

802.11ac 무선랜 기술

이재승, 정민호, 이석규
한국전자통신연구원

요약

2009년 9월 IEEE에서 802.11n 규격이 최종 승인된 바 있으며, 이로 인해 현재 11n 기반의 무선랜 보급이 더욱 본격화되고 있다. 하지만 초고화질의 영상을 압축하지 않고 전송하려면 Gbps 이상의 전송 속도가 필요하며, 이를 위해 IEEE에서는 802.11n의 뒤를 이은 무선랜 규격인 802.11ac에 대한 표준을 개발하고 있다. IEEE 802.11ac는 다중 사용자 동시 접속 및 Gbps 급 이상의 고성능 지원에 초점을 맞추고 있으며, 802.11ac는 블루레이 및 압축되지 않은 초고화질 비디오 서비스를 실시간으로 제공할 수 있게 된다. 802.11ac규격은 현재 Draft 5.0까지 나와있는 상태로 표준 개발이 거의 완료되어 가고 있으며, 본 고에서는 이러한 IEEE 802.11ac 무선랜의 주요 기술 요소들에 대해 기술하고자 한다.

I. 서론

현재 최대 600Mbps까지 지원 가능한 IEEE 802.11n 기반의 무선랜 제품이 시장에 널리 보급되고 있다. 하지만 초고화질의 영상을 압축하지 않고 전송하려면 Gbps 이상의 전송 속도가 필요하며, 802.11n의 성능이 이에 미치지 못함에 따라 IEEE에서는 차세대 무선전송 방식인 VHT (Very High Throughput) 무선 전송 기술 표준을 개발하기 위해 2007년 5월 VHT Study Group을 출범하였다. VHT 규격에 대한 논의는 5GHz 대역을 사용하는 VHTL6와 60GHz 대역을 사용하는 VHT60로 이원화되어 2008년부터는 논의가 독립적으로 진행되고 있으며, 이중 VHTL6는 2008년 11월부터 정식 TG (Task Group)로 전환되어 TGac라는 이름으로 본격적인 표준화를 시작하였다.

IEEE 802.11ac는 802.11n의 뒤를 이은 차세대 무선랜 규격으로 다중 사용자 동시 접속 및 Gbps 급 이상의 고성능 지원에 초점을 맞추고 있으며, 802.11ac가 표준화 완료될 경우 이를 통해 블루레이 및 압축되지 않은 초고화질 비디오 서비스를 실시

간으로 제공할 수 있게 된다. 최근 와이파이를 채용한 스마트폰에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며, 802.11ac는 차세대 스마트폰을 위한 핵심 기술이라고도 할 수 있다. 본 고에서는 이러한 IEEE 802.11ac 무선랜 기술의 주요 기술 요소들에 대해 기술하고자 한다. 먼저 802.11ac의 표준화 현황에 대해 간략하게 기술하고, 802.11ac의 주요 기술 요소들에 대한 개략적인 설명을 한 후, VHT PPDU 포맷, VHT 프레임 패딩 방법, 더 넓은 대역폭을 지원하도록 확장된 RTS/CTS 절차, Bandwidth Indication, Downlink MU-MIMO 전송을 위한 ACK 절차, VHT 사운딩 프로토콜 등 802.11ac의 주요 요소 기술들에 대해 설명한다.

II. 본문

1. 802.11ac 표준화 현황

2007년 5월 IEEE 802.11 Plenary 회의에서 802.11n의 뒤를 잇는 차세대 무선랜 규격인 VHT에 대한 논의가 본격화되기 시작하였다. 이에 따라 802.11 산하에 VHT SG를 구성하고 Gbps 이상의 무선랜 서비스를 위한 각종 기술 및 제반 사항들을 논의하기 시작하였다.

5GHz 대역을 사용하는 VHTL6는 2008년 11월부터 정식 TG (Task Group)로 전환되어 TGac라는 이름으로 본격적인 표준화를 시작하였다.

2009년 11ac의 6가지 사용 모델 (무선 디스플레이, HDTV 영상 분배, 신속한 업로드/다운로드, 백홀 (backhaul), 옥외 캠퍼스/강당, 제조 현장 등)을 포함한 TGac Usage Model 문서 [3]가 채택되었고, 2010년 3월까지 802.11ac를 위한 채널 모델을 정의한 TGac Channel Model Addendum 문서 [6]가 만들어졌다. 또한 2011년 1월까지 802.11ac 규격이 만족해야 하는 기능 요구 사항 및 평가 방법을 정의한 TGac Functional Requirements and Evaluation Methodology 문서 [4]가 만들어졌다. 이 문서에서는 802.11ac의 기능 요구사항을 다음과 같

이 정의하고 있다.

- ① 시스템 성능 요구 사항: 5GHz 밴드에서 80 MHz 이하의 대역폭을 사용하여 MAC 데이터 서비스 액세스 포인트 (SAP)에서 측정된 Multi-STA throughput은 최소한 1Gbps이어야 한다. MAC SAP에서 측정된 Single-STA throughput은 최소한 500Mbps이어야 한다.
- ② 5GHz에서 동작하는 802.11a/n 디바이스에 대한 Backward Compatibility 를 지원해야 한다.
- ③ 5GHz에서 동작하는 802.11a/n 디바이스에 대한 Coexistence를 보장해야 한다.

2011년 1월까지 802.11ac 규격의 골격을 정의한 문서인 TGac Specification Framework 문서 [2]가 만들어 졌으며, 이를 구체화한 802.11ac 드래프트 문서가 만들어졌고 수차례의 Working Group Letter Ballot 및 comment resolution 과정을 거쳐 2013년 상반기 Draft 5.0 [1]까지 진행된 상태이다. 2013년 5월부터는 Sponsor Ballot 단계로 접어들었으며, 2013년 말경에는 802.11ac 표준이 최종 승인될 것으로 예상된다.

2013년 현재 브로드콤 (BCM4360, 4352, 4335), 마벨 (Avastar 88W8897, 88W8864), 쉘컴 (WCN3680, QCA9862, QCA9860) 등의 칩 벤더들이 Wi-Fi Alliance의 인증을 아직 받지 않은 802.11ac 드래프트를 구현한 초기 칩셋을 내놓고 있어 향후 802.11ac 표준이 최종 승인된 이후에는 더욱 본격적으로 802.11ac 무선랜 기술이 사용될 것으로 보인다.

2. 802.11ac 의 주요 기술 요소

802.11ac에서 802.11n의 throughput을 향상시키기 위해 도입된 대표적인 기술 요소들은 다음과 같다.

- ① 더 넓은 대역폭 지원
802.11n은 최대 40 MHz bandwidth까지만 지원했으나, 802.11ac에서는 40 MHz 뿐만 아니라 80 MHz bandwidth를 필수로 지원하고, 또한 선택사항으로 160 MHz bandwidth 및 80+80 MHz bandwidth (non-contiguous 160 MHz bandwidth)를 지원한다. 더 넓은 대역폭을 보다 효율적으로 활용하기 위하여 Dynamic Bandwidth Operation 등을 포함한 향상된 RTS/CTS 프로토콜 및 Bandwidth Indication 등에 대한 규격들이 신규로 포함되었다.
- ② 더 높은 modulation 지원
802.11n에서는 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)까지 지원되었으나, 802.11ac에서는 선택사항으로 256 QAM 이 도입되었다.

③ 더 많은 Spatial Stream 지원 및 Downlink MU-MIMO

802.11n에서는 SU-MIMO (Single User Multiple Input, Multiple Output)만 지원되며, 최대 4개까지의 Spatial Stream을 지원한다. 하지만 802.11ac는 Spatial Stream 수를 8개까지 지원하며, 또한 Downlink MU-MIMO (Multi User Multiple Input, Multiple Output)를 도입하였다. MU-MIMO 기술은 한 AP가 다수의 STA들에게 다수의 프레임들을 동일한 채널에서 동시에 전송할 수 있도록 해주며, 802.11ac의 경우 최대 4개의 STA에 대한 동시 전송을 지원하고, 한 STA당 최대 4개의 space time stream을 할당할 수 있다. 이를 위해 VHT PPDU (Physical Layer Protocol Data Unit)가 정의되었으며, SU-MIMO 및 MU-MIMO 전송을 위한 사운딩 프로토콜, MU-MIMO 전송시의 ack을 보내는 절차 등도 함께 정의되었다.

<그림 1>은 이러한 기술 요소들을 사용하여 802.11ac가 802.11n보다 어느 정도의 속도 향상을 가져왔는지를 도식화한 그림이다.

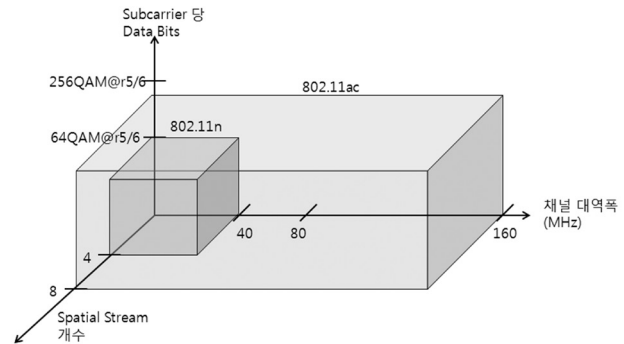


그림 1. 11n 대비 11ac에서 향상된 부분 [7]

802.11ac에서는 모든 MPDU 전송에 A-MPDU (Aggregated MAC Protocol Data Unit) 만을 사용하며, 하나의 MPDU만을 포함하여 전송되는 A-MPDU 포맷인 VHT Single MPDU가 정의되었다. 또한 11ac의 향상된 data rate에서 더욱 MAC 효율을 높이기 위해 MPDU의 최대 길이를 11,454 옥텟으로 증가시켰으며, A-MPDU에서 패딩을 제외한 부분의 최대 길이를 1,048,575 옥텟으로 증가시켰다. 다음 절부터는 VHT PPDU 포맷, VHT 프레임 패딩 방법, 더 넓은 대역폭을 지원하도록 확장된 RTS/CTS 절차, Bandwidth Indication, Downlink MU-MIMO 전송을 위한 ACK 절차, VHT 사운딩 프로토콜 등 802.11ac의 주요 요소 기술들에 대해 기술한다.

3. VHT PPDU

〈그림 2〉는 802.11ac의 PPDU 포맷을 나타낸 그림이다 [1, 2]. 802.11ac에서는 SU-MIMO와 MU-MIMO 전송 모두 동일한 PPDU 포맷을 사용하며, 802.11n과 같은 별도의 greenfield format을 두지 않는다.

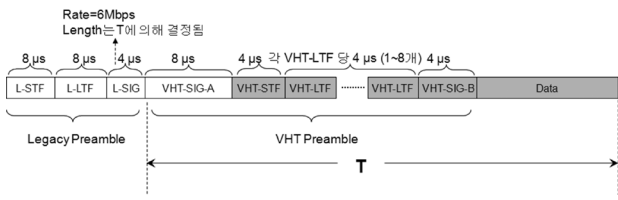


그림 2. VHT PPDU의 포맷

802.11ac는 기존 802.11a와 802.11n과 마찬가지로 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 사용한다.

〈그림 2〉에서 L-STF (Legacy Short Training Field), L-LTF (Legacy Long Training Field), L-SIG (Legacy Signal) 등은 802.11a 및 802.11n에 대한 backward compatibility를 위한 Legacy field 들이며, VHT-SIG-A, VHT-STF, VHT-LTFs, VHT-SIG-B 등은 802.11ac를 위해 새롭게 정의된 필드들이다.

L-STF와 L-LTF는 디바이스들의 시그널 감지, frequency offset 추정, 시간 동기화 등을 위한 정보들을 포함한다. L-SIG 필드에는 패킷의 L-SIG 이후 부분에 대한 길이 정보가 포함되어 있으며, 802.11ac 디바이스들 뿐만 아니라 802.11a, 802.11n 등의 legacy 디바이스들도 L-SIG를 보고 현재 전송되고 있는 패킷의 길이를 알 수 있다.

VHT-SIG-A는 bandwidth 정보, Single User 전송의 경우에 대한 MCS 정보, space time stream 개수 정보 등을 포함한 해당 패킷을 수신하는 VHT STA들에게 공통되는 정보 전송을 위한 필드이다. VHT-SIG-A는 2개의 OFDM 심볼을 포함하며, 이를 이용해 auto-detection을 할 수 있다. 첫번째 심볼은 BPSK로 변조되어 해당 패킷을 수신한 802.11n 디바이스는 해당 패킷을 802.11a 패킷으로 인식하게 된다. 두번째 심볼은 90도 회전된 BPSK (QBPSK)로 변조되며 802.11ac 디바이스는 이를 보고 11ac 패킷과 11a 패킷을 구분할 수 있다.

위의 legacy 필드들 및 VHT-SIG-A 필드는 패킷 전송에 사용되는 bandwidth의 각 20 MHz마다 duplicate되어 전송된다.

VHT-STF (VHT Short Training Field)는 MIMO 전송시 AGC (Automatic Gain Control)를 위해 사용되며, VHT-LTFs (VHT Long Training Fields)는 MIMO 전송시 채널 추정을 위해 사용되고 1~8개의 VHT-LTF가 포함된다.

VHT-SIG-B는 해당 패킷을 수신하는 특정 VHT STA을 위한 정보를 포함하며 BPSK로 변조된다. VHT-SIG-B에는 전

송되는 패킷의 유효한 데이터 길이 및 MU-MIMO 전송의 경우 MCS 정보를 포함하며, 패킷 전송에 사용되는 bandwidth의 각 20 MHz마다 repetition 된다.

VHT PPDU중 VHT-STF, VHT-LTFs, VHT-SIG-B, Data 부분은 pre-coding 되어 각 전송대상 STA으로 전송된다. 다음은 VHT PPDU의 가장 중요한 필드인 VHT-SIG-A와 VHT-SIG-B에 대해 기술한다.

3.1 VHT-SIG-A

VHT-SIG-A 필드는 VHT PPDU를 해석하는데 필요한 정보를 포함하며 해당 패킷을 수신하는 VHT STA들에게 공통되는 정보 전송을 위한 필드이다. 〈그림 3〉은 VHT-SIG-A의 첫번째 부분 (VHT-SIG-A1)의 구조를 나타낸 것이다 [1].

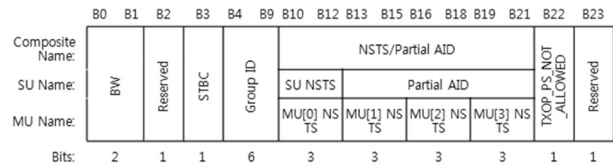


그림 3. VHT-SIG-A1의 구조

BW 필드는 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz, 160 MHz 혹은 80+80 MHz 등의 BW 정보를 포함하며, STBC 필드는 VHT SU PPDU의 경우 STBC (Space Time Block Coding) 사용 여부를 나타낸다.

Group ID 필드는 Group ID 값을 포함한다. Downlink MU-MIMO 전송의 경우, 수신 단말들은 자신이 수신 대상 단말인지, 만약 수신 대상 단말이면 전체 전송 스트림중 어느 스트림이 자신에게 할당된 스트림인지를 인지해야 하며, 이를 위해 Group ID 정보가 패킷에 포함된다. AP는 STA들을 그룹핑하여 Group ID를 부여하며, Group ID 0과 63은 VHT SU PPDU임을 나타내고, 나머지 값인 1~62는 VHT MU PPDU에서 사용된다.

NSTS/Partial AID 필드는, MU의 경우 각 MU user에 대해 할당된 space time stream의 개수를 나타내며, 한 user당 최대 4개의 space time stream이 할당될 수 있다. SU의 경우 3 비트를 사용하여 SU 전송을 위해 할당된 space time stream의 개수를 나타내며, 최대 8개의 space time stream이 할당될 수 있다. 나머지 9비트를 이용하여 Partial AID (Association Identifier)를 나타낸다. Partial AID는 해당 PSDU (PHY service data unit)의 수신 대상을 나타낸다.

TXOP_PS_NOT_ALLOWED 필드는 AP가 STA들이 TXOP 도중에 TXOP power save 모드로 진입하는 것을 허용하는지

의 여부를 나타낸다.

〈그림 4〉는 VHT-SIG-A의 두번째 부분 (VHT-SIG-A2)의 구조를 나타낸 것이다 [1].

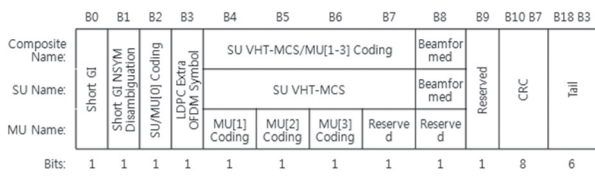


그림 4. VHT-SIG-A2의 구조

Short GI 필드는 Data 필드에서 short guard interval이 사용되는지의 여부를 나타내며, Short GI N_{SYM} Disambiguation은 short GI 사용시 packet 길이의 모호성을 완화하기 위해 사용된다.

SU/MU(0) Coding 필드는 SU 전송시 및 MU 전송시의 user 0에 대해 LDPC 혹은 BCC 중 어느 것이 사용되는지를 나타내며, LDPC Extra OFDM Symbol 필드는 LDPC PPDU 인코딩 절차에 의해 추가 OFDM 심볼이 발생했는지의 여부를 나타낸다.

SU VHT-MCS/MU[1-3] Coding 필드는, SU 전송의 경우 VHT-MCS index를 포함하며, MU 전송의 경우 user 1,2,3에 대해 LDPC 혹은 BCC 중 어느 것이 사용되는지를 나타낸다.

Beamformed 필드는 SU 전송시 Beamforming steering matrix가 적용되었는지의 여부를 나타낸다.

3.2 VHT-SIG-B

VHT-SIG-B 필드는 해당 패킷을 수신하는 특정 VHT STA을 위한 정보를 포함하며, 각 user에 대하여 20 MHz PPDU에는 26비트, 40 MHz PPDU에는 27비트, 80 MHz, 160 MHz 및 80+80 MHz PPDU에는 29 비트가 사용된다.

〈표 1〉은 VHT-SIG-B 필드를 나타낸 것이다. SU 전송의 경우 VHT-SIG-B Length 및 Tail Bits가 포함되며, MU 전송의 경우 VHT-SIG-B Length, VHT-MCS 및 Tail Bits가 포함된다.

표 1. VHT-SIG-B 필드

Fields	MU - Bit allocation			SU - Bit allocation		
	20 MHz	40 MHz	80, 160, 80+80 MHz	20 MHz	40 MHz	80, 160, 80+80 MHz
VHT-SIG-B Length	16	17	19	17	19	21
VHT-MCS	4	4	4	-	-	-
Reserved	-	-	-	3	2	2
Tail	6	6	6	6	6	6
Total bits 수	26	27	29	26	27	29

VHT-SIG-B Length에는 전송되는 패킷의 user 별 유효한 데이터 길이가 포함되며 Length를 가변으로 할당함으로써 채널 대역폭이나 SU 혹은 MU 전송과 상관없이 5.46ms의 일정한 최대 PPDU duration을 보장할 수 있다.

4. VHT Frame Padding

VHT에서는 프레임 패딩을 위해 A-MPDU를 사용한다. 〈그림 5〉는 VHT A-MPDU를 이용한 맥 패딩 방법을 나타낸 것이다 [9]. VHT A-MPDU 서브프레임은 기존 802.11n의 A-MPDU와 동일한 구조를 가지며, MPDU Delimiter에 EOF (End of Frame indication) 필드가 추가되었다.

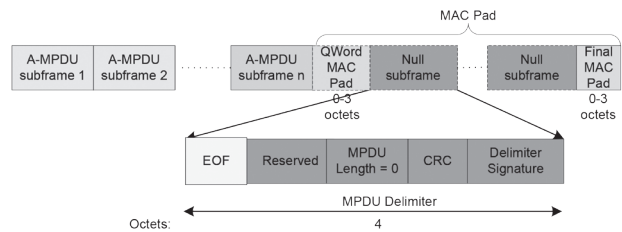


그림 5. VHT A-MPDU를 사용한 맥 패딩

VHT에서는 L-SIG의 Length 및 Rate 정보를 이용해 PPDU의 전체 duration을 심볼 개수로 나타낼 수 있다. MAC 레이어에서는 A-MPDU 구조를 사용하여 각 user 스트림의 마지막 바이트까지 패딩을 수행하며, SU 및 MU 프레임에 대하여 동일한 패딩 방법이 사용된다.

유효한 A-MPDU 서브프레임들 (길이가 0이 아닌 A-MPDU 서브프레임들) 뒤에 0~3 옥텟의 QWord MAC Pad를 사용하여 마지막 길이가 0이 아닌 A-MPDU 서브프레임을 32비트 단위 까지 맞추고, 그 다음에 MPDU의 길이가 0인 서브프레임 (Null subframe)들을 추가하여 VHT 프레임의 뒷부분까지 32비트 단위로 채운다. 그 뒤에 0~3 옥텟의 바이트 단위의 패딩을 수행하여 VHT 프레임의 마지막 심볼까지 바이트 단위로 채워준다. 그 뒤의 남은 비트들은 PHY 레이어에서 0~7 비트의 비트 단위 패딩을 수행하여 패딩을 완료한다.

EOF 필드는 VHT PPDU에서 A-MPDU를 padding하기 위해 사용되는 MPDU Length가 0인 A-MPDU 서브프레임의 경우 1로 설정되며, 만약 수신단에서 EOF=1로 설정된 서브프레임을 감지한 경우, 수신을 중단해도 된다.

5. 더 넓은 대역폭을 지원하는 RTS/CTS

802.11ac에서는 더 넓은 대역폭을 보다 효율적으로 활용하

기 위하여 Dynamic Bandwidth Operation 등을 포함한 RTS/CTS 절차를 정의하였다.

〈그림 6〉은 기존 802.11n규격을 사용해 wide bandwidth operation을 할 경우의 문제점을 나타낸 그림이다 [10].

802.11n RTS/CTS 규격에서는 송신자가 사용하려는 모든 서브채널로 RTS를 보내면, 수신자는 모든 서브채널에 대해 CTS로 응답을 하며, 만약 송신자가 CTS를 primary channel로 수신 받는다면, 송신자는 데이터를 모든 서브채널을 사용하여 전송한다. 만약 그림과 같이 수신자 측의 secondary channel에 간섭이 있을 경우, 송신자가 모든 서브채널을 사용해 전송한 데이터는 secondary channel에서 충돌이 발생하게 된다.

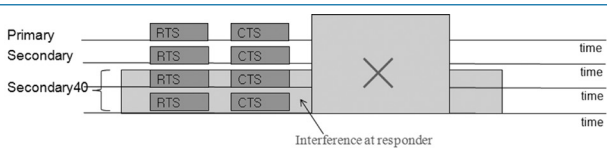


그림 6. 802.11n을 사용해 wide bandwidth operation을 할 경우의 문제점

이러한 기존 rule은 위와 같은 secondary channel의 hidden node 충돌을 막지 못하며, 11ac에서는 더 많은 secondary channel을 사용하기 때문에 이같은 문제가 더욱 심각해지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, dynamic bandwidth operation과 static bandwidth operation이 802.11ac에서 정의되었다.

〈그림 7〉은 802.11ac의 Dynamic bandwidth operation의 예를 나타낸 그림이다 [10].

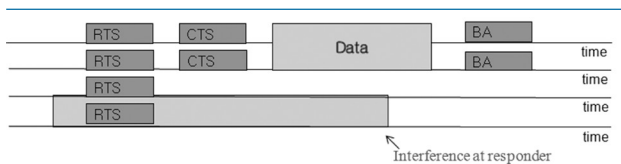


그림 7. Dynamic bandwidth operation의 예

송신자 측에서는 idle로 감지된 채널에 대해 RTS frame을 전송하며, 이에 대한 CTS 응답은 RTS frame이 차지하고 있는 채널중 수신자 측에서 idle로 감지된 채널에 대해서만 전송한다. 이 경우, 유효한 PHY 모드, 즉 20/40/80/80+80/160MHz를 사용한 전송만 허용된다. RTS/CTS frame은 사용 가능한 bandwidth 정보를 포함하고 있으며, 송신자는 CTS 응답에서 수신자 측에서 사용 가능하다고 표시한 채널에 대해서만 데이터를 전송한다.

Static bandwidth operation에서는, 위의 경우 수신자 측에서 RTS frame이 차지하고 있는 채널중 만약 하나의 secondary channel이라도 busy이면 CTS 응답을 보내지 않는다.

위와 같은 RTS/CTS 절차에서, RTS frame의 1 비트를 사용하여 STA이 dynamic bandwidth operation을 사용할 수 있는지를 나타낸다. 또한 사용 가능한 channel bandwidth가 RTS/CTS frame 내에 표시된다.

6. Bandwidth Indication

넓은 Bandwidth를 사용해 duplicate되어 전송되는 RTS/CTS frame과 같은 non-HT PPDU에 대해 Bandwidth 및 Static/Dynamic Indication을 하는 방법이 802.11ac 규격에 도입되었다.

RTS/CTS를 non-HT PPDU로 보내게 될 경우 주위의 모든 단말들이 NAV를 제대로 설정할 수 있게 된다는 장점이 있다. 또한 bandwidth indication을 위해 새로운 control frame을 사용하는 것보다 기존의 RTS frame을 사용하게 될 경우 NAV cancellation 등 기존 RTS/CTS절차에 있는 기능들을 그대로 유지할 수 있다는 장점이 있다. 이로 인해 기존 RTS/CTS frame을 이용해 Bandwidth를 알리는 방법이 802.11ac에 도입되었다.

802.11ac에서는 Bandwidth indication을 위해 Service Field의 Scrambling Sequence를 사용한다. 〈그림 8〉은 이러한 Scrambling Sequence를 사용한 bandwidth indication 방법을 나타낸 것이다 [11].

Bits	0-3	4	5-6
RTS	Scrambling Sequence Start4	INDICATED_DYN BANDWIDTH	INDICATED_CH_BANDWIDTH
CTS, etc	scramblingSequenceStart5		

그림 8. Service field의 scrambling sequence를 이용한 bandwidth indication

Scrambling Sequence의 처음 7 비트 중 5~6번째 비트인 두개의 비트를 사용하여 사용하는 Bandwidth를 표시하며, RTS 프레임의 경우 4번째 비트를 사용하여 Dynamic/Static Bandwidth operation 사용 여부를 표시한다.

802.11ac에서, CTS frame 이외의 control frame 응답을 요구하는 송신자의 요청에 대해 수신자는 응답 frame을 자신이 수신한 frame과 동일한 channel bandwidth로 보내야 한다. 따라서, VHT STA이 control frame 전송을 요구하는 non-HT PPDU 혹은 non-HT duplicate PPDU를 수신받을 경우, VHT STA은 수신받은 non-HT PPDU 혹은 non-HT duplicate PPDU의 bandwidth를 판단할 수 있어야 하고, 이 bandwidth

와 동일한 bandwidth로 응답 frame을 전송해야 한다.

이를 위해 802.11ac에서는 RTS/CTS frame 이외의 non-HT frame 들에 대해서도 bandwidth indication을 수행한다. 802.11ac에서는 RTS/CTS 뿐만 아니라 BAR/BA, CF-END/CF-END, Sounding Poll/Sounding Feedback 등에 대해서도 bandwidth indication을 수행해야 한다.

7. Downlink MU-MIMO 전송시의 ACK 절차

802.11ac에서는 한 AP가 다수의 STA들에게 다수의 프레임들을 동일한 채널에서 동시에 전송할 수 있도록 해주는 Downlink MU-MIMO 기술이 도입되었다.

Downlink MU-MIMO만 지원되기 때문에, Downlink Data 는 동시에 전송할 수 있지만, 이에 대한 응답은 하나씩 전송되어야 한다. <그림 9>는 Downlink MU-MIMO 전송시의 ACK 절차의 예를 나타낸 그림이다.

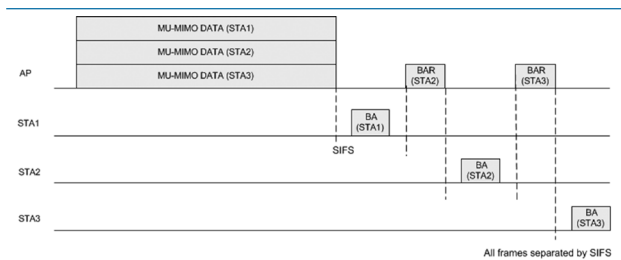


그림 9. Downlink MU-MIMO 전송시의 ACK 절차

Downlink MU-MIMO에서는 MU-MIMO를 사용해 동시에 전송된 A-MPDU 중에서 최대 하나의 A-MPDU에 대해서만 immediate block ack response 가 허용된다. 위의 예에서, STA1이 전송한 data frame에 대한 ack policy만 normal ack 이며, 다른 data frame에 대한 ack policy는 block ack 이다. STA1은 MU-MIMO data를 전송받은 직후 SIFS 간격 뒤에 BA (Block Acknowledgement)을 보내고, STA2, STA3은 AP 가 BAR (Block Acknowledgment Request)를 보내면 SIFS 후에 BAR을 전송한다.

8. VHT 사운딩 프로토콜

VHT 사운딩 프로토콜은 Single User Beamforming 과 MU-MIMO explicit sounding을 위한 프로토콜이다. 802.11ac에서는 SU-MIMO와 MU-MIMO 모두에 사용 가능한 통합된 사운딩 프로토콜을 정의하여 AP는 하나의 메커니즘 만을 구현하여 SU-MIMO와 MU-MIMO 모두에 적용 가능하다.

사운딩 프로토콜은 사운딩 후 immediate feedback report를

제공하여, 효율적으로 채널 정보를 사용할 수 있도록 해준다.

<그림 10>은 beamformee가 다수인 경우에 대한 VHT 사운딩 프로토콜을 나타낸 그림이다 [1].

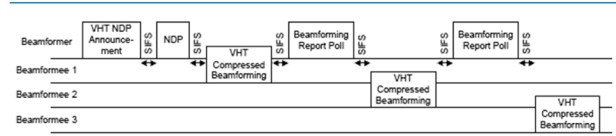


그림 10. beamformee가 다수인 경우에 대한 VHT 사운딩 프로토콜

사운딩 피드백 절차는 AP가 VHT NDP Announcement (NDPA) frame과 SIFS 뒤에 전송되는 NDP (Null Data Packet)를 전송함으로써 시작된다. VHT NDPA를 이용해 NDP 전송 후 SIFS 뒤에 응답을 보내야 하는 응답자를 지정할 수 있으며, 다른 응답 단말은 각각 AP로부터 poll을 받은 후 피드백을 보내게 된다.

첫번째 응답자로 지정된 단말은 Sounding Feedback frame (VHT Compressed Beamforming frame)을 NDP를 수신 받은 후 SIFS 후에 전송해야 한다. AP는 다른 STA 들에게는 명시적으로 Beamforming Report Poll frame을 전송하여 각 STA 들로부터 feedback 을 수신 받는다.

<그림 11>은 단일 beamformee에 대한 VHT 사운딩 프로토콜을 나타낸 그림이다 [1].

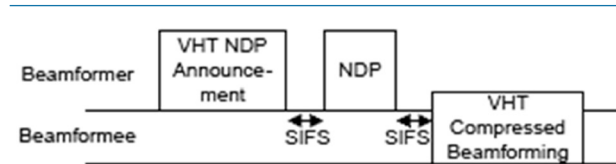


그림 11. 단일 beamformee에 대한 VHT 사운딩 프로토콜

단일 beamformee의 경우도, 사운딩 피드백 절차는 AP가 VHT NDP Announcement (NDPA) frame과 SIFS 뒤에 전송되는 NDP (Null Data Packet)를 전송함으로써 시작되며, 이를 수신한 단말은 Sounding Feedback frame (VHT Compressed Beamforming frame)을 NDP를 수신 받은 후 SIFS 후에 전송해야 한다.

Multi-User 경우와는 달리, beamformer는 해당 beamformee로부터 최소한 한 세그먼트 이상의 VHT Compressed Beamforming frame을 수신받은 경우를 제외하고, Single User 단말에 대해 Beamforming Report Poll을 전송해서는 안된다.

III. 결론

IEEE 802.11ac는 802.11n의 뒤를 이은 차세대 무선랜 규격으로 다중 사용자 동시 접속 및 Gbps 급 이상의 고성능 지원에 초점을 맞추고 있으며, 블루레이 및 압축되지 않은 초고화질 비디오 서비스를 실시간으로 제공할 수 있게 된다.

본 고에서는 이러한 IEEE 802.11ac 무선랜 기술의 표준화 현황을 간략하게 알아보고, VHT PPDU 포맷, VHT 프레임 패딩 방법, 더 넓은 대역폭을 지원하도록 확장된 RTS/CTS 절차, Bandwidth Indication, Downlink MU-MIMO 전송을 위한 ACK 절차, VHT 사운딩 프로토콜 등 802.11ac의 주요 요소 기술들에 대해 소개하였다.

802.11ac는 2013년 상반기 드래프트 5.0까지 승인된 상태이며, 2013년 말경 표준이 최종 승인될 것으로 보이며, 또한 2013년 현재 브로드콤, 마벨, 퀄컴 등의 주요 칩 벤더들이 아직 인증을 받지 않았지만 802.11ac를 구현한 초기 칩셋을 내놓고 있어 빠른 시일 내에 802.11ac 무선랜 기술이 보급될 것으로 예상된다. 향후 스마트 폰 등 다양한 단말에 802.11ac 기술이 사용될 것으로 예상되며, 국내에서도 802.11ac 무선랜 제품 개발에 더욱 박차를 가해야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] IEEE P802.11ac D5.0, January 2013. (http://www.ieee802.org/11/private/Draft_Standards/11ac/Draft%20P802.11ac_D5.0.pdf).
- [2] IEEE 802.11-09/0992r21, "Specification Framework for TGac," January 2011.
- [3] IEEE 802.11-09/0161r2, "802.11ac Usage Models Document," March 2009.
- [4] IEEE 802.11-09/0451r16, "TGac Functional Requirements and Evaluation Methodology," January 2011.
- [5] IEEE 802.11-08/0807r4, "VHT below 6 GHz PAR Plus 5C's," September 2008.
- [6] IEEE 802.11-09/0308r12, "TGac Channel Model Addendum," March 2010.
- [7] "802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper," Cisco, 2012(http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/white_

paper_cl1-713103.html).

- [8] 정민호 외, "차세대 무선랜 최신 기술 동향," 전자통신동향 분석 27권 2호, 2012.4월.
- [9] Yong Liu, IEEE 802.11-10/0064r5, "VHT Frame Padding," May 2010.
- [10] Michelle Gong, IEEE 802.11-10/1289r2, "RTS/CTS Operation for Wider Bandwidth," November 2010.
- [11] Brian Hart, IEEE 802.11-10/1281r1, "Bandwidth Indication and Static/Dynamic Indication within Legacy," November 2010.

약 력



이재승

1993년 서강대학교 이학사
 1997년 포항공과대학교 공학석사
 1997년~1999년 주식회사 데이터콤 정보통신연구소 연구원
 1999년~현재 한국전자통신연구원 무선전송연구부 선임연구원
 2009년~현재 IEEE 802.11 TGac MAC ad hoc Chair
 관심분야: 무선랜 (802.11ac, 802.11ah, 802.11ai 등), Wireless Security, 암호 프로토콜 등



정민호

1995년 서울대학교 전자공학과 공학사
 1997년 서울대학교 전자공학과 공학석사
 2004년 서울대학교 전기공학부 공학박사
 2004년~현재 한국전자통신연구원 프로젝트 리더, 전문위원(IEEE802 표준 총괄)
 2008년~현재 IEEE802.11ac PHY Chair, IEEE 802.11ah PHY Chair, TTA WG7044 Chair
 관심분야: 차세대 무선랜 기술, 무선 망 융합기술, 사물통신 서비스 등



이석규

1986년 광운대학교 공학사
 1996년 New York University 공학석사
 2000년 New Jersey Institute of Technology 공학박사
 2000년~현재 통신인터넷연구부 무선랜접속제어 연구실 실장
 관심분야: 무선랜