

# 광대역 무선 접속 모뎀과 MAC 계층간 인터페이스 하드웨어 설계

공민한, 송문규  
원광대학교 전기전자및정보공학부  
e-mail : y2kdoli@wonkwang.ac.kr, mksong@wonkwang.ac.kr

## Hardware Design Interfacing between Broadband Wireless Access PHY Modem and MAC Layer

Min-Han Kong, Moon-Kyou Song  
Dept. of Electrical, Electronic and Information Engineering, Wonkwang  
University

### Abstract

In this paper, the hardware design of a transmission convergence sublayer(TC) for broadband wireless access system is described, which performs (1) formatting TC PDUs to MAC PDUs, (2) RS encoding/decoding, (3) providing various control signal to PHY modem. The TC hardware has been designed in VHDL, and successfully synthesized in an FPGA chip.

### I. 서론

최근 인터넷의 활성화로 영상전화, 주문형 비디오 등 다양한 멀티미디어 서비스 제공에 대한 요구가 날로 증대되고 있다. 이와 같은 광대역 멀티미디어 데이터에 대한 전송 요구는 통신망의 고속화를 필수적으로 수반한다. 이러한 시대적 요구에 따라 가정과 사무실을 전 세계의 핵심 통신망에 연결시키기 위한 노력의 새로운 주요 수단으로서 광대역 무선 접속(broadband wireless access; BWA)의 진입을 예고하고 있다. 이를 위한 IEEE 표준 802.16은 다중 서비스를 제공하는 고정형 점대다점 BWA 시스템의 MAC 계층과 PHY 계

층을 포함한 무선 접속을 규정하고 있다[1]. 이 표준에서 정의하는 무선 MAN은 개별 사이트로의 유선 연결을 전개하는데 요구되는 값비싼 하부 구조의 개발 없이 광범위한 지역을 포괄할 수 있는 능력을 가지므로, 경제적이고 더 넓은 영역에서 광대역 접속을 가능하도록 할 것이다[2-4].

본 논문에서는 801.16 표준을 기본으로 설계된 BWA 시스템에서 MAC 계층과 모뎀 간의 효율적인 메시지 전달을 위한 기지국과 가입자국의 TC 하드웨어를 설계한다. 이 회로는 MAC PDU(protocol data unit)를 이용해서 TC PDU를 형성하는 TC의 기능과 이를 RS 부호화 또는 복호화하는 기능, 그리고 이를 실제 전송 심볼로 변환하는 수행한다. 또한 기지국이 제공하는 DL MAP과 UL MAP을 이용하여 전송 슬롯과 버스트 프로파일에 맞추어 상향 링크와 하향 링크의 트래픽을 제어하고, 모뎀에 그 정보에 대한 제어 신호를 제공하는 기능 등을 수행한다.

### II. BWA 시스템의 설계

본 논문에서 고려하는 BWA 시스템은 서비스 고유 수렴 부계층(service specific convergence sublayer; CS), MAC 공통부 부계층(MAC common part sublayer; MAC CPS), 물리 계층(Physical layer;

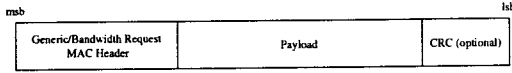


그림 1 MAC PDU 형식

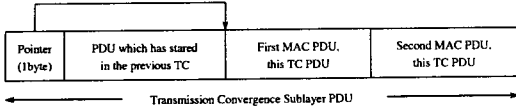


그림 2 TC PDU 형식

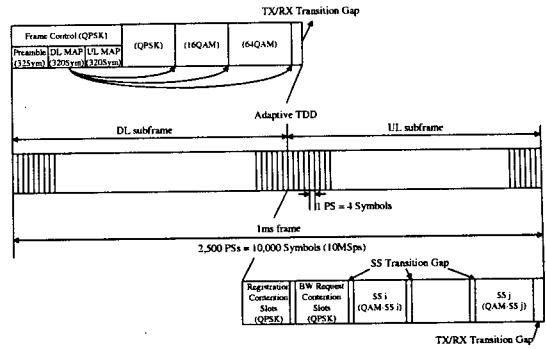


그림 3 PHY 프레임 구조

PHY)으로 구성되며, IEEE 802.16을 기반으로 설계되므로 전체적인 동작과 기능에 대한 상세한 설명은 문헌 [1]에 기술되어 있다. 본 논문에서는 이러한 BWA 시스템의 MAC 프로토콜과 PHY의 모델 사이의 인터페이스를 효율적으로 구현하고자 하며, 이 절에서는 그 설계를 위해 필요한 시스템 설계 사양과 기능을 설명한다.

CS는 ATM과 IP 등의 다양한 상위 계층의 프로토콜을 BWA를 통해 전송하기 위한 형태로 변환하여 주는 역할을 수행하며, CS SAP(service access point)를 통하여 수신된 외부 네트워크 데이터를 MAC SDU(service data unit)로 제공한다.

MAC CPS는 유연성과 효율성을 최대화하기 위해 CS로부터 제공받은 MAC SDU를 분할(fragmentation) 또는 통합(packing) 처리하여 MAC PDU를 만든다. 또한 시스템 접속, 대역폭 할당, 접속 설정과 유지 및 QoS 관리 등을 위한 기능을 수행하기 위한 MAC PDU도 만들며, 이들을 PHY에 제공하여 준다.

### 2.1 MAC PDU 형식과 전송

MAC PDU는 기지국과 가입자국의 MAC 계층들 사이에서 상호교환되는 데이터 단위로써 그림1에 보인 것처럼 고정 길이의 MAC 헤더, 가변 길이의 페이로드(payload), 그리고 선택적인 CRC로 구성된다.

MAC 헤더는 일반 헤더와 대역폭 요청 헤더 등 2가지가 있다. MAC 부헤더에는 분할 부헤더, 통합 부헤더, 그리고 가입자국이 기지국에 대역폭 관리 요구를 전달하기 위해 사용하는 승인 관리 부헤더 등이 있다.

대역폭 요청 MAC PDU의 경우에는 페이로드가 필요없지만, 이를 제외한 나머지 MAC PDU의 경우 페이로드는 MAC 관리 메시지나 CS 부계층에서 제공받은 MAC 데이터 메시지로 구성된다.

### 2.2 전송수령 부계층(TC)

PHY와 MAC 계층 사이에는 TC가 존재한다. 이 계층에서 가변 길이의 MAC PDU들을 분할 또는 결합하

여, (96, 80) RS FEC를 위해 80바이트로 고정된 길이의 메시지 블록들로 변환된다. 이렇게 형성된 TC PDU는 그림 2에 보인 것처럼 포인터 바이트로 시작되며, 이는 TC PDU내에 결합된 다음 MAC PDU 헤더의 시작 위치를 지시한다. 이렇게 함으로써 이전 FEC 블록이 전송 에러로 인해 복구 불가능한 경우에도 다음 MAC PDU를 복구할 수 있게 된다.

### 2.3 물리계층(PHY)

TC PDU는 설계된 BWA의 PHY에서 변조하기 전에 GF(256) 상의 (96, 80) RS 부호화된다. PHY의 모델은 전송 대역폭이 12.5MHz인 40GHz 단일 반송파 변조를 사용하며, 강인성과 효율성 간의 절충을 위해 QPSK, 16-QAM, 그리고 64-QAM 변조를 사용한다. 각 가입자국에 대하여 개별적으로 변조 기법을 프레임 단위로 조절할 수 있는 적응형 버스트 프로파일을 사용한다. 변조된 신호는 10Msps의 심볼율로 전송되며, 이는 QPSK의 경우 20Mbps, 16QAM의 경우 40Mbps, 64QAM의 경우 60Mbps에 전송율에 해당한다.

PHY 프레임은 0.5, 1 또는 2ms의 길이를 가지며, 대역폭 할당과 PHY의 변화 식별을 위하여 물리 슬롯으로 나누어진다. 하나의 물리 슬롯은 4개의 전송 심볼로 이루어진다. 하나의 프레임은 그림 3에 보인 바와 같이 프레임 제어부로 시작하는 하향 링크 부프레임과 그 이후에 오는 상향 링크 부프레임이 시간적으로 분할되는 TDD 구조를 사용한다. 하향 링크는 기지국이 다수의 가입자국으로 전송하는 데이터가 TDM 방식으로 혼합되며, 상향 링크는 다수의 가입자국이 보내는 데이터가 TDMA 방식으로 공유된다. 이를 위해 상향 링크에서 가입자국들은 경쟁기반 접속과 예약기반 접속을 혼용한다.

프레임 제어부는 프리앰블, DL MAP, UL MAP으로 구성된다. 프리앰블은 프레임 동기를 위해 사용하는 32심볼 길이의 정해진 코드이며, DL MAP은 각각 하

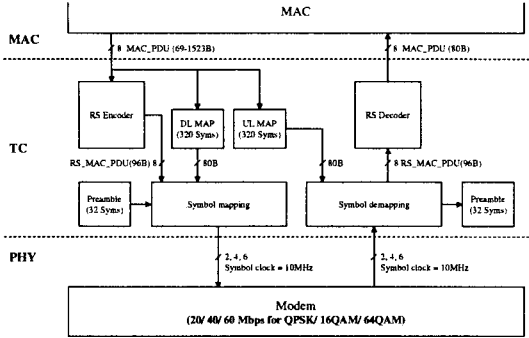


그림 4 기지국 TC 하드웨어

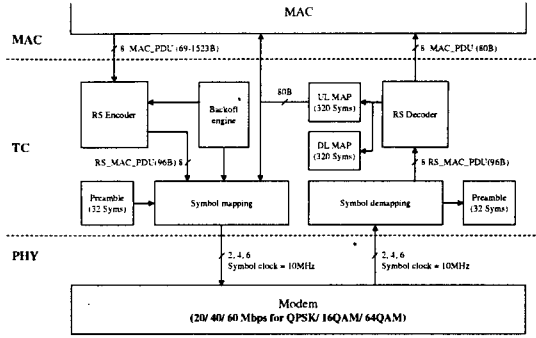


그림 5 가입자국 TC 하드웨어

향 링크 부프레임의 TDM 구성 즉, 하향 링크에서 변조 방식의 전이 시점에 대한 정보를 제공해주는 MAC 관리 메시지이다. UL MAP은 각 가입자에게 할당된 대역폭을 포함한 상향 링크의 TDMA 구성에 대한 정보를 제공해주는 MAC 관리 메시지이다. 프레임 제어부에 포함된 정보는 특히 중요하므로 항상 강인성이 가장 우수한 QPSK 변조방식으로 전송된다. 나머지 하향 링크 부프레임과 상향 링크 부프레임은 강인성과 효율성의 절충을 통한 적응형 버스트 프로파일로써 전송된다. 다시 말해 근거리에서 있거나 양호한 채널 상황에 있는 가입자국과의 통신은 비트오율 성능보다 전송 속도 면에서 효율적인 64QAM 변조를 사용할 것이며, 반대의 경우에는 성능에 주안점을 주기 위해 QPSK 변조로 전송해야 할 것이다. 이러한 버스트 프로파일의 전송 파라미터는 기지국이 결정하는 DL MAP과 UL MAP에 의해 정의된다.

### III. BWA MAC 계층과 모뎀 간의 TC 하드웨어 설계

#### 3.1 기지국 TC 하드웨어 설계

그림 4에 보인 기지국 TC 하드웨어의 송신부는 하향 링크에서 기지국 모뎀이 각 가입자국들에 전송하고자 하는 MAC 메시지를 DL MAP에 계획된 대로 전송할 수 있도록 해주고, 수신부는 상향 링크에서 UL MAP에 따라서 각 가입자국들에게 미리 할당해 준 슬롯 구간에서 각 가입자들이 전송한 메시지를 정해진 변조 방식으로 수신할 수 있도록 모뎀을 제어하고, 수신 메시지를 상위 MAC 계층에 전달해준다.

기지국 TC 하드웨어 송신부는 MAC에서 제공한 MAC 메시지를 이용하여 TC PDU를 형성하고, 이를 RS 부호화한다. 또한 모뎀이 DL MAP에 의해 지시된 시점에 지정된 변조 방식으로 부호화된 데이터를 전송할 수 있도록 DL MAP을 해독하여 모뎀에 대한 제어

신호를 제공한다. 이와 동시에 RS 부호화된 데이터를 DL MAP에서 지시하는대로 해당 변조 방식에 정합되도록 IQ채널에 대한 심볼 매핑을 수행하고, 프리앰블을 추가하여 정해진 시점에 모뎀으로 전달한다.

이때 모뎀의 변조 방식에 따라서 데이터율이 달라지므로, 모뎀에서 전송 시점을 DL MAP의 지시와 동기시키기 위해 부호화된 데이터는 전송 전에 해당 변조 방식의 데이터 저장용 FIFO 버퍼에 저장해야 한다. 그러나 RS 부호기의 클럭을 데이터의 변조 방식에 따른 데이터율에 등가적으로 동기시키면, 전송 데이터율과 부호기의 출력 데이터율이 같아져서, 이를 전송 전에 버퍼에 저장할 필요가 없어진다.

기지국의 TC 하드웨어 수신부에서는 모뎀이 UL MAP이 지시하는 시점에 지정된 변조 방식으로 복조한 수신 데이터를 받아서 변조 방식에 따른 심볼 디매핑을 수행하여 바이트 단위의 부호 심볼을 형성하고 이를 RS 복호기에 입력한다. RS 복호기의 입력 클럭은 UL MAP의 정보를 이용하여 실제 수신 복조되어 들어오는 데이터의 속도와 등가적이게 한다. 그러나 복호기는 별도의 입력클럭 클럭을 사용하도록 설계되므로, 복호기의 출력 클럭은 MAC 계층과 전달이 용이한 정해진 고속 클럭을 사용할 수 있다.

#### 3.2 가입자국 TC 하드웨어 설계

그림 5에 보인 가입자국의 TC 하드웨어 수신부는 하향 링크에서 기지국이 전송한 메시지를 수신하여 DL MAP를 해독해서 해당 가입자에게 전송한 메시지만을 선별하여 상위 MAC 계층에 전달해주고, UL MAP을 해독하여 본 가입자국에 해당하는 제어 정보를 송신부에 제공한다. 송신부는 UL MAP 해독 결과에 따라서 상향 링크에서 기지국이 본 가입자국에 할당해준 슬롯 시점에 맞추어 전송 메시지를 지정된 버스트 프로파일에 맞추어 전송해주는 역할을 한다.

또한 가입자국 하드웨어는 경쟁 방식의 전송이 일어

나는 대역 요청 메시지와 초기 레인징 요구 메시지를 전송할 때 타 기지국 메시지와 충돌을 피하기 위해 TBEB 알고리즘을 적용한다. 가입자국이 전송할 데이터를 갖고 상향으로 초기 전송을 시도할 경우 현재 유효한 IBW(initial backoff window)의 값으로 백오프 창의 크기를 설정한 후 전송 기회의 횟수를 결정하기 위해 값을 위해 설정된 백오프 창 내에서 랜덤 숫자를 선택한다. 본 논문에서 경쟁 구간 전송 메시지의 크기는 96바이트로서 이 메시지는 QPSK 변조 방식으로 전송되므로 96 미니슬롯을 차지한다. 기지국이 초기 레인징 메시지의 전송 구간에 대하여 224 미니슬롯을 할당하였다고 가정하자. 이 경우 2번의 전송 기회가 존재한다. 만약 IBW가 2이고, 3이 선택된 가입자의 경우 첫 번째 초기 레인징 영역의 2번의 전송 기회와 두 번째 초기 레인징 영역의 1번의 전송 기회를 기다린 후 초기 레인징 메시지를 전송하게 된다. 요청 메시지를 전송한 후 가입자국은 다음 UL MAP에서 데이터 전송 승인을 기다린다. 규정된 대기 만료 시간까지 승인을 얻지 못 하면, 규정된 최대 백오프 창의 한도 이내에서 현재 백오프 창의 크기를 2배씩 증가시킨 후 이전의 백오프 과정을 반복하게 된다. 이는 최대 16회까지 반복될 수 있으며, 이 이후에도 전송이 실패한 경우 해당 PDU는 폐기된다.

#### IV. 회로합성결과

설계된 기지국 및 가입자국 TC 하드웨어는 VHDL을 이용하여 기술하고, FPGA를 이용하여 검증하였다. 설계된 회로의 검증을 위해 사용한 보드에는 본 논문에서 설계한 TC 하드웨어, BWA 모델, MAC PDU 저장장치를 위한 메모리 그리고 이들을 제어하고 관리하기 위한 프로세서 등으로 구성되어 있다. 검증 절차는 MAC PDU를 저장하고 이를 설계된 TC 하드웨어에서 읽어 TC PDU 생성, RS 부호화 또는 복호화하고 DL MAP과 UL MAP에서 정해진 시점에 IQ 데이터 및 제어 메시지를 모델에 제대로 전달하는지를 검사하였다. 회로합성결과 기지국과 가입자국 TC 하드웨어의 각 블록별 소요 로직셀과 메모리비트는 표 1과 같다.

#### V. 결론

본 논문에서는 801.16 표준을 기본으로 설계된 BWA 시스템에서 MAC 계층과 모델 간의 효율적인 메시지 전달을 위한 기지국과 가입자국의 TC 하드웨어 설계하였다. 이 회로는 MAC 계층에서 전달되는 MAC PDU를 이용해서 TC PDU를 형성하는 전송수

표 1 회로합성 결과

구분	기지국 TC H/W	가입자국 TC H/W
소요 로직 셀	9,652	8,964
메모리비트	20,480	28,672

렴 부계층의 기능과 이를 RS 부호화 또는 복호화하는 기능, 그리고 이를 실제 전송 심볼로 변환하는 수행한다. 기지국 TC 하드웨어와 가입자국 TC 하드웨어는 기지국이 제공하는 DL MAP과 UL MAP을 이용하여 전송 슬롯과 버스트 프로파일의 변조 기법에 맞추어 상향 링크와 하향 링크의 트래픽을 제어하고, 모델에 그 정보에 대한 제어 신호를 제공하는 기능 등을 수행한다. 회로 합성 결과 설계된 회로는 기지국과 가입자국 TC 하드웨어가 각각 9,652와 8,964개의 로직 셀이 사용되었다.

#### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] C. Eklund, R. B. Marks, K. L. Stanwood, S. Wang, "IEEE standard 802.16: a technical overview of the WirelessMANTM air interface for broadband wireless access," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 6, pp. 98-107, June. 2002.
- [3] H. Bolcskei et al., "Fixed broadband wireless access: State of the art, challenges, and future directions." *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 1, pp. 100-108, Jan. 2001.
- [4] W. Webb, "Broadband fixed Wireless access as a key component of the future integrated communications environment," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 9, pp. 115-121, Sept. 2001.