

IEEE 802.11ah Sub 1 GHz 무선랜 기술

이재승, 이훈
한국전자통신연구원

요약

본고에서는 IEEE 802.11에서 표준화가 진행중인 1 GHz 이하 비면허 주파수에서 동작하는 무선랜(WLAN, Wireless LAN) 표준인 IEEE 802.11ah 무선랜 기술에 대해 알아본다.

IEEE 802.11ah 는 스마트 그리드, 센서 네트워크, M2M(machine-to-machine) 통신, 셀룰러 오프로딩, 광역 무선랜 서비스 등을 주된 응용 분야로 고려하고 있으며 이러한 응용들은 기존 무선랜 기술대비 보다 확장된 커버리지, 보다 많은 수의 단말 지원, 저전력 동작 지원 등을 요구한다. IEEE 802.11ah는 이러한 요구 사항을 만족하기 위한 Sub 1 GHz 대역을 사용하는 무선랜 PHY 및 MAC 규격을 개발하였다. 본 고에서는 이러한 IEEE 802.11ah 무선랜의 주요 기술 요소들에 대해 살펴본다.

센서 네트워크, M2M 등에서 전송되는 data packet은 그 크기가 작으며, 이러한 short packet 전송에서는 PHY, MAC 헤더 및 통신 프로토콜 등으로 인한 오버헤드의 비중이 상대적으로 커지게 된다. 802.11ah에서는 이러한 오버헤드를 줄일 수 있도록 무선랜 프로토콜을 개선하였다.

IEEE 802.11ah는 1 Km까지 커버리지가 확장되고 기존 무선랜 기술에 비해 훨씬 많은 숫자인 8000개 까지의 단말을 지원하며, 이로 인해 기존 무선랜에 비해 훨씬 많은 단말간의 contention으로 인한 성능 저하 및 hidden node로 인한 충돌 문제가 더욱 심각해진다. 802.11ah에서는 이를 해결하기 위해 STA 그룹핑 기반의 새로운 채널 액세스 프로토콜을 도입하였다.

본 고에서는 이러한 IEEE 802.11ah 무선랜의 주요 기술 요소들에 대해 살펴본다. 먼저 802.11ah의 표준화 현황을 알아보고, 802.11ah의 주요 특징들을 살펴본 후, 802.11ah의 PPDU 구조, 계층적인 TIM 구조, RAW 기반의 채널 액세스, Short Frame 등의 주요한 기술 요소들에 대해 알아본다.

I. 서론

스마트 그리드, 센서 네트워크, M2M(machine-to-machine) 통신을 이용한 서비스가 급속하게 증가할 것으로 예상되며, IEEE 802.11 TGah에서는 스마트 그리드, 센서 네트워크, M2M(machine-to-machine) 통신, 셀룰러 오프로딩, 광역 무선랜 서비스 등을 효율적으로 지원할 수 있는 802.11ah 표준을 개발하고 있다. 이러한 응용들은 기존 무선랜 기술대비 보다 확장된 커버리지, 보다 많은 수의 단말 지원, 저전력 동작 지원 등을 요구한다.

IEEE 802.11ah는 Sub 1 GHz 대역 사용으로 인해 1 Km까지 확장된 커버리지를 제공하며, 100 Kbps 이상의 data rate을 제공한다.

802.11ah의 주요 응용 중 하나인 스마트 미터링에서는 하나의 AP(Access Point)가 6000개의 outdoor STA(단말) 들을 지원해야 하나 [1], 기존 무선랜 AP는 최대 2007개의 STA들만을 지원할 수 있어 802.11ah에서는 이를 확장하였다.

II. 본론

1. 802.11ah 표준화 현황

IEEE 802.11에서는 2010년 11월에 TGah가 정식 TG(Task Group)으로 출범하여 본격적으로 Sub 1 GHz 무선랜 기술 표준화가 시작되었다.

TGah Use Case 문서[1]에서는 802.11ah의 Use Case를 센서 및 미터, 백홀 센서 및 미터 데이터, 전송범위가 확장된 와이파이의 세가지 카테고리 분류하였다.

센서 및 미터 카테고리에는 스마트 그리드, 환경/농업 모니터링, 공장 자동화, Indoor 건강 관리 시스템, 가정 및 빌딩 자동화/제어, 온도 센서 네트워크 등이 포함되며, AP가 수백에서 수천 개의 디바이스를 커버하며, 디바이스들은 short packet을 전송한다.

백홀 센서 및 미터 데이터 카테고리에는 IEEE 802.15.4g 를 사용하는 leaf sensor에 대한 백홀 링크, 공장 자동화에 사용되는 센서에 대한 백홀 등이 포함되며, 802.15.4g가 감시 카메라 이미지나 영상 전송 용으로는 너무 느리기 때문에 보다 빠른 전송 속도를 제공하는 데 802.11ah를 사용하는 시나리오를 포함한다.

확장된 와이파이 카테고리에는 Outdoor에서의 전송 범위가 확장된 hotspot, 셀룰러 오프로딩을 위한 outdoor 와이파이 등이 포함되며, Sub 1 GHz 대역 사용으로 인해 1 Km까지 확장된 전송 범위를 이용하여 캠퍼스, 쇼핑 몰 등을 커버하는 확장된 와이파이 서비스, outdoor에서의 셀룰러 오프로딩 등의 응용 서비스를 포함한다.

TGah Functional Requirement 문서[2]에서는 802.11ah의 기능 요구사항을 다음과 같이 정의하고 있다.

- ① TV White Space 대역을 제외한 1 GHz 이하 비면허 주파수 대역을 사용하며, 1 Km까지 확장된 커버리지를 제공하고, 최소 100 Kbps 의 PHY data rate을 제공해야 한다.
- ② Sub 1GHz 밴드(SiG band)에서 PHY data service access point(SAP)에서 측정했을 때 최대 aggregate Multi-Station data rate이 20 Mbps를 지원하는 모드를 최소한 하나 이상 지원해야 한다.
- ③ OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) PHY 변조를 사용해야 한다.
- ④ Outdoor 응용을 위해 2007 개가 넘는 단말에 대한 association을 지원해야 한다.
- ⑤ 802.11 시스템의 네트워크 구조를 유지해야 하며, 기존 802.11의 사용자 경험을 유지해야 한다.
- ⑥ 802.15.4 및 802.15.4g 디바이스와의 coexistence를 지원해야 한다.
- ⑦ 배터리를 사용해 동작하며 긴 배터리 교체 주기를 갖는 단말을 위한 향상된 파워 세이빙을 지원해야 한다.
- ⑧ 5GHz에서 동작하는 802.11a/n 디바이스에 대한 Backward Compatibility 를 지원해야 한다.
- ⑨ 5GHz에서 동작하는 802.11a/n 디바이스에 대한 Coexistence를 보장해야 한다.

2013년 5월까지 802.11ah 규격의 골격을 정의한 문서인 TGah Specification Framework 문서[3]가 만들어 졌으며, 이를 구체화한 802.11ah 드래프트 규격이 만들어졌고 수차례의 Working Group Letter Ballot 및 comment resolution 과정을 거쳐 2015년 1월 드래프트 4.0[4]까지 진행된 상태이다. 2015년 7월부터는 Sponsor Ballot 단계로 접어들 예정이며, 2016년 초에는 802.11ah 표준이 최종 승인될 것으로 예상된다.

2. 802.11ah 의 주요 특징

<표 1>은 IEEE 802.11ac[5]와 802.11ah[4]의 주요 특징들을 비교한 것이다.

표 1. IEEE 802.11ac와 802.11ah 비교

	802.11ac	802.11ah
Frequency Band	5 GHz 비면허 주파수 대역	TV White Space 대역을 제외한 1 GHz 이하 비면허 주파수 대역 (예: 902~928MHz)
Channel Bandwidth	20/40/80/160/80+80 MHz	1/2/4/8/16 MHz
Spatial Stream 개수	1 ~ 8	4
Peak PHY Rate	6.9 Gbps (160 MHz BW, 256-QAM, Nss=8, Short GI 사용시)	346.7 Mbps (16 MHz BW, 256-QAM, Nss=4, Short GI 사용시)
Coverage	< 250 m	< 1 Km
Association 가능한 최대 단말 개수	2007	8,000
채널 액세스 방식	HCCA, EDCA	EDCA, RAW, TWT

IEEE 802.11ac는 5 GHz 비면허 주파수 대역을 사용하는 무선랜 기술이며, 160 MHz까지의 Bandwidth를 지원하고, 8개까지의 Spatial Stream을 지원한다. Peak PHY Rate은 160 MHz Bandwidth, 256-QAM, 8개 Spatial Stream, Short GI 사용시 6.9 Gbps 까지 지원된다.

IEEE 802.11ah는 TV White Space 대역을 제외한 1 GHz 이하 비면허 주파수 대역을 사용하며, 16 MHz까지의 Bandwidth를 제공하고, 4 개까지의 Spatial Stream을 지원한다. Peak PHY Rate은 16 MHz Bandwidth, 256-QAM, 4개 Spatial Stream, Short GI 사용시 346.7 Mbps까지 지원 가능하며 802.11ac보다 느린 data rate을 제공한다.

하지만 802.11ah는 802.11ac가 250m 가량의 커버리지를 제공하는 데 반해 훨씬 넓은 1 Km 가량의 커버리지를 제공하며, 한 AP에 Association 가능한 단말 숫자도 802.11ac의 경우 2007개까지이지만 802.11ah는 8,000개 까지 지원하여 광역 와이파이 서비스 및 센서 네트워크, 스마트 그리드 등의 서비스를 기존 무선랜보다 효율적으로 지원 가능하다. 또한 802.11ah에서는 채널 액세스 방식으로 기존 무선랜에서 사용하는 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 이외에 RAW (Restricted Access Window), TWT(Target Wake Time) 등의 채널 액세스 방식을 옵션으로 제공하며, 이를 통해 많은 단

말간의 contention으로 인한 성능 저하 및 hidden node로 인한 충돌 등을 완화시켰다.

3. 802.11ah PPDU

IEEE 802.11ah의 PHY layer 디자인은 크게 2개의 카테고리 나눌 수 있다. 첫번째 카테고리는 2/4/8/16 MHz Bandwidth 전송 모드이며, 두번째 카테고리는 1 MHz Bandwidth 전송모드이다.

802.11ah의 2/4/8/16 MHz PHY 디자인은 802.11ac의 20/40/80/160 MHz PHY를 10배 down clocking 한 것이다. 이 경우 OFDM symbol duration은 802.11ac의 10배이고, 802.11ah 2/4/8/16 MHz 채널의 data tone 개수는 802.11ac의 20/40/80/160 MHz 채널 tone 개수와 동일하다. 예를 들어, 802.11ah의 2 MHz 채널과 802.11ac의 20 MHz 채널은 pilot 과 guard까지 포함하여 sub-carrier갯수가 64개이며, 이중 52 개를 데이터 전송에 사용한다.

802.11ah의 1 MHz 전송 모드에서는 sub-carrier 개수가 2 MHz 전송 모드의 절반이며, 이중 24개만 데이터 전송을 위해 사용한다. 1 MHz 전송 모드는 coverage 확장을 위해 도입되었으며, 1 MHz 전송 모드에서는 2x repetition을 사용하여 3dB gain을 얻을 수 있다.

802.11ah 는 SIG_SHORT, SIG_LONG, SIG_1M의 세가지 PPDU(Physical layer protocol data unit) format을 사용한다.

SIG_SHORT PPDU는 2/4/8/16 MHz를 사용한 SU(Single User) 전송을 위한 short preamble format이며, SIG_LONG PPDU는 2/4/8/16 MHz를 사용한 SU 및 MU(Multi User) 전송을 위한 long format이다.

SIG_1M PPDU는 1 MHz PPDU 혹은 1 MHz Duplicated PPDU를 위한 format이며, SU 전송에 사용된다.

IEEE 802.11ah가 사용하는 Sub 1 GHz 대역에는 legacy 무선랜 단말이 없기 때문에 802.11ah는 802.11ac와는 달리 legacy 단말을 고려할 필요가 없는 “green field” 시스템이다. 802.11ah에서는 SU packet 전송에 대해서는 green field type 의 preamble을 제공한다. 802.11ac의 경우 MU와 SU 전송에 공통적으로 사용할 수 있는 preamble format을 사용하나, 802.11ah의 경우는 MU-MIMO(Multi-User MIMO) 전송이

와이파이 오프로딩의 경우에만 사용되므로, MU preamble이 일반적으로 사용되는 SU 전송에 오버헤드가 되지 않도록 SU 전송을 위한 preamble을 별도로 정의하였다[6].

<그림 1>은 SIG_SHORT PPDU의 포맷을 나타낸 것이다. 이 포맷은 2/4/8/16 MHz를 사용한 SU(Single User) 전송에 사용되며 802.11n의 green field format과 유사한 형태를 가지고 있다.

<표 2>는 SIG PPDU에 사용되는 필드들에 대한 설명이다.

표 2. SIG PPDU에 사용되는 필드

필드	설명
STF	Short Training field
LTF	Long Training field
SIG	SIGNAL field
SIG-A	Signal A field
D-STF	데이터 부분을 위한 Short Training field
D-LTF	데이터 부분을 위한 Long Training field
SIG-B	Signal B field
Data	PSDU(PHY service data unit)들을 전달하는 데이터 필드
GI	Guard interval
GI2	Double guard interval
LTS	Long training symbol

STF와 LTF는 디바이스들의 시그널 감지, frequency offset 추정, 시간 동기화, 채널 추정 등을 위한 정보들을 포함한다.

SIG 필드는 2 symbol이며 Q-BPSK로 변조된다. Short Preamble에만 사용되며, SIG short format의 PPDU를 해석하는데 필요한 정보들을 포함한다. 사용 Bandwidth 정보, space time stream 개수, PARTIAL_AID, STBC 사용 여부, Short Guard Interval 사용 여부, Coding 정보, MCS, aggregation 사용 여부, NDP frame 인지의 여부 등에 대한 정보가 포함된다.

<그림 2>는 SIG_LONG PPDU의 포맷을 나타낸 것이다. 이 포맷은 2/4/8/16 MHz를 사용한 MU 및 SU beamformed 전송에 사용되며 802.11ac가 사용하는 mixed mode format과 유사한 형태를 가지고 있으며, Omni Portion과 Data Portion으로 구성되어 있다.

SIG-A는 long preamble에서만 사용되며, SIG long format의 PPDU를 해석하는데 필요한 정보들을 포함한다. MU/SU 전송 여부, 사용 Bandwidth 정보, space time stream 개수(MU 전송의 경우는 사용자당 space time stream 개수), PARTIAL_AID(MU의 경우 Group ID), STBC 사용 여부, Short Guard

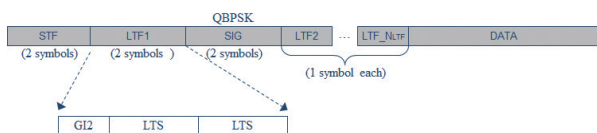


그림 1. SIG_SHORT PPDU의 포맷[4]

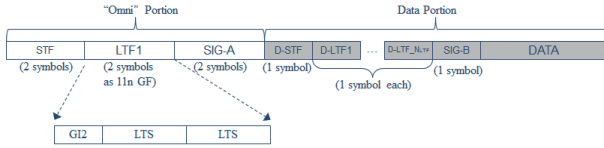


그림 2. SIG_LONG PDU의 포맷 [4]

Interval 사용 여부, Coding 정보, MCS, aggregation 사용 여부 등에 대한 정보가 포함된다. 2 symbol로 구성되며 각각 QBPSK와 BPSK로 변조된다.

D-STF는 802.11ac의 VHT-STF를 downclocking 한 것이며, MIMO 전송시 AGC(Automatic Gain Control)를 위해 사용된다. D-LTF는 MIMO 전송시 채널 추정을 위해 사용되고 1~4개의 D-LTF가 포함된다.

SIG-B는 해당 패킷을 수신하는 특정 STA를 위한 정보를 포함하며 전송되는 패킷의 MCS 정보 등을 포함한다.

SIG_LONG PDU중 D-STF, D-LTFs, SIG-B, DATA 부분은 pre-coding 되어 전송대상 STA들에게 전송된다.

〈그림 3〉은 SIG_1M PDU의 포맷을 나타낸 것이다. 이 포맷은 1 MHz 전송을 위해 사용되며, SU 전송에 사용된다.

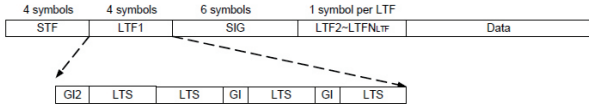


그림 3. SIG_1M PDU의 포맷 [4]

802.11ah는 2x repetition을 사용하며, SIG_1M PDU에서는 2x repetition을 이용해 3.0dB gain을 얻기 위해 4 symbol을 사용하는 LTF를 포함한다[7]. SIG_1M PDU의 SIG 필드에는 SIG_SHORT PDU의 SIG 필드 중 사용 Bandwidth 정보, PARTIAL_AID 등이 포함되지 않는다.

4. 계층적인 TIM 구조

스마트 미터링 등의 응용에서는 하나의 AP (Access Point)가 6000개의 outdoor STA(단말) 들을 지원해야 하지만 기존 무선랜 AP는 최대 2007개의 STA들만을 지원할 수 있어 802.11ah에서는 이를 확장하였다.

802.11에서는 AP에 각 STA당 버퍼링되어 있는 데이터가 있는지의 여부를 AP가 비콘에 포함되는 TIM(Traffic Indication Map)을 이용해 나타낸다. 또한 STA이 AP에 association 할 때 AP는 각 STA에게 고유한 AID(Association ID)를 부여

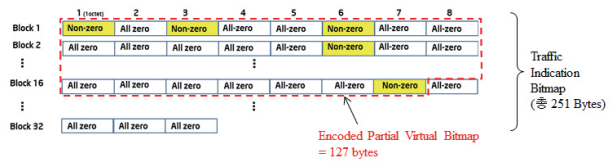


그림 4. 기존 무선랜 TIM bitmap 인코딩 [8]

한다. 하지만 기존 802.11은 2007개의 STA만을 지원할 수 있다. 802.11ah에서는 이를 개선하여 8000개까지의 STA에 대한 AID를 사용할 수 있게 하고 TIM bitmap에서도 표현할 수 있게 했으며, 기존 TIM bitmap encoding 방법의 오버헤드를 줄인 TIM bitmap 인코딩 방법을 정의하였다.

〈그림 4〉는 기존 무선랜의 TIM bitmap 인코딩 방식을 사용한 예이다.

기존 무선랜에서는 평면적인 구조의 TIM bitmap을 사용하며, 특정 STA에 대한 data가 AP에 버퍼링된 경우 AP는 해당 STA의 순서에 해당되는 bit를 1로 설정한다. 위의 예에서 AID가 6, 20, 45, 108, 1010인 STA에 대한 data가 AP에 버퍼링된 경우의 예이다. TIM bitmap은 각 STA의 AID 순서대로 할당되며, 위의 예에서는 노란색으로 표시된 octet에 해당하는 부분에 해당 STA에 대한 bit가 1로 설정된다. AP는 beacon에 TIM bitmap을 포함할 때 2007개 STA에 대한 bitmap 전체를 포함하는 것이 아니라, 실제 bitmap중 첫번째 1이 나타나는 부분부터 마지막 1이 나타나는 부분까지만 beacon에 포함시키며, 이를 Partial Virtual Bitmap이라고 부른다. 전체 Traffic Indication Bitmap 크기는 251 Byte이며, 위의 예에서는 127 byte 크기의 Partial Virtual Bitmap이 비콘에 포함되게 된다.

위와 같은 평면적인 TIM bitmap 구조는 6000개에 달하는 STA들에 대한 TIM을 지원할 수 없다. 또한 위의 예를 보면 실제로 bit이 1로 설정되어 있는 부분은 노란색으로 표시된 5 octet이나, Partial Virtual Bitmap에는 127 byte가 사용되며, 이러한 오버헤드는 Sub 1 GHz 대역에서의 전송에는 상당한 부담이 된다. 게다가 비콘은 지속적으로 전송되기 때문에 TIM bitmap의 오버헤드를 줄이는 것이 매우 중요하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 802.11ah에서는 〈그림 5〉와 같은 계층적인 TIM 구조를 도입하였다. 기존 무선랜 TIM bitmap을 계층적으로 구성하였으며, 최상위에 4개의 Page를 두어 TIM bitmap이 8000개의 STA에 대한 Traffic Indication Map을 나타낼 수 있게 확장하였다. 효율적인 TIM bitmap 인코딩을 위해 전체 AID 공간을 계층 구조 상의 작은 블록으로 나누고, 1인 bit가 포함된 블록만을 Partial Virtual Bitmap에 포함시키도록 하였다. 802.11ah TIM 구조에서는 전체 AID 공간

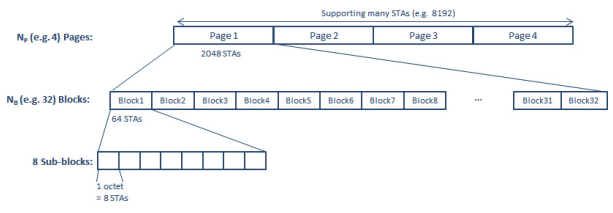


그림 5. 802.11ah의 계층적인 TIM 구조 [8]

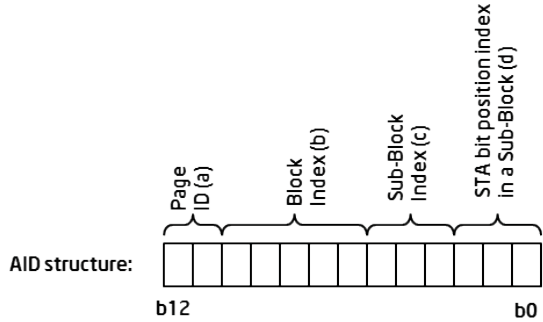


그림 6. 802.11ah의 AID 구조 [8]

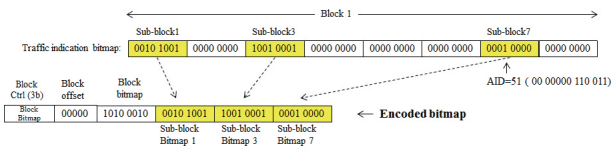


그림 7. 802.11ah TIM Bitmap 인코딩 예 [8]

을 작은 그룹으로 나누고 서로 다른 종류의 STA들을 서로 다른 그룹이나 Page에 속하도록 AID를 할당할 수 있다. 예를 들어, 센서 단말을 Page 1에, 오프로딩 단말을 Page 2에 둘 수 있으며, Sleep/Wake up 주기가 비슷한 단말을 같은 그룹에 속하게 함으로써 Power Save 효율 향상을 가져올 수 있다.

802.11ah의 AID 구조는 위의 계층적인 TIM 구조를 기반으로 <그림 6>과 같이 구성된다.

AID의 상위 2 비트는 해당 STA이 속하는 Page ID를 나타내고, 다음 5 비트는 해당 STA이 속하는 Block Index, 다음 3 비트는 해당 STA이 속하는 Sub-Block Index, 나머지 3 비트는 STA이 Sub-Block의 어느 위치에 있는지를 나타낸다.

<그림 7>은 802.11ah에서 사용하는 Partial Virtual Bitmap 인코딩 방법의 예를 나타낸 것이다.

TIM Bitmap 중 세계의 Sub-block에 TIM bit이 1로 설정된 부분이 있으며, 인코딩된 Partial Virtual Bitmap에는 세계의 Sub-block만 포함되고 나머지 Sub-block은 포함되지 않아 기존 무선랜의 Partial Virtual Bitmap 인코딩의 오버헤드를

감소시켰다.

위의 Encoded bitmap에서, Block Ctrl 3bit는 encoding 방법을 나타내고, Block offset 5 bit는 0번째 block 임을 나타내며, (위의 예에서 Page Index 표시 부분은 생략되어 있음) Block bitmap 8 bit의 10100010은 0번째 block의 첫번째, 세번째, 일곱번째 Sub-block이 인코딩된 bitmap에 포함되었음을 나타낸다. 위의 예에서 총 인코딩된 bitmap 크기는 5 byte이다.

5. RAW 기반의 채널 액세스

IEEE 802.11ah는 확장된 커버리지 및 많은 단말 지원으로 인한 contention 증가 때문에 성능이 저하되고 hidden node로 인한 충돌 문제가 더욱 심각해진다. <그림 8>은 기존 무선랜에서 단말 수가 많은 경우의 채널 액세스 시의 문제점을 나타낸 그림이다 [9]. AP가 비콘을 전송하면 각 STA들이 비콘의 TIM element를 확인한 후, AP가 해당 STA을 위해 버퍼링한 데이터가 있는 경우 각 해당 STA들은 AP에게 PS-Poll frame을 전송하여 AP로부터 Data를 수신받는다.

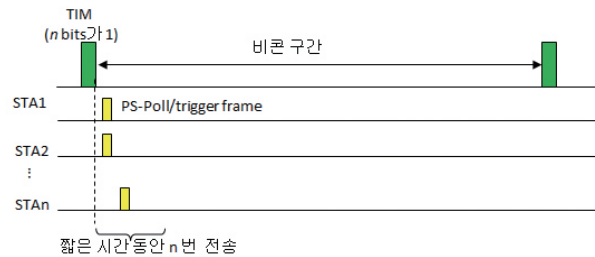


그림 8. 기존 채널 액세스 방식 문제점 [9]

이러한 기존 채널 액세스 방식에서는, 무선랜 STA들이 아주 많은 경우, AP가 비콘을 보낸 직후 TIM을 확인한 STA들이 짧은 시간 안에 한꺼번에 PS-Poll frame을 전송하려고 하기 때문에, 비콘 전송 직후 STA들의 contention이 증가하고, 특히 802.11ah 처럼 커버리지가 넓은 경우 hidden node가 보다 많기 때문에 collision 확률도 높아진다.

802.11ah에서는 이를 해결하기 위해 RAW (Restricted Access Window)를 이용한 채널 액세스 프로토콜을 정의하였다. <그림 9>는 802.11ah에서 사용하는 RAW 구조를 나타낸다.

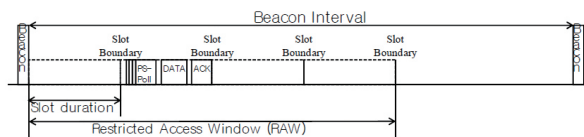


그림 9. RAW 구조 [4]

RAW의 기본적인 개념은 AP가 STA 그룹별로 서로 전송 구간이 겹치지 않도록 STA의 채널 액세스 구간을 분산시켜 contention을 줄이는 것으로, AP는 비콘에 어느 STA이 비콘 구간 중 어느 시간 구간에 채널 액세스가 허용되었는지 등의 리소스 할당 정보를 포함시켜 전송하며, STA들은 자신이 할당된 시간 구간에만 채널 액세스 시도를 하여 contention을 줄인다.

RAW는 특정 STA 그룹에게 contention이 허용된 액세스 구간을 말하며, RAW는 AP에 의해 할당된다.

AP는 비콘 구간 안에 RAW를 할당하며, 비콘에 RAW 할당 정보를 포함하는 RPS(RAW Parameter Set) element 를 포함하여 전송하여 STA들에게 RAW 할당 정보를 알린다. RAW는 time slot으로 나뉜다. STA은 비콘 전송 시점에 깨어나 비콘을 수신한 후 RAW 할당 정보를 확인하고, 자신의 액세스가 허용된 slot에서 contention을 한다. STA들은 자신에게 할당된 slot 이전에는 sleep하여 power saving을 할 수 있다. STA들은 자신에게 할당된 slot의 slot boundary에서 EDCA 기반으로 채널 액세스를 한다.

AP는 비콘 구간 안에 여러 개의 RAW를 할당할 수 있으며, RPS element에 RAW Type, RAW Start Time, Slot Definition, RAW Group 등의 할당정보가 포함되어 전송된다.

AP는 RAW를 특정 용도로 할당할 수 있다. 예를 들어, 특정 RAW를 사운딩을 위한 Sounding RAW로 설정하거나, PS-Poll frame 전송을 위한 Triggering Frame RAW로 설정하거나, beacon을 듣지 않는 STA인 Non-TIM STA의 채널 액세스를 위한 RAW로 설정할 수 있다. 또한 모든 STA들의 액세스가 허용되는 Omni RAW로 설정할 수도 있으며, 802.11ah는 AP도 sleep하는 것을 허용하는데, AP가 sleep하는 시간 구간을 AP PM RAW로 설정하여 이 시간 동안 STA들이 AP에 액세스하는 것을 막을 수도 있다.

6. Short Frames

센서 네트워크, M2M 등에서 전송되는 data packet은 그 크기가 작으며, 이러한 short packet 전송에서는 PHY, MAC 헤더 및 통신 프로토콜 등으로 인한 오버헤드의 비중이 상대적으로 커지게 된다. 이러한 오버헤드를 줄이기 위해 802.11ah는 Short MAC frame format, NDP CMAC(Null Data Packet

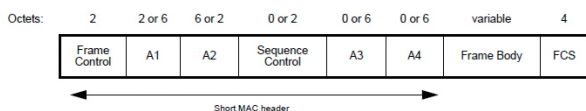


그림 10. Short MAC frame format

Carrying Medium Access Control) Frame format 등을 정의하였다.

〈그림 10〉은 802.11ah의 Short MAC frame format을 나타낸 것이다.

기존의 802.11 MAC frame format과 Short MAC frame format의 구분은 Frame Control field의 Protocol Version subfield를 이용해 구분한다. 기존 MAC frame은 Version이 0이지만, 802.11ah는 Version이 1로 설정된다.

A1, A2는 각각 RA(Recipient Address), TA(Transmitter Address)에 해당되며, uplink 전송시에는 A1 필드에 6 octet의 AP MAC 주소가 들어가며, A2 필드에는 단말의 13 bit AID 값이 들어간다. Downlink 전송시에는 A1 field에는 단말에 할당된 13 bit AID 값이, A2 field에는 6 octet의 AP MAC 주소가 들어간다. Short MAC frame에는 Duration/ID 필드가 생략되었으며, Short MAC frame 사용시에는 Duration/ID 필드를 이용해 NAV(Network Allocation Vector) 설정을 할 수 없기 때문에 802.11ah에서는 RID(Response Indication Deferral)라는 virtual carrier sensing방법이 도입되었다.

802.11ah는 NDP CMAC frame을 도입하였으며, NDP CMAC frame은 MAC 계층으로 전달되는 Data가 없는 frame이며, 〈그림 11〉과 같은 frame format을 갖는다. NDP CMAC frame은 일반적으로 MAC frame에 포함되는 정보가 NDP(Null Data Packet)형태로 전달되며 MAC 계층의 Data가 생략된 매우 최적화된 frame이다. 그림과 같이 일반적으로 MAC frame을 통해 전달되는 정보가 SIG field에 포함되어 전달된다.

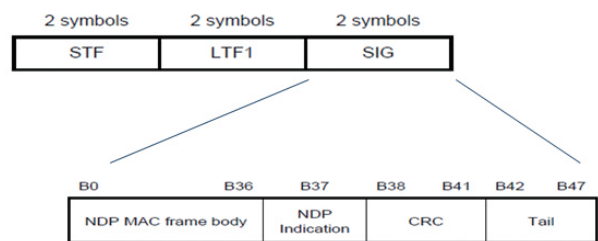


그림 11. NDP CMAC frame format

802.11ah에서는 CTS, CF-End, PS-Poll, Ack, BlockAck, Beamforming Report Poll, Paging, Probe Request frame 들을 NDP CMAC 형태로도 정의하였다. NDP CMAC frame은 frame size가 작은 대신 전달할 수 있는 정보가 적어 사용이 제한적이며, NDP CMAC 형태의 frame이 사용될 수 없는 경우에는 기존의 MAC frame이 사용된다.

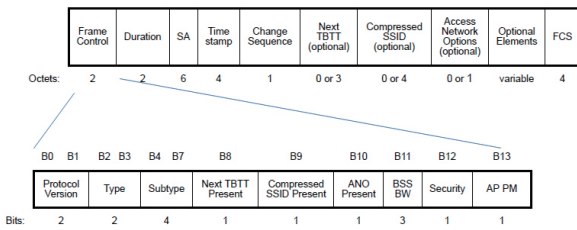


그림 12. S1G Beacon frame format

〈그림 12〉는 S1G Beacon frame의 format을 나타낸다.

802.11ah에서는 기존 Beacon frame에 들어가는 정보 중 꼭 필요한 정보만 포함하고 frame format을 최적화한 short beacon format을 정의하였다[10]. Short Beacon frame에는 생략되는 정보들이 있기 때문에 AP는 주기적으로 기존의 Full Beacon도 전송해야 한다. 하지만 Full Beacon에 들어가는 정보들을 〈그림 12〉의 Optional Elements 부분에 포함시킬 수 있기 때문에, 802.11ah는 기존 Beacon frame format을 사용하지 않고, Full Beacon 전송시에도 〈그림 12〉의 Short Beacon frame format을 사용하는 것으로 하였으며, Beacon frame 이름을 S1G Beacon frame으로 변경하였다. 즉, 802.11ah에는 항상 S1G Beacon frame format이 사용되며, Short Beacon 전송 시점에는 축약된 정보가, Full Beacon 전송 시점에는 기존 Beacon frame에 들어가는 모든 정보가 S1G Beacon frame format으로 전송된다.

S1G Beacon frame에서는 SSID 대신 SSID에 대한 32-bit CRC인 Compressed SSID를 사용하며, Timestamp도 AP Timestamp의 4 LSB만 사용한다. Short Beacon의 경우 Full Beacon에 비해 포함되는 정보가 적기 때문에, Next TBTT 필드에 다음 Full Beacon이 전송되는 시간을 표시하여 STA이 Short Beacon의 정보가 부족하면 Next TBTT 필드에 지정된 시간에 Full Beacon을 수신하여 추가적인 필요한 정보를 수신할 수 있도록 할 수 있다.

III. 결론

IEEE 802.11ah는 스마트 그리드, 센서 네트워크, M2M(machine-to-machine) 통신, 셀룰러 오프로딩, 광역 무선랜 서비스 등을 지원하기 위해 개발된 Sub 1 GHz 대역을 사용하는 무선랜 기술이다.

IEEE 802.11ah는 Sub 1 GHz 대역 사용으로 인해 1 Km까지 확장된 커버리지를 제공하며, 100 Kbps 이상의 data rate을 제

공한다.

IEEE 802.11ah는 센서 네트워크, 스마트 미터링 등을 지원하기 위해 8000개 까지의 STA을 지원하도록 TIM 구조 및 AID 구조가 확장되었으며, 확장된 커버리지 및 많은 단말 지원으로 인한 contention증가 및 hidden node로 인한 충돌 문제를 해결하기 위해 RAW 등의 새로운 채널 액세스 방법을 도입하였다. 또한 short packet 전송시의 PHY, MAC 헤더 오버헤드를 줄이기 위해 Short MAC frame, NDP CMAC frame을 도입하였고, 비콘 전송 오버헤드를 줄이기 위해 S1G Beacon frame을 도입하였다. 802.11ah 규격은 2015년 1월 드래프트 4.0까지 나온 상태이며, 2016년 초에는 802.11ah 표준이 최종 승인될 것으로 예상된다.

802.11ah는 기존 무선랜보다 더 넓어진 coverage, 보다 많은 수의 단말 지원, 저전력 동작 등을 제공하며, 향후 M2M, IoT 서비스 등에 널리 활용되리라고 예상된다.

참고 문헌

- [1] R. D. Vegt, Potential compromise for 802.11ah use case document, doc.: IEEE 802.11-11/0457r0, March 2011.
- [2] M. Cheong, TGah Functional Requirements and Evaluation Methodology, doc.: IEEE 802.11-11-0905r5, Jan 2012.
- [3] M. Park, Proposed Specification Framework for TGah, doc.: IEEE 802.11-11/1137r15, May 2013.
- [4] IEEE P802.11ah/D4.0, Amendment 6: Sub 1 GHz License Exempt Operation, Jan, 2015.
- [5] IEEE Std 802.11ac-2013, Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, Dec. 2013.
- [6] H. Zhang, 11ah Preamble for 2MHz and Beyond, doc.: IEEE 802.11-11/1483r2, Jan 2012.
- [7] S. Vermani, Preamble Format for 1MHz, doc.: IEEE 802.11-11/1482r4, Jan 2012.
- [8] Minyoung Park, TGah Efficient TIM Encoding, doc.: IEEE 802.11-12/388r2, May 2012.
- [9] Yongho Seok, Uplink Channel Access Procedure, doc.: IEEE 802.11-12/0831r0, July 2012.
- [10] Santosh Abraham, Short Beacon, doc.: IEEE 802.11-12/0129r3, May 2012.

약 력



이 재 승

1993년 서강대학교 이학사
1997년 포항공과대학교 공학석사
1997년~1999년 주식회사 데이콤 정보통신연구소
연구원
1999년~현재 한국전자통신연구원
통신인터넷연구소 책임연구원, 표준
전문위원
2009년~2014년 IEEE 802.11 TGac MAC ad
hoc Chair
2015년~현재 IEEE 802.11 TGax Spatial Reuse
ad hoc Chair
관심분야: 무선랜 (802.11ax, 802.11ac,
802.11ah, 802.11ai, NG60 등),
Wireless Security, 암호 프로토콜 등



이 훈

1995년 2월: 전북대학교 공학사
1997년 2월: 전북대학교 공학석사
1999년 8월 ~ 2015년 3월: 한국전자통신연구원
통신인터넷연구소 책임연구원
관심분야: 밀리미터파 전송 기술, 와이브로 모뎀 기술