

# Wi-Fi HaLow(IEEE 802.11ah)에서의 통신 거리 확장 연구

김재명, 정민재\*, 이종형\*\*, 유대승

한국전자통신연구원, \*공주대학교, \*\*제이코어

jaemkim@etri.re.kr, \*kongalswo@gmail.com, \*\*jhl@jcore.co.kr, ooseyds@etri.re.kr

## A Study on extending communication distance in Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah)

JaeMyoung KIM, Min Jae Chung, Jong Hyung Lee\*, Dae Seung Yoo

ETRI, \*KongJu National Univ, \*\*Jcore

### 요약

Wi-Fi HaLow는 IoT 기술에 맞는 대역폭과 긴 도달 거리, 무면허 주파수, 절전성, 단순성 등의 특징으로 인해 센서, 웨어러블, M2M 애플리케이션, 스마트 빌딩 및 스마트 시티와 같은 IoT 장치의 통신에 적합할 뿐 아니라 HD급 동영상 정도를 처리할 수 있는 대역폭을 지원하므로 비도시 지역 통신이나 이동통신 타워 트래픽 절감용도로도 활용할 수 있다. 보다 더 먼 거리에서 안정적인 통신을 확보하기 위해 통신 거리 확장 방법이 필요하다. 실제 PTT(Push to Talk) 통신을 구현하여 측정한 결과 단말에서 AP까지 약 400m 정도의 도달거리를 가지며, 통달거리를 확장하기 위해 HaLow의 스펙인 IEEE 802.11ah에는 S1G Relay 기능이 정의되어 있으나 구현되어 있지 않다. 본 논문은 통신 거리를 확장하기 위해 드라이버 레벨에서 다중 인터페이스를 활용하였으며, SW적인 Repeater 기능을 수행할 때 송수신 평균 40% 이상의 오버헤드가 있으며, 이는 충분히 대안 확장 옵션으로 사용이 가능함을 확인하였다.

### I. 서론

Wi-Fi HaLow는 Wi-Fi Alliance의 IEEE 802.11ah 표준의 별칭으로 IoT 기술에 맞는 대역폭과 긴 도달 거리, 무면허 주파수, 절전성, 단순성 등의 특징으로 인해 센서, 웨어러블, M2M 애플리케이션, 스마트 빌딩 및 스마트 시티와 같은 IoT 장치의 통신에 적합할 뿐 아니라 HD급 동영상 정도를 처리할 수 있는 대역폭을 지원하므로 비도시 지역 통신이나 이동통신 타워 트래픽 절감용도로도 활용할 수 있는 무선 통신 기술이다.

실제 PTT(Push to Talk) 통신을 구현하여 측정한 결과 단말에서 AP까지 약 400m 정도의 도달거리를 가지며, 통달거리를 확장하기 위해 HaLow의 스펙인 IEEE 802.11ah에는 S1G Relay 기능이 정의되어 있으나 구현되어 있지 않으므로, 보다 더 먼 통신 거리를 확보하기 위해 통신 거리 확장 방법이 필요하다.

본 논문에서는 Wi-Fi HaLow 통신 특성, 기존의 통신 거리 확장 기술 소개 및 다중 인터페이스를 통한 통신 거리를 확장하기 위한 SW적인 Repeater 구현 시 통신 오버헤드를 측정하고 그 결과를 제시한다.

### II. Wi-Fi HaLow 특성

IEEE 802.11ah 표준은 2016년 9월 승인을 거쳐 2017년 5월 공표됐으며, VHF 및 UHF 대역의 텔레비전 화이트 스페이스 스펙트럼에서 작동하는 유사한 저전력 표준 802.11af와는 달리, 무면허 대역에서 IP 연결을 기반으로 IoT 환경에서 기대되는 거리, 데이터 속도, 침투 능력, 저전력 프로파일을 제공하며, 추가 허브, 리피터, 게이트웨이 등의 하드웨어가 없이 최신의 보안 기술이 적용된 기술로 가정 주변에서 또는 대규모 공장 등에서 기존 Wi-Fi와 동일하게 통신이 가능한 기술이다[1,5].

Wi-Fi HaLow 기술의 주요 특성은 <표 1>과 같으며, 일반적인 Wi-Fi의 수신 거리가 이론적으로는 250 m이지만, 실질적으로 100 m 정도이나, 좁은 밴드 채널은 같은 주파수의 넓은 채널보다 더 멀리 갈 수 있

도록 전송에 집중할 수 있는 Sub-1 GHz 주파수 대역을 사용하고 있기 때문에 약 1 km의 거리에서 통신이 가능하다[2]. 그러나, 실제 구현 후 데모에서 보면 ping 시험을 제시하는 수준이거나 실제 측정에서 IoT 대역폭에서 500 m를 커버할 수 있는 것으로 나와 있으며[3], 실제 PTT(Push to Talk) 통신을 구현하여 측정한 결과 단말에서 AP까지 약 400m 정도의 통신 거리를 가진다[4].

<표 1> Wi-Fi HaLow 기술 특성

특성	Wi-Fi HaLow	특성	Wi-Fi HaLow
주파수	Sub-1 GHz	보안	WPA3
데이터 속도(bps)	150 k-86.7 M*	OTA FW 업데이트	지원
거리 (m)	> 1 k	가입 여부	불필요
Modulation	OFDM over BPSK, QPSK, 16/64/256QAM	TCP/IP (인터넷)	지원
배터리 수명	Years	네트워크 토폴로지	Star / Relays
		공개 표준	IEEE 802.11ah

\* 86.7 Mbps는 16 MHz 채널과 짧은 거트 간격을 가진 MCS 9를 사용할 때이며, 규제 요구사항과 구현에 따라 결과는 다를 수 있음

### III. 통신 거리 확장 기술 소개

인터넷 연결이 필요한 무선 LAN이 널리 사용되면서 무선 전파 도달 범위 확장을 위해서 기존의 무선 공유기 등을 활용하여 간편하게 확장이 가능하다. 그러나, 무선 LAN 확장을 위한 제공 방법이 제조사별로 다르며 대부분 공식 IEEE 802.11 표준은 아니지만 WDS(Wireless Distribution System)를 제공하고 있으며, 무선 LAN의 구성에 따라 확장할 수 있는 방법을 제공한다[6].

WDS에서 제공하는 방법은 <표 2>에 연결 방식의 차이와 장단점을 정리하였으며, 무선 LAN 구성에는 Ad-hoc모드와 Infrastructure 모드가

있으며 전자는 단말간 직접 통신 방법이고 후자의 경우는 AP 1대를 이용해서 구성하는 기본 서비스 셋(BSS, Basic Service Set)과 AP를 최소 2개 이상의 BSS로 구성하는 두 가지 서비스를 아래와 같이 제공한다[7].

<표 2> WDS 제공 방법

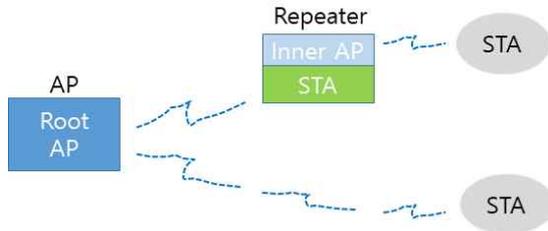
	WDS Bridge	WDS Repeater
연결 방식 차이	수신측과 송신측의 네트워크 ID가 다름	양측이 서로 같은 IP 주소 영역 공유
장단점	라우터의 전달 필요	양측의 자료를 직접 이용 가능

IEEE 802.11ah 표준에는 AP의 도달 범위를 확장하는 메커니즘으로 “SIG(sub 1 GHz) 릴레이” 규격 제시하고 있다. SIG 릴레이는 MAC 레이어에서 릴레이 AP, 릴레이 STA, 릴레이 기능으로 구성되어 있으며, 릴레이 STA는 루트 AP나 다른 릴레이의 릴레이 AP에 non-AP STA 연계(association)되어 있다. 릴레이 AP는 연계된 non-AP STA에 대한 릴레이 기능을 제공하고 릴레이 STA의 연결을 통해 직접 DS에 접근을 제공하는 AP이다. 릴레이 기능은 목적지 기반으로 릴레이 STA와 릴레이 AP 간 MSDU의 내부 접수와 선택적 전달을 수행한다.

IEEE 802.11ah 규격에는 2019년 면제 운용 규격으로 제시하고 있으며, 제조사에 따라 다르나 현재 Quectel FGH100M 모듈에서는 미구현 상태이며 도달 범위를 확장하기 위해 드라이버 SW 레벨에서 구현한 Multi-AP 모드를 제공하고 있다[8,9].

#### IV. 다중 인터페이스 통신 오버헤드 측정 및 결과

Multi-AP 모드는 Station(STA)에 대한 인터페이스와 AP에 대한 인터페이스를 사용하여 두 개의 무선 LAN 인터페이스를 동시에 운영하는 것이다. 다중 인터페이스 통신 오버헤드를 측정하기 위한 환경은 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 통신 오버헤드 측정 환경

Root AP는 측정 서버 프로그램이 실행되는 AP이고, Repeater의 STA 인터페이스는 AP로 접속하고 Inner AP는 STA에 접속해 주는 역할을 한다. STA은 단말로 측정 클라이언트 프로그램이 동작한다.

측정 프로그램은 iperf3를 활용하고 PPT 통신으로 UDP를 사용하므로 다음과 같은 명령어로 10 MB 데이터를 10초 동안 클라이언트에서 서버로 전송하여 그 결과를 <표 3>에 정리하였다.

```
$ iperf3 -s -D # 서버
$ iperf3 -c 192.168.11.1 -u -b 10M # 클라이언트
```

<표 3> iperf3 측정 결과

(단위: Mbits/sec, ms)	시도	1	2	3	평균
STA ->AP	송신	8.27	7.81	7.81	7.96
	수신	8.20	7.74	7.74	7.89
	수신지터	1.62	1.64	1.64	1.63
STA->Multi-AP->AP	송신	4.65	5.01	4.91	4.86
	수신	4.54	4.81	4.77	4.71
	수신지터	1.74	1.73	1.55	1.68

iperf3의 결과는 클라이언트가 서버로 보내는 송신 트래픽, 서버가 클라

이언트로 보내는 수신 트래픽을 Interval, Transfer량, Bitrate, Jitter, Lost/Total Datagrams으로 보여 주며 송신 지터는 측정할 수 없기 때문에 0이고 수신 지터는 1.6 ms로 거의 차이를 보이지 않는다. 송수신 속도는 Repeater를 통과하는 트래픽이 약 40% 이상의 오버헤드가 있음을 확인할 수 있다.

#### V. 결론

Wi-Fi HaLow는 근거리 무선 LAN으로 사용하는 Wi-Fi를 가정 주변의 통신 거리를 확보하기 위해 제안된 기술로 무면허 Sub-1GHz 주파수를 사용하기 때문에 1 km 이상의 통신 거리를 제공하고 있다. 그러나 실제 상용화된 모듈(Quectel FGH100M)을 통해 시험해 본 결과 400 m 이내에서 PTT 통신이 가능하였다.

기존의 무선 LAN에서는 Wi-Fi WDS 기능을 통해 무선 통신 거리 확장 기능을 제공하고 있으나 공식 표준이 아닌 제조사의 스펙으로 제공되고 있고, Wi-Fi HaLow에서는 제공되지 않고 있다. 또한 IEEE 802.11ah 스펙에서 하드웨어적으로 제공하는 Relay 기능의 운용이 면제되어 있으므로 1 km 이상 늘리기 위해서는 SW적인 Repeater가 필요하였다.

이러한 SW Repeater 기능을 Multi-AP 모드를 통해 상용칩에서 제공하므로 임베디드 리눅스에 관련 드라이버를 포팅하여 시험한 결과로 송수신 속도는 Repeater를 통과하는 트래픽이 약 40% 이상의 오버헤드가 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 충분히 대안 확장 옵션으로 사용이 가능함을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국전자통신연구원 기본사업과 울산광역시-ETRI 공동협력사업의 지원을 받아 수행되었음. [24ZB1200, 인간중심의 자율지능시스템 원천기술 연구, 24AS1600, 제조 혁신을 위한 주력산업 지능화 기술 개발 및 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발]

#### 참고 문헌

- [1] Eric Geier, "IoT를 위한 장거리 무선 규격... '와이파이 할로우' 따라 잡기," 2023.02.24., <https://www.ciokorea.com/news/279427>
- [2] Wi-Fi Alliance, "Wi-Fi CERTIFIED HaLow™ Technology Overview," November 2021.
- [3] 전홍대, 이성호, 공재준, "IEEE802.11ah HaLow 무선데이터통신망 성능 실증에 관한 연구," 2020년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 2020.8 1,050 - 1,051.
- [4] 공주대학교, 제이코어, "Wi-Fi HaLow 기반 PTT 통신 시험," CEIC 2024 발표 예정, 2024-12-11.
- [5] 김재명, 강세훈, 이종형, 유대승, "IEEE 802.11ah(Wi-Fi HaLow) 해상 업무 활용 방안," 2023년 한국전자과학회 하계종합학술대회.
- [6] Uncle Park 블로그, [용어 표준 정리] 와이파이 무선 확장 (WiFi Coverage Expansion), <https://timetolive.tistory.com/31>, 2023. 8. 17.
- [7] 네트워크 블로그, 무선 랜의 AD Hoc 모드 Infrastructure 모드에 대해서 알아보자!, <https://blog.naver.com/stop2y/220650925940>, 2016.3.
- [8] ISO/IEC/IEEE 8802-11:2018/Amd.2:2019(E), "Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications AMENDMENT 2: Sub 1 GHz license exempt operation," 2019-03.
- [9] Quectel 문서, Multi-AP mode porting guide.