

광대역 무선 접속을 위한 IEEE 802.16 WirelessMAN 무선 접속 기술

공민환, 정회동, 송문규
원광대학교 전기전자및정보공학부

I. 서론

최근 인터넷의 활성화로 영상전화, 주문형 비디오 등 다양한 멀티미디어 서비스 제공에 대한 요구가 날로 증대되고 있다. 이와 같은 고속 데이터 전송 요구는 통신망의 고속화가 필수적으로 수반된다. 이를 위해 가정과 소규모 사업체는 케이블 모뎀, DSL(digital subscriber line)과 같은 유선 네트워크를 이용하고 있다. 그러나 케이블 시스템은 케이블 TV 하부구조를 기반으로 하고 있어 소규모 사업체의 경우 유용하지 않으며 DSL은 거리 제한 때문에 모든 가입자국이 이용할 수 없다. 또한 유선 네트워크 구축은 시간과 경제적인 면에서 비효율적이다. 이에 반해, 광대역 무선 접속(broadband wireless access; BWA) 기술은 단지 빌딩이나 pole에 기지국을 배치하여 고용량의 무선 접속 시스템을 창출할 수 있으므로 유선 네트워크 전체의 값비싼 하부구조의 개발과 시간 소모 없이 광범위한 지역에 서비스 할 수 있는 능력을 갖는다^[1].

본 기고에서는 미국의 LMDS(local multipoint distribution system), 캐나다의 LMCS(local multipoint communication system), 유럽의 LMS(local multipoint system)와 국내의 B-WLL(broadband-wireless local loop)

와 BMWS(broadband multimedia wireless service) 표준안의 근간을 이루고 있는 IEEE 802.16 WirelessMANTM의 작업그룹과 표준화 동향을 살펴보고, 물리계층과 MAC(media access control)에 대하여 논한다^[2].

II. IEEE 802.16 Working Group

1999년 7월부터 IEEE 802.16 working group은 세계적인 응용성을 갖는 무선 MAN(metropolitan area networks)을 위한 표준안 개발을 시작하였다. IEEE 802.16은 빌딩 내에 광대역 접속 서비스 제공을 위해 유선을 대신할 수 있는 보다 경제적인 해결책을 제공한다. IEEE 802.16 working group의 초기 관심은 10-66 GHz이었으며, 무선 접속을 위한 표준 IEEE 802.16과 공존을 위한 표준 IEEE 802.16.2를 각각 2002년 4월과 2001년 8월 공포하였다.^{[1]-[4]} IEEE 802.16 working group은 현재 2-11 GHz의 무선 접속과 공존을 위한 IEEE 802.16.a와 IEEE 802.16.2a 개정 프로젝트를 진행 중이다. 이들 프로젝트는 크게 4개의 task group에 의해 진행중이며, 각 task group의 역할은 <표 1>에 보인다. 또한 2002년 3월 이동 무선 MAN을 위한 study group을 결성하였다^[1].

본 기고는 정보통신부의 정보통신기술기초연구지원사업으로 수행한 연구결과입니다.

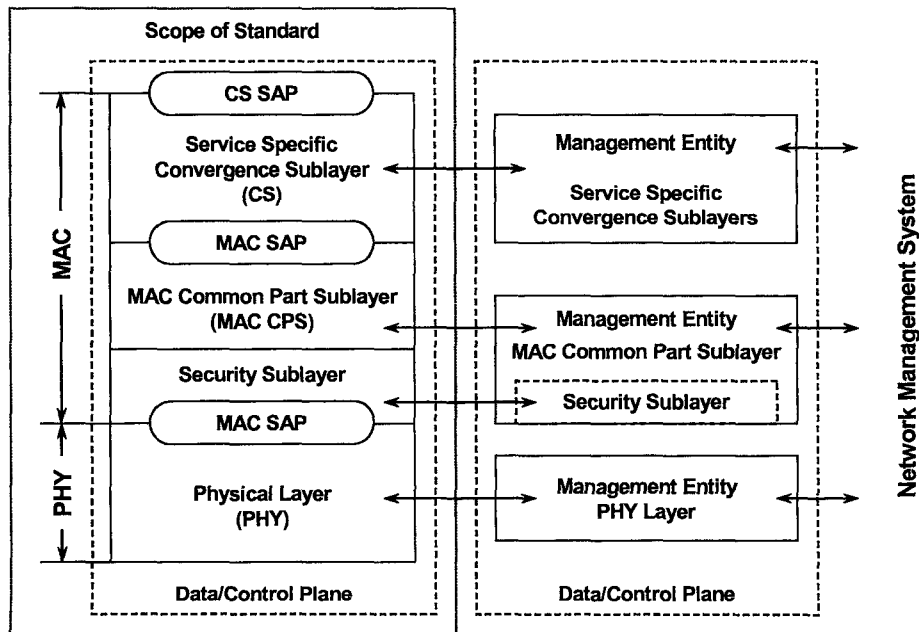
<표 1> IEEE 802.16 task group와 역할

Task Group	역 할	비 고	
Task Group a	Task Group 3	2에서 11GHz의 허가 대역(licensed bands)을 위한 MAC 수정과 부가적인 물리 계층 규격을 포함한 IEEE 802.16.a의 개발	IEEE 802.16 개정
	Task Group 4	비허가(licensed-exempt) 대역을 위한 MAC 수정과 부가적인 물리 계층 규격을 포함한 IEEE 802.16.b의 개발. 즉, WirelessHUMAN™(wireless high-speed unlicensed metropolitan area network) 개발	
Task Group c	10에서 66GHz를 위한 보다 자세한 시스템 profile 규정을 포함한 IEEE 802.16c의 개발		
Task Group C1	10에서 66GHz WirelessMAN-SC 무선 접속을 위한 PICS (protocol implementation conformance statement) 개발		
Task Group 2	2에서 11GHz의 인가된 대역의 포함을 위한 확장과 점 대 점 시스템에 대한 권고 강화를 위한 IEEE 802.16.2a의 개발	IEEE 802.16.2 개정	
Mobile Wireless MAN Study Group	2002년 3월 결성		

III. IEEE 802.16 무선 접속 기술

IEEE 802.16 WirelessMANTM 표준안은 다중 서비스를 제공하는 고정형 점대 다점(point-

to-multipoint) BWA시스템의 MAC과 물리 계층을 포함한 무선 접속을 규정한다. MAC은 다중 물리계층 규격을 지원하고, 각각의 특별한 운영 환경에 적합하도록 구성된다. <그림 1>에 IEEE 802.16의 참조모델과 범위를 나타낸다.



<그림 1> IEEE 802.16 프로토콜 계층화와 SAPs(service access points)

IEEE 802.16 MAC은 점대 다점 구조를 지원하기 위해 설계되었다. 하향링크에서 기지국의 데이터는 TDM(time division multiplexing) 방식으로 혼합되며, 상향링크는 TDMA 방식으로 공유된다. 또한, 프레임 구조는 TDD(time division duplex)와 FDD(frequency division duplex)를 모두 지원한다. FDD의 경우 연속 모드와 불연속 모드 하향링크를 모두 지원하고, 전이중 방식의 사용한다. TDD의 경우 상하향링크가 채널을 공유하지만 전이중 방식의 사용이 불가능하다. TDD와 FDD는 모두 매 burst profile마다 변조기법과 코딩기법이 동적으로 할당되는 적응형 burst profile을 지원한다.

1. 서비스 고유의 수렴 부계층(service specific convergence sublayer ; CS)

IEEE 802.16 CS는 CS service access point (SAP)를 통하여 수신된 외부 네트워크 데이터를 MAC SDU(service data unit)에 전이 또는 mapping을 제공하며, ATM 수렴 부레이어와 패킷 수렴 부레이어로 정의된다. 이들은 각각 ATM 서비스와 IPv4, IPv6, 이더넷, VLAN(virtual local area networks)과 같은 패킷 서비스를 위해 정의된다. CS는 상위 레이어 PDU의 수락과 분류, 적당한 MAC SAP에 CS PDU(protocol data unit)의 전달 등의 기본적인 기능을 수행하고 서비스 형태에 따라 달라진다. 이러한 기본적인 기능 이외에 PHS(payload header suppression)와 재구성 같은 기능들을 수행한다.

2. MAC 공통부분 부레이어(MAC common part sublayer ; MAC CPS)

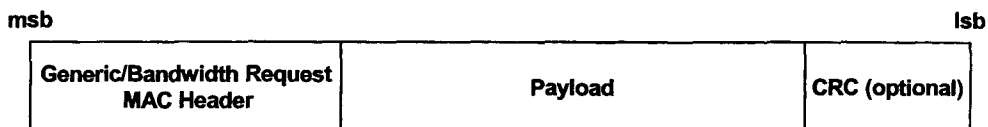
MAC CPS는 시스템 접속, 대역폭 할당, 접속 설정과 유지 그리고 QoS 관리를 수행한다.

IEEE 802.16 무선 링크는 중심 기지국과 동시에 독립적인 다중 섹터를 조절할 수 있는 분할된 안테나(sectorized antenna)로 운영되며, 동일한 채널과 안테나 섹터의 모든 기지국은 동일한 정보 또는 정보의 일부를 수신한다. 하향링크에서 기지국들은 TDM 방식으로 multiplexing된 정보를 수신하며, 상향링크는 TDMA 방식으로 공유된다.

1) MAC PDU(protocol data unit) 형식과 전송

MAC PDU는 기지국 MAC과 가입자국 MAC 사이에서 교환되는 데이터로 고정된 길이의 MAC 헤더와 가변 길이의 payload 그리고 선택적인 CRC(cyclic redundancy check)로 구성된다. <그림 2>에 MAP PDU 포맷을 보인다. MAC 헤더는 일반적인 MAC 헤더와 대역폭 요구 헤더로 정의되고, Payload는 MAC 관리 메시지나 수렴 부레이어 데이터로 구성된다.

IEEE 802.16은 유연성과 효율성 모두를 극대화하기 위하여 packing과 fragmentation 처리를 허용한다. fragmentation은 MAC SDU를 하나 이상의 MAC SDU 조각에 분할 처리하는 것이며, packing은 다수의 SDU를 하나의 MAC PDU payload에 packing 하는 것을 말한다. fragmentation과 packing 처리된 MAC PDU는 가입자국 또는 기지국 MAC에서 본래 MAC SDU로 재구성된다. 이들 처리는 MAC PDU의 일반적인 헤더 뒤에 삽입되는 MAC 부-헤더에 의하여 지시된다. MAC 부-헤더는 fragmentation 부헤더, packing 부헤더 그리고 가입자국이 기지국에 대역폭 관리 요구를 전달하기 위해 사용하는 승인 관리(grant management) 부헤더로 정의된다.



<그림 2> MAC PDU Format

2) 무선 링크 제어(radio link control)

IEEE 802.16 RLC는 전력제어나 ranging과 같은 전형적인 RLC 기능과 더불어 하나의 burst profile에서 다른 burst profile로의 전이를 위한 IEEE 802.16 PHY(Physical layer)의 진보된 능력을 제어할 수 있다. RLC는 상향링크와 하향링크를 위해 선택한 burst profile의 주기적인 기지국 broadcast와 함께 시작한다. 초기 접속 동안, 가입자국은 RNGREQ(ranging-request) 메시지를 이용하여 초기 전력 leveling과 ranging을 수행한다. 기지국은 전력 조절뿐만 아니라 전송 시간 개선을 위해 RNG-RSP(ranging-response)를 전송하며, 진행중인 ranging과 전력 조절은 위해 RNGREQ 없이 RNG-RSP를 전송할 수 있다. 초기 ranging동안 가입자국은 burst profile을 이용하여 하향링크의 이용을 요구하며, 기지국은 하향링크 이용 또는 거절을 RNG-RSP에 포함한다. RLC는 초기의 burst profile 결정 이후에도 rain fade와 같은 환경에서 더욱 강인한 burst profile의 요구를 수용하기 위해 계속된다. 상향링크 burst profile의 변화는 기지국이 가입자국의 대역폭 요구 승인시 UIUC(uplink interval usage code)를 선택하므로 단순하다. 하향링크 burst profile의 변화 요구는 GPC SS(grant per connection subscriber station)과 GPSS(grant per subscriber station)방식이 존재한다. 가입자국은 DBPC-REQ(downlink burst profile change request)를 사용하여 하향링크 burst profile 변화를 요구하고 기지국은 DBPC-RSP(downlink burst profile change response)를 이용하여 변화를 승인하거나 거절한다.

3) 상향링크 스케줄링

IEEE 802.16의 스케줄링 서비스는 기지국과 가입자국 사이의 상향링크 용량과 요구 승인 프로토콜을 위한 규칙과 관련되며, DOCSIS(data-over-cable service interface specification) 표준을 기반으로 한다.

UGS(unsolicited grant service)는 고정된

단위의 주기적인 데이터를 발생하는 전송 서비스에 적합하다. UGS에서 기지국은 가입자국으로부터의 요구 없이 접속 설정시에 교섭된 승인을 정기적으로 스케줄링 한다. 이는 기본적인 서비스의 지연과 지연 지터 요구를 만족하기 위해 요구되는 대역폭의 오버헤드와 잠복을 제거한다.

실시간 polling 서비스는 동적인 서비스의 요구를 충족하도록 설계되었지만 실시간 요구를 만족하기 위해 전용의 주기적인 요구 기회를 제공한다. 가입자국은 분명한 요구를 발생하므로 프로토콜 오버헤드와 잠복은 증가하지만 단지 실제 접속 요구에 의해 승인된다. 이러한 실시간 polling 서비스는 VoIP와 스트리밍 비디오나 오디오에 적합하다.

비 실시간 polling 서비스는 전송 대역폭 요구를 위하여 임의의 접속 기회가 이용되는 것을 제외하면 실시간 polling 서비스와 거의 일치한다. 비 실시간 polling 서비스는 최소 보장 속도를 갖는 인터넷 접속과 ATM GFR(guaranteed frame rate)에 적합하다.

4) 대역폭 요구와 승인 및 채널 획득

IEEE 802.16 MAC은 대역폭 승인을 받아들이는 가입자국의 능력에 따라 구분된 두 종류의 가입자국을 제공한다. 두 종류의 가입자국 모두 대역폭 승인시 적당한 QoS를 고찰하기 위해 접속에 대한 대역폭을 요구한다. GPC SS의 경우 대역폭은 접속을 위한 허가되고 가입자국은 단지 접속에 대한 허가 대역폭을 사용한다. GPSS의 경우 가입자국은 가입자국 자신의 승인 내에 집중된 대역폭을 승인 받고 좀 더 지능적인 QoS 조절능력을 요구한다. 예를 들면, 만약 가입자국에서 QoS가 변화했다면 가입자국은 낮은 QoS 접속으로부터 가져온 대체 대역폭을 더하여 높은 QoS 데이터 전송 옵션을 갖는다.

GPC와 GPSS에서 모두 IEEE 802.16 MAC은 자기 정정 프로토콜을 사용한다. 이 방법은 승인 프로토콜보다 더 적은 대역폭을 사용하며, 승인된 프로토콜은 잠재적으로 가중되는 부가적인 시간을 만들 수 있다. 대역폭을 요청하는 좀더 편

리한 방법은 대역폭 요구 헤더를 갖는 MAC PDU를 전송하는 것이다. GPSS들은 그들이 수신한 임의의 대역폭을 이용하여 MAC PDU를 전송할 수 있고, GPC SS는 request interval 또는 기본적인 접속을 위해 승인된 interval을 이용하여 전송할 수 있다.

MAC 프로토콜은 채널의 수동 구성을 위한 필요성을 제거하도록 설계된 초기화 절차를 포함한다. 이것이 설치되자마자, 가입자국은 주파수 리스트를 조사하여 동작 채널을 찾는다. 이는 특별한 기지국에 등록하도록 프로그램 되어 있을 것이다. 통신을 위한 채널 또는 채널 쌍의 결정 이후에, 가입자국은 주기적인 프레임 프리엠블을 검출하여 하향링크 전송을 위한 동기화를 수행한다. 일단 물리 계층이 동기되면, 가입자국은 변조 기법과 FEC(forward error control) 기법을 파악하기 위해 주기적으로 DCD와 UCD 메시지를 탐색 할 것이다.

3. Privacy sublayer

IEEE 802.16의 비밀 프로토콜(privacy protocol)은 encapsulation 프로토콜과 PKM(privacy key management)으로 구성된다. Encapsulation 프로토콜은 패킷 데이터를 위한 프로토콜로 cryptographic suites의 집합과 MAC PDU payload에 cryptographic suites를 적용하기 위한 규칙들로 정의된다. PKM은 기지국으로부터 가입자국으로 전송되는 key의 안전한 분산을 제공한다. 이들은 DOCSIS BPI+의 비밀 키 관리(PKM) 프로토콜을 기반으로 하고 있지만, IEEE 802.16 MAC 프로토콜에 적합하고 좀 더 강한 암호화 방법에 적용할 수 있도록

규정된다.

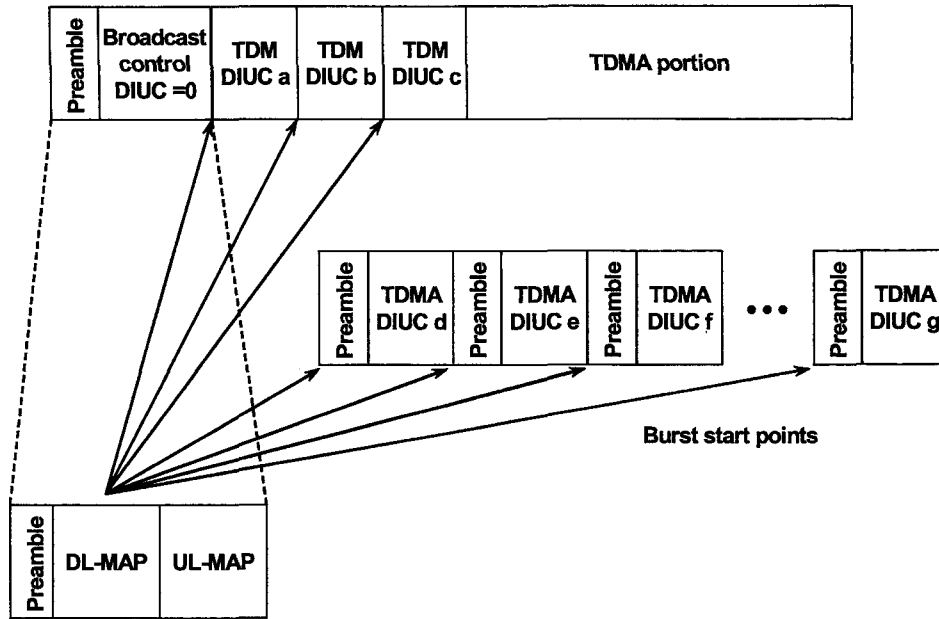
4. 물리계층(physical layer ; PHY)

PHY 서비스는 PHY SAP를 통해서 기지국과 가입자국 MAC에 제공된다. 이는 MAC과 PHY 사이의 통신(예를들어, 데이터 전송, 레이어 제어와 관련된 부레이어 상호 작용 그리고 관리기능)을 지원하는 primitives 세트를 이용한다. IEEE 802.16은 FDD와 TDD 프레임 구조를 모두 지원하며 둘 다 매 burst profile마다 변조기법과 코딩기법이 동적으로 할당되는 적응형 burst profile을 지원한다. 적응형 burst profile은 각 가입자국에 개별적으로 규정된다. Randomization은 주파수와 클럭 회복을 위해 전송되고, FEC는 다양한 블록 길이와 에러정정 능력을 갖는 GF(256) RS 부호가 사용되며 다양한 옵션을 제공한다. 또한 프레임 제어와 초기 접속과 같은 중요한 데이터의 전송을 강인하게 하기 위해 선택적으로 내부 블록 길쌈 부호와 쌍을 이루기도 한다. <표 2>는 IEEE 802.16의 FEC 코드 타입을 나타낸다.

이러한 FEC 선택은 강인하고 효율적인 burst profile을 위해 QPSK, 16-QAM 그리고 64-QAM와 쌍을 이룬다. QPSK는 모든 코드 형태에 사용이 가능하고, 16-QAM과 64-QAM은 코드 형태 1, 3, 4 그리고 제어 채널의 경우는 코드 형태 2를 사용한다. FEC 블록은 완전하게 채워져야 하지만 만일 마지막 FEC 블록이 다 채워지지 않는다면 블록은 단축될 수도 있다. FEC 블록의 단축은 상하향링크 모두 기지국이 제어하며 UL-MAP(uplink MAP)과 DL-MAP(downlink MAP)에 의하여 전달된다.

<표 2> FEC 코드 형태

code type	outer code	inner code
1	Reed-Solomon over GF(256)	None
2	Reed-Solomon over GF(256)	(24, 16) Block convolutional code
3 (optional)	Reed-Solomon over GF(256)	(9, 8) Parity check code
4 (optional)	Block Turbo Code	



〈그림 3〉 하향링크 부프레임 구조

프레임의 지속 시간은 0.5, 1 또는 2ms이다. 이 프레임 지속 시간은 대역폭 할당 목적과 PHY 전이의 식별을 위하여 물리 슬롯에 분할된다. 하향링크 부프레임은 차후에 규정되는 시간에 대한 UL-MAP 뿐만 아니라 현재 다운링크 프레임에 대한 DL-MAP을 포함하는 프레임 제어 섹션으로 시작한다. 〈그림 3〉에 FDD 방식에서의 하향링크 부프레임 구조를 보인다.

DL-MAP은 하향링크 부프레임 내부에서 변조와 FEC 변화가 발생할 때를 규정한다. 일반적으로 하향링크 부프레임은 프레임 제어 섹션 바로 다음에 TDM 할당을 포함한다. 다운 링크 데이터는 교섭된 burst profile을 사용하여 각 가입자국에 전송된다. FDD 방식의 시스템에서, TDM부 다음에는 burst profile의 시작에서 동기화를 위한 각각의 새로운 preamble과 TDMA 부가 따른다. 다양한 서비스를 지원하기 위한 대역폭 요구의 동적 특성으로 인하여 burst profiles의 혼합과 시작 시간 그리고 TDMA 할당의 존재여부는 프레임마다 동적으로 변한다.

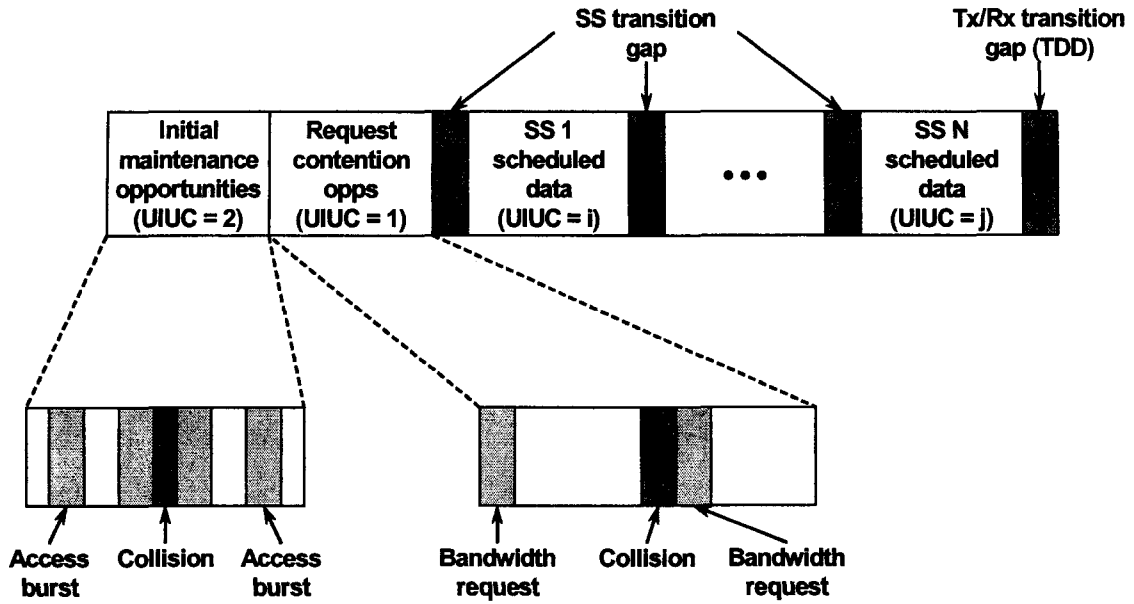
〈그림 4〉에 상향링크 부프레임의 구조를 보

인다.

하향링크와 다르게 UL-MAP은 특별한 가입자국에 대역폭을 허락한다. 가입자국은 그들에게 대역폭을 허락하는 UL-MAP 내의 UIUC에 의해 규정된 burst profile을 이용하여 그들에게 할당된 위치에서 송신을 한다. 〈표 3〉은 상향링크 파라미터를 요약한 것이다.

IV. HiperAccess과의 비교

IEEE 802.16과 HA(HiperAccess)와의 기본 프레임 구조는 동일하다. 하향링크에서 기지국은 가입자국에 TDM 방식으로 multiplexing된 정보를 전송하고 상향링크는 TDMA 방식을 사용한다. 두 방식 모두 TDD, FDD 그리고 H-FDD(half-duplex frequency division duplex) 방식을 허용한다. 〈표 4〉에 IEEE 802.16과 HA의 유사점과 차이점을 요약한다.



〈그림 4〉 상향링크 부프레임 구조

〈표 3〉 상향링크 파라미터

TC	Downlink	Uplink
Outer Coding	Reed-Solomon over GF(256) 메시지 워드 길이 k=6-255 에러정정 능력 t=0-16 Block Turbo Code(optional)	Reed-Solomon over GF(256) 메시지워드 길이 k=6-255 에러정정 능력 t=0-16 Block Turbo Code(optional)
Inner Coding	(24, 16) block convolutional code (9, 8) parity check code (optional)	(24, 16) block convolutional code (9, 8) parity check code (optional)
Randomization	$1+X^{14}+X^{15}$ Initialization: 10010101000000 at the beginning of each burst	$1+X^{14}+X^{15}$ Scrambler Seed : 15-bit programmable
Preamble	Frame Start Preamble : 32 symbols Downlink TDMA Burst Preamble : 16 symbols	Based on repetition of 8 symbol or 16 symbol CAZAC sequences
Modulation	QPSK (mandatory) 16-QAM (mandatory) 64-QAM (optional)	QPSK (mandatory) 16-QAM (mandatory) 64-QAM (optional)
Spectral shaping	$a=0.25$	$a=0.25$

〈표 4〉 IEEE 802.16과 HiperAccess의 유사점과 차이점

	유사점	차이점	
		IEEE 802.16	HiperAcces
프레임 구조	기본 프레임 구조는 동일하며 하향링크는 TDM, 상향링크는 TDMA 방식을 사용한다. 두 표준 모두 TDD, FDD, H-FDD를 지원		상향링크의 경우 primitive 구현에 복잡도 증가 초래 가능
MAC	안전성과 요구 승인 기법은 유사	가변이고 packing과 fragmentation을 허용하 는 복잡한 MAC PDU	고정되고 단순하게 구현되는 MAC PDU
PHY	동일한 구현 복잡도--HA가 약간 복잡하지만 옵션을 통하여 IEEE 802.16과 동일해질 수 있음	4000개 이상의 profile 가변 FEC 블록 다양한 서비스 지원	2 set의 profile semi-fixed FEC 블록 ATM 서비스만 지원
RLC	전력 제어, 타이밍 제어, 상향링크 변조기법 변화 유사	하향링크 변조기법 변화를 위해 가입자국이 변화시키 를 요구함	하향링크 변조기법 변화유 무에 관계없이 가입자국이 주기적인 리포트 전송

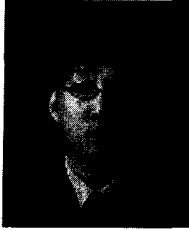
V. 결 론

참 고 문 헌

본 기고에서는 IEEE 802.16 WirelessMANTM 표준안의 무선 접속 기술에 대하여 살펴보았다. IEEE 802.16은 광대역 무선 접속을 통한 MAN의 개발과 전개를 위한 플랫폼을 제공하며, 유선 네트워크 전개의 값비싼 하부구조의 개발과 시간 소모 없이 광범위한 지역에 서비스할 수 있는 능력을 갖는다. IEEE 802.16은 시스템 효율성을 극대화하기 위해 선택적인 변조(QPSK, 16-QAM, 64-QAM)와 FEC(적응형 RS 부호, 블록 길쌈 부호, 블록 터보부호)를 사용한다. 또한 PHY 전송의 효율성 최적화를 위한 적응형 burst profile을 제공하며, ATM, VLAN, VoIP 등의 다양한 서비스를 지원한다. IEEE 802.16은 광대역 무선 접속 시스템의 확립을 위한 표준으로 향후 무선 MAN의 기초가 될 것이다.

- (1) <http://www.wirelessman.org>
- (2) IEEE 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Apr. 8, 2002.
- (3) IEEE 802.16.2-2001, "IEEE Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Network-Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access System," Sept. 10, 2001.
- (4) C. Eklund, R. B. Marks, K. L. Stanwood S. Wang, "IEEE standard 802.16: a technical overview of the Wireless-MANTM air interface for broadband wireless access," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 6, pp. 98-107, June. 2002.
- (5) <http://www.ensemble.com>

저자 소개



孔敏韓

2001년 2월 원광대학교 전기공학부 졸업, 2001년 3월~현재: 원광대학교 제어계측공학과 석사과정, <주관심 분야: 채널코딩, 디지털 통신시스템 설계>



鄭會東

2002년 2월 원광대학교 전기전자공학부 졸업, 2002년 3월~현재: 원광대학교 제어계측공학과 석사과정, <주관심 분야: 터보코드, 무선통신>



宋文圭

1988년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업, 1990년 2월 고려대학교 전자공학과 공학석사, 1994년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사, 1997년 10월~1998년 12월: 한국전자통신연구원 초빙연구원, 1999년 9월~2000년 8월: University of Victoria 박사후 연구원, 1994년 3월~현재: 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수, 2002년 3월~현재: 한국통신학회 논문지 편집위원, <주관심 분야: 무선통신, 디지털 통신시스템 설계>