

차세대 WLAN 시스템의 기술 개발 및 시장 동향

박상훈 | 이한림* | 김기진* | 임태호 | 안광호

전자부품연구원, *KAIST

요 약

가정, 기업, 오피스 및 공공장소에서의 폭넓은 무선 데이터 서비스 사용에 따라 거대한 영향력과 시장성을 갖게 될 차세대 WLAN 기술 및 시스템에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 본고에서는 IEEE 802.11의 표준 기술 및 표준화 진행 중인 개발 기술들에 대해 살펴본다. WLAN을 기반으로 하는 IEEE 802.11의 간략한 history와 배경뿐만 아니라, IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad 등의 기술적인 부분을 요약하여 기술 개발 현황을 알아보고, 확보된 기술을 통한 시장 상태와 차세대 기술 개발을 통한 시장 동향을 논의한다.

I. 서 론

Wireless local area network (WLAN)은 local area를 무선으로 연결해 주는 네트워크로써, 세계 최초로 1985년 미국 통신 위원회인 federal communication commission (FCC)가 0.9/2.4/5.7 GHz 주파수 대역에서 license-exempt 밴드를 공표하고 [1], IEEE 산하에서 license-exempt 밴드를 사용하여 WLAN 표준을 만들기 위한 task group이 조직되면서 시작되었다 [2]. IEEE 802.11은 IEEE 산하의 local area network (LAN) / metropolitan area network (MAN) 표준위원회의 11 번째 task group에서 개발 중인, 혹은 개발 된 표준 기술을 의미하며, 목적과 용도에 따른 다양한 표준이 존재한다 [2].

1990년대 IEEE 802.11 표준이 발표되었고, 노트북 등의

portable device에 채택되면서 급속하게 퍼지게 되었다. 이러한 급속한 IEEE 802.11 표준 호환 제품의 확산에는 Wi-Fi alliance라는 연합이 자리하고 있다 [3]. Wi-Fi는 wireless fidelity를 암시하며 [4], Wi-Fi alliance에서 채택한 상표명을 의미하고, 인증을 받은 제품에 Wi-Fi 로고를 부착할 수 있도록 하고 있다 [4].

최근에는 cellular phone 및 다양한 portable/stationary smart device에 채택되면서, WLAN 시스템의 발전과 확산을 가속하고 있다. 따라서 WLAN과 wireless personal area network (WPAN), 혹은 WLAN과 wireless metropolitan area network (WMAN)의 영역이 점차 애매모호해 지고 있다. 본 고에서는 WLAN의 표준인 IEEE 802.11의 기술동향 및 시장 동향을 살펴보고, 향후 발전 방향에 대해 전망해보고자 한다.

II. 본 론

WLAN 시스템은 IEEE 802.11b를 바탕으로 하는 상용화 제품의 폭발적인 증가로 널리 퍼지게 되었고, IEEE 802.11a와 IEEE 802.11g가 더해지면서, 2.4/5 GHz 듀얼밴드를 사용하는 현재의 WLAN 시스템의 기반을 이루게 되었다. 현재의 대부분의 상용화된 WLAN products는 대용량 data rate을 처리하기 위해 IEEE 802.11n 표준을 채택하고 있으며, 이후의 Gbps급, 혹은 그 이상의 data rate을 전송하기 위한 IEEE 802.11ac/ad 표준화 작업이 활발히 추진되고 있다.

1. IEEE 802.11a/b/g

IEEE 802.11a/b/g는 현재 WLAN 시스템의 근간을 이루는 표준으로써, 2.4/5 GHz 듀얼밴드 대신 2.4 GHz 싱글밴드만 사용하는 시스템은 IEEE 802.11b/g 표준만을 채택하기도 한다. IEEE 802.11a/b/g의 기술적 특징을 통해, WLAN의 기반을 이루는 기술을 다루어 보고자 한다.

1) IEEE 802.11b

초기의 IEEE 802.11 표준을 호환성 및 data rate 측면에서 확장하고 개선한 world-wide하게 사용된 최초의 WLAN 표준이다. 1999년도에 IEEE 802.11b 표준이 발표되었으며 [5], 이후의 Wi-Fi의 상호를 가진 초기 제품은 IEEE 802.11b 표준 호환 제품이었고, WLAN 시스템이 전세계적으로 퍼져나가는 데 결정적인 역할을 한 표준이다.

IEEE 802.11b 표준은 2.4 GHz license-exempt 주파수 밴드에서 22 MHz bandwidth를 가진 상호 중첩된 14개의 channel을 정의하고 있다. 가변적인 data rate을 정의하고 있으며, 최대 11 Mbps부터 최소 1 Mbps의 data rate을 정의하고, AP와의 거리 및 airinterface condition에 의해 adaptive하게 채택하도록 권유하고 있다 [5]. IEEE 802.11b의 대표적 특징 기술은 carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA), direct-sequence spread spectrum (DSSS) 등이 있다 [5].

가. CSMA/CA : 임의의 device들에 의해 공유되고 있는 access point (AP)에 접속하기 위한 random access 프로토콜 중에서 IEEE 802.11에 의해서 채택되어서 널리 퍼진 방식이다. 유선 ethernet 과는 달리 무선 네트워크에서는 collision 감지가 힘들기 때문에, collision avoidance (CA) 방법이 선호된다. Device는 항상 네트워크를 모니터링하고, 네트워크가 비어있을 때, 지정된 시간에 데이터를 보내고 받게 되는 방식을 정의하고 있는 MAC Layer 프로토콜이다.

나. DSSS : Modulation 방식 중 RF 신호 spectrum을 실제 baseband 신호 spectrum 보다 확장시켜서 송신하는 방식으로써, 광대역에 걸쳐 적은 파워로 송신되기 때문에, 잡음과 유사한 성격을 가지며, 또한 복조시 주변의 잡음에 의한

영향도 적은 편이다. 수신 측에서 원하는 신호를 복조하기 위해서는 송신측에서 spectrum 확장을 위해 사용된 key에 대한 정보를 미리 가지고 있어야 한다.

2) IEEE 802.11a

IEEE 802.11a amendment는 1999년에 인준되어서, 2003년에 개정판이 발표 되었다 [6]. 2.4 GHz 대역의 interference가 많은 주파수 환경을 벗어나서, 5 GHz 대역의 license-exempt 대역을 사용하여 WLAN 시스템을 구현한 표준이다.

IEEE 802.11a 표준은 5 GHz 밴드에서 20 MHz bandwidth를 가진 독립적인 12개의 channel을 정의하고 있으며, binary phase shift keying (BPSK)부터 64 quadrature amplitude modulation (QAM)까지 가변적 변조 방법을 사용하여, 최대 54 Mbps data rate까지 정의하고 있다. IEEE 802.11b의 대표적 특징 기술은 orthogonal frequency division modulation (OFDM) technique 등이 있다 [6].

가. OFDM : single channel을 작은 subcarrier로 나누어 독립된 데이터로 전송하는 OFDM은, IEEE 802.11a에서 20 MHz bandwidth의 channel에서 4개의 pilot과 48개의 data subcarrier를 정의하고 있고, 0.8 ms의 guard interval을 포함하여 4 ms의 symbol duration을 가진다.

3) IEEE 802.11g

2 GHz 대역에서 동작하는 제품에 비해, 5 GHz 대역에서 동작하는 제품의 성능적, 가격적 문제 때문에 IEEE 802.11a 표준을 적용한 제품이 시장에 널리 퍼지지 못하고 있을 때, 2003년 발표된 IEEE 802.11g 표준은 2 GHz 주파수 대역을 그대로 사용하여 IEEE 802.11b 표준을 적용한 기존의 제품들과의 호환성을 유지하면서, 최대 54 Mbps data rate을 제시여, 빠르게 시장을 확보해 버렸다.

IEEE 802.11g 표준은 동작 주파수를 제외한 상당 부분이 IEEE 802.11a와 유사하거나 동일하게 정의되어 있다 [7]. 하지만, 기존의 2 GHz license-exempt 밴드에서 동작하는 제품들이 가지고 있던, interference 문제를 그대로 가지고 있으며, 부분적으로 완화하기 위해, frequency separation이 확보되는 1번, 6번, 11번 channel 만을 사용하는 것이 권장되고 있다.

2. IEEE 802.11n/ac

IEEE 802.11a/b/g 등의 표준이 확립된 이래로, WLAN 네트워크의 data rate을 더욱 발전시키기 위한 노력으로 IEEE 802.11n 표준화가 진행되었으며 [8], 5 GHz 대역에서 Gbps 급의 data rate을 확보하기 위해서 IEEE 802.11ac 표준화가 진행 중에 있다 [9].

1) IEEE 802.11n

IEEE 802.11a/b/g에서 정의된 data rate보다 빠른 data rate을 확보하기 위해 2004년 1월, IEEE 802.11n 표준 committee가 발표되었고 [8], 이후 수 차례의 revision을 거치며 2009년 9월에 표준이 제정되었다. IEEE 802.11n의 기본적인 specifications이 <표 1>에 요약되어 있다 [10].

<표 1> IEEE 802.11n standards specifications

Parameter	IEEE 802.11n Standard
Maximum Data Rate	600 Mbps
Channel Width	20 MHz and 40 MHz
Frequency	2.4 GHz and 5 GHz
Allowable MIMO Stream	4
Modulation	Improved OFDM
Data Rate per Stream	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 (Mbps)

4개의 MIMO stream과 40 MHz의 채널 bandwidth를 통해 최대 600 Mbps의 데이터 전송 속도를 갖는 IEEE 802.11n 표준은 이전 표준보다 향상된 feature를 보여주고 있다 [10]-[13].

가. Improved OFDM : 이전의 IEEE 802.11a는 20 MHz 채널에서 52개의 subcarrier를 사용하였지만, IEEE 802.11n에서는 40 MHz 채널에서 subcarrier 숫자를 114개로 늘려 더 많은 traffic을 운반할 수 있게 향상되었다. 향상된 OFDM을 기반으로 IEEE 802.11n의 physical layer는 기존의 IEEE 802.11a/g의 54 Mbps의 bit rate를 동일 20 MHz 채널에서 single stream으로 65 Mbps까지 향상시켰다.

나. Increased bandwidth : 기존의 IEEE 802.11a는 5 GHz, IEEE 802.11b/g는 2.4 GHz 대역에서만 사용되었지만, IEEE

802.11n은 2.4/5 GHz 대역을 모두 지원한다. IEEE 802.11n은 하나의 20 MHz 채널을 그대로 사용하거나, 두 개의 인접 20 MHz 채널을 통합하여 형성한 하나의 40 MHz 채널도 사용할 수 있다. 2.4 GHz 대역에서는 현재 하나의 40 MHz 채널만 사용할 수 있으며, 5 GHz 대역에서는 최대 11개의 40 MHz 채널이 사용될 수 있다.

다. Multi input multi output (MIMO) : Single input single output (SISO)을 사용하는 이전의 IEEE 802.11a/b/g와는 다르게 IEEE 802.11n은 하나 이상의 path를 사용하는 MIMO를 사용한다. 데이터는 spatial stream이라 불리는 개수만큼 나눠져 다중 안테나를 통해 전송 및 수신된다. 최대 4개의 stream까지 지원하는 IEEE 802.11n은 single stream이 전송할 수 있는 최대 data rate인 150 Mbps보다 4배 많은 600 Mbps까지 data rate을 올릴 수 있다.

라. Aggregation : IEEE 802.11n은 데이터 전송 효율을 높이기 위해 데이터의 다중 패킷을 하나의 전송 프레임으로 묶어서 보낸다. 우선 순위가 같고 동일한 destination address를 갖는 다수의 MAC service data unit (MSDU)을 하나의 패킷으로 전송하는 aggregation-MSDU (A-MSDU)와 MAC protocol data unit (MPDU)을 묶는 aggregation-MPDU (A-MPDU)가 있다.

마. Backward compatibility : IEEE 802.11n은 이전 버전들인 IEEE 802.11a/b/g과 호환이 가능하다. IEEE 802.11n access point (AP) 상호간에 통신하는 greenfield 모드에서 highest data transmission rate가 가능하며, IEEE 802.11a/b/g가 IEEE 802.11n과 통신하는 mixed 모드, IEEE 802.11a/b/g끼리 통신하는 legacy 모드 역시 지원된다.

2) IEEE 802.11ac

IEEE 802.11n이 600 Mbps의 data rate을 가능하게 한 이후로 IEEE 802.11ac task group은 5 GHz 대역에서 1 Gbps 이상의 data rate을 갖는 amendment를 다루기 시작하였다. 현재 IEEE 802.11ac draft standard에서 throughput을 향상시키는 mechanism으로는 multi-user MIMO (MU-MIMO), 80 MHz / 160 MHz channel bandwidth, 256-quadrature

amplitude modulation (256-QAM) 등이 있다 [14][18].

가. MU-MIMO : IEEE 802.11ac의 MU-MIMO는 다중 패킷을 여럿의 유저들에게 동시에 전달하는 목적으로, MU-MIMO 모드는 최대 8개까지의 spatial stream으로 4명의 multi-user와의 통신을 의미한다. 총 data rate는 MU-MIMO를 사용하지 않을 경우보다 4배가 크며 user data rate 또한 MU-MIMO를 사용하지 않을 경우보다 더 크다. 하지만 acknowledgement는 여전히 시간 순으로 보내어 지기 때문에 throughput gain은 약간 감소하며, 각 client의 signal-to-noise ratio (SNR)에 의한 영향으로 최대 데이터 전송 속도를 유지하지 못할 수도 있다. MU-MIMO가 효과적으로 응용되기 위해 client수가 변함에 따른 link adaptation과 single-user packet과 multi-user packet간의 switching 기법도 고려되고 있다. 또한, 각 유저들간의 간섭을 최소화 하기 위한 채널 안에서의 time-variation도 중요한 문제이다.

나. Wider bandwidth : IEEE 802.11n에서는 20 MHz와 40 MHz를 지원하고 있으며, IEEE 802.11ac는 80 MHz와 160 MHz를 추가적으로 지원하게 될 것이다. 80 MHz bandwidth는 2개의 인접한 40 MHz channel을 결합하여 형성하는 반면, 160 MHz channel은 2개의 80 MHz 채널을 사용하되 두 채널이 인접하지 않아도 된다. 2개의 인접하지 않은 80 MHz 채널 송수신으로 인해 160 MHz channel은 이를 효과적으로 처리하기 위한 추가적인 하드웨어적 부담이 예상된다. 이를 통해 8개의 spatial stream을 사용하여 6.933 Gbps의 data rate이 가능하여 진다.

다. Modulation : IEEE 802.11a 표준 이래로 현재 WLAN에서 64-QAM이 highest order constellation이지만, IEEE 802.11ac의 data rate을 끌어 올리기 위해서 256-QAM이 사용될 것으로 보인다. 최대 coding rate는 5/6로 IEEE 802.11n과 동일할 것이며, 2 spatial stream을 이용한 80 MHz 채널에서의 maximum single-user data rate은 866.6 Mbps로 64-QAM을 이용하여 얻을 수 있는 650 Mbps보다 더 크다.

라. Backward compatibility : IEEE 802.11ac는 5 GHz를 사용하는 IEEE 802.11a와 IEEE 802.11n을 모두 지원하는

backward compatible device가 될 것이다.

3) Technology expectations and trends

Atheros, Broadcom, Marvell 등 해외 기업들이 지난 10여년간 WLAN 칩셋 기술을 선도해 왔으며, 스마트폰 등 모바일 핸드셋 단말의 수요 증가로 저전력 칩셋 개발이 주력되고 있다. 그 동안 국내에서는 WLAN 칩셋의 해외 수입에 의존해 왔지만, 최근에 국내 업체 및 기관에서의 IEEE 802.11b/g/n 등의 칩셋 개발이 있었다.

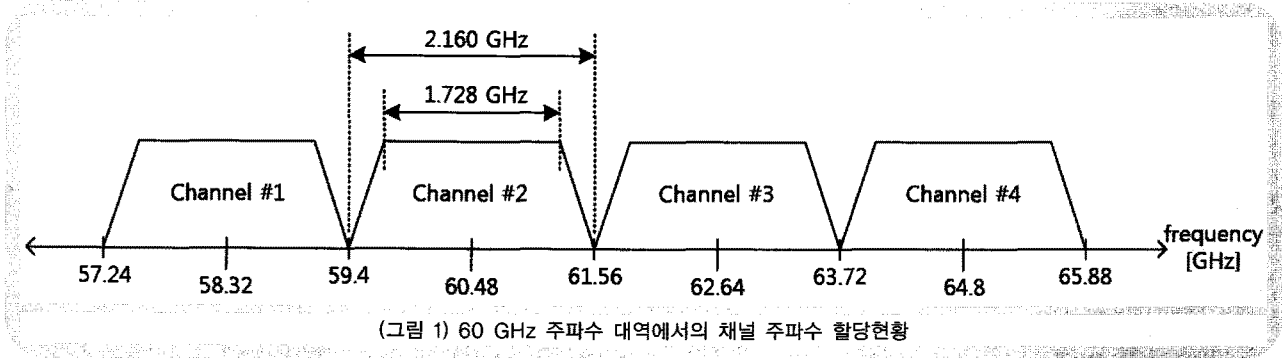
IEEE 802.11n의 후속 표준인 gigabit 수준의 IEEE 802.11ac 표준화를 위해 Samsung은 Atheros, Broadcom, Intel등과 함께 Accord 그룹을 결성하였고, LG와 ETRI는 Qualcomm, Sony 등과 Accelerate 그룹을 결성하여 자사의 IP를 표준에 반영키 위한 활동을 진행 중이다.

IEEE 802.11ac의 주요 기술 개발 내용으로는 gigabit WLAN 표준화 및 무선 전송 기술로 MU-MIMO 무선 전송 기술, overlapping basic service set (BSS) 운용기술 및 gigabit 성능 향상 기술, 가변 채널 자원 활용 기술 등이 있다. IEEE 802.11ac 표준을 적용한 AP 와 단말용 gigabit WLAN 베이스밴드 및 RF 칩셋, 단말용 gigabit WLAN 통합 system-on-chip (SoC) 칩셋 등이 개발 중에 있다. 응용 제품들로는 gigabit 시스템 및 backhaul (gigabit WLAN AP, gigabit wireless backhaul, gigabit home/office network), 고속 다운로드 시스템 등이 있으며, 스마트폰, 모바일 게임, 태블릿 PC등의 휴대용 handset 등에도 적용될 것이다.

5 GHz license-exempt 주파수 대역을 사용하여 Gbps 급 data rate을 가능하게 하는 다른 무선통신 규격으로는 wireless home digital interface (WHDI) 기술이 주목을 받고 있다 [19]. WHDI은 5.1 ~ 5.8 GHz의 주파수에서 최대 3 Gbps의 data rate 와 최대 30m의 전송 거리를 가지며, 20 ~ 40 MHz의 channel bandwidth 를 통해 uncompressed HD video를 송신할 수 있다. 현재 Sony, LG, Samsung, Hitachi, Sharp 등과 같은 TV 제조업 관련 업체들이 자사 제품에 WHDI 관련 기술을 접목하고 있는 중이다 [20], [21].

3. IEEE 802.11ad

디지털 영상 미디어 기술의 발전과 고속 무선 전송에 대한 요구가 증가함에 따라 Gbps 급 무선 전송을 60 GHz 기반의



밀리미터파 대역을 활용하여 현실화 하려는 시도가 진행 중이고, 우리나라를 비롯하여 일본, 미국, 캐나다, 유럽 등에서 60 GHz (57 ~ 66 GHz) 밴드를 license-exempt 대역으로 할당하면서, world-wide standard 입지를 점차 넓혀가고 있다 [22], [23].

60 GHz 대역은 기존의 WLAN 시스템이 사용하는 2.4/5 GHz 대역에 비하여 다른 통신 시스템과의 간섭이 상대적으로 매우 적은 주파수 대역이며, 또한 carrier 주파수가 높아 최대 9 GHz의 광대역폭이 존재하며 (그림 1) [22]-[24], channel bonding, MIMO, spatial multiplexing 등의 기술을 적용하여 수십 Gbps까지 전송속도를 확장 할 수 있다 [16], [23]-[26].

Complementary metal oxide semiconductor (CMOS) 회로 설계 기술은 전송파워의 peak-to-average power ratio (PARR)가 높은 OFDM 방식의 전력증폭기, 수 ~ 수십 Gbps를 처리 할 수 있는 data converter, 60 GHz 를 지원하는 주파수 합성기 등에서 활발한 연구가 진행 중이며, 근시일 내에 SoC 기반의 솔루션이 기대되고 있다 [27]-[30]. 하지만, 60 GHz 주파수 대역은 50 mm/h의 강우량을 기준으로 한 비에 의한 감쇠가 약 18 dB/km 이고, oxygen에 의한 감쇠가 약 15 dB/km으로써, 다른 주파수 대역에 비해 무선 전송을 위한 채널 환경이 굉장히 열악하다는 문제가 존재한다 [31], [32].

IEEE 802.11ad 표준화는 기존의 IEEE 802.15.3c와의 차별성 문제로 늦춰지다가, 2008년에 project authorization request (PAR)이 승인되었고 [23], [33], [34], 2011년 7월, IEEE 802.11ad draft 3.0이 배포되었다 [33]. 60 GHz 주파수 대역을 사용하는 다른 표준화 기구들에 비해 상대적으로 늦게 표준화 작업을 시작했지만, world-wide WLAN 표준인 IEEE

802.11a/b/g/n 의 표준화 기구가 직접 추진하고 있어서 파급 효과는 가장 클 것으로 기대되고 있다.

1) Key features

IEEE 802.11ad 표준화 작업은 60 GHz 밴드의 독특한 주파수 특성과 Gbps급 무선 전송을 위한 광대역 signal processing을 위해, 기존의 IEEE 802.11 표준보다 향상된 기술을 요구하는데, 대표적인 기술들은 다음과 같다 [16], [22]-[26], [34].

가. Beam-forming : 60 GHz 밴드의 열악한 채널 환경을 극복하여, 기존의 WLAN 시스템과 coverage면에서 compatibility를 확보하기 위한 핵심적인 기술로써, multiple antenna array를 사용하여 전송 파워를 증가하고, 동시에 방향성을 지닌 RF 신호를 형성하는 기술이다. 60 GHz 밴드의 특성상 매우 작은 면적에 많은 antenna array를 물리적으로 구현 가능하다.

나. Spatial frequency reuse : IEEE 802.11ad는 beam-forming 기술을 적용하여, 방향성을 지닌 wireless connection을 지향하고 있다. Beam-forming 기술은 wireless coverage를 효과적으로 증가시키지만, 반면에 안테나 beam-width는 감소하게 되어서 adjacent wireless link와의 interference는 줄어들게 된다. 그 결과, 동일지역 내 multiple wireless link에서 같은 주파수 채널을 동시에 사용함으로써, spectrum efficiency를 크게 증가시킬 수 있다. 이는, 현재의 밀집되어 있는 무선 통신 환경에서, 상호간 간섭을 줄이면서도 성능을 저하시키지 않는 IEEE 802.11ad의 핵심적 기술 중 하나이다.

다. Fast session transfer : IEEE 802.11ad를 60 GHz 주파수 밴드를 사용하는 IEEE 내의 다른 표준화인 IEEE 802.15.3c와 차별화 할 수 있는 기술로써, IEEE 802.11a/b/g/n 등과 연계 되는 2.4/5/60 GHz 밴드를 동시에 아우르는 multi-radio access 및 초고속 switching control 기술을 포함한다.

라. MAC channel access : 60 GHz 대역의 주파수 특성상 기존의 2.4/5 GHz 주파수 대역을 사용하던 시스템에서 사용하던 CSMA/CA access만으로는 충분하지 않아, MAC이 scheduled access (SC)를 허용하도록 확장하였다. SA는 time division multiple access (TDMA)에 속하는 방식으로, 미리 access 가능한 시간을 허용함으로써 전력관리, quality of service (QoS) 지원 등을 효과적으로 관리할 수 있게 되었다.

마. Relay operation : 60 GHz 밴드의 열악한 주파수 특성을 극복하기 위하여, beam-forming 기술이 적용되었으나, line-of-sight (LOS) link가 존재하지 않는 경우, 60 GHz 주파수 대역을 사용한 데이터 전송이 더 이상 불가능한 상황이 발생할 수 있다. Fast session transfer technique으로 2.4/5 GHz 밴드로 천이하여 끊임없는 데이터 전송은 가능하나, 60 GHz 주파수 대역에서 이루어지던 수 Gbps급의 통신은 불가능하게 된다. 이러한 non-line-of-sight (NLOS) 상황에서 60 GHz 주파수 대역의 link 를 끊임없이 유지하기 위해, relay operation technique이 적용되었다. AP와 portable user (PU) 사이에 존재하는 LOS로 연결되는 relay device를 통해 접속하여, AP와 PU간의 60 GHz wireless link를 유지하는 기술이다.

2) Technology expectations and trends

다른 IEEE 802.11 WLAN 시스템과는 달리 IEEE 802.11ad 시스템은 아직 초창기 단계에 있으며, 표준화 또한 draft 단계이다. 하지만, 현재의 draft가 이미 60 GHz 시스템의 중요한 specification을 대부분 포함하고 있으며, 이를 바탕으로 60 GHz 주파수 대역을 사용하는 시스템의 상용화가 진행 중에 있다.

2009년 5월, Qualcomm, Broadcom, Intel, Samsung, NVIDIA, Marvell 등의 메이저 칩벤더들에 의해 조직된 wireless gigabit alliance (WiGig)은 IEEE 802.11 표준화와 방

향을 같이하며 상호보완적인 관계로 발전하고 있으며, 2011년 7월에 specification 버전 1.1을 발표하면서 표준화 작업을 주도하고 있다 [35]. 2011년 5월에는 Qualcomm Atheros와 Wilocity에서 WiGig/IEEE 802.11ad 기술을 적용한 최초의 2.4/5/60 GHz 삼중 대역을 지원하는 Wi-Fi 칩셋인 AR9004TB를 발표하였고 [36], 2011년 6월에는 Panasonic에서 60 GHz 주파수 대역을 이용한 WiGig/IEEE 802.11ad를 지원하는 소비전력 1W 미만의 모바일 기기용 칩을 개발하였다고 발표하였다 [37].

IEEE 802.11ad, WiGig 외에도 60 GHz 주파수 대역의 license-exempt 밴드를 사용하여 Gbps급 data rate을 실현하려 하는 표준화 그룹은 IEEE 802.15.3c, WirelessHD™, ECMA-387등이 있다.

가. IEEE 802.15.3c : IEEE 802.15.3c task group 은 IEEE 산하기관으로써, 60 GHz license-exempt 주파수 대역 (57 ~ 64 GHz)을 사용하여 wireless personal area network (WPAN) 서비스를 위한 표준화 작업을 진행하고 있다 [38]. IEEE 802.11ad 보다 빠른 2009년에 밀리미터 웨이브 기반의 PHY/MAC 표준을 발표하였다 [39]. IEEE 802.15.3c에 따르면, single carrier 방식, high speed interface OFDM (HS-OFDM) 방식, audio and visual OFDM (AV-OFDM) 방식의 세 가지 독립적인 physical layer 방식이 정의되어 있다.

WirelessHD™ 컨소시엄이 IEEE 802.15.3c를 기반으로 한 솔루션을 제공하고 있고, Creonic은 2011년 IEEE 802.15.3c 표준에 부합하는 Multi-Gbit/s LDPC Decoder IP를 개발하였다 [40].

나. WirelessHD™ : High-definition (HD)급 이미지의 무압축, 무손실, 최소 대기시간의 전송을 위한 무선 디지털 네트워크 인터페이스 규격으로써, IEEE 802.15.3c를 기반으로 세계 최초의 60 GHz 어플리케이션을 위한 global standard이다 [41].

2006년 60 GHz CMOS RF 솔루션을 가지고 있던 SiBeam (현 Silicon Image)이 주축이 되어서, WirelessHD™ 컨소시엄이 결성되었고, 2008년 4월 Gbps data rate을 가지는 WirelessHD™ 1.0 표준을 발표하였고 [41], 2010년에는 10 ~ 28 Gbps까지 data rate 확장이 가능한 WirelessHD™ 1.1 표준

이 발표 되었다. 2011년 SiBeam을 인수한 Silicon Image는 현재 WirelessHD™를 바탕으로 무선 홈 네트워킹 칩셋을 상용화하여 판매하고 있다 [42].

다. ECMA-387 : EMCA international TC48에 의해 개발되고 있는 high rate 60 GHz 무선 네트워크를 위한 PHY/MAC layer 및 HDMI PAL layer에 관한 국제 규격이다 [22], [23], [43]. 2009년 ECMA-387 1.0 표준을 발표하였으며, 현재는 ECMA-387 2.0 표준작업을 진행 중이다 [44]. ECMA-387 은 서로 다른 세 종류의 장치를 정의하고 있으며, Gbps급의 data rate을 지원하는 WPAN 서비스에 그 목적을 두고 있다 [22], [23], [43].

III. 결론

IEEE 802.11 표준으로 이야기되는 WLAN 기술들은 무선 데이터 서비스에 대한 다양한 feature들을 제공한다. 2.4/5/60 GHz의 license-exempt 주파수 대역에서, 20 ~ 160 MHz에 이르는 channel bandwidth를 통해 수 Gbps에 이르는 다양한 service를 포함하는 기술들이 개발되며 상품화되고 있다.

WLAN 칩 개발은 Qualcomm Atheros, Marvell, Broadcom, Airgo, Intel등이 선도하고 있으며, 노트북, 핸드폰, 무선 VoIP 폰, smart device, 디지털 액자, 무선 셋탑박스, 초고화질 AV 시스템 등에 적용되어 개발 중이다. 더욱이, 2010년 초에 Wi-Fi alliance가 peer-to-peer 기술인 Wi-Fi direct 버전 1.0 표준을 발표하면서, Bluetooth가 장악해온 WPAN 영역까지 시장을 확장하고 있다 [3].

다양한 표준 규격과 기술 개발을 지원하고 있는 IEEE 802.11 표준은 다른 license-exempt 밴드를 사용하는 표준보다 world-wide 표준으로써 무선통신 시장을 주도하게 될 것이다. 현재 가장 늦게 시작된 IEEE 802.11ad 표준 또한 WiGig 연합이 IEEE 802.11ad 표준 규격을 반영하고, portable device에 적용 가능한 저전력 솔루션 또한 포함하고 있어서 전방위에 걸친 IEEE 802.11 파급효과는 상당할 것으로 예상된다 [26], [34].

참 고 문 헌

- [1] FCC, "First report and order, authorization of spread spectrum systems under parts 15 and 90 of the FCC rules and regulations," Gen. Docket 81-414, FCC 85-245, June 18 1985.
- [2] IEEE 802.11 official website, <http://www.ieee802.org/11/>.
- [3] Wi-Fi alliance, <http://www.wi-fi.org>.
- [4] Wikipedia website, <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.
- [5] LAN / MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-speed Physical Extension in the 2.4GHz Band, IEEE Std 802.11b-1999, Sept. 16, 1999.
- [6] LAN / MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer the 5 GHz Band, IEEE Std 802.11a-1999 (R2003), June 12, 2003.
- [7] LAN / MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 4 : Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band, IEEE Std 802.11g™-2003, June 27, 2003.
- [8] IEEE 802.11n (TGn), http://www.ieee802.org/11/Reports/tgn_update.htm.
- [9] IEEE 802.11ac (TGac), http://www.ieee802.org/11/Reports/tgac_update.htm.
- [10] LAN / MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control

- (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5 : Enhancements for Higher Throughput, IEEE Std 802.11a-1999 (R2003), Oct. 29, 2003.
- [11] D. Skordoulis, Qiang Ni, Hsiao-Hwa Chen, A.P. Stephens, Changwen Liu, A. Jamalipour, "IEEE 802.11n MAC frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput WLANs," IEEE Wireless Communications vol. 15, no. 1, pp. 40-47, Feb., 2008.
- [12] Yang Xiao, "IEEE 802.11n : enhancements for higher throughput in wireless LANs," IEEE Wireless Communications vol. 12, no. 6, pp 82-91, Dec., 2005.
- [13] T. K. Paul, T. Ogunfunmi, "Wireless LAN Comes of Age : Understanding the IEEE 802.11n Amendment," IEEE Circuits and Systems Magazine vol. 8, no. 1, pp. 28-54, Mar., 2008.
- [14] IEEE 802.11 official website, http://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm.
- [15] IEEE mentor site, <http://mentor.ieee.org/802.11/dcn/10/11-10-1361-03-00ac-proposed-tgac-draft-amendment.docx>.
- [16] G. Hiertz, D. Denteneer, L. Stibor, Y. Zang, X. P. Costa, B. Walke, "The IEEE 802.11 universe," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 1, pp. 62-70, Jan., 2010.
- [17] Richard Van Nee, "Breaking the Gigabit-per-Second Barrier with 802.11ac," IEEE Wireless Communications, vol. 18, no. 2, pp 4, Apr., 2011.
- [18] Steven J. Vaughan-Nichols, "Gigabit Wi-Fi Is on Its Way," Computer, vol. 43, no. 11, pp. 11-14, Nov., 2010.
- [19] WHDI official website, <http://www.whdi.org>.
- [20] G. Lawton, "Wireless HD Video Heats Up," Computer, vol. 41, no. 12, pp. 18-20, Dec., 2008.
- [21] S. Srinivasan, "An Assessment of Technologies for In-Home Entertainment," Proceedings of 20th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 1-6, Aug., 2011.
- [22] 이우용, "60GHz 대역 WPAN 표준 기술 동향 : Ecma International TC48 표준 기술 중심," 전자통신동향분석, 제 23권, 제 3호, 2008년 6월.
- [23] 홍승은, 이우용, 정현규, "60GHz 주파수 대역 기반 밀리미터파 무선전송기술 표준화 동향," TTA저널, 한국정보통신기술협회, 2010년 7월.
- [24] IEEE 802.11 Comoittee of the IEEE Computer Society, Part 11 : LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 6 : Enhancements for Very High Throughput in the 60GHz Band, IEEE P802.11ad/D0.1, June 2010.
- [25] E. Perahia, C. Cordeiro, Minyoung Park, L.L. Yang, "IEEE 802.11ad : Defining the Next Generation Multi-Gbps Wi-Fi," Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 8, pp. 1390-1436, Aug., 2011.
- [26] T. S. Rappaport, J. N. Murdock, F. Gutierrez, "State of the Art in 60-GHz Integrated Circuits and Systems for Wireless Communications," 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 1-5, Jan., 2010.
- [27] T. Tao, M. Q. Gordon, K. K. W. Tang, K. H. K. Yau, M. T. Yang, P. Schvan and S. P. Voinigescu, "Algorithmic design of CMOS LNAs and PAs for 60-GHz radio," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 42, no. 5, pp. 1044-1057, May., 2007.
- [28] T. Mitomo, R. Fujimoto, N. Ono, R. Tachibana, H. Hoshino, Y. Yoshihara, Y. Tsutsumi, I. Seto, "A 60-GHz CMOS Receiver Front-End With Frequency Synthesizer," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 43, no. 4, pp. 1030-1037, Apr., 2008.
- [29] A. Tomkins, R. A. Aroca, T. Yamamoto, S. T. Nicolson, Y. Doi, S. P. Voinigescu, "A Zero-IF 60GHz 65nm

- CMOS Transceiver With Direct BPSK Modulation Demonstrating up to 6Gb/s Data Rates Over a 2m Wireless Link," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 44, no. 8, pp. 2085-2099, Aug., 2009.
- [30] Y. Nakajima, A. Sakaguchi, T. Ohkido, N. Kato, T. Matsumoto, M. Yotsuyanagi, "A Background Self-Calibrated 6b 2.7GS/s ADC With Cascade-Calibrated Folding-Interpolating Architecture" IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 45, no. 4, pp. 707-718, Apr., 2010.
- [31] P. F. M. Smulders, L. M. Correia, "Characterisation of propagation in 60GHz radio channels," IEEE Electronics & Communication Engineering Journal, vol. 9, no. 2, pp. 73-80, Apr., 1997.
- [32] P. Smulders, "Statistical Characterization of 60-GHz Indoor Radio Channels," IEEE Antennas and Propagation, vol. 57, no. 10, pp. 2820-2829, Oct., 2009.
- [33] Status of Project IEEE 802.11ad, http://www.ieee802.org/11/Reports/tgad_update.htm.
- [34] 장갑석, 이우용, 정찬형, "기가비트 무선랜 기술 및 표준화 동향," TTA저널, 한국정보통신기술협회, 2010년 9월.
- [35] WiGig official website, <http://www.wigig.org/>.
- [36] Qualcomm Press Center, http://www.qualcomm.co.kr/news/releases/2011/110531_qualcomm-atheros-and-wilocity-announce-tri-band-wi-fi-industry-s-first-stan.html.
- [37] <http://www.androidauthority.com/the-first-ever-wigig-enabled-chip-from-panasonic-15887/>.
- [38] IEEE 802.15 WPAN Task Group 3c (TG3c) Millimeter Wave Alternative PHY official website, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>.
- [39] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Part 15.3 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)- Amendment2 : Millimeter-wave-based Alternative Physical Layer Extension, IEEE Std 802.15.3c™-2009, Oct. 12, 2009.
- [40] Creonic ip cores & system solutions official website, <http://www.creonic.com/en/>.
- [41] WirelessHD™ official website, <http://www.wirelesshd.org/>.
- [42] Silicon Image official website, <http://www.siliconimage.com/>.
- [43] ECMA International, Standard ECMA-387 High Rate 60GHz PHY, MAC and PALs, 2nd ed., Dec., 2010.
- [44] ECMA International TC48 official website, <http://www.ecma-international.org/memento/TC48.html>.

약 력



박 상 훈

2000년 고려대학교 공학사
2004년 Texas A&M University 공학석사
2010년 University of California - San Diego 공학박사
2010년 ~ 2011년 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
2011년 ~ 현재 전자부품연구원 선임연구원
관심분야 : 무선통신 시스템 및 RFIC 설계기술(60GHz 근거리 초고속 통신, Wi-Fi, 위성통신), Baseband Analog 회로설계, Mixed IC 설계기술



이 한 림

2008년 Simon Fraser University 공학사
2010년 KAIST 공학석사
2010년 ~ 현재 KAIST 공학박사과정
관심분야 : RF Hybrid System, RFIC, Antenna



김 기 진

2003년 국민대학교 공학사
2006년 KAIST 공학석사
2009년 ~ 현재 KAIST 공학박사과정
2006년 ~ 현재 전자부품연구원 선임연구원
관심분야 : CMOS RFIC, Millimeter wave IC



임 태 호

2003년 국민대학교 공학사
2006년 국민대학교 공학석사
2007년 ~ 현재 전자부품연구원 선임연구원
관심분야 : CMOS RFIC, Analog IC



안 광 호

1995년 경북대학교 공학사
1997년 포항공과대학교 공학석사
2001년 포항공과대학교 공학박사
2001년 ~ 2006년 삼성전자 System LSI/RF개발팀 책임연구원
2006년 ~ 현재 전자부품연구원 책임연구원/팀장
관심분야 : 반도체집적회로, CMOS RF&Analog IC, 60GHz 근거리통신