AP와 신호 수신 지점 사이에 어느 정도 수준의 장애물이 있는지를 예측 할 수 있다. 이에 대한 검증은 V장에서 실험을 통하여 수행된다. 이에 앞서, 본 장에서는 III장의 기술을 응용하여 사용자의 현재 위치를 파악하는 기술을 제안한다.

우선 간단한 시나리오를 통하여 제안 알고리즘을 소개한다. 어떤 실내 공간이 여러 개의 이중 대역 AP

들로부터 서비스 받고 있다고 가정하여 보자. 그리고 해당 AP의 위치는 많은 실내 측위 논문들이 그러하듯 [8, 9] 설치 위치가 알려져 있다고 가정 해보자. 해당 실내공간의 지도는 알려져 있으며, 실내를 구성하는 벽면의 개수에 따라 얼마만큼 두 대역간의 추가적인 감쇠 량의 차이가 나타나는지는 사전 실험 등을 통하여 잘 알려져 있다고 가정한다. 이러한 접근은 기존의 fingerprint 기반의 위치 측위 기술이 요구하는 사전 자료 수집 량에 비하면 매우 미비한 수준의 노력과 비용을 요구한다. 이러한 상황에서 실내 위치 측위의 대상이 되는 사용자는, 실내 공간을 돌아다니며 모든 이중대역 AP로부터 비컨 메시지를 수집한다. 동일한 AP로부터 온 비컨의 경우, 두 대역의 수신 신호 차이를 계산하고, 이 정보와 사전에 조사되어 알려진 벽의 개수에 따른 감쇠 량 차이 값의 기준 값을 이용하여 해당 AP와 수신기 사이에 몇 개의 벽이 있는지를 파악한다. 주위의 모든 AP와 수신기 사이의 벽의 개수가 구해진다면 해당 정보와 실내 지도를 함께 이용하여 자신이 위치한 방이 어디인지 쉽게 얻어 낼 수 있다.

보다 구체적으로, 제안 기술은 다음과 같이 설명 될 수 있다. 우선 측위 공간 안에 위치한 n개의 AP집합을  $A = \{AP_1, AP_2, \dots, AP_n\}$  이라고 하자. 각 AP는 각각의 벽의 개수에 따른 두 대역의 감쇠 량 차이의 평균 값 집합  $T = \{TH_0, TH_1, TH_2, \dots, TH_m\}$ 를 가지고 있으며 (m은 최대 벽의 개수), 이 값은 사전 실험 등을 통하여 알려져 있다고 하자. 송신기와 수신기 사이에 벽이 많을수록 감쇠는 크게 일어나므로, 해당 집합은 절대 값으로 보았을 때 오름차순으로 정렬되어 있다. 실내 공간에서, 각 방들은 AP로부터의 벽의 개수 정보를 보유하고 있으며, 이는  $I_k = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ 로 표현 된다. 집합  $I_k$ 의 각 원소들은 k의 ID를 갖는 방에서 본 1~n번 AP들과 해당 방 사이의 벽의 개수를 의미한다. 실내 위치 측위의 대상이 되는 사용자는 주변 AP들의 비컨으로부터 2.4GHz대역과 5GHz 대역의 비컨 수신 신호세기의 차이를 구한다. 무선 환경의 특성상 비컨의 수신 신호 세기 값은 상당히 큰 variance를 갖기 때문에 특정 시간동안 데이터를 수집하고, 여기에 대한 평균값을 구함으로써 보다 정확한 값을 얻는다. 이렇게 얻어진, i의 ID를 갖는 방에서 j ID의 AP에 대한 두 대역의 신호 세기 차이 값을  $\Delta PL_{i,j}$ 라고 하자. 사용자는 집합 A속의 각 AP들에 대해서, 각 AP의 임계값 집합 T속에서  $\Delta PL$ 의 위치를 탐색 한다 (앞서 언급하였듯이 T는 오름차순 정렬되어 있다). 그리고 해당 지점에서의 앞 뒤 임계값과  $\Delta PL$ 값 간의 유사도를 구한다. 이 값은  $\Delta PL$ 값이 앞, 뒤

의 임계값과 얼마나 높은 신뢰도를 갖는지를 보여준다. 앞 TH와의 유사도  $R_1$ 과 뒤 TH와의 유사도  $R_2$ 는 다음의 식을 통하여 얻어진다.

$$R_1 = \frac{|TH_k - \Delta PL|}{TH_k - TH_{k-1}} \quad (10)$$

$$R_2 = \frac{|\Delta PL - TH_{k-1}|}{TH_k - TH_{k-1}} \quad (11)$$

즉,  $\Delta PL$ 이 특정 TH에 가까울수록 1에 가까운 값을, 멀수록 0에 가까운 값을 보이게 된다. 이 과정을 탐지된 모든 AP에 대하여 수행한다. 단순히 가장 가까운 기준 값의 결과를 사용하는 것이 아니라, 2개의 인접 기준 값과의 유사도 값을 활용하는 이유는, 얻어진 값이 기준 값과 정확히 일치 하지 않는 경우를 해결하기 위함이다. 예를 들어, 벽이 1개일 경우의 기준 값이 -20dB이고, 2개일 경우가 -30dB일 경우, 측정 값이 -25dB라면 벽의 개수를 1개라고 판단해야 할지, 2개라고 판단해야 할지 확정 지을 수가 없다. 만약 -26dB라고 하더라도, 단순히 벽이 2개라고 판단하기에는 수시로 변화하는 무선 신호의 특성을 감안하였을 때에는 위험성을 내포하고 있다. 따라서 각각의 AP에 대한 값을 단순히 양자화 시켜 사용하기 보다는 앞의 값과 뒤의 값과의 유사도를 구하여 사용함으로써 특정 AP에서 발생하는 작은 오차들이 전체적인 결과 값에 지나치게 크게 작용하게 되는 현상을 방지할 수 있다. 제안 방식의 경우 앞의 예제에서 수신 신호가 -26dB라면 벽이 한 개일 확률이 40%, 두 개일 확률이 60%로 계산되어 활용되게 된다. 여러 AP들이 이러한 과정에 함께 참여하므로, 종합되었을 때 보다 정확한 값을 얻어내는 것이 가능해 지게 된다.

각각의 AP에 대하여 신뢰도 값이 구해지면, 집합 I에 속한 원소들의 값을 이용하여 각각의 AP로부터 해당  $\Delta PL$ 가 얻어 질 수 있는 방들을 찾아낸다. 전체 공간 속에 p개의 방이 있다고 할 때 각 방이 갖는 신뢰도 값들의 집합을  $Q = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 과 같이 표현할 수 있다고 하자. 해당 집합의 초기 값은 0으로 모두 초기화 되어 있다. 이러한 상황에서, 앞에서 얻은 신뢰도 값  $R_1$ 과  $R_2$ 를 Q 집합 속에서 해당되는 각 방의 위치의 원소 값에 더해준다. 실내의 지도 정보가 알려져 있기 때문에 AP와 해당 공간사이의 벽의 개수는 간단하게 얻어 질 수 있으며, 따라서 어떤 AP와 벽의 예상 개수가 구해지면 후보가 되는 방이 모두 구해 질 수 있다. 해당 방들에 모두  $R_1$ 과  $R_2$ 를 더해지게 된

다. 모든 AP에 대해서 동일한 방법으로  $R_1$ 과  $R_2$ 를 알맞은 방의 신뢰도 값에 더해지게 된다. 이러한 과정을 통하여 신뢰도 집합 Q는, 사용자가 각 방에 있을 경향성 정보를 담은 집합, 다시 말해서 사용자가 해당 방에 있다는 가정이 참일 신뢰도의 집합이 되게 된다. 결과적으로, Q 집합 속에서 가장 큰 신뢰도 값을 갖는 원소의 ID가 사용자의 현재 위치한 방의 번호라고 볼 수 있다.

이러한 방식은 기존의 AP로부터의 수신 신호 세기를 기반으로 한 모델들에 비하여 보다 안정적이라는 특징을 갖는다. 거리에 따른 수신 신호를 기반으로 하는 경우, 이 방식은 NLOS로 인한 추가적인 감쇠를 반영하지 못하기 때문에 실제 위치보다 더 먼 곳에 사용자가 존재하는 것처럼 보이게 한다. 따라서 사용자를 다른 방에 있다고 판단하게 되는 경우가 다반사이다. 일반적인 사무실이나 쇼핑물, 그리고 가정환경에서 방의 가로 세로 크기는 대개 10미터를 초과하지 않는다. 수신 신호 세기와 경로 감쇠모델에 근거한 여러 모델들에서의 위치 측위 오차는 10미터수준으로 등장하는 경우가 빈번하며, 따라서 사용자의 위치를 다른 방으로 인식하게 할 확률이 높다. 하지만 제안 방법은 벽의 개수를 파악하는 접근법을 사용하고 벽의 개수에 따른 후보 방들을 구하고, 신뢰도 값을 이용하여 어느 방인지를 예측하기 때문에 비록 특정 상황에서 미터 단위의 오차는 더 클 수 있더라도 방을 탐지한다는 측면에서는 더 안정적으로 동작하게 된다. 이는 여러 가지 서비스 시나리오에 유용하게 적용 될 수 있다. 무선 신호에 근거한 위치 측위 방법 중 현재 가장 정확도가 높은 방식은 fingerprint 방식이다. 해당 방식은 비록 높은 정확도를 보여 주지만 훈련받은 숙련된 사용자가 각 위치에서의 수신 신호 세기 프로파일을 장시간에 걸쳐서 수집해야 한다는 단점을 가지고 있다. 공간의 넓이가 커질수록 이는 더 큰 비용을 요구하게 되며, 공간 내에서의 AP의 위치의 변경, 새로운 AP의 추가, 혹은 기존 AP가 제거되는 상황이 발생하였을 때 새롭게 수신 신호 세기 프로파일을 만들어 주어야 한다는 문제점을 가지고 있다. 반면에 제안 기술은 벽의 개수에 따른 두 대역 신호의 감쇠량 차이의 정보만 파악하면 되므로 상대적으로 더 적은 비용을 초래한다. 더불어 공간 내에서 AP의 위치가 어느 정도 변화하더라도, AP를 특정 장애물이 가로막는 것만 아니라면 결과에 큰 영향을 주지 않는다는 장점을 갖는다.

### V. 구현 및 성능 분석

본 장에서는 LOS/NLOS 탐지 기술과 방 수준의 실내 위치 측위 기술의 성능을 분석한다. 실험을 위하여 제안 기술을 Android 어플리케이션으로 구현하였다. 해당 어플리케이션은 주변 AP로부터 비컨 메시지를 수집하고, 2.4GHz대역과 5GHz대역에서의 수신 신호의 세기의 차이를 구하여 반환한다. 해당 얻어진 값들을 기반으로 LOS/NLOS 판별을 수행 할 수 있으며, 공간의 지도와 벽 개수에 따른 두 대역 간 신호 세기 차이의 기준 값이 미리 얻어진다면 위치 측위가 가능해진다. 실험은 학교 캠퍼스 내의 한 건물 내에서 진행되었다.

#### 5.1 LOS/NLOS의 판별

LOS/NLOS의 판별을 위하여 ipTIME N904ns라는 IEEE 802.11n 기반의 AP를 한 대 설치하였다. 사용자는 구현된 어플리케이션이 설치된 Galaxy Nexus를 손에 들고, AP와 같은 방, 방 바깥의 복도에서 각각 약 200초에 걸쳐 자유롭게 걸어 다녔다. 이때 사용자는 스마트폰의 Wi-Fi 모듈을 손으로 막지 않도록, 그리고 수신 신호를 최대한 방해하지 않도록 잡는 방식을 조절하였다. 그리고 두 장소에서 얻어진 두 대역에서의 수신신호 세기 차이를 통하여 벽의 존재 여부가 해당 값에 어떠한 영향을 미치는지를 관찰하고자 하였다. 경로 감쇠에서 간섭 효과 등으로 발생하는 랜덤 변수  $X_r$ 를 제거하기 위하여 연속된 5 지점의 수신 신호 세기의 평균값을 하나의 데이터로써 사용하였다. LOS의 경우 AP와 사용자 사이에 책상과 의자 이외의 장애물이 존재 하지 않았으며, NLOS의 경우 26cm 두께의 콘크리트 벽을 사이에 두고 있었다.

그림 4는 AP와 사용자 사이에 벽이 1개 존재할 때 (NLOS)와 벽이 존재하지 않을 때(LOS)의 두 대역에서의 수신 신호 세기 차이를 나타낸 그래프이다. 벽이 있을 때와 없을 때, 두 대역의 신호세기의 차가 확연하게 드러나는 것을 볼 수 있다. LOS일 경우 전체 값의 평균은 -21.47dB로, NLOS일 경우 -27.17dB이었다. 두 경우를 구분 짓는 기준 값을 -24.5 dB로 정한 경우, LOS를 알맞게 판별할 확률은 86%, NLOS를 알맞게 판별할 확률은 90%에 달하였다.

그림 5는 AP와 사용자 사이에 벽이 2개 존재할 때와 존재하지 않을 때 두 대역에서의 수신 신호 세기 차이를 나타낸 그래프이다. 벽이 2개 존재 할 경우의 전체 평균은 -29.83dB이었으며, 이는 벽이 1개일 때보다 더 크게 두 대역간의 감쇠 차이가 일어났음을 의

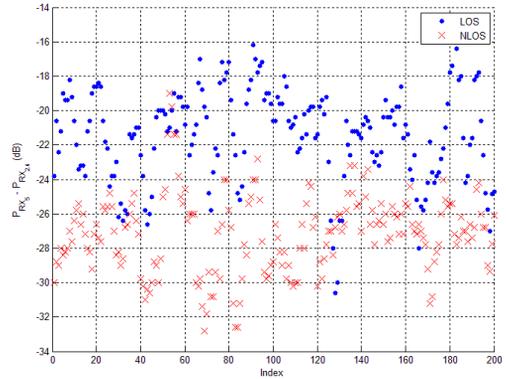


그림 4. LOS와 벽이 1개인 NLOS 환경에서의 두 대역 수신신호 세기의 차이 비교  
Fig. 4. Comparison of the difference of received signals of both bands under LOS and NLOS (single wall) conditions

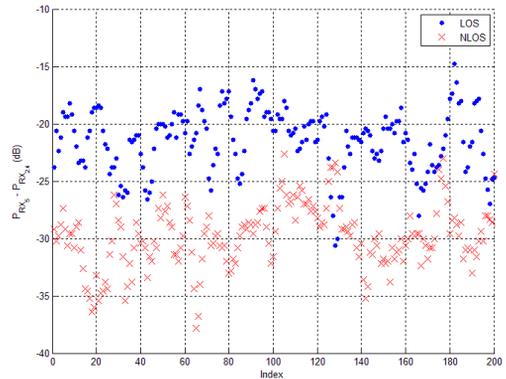


그림 5. LOS와 벽이 2개인 NLOS 환경에서의 두 대역 수신신호 세기의 차이 비교  
Fig. 5. Comparison of the difference of received signals of both bands under LOS and NLOS (two walls) conditions

미한다. 기준 값을 -26.3dB로 정한 경우, LOS를 알맞게 판단할 확률은 95%에 달하였으며, NLOS를 알맞게 판단할 확률은 90%로, 이전 보다 더 증가하였음을 볼 수 있었다.

그림 6는 AP와 사용자 사이에 벽이 1개 존재할 때와 2개 존재할 때 두 대역에서의 수신 신호 세기 차이를 나타낸 그래프이다. 이전에 비하여 두 신호가 구분되는 정도는 덜 하지만, 눈에 띄는 차이를 보이고 있는 것을 확인 할 수 있다. 벽이 1개일 때와 2개일 때를 구분하는 기준 값을 -28.3dB로 하였을 때 벽이 1개라고 알맞게 판단 할 확률은 70.5%였으며 2개라고 알맞게 판단할 확률은 75%에 달하였다.

본 실험에서는 수집된 5개의 비컨에 대한 이동평균

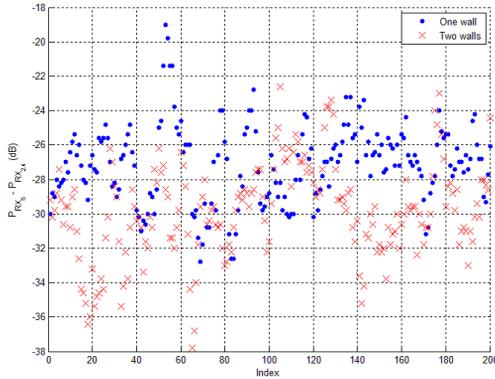


그림 6. 벽이 1개와 벽이 2개인 경우 두 대역 수신신호 세기의 차이 비교  
 Fig. 6. Comparison of the difference of received signals of both bands under one wall and two walls conditions

값을 이용하였다. 구현한 안드로이드 어플리케이션은 각 AP로부터 약 1초에 한 개의 비컨을 수집한다. 따라서 총 5초 동안 수집된 결과를 기반으로 앞선 결과들이 도출되었다. 얼마나 많은 비컨을 이용하는가는 성능에 중요한 영향을 끼친다. 이 영향을 분석하기 위하여 수집 비컨의 수가 3개일 경우와 10개일 경우에 대하여 추가 실험을 진행하여 보았다. 먼저 3개의 비컨의 이동평균을 이용 할 경우, LOS와 벽이 1개인 환경에서 각각의 경우 83.5%와 84.5%의 확률로 알맞은 결과를 도출해 내었다. 그리고 LOS와 벽이 2개인 환경의 경우, 각각 90.5%와 87.5%의 확률로 알맞은 결과를 도출해 내었다. 벽이 1개인 경우와 벽이 2개인 경우는 각각 61.5%와 71.5%의 정확도를 나타내었다. 이들 수치는 앞서 얻은 결과들과 비교하였을 때 조금씩 낮은 정확도를 보여준다. 수집된 비컨의 수가 10개일 경우에는 LOS와 벽이 1개인 환경에서 각각의 경우 89%와 94%의, LOS와 벽이 2개인 환경의 경우 98%와 94%의, 벽이 1개인 경우와 벽이 2개인 경우는 각각 73.5%와 75.5%의 정확도를 보여주었다. 이 수치는 3개나 5개의 비컨을 사용하였을 때에 비하여 더 높은 수치이다. 하지만 이 경우에는, 충분한 비컨을 수집하기 위해서 초기에 10초 가까이 데이터를 수집해야 한다는 단점이 존재한다.

위의 확률들에 있어, 각각 두 확률을 더한 것이 100%가 되지 않는 이유는 그래프에서 같은 인덱스를 갖는 신호 세기 차가 동시에 얻어진 것이 아니라, 각각의 장소에서 따로 측정 후 비교를 위하여 같이 도식된 것이기 때문이며, 각각의 점들에 대하여 기준 값을 적용하여 적중 확률을 구하였기 때문이다.

### 5.2 실내 위치 측위 정확도

IV장에서 제안한 실내 위치 측위 기술의 정확도를 판별하기 위한 실험을 수행하였다. 해당 실험은 ipTIME N904ns 2대를 사용하여 실험을 진행하였다. 일반적인 위치 측위 기술은 최소 3대 이상의 AP를 요구한다. 하지만 본 기술은 공간의 특성에 따라 2개의 AP만으로도 충분히 위치를 측위 할 수 있다. 실험은 2 곳의 다른 장소에서 수행되었다. 그림 7은 실험 대상이 된 두 장소의 단면도를 나타낸 것이다. 방과 복도 사이에는 유리창이 존재하지 않았으며, 26cm 두께의 콘크리트 벽이 존재하였다. 구체적인 방의 형태와 크기는 그림 7의 도면에 묘사되어 있다. 실험 과정 중에는, 모든 문들은 닫힌 상태를 유지하였다. 그림 속에는 AP1과 AP2의 위치와 표시되어 있다. 또한 사용자가 위치하였던 방의 위치가 ①, ②, ③, ④ 로 표기되어 있다. 장소 1에서는 AP의 위치는 처음 설치 위

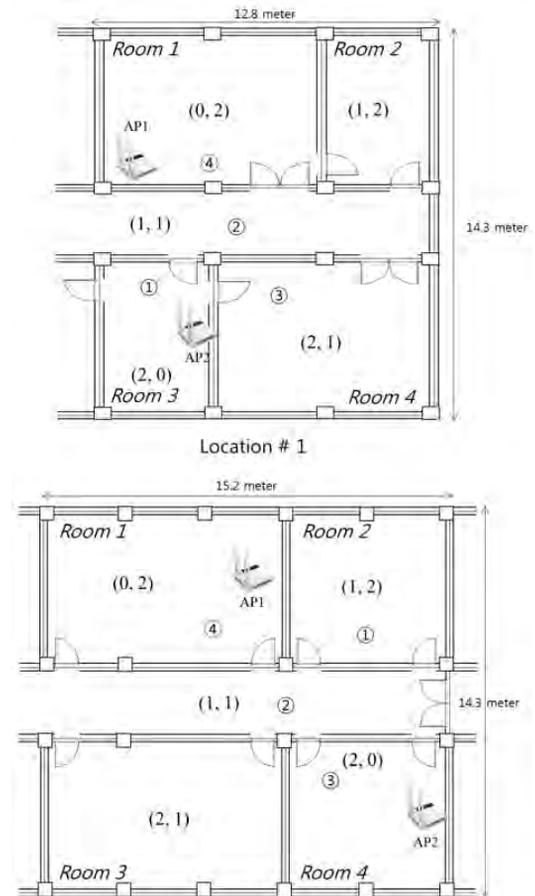


그림 7. 위치 측위 실험 구성도  
 Fig. 7. Experiment configuration

치에 고정되어 있었으며, 장소 2에서는 AP들의 위치가 (AP1, AP2) 일 때와 (AP1', AP2')일 때의 2가지 경우에 대하여 각각 실험이 진행되었다. 각 방 가운데에 표시된 (a, b)는 AP1과 AP2로부터 몇 개의 벽을 사이에 두고 있는지를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이, 공간 속의 모든 벽의 개수의 쌓은 겹치지 않고 고유한 것을 볼 수 있다. 이러한 구성에서는 2개의 AP 만으로도 충분히 위치의 측위가 가능하며, 따라서 본 기술의 접목이 가능하다. AP의 개수가 3개 이상으로 늘어나면, 대다수의 실내 위치 측위 기술들이 그러하듯이 측위의 정확도가 상승할 것이다. 이러한 상황에서 각 AP들에 대해서 벽이 없을 때, 1개 있을 때, 2개 있을 때에 대한 수신 신호 세기를 수집하고, 이들의 평균값을 구하여 4장에서 언급한 집합 T의 원소로 하였다. AP1의 집합은  $T_1 = \{-21.47, -27.17, -29.83\}$  이며 AP2의 집합은  $T_2 = \{-19.85, -26.185, -27.955\}$  이다. 이를 기준으로 식 (10), (11)에 근간하여 위치 측위를 수행하였다. 그림 7 속의 각 장소의 ①, ②, ③, ④ 위치에서 각각 200개의 결과를 얻을 때 까지 머무르며 정확도를 측정하였다. 구현된 안드로이드 스마트폰 어플리케이션은 각 AP로부터 1초에 하나 정도의 비컨을 수집할 수 있다. 따라서 해당 실험은 약 200초에 걸쳐 수집된 데이터를 이용하여 분석되었다. V-1의 실험에서 볼 수 있듯이, 수집하여 이동평균을 취하는 비컨의 수가 많아질수록 더 정확한 결과 값을 얻을 수 있다. 하지만 많은 비컨을 사용할수록, 초기에 더 오랜 시간동안 비컨을 수집해야 하는 문제가 따른다. V-1의 결과에서 볼 수 있듯이 5개의 비컨을 이용하는 경우, 합리적인 수준의 성능을 보장 받을 수 있으며, 따라서 본 실험은 기본적으로 5개의 비컨에 대한 이동평균값을 사용하여 결과가 분석되었다. 그리고 비교를 위하여, 장소 1에 대하여 10개의 샘플을 이용한 상황에 대한 결과가 함께 제시되었다. 본 실험에서 스마트폰은 각 위치에 고정 되어 있는 것이 아니라 방 내에서 지속적으로 위치를 변경하여 가며 측정을 진행하였다.

그림 8은 장소 1의 ①번 위치에서 얻은 각 방의 신뢰도 값을 나타낸다. 4장에서 언급하였듯이 얻어진 두 대역의 수신신호의 차이에 기반 하여 각 방에 대한 신뢰도를 구하고, 모든 AP에 대한 신뢰도 합을 각 방에 대하여 구한 뒤 신뢰도가 가장 높은 방이 결과물로 선택되게 된다. 본 논문에서는 AP가 2개이므로, 최대 신뢰도는 2이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 거의 대부분의 경우에 붉은 실선의 3번방이 최대 신뢰도를 갖는 것을 볼 수 있다. 최종적으로 81%의 경우에 알맞은 결

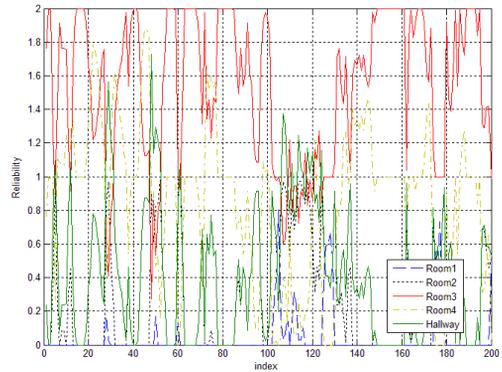


그림 8. 스마트폰이 그림 7의 장소 1의 ①번 위치에 있을 때 얻어진 각 방에 대한 신뢰도의 합  
Fig. 8. Reliability of each room when the smart phone is located at position ① of the location #1 of Fig. 7

과를 산출해 내었다. V-1의 결과에서 볼 수 있듯이, 이동 평균에 사용되는 비컨의 개수가 늘어날수록 정확도는 상승하게 될 것이다.

이와 유사하게 장소 1의 ②, ③, ④에 대해서도 실험을 진행하였다. 표 1은 장소 1의 각 위치에서 얻은 정확도를 나타낸다. 5개의 비컨을 사용하였을 때와 10개의 비컨을 사용하였을 때의 결과가 함께 제시되어 있다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 4번 장소에서는 높은 정확도를 보여준다. 이에 반하여 2, 3번 장소에서는 상대적으로 저조한 성능을 보여준다. 그 이유는 2번과 3번 장소의 경우, 벽의 개수를 (1, 1)과 (2, 1)로 한정 지을 수 없는 구간이 존재하기 때문이다. 2번 장소의 경우 측정 시 복도를 계속 돌아다니면서 실험이 진행되었는데, 오른쪽 구간으로 가면 갈수록 방 1과 2사이의 벽, 방 3과 4 사이의 벽이 추가적으로 큰 영향을 끼치게 된다. 따라서 이 구간에서 많은 오류가 검출되었으며, 이로 인하여 정확도가 떨어지게 되었다. 3번 장소의 경우, 마찬가지로 방 3과 4사이의 벽으로 인하여 AP1과 방 4간의 벽의 개수가 3개인 구간이 발생하게 된다. 더불어 방 3과 4 사이의 벽에는 화이트보드가 존재하고 있다. 화이트보드로 인하여 다른 벽들과 비교하였을 때 감쇠의 성질이 달라지고, 사전 작업에

표 1. 장소 1에서의 각 위치별 실내 위치 측위의 정확도  
Table 1. Accuracy of indoor localization in each position of the location #1.

Location	①	②	③	④
Accuracy (5개 비컨 이용)	81%	57%	67%	78.5%
Accuracy (10개 비컨 이용)	86.5%	59.5%	68%	82.5%

표 2. 장소 2에서의 각 위치별 실내 위치 측위의 정확도  
Table 2. Accuracy of indoor localization in each position of the location #2.

Location		①	②	③	④
Accuracy	(AP1, AP2)	73.5%	54.5%	76%	80.5%
	(AP1', AP2')	72%	59%	84%	82.5%

서 얻은 데이터와는 괴리가 발생하여 오차가 커지게 되는 문제가 발생하는 것으로 보인다. 이를 해결하기 위해서는 해당 벽면에 대한 감쇠정도를 사전에 추가적으로 측정할 필요가 있다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 수집되어 사용되는 비컨의 수가 늘어나면 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 수집 시간이 2배로 늘어난 것에 비하여, 정확도의 증가폭은 작은 것을 확인 할 수 있다. 표 2는 장소 2에서 얻은 실험 결과를 나타낸다. AP들의 위치가 (AP1, AP2) 일 때와 (AP1', AP2') 일 때의 결과가 각각 제시되었다. 장소 1에서의 결과와 마찬가지로, AP와 특정 위치 사이에 벽이 없거나, 혹은 벽의 개수가 일관적으로 관찰되는 1, 3, 4번 위치에서는 상대적으로 좋은 성능을 보이는 것을 관찰 할 수 있다. 반면에 2번 위치와 같이 AP와 사용자 위치 사이의 벽의 개수가 모호한 곳에서는 좋지 못한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상으로 인한 오차는 AP가 설치되어 있지 않은 장소에 추가적인 AP들을 설치함으로써 감소시킬 수 있을 것으로 보인다. 표 2의 결과에서 볼 수 있듯이, AP의 위치가 조금씩 변화하더라도 결과적인 성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 fingerprint방식의 경우 AP의 위치가 변화할 경우, 전체적인 프로파일을 재 생성하여야 한다는 점을 감안하였을 때, 제안 방법이 더 적은 비용을 요구한다는 것을 보여준다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 이중 대역 AP가 동일한 위치에서 두 대역의 신호를 독립적으로 내보낸다는 특성을 활용하여 LOS와 NLOS를 분간하는 기술과 이를 활용한 실내 위치 측위 기술을 제안하였다. 제안 기술은 높은 정확도로 LOS/NLOS 여부를 구분 할 수 있었으며, 벽의 개수 또한 알아내는 것이 가능하였다. 해당 기술을 활용한 실내 위치 측위기술에서도 높은 정확도로 사용자가 위치한 알맞은 방을 판별해 내는 것이 가능하였다. 추후 연구에서는 추가적인 AP들을 설치하여 보다 큰 규모에서 실험을 진행하여 보고자 한다.

더불어 실험에서 발견되었던 문제점인 같은 공간 내에서도 AP로부터의 벽의 개수가 다른 구간이 존재한다는 것을 어떻게 반영 할 것인지, 그리고 다양한 벽면 재질에 따른 영향을 어떻게 반영시킬 것인지를 연구 하고자 한다.

## References

- [1] C. Perera, et al., "Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things," *Emerging Telecommun. Technol.*, vol. 25, no. 1, pp. 81-93, 2014.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in *Proc. 19th Annu. Joint Conf. IEEE Comput. Commun. Soc. (INFOCOM 2000)*, vol. 2, pp. 775-784, Tel Aviv, 2000.
- [3] C. Wu, et al., "WILL: Wireless indoor localization without site survey," *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, vol. 24, no. 4, pp. 839-848, 2013.
- [4] F. Lassabe, et al., "A Friis-based calibrated model for WiFi terminals positioning," *6th IEEE Int. Symp. World of Wirel. Mob. and Multimedia Netw., 2005. (WoWMoM 2005)*, pp. 382-387, Taormina-Giardini Naxos, Jun. 2005.
- [5] S. Lee, et al., "Transmission performance analysis for terrestrial digital broadcast systems according to hierarchical modulation factor( $\alpha$ )," *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 728-737, Sept. 2012.
- [6] R. Wilson, *Propagation losses through common building materials 2.4 GHz vs 5 GHz*, White paper available at [http://www.magnetnetworks.com\(2002\)](http://www.magnetnetworks.com(2002)).
- [7] D. Cheung and P. Cliff, *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] B. Kim, et al., "Wi-Fi based positioning system by using the landmark transmitter device," *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 763-773, Sept. 2012.
- [9] S. Son, et al., "Wi-Fi fingerprint location

estimation system based on reliability," *J. KICS*, vol. 38, no. 6, pp. 531-539, Jun. 2013.

김 강 호 (Kangho Kim)



2014년 2월 : 고려대학교 전기  
전자전파공학부 졸업  
2014년 3월~현재 : 고려대학교  
전기전자공학과 석사과정  
<관심분야> 무선네트워크, 공  
중네트워크, 스마트그리드

이 석 규 (Suk Kyu Lee)



2009년 5월 : 일리노이대학교  
컴퓨터과학과 학부 졸업  
2009년 9월~현재 : 고려대학교  
전기전자전파공학부 박사 과  
정  
<관심분야> 멀티미디어 응용,  
멀티미디어 무선통신

정 종 택 (Jongtack Jung)



2013년 2월 : 고려대학교 전기  
전자공학과 졸업  
2013년 3월~현재 : 고려대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 위치 측위, 통신공  
학

유 승 호 (Seungho Yoo)



2012년 2월 : 고려대학교 전기  
전자전파공학부 졸업  
2012년 3월~현재 : 고려대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 전자공학, 통신공  
학, 무인 항공기

김 황 남 (Hwangnam Kim)



1992년 3월 : 부산대학교 컴퓨터  
공학과(공학사)  
1994년 2월 : 서울대학교 컴퓨터  
공학과(공학석사)  
2004년 2월 : 미국 Urbana-Cha  
mpaign 소재 Illinois 주립대학  
컴퓨터과학과(공학박사)

1994~1999년 : LG 전자 주임연구원  
2000~2001년 : Bytemobile 소프트웨어 엔지니어  
2004~2005년 : 미국 Urbana-Champaign 소재 Illinois  
주립대학 Post Doctorate Fellow  
2005~2006년 : 삼성전자 책임연구원  
2006~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수  
<관심분야> 통신공학, 네트워크공학, 융합IT, CPS