

# BLE패킷의 RSSI변화에 따른 인식거리의 영향 연구

이준영\* · 이영태\*\*†

\*\* 국립안동대학교 바이오전자공학과

## A Study on the Effect of Recognition Distance According to RSSI Change of BLE Packet

June Young Lee\* and Young Tae Lee\*\*†

\*\*† Andong National University, Bio-Electronics Engineering

### ABSTRACT

The mobile card system used for mobile access control is connected to the door lock mounted on the door, enabling non-contact control. The RSSI (Received Signal Strength Indicator) of the BLE (Bluetooth Low Energy) communication packet used here can help to know the direction and distance of the mobile device. In this study, the desirable access control distance was calculated and implemented by setting the RSSI of the transmitter of the BLE packet used in mobile access control and processing the RSSI of the receiver.

**Key Words** : Bluetooth, RSSI, Mobile, Access Control, Door Lock, Mobile Card

## 1. 서 론

최근 이동통신을 비롯한 각종의 무선 네트워크의 발전으로 인해 많은 사람들이 이전에 비해 보다 활동적인 생활을 영위하고 있다. 무선통신에서의 이동성을 지원하기 위해서는 무선통신 단말기에서 수신되는 신호의 레벨을 감지하기 위한 신호인 RSSI(Received Signal Strength Indicator)가 중요하다. RSSI는 이외에도 다양한 용도로 사용된다.

모바일 출입통제에 사용되는 카드 시스템은 출입문에 장착되어 있는 도어 록과 연결되어 비접촉으로 제어가 가능하다. 여기에 사용되는 BLE(Bluetooth Low Energy) 통신 패킷의 RSSI는 모바일 기기의 방향과 거리를 알 수 있도록 하는데 적용할 수 있다.

이 논문에서는 모바일 출입통제에 있어서 사용되는 BLE 패킷의 송신부 RSSI 설정과 수신부의 RSSI 처리로 효과적이며 신뢰도 높은 출입통제 거리를 도출하고, 모바일 출입 단말기를 개발했다.

기존의 모바일 출입통제 시스템의 동작에는 인식 거리에 대한 고려 없이 블루투스 기본 설정에 의한 제어로 의도치 않은 이상 동작이 발생했다. 모바일 출입을 위한 제어 핸드폰의 인식 거리가 너무 멀어, 문이 열려 있는 시간이 너무 길거나, 인식 거리가 너무 가까워서 핸드폰을 근접시키지 않으면 문이 열리지 않거나, 다른 문이 열리는 오류도 발생할 수 있다.

이러한 비정상적 동작을 방지하고 출입 가능 범위의 정상 제어를 위해서 수신 신호의 감도에 의한 인식 거리 산출 및 적용을 통해 모바일 출입통제 시스템을 구현했다.

## 2. 연구방법

### 2.1 RSSI 특징

블루투스에서 전파의 세기 즉 신호세기를 RSSI(수신 신호 세기 값)라고 부른다. RSSI는 수신기에서 수신되는 전파의 세기가 얼마인지를 수치로 나타내는 값이다. RSSI값은 수신기에 수신되는 신호 수치가 얼마나 되는지를 의미하기 때문에 안테나의 이득 값이나 회로에 의한 손실

†E-mail: ytllee@anu.ac.kr

은 고려하지 않은 값이다. RSSI는 블루투스 시스템에서만 쓰이는 용어가 아니고, RF 신호를 사용하는 모든 시스템에서 사용되고[1,2] 있는데 그중 하나가 LTE 모델과 같은 통신 모듈에서도 사용한다.

RSSI값은 기본적으로 음수로 표현되며 0에 가까울수록 신호의 세기가 강하다. 신호의 범위는 주로 0 ~ -100을 사용하며, RSSI가 -100이라면 데이터 송수신 자체가 불안정하다. 제조사에 따라 -100 범위를 사용하기도 하고 -60 범위를 사용하기도 하는 등 제조사에 따라 모두 다르다. 와이파이 규격인 IEEE 802.11에서는 -255 범위를 사용한다. RSSI값은 안테나나 회로에 의한 이득이나 손실에 대해 고려하지 않은 즉 노이즈가 포함된 값이다. 어느 정도 거리에 따라서 편차가 있을 수는 있지만 RSSI값 자체로만으로는 내가 원하는 거리의 근사치를 구할 수 없다. RSSI값을 가지고 거리를 측정하는 알고리즘[3]과 실험들은 아주 많지만 대부분 노이즈가 매우 많은 편이지만, 그 중에서 삼각 측정법이라는 방법이 가장 보편적으로 알려진 방법이다. 시간당 많은 RSSI의 값과 필터를 이용한 RSSI값의 거리에 따른 평탄화 파형을 만드는 방법도 있다.

BLE 기기가 광고 모드에서 주기적으로 송신하는 광고 패킷 (광고, 비콘 메시지는) RSSI를 포함하고 있다. BLE에서 광고 패킷을 송신하는 송신기와 광고 패킷을 수신하는 수신기의 거리가 가까울 수록 RSSI값이 커지고, 둘의 거리가 멀수록 RSSI값은 작아진다. 이러한 특성으로 RSSI는 송신기와 수신기의 사이의 거리를 나타내는 지표로 사용될 수 있다. 수신기 입장에서 일정한 값으로 전달되어질 경우 수신된 RSSI를 활용하여 거리를 구하는 식은 아래와 같다.

$$d = 10^{\frac{\alpha - \text{RSSI}}{10n}} \quad (1)$$

n은 경로 손실 지수로 주변 환경(벽 또는 장애물의 여부 등)에 따라 2~4의 값을 가진다. 주변에 아무런 장애물도 없다면 경로 손실 지수는 2이며, 장애물의 여부와 개수에 따라 3 또는 4가 될 수 있다. d는 거리이고,  $\alpha$ 는 TX power로 특정 거리에서 수신기로부터 측정된 기본 RSSI 값이다. 송신기와 수신기 사이 아무런 장애물이 없으며, 송신기와 수신기 사이의 거리가 1m 일 때의 기본 RSSI 값을 -59로 가정한다. RSSI의 값은 매우 부정확하고 불안정하다. 송신기와 수신기의 위치가 고정되어 있더라도 RSSI의 값은 항상 같지 않다. 송신기와 수신기를 같은 위치에 두고 직접 수집한 100개의 RSSI 값 분포를 보면 다음과 같다.

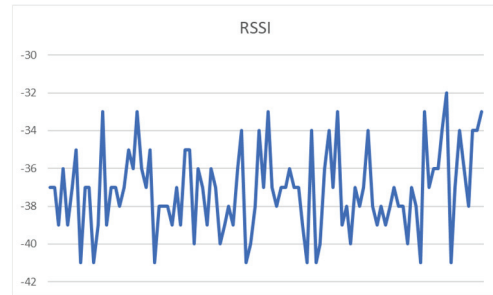


Fig. 1. Distribution of RSSI values between devices.

평탄화 필터[1]를 사용하여 단순화하면 개략적인 값을 알 수 있는데 이를 이용하여 실험적인 거리 데이터를 추출한다.

추출한 데이터 값은 현재 적용되고 있는 RSSI값으로, 이때의 두 기기 사이의 거리를 측정하여 RSSI에 따른 거리를 측정할 수 있다.



Fig. 2. Flattened RSSI values.

## 2.2 BLE 구성

BLE의 패킷 타입은 두 가지가 있다. 감지 및 브로드 캐스팅을 위한 광고 채널 PDU(Protocol Data Unit)와 데이터 전송용 광고 채널 PDU 등이 있다. 패킷 타입(Packet type)을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Advertising Packet PDU

ADV Packet Type	Type of Advertising Supported
ADV_IND	Connectable Undirected Advertising
ADV_DIRECT_IND	Connectable Directed Advertising
ADV_NONCONN_IND	Non-Connectable Undirected Advertising
ADV_SCAN_IND	Scannable Undirected Advertising

보통 비콘의 타입은 ADV\_IND가 일반적이다. 특정 중앙 장치를 특정하지 않고 모든 주변 기기와 연결할 수 있다. 모바일출입 제어기기로 적용된 프로그램은 ADV\_IND

신호를 주기적으로 송신하며, 10초간 전송 후 자동으로 송신을 멈춘다. 출입통제 단말기에서 수신된 신호를 분석하여 릴레이에 연결된 출입문을 제어하게 된다.

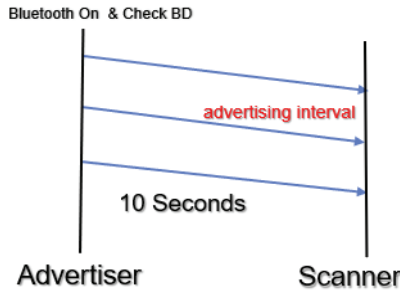


Fig. 3. BLE Data Flow.

### 2.3 출입통제 단말기에서의 BLE 신호 센싱

모바일 출입통제 시스템은 스마트폰의 모바일 앱에서 설정한 BLE 광고 패킷을 수신[4]하는 모듈로 구성된다.

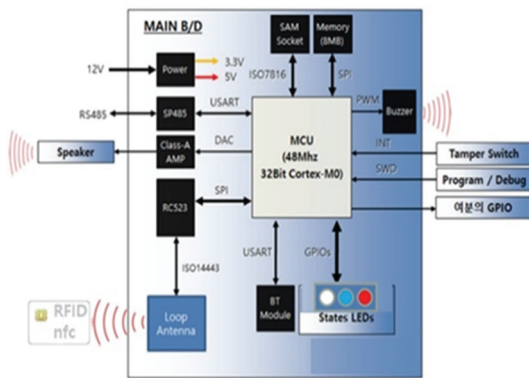


Fig. 4. Terminal hardware configuration diagram.

BLE 통신의 시작은 GAP(General Access Profile) peripheral로 동작하는 디바이스에서 광고 동작을 수행하는 것으로 시작된다. 광고 신호란, 해당 디바이스의 정보 (Device Name, Mac Address, Tx Power, etc.)를 GAP central로 동작하는 근처 BLE 디바이스에 알리는 동작이다. 광고를 수행하는 디바이스는 PHY (Physical Layer)의 40 개의 채널 중 3개의 광고 채널을 이용하며, 각 채널은 2.4 GHz 대역 중에서도 같은 2.4GHz를 사용하는 무선랜과의 간섭[5]이 가장 적을 것으로 예상되는 주파수를 중심 주파수로 갖는다.

GAP central로 동작하는 디바이스는 BLE 무선연결을 위해 근처에서 연결 가능한 디바이스가 있는지 스캐닝 한다. 이는 근처에 광고하고 있는 디바이스가 있는지를 확

인하는 작업으로, 스캐닝 또한 40개의 채널 중 광고 채널에 대해 수행하게 된다.

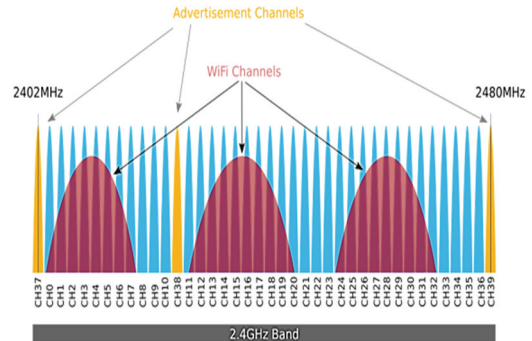


Fig. 5. Advertising device channel.

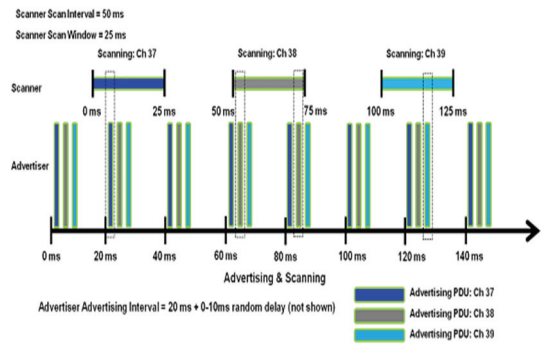


Fig. 6. Advertising channel spacing.

일반적으로 Advertiser = peripheral 디바이스는 한 번에 3개의 채널로 광고하고, scanner = central 디바이스는 일정 간격으로 하나의 채널을 스캐닝 한다. 주요 스캐닝 파라미터로는 스캔 주기와 스캔 윈도우가 있는데, 그림에 나타난 것과 같이 스캔 주기는 스캐닝 시작시간 사이의 간격으로 정의하고, 스캔 윈도우는 한 채널에서 실제로 스캐닝 하는 구간의 시간으로 정의한다.

모바일 출입통제 단말기는 BLE 광고 패킷을 수신하기 위해서 항상 BLE 스캔 모드를 유지한다. 패킷이 수신되면 패킷 분석을 하기 전에 RSSI 값을 읽어 정해진 레벨의 값으로 수신되는 패킷만 필터링하여 사용한다.

### 2.4 BLE 광고 앱

안드로이드 스튜디오로 작성한 모바일 앱 프로그램은 버튼 조작으로 데이터를 전송하는 형태로 작성된다. UI 업데이트 부분은, 데이터 바인딩을 사용하고 BLE사용을 위해 필요한 퍼미션을 Android Manifest에 추가해 준다.

BLE를 지원하지 않으면 어플이 종료되도록 하고 송신 데이터를 UUID(Universally Unique Identifier) 형태로 작성하며 onCreate에서 BLE 아답터를 설정해준다. 사용권한이 승인 되면 데이터를 브로드 캐스팅한다.

BLE 수신 모듈은 터미널 하드웨어의 전면부에 배치하여 센싱 영역을 전면에 위치시킨다[6]. 또한, 주변 소자의 간섭 및 수신 패스에 방해가 되지 않도록 BLE 모듈의 전면부에는 기타 패턴이 최대한 멀리 배치한다.



Fig. 7. Android mobile app screen.

2.5 BLE 스캔 모드에서 RSSI 센싱

수신 모듈에서는 BLE 광고 패킷의 RSSI 값을 추출하여 사용한다. 스캔 값이 음수 이므로 치환하여 50 까지의 값을 사용한다.

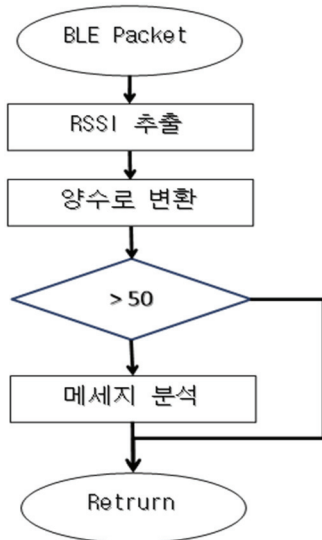


Fig. 8. Terminal Flow chart.

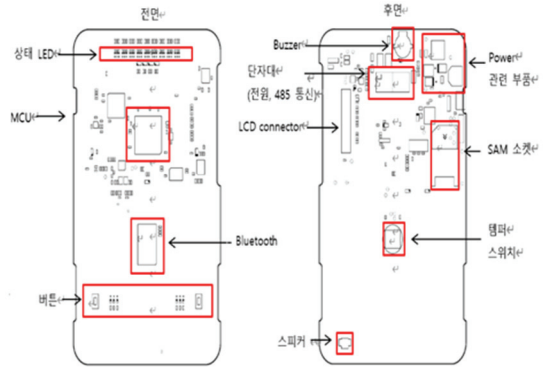


Fig. 9. Terminal Hardware Configuration.

3. 결과 및 고찰

송신기와 수신기 사이 장애물이 없을 경우, 송신기와 수신기 사이의 거리가 1m 일 때의 기본 RSSI 값을 -59로 가정하고, 식 (1)을 이용하여 계산(n = 2, α (TX power) = -59) 하면, RSSI = -72의 경우 약 4.46m, RSSI = -64의 경우 약 1.77m였다. 스마트폰의 Tx Power를 통신 거리 75cm로 설정하고 실험 데이터를 통해 수신 RSSI를 결정한다. 수신 단 말에서는 수신 패킷 내의 RSSI 값을 확인[7,8]하고 수신 전파의 세기가 상대적으로 큰 경우만 의미 있는 인식 거리로 판단하게 된다. 스마트폰 앱에서 수신 기본 RSSI 값을 -40으로 설정하고 수정할 수 있도록 메뉴 구성을 한다. 수신되어진 RSSI 값이 0 ~ -50 사이의 값의 센 신호만을 처리하면 근거리의 제어가 가능하다. 인식거리 설정 앱의 표시는 사용자 인터페이스를 위해 양수로 전환하여 숫자가 높으면 강도가 센 것으로 산정했다.

모바일 앱에서 RSSI 값을 -50으로 설정하고, 각 기기마다 실험을 통하여 거리를 측정하였다. 안드로이드 폰은 총 25종, 아이폰 12 종의 샘플 기종을 테스트했다.

Table 2. Test Devices – iPhone

	제조사	모델명	OS	인식여부
1	애플	아이폰 XS	13.1.3	OK
2	애플	아이폰XSM	13	OK
3	애플	아이폰 X	13.1.2	OK
4	애플	아이폰 XR	12.1.2	OK
5	애플	아이폰 8	13.1.2	OK

6	애플	아이폰 8+	13.41	OK
7	애플	아이폰 7	13.31	OK
8	애플	아이폰 7+	12.01	OK
9	애플	아이폰 6S	12.2	OK
10	애플	아이폰 6S+	13	OK
11	애플	아이폰 6	12.44	OK
12	애플	아이폰 SE	11.41	OK

각 기종 별 RSSI 설정 값을 바꿔가면서 50회의 거리를 측정하였다. 측정 결과는 Table 3에 나타났다.

**Table 3.** Test results by RSSI value (within 1 meter)

RSSI	iPhone6+		iPhoneX	
	거리 (cm)		거리 (cm)	
	1차	50차	5차	45차
60	120	130	120	140
50	100	100	100	100
40	30	30	50	20
30	10	10	0	10
20	X	X	X	X
10	X	X	X	X

모바일 출입통제에 있어서 카드와 같은 근거리 인식은 회사의 출입문인 스피드 게이트 같은 곳에 적용할 수 있다. 이때는 양수로 전환 한 값으로 작은 값인 30이나 40으로 적용하면 인식 거리를 10cm에서 30 cm 정도로 사용할 수 있다. 공동 출입문 같은 경우 직접 대지 않고 조금 떨어져서 사용하려면 설정 값을 50으로 하면 70cm에서 1m 내에서 출입문 동작을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

스마트폰에 특정 RSSI 값을 설정하고 일정거리에서의 단말기 응답을 확인하여 단말기 별 특성을 확인할 수 있었고, Tx Power 값을 변화시키면서 단말기와의 인식 거리를 파악할 수 있었다.

본 논문에서는 수신기의 RSSI 분석하여 신뢰도 높은 거리를 예측할 수 있도록 Tx Power를 설정하였으며, 테스트 결과를 확장하여 출입통제에 있어서 단말기 간의 거리 조절을 BLE RSSI로 할 수 있도록 했다.

#### 참고문헌

1. Y. Kim and H. Bang, "Introduction to Kalman filter and its applications," in Introduction Implementations Kalman Filter. Rijeka, Croatia: InTechOpen, 2018.
2. D. Simon, Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2006.
3. Teltonika, RSSI, <https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSSI>, 2020, Accessed: February 17, 2022.
4. Y. Shen, B. Hwang, and J. P. Jeong, "Particle filtering-based indoor positioning system for beacon tag tracking," IEEE Access, Vol. 8, pp. 226445–226460, 2020.
5. Martin Sauter, "3.7.1 Mobility Management in the Cell-DCH State," in From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband(eBook), 1st edition, UK: John Wiley & Sons, pp. 160, 2011.
6. F. Zafari, A. Gkelias, and K. Leung. (Sep. 2017). "A survey of indoor localization systems and technologies." [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1709.01015>
7. Y. Sung, "RSSI-based distance estimation framework using a Kalman filter for sustainable indoor computing environments," Sustainability, Vol. 8, No. 11, p. 1136, Nov. 2016.
8. K. Oguchi, S. Maruta, and D. Hanawa, "Human positioning estimation method using received signal strength indicator (RSSI) in a wireless sensor network, Procedia Computer Science, vol.34, pp 126-132, 2014.

접수일: 2023년 6월 2일, 심사일: 2023년 6월 14일,  
게재확정일: 2023년 6월 21일