4세대 이동통신 핵심기술 WiBro-Advanced 시스템 개발

박윤옥 | 홍언영 | 권동승
한국전자통신연구원

요 약

본 논문은 2011년 4월 IEEE SA에서 차세대 이동통신 규격으로 승인된 IEEE 802.16m의 구현에 관한 것이다. 승인된 규격은 ITU-R에서 4세대 이동통신 표준인 IMT-Advanced 표준 기술로 확정될 예정이며, 국내에서는 WiBro-Advanced, 해외에서는 Wireless MAN-Advanced 또는 WiMAX-2로 불린다. 이 규격을 기반으로 2009년부터 규격의 표준화 활동과 함께 시스템 개발을 시작하여, 2010년 12월 1차 개발을 완료하였다. 개발된 WiBro-Advanced 시스템은 ITU-R이 요구하는 4세대 이동통신의 요구사항을 만족하고 있다. 본 논문은 구현된 시스템의 핵심 기술에 대해 기술하고, 기술적인 특징들을 살펴본다.

Ⅰ. 서 론

이동 시에 고품질의 인터넷 서비스를 저렴하게 이용하고자 하는 사용자의 요구는 WiBro라는 기술 개발을 가져왔다. 국내에서는 2006년 KT에 의해 WiBro 상용화가 이루어 졌으며, 전 세계적으로는 mobile WiMAX라는 이름으로 상용화가 진행되고 있다. WiBro 시스템은 2003년부터 2005년까지 한국전자통신연구원을 중심으로 삼성전자, KT, KTF, SKT, 하나로통신 등 제조업체와 통신사업자가 연구비를 출연하여 개발 완료되었다. 기 개발된 WiBro 시스템이 전세계적으로 이동통신 시장을 확보하기 위해서는 지속적으로 기술적 경쟁력 확보를 위한 연구 개발이 필요하였으며, 2006년부터 2008년에 걸쳐 한국전자통신연구원과 삼성전자의 공동연구로 WiBro-Evolution 기술이 개발되었으며, 2009년부터 2011년경에 확정될 4세대 이동통신 표준인 ITU-R의 IMT-Advanced 표준을 지원하는 WiBro-Advanced 기술은 한국전자통신연구원과 KT를 포함한 4개의 참여기업이 공동으로 개발 중에 있다.

4세대 이동통신을 지향하는 WiBro 시스템은 각국의 치열한 신기술 개발 전략에 따라 계속해서 새로운 기술들이 제시되고 표준화 과정이 이루어지고 있으며, 한국전자통신연구원은 이를 통해 기술의 선점에 의한 국부 창출에 매진하고 있다. 따라서 WiBro-Advanced 시스템은 이러한 국제적 기술 및 서비스 개발 경쟁 상황에서 우리 기술의 우위성을 유지하고, 더 나아가 세계 기술 시장을 선도하고, 획기적으로 개선된 기술의 계속적 공급을 가장 큰 목적으로 한다. 개발된 시스템은 ITU-R의 IMT-Advanced 시스템 요구사항을 만족하며, IEEE 802.16m에서 WiBro-Advanced 관련 핵심 기술들의 표준 IPR을 확보하는 과정을 진행 하고 있다. 본고에서는 2009년부터 2011년에 걸쳐 개발될 WiBro-Advanced시스템의 핵심 기술과 기술적 특성에 대하여 살펴본다.

Ⅱ. 본 론

2007년 하반기 WiBro 기술은 ITU-R의 3세대 이동통신 국제 표준의 하나로 채택이 되었고, WiBro의 주파수 대역인

2.3GHz(2.3~2.4GHz, 100MHz)가 4세대 이동통신의 세계 공통 주파수 대역으로 선정 되었다. 이와 더불어 WiBro는 4세대 이동통신의 무선 접속 기술로 각광을 받고 있는 직교주파수분할(OFDM) 및 다중안테나 기술(MIMO)을 이미 채택하고 있어 4세대 이동통신으로의 발전 과정에서도 매우 유리한 위치에 놓인 것으로 평가 받고 있다.

WiBro의 진화형태인 WiBro-Advanced기술은 IEEE의 802.16 WG내 802.16m에서 표준화가 진행되고 있다[1]. WiBro-Advanced 시스템 개발은 기존 WiBro 시스템과의 호환성 및 ITU-R에서 4세대 시스템으로 추진중인 IMT-Advanced 시스템 요구사항을 만족시켜 최종적으로 IMT-Advanced 기술로 채택되는 것을 목표로 하고 있다. ITU-R WF5D 2차 회의에서 정의된 IMT-Advanced 시스템의 요구사항은 〈표 1〉에 나타나 있다. WiBro-Advanced PHY 계층은 성능 향상을 목표로 다중안테나 기술, 고효율 채널 코딩 및 변복조 기술, 부채널 성능 향상 기술, 적응형 링크 성능 향상 기술, 셀경계 전송율 향상 기술 및 대역폭 Scalability 적용 기술 등이 중점적으로 다루어진 표준화 항목들이다. 또한, MAC 계층에서는 MAC 제어 성능 향상 기술, MAP overhead 저감 기술, Power saving 기술, 데이터 전송 지연 저감 기술, Handover 성능 향상 기술, Security 개선 기술, QoS 제어 성능 향상 기술 및 Convergence 계층 성능 향상 기술 등이 중점 표준화 항목으로 다루어졌다. 그 외, IPv6 적용 기술 및 Self-organization 기술등이 다루어 지고 있다. 2010년까지는 WiBro-Advanced 핵심 기술 개발 및 국제 표준화 기구에서 표준화 추진에 중점을 두었고, 2011년까지는 WiBro-Advanced 국제 표준 규격 제정 완료 및 4세대 대안 기술로서의 위상을 확보하고, 2012년 상용화에 중점을 둘 것이다.

1. 프레임 구조

IEEE802.16m에서는 IEEE802.16e의 HARQ ACK지연특성을 개선하기 위해 다음과 같이 프레임의 구조를 변경하였다. 20 msec Super frame은 4개의 Radio Frame으로 구성되어 있고, Radio Frame은 8개의 Subframe으로 구성되어 있으며 상향링크와 하향링크의 구성비는 DL:UL=6:2의 비율로 구성되어 있다. 기지국에서는 20 msec Super Frame 마다 SFH(Super Frame Header)를 통하여 시스템 파라미터와 시스템 형상정보를 송신한다. 하향링크 데이터 버스트는 하향링크 Subframe마다 관련 A-MAP과 함께 송신되며, 상향링크 데이터 버스트는 각 단말에 할당된 상향링크 Subframe마다 제어 채널과 함께 수신된다. 상향링크 제어 채널에는 Fast Feedback 제어 채널, H-ARQ Feedback 채널, Sounding 채널, Ranging 채널, Bandwidth Request 채널 등이 있다. A-MAP IE 할당, HARQ 서브패킷 및 해당 HARQ Feedback 전송은 DL/UL HARQ 타이밍에 따른다.

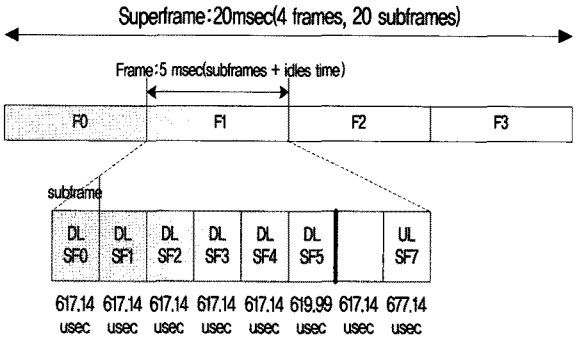
〈표 1〉 ITU-R WP5D 2차 회의의 IMT-Advanced 요구사항

	Test Environment	Downlink	Uplink
Cell Spectral Efficiency	Indoor	3 b/s/Hz/cell	2.25 b/s/Hz/cell
	Microcellular	2.6 b/s/Hz/cell	1.8 b/s/Hz/cell
	Base coverage urban	2.2 b/s/Hz/cell	1.4 b/s/Hz/cell
	High speed	1.1 b/s/Hz/cell	0.7 b/s/Hz/cell
Cell Edge User Spectral Efficiency	Indoor	0.1 b/s/Hz/cell	0.07 b/s/Hz/cell
	Microcellular	0.075 b/s/Hz/cell	0.05 b/s/Hz/cell
	Base coverage urban	0.06 b/s/Hz/cell	0.03 b/s/Hz/cell
	High speed	0.04 b/s/Hz/cell	0.015 b/s/Hz/cell
Peak Spectral Efficiency		15 b/s/Hz	6.75 b/s/Hz
Channel Bandwidth		40 MHz (100MHz까지 확장 가능)	
Latency	Control Plane	〈100ms	
	User Plane	〈10ms	
Mobility	Indoor	1.0 bits/s/Hz (3 Km/h)	
	Microcellular	0.75 bits/s/Hz (30 Km/h)	
	Base coverage urban	0.55 bits/s/Hz (120 Km/h)	
	High speed	0.25 bits/s/Hz (350 Km/h)	
Handover	Intra Frequency	27.5 ms	
	Inter Frequency	Within a spectrum band 40 ms	
		Between spectrum bands 60 ms	
VoIP Capacity	Indoor	50 Active users/MHz/cell	
	Microcellular	40 Active users/MHz/cell	
	Base coverage urban	40 Active users/MHz/cell	
	High speed	30 Active users/MHz/cell	

2. 다중안테나(MIMO) 기술

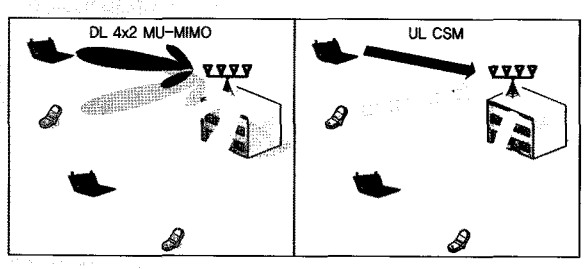
WiBro-Advanced시스템에서는 STC(Space Time Coding), SM(Spatial Multiplexing), 빔포밍(Beam-forming), UL CSM(Uplink Collaborative SM) 등 다양한 MIMO 기술이 구현되어 있다. 특히 다중 안테나를 이용해 여러 사용자들이 동시에 통신할 수 있는 MU-MIMO(Multi-user MIMO: 다중사용자 MIMO) 기술이 추가적으로 지원된다. 하향링크에서 MU-MIMO기술은 기지국이 4개의 송신 안테나를 사용하여

각 단말들이 수신하는 신호들간의 간섭이 최소화되도록 하여 송신하며(상향링크에서 단말이 전송한 Sounding 신호를 이용하여 채널을 추정한 후 ZF(Zero Forcing) 방법을 이용), 각 단말은 2개의 수신안테나를 사용하여 수신된 신호를 MMSE 필터를 이용하여 복조한다.



(그림 1) IEEE802.16m Frame 구조

상향링크에서는 각 단말은 1개의 송신안테나를 사용하고, 기지국은 4개의 수신안테나를 사용하여 최대 4명의 사용자가 동일한 자원(주파수/시간)을 공유할 수 있다. 각 단말들은 서로 직교한 파일럿 패턴을 사용한다. (그림 2)에 하향링크 4x2 MU-MIMO 및 상향링크 CSM의 예가 도시되어 있다.



(그림 2) DL 4x2 MU-MIMO 및 UL CSM

3. 셀 경계에서의 성능 향상 기술

셀 경계에 위치한 단말의 성능을 향상시키기 위해 간섭 제거(Interference cancellation: IC) 기술을 사용한다. 간섭 제거 기술은 하향링크 MAP 및 데이터 트래픽의 필요에 의해 각각 적용된다. 하향링크 MAP에 적용된 간섭 제거 방법은 MAP의 반복 특성을 이용하고, 데이터 트래픽에 적용된 간섭 제거 방법은 Noise Whitening 필터를 이용한다.

〈표 2〉 IEEE802.16m에서의 MIMO Mode

Mode	Description	Precoding	Permutation
MIMO mode 0	OL SU-MIMO SFBC	Non-adaptive	DLRU NLRU
MIMO mode 1	OL SU-MIMO VE	Non-adaptive	DLRU NLRU
MIMO mode 2	CL SU-MIMO VE	Adaptive (base or transformed)	NLRU SLRU
MIMO mode 3	OL MU-MIMO ME	Non-adaptive	SLRU
MIMO mode 4	CL MU-MIMO ME	Adaptive (base or transformed)	NLRU SLRU
MIMO mode 5	OL SU-MIMO CDR	Non-adaptive	NLRU, SLRU

4. 고속 이동성 지원

이동속도의 경우 최대 350km/h에서도 인터넷 서비스를 지원할 수 있다. 이 경우 시험 방법은 시뮬레이션에 의해 실제 신호를 만들어 주는 채널 에뮬레이터를 사용하여 시험하였다. 시험 결과 현재 개발된 시스템은 350km/h의 이동 조건에서 10Mbps용량의 데이터 전송이 가능함을 확인하였다.

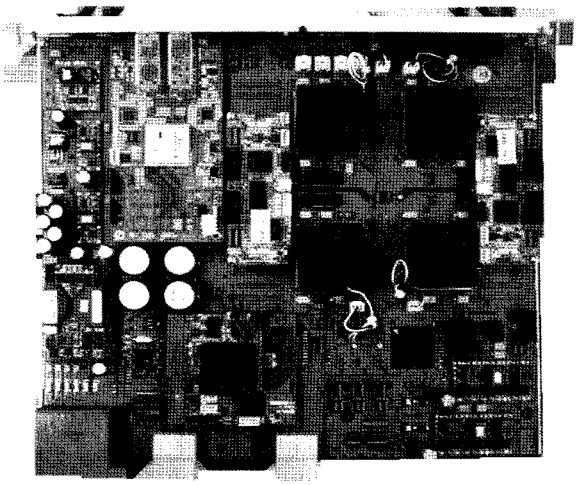
5. 전송속도 향상

최대 전송률은 20MHz 대역폭을 사용할 경우 기지국 기준으로 4x4 SU-MIMO가 적용된 하향링크에서 149Mbps이고 상향링크에서는 단말 기준 12Mbps이며, 4개 단말을 동시에 사용하는 CSM이 적용될 경우 최대 48Mbps 데이터를 상향링크를 통해 전송할 수 있다. 상기 기술 외에, WiBro-Advanced 시스템의 기본 전송기술은 OFDMA/TDD 및 FDD 방식을 사용한다. 채널 대역폭은 20MHz이며, FFT 크기는 2048을 사용한다. 서비스에 따라 하향링크와 상향링크의 심볼 구성비를 변경할 수 있다. 슈퍼 프레임 길이는 20ms이며 4개의 5 ms 프레임으로 구성되며, 각 프레임은 8개의 서브프레임으로 구성된다. 변복조 방식은 QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 사용하고, TBCC(Tail-biting Convolu-tional Codes)와 CTC (Convolutional Turbo Codes) 채널 부호화 방식을 사용한다. MCS(Modulation Coding Scheme) 레벨은 단말에서 전송하는 채널상태(CSI: Chanel State Information)등에 따라 적합한 방식이 결정된다.

Ⅲ. WiBro-Advanced 시스템 모뎀 개발

1. 기지/단말 모뎀 형상

WiBro-Advanced시스템에서 모뎀은 FPGA를 이용하여 구현하였으며, 모뎀 주요 기능 시험을 위해 모뎀 동작에 필요한 각종 제어 명령을 생성하는 간이 MAC과 독자적인 변/복조 수행이 가능한 모뎀 시험 장치(MAT)를 별도로 개발하였다. 개발된 단말 모뎀은 고속 이동성 보장, 신뢰성 있는 패킷 전송을 위한 HARQ, 4x4 SU-MIMO 그리고 4x2 MU-MIMO 지원을 통해 용량을 증대하였다.



(그림 3) 기지국/단말 모뎀 보드

개발된 모뎀은 802.16m의 규격[2]의 주요 기능 대부분을 반영하였고, 기지/단말간의 충분한 연동시험 및 필드 시험을 통해 상용 수준의 성능을 확보하였다. 〈표 3〉는 개발된 모뎀의 주요 설계 사양을 정리한 것이다. 상향링크 최대 전송 속도도 마찬가지로 단말의 순수 데이터 처리 용량은 12Mbps이고 시스템 용량은 그 4배인 48Mbps이다. (그림 3)은 개발된 단말 모뎀의 실제 형상을 보여준다. (그림 3)에서 보는 바와 같이 모뎀과 LMAC 처리를 위한 DSP를 포함하여 4개 FPGA로 구성되며, MAC과는 SRIO(Serial Rapid IO)를 사용하여 연결된다.

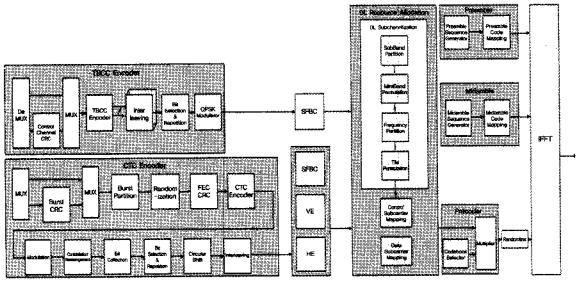
〈표 3〉 WiBro-Advanced 시스템 주요 설계 사양

Downlink	Bandwidth	20MHz
	Max. Throughput	About 150 Mbps
	CINR measure	Preamble, Midamble
	Channelization	"SLRU, DLRU
	MIMO	4x4 SU-MIMO, 4x2 MU-MIMO
	Channel Decoding	4-parallel CTC, TBCC decoder@ 1FA
	HARQ	IR(Incremental Redundancy)
Uplink	Bandwidth	20MHz
	Max. Throughput	About 50Mbps
	Control Channel	Fast feedback(Primary, Secondary, CQI), HARQ feedback, Sounding, Ranging, Bandwidth request
	MIMO	SFBC, SM, CSM
	Power Control	Open Loop, Closed Loop
	Channel Encoding	Pipelined CTC, TBCC Encoder
	HARQ	IR(Incremental Redundancy)

2. 모뎀 각 부 기능

2.1 기지국 변조기

기지국 변조기는 4개의 Tx 안테나를 지원하며, Preamble, Midamble을 주기적으로 전송하며, 제어 파트로는 SFH, AMAP을 전달하며, 제어 채널의 코딩은 TBCC를 사용한다. 데이터 파트는 CTC를 사용하여 SFBC, SU-MIMO, MU-MIMO 신호를 전달한다.

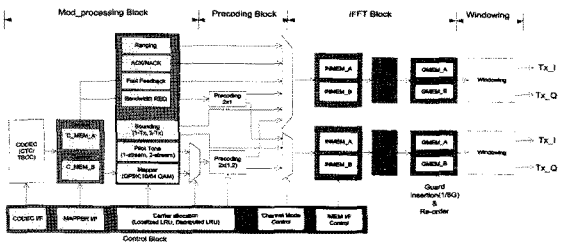


(그림 4) 기지국 변조기의 구조도

SFBC는 4개의 안테나를 사용하여 time diversity 및 용량 증대 효과를 동시에 얻을 수 있다.

2.2 단말 변조기

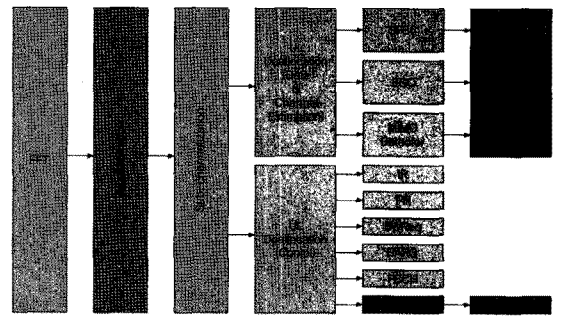
단말기의 변조기는 상향링크 제어 신호 전송기능과 상향링크 버스트 전송 기능을 수행한다. 상향 링크 제어 채널은 Initial Ranging /Periodic Ranging 신호, Fast Feedback 신호, HARQ Feedback 신호, Sounding 신호 등을 전송하며, 데이터 버스트는 SFBC(Space-frequency Block Code), SM(Spatial Multiplexing), CSM(Collaborative Spatial Multiplexing) 신호 전송기능을 수행한다.



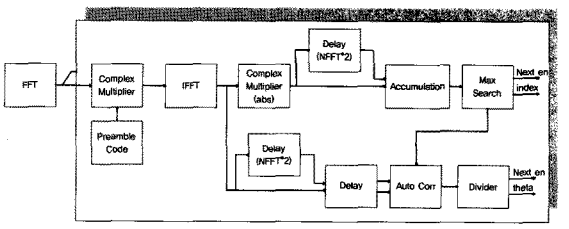
(그림 5) 단말 변조기의 구조도

2.3 기지국 복조기

기지국 복조기는 상향링크 트래픽 처리부와 상향링크 제어 채널 처리부로 구분된다. 상향링크 물리계층 기본단위는 PRU로 부반송파와 심볼의 구성이 Type 1인 경우 18X6, Type 2인 경우 18X7, Type 3인 경우 18X5, Type 4인 경우 18X9이다. 본 과제에 적용된 상향링크 물리계층 PRU는 Type 1을 기본적으로 사용하고 Sounding 채널이 삽입되는 UL 서브프레임인 경우 데이터 할당에 Type 3를 사용한다. 따라서 UL 물리계층으로 고려하는 PRU Type은 Type 1과 Type 3만 사용한다



(그림 6) 기지국 복조기의 구조도

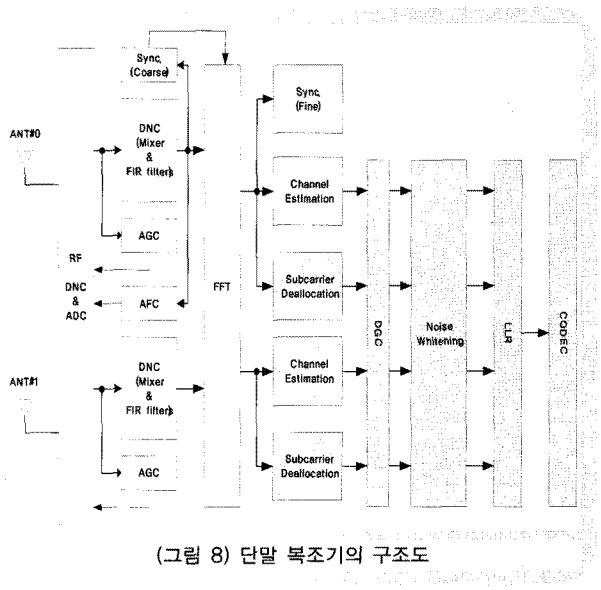


(그림 7) 기지국 제어채널 복조 구조도

상향링크 Initial Ranging 채널은 Format 0인 경우 139 비트 길이의 Cyclic Shift Zadoff-Chu Ranging Preamble Code를 생성하고 Format 1인 경우 557 비트 길이의 Cyclic Shift Zadoff-Chu Ranging Preamble Code를 생성하여 1 Subband에 해당하는 주파수대역에 할당 한 뒤 송신한다. 이때 상향링크 Initial Ranging 채널의 부반송파 Spacing이 데이터 채널의 부반송파 Spacing 차이로 인해 인접 데이터 부반송파에 누설되는 전력은 약 -14dB로 데이터 채널의 ICI 영향은 미미하다

2.4 단말 복조기

단말 모뎀 복조기는 AGC(Automatic Gain Control), AFC (Automatic Frequency Control), Digital IF 기능을 수행하는 AFE (Analog front end) 블록, 동기블록, 2채널/2FA FFT 블록, 채널 추정 블록, LLR(Log Likelihood Ratio) 처리를 위한 MIMO 디텍션 블록 등으로 구성된다. 또한, WiBro Evolution 시스템의 주요 특징인 Frequency Overlay 지원을 위해 각 FA별로 수신 신호를 독립적으로 처리할 수 있도록 각 블록들을 설계하였다. (그림 7)은 복조기의 전체 구조도를 나타낸 것이다.



(그림 8) 단말 복조기의 구조도

- AFE 블록: CPRI 를 이용하여 최대 1.792Gbps의 전송속도로 단말 RF부와 인터페이스 한다. AGC는 단말이 DL 신호를 주어진 크기로 일정하게 받도록 하는 역할을 하는 것으로

본 모뎀에서는 AGC를 위한 수신 전력 측정은 프리앰블 심볼만으로 이루어지도록 설계되었다.

- AFC는 단말과 기지국간의 주파수 오차를 제거해주는 기능을 하는 것으로, 본 설계에서는 여러 가지 방식 중 OFDM 심볼의 CP(Cyclic Prefix)간 자기상관 방식을 사용하였다.

- 동기블록: 단말 동기 블록은 초기동기/ 셀 탐색 및 정수배 주파수 검색/ 미세 시간동기 블록으로 이루어져 있으며, 프리앰블 신호의 자기상관 방식을 이용하여 프레임 시작점을 검출한다. CINR 추정은 2개의 수신 안테나를 이용하여 프리앰블 신호의 CINR 추정 블록과 미드앰블 CINR 추정 블록을 이용하여 AWGN 환경에서는 ~30dB까지 큰 오차 없이 추정 가능하다.

- FFT 블록 : 면적 효율화를 위해 총 4개의 입력에 대해 하나의 2048-FFT를 공유하는 구조로 설계하였다. 입력 인터페이스는 22.4MHz이고, 내부 동작 클럭은 44.8MHz로서 time sharing 으로 FFT가 동작하도록 설계하였다.

- 채널 추정 : WiBro-Advanced 시스템에서 데이터 할당 방식 및 MIMO 모드 별 파일럿 구조가 각각 다르므로, 채널 추정은 FPGA의 리소스를 고려하여 파일럿 구조에 적합하면서 구조가 간단한 LS 알고리즘을 이용하여 설계하였다.

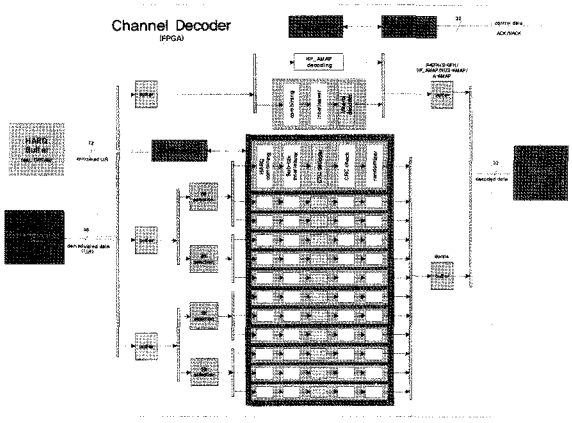
- LLR : 하드웨어 구현이 용이하도록 LLR 연산을 근사화 한 Simplified LLR[4]를 SIMO와 2x2 STC 복조에 사용한다.

- MIMO Detection : 공간 다중화 방식(SM : Spatial Multiplexing)을 사용하는 4x4 SU-MIMO 모드에서 신호 검출 방법으로 QR-LRL[5] 방법을 사용한다. QR-LRL 방법은 적은 하드웨어 복잡도를 가지고 ML 성능에 근접한 성능을 제공하는 것으로 알려져 있다. 4x2 MU-MIMO에서의 신호 검출 알고리즘은 기본적으로 MMSE 필터의 사용을 원칙으로 하고, 각 MIMO 모드별 MMSE를 좀더 세분화하여 사용한다.

2.5 채널코덱

채널 코덱은 상향링크 채널부호기와 하향링크 채널복호기가 하나의 FPGA에 로딩되어 구동되고, 2 개의 FPGA에 각각 타겟팅되어 처리하도록 구현되었다. 또한 HARQ 버퍼 관리와 MAC과의 인터페이스를 위해 FPGA 밖에 별도의 메모리를 두었다.

- 채널부호기 : CTC 인터리버, CTC 부호화, sub-block 인터리버 그리고 심볼선택 4가지 모드로 구성된 CTC 부호기

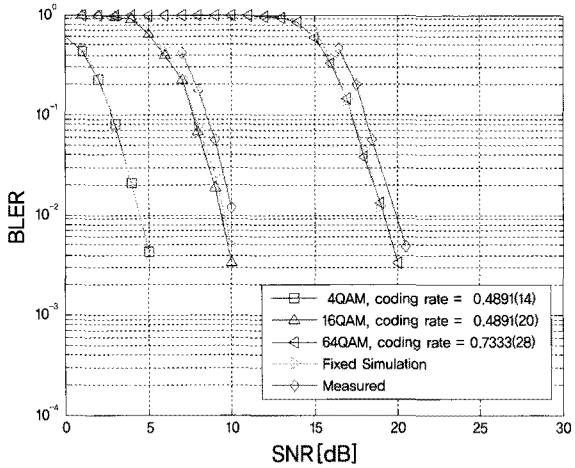


(그림 9) 12-병렬 CTC 디코더

는 4단 파이프라인 구조로 설계하여 부호화 속도를 높였다. 메인 클럭은 89.6MHz이다

- 채널복호기 : 고속의 데이터 처리를 위해 채널부호기와 마찬가지로 인터리버를 제외한 나머지 블록들은 12심볼씩 병렬 처리되고, 메인 클럭은 100MHz 를 사용한다. CTC 복호기의 핵심 엔진인 MAP 복호기는 MIN-LOG-MAP 알고리즘을 사용하였으며 슬라이딩 윈도우 방식을 사용하여 메모리 효율성을 높였다.

- HARQ : 기본적으로 Chase Combining 방식[3]만을 지원하며, FPGA 내부 블록 메모리 용량의 한계로 인하여 외부 메모리를 이용하여 16개 ACID 채널을 저장, 관리하도록 설계하였다.



(그림 10) Fixed 및 구현 시스템의QPSK. 16/64 QAM 의 SFBC 실측 결과

3. 모뎀 시험

3.1 모뎀 시험 장치(MAT)

모뎀 시험 장치(MAT : Modem Analysis Tool)는 MIMO 기술을 적용한 WiBro - Advanced 시스템 모뎀의 변복조 알고리즘을 효율적으로 검증하기 위해 단말기 모뎀의 송신 신호를 발생시키고 수신된 신호를 분석할 수 있다.

모뎀의 시험 결과는 부동 소숫점 시뮬레이션 결과 및 고정 소수점 모델의 시뮬레이션 결과와 비교하여 최종 성능을 분석하였다.

Ⅳ. 결론

본 고에서는 2009년부터 2010년까지 한국전자통신원과 KT, 쏠리테크, 이노와이어리스, 및 네스랩의 공동 연구로 진행한 WiBro-Advanced 시스템에 대하여 기술하였다. 이번 WiBro-Advavnced 기술 개발은 차세대 이동통신 핵심 기반 기술 확보와 표준화를 통한 기술 선점의 측면에서 매우 큰 중요성을 가진다. 세계 최초 IEEE802.16m 최종 규격에 의한 WiBro-Advanced 시스템의 개발 성공은 향후 전개될 차세대 통신 기술 및 시장에서 계속적인 우위를 확보하고 기술 개발의 주도국으로서의 위치를 더욱 확고히 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 방송통신위원회의 차세대 통신네트워크원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음(KCA-2011-09913-04001)

참 고 문 헌

[1] http://www.ieee802.org/16/tgm/

[2] DRAFT Amendment to IEEE Standard for Local and metropolitan area nwtworks Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems(IEEE 802.16m)

[3] E. Soljanin, "Hybrid ARQ in Wireless Networks," Mathematical Sciences research Center, Bell Labs, 2003

[4] F. Tosato and P. Bisaglia, "Simplified Soft-Output Demapper for Binary Interleaved COFDM with Application to HIPERLAN/2," IEEE Global Telecommun. Conf., vol. 2, pp. 664-668, 2002

[5] S. Bahng et al, "QR-LRL Signal Detection for Spatially Multiplexed MIMO Systems," IEICE Trans. Commun., E91-B(10), pp. 3383-3386, Oct. 2008.

[6] IEEE P802.16Rev2/D0b, June 2007

약 력

박 윤 욱

1986년 한양대학교 전자공학과 공학사
1997년 충남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2011년 충남대학교 정보통신공학과 공학박사
1985년 ~ 1987년 삼성전자 종합연구소 연구원
1987년 ~ 현재 한국전자통신연구원 이동체킷전송연구팀장
관심분야 : 이동통신 시스템, 무선전송기술 및 영상처리

홍 언 영

1987년 서울시립대학교 이학사
2000년 충남대학교 공학석사
1987년 ~ 1996년 한국원자력연구소 선임연구원
1997년 ~ 2001년 한국전력기술㈜ 책임연구원
2004년 ~ 2008년 한국전자통신연구원 연구원
2009년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임기술원
관심분야 : 이동통신시스템, 영상처리 및 시뮬레이션

권 동 승

1985년 연세대학교 전자공학과 공학사
1987년 연세대학교 전기전자공학과 공학석사
2004년 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
1988년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 인터넷연구부문 무선시스템 연구부장
관심분야 : 이동통신 시스템 및 무선전송기술