

IEEE 802.16m 표준화/기술 동향

김태영 · 손중제 ·

박정호 · 조재원

삼성전자 DMC 연구소

요 약

본 고에서는 IEEE 802.16m 표준 및 기술 동향에 대해서 개관한다. 현재 상용화된 IEEE 802.16e 시스템에서 진화된 IEEE 802.16m 시스템은 IMT-2000을 대체할 차세대 이동 통신 시스템을 목표로 한다. 이런 요구 사항을 만족시키기 위해 우선 IEEE 802.16m 시스템은 IEEE 802.16e 시스템과의 호환성이 유지되어야 하며, 차세대 통신 시스템 표준으로 추진 중인 IMT-Advanced 시스템의 성능 요구사항을 만족시켜야 한다. 이와 같은 목표 달성을 위해 물리 계층 및 MAC 계층에서 다양한 기술들이 고려되었고, 본 고에서 전반적인 기술들에 대해서 간략히 살펴보고자 한다. 더불어, ITU-R에 제출한 IMT-Advanced 제안서의 결과를 토대로 IEEE 802.16m 시스템의 성능을 살펴보고자 한다.

I. 서 론

ITU-R에 의해 통칭되는 IMT-Advanced 시스템은 2010년 이후 IMT-2000을 대체할 차세대 이동통신 기술로, 개인 휴대 단말을 통해 60 km/h 이상의 고속 이동 시에 100 Mbps, 정지 및 저속 시에 1 Gbps의 데이터 전송 속도와 사용자의 요구에 특성화된 유무선/방통 융합형 모바일 멀티미디어 서비스를 제공하여야 한다. 2010년 현재 WiBro 및 HSPA와 같은 기술들이 상용화되어 있고, 차세대 이동 통신 기술은 오는 2012년쯤 상용화 될 것으로 예상된다.

IMT-Advanced 시스템의 요구 조건을 충족하는 이

동 통신 기술 개발을 위해 IEEE 802.16 WG(Working Group)에서는 IEEE 802.16e의 기술에 기반한 IEEE 802.16m 표준 개발이 2007년부터 본격적으로 시작되었다. IEEE 802.16m 표준은 기존의 IEEE 802.16e 시스템과의 호환성이 유지되어야 한다. 즉, IEEE 802.16m 시스템 내에서 기존 IEEE 802.16e의 기지국과 단말이 동작 가능해야 한다^[1]. 동시에, ITU-R의 IMT-Advanced Radio Interface 표준의 셀룰러 계층 요구 조건을 만족시켜야 한다^{[2],[3]}.

IEEE 802.16m의 시스템 요구 사항 문서 개발을 시작으로 IEEE 802.16m 표준은 성능 평가 방법 문서 및 시스템 구조를 설명하는 문서 개발을 2009년 초에 완료하였으며^{[4]-[6]}, 2009년 3분기까지 개발된 Amendment 규격을 바탕으로 ITU-R WP5D에 IMT-Advanced 후보 기술로 IEEE 802.16m 제안서를 2009년 10월 초에 제출하였다. 제안서에 포함된 IEEE 802.16m 성능은 ITU-R에서 제시한 요구 조건들을 모두 만족하고 있다^[7]. 현재, IEEE 802.16m 표준에서는 Amendment 규격이 개발 진행 중이며, 네 번째 LB(Letter Ballot) 절차가 2010년 3월에 진행되었다. 현재까지의 계획으로는, IEEE 802.16m 표준은 2010년 3분기까지 SB(Sponsor Ballot) 절차를 끝낼 것으로 예상된다.

본 고에서는 현재까지 진행된 IEEE 802.16m의 표준화 동향 및 일정 등에 대한 소개와 IEEE 802.16m 표준에서 개발한 물리 계층과 MAC 계층의 주요 기술들에 대하여 살펴본다. 또한, ITU-R에 제출한 제안서에 포함된 IEEE 802.16m의 성능에 대해 간략히 살펴본다. 그리고 마지막으로 결론을 맺는다.

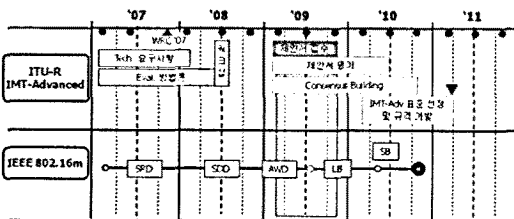
II. IEEE 802.16m 표준화 동향

본 장에서는 IEEE 802.16m 표준 일정을 바탕으로 현재까지 진행된 규격 개발 현황 및 차후 진행될 표준 동향을 소개한다. 동시에 IEEE 802.16m 표준 현황과 WiMAX Forum Release 2.0 및 IMT-Advanced 표준 현황을 함께 살펴보도록 한다.

2-1 IEEE 802.16m 표준 일정

IEEE 802.16m의 시스템 요구 사항 문서(SRD: System Requirement Document)와 성능 평가 방법 문서(EMD: Evaluation Methodology Document)는 2007년 9월, 2008년 1월에 각각 개발이 완료되었다. 다음으로 시스템 구조를 설명하는 문서인 SDD(System Description Document)가 2009년 1월에 완료된 상태이다. 또한, 2009년 9월까지 진행된 Amendment 규격을 바탕으로 ITU-R WP5D에 IMT-Advanced 제안서 제출을 2009년 10월 초에 완료하였다.

[그림 1]은 IEEE 802.16m의 표준 일정과 함께 ITU-R IMT-Advanced 표준 일정을 도시한 그림이다. IEEE 802.16m 표준의 경우, 2010년 3월 현재, Amendment 규격 개발 진행 중이며, IEEE 802.16 멤버에 의한, 네 번째 LB 절차가 진행되었다. ITU-R IMT-Advanced의 표준 일정을 보면 2010년 3분기까지 IMT-Advanced 표준을 선정하고 규격을 개발할 예정이다. 이에, IEEE 802.16m 표준 일정도 2010년 4분기까지 IEEE SA 멤버를 상대로 한 SB 절차를 끝낼 예정이다. 그러므로,



[그림 1] IEEE 802.16m 표준 일정

위와 같은 표준 일정을 맞추기 위하여 IEEE 802.16m 표준은 LB 절차를 늦어도 2010년 5월까지 완료될 것으로 예상된다.

2-2 IEEE 802.16 표준현황 및 향후 전망

<표 1>은 2010년 3월 현재까지의 IEEE 802.16m, WiMAX Forum Release 2.0 표준과 IMT-Advanced 표준의 주요 현황을 정리한 것이다. 2009년 10월초에 ITU-R WP5D에 IMT-Advanced 제안서를 제출하였다. 제출한 결과는 모든 ITU-R 요구 조건을 만족하는 상태이며, 자세한 결과 수치는 본 고의 IV장에서 명시하였다. IEEE 802.16m 규격 개발의 주요 현황으로 현재 Amendment 규격을 개발 진행 중이며 2010년 2월에 P802.16m/D4를 발간 완료한 상태이고, 2010년 4월 첫 주 이전에 P802.16m/D5 발간이 될 예정이다.

<표 2>는 IEEE 802.16m 표준 및 타 표준들의 향후

<표 1> IEEE 802.16 표준 현황 [2010년 3월 현재]

분야	주요 현황
IEEE 802.16m 규격 개발 현황	<ul style="list-style-type: none"> · SRD: 개발 완료(2007년 9월) · EMD: 개발 완료(2008년 1월) · SDD: 개발 완료(2009년 1월) · Amendment 규격: 개발 진행 중(2009년 7월~); P802.16m/D4 발간 완료(2010년 2월 3일)
WiMAX Forum Release 2.0 현황	<ul style="list-style-type: none"> · Release 2.0 Work Item 개시: 2009년 8월 · 프로파일 개발 Study Group 결성: 2009년 9월 · 프로파일 아이템 논의: 2009년 10월~2010년 3월 · 프로파일 Baseline 문서 승인: 2010년 3월
IMT-Adv. 표준 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 2009년 10월초 ITU-R WP5D에 IMT-Advanced 제안서 기고 완료 · Self-Evaluation 결과 IMT-Advanced의 모든 성능/기능 요구사항 만족 확인 · 2010년 2월 ITU 회의에서 External Evaluation Group의 Interim 결과 공유

<표 2> IEEE 802.16m 향후 전망 [2010년 3월 현재]

분야	주요 현황
IEEE 802.16m 규격 개발 전망	<ul style="list-style-type: none"> · 802.16WG Letter Ballot: 2010년 5월 완료(예정) · Sponsor Ballot: 2010년 4Q 완료(예정)
WiMAX Forum Release 2.0 전망	<ul style="list-style-type: none"> · 프로파일 규격 개발: 2010년 9월 이전 완료 · Release 2.0 인증 규격 개발: 2011년 12월 완료
IMT-Advanced 표준 전망	<ul style="list-style-type: none"> · 최종 External Evaluation 제출: 2010년 6월 ITU 회의 · IMT-Advanced 표준 선정: 2010년 4Q · IMT-Advanced 규격 완료: 2011년 1Q

전망을 정리한 것이다. IEEE 802.16m 규격 개발의 경우, 현재까지의 계획으로는 2010년 4분기 내에 SB를 완료할 예정이다. 이와 비슷하게, IMT-Advanced 표준 선정 및 규격 완료도 2010년 4분기 및 2011년 1분기에 각각 진행될 예정이며, 이런 IEEE 802.16m 규격 개발 계획 하에 WiMAX Forum Release 2.0은 2011년 12월까지 인증 규격 개발을 완료할 것으로 예상된다.

III. IEEE 802.16m 기술 동향

본 장에서는 현재까지 IEEE 802.16m에 적용된 주요 기술을 물리 계층, MAC 계층으로 구분하여 IEEE 802.16m의 기술 동향을 소개하고자 한다.

<표 3> OFDMA 변수 정의

시스템 대역폭(MHz)		5	7	8.75	10	20	
샘플링 요소		28/25	8/7	8/7	28/25	28/25	
샘플링 주파수(MHz)		5.6	8	10	11.2	22.4	
FFT 크기		512	1024	1024	1024	2048	
반송파 간격(KHz)		10.94	7.81	9.76	10.94	10.94	
유효 심볼 시간(us)		91.43	128	102.4	91.43	91.43	
1/8 CP 길이	심볼 시간(us)		102.8	144	115.2	102.8	102.8
	FDD	OFDM 심볼 개수	48	34	43	48	48
		Idle 시간(us)	62.8	104	46.4	62.8	62.8
	TDD	OFDM 심볼 개수	47	33	42	47	47
TTG+RTG(us)		165.7	248	161.6	165.7	165.7	
1/16 CP 길이	심볼 시간(us)		97.14	136	108.8	97.14	97.14
	FDD	OFDM 심볼 개수	51	36	45	51	51
		Idle 시간(us)	45.71	104	104	45.71	45.71
	TDD	OFDM 심볼 개수	50	35	44	50	50
TTG+RTG(us)		142.8	240	212.8	142.8	142.8	
1/4 CP 길이	심볼 시간(us)		114.3	160	128	114.3	114.3
	FDD	OFDM 심볼 개수	43	31	39	43	43
		Idle 시간(us)	85.69	40	8	85.69	85.69
	TDD	OFDM 심볼 개수	42	30	37	42	42
TTG+RTG(us)		199.9	200	264	199.9	199.9	

3-1 물리 계층

3-1-1 다중 접속 기법

IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 상·하향 링크에서 다중 접속 기법은 Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA)을 사용한다. 또한, 시분할 다중화(Time Division Duplex, TDD) 및 주파수 분할 다중화(Frequency Division Duplex, FDD) 방식 모두를 지원한다. <표 3>에서는 시스템 대역폭, 다중화 기법 및 CP(Cyclic Prefix) 길이에 따른 OFDMA의 변수들을 보여준다.

3-1-2 프레임 구조

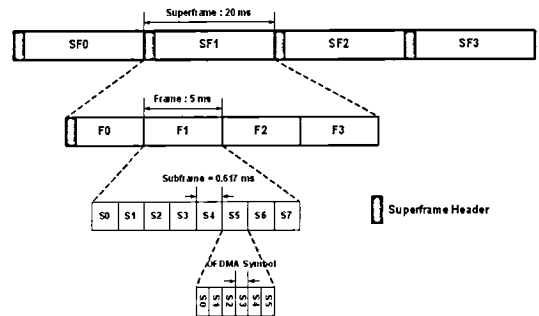
IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 프레임 구조는 계층 구조로 구성된다. 하나의 슈퍼 프레임(superframe)은 같은 크기의 연속하는 프레임(frame)들로 구성된다. 각 슈퍼 프레임은 슈퍼 프레임 헤더(superframe header)부터 시작되는데, 슈퍼 프레임 헤더는 무선 통신 시스템의 단기간 혹은 장기간 주기를 갖는 시스템 구성 정보를 전송한다.

무선 접속 대기 시간(air-link access latency)을 줄이기 위하여, 802.16m의 프레임은 다수개의 서브 프레임(subframe)으로 세분화되고, 각 서브 프레임은 정수개의 OFDMA 심볼들로 구성된다. 4가지 다른 종류의 서브 프레임은 다음과 같이 구성된다.

- 6 OFDMA 심볼로 구성된 type-1 서브프레임
- 7 OFDMA 심볼로 구성된 type-2 서브프레임
- 5 OFDMA 심볼로 구성된 type-3 서브프레임
- 9 OFDMA 심볼로 구성된 type-4 서브프레임

사용 시스템 대역폭, CP 길이, 다중화 방법 그리고 상·하향 링크 비율에 따라 프레임을 구성하는 서브 프레임 종류 및 조합이 달라진다.

[그림 2]는 IEEE 802.16m 시스템의 기본적인 프레임 구조이다. 하나의 슈퍼 프레임은 4개의 프레임으



[그림 2] 기본적인 프레임 구조

로, 하나의 프레임은 8개의 서브 프레임으로 구성된다. 그리고, 슈퍼 프레임 시간 구간은 20 msec이고, 프레임 시간 구간은 5 msec이다. 시스템 대역 폭에 따라서 하나의 프레임은 8개보다 작은 개수의 서브 프레임으로 구성될 수도 있다. 또한, CP 길이에 따라서 서브 프레임을 구성하는 OFDMA 심볼의 개수가 다르다. 이 같은 계층적인 프레임 구조는 단방향 무선 접속 대기 시간을 약 10 msec 이하로 줄일 수 있다.

IEEE 802.16e 무선 시스템과 IEEE 802.16m 무선 시스템의 공존 모드를 지원하기 위하여 시분할(TDM) 혹은 주파수 분할(FDM) 방법을 사용한다. 하향 링크의 경우, 공존 모드는 시분할 방법을 사용하여 기존 단말과 IEEE 802.16m 단말 모두를 지원하며, 상향 링크의 경우는 시분할 혹은 주파수 분할 방법 두 가지 방법 모두 적용 가능하다.

3-1-3 Physical and Logical Resource Unit

Physical Resource Unit(PRU)는 물리적 자원 할당을 위한 기본 단위로서, 주파수 축으로 P_{sc} 개의 연속된 부반송파와 시간축으로 연속된 N_{sym} OFDMA 심볼로 구성된다. 여기서, P_{sc} 는 18개의 부반송파이며, N_{sym} 은 서브 프레임의 종류에 따라서 6, 7, 5, 9개의 OFDMA 심볼이다. Logical Resource Unit(LRU)는 논리적 자원 할당을 위한 기본 단위로서 파일럿 부반송파를 제외한 데이터 부반송파로 구성된다.

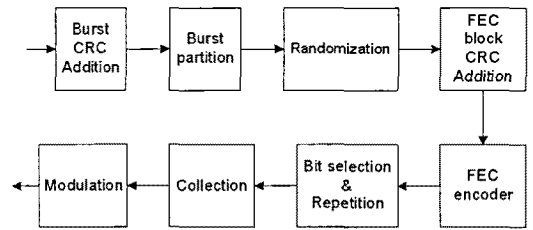
LRU는 자원 할당 방법에 따라서 두 가지로 구분된다. Distributed LRU와 Localized LRU. Distributed LRU는 주파수 다이버시티 이득을 얻기 위해 사용되며, 전 대역에 분포되어 있는 부반송파들로 구성된다. Localized LRU는 선택적 주파수 스케줄링 이득을 얻기 위해 사용되며, 주파수 축으로 연속된 다수의 부반송파들로 구성된다.

PRU를 구성하는 부반송파들은, DC 반송파 및 가드 부반송파들은 제외된다. 각 PRU에는 파일럿 및 데이터 부반송파들이 포함되며, 사용되는 파일럿 및 데이터 부반송파 개수는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)모드, STC-rate 및 서브 프레임 별 OFDMA 심볼 개수 등에 의해 결정된다.

[그림 3]은 IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 상·하향 링크에서 자원 할당 방법을 도시화한 것이다. 자원 할당 방법은 크게 Multi-cell 자원 할당 및 Cell-specific 자원 할당의 두 가지 파트로 구성된다. Multi-cell 자원 할당은 모든 셀들에 동일한 변수들을 사용하여 자원 할당을 수행하는 반면, Cell-specific 자원 할당은 각 셀의 상황에 맞게 다른 변수들을 이용하여 자원 할당을 수행한다.

3-14 변조 및 부호화

[그림 4]는 채널 부호화와 변조 과정을 보여준다. Burst partition하기 전에 버스트에 CRC(Cyclic Redun-



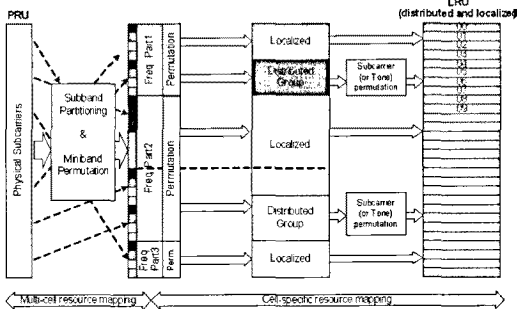
[그림 4] 채널 부호화 및 변조 과정

dancy Check)를 붙인다. 해당 버스트에 있는 모든 비트들로부터 16 비트의 CRC가 계산된다. CRC까지 포함된 버스트의 크기가 최대 FEC(Forward Error Correction) 블록 크기를 넘는 경우, 버스트는 K_{FB} 개 FEC 블록들로 나뉘어지고, 각 FEC 블록은 각각 인코딩된다. 만약 버스트가 하나 이상의 FEC 블록들로 나뉘어진다면 FEC 인코딩 되기 전, 해당 FEC 블록에 해당하는 CRC가 각 FEC 블록에 추가된다. 16 비트 CRC까지 포함된 분할된 FEC 블록의 크기는 동일하다. 최대 FEC 블록의 크기는 4,800 비트이다.

Bit selection 및 repetition은 요구하는 rate을 맞추기 위해 사용된다. 변조 방식은 QPSK/ 16QAM/64QAM을 사용한다. 기존 IEEE 802.16e와 가장 큰 차이점은 변조 방식 및 부호화율이 버스트 크기 및 할당된 자원의 크기에 따라 결정된다는 점이다.

3-15 파일럿 구조

하향 링크의 파일럿 부반송파는 채널 추정, 채널 상태 측정 및 주파수 오프셋 추정 등을 목적으로 전송이 필요하다. IEEE 802.16m 통신 무선 통신 시스템은 두 가지 파일럿 종류가 존재한다. 즉, common/dedicated 파일럿이 있다. Common 파일럿은 모든 사용자들을 위해 사용되는 반면, dedicated 파일럿은 특정 자원 할당 방식과 연계가 되며, 해당 자원에 할당된 사용자만을 위해 사용된다. 따라서, 해당 자원의 데이터에 적용된 precoder 및 beamforming은 dedicated 파일럿에도 동일하게 적용된다. 파일럿 구조는 최대



[그림 3] 상·하향 링크에서의 자원 할당 방법

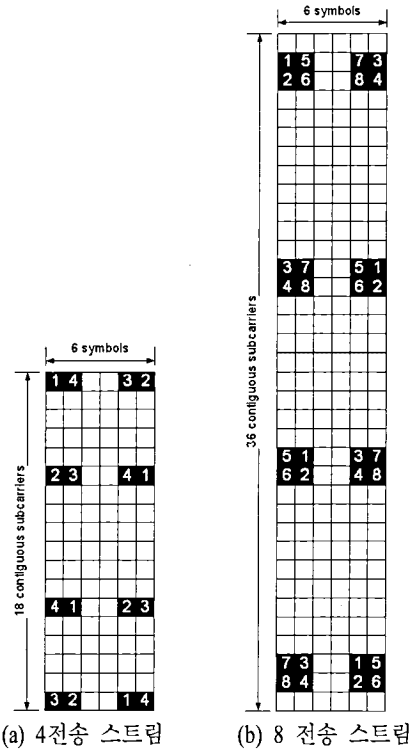
8개의 전송 스트림까지 정의되며, common/ dedicated 파일롯에 관계없이 동일한 구조가 사용된다.

[그림 5]는 하향 링크에서 1, 2 전송 스트림의 interlaced 파일롯 구조이며, type-1 서브 프레임인 경우이다. 채널 추정 성능 향상을 위해 interlaced 파일롯 구조가 사용된다. 다시 말해, interlaced 파일롯 구조는 인접한 셀들이 서로 다른 파일롯 구조([그림 5](a), (b), (c))를 사용하여 파일롯 부반송파 사이의 충돌을 회피하게 된다. 따라서, 파워 부스팅한 파일롯 신호를 사용했을 때 채널 추정 성능 향상의 효과를 기대할 수 있다.

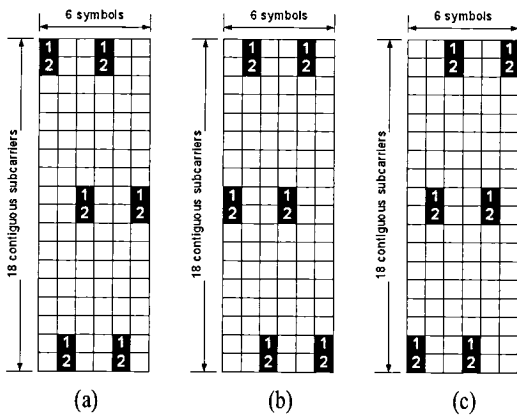
[그림 6]은 하향 링크에서 4, 8 전송 스트림의 파일롯 구조이며, type-1 서브 프레임인 경우이다.

만약, type-2 혹은 type-3 서브 프레임의 경우 하나의 OFDMA 심볼을 추가하거나 삭제한 파일롯 구조를 갖는다.

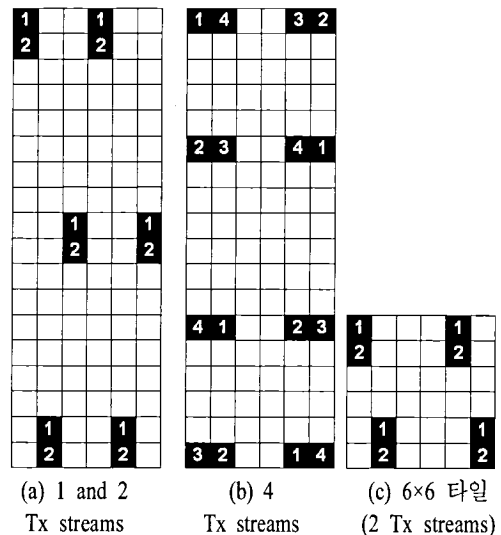
상향 링크의 파일롯은 dedicated 파일롯이며, 데이터 부반송파에 적용된 precoder와 동일하게 파일롯에도 적용된다. 상향 링크의 파일롯은 하향 링크와 달리 최대 4개의 전송 스트림까지 파일롯 구조가 정의된다. [그림 7]을 보면, 1, 2, 4 전송 스트림에 대해서는 하향 링크와 같은 파일롯 구조를 갖지만, 상향 링크의



[그림 6] 하향 링크에서의 파일롯 구조



[그림 5] 하향 링크에서의 Interlaced 파일롯 구조(1,2 전송 스트림)



[그림 7] 상향 링크에서의 파일롯 구조(1, 2, 4 전송 스트림)

경우 6×6 타일의 파일럿 구조가 추가로 정의된다.

3-1-6 하향 링크 제어 채널

IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 하향 링크 제어 채널로는 슈퍼 프레임 헤더(SFH: Superframe Header)와 Advanced MAP으로 구분된다.

SFH에는 주요 시스템 변수 및 시스템 구성 정보를 전송하는 broadcast 물리 채널로서, Primary/Secondary 슈퍼 프레임 헤더로 구분된다. 그리고, Secondary 슈퍼 프레임 헤더는 3가지 다른 Sub-Packet들을 전송한다. Primary 슈퍼 프레임 헤더는 매 슈퍼 프레임마다 전송되는 반면, Secondary 슈퍼 프레임 헤더는 서로 다른 전송 주기로 3가지 다른 Sub-Packet들을 포함하고 각 Sub-Packet들은 예정된 시간에 전송된다. Primary/Secondary 슈퍼 프레임 헤더는 슈퍼 프레임의 첫 번째 서브 프레임에 위치하며, Advanced Preamble과 시분할되어 같은 서브 프레임에 공존한다.

슈퍼 프레임 헤더가 전송되는 슈퍼 프레임의 첫 번째 서브프레임은 frequency partition 개수가 한 개이고, Distributed LRU만을 이용하는 특징을 갖는다. Primary/Secondary 슈퍼 프레임 헤더는 시스템 대역에 관계 없이 최대 24개의 Distributed LRU를 점유할 수 있다.

Primary 슈퍼 프레임 헤더는 고정된 변조 방식과 부호화 방법을 사용한다. 이와 비슷하게 Secondary 슈퍼 프레임 헤더의 변조 방식은 미리 정의되지만, 반복 회수는 Primary 슈퍼 프레임 헤더에서 알려준다. 전송 기법으로는 Primary/Secondary 슈퍼 프레임 헤더 모두 SFBC(Space-Frequency Block Code)를 사용한다.

Advanced MAP(A-MAP)은 user-specific 제어 정보와 non-user-specific 제어 정보로 구성된다. Non-user-specific A-MAP은 user-specific 제어 정보를 디코딩하기 위해 필요한 정보가 포함된다. User-specific A-MAP은 한 명 혹은 그 이상의 사용자들을 위한 정보가 포함된다. 즉, 스케줄링 된 사용자를 위한 정보가 포함된 Assignment A-MAP, 전력 제어를 위한 Power Con-

trol A-MAP 그리고 UL HARQ burst 복호 응답인 HARQ 피드백 A-MAP이 있다. 전송되는 A-MAP 영역은 해당 서브 프레임에서 데이터와 주파수 분할 방식으로 함께 전송되며, A-MAP은 Distributed LRU에 할당되어 전송된다. [그림 8]은 전반적인 A-MAP의 구조이며, non-user specific A-MAP 및 user-specific A-MAP의 논리적 위치를 도시하고 있다.

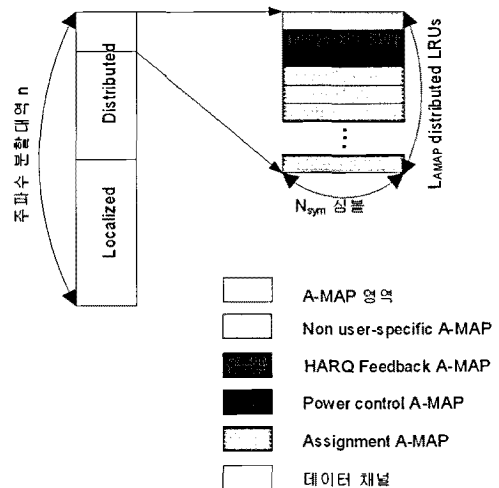
3-1-7 상향 링크 제어 채널

원활한 무선 통신을 가능케 하기 위하여 다양한 종류의 제어 정보가 상향 링크 제어 채널을 통해 전송된다.

HARQ Feedback 제어 채널은 하향 데이터 전송에 대한 HARQ 피드백 정보(ACK/NACK)를 제공한다. HARQ 피드백은 해당 하향 데이터 전송에 따라 사전에 정의된 오프셋 위치에서 시작된다.

Bandwidth Request(BR) 제어 채널은 해당 단말에서 필요한 자원의 양을 요구할 때 사용된다. Contention 혹은 non-contention 기반의 random access 방식이 사용된다. 5단계 절차가 일반적인 방식이며, 3단계 축소된 절차도 정의되어 있다.

단말 입장에서의 채널 상태에 대한 정보를 제공하



[그림 8] A-MAP 위치 및 구조

며, 링크 adaptation, 자원 할당, 전력 제어를 위해 Channel Quality Indicator(CQI) 정보가 사용된다. 두 가지 형태의 피드백 채널이 존재하는데, Primary/Secondary Fast Feedback Channel이다.

UL sounding 채널은 상향 링크의 채널 상태를 기지국에서 측정할 수 있도록 sounding 기준 신호를 전송하는데 사용된다. UL sounding 채널은 제어 채널 위치를 제외한 데이터 영역의 첫 번째 OFDMA 심볼에 전송된다.

Ranging 채널은 상향 링크의 동기 획득을 위해 사용된다. 동기/비동기 사용자들을 위한 ranging 채널로 분류된다. 또한, Ranging은 contention 혹은 non-contention을 기반의 random access 방식이 사용된다. Contention 기반의 방식은 초기 ranging, 주기적인 ranging 위해 사용되고, 핸드오버는 상황에 따라 두 가지 random access 방식이 사용 가능하다.

3-2 MAC 계층

IEEE 802.16m은 connection-oriented protocol로서,

단말과 기지국간에 초기 접속의 완료 및 서비스 수행을 연결 설정의 완료 시, 각각의 연결을 구별하여서 통신하게 된다. 이때, 단말과 기지국 간의 통신 시, 각각의 단말의 구별 그리고, 동일 단말 내에서의 서비스의 구별들을 위하여 연결 지시자들을 사용하며, 규격 내에 정의된 연결 지시자들은 <표 4>와 같다.

모든 단말은 48 bit의 MAC address를 가지며, 이는 초기 접속 동안 단말의 구별을 위해서 사용된다. 단말의 초기 접속이 성공적으로 이루어지면, 단말은 기지국에게서 12 bit의 Station ID를 할당 받는다. 단말 내에서, management 연결(MAC control message들을 주고 받기 위한 연결)과 각각의 서비스들을 구별하기 위한 transport 연결들에 대해서, flow ID을 할당하여 구별한다. 단말의 핸드오버 시, 기지국들은 각 단말 별 STID를 새로 할당하며, 단말별 Flow ID는 동일한 값을 재활용한다.

3-2-1 QoS 및 연결 설정

초기 접속이 완료된 후, 단말은 데이터 송수신을

<표 4> 연결 지시자

연결 지시자	설명
MAC Address	48 bit 크기의 단말 HW 별 유일한 ID. 모든 IEEE 802 산하 규격들은 MAC Address를 통해서 장치를 구별하게 된다.
STID(Station ID)	12 bit, 동일 기지국 내에서 단말을 구별하기 위한 ID. 한 기지국내에서 각 단말은 서로 다른 값을 가진다.
Flow ID	4bit, 단말 내에서 시그널링 메시지와 데이터 서비스 들을 구별하기 위한 ID. 각 서비스 별로 다른 ID 값을 사용한다.
Service Flow ID	32 bit, 기지국 내에서 단말의 연결 별로 연관된 QoS parameter 들을 구별하기 위하여 사용된다. Service flow ID는 {STID, Flow ID}와 1대1관계를 가진다.
Deregistration ID	10 bit, 단말이 Idle mode에 진입 시에 할당되며, PAGING 전송 시에, 동일한 paging group내에서 단말을 구별하기 위한 ID. {PAGINC CYCLE, PAGING OFFSET, DID}는 paging group 내에서 단말 별로 다른 값을 가진다.
CRID	72 bit, 네트워크에서 단말의 인증정보의 저장 시, 구별하기 위하여 활용하는 ID. 단말의 연결 해제 후, 망 재접속 시, CRID를 활용하여 인증 절차를 단축할 수 있다.

위해서, 서비스의 QoS level을 기지국과 협의하게 된다. 단말이 기지국과 서비스 협상을 진행할 때, 상향 링크와 하향 링크 각각에 대한 서비스를 생성하게 되며, 이는 각각 다른 QoS 값들로 나타나게 된다. 단말이 기지국과 서비스 협상을 완료하게 되면, 해당 서비스는 QoS 값들을 나타내는 Service flow ID와 air link에서의 해당 서비스의 데이터를 나타내기 위한 flow ID들이 생성된다. IEEE 802.16m은 다양한 QoS level을 지원하기 위하여, UGS(Unsolicited Grant Service), RTPS(Real Time Polling Service), NRTPS(Non Real Time Polling Service), ERTPS(Extended RTPS), BE(Best Effort) service 등의 상향 링크 scheduling 방식을 제공한다. 또한, 하나의 서비스 내에서 여러 가지의 QoS 특성을 가지는 경우에 대응하기 위해서 AGPS(Adaptive Grant and Polling Service)를 지원한다.

3-2-2 PDU의 생성과 전달

IEEE 802.16m은 IP 기반 통신을 지원하며, 각각 IP packet들을 해당 service flow ID/flow ID 등에 연결하기 위하여, IPCS(IP based Convergence Sublayer)를 정의하였다. IPCS를 통과한 IP packet들은 가능한 대역폭에 맞도록 fragmentation/packing 등이 이루어져서, MAC PDU로 변환된다. 이때, MAC PDU는 해당 service를 나타내기 위해서, header 부분에 flow ID값을 포함하게 된다. 데이터의 송수신을 위해서 IEEE 802.16m은 모든 unicast 데이터에 대해서 HARQ를 적용하게 되며, 경우에 따라서, ARQ를 적용하게 된다. ARQ의 적용 시, 각각의 MAC PDU들이 하나의 ARQ block에 대응되도록 만들어져서, 단말이 셀 반경의 가장자리에 있어서, MAC PDU들을 잘게 만들어 전송해야 하는 경우나, 단말의 신호 환경이 좋은 경우의 대용량 PDU를 전송하는 경우 등에 모두 ARQ를 적용할 수 있도록 설계되어 있다.

3-2-3 핸드오버 및 Power Saving

IEEE 802.16m은 network-controlled 및 MS-controlled

HO를 모두 지원한다. 네트워크가 하나의 타겟 기지국을 할당해 준 경우, 단말은 해당 기지국으로 핸드오버하여 망 재접속 작업을 수행할 수 있으며, 필요시, 단말이 타겟 기지국을 지정하여, 핸드오버할 수도 있다. 서빙 기지국과의 핸드오버 준비 단계에서, 단말은 타겟 기지국에서 필요한 모든 parameter(Station ID, security context) 등을 사전 설정할 수 있으며, 이에 따라서, 타겟 기지국에서의 망 재접속 단계를 완료하기 전에도 데이터를 송수신할 수 있어서 핸드오버에 따른 서비스의 지연 시간을 최소화할 수 있도록 하였다.

IEEE 802.16m은 단말의 전력소모 효율의 향상을 위해서 sleep mode와 Idle mode를 정의하고 있다. Sleep mode는 단말과 기지국이 서비스를 관리하는 동안에도 진입할 수 있으며, 단말이 sleep mode에 진입한 경우에도, 주기적으로 데이터 송수신을 위한 단계와 power saving을 위한 단계를 번갈아 수행할 수 있다. 이를 통해, 단말은 별도의 control 메시지들을 전송하지 않고서도, power saving 상태와 data 송수신 상태를 반복할 수 있도록 하였다. 단말과 기지국이 데이터 송수신을 수행하고 있지 않은 경우에 단말은 기지국과의 협의 후, IDLE mode에 진입할 수 있다. 이때, 단말은 복수 개의 paging group에 가입할 수 있으며, 시스템은 단말의 paging group에 속한 기지국들에 필요한 경우, paging을 전송하여 단말을 깨울 수 있다. 단말의 속도에 따라서 서로 다른 형태의 paging group을 관리함으로써, 단말의 이동 중에, 불필요한 location update의 절차를 최소화하도록 하였다.

IV. IEEE 802.16m 성능 평가

4-1 Full Buffer 데이터 Traffic

성능 평가 실험에서의 가정 및 자세한 시스템 구성 변수들은 참고문헌^[7]의 Annex-3에서 설명되어 있다. 본 성능 평가 실험에서 가정한 채널 환경은 ITU-R

M.2135^[8]에서 정의한 4가지 채널 환경이 있으며, 다음과 같다. Indoor Hotspot(InH), Urban Micro(UMi), Urban Macro(UMa), 그리고 Rural Macro(RMa). 각 채널에 대한 자세한 설명은 참고문헌^[8]에 기술되어 있다.

해당 채널 환경 및 상·하향 링크에서, IEEE 802.16m TDD 무선 통신 시스템의 성능은 <표 5>, <표 6>에서 보여주며, 모든 환경에서 ITU-R 요구 조건을 만족한다. 각 환경에 맞게 적용된 기술 및 피드백 정보의 양에 따라서 시스템 전체 overhead를 고려하여 주파수 효율 및 cell-edge 사용자 주파수 효율을 계산한다.

4-2 VoIP Traffic

VoIP traffic에서의 IEEE 802.16m 무선 통신 시스템의 성능 평가를 위해 필요한 모델링 및 시스템 구성 변수들은 참고문헌^[7]의 Annex-3에서 설명되어 있다. <표 7>은 TDD일 때, 각 채널 환경에서의 VoIP capacity 성능을 보여준다. VoIP 성능을 보기 위한 실험 환경 및 조건들은 참고문헌^[7]에서 자세히 설명되

어 있으며, 모든 환경에서의 VoIP 결과는 ITU-R 요구 조건들을 만족한다.

V. 결 론

본 고에서는 IEEE 802.16m의 표준 동향 및 일정 에 대해서 살펴보았고, 현재까지 개발된 물리 계층 및 MAC 계층의 주요 기술과 전반적인 시스템 성능에 대해서 살펴보았다. 앞으로 IEEE 802.16m에서 개발될 기술로 Relay, Femto 셀 지원, 그리고 Mucicell MIMO 기법 등이 개발 중이다. IEEE 802.16m은 차세대 이동 통신 표준화를 목표로 하는 IMT-Advanced의 후보 기술로 이미 제안된 상태이며, 기존 IEEE 802.16e 시스템과 호환성을 유지하면서 ITU-R에서 제시한 요구 사항들도 모두 만족하는 상태이다. 그러므로, IEEE 802.16m 시스템은 차세대 이동 통신 표준인 IMT-Advanced Radio Interface 표준으로 채택될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE C802.16m-07/111r1, "TGM Legacy Support Ad Hoc output", IEEE 802.16 TGM, May, 2007.
- [2] Suk Yu Hui, Kai Hau Yeung, "Challenges in the migration to 4G mobile systems", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 12, pp. 54-59, 2003.
- [3] ITU-R M.2133: Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-Advanced.
- [4] IEEE 802.16m-07/002r9: IEEE 802.16m System Requirement Document (SRD).
- [5] IEEE 802.16m-09/004r5: IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD).
- [6] IEEE 802.16m-09/0034r2: IEEE 802.16m System Description Document (SDD).
- [7] IEEE802.16/09_0104r5: Submission of a candidate

<표 5> 주파수 효율(bps/Hz) 성능

	InH	UMi	UMa	RMa
DL	6.93	3.22	2.41	3.23
UL	5.99	2.58	2.57	2.66

<표 6> Cell-edge 사용자 주파수 효율(bps/Hz) 성능

	InH	UMi	UMa	RMa
DL	0.260	0.092	0.069	0.093
UL	0.426	0.111	0.109	0.119

<표 7> TDD VoIP capacity(user/sector/MHz)

	DL	UL	Min{DL,UL}
InH	140	165	140
UMi	82	104	82
UMa	74	95	74
RMa	89	103	89

IMT-Advanced RIT based on IEEE 802.16 (Part 4 of 4)

[8] ITU-R M.2135: Guidelines for evaluation of radio

interface technologies for IMT-Advanced.

≡ 필자소개 ≡

김 태 영



1998년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
2000년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
2005년~현재: 삼성전자 DMC 연구소
[주 관심분야] IEEE 802.16m 무선 접속

기술 개발 및 표준화

박 정 호



1997년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
2000년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
2005년~현재: 삼성전자 DMC 연구소
[주 관심분야] IEEE 802.16m 무선 접속

기술 개발 및 표준화

손 중 제



1994년: 고려대학교 수학과 (이학사)
1998년: 고려대학교 수학과 (이학박사)
1998년~현재: 삼성전자 DMC 연구소
[주 관심분야] IEEE 802.16m 무선 접속
기술 개발 및 표준화

조 재 원



1997년: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년~1998년: 데이콤종합연구소
2002년~2003년: Cornell Univ. Postdoctoral Associate

2003년~현재: 삼성전자 DMC 연구소
[주 관심분야] IEEE 802.16 무선 접속 기술 개발 및 표준화