

# 4세대 이동통신 핵심기술 WiBro Evolution 시스템 개발

Development of WiBro Evolution System for 4G Mobile Communication

New ICT 방송통신융합기술 특집

박윤옥 (Y.O. Park)	이동단말모뎀연구팀 팀장
최정필 (J.P. Choi)	이동단말모뎀연구팀 선임연구원
김준우 (J.W. Kim)	이동단말모뎀연구팀 선임연구원
방승재 (S.J. Bahng)	이동단말모뎀연구팀 선임연구원
안지환 (J.H. Ahn)	무선시스템연구부 부장

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. WiBro Evolution 기술동향
  - III. WiBro Evolution 시스템 개발
  - IV. 결론

2010년경에 확정될 4세대 이동통신 표준인 ITU-R의 IMT-Advanced 표준을 대비하여 기 개발된 WiBro의 고도화 작업이 필요하다. 본 고에서는 2006년부터 2008년까지 한국전자통신연구원과 삼성전자가 공동 연구로 진행한 WiBro Evolution 시스템에 대하여 기술한다. WiBro Evolution 시스템의 기술적인 특징들을 살펴보고 WiBro Evolution 단말 관점에서의 구현에 대해 기술한다.

## I. 서론

이동 시에 고품질의 인터넷 서비스를 저렴하게 이용하고자 하는 사용자의 요구는 WiBro라는 기술 개발을 가져왔고, 국내에서는 2006년 KT에 의해 WiBro 상용화가 이루어졌으며, 전 세계적으로는 WiMAX라는 이름으로 상용화가 진행되고 있다. WiBro 시스템은 2003년부터 2005년까지 한국전자통신연구원을 중심으로 삼성전자, KT, KTF, SKT, 하나로 텔레콤 등 제조업체와 통신 사업자가 연구비를 출연하여 개발 완료되었다. 기 개발된 WiBro 시스템이 전세계적으로 이동통신 시장을 확보하기 위해서는 지속적으로 기술적 경쟁력 확보를 위한 연구 개발이 필요하며, 2010년경에 확정될 4세대 이동통신 표준인 ITU-R의 IMT-Advanced 표준을 대비하여 WiBro의 고도화 작업이 필요하다. 이러한 필요성에 의해 WiBro 시스템의 진화형태인 WiBro Evolution 시스템이 개발중에 있다.

4세대 이동통신을 지향하는 WiBro 시스템은 각국의 치열한 신기술 개발 전략에 따라 계속해서 새로운 기술들의 제시 및 표준화 과정을 통해 기술의 선점에 의한 국부 창출에 매진하고 있다. 따라서, WiBro Evolution 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. 이러한 목적을 달성하기 위해 WiBro Evolution 시스템은 한국전자통신연구원과 삼성전자가 공동 연구에 의해 차세대 휴대 인터넷 서비스

인 WiBro Evolution 사업을 2006년부터 2008년에 걸쳐 진행하였으며 개발된 시스템은 ITU-R의 IMT-Advanced 시스템 요구사항을 만족시키고 WiBro Evolution 기술들은 국제 표준에 반영할 수 있는 원천 기술들을 확보하고 있어 4세대 이동통신 규격으로 만들기 위하여 국제 표준화가 진행되고 있는 IEEE 802.16m에서 IPR을 확보하는 과정을 진행 중에 있다.

본 고에서는 2006년부터 2008년에 걸쳐 개발된 WiBro Evolution 시스템에 대하여 살펴본다.

## II. WiBro Evolution 기술동향

2007년 하반기 WiBro 기술이 ITU의 3세대 이동통신의 국제 표준의 하나로 채택이 되었고, WiBro의 주파수 대역인 2.3 GHz(2.3~2.4 GHz, 100 MHz) 대역이 4세대 이동통신의 세계 공통 주파수 대역으로 선정되었다. 이와 더불어 WiBro는 4세대 이동통신의 무선 접속 기술로 각광을 받고 있는 직교주파수분할(OFDM) 및 다중안테나 기술(MIMO)을 이미 채택하고 있어 4세대 발전 과정에서도 매우 유리한 위치에 놓인 것으로 평가 받고 있다. WiBro의 진화 형태인 WiBro Evolution은 현재 IEEE의 802.16 WG 내 802.16m에서 논의되고 있다[1]. WiBro Evolution 시스템 개발은 기존 WiBro 시스템과의 호환성 및 ITU에서 4세대 시스템으로 추진 중인 IMT-Advanced 시스템 요구사항을 만족시켜 최종적으로 IMT-Advanced 기술로의 채택을 목표로 하고 있다. ITU-R WF5D 2차 회의에서 정의된 IMT-Advanced 시스템의 요구사항이 <표 1>에 나타나 있다.

WiBro Evolution PHY 계층에서는 성능 향상을 목표로 다중안테나 기술, 고효율 채널 코딩, 변복조 기술, 부채널 성능 향상 기술, 적응형 링크 성능 향상 기술, 셀 경계 전송률 향상 기술 및 대역폭 scalability 적용 기술들이 중점적으로 다루어진 표준화 항목들이다. 또한, MAC 계층에서는 MAC 제어 성

### ● 용어해설 ●

ITU-R: International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 국제전기통신연합의 전파통신 부문.

IMT-Advanced: 2005년 핀란드 헬싱키에서 열린 국제전기통신연합 산하 차세대 이동통신협력체(ITU-R WP8F)에서 정의한 4세대 이동통신의 공식 명칭이다. 이동중 100 Mbps, 정지중 1 Gbps급의 속도를 제공할 수 있어야 한다.

〈표 1〉 ITU-R WF5D 2차 회의의 IMT-Advanced 요구사항

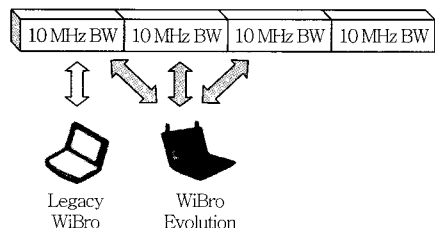
	Test Environment	Downlink	Uplink
Cell Spectral Efficiency	Indoor	3 b/s/Hz/cell	2.25 b/s/Hz/cell
	Microcellular	2.6 b/s/Hz/cell	1.8 b/s/Hz/cell
	Base Coverage Urban	2.2 b/s/Hz/cell	1.4 b/s/Hz/cell
	High Speed	1.1 b/s/Hz/cell	0.7 b/s/Hz/cell
Cell Edge User Spectral Efficiency	Indoor	0.1 b/s/Hz/cell	0.07 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(100 MHz까지 확장 가능)	
Latency	Control Plane	<100 ms	
	User Plane	<10 ms	
Mobility	Indoor	1.0 bits/s/Hz(10 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/sector/MHz	
	Microcellular	40 Active users/sector/MHz	
	Base Coverage Urban	40 Active users/sector/MHz	
	High Speed	40 Active users/sector/MHz	

능 향상 기술, MAP overhead 저감 기술, power saving 기술, 데이터 전송 지연 저감 기술, hand-over 성능 향상 기술, security 개선 기술, QoS 제어 성능 향상 기술 및 convergence 계층 성능 향상 기술들이 중점 표준화 항목으로 다루어졌다. 그 외, IPv6 적용 기술 및 self-organization 기술들이 다루어지고 있다. 2008년까지는 WiBro Evolution 핵심 기술 개발 및 국제 표준화 기구에서 표준화 추진에 중점을 두었고, 2010년까지는 WiBro Evolution 국제 표준 규격 제정 완료 및 4세대 대안 기술로서의 위상 확보와 상용화에 중점을 둘 것이다.

WiBro Evolution 시스템은 WiBro 시스템의 상용화 이후 실현 가능한 발전 경로를 제시하는 것을 목적으로 개발되었다. 이를 위하여 기존 WiBro 시스템과 호환성을 가지면서 ITU-R에서 4세대 시스템으로 추진중인 IMT-Advanced 시스템의 요구사항을 만족시키기 위하여 다음과 같은 기술들을 특징으로 적용하였다.

## 1. Frequency Overlay

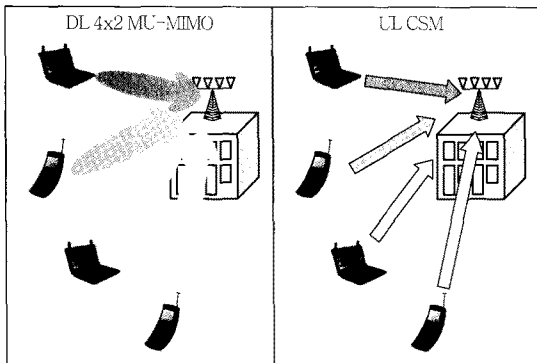
새로운 이동통신 시스템의 문제점 중 하나인 기존의 장치(legacy device)를 지원하는 기술로서 frequency overlay 기술을 적용하여 기존 WiBro 단말기를 동시에 지원한다. 기존의 WiBro 단말이 10 MHz를 지원하고 WiBro Evolution 단말이 10 MHz 이상을 지원할 경우 frequency overlay에 의한 기존 장치를 지원하는 방법이 (그림 1)에 도시되어 있다.



(그림 1) Frequency Overlay에 의한 Legacy Support

## 2. 다중안테나(MIMO) 기술

WiBro Evolution 시스템에서는 STC, SM, 빔포밍(beam-forming), UL CSM 등 다양한 MIMO 기술이 구현되어 있는데, 특히 다중 안테나를 이용해 여러 사용자들이 동시에 통신할 수 있는 MU-MIMO(다중 사용자 MIMO) 기술이 추가적으로 지원된다. 하향링크에서 다중 사용자 MIMO 기술은 기지국이 4개의 송신 안테나를 사용하여 각 단말들이 수신하는 신호들간의 간섭이 최소화되도록 하여 송신하며(상향링크에서 단말이 전송한 sounding 신호를 이용하여 채널 추정을 한 후 ZF 방법을 이용), 각 단말은 2개의 수신안테나를 사용하여 수신된 신호를 MMSE 필터를 이용하여 복조한다. 최대 4명 사용자까지 동일한 자원(주파수/시간)을 공유할 수 있다. 상향링크에서는 각 단말은 1개의 송신안테나를 사용하고 기지국은 4개의 수신안테나를 사용하여 최대 4명의 사용자가 자원을 공유할 수 있다. 각 단말들은 서로 직교한 파일럿 패턴을 갖는다. (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(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.

## 4. 고속 이동성 지원

이동속도의 경우 최대 350 km/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 350 km/h의 이동 조건에서 10 Mbps 용량의 데이터 전송이 가능함을 확인하였다.

## 5. 전송속도 향상

최대 전송률은 20 MHz 대역폭을 사용할 경우 기지국 기준으로 4x2 MU-MIMO가 적용된 하향링크에서 149 Mbps이고 상향링크에서는 단말 기준 10 Mbps이며, 4개 단말을 동시에 사용하는 CSM이 적용될 경우 최대 43 Mbps 데이터를 상향링크를 통해 전송할 수 있다.

상기 기술 외에, WiBro Evolution 시스템의 기본 전송기술은 OFDMA/TDD 및 FDD 방식을 사용한다. 채널 대역폭은 10 MHz이며, FFT 크기는 1024를 사용한다. Frequency overlay 방법을 이용하여 2개의 10 MHz 대역을 사용하여 선택적으로 10 MHz/20 MHz 주파수 대역을 사용할 수 있다. 각 채널 대역에 대해 한 프레임은 47개의 심볼로 구성되며, 하향링크 31개, 상향링크 16개로 현재 운영되고 있다. 서비스에 따라 하향링크와 상향링크의 심볼 구성비를 변경할 수 있다. 프레임 길이는 5 ms이며, 변복조 방식은 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용하고, CC와 CTC 채널 부호화 방식을 사용한다. MCS 레벨은 단말에서 전송하는 채널상태(CSI) 등에 따라 적합한 방식이 결정된다. 이와 같은 기술들을 바탕으로 2008년 개발된 WiBro Evolution 시스템에 대한 단말 관점에서 구현 과정의 상세 설명을 다음 장에 기술한다.

### III. WiBro Evolution 시스템 개발

#### 1. 단말 모뎀 형상

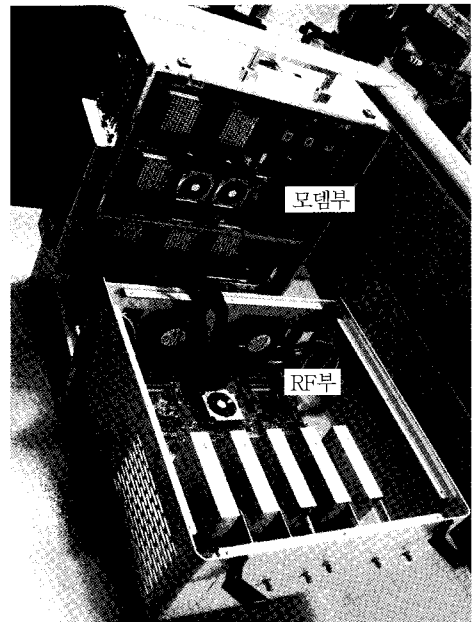
WiBro Evolution 시스템에서 단말 모뎀은 FPGA를 이용하여 구현하였으며, 모뎀 주요 기능 시험을 위해 모뎀 동작에 필요한 각종 제어 명령을 생성하는 간이 MAC과 독자적인 변/복조 수행이 가능한 모뎀 시험 장치(MAT)를 별도로 개발하였다. 개발된 단말 모뎀은 고속 이동성 보장, 신뢰성 있는 패킷 전송을 위한 HARQ, frequency overlay를 통한 scalable bandwidth 지원 그리고 4x2 MIMO 지원을 통해 용량 증대를 이루어냈다. 단말 모뎀의 주요 기능은 아래와 같다.

- Frequency overlay
- 가변 DL/UL ratio
- 디지털 I/F
- 프레임 동기 및 CINR 측정
- 데이터 변/복조
- MIMO 신호 검출 및 LLR 계산
- 채널 부/복호
- HARQ

개발된 단말 모뎀은 802.16e의 규격[2]의 주요 기능 대부분을 반영하였고 frequency overlay 개념을 도입하여 10 MHz 대역폭을 갖는 WiBro-1과의 호환이 가능하도록 하였고, MAP 메시지에 의해 DL:UL ratio가 가변되도록 설계되어 시스템 운용에 유연성을 확보하였다. 더불어 기지국과의 충분한 연동시험 및 필드 시험을 통해 상용 수준의 성능을 확보하였다. <표 2>는 개발된 단말 모뎀의 주요 설계 사양을 정리한 것이다. <표 2>에서 하향링크 최대 전송속도 42 Mbps는 이론적 속도가 아닌 실제 단말에서 처리 가능한 최대 속도로서 FCH/MAP과 같은 제어 데이터와 프리앰블/파일럿 등을 제외한 순수 데이터에 대한 속도를 나타낸 것이고, 이와 별개로 시스템 용량은 이의 약 4배에 이른다. 상향링크 최대 전송속도도 마찬가지로 단말의 순수 데이터 처리 용량은 11 Mbps이고 시스템 용량은 그 4배인

<표 2> WE 단말 주요 설계사양

Downlink	Bandwidth	10/20 MHz(Frequency Overlay)
	Max. Throughput	About 42 Mbps
	CINR Measure	Preamble, Midamble
	Channelization	PUSC, BAMC
	PUSC	SIMO, 2x2 STTD, 2x2 SM
	BAMC	4x2 ZF MU-MIMO with 4 Layer 2 Stream
Uplink	Channel Decoding	4-Parallel CTC Decoder @ 1FA
	HARQ	Chase Combining, 16 ACID
	Bandwidth	10/20 MHz(Frequency Overlay)
	Max. Throughput	About 11 Mbps
	Ranging Channel	Initial, Periodic, Hand-off, Band Request Mode
	Control Channel	ACK/NACK, Fast Feedback, Enhanced CQI
Uplink	SISO	PUSC
	MIMO	CSM, Sounding Channel
	Power Control	Open Loop
	Channel Encoding	Pipelined CTC Encoder
	HARQ	Chase Combining, 16 ACID



(그림 3) WE 단말기

44 Mbps이다. (그림 3)은 개발된 단말 모뎀의 실제 형상을 보여준다. (그림 3)에서 보는 바와 같이 모뎀

과 RF 모듈은 케이블로 연결되어 있고, 사진에는 안 보이지만 반대편에 있는 MAC 보드와는 120 핀 커넥터로 직접 연결되어 있다.

(그림 3)에서 중앙의 5개 FPGA는 복조기 주요 기능을, 하단에 위치한 FPGA는 각각 AFE와 변조 기능을 수행하고, 오른쪽 두 개의 FPGA는 채널 코덱 기능을 수행한다. 또한, 각각의 FPGA 마다 덤스위치, LED, 테스트핀 등을 배치하여 연동 시험 시 디버깅이 용이하도록 하였고, 배치도에서 오른쪽의 테스트핀(TP) 블록을 통해 모뎀과 MAC 사이의 데이터 교환을 실시간으로 관찰할 수 있도록 하였다. WiBro Evolution 시스템에서 전송 데이터 양의 증가와 MIMO를 위한 곱셈 연산의 비약적 증가로 인해 내부 곱셈기 개수와 내부 블록메모리의 용량을 고려하여 모뎀 기능을 나누고 FPGA를 선택하였다.

## 2. 단말 모뎀 각 부 기능

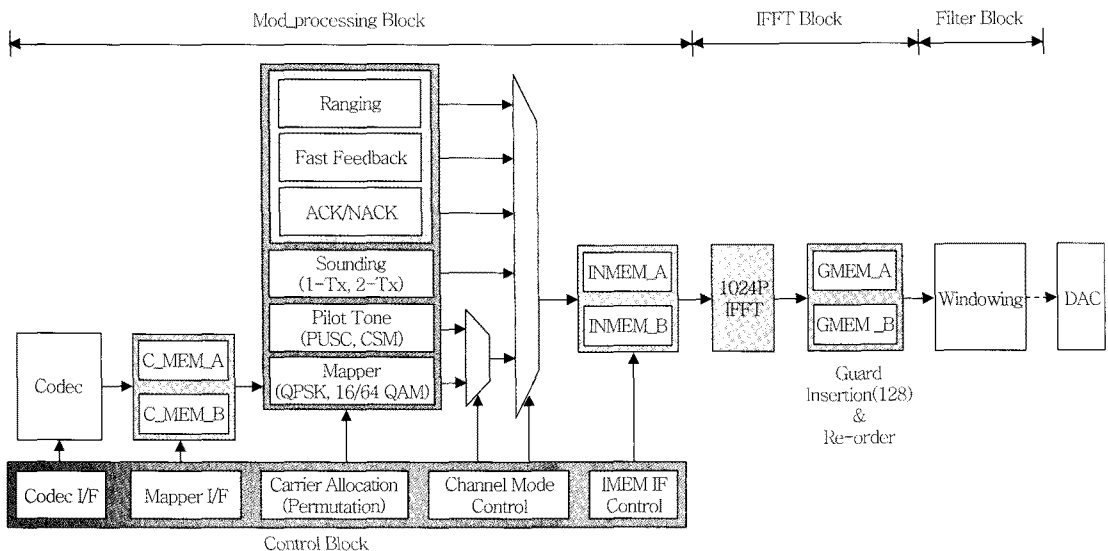
### 가. 변조기

단말 변조기는 상향링크 신호 전송을 위한 동작을 수행하며 변조기의 송신모드는 ranging channel, fast feedback channel, ACK/NACK channel

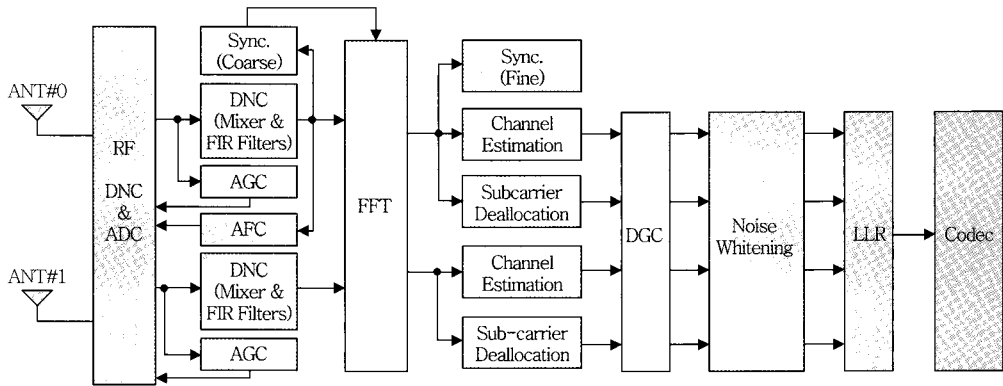
전송을 위한 제어채널 전송모드 그리고 실제 데이터 전송을 위한 UL burst 전송모드가 있다. UL burst 모드는 일반의 PUSC 채널과 동일 주파수에서 다중의 사용자를 지원할 수 있는 CSM 모드가 존재한다. 단말 모뎀 변조기는 1-Tx 안테나를 기준으로 설계되었으며, 추가적으로 하향링크에서의 4x2 MU-MIMO 동작을 지원하는 2-Tx sounding 전송 모드가 존재한다. 단말 변조기의 송신모드는 MAC 제어에 의해 결정되며 최대 11 Mbps의 전송률을 가진다. 상향링크 변조를 위한 단말 변조기의 전체적인 구조를 (그림 4)에 나타내었다.

### 나. 복조기

구현된 단말 모뎀 복조기는 AGC, AFC, Digital IF 기능을 수행하는 AFE 블록, 동기 블록, 2채널/2FA FFT 블록, 채널 추정 블록, LLR 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 5)는 복조기의 전체 구조도를 도시한 것이다.



(그림 4) 단말 변조기의 구조도



(그림 5) 단말 복조기의 구조도

1) AFE 블록

Rocket IO를 이용하여 최대 1.792 Gbps의 전송속도로 단말 RF부와 인터페이스 한다. AGC는 단말이 DL 신호를 주어진 크기로 일정하게 받도록 하는 역할을 하는 것으로서, 패킷 통신을 위한 WiBro Evolution 시스템 특성상 프리앰블을 제외한 데이터 버스트 심볼들은 데이터 양에 따라 그 크기가 변하므로 본 모뎀에서는 AGC를 위한 수신 전력 측정은 프리앰블 심볼만을 가지고 이루어지도록 설계되었다. 또한 RF부에서 사용된 RF transceiver 칩은 2 dB 단위로 수신 신호 레벨을 조정 가능하므로 본 설계에서의 AGC resolution은 2 dB step을 갖는다. AFC는 단말과 기지국간의 주파수 오차를 제거해주는 기능을 하는 것으로서, 본 설계에서는 여러 가지 방식 중 OFDM 심볼의 CP간 autocorrelation을 이용하는 방식을 사용하였다.

2) 동기 블록

단말 동기 블록은 초기동기/셀 탐색 및 정수배 주파수 검색/미세 시간동기 블록으로 이루어져 있으며, FA#1의 안테나 #0로 입력되는 프리앰블 신호를 이용하여 자기상관 방식을 사용하여 프레임 시작점을 검출한다. 단말의 성능 척도인 CINR 추정은 2개의 수신 안테나를 이용하여 프리앰블 신호의 CINR을 추정하는 블록과 미드앰블 신호를 이용한 6밴드별 CINR 추정 블록이 있다. 이 때, 프리앰블을 이용한 CINR 추정에서 AWGN 환경에서는 ~30 dB까지

큰 오차 없이 추정 가능하다.

3) FFT 블록

면적 효율화를 위해 두 개의 안테나로부터 각각 2FA에 대한 총 4개의 입력에 대해 하나의 1024-FFT가 공유하는 구조로 설계하였다. 입력 인터페이스는 11.2 MHz이고, 내부 동작 클럭은 44.8 MHz로써 time sharing으로 FFT가 동작하도록 설계하였다. FFT의 입력 비트 수는 14 비트이고 출력 비트 수는 시뮬레이션 결과 최적의 비트 크기인 14 비트로 saturation 및 rounding 하였다.

4) 채널 추정

WiBro Evolution 시스템에서 데이터 할당 방식 및 MIMO 모드별로 파일럿 구조가 각기 다르므로 FPGA의 리소스를 고려하여 최대한 효율적으로 설계를 하였다. 채널 추정에는 파일럿 구조에 적합하면서 구조가 간단한 LS 알고리즘을 사용하였다. 채널 값은 각 data sub-carrier의 가장 가까운 pilot sub-carrier 2개를 interpolation 해서 구한다. 이 때, interpolation 정보는 ROM 테이블에 저장하여 사용한다. Equalizer에서는 채널 정보로 phase 보상만 해주고 적절한 LLR을 거쳐 6 bits 결과를 채널 복호기로 전송한다. PUSC의 채널추정에 사용되는 pilot carrier들은 SIMO의 경우 2개 심볼의 파일럿 값을 참조하고, STC, SM의 경우에는 4개 심볼의 파일럿 값을 참조한다.

## 5) LLR

하드웨어 구현이 용이하도록 LLR 연산을 근사화한 simplified LLR[3]은 SIMO와 2x2 STC 복조에 사용된다. 채널복호기로 보내지는 최종 값은 6 비트인데 시뮬레이션 결과에 따라 각 MCS별로 최적화된 bit truncation을 수행한다.

## 6) MIMO Detection

공간 다중화 방식(SM)을 사용하는 4x4 SU-MIMO 모드에서는 신호 검출 방법으로 QR-LRL[4] 방법을 사용한다. QR-LRL 방법은 추정된 MIMO 채널을 QR 분해를 수행하고 각 레이어들을 post-detection SNR을 이용하여 재정렬한 후 가장 신뢰도가 낮은 레이어의 심볼은 모든 정상점을 고려하고 나머지 레이어들은 기존의 OSIC 방법을 사용하여 후보 벡터를 생성한다. QR-LRL 방법은 적은 하드웨어 복잡도를 가지고 ML의 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. 4x2 MU-MIMO 모드에서 기지국에서의 빔 형성 과정을 살펴보면, 먼저 기지국은 각 단말로부터 전송되는 sounding 신호를 이용하여 채널을 추정한다. 이 추정된 채널을 이용하여 각 단말로 빔을 형성하여 송신 신호를 전송하게 된다. 빔 형성 방법은 ZF 방법을 사용하며 ZF 후의 각 레이어 및 안테나의 파워는 정규화 과정을 거친다. 이 때, 각 단말의 채널 상태에 따라 수신 파워의 범위는 WiBro Evolution 시스템에서 AGC가 동작하는 프리앰블의 파워에 상관없이 넓은 변화 범위를 가지고 수신되므로 gain controller를 추가해야 한다.

## 다. 채널코덱

채널코덱은 UL 채널부호기와 DL 채널복호기가 하나의 FPGA에 로딩되어 구동하고 오버레이 지원을 위해 두 개의 FPGA에 각각 타깃팅되어 하나의

FPGA가 하나의 FA를 처리하도록 구현되었다. 또한 HARQ 버퍼 관리와 MAC과의 인터페이스를 위해 FPGA 밖에 별도의 메모리를 두었다.

### 1) 채널부호기

단말 채널 부호기는 상향링크 데이터에 대해 채널부호화를 수행한다. WiBro Evolution 1FA의 최대 스루풋인 경우 1 프레임의 크기가 33600 비트이고(=140 slot×48 tone×6×5/6), 초당 비트 속도로 환산하면 6.72 Mbps이다. 그러나 실제 시스템 운용에 있어서 열악한 상향링크 채널 특성을 고려하여 64QAM, 부호율 2/3까지만 고려하므로 실제 최대 전송속도는 2FA에 대해 약 10.74 Mbps이다. 채널 부호기 하드웨어를 설계할 때 중요 자원인 블록 메모리 크기는 약간의 마진을 두어 약 12 Mbps까지 처리 가능하도록 설정하였다. CTC 부호기를 구현함에 있어서 고속 처리를 위해 패딩, 랜덤화, CRC 블록들은 모두 8 비트 병렬 처리 구조로 설계하였고, CTC 인터리버, CTC 부호화, sub-block 인터리버 그리고 심볼선택 4가지 모드로 구성된 CTC 부호기는 4단 파이프라인 구조로 설계하여 부호화 속도를 높였다. 메인 클럭은 89.6 MHz이다.

### 2) 채널복호기

단말 채널복호기는 하향링크 FCH/MAP/burst에 대해 채널복호화를 수행한다. WiBro Evolution 1FA의 최대 스루풋은 1 프레임의 크기가 100800 비트이고(=420 slot×48 tone×6×5/6), 초당 비트 속도로 환산하면 20.16 Mbps이며 2FA를 고려하면 최대 전송 속도는 40.32 Mbps이다. 실제 하드웨어는 FPGA 블록 메모리의 제약으로 약 20.7 Mbps까지 처리 가능하도록 설계되어 있다. 고속의 데이터 처리를 위해 채널부호기와 마찬가지로 인터리버를 제외한 나머지 블록들은 8심볼씩 병렬 처리되고, 메인 클럭은 100 MHz를 사용한다. 이로써 CTC 반복 복호 횟수를 최대 6회까지 수행할 수 있다. 고용량 수신 데이터 복호를 위해 1FA 당 4개의 CTC 복호



기를 병렬로 설계하였다. 또한 CTC 복호기의 핵심 엔진인 MAP 복호기는 MIN-LOG-MAP 알고리즘을 사용하였으며 슬라이딩 윈도우 방식을 사용하여 메모리 효율성을 높였다.

### 3) HARQ

기본적으로 chase combining 방식[5]만을 지원하며, FPGA 내부 블록 메모리 용량의 한계로 인하여 외부 메모리를 이용하여 16개 ACID 채널을 저장, 관리하도록 설계하였다.

## 3. 모뎀 시험

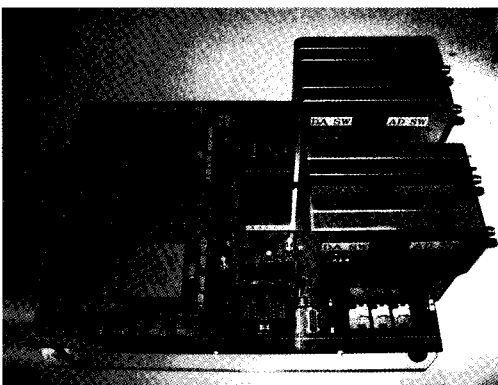
### 가. 모뎀 시험 장치(MAT)

모뎀 시험 장치(MAT)는 MIMO 기술을 적용한 WiBro Evolution 시스템 모뎀의 변복조 알고리즘을 효율적으로 검증하기 위해 단말기 모뎀의 송신 신호를 발생시키고 수신된 신호를 분석할 수 있는 장치를 WiBro Evolution용 기지국 및 단말기 모뎀의 알고리즘을 검증하기 위한 테스트 보드로 운용하는 것을 목표로 개발되었다. 본 장치는 PC에서 시뮬레이션 되어진 기지국(또는 단말기) 송신 신호가 하드웨어인 테스트 보드에서 실제 발생되도록 하고 사용자가 원하는 시점에서 수집된 신호를 PC로 전송하여 모뎀 변복조 알고리즘의 성능 및 검증을 하는 기능을 수행하게 된다. 이러한 기능을 구현하기 위

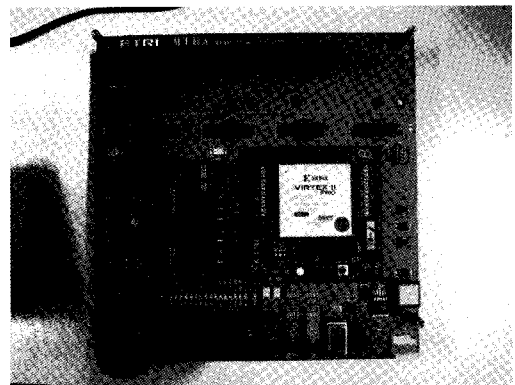
해 MAT는 PC와 인터페이스를 위한 USB 포트, 수집된 신호를 저장하기 위한 DDR 메모리 및 제어부, MIMO 신호 송/수신을 위한 4채널 RF 블록 등으로 구성되었다. (그림 6)에 MAT의 실제 형상이 나타나 있다.

### 나. 간이 MAC(sMAC)

sMAC(simple MAC)은 단말기의 상위계층 없이 물리채널의 모뎀, 채널코덱 FPGA의 동작 및 기능 검증, 그리고 물리채널의 성능검증을 위한 것으로서 MAC의 기능 중에서 모뎀 제어에 필요한 일부분만 추출하여 구현하였다. 주요 기능으로는 하향링크를 통하여 전송되는 FCH 및 MAP 정보를 분석하고 할당된 버스트 정보를 추출 및 상향링크로 버스트 데이터를 전송하기 위한 MAP을 생성하고, 모뎀에서 발생하는 SYNC 신호를 이용하여 자체 기준신호를 생성하며 레지스터/메모리 제어 신호 및 데이터 전송 신호를 발생시켜 원활하게 모뎀과 데이터를 주고 받는다. 또한, 모뎀의 각종 레지스터 및 메모리를 덤프하여 모뎀 동작을 관찰하는 기능도 포함되어 있다. 이를 통해 모뎀의 주요한 성능 지표인 PER에 대한 통계 수치를 얻을 수 있다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 sMAC은 (그림 7)에서 보는 바와 같이 1개의 TI-DSP TMS320C6416(720 MHz)와 1개의 FPGA(Xilinx Virtex2-Pro)를 사용하여 설계되었다.



(그림 6) 단말 시험 장치(MAT)



(그림 7) 간이 MAC(sMAC)

## IV. 결론

본 고에서는 2006년부터 2008년까지 한국전자통신연구원과 삼성전자가 공동 연구로 진행하였던 WiBro Evolution 시스템에 대하여 기술하였다. 이번 WiBro Evolution 기술 개발은 차세대 이동통신 핵심 기반 기술 확보와 표준화를 통한 기술 선점의 측면에서 매우 큰 중요성을 가진다. 세계 최초의 WiBro Evolution 시스템의 개발 성공은 향후 전개 될 차세대 통신 기술 및 시장에서 지속적인 우위를 확보하고 기술 개발의 주도국으로서의 위치를 더욱 확고히 할 수 있을 것이다.

## 약어 정리

AFC	Automatic Frequency Control
AFE	Analog Front End
AGC	Automatic Gain Control
CC	Convolutional Coding
CINR	Carrier to Interference plus Noise Ratio
CP	Cyclic Prefix
CSI	Channel State Information
CSM	Collaborative Spatial Multiplexing
CTC	Convolutional Turbo Coding
DGC	Digital Gain Control
DL	Downlink
FDD	Frequency Division Duplex
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
IC	Interference Cancellation
ITU	International Telecommunication Union
LLR	Log Likelihood Ratio
LSB	Least Significant Bit
MAT	Modem Analysis Tool

MCS	Modulation Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MML	Modified ML
MRC	Maximal Ratio Combining
MU	Multi-User
NW	Noise Whitening
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PER	Packet Error Rate
SIMO	Single Input Multiple Output
SM	Spatial Multiplexing
STC	Space Time Coding
TDD	Time Division Duplex
TG	Task Group
UL	Uplink
WE	WiBro Evolution
ZF	Zero Forcing

## 참고 문헌

- [1] <http://www.ieee802.org/16/tgm/>
- [2] IEEE P802.16Rev2/D0b, June 2007.
- [3] F. Tosato and P. Bisaglia, "Simplified Soft-Output Demapper for Binary Interleaved COFDM with Application to HIPERLAN/2," *IEEE Global Telecommun. Conf.*, Vol.2, 2002, pp.664-668.
- [4] S. Bahng et al., "QR-LRL Signal Detection for Spatially Multiplexed MIMO Systems," *IEICE Trans. Commun.*, E91-B(10), Oct. 2008, pp. 3383-3386.
- [5] E. Soljanin, "Hybrid ARQ in Wireless Networks," Mathematical Sciences Research Center, Bell Labs, 2003.