

MIMO OFDM 기반의 WiBro 표준을 지원하는 SDR 테스트베드 구현

김 정, 유태호, 박용길, 유재황, 김성근, 임종태, 오세현(SK Telecom)

I. 서 론

통신기술의 급속한 진화와 더불어 GSM, CDMA, WCDMA, WiBro, DMB, WPAN 등 다양한 통신 방식이 출현하고 있으며, 이러한 이기종의 다양한 통신 방식을 하나의 시스템에서 효과적으로 지원하는 문제가 대두되고 있다. SDR(Software Defined Radio)은 이러한 문제점을 해결할 수 있는 중요한 기술로서 최근 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

또한 향후 무선 통신은 광대역 고속 전송 기술을 적용하여 진화될 것이며, 이를 위한 핵심 기술로는 MIMO OFDM 기술을 들 수 있다. 실제 운용 환경에서 MIMO OFDM 기술을 검증하고 적용 방안을 확립하기 위하여 테스트베드 구축과 성능 검증의 필요성이 크다. 실제로 유럽의 TSUNAMI 프로젝트^[1]나 Motorola 연구소^[2] 및 Iospan^[3]에서는 테스트베드를 구축하여 MIMO OFDM의 성능을 검증하였다.

SK Telecom에서는 SDR 테스트베드를 개발하고 이를 이용하여 MIMO OFDM 성능 검증을 수행하였다. 본 논문은 SK Telecom이 개발한 SDR 테스트베드 구조와 기능을 설명하고 성능

검증 Tool을 이용한 측정 결과를 제시한다

논문의 구성은 제II장에서는 시스템 사양 및 구조에 대해서 기술하고 제III장과 IV장에서는 H/W 및 S/W의 세부 기능 및 구조에 대해서 기술한다. 제V장에서는 SDR 테스트베드의 기능을 검증하기 위한 검증 Tool의 소개와 측정 결과를 제시하고 마지막으로 제VI장에서 결론을 맺는다.

II. SDR 테스트베드 사양 및 구조

본 장에서는 테스트베드의 사양 및 구조를 제시한다. MIMO OFDM 기반의 SDR 테스트베드 사양은 다음 표 1과 같다.

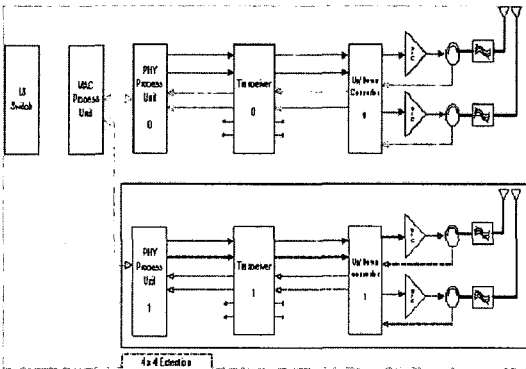
상기 사양은 IEEE802.16e(D5) 및 TTA 휴대인터넷 표준 규격(2005년 6월)을 적용했다^{[4][5][6][7]}.

다음 그림 1은 SDR 테스트베드의 기능 블록도를 나타낸다.

시스템은 크게 RF 신호증폭 및 저잡음 증폭 기능을 담당하는 RF신호 처리부, 디지털 IF 신호처리와 ADC/DAC기능을 수행하는 디지털 IF 신호 처리부, 기저대역 신호를 처리하는 기저대역 물리계층 처리부, MAC 기능을 수행하는

〈표 1〉 테스트베드 사양

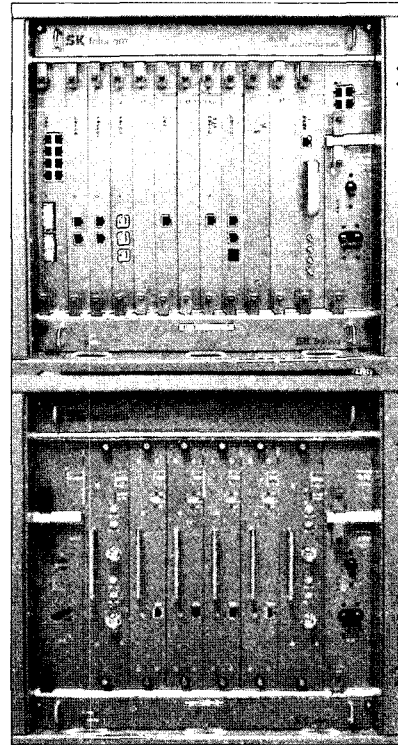
Parameters	Value
Nominal channel bandwidth	8.75MHz
Sampling frequency	10MHz
Sampling period(1/fs)	100nsec
No. of FFT points	1024
No. of sub-carriers	864
No. of sub-carriers for data	768
No. of sub-carriers for pilot	96
Separation of sub-carriers(Δf)	9.765625KHz
Symbol period($T_b=1/\Delta f$)	102.4 μ s
Cycle prefix duration($T_g=T_b/8$)	12.8 μ s
OFDMA duration($T_s=T_b+T_g$)	115.2 μ s
TDD frame length	5ms



〈그림 1〉 테스트베드 기능 블록도

MAC 처리부, ACR(Access Control Router)과 정합 및 네트워크 관리기능을 수행하는 Layer3 스위치부로 구성되어 있다. 상기 시스템은 2개의 송신 및 2개의 수신 안테나 모드에서 동작되도록 설계되었으며, 각각 4개의 송신 및 수신 안테나로 확장이 가능하다.

개발된 SDR 기지국 테스트베드의 형상은 다음 그림 2와 같다. 적용 주파수 대역은 2.3GHz



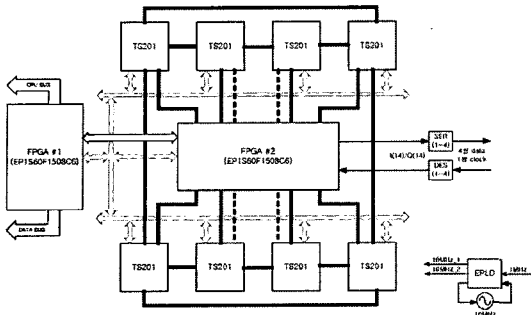
〈그림 2〉 테스트베드 실물 형상

WiBro 주파수 대역이며, 기지국의 출력은 20W와 250mW가 가능하도록 제작되었다.

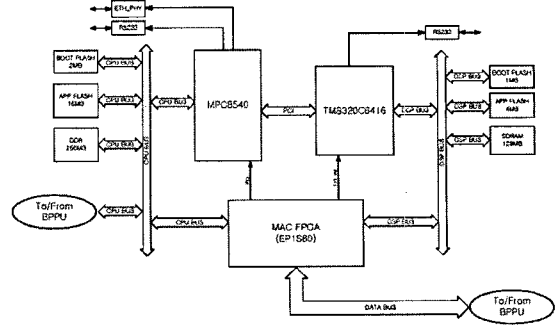
III. H/W 세부 블록별 기능 및 구조

1. 기지대역 물리계층 처리부

기지대역 물리계층 처리부는 Analog Device社의 ADSP TS201/600MHz DSP 8개와 Altera社의 600만 gate급 Stratix FPGA(EP1S60) 1개를 사용한다. DSP는 Frame Detection, Symbol Timing Tracking, AFC(Auto Frequency Control), Cell Selection, Channel Estimation, MIMO 알고리즘 등 물리계층 주요 기능을 수행하기 위하여 사용된다. 모뎀 FPGA는 채널 부호



〈그림 3〉 기저대역 물리계층 처리부 블록도

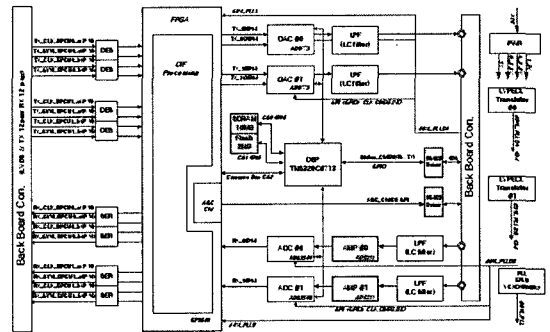


〈그림 4〉 기저대역 MAC계층 처리부 블록도

화/복호화 기능 구현과 하드웨어 MAC처리부의 인터페이스를 위해서 사용된다. 채널 부호화 방식으로는 IEEE802.16e 표준 및 DVB RCS (Digital Video Broadcasting Return Channel via Satellite) 표준에 채택된 바 있는 CTC (Convolutional Turbo Codes)를 적용한다. 모뎀 FPGA는 주제어부 DSP의 GPIO(General Purpose IO)를 통해 프로그램을 다운로드하며, 모뎀 DSP는 주제어부 DSP가 하드웨어 MAC 처리부 FPGA에 구현한 Cluster Bus Bridge를 이용하여 다운로드 한다.

2. 기저대역 MAC 계층 처리부

기저대역 MAC 계층 처리부는 MAC 프로토콜을 수행하는 부분으로서, MPC8540 CPU와 DSP 및 FPGA로 구성되어 있다. CPU의 기능은 PCI 인터페이스를 통하여 DSP와 데이터 송수신을 하는 것이며, 기저대역 물리계층 처리부에 있는 FPGA를 제어한다. DSP는 PCI 인터페이스를 가지고 있으며 MPC8540 CPU와 데이터 송수신을 한다. FPGA의 기능은 H/W MAC 처리(트래픽 데이터에서 CRC 계산)이며 기저대역 물리계층 처리부, 디지털 IF 신호 처리부에

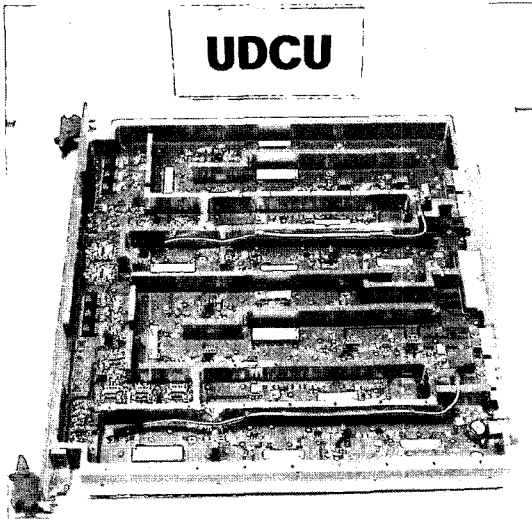


〈그림 5〉 디지털 IF 신호 처리부 블록도

대한 상태를 취합하여 CPU에 알려준다.

3. 디지털 IF 신호 처리부

디지털 IF 신호 처리부는 시스템의 디지털 IF 신호 처리와 ADC/DAC기능을 수행하는 부분으로서 TI DSP(TMS320C6713) 1개와 Altera社의 400만 gate급 FPGA(EP1S40), 2MB Flash Memory, 16MB SDRAM으로 구성된다. DSP는 FPGA 레지스터 및 DAC/ADC 레지스터 제어와 FPGA 다운로드 기능을 수행하기 위하여 사용된다. FPGA디지털 IF기능 및 Filtering 기능을 수행한다.



〈그림 6〉 주파수 상/하향 변환 유니트

4. RF 신호 처리부

RF 신호 처리부는 주파수 상/하향 변환 유니트, RF제어 유니트, 디지털 프론트 엔드 유니트, RF 프론트 엔드 유니트, 고출력 증폭 유니트로 구성된다.

주파수 상/하향 변환 유니트는 디지털 IF 신호 처리부로부터 수신되는 IF 신호를 RF 송신 주파수 대역으로 주파수 상향 변환 및 증폭하여 고출력 증폭 유니트로 전송하는 기능과, RF 프론트 엔드 유니트로 부터 신호를 수신하여 IF 신호 주파수 대역으로 주파수 하향 변환 및 증폭을 수행하여 디지털 IF 신호 처리부로 전송하는 기능을 수행한다. 그림 6은 주파수 상/하향 변환 유니트의 실물 형상이다.

RF 제어 유니트는 RF Block의 제어 및 상태관리를 수행하는 보드로서 디지털 프론트 엔드 유니트로부터 Tx/Rx 동기신호를 수신하여 RF스위치의 제어 및 상태 감시를 수행한다. 또한 디지털 프론트 엔드 유니트로 부터 Rx AGC

(Automatic Gain Control) 제어 데이터를 수신하여 Rx Attenuation Value를 제어한다.

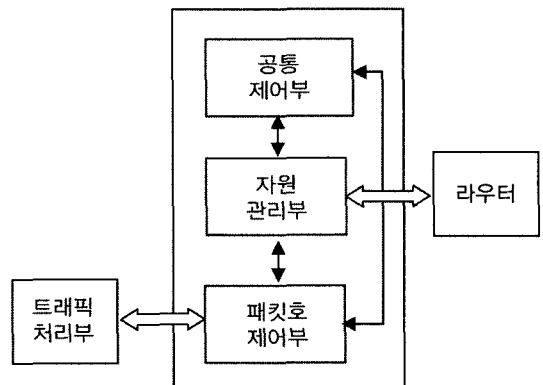
디지털 프론트 엔드 유니트는 주파수 상/하향 변환 유니트 및 RF 프론트 엔드 유니트와 인터페이스 되며 송신 신호를 증폭하여 전송한다. RF 프론트 엔드 유니트는 시스템의 최종단에서 안테나와 연결되어 송수신 신호 여파 및 수신 신호 저잡음 증폭, 송수신 신호 Monitoring을 위한 Coupling 등의 기능을 제공한다. 마지막으로 고출력 증폭 유니트는 UDCU 및 RFEU와 인터페이스되며 송신신호를 증폭하여 전송한다.

IV. SW 세부 블록별 기능 및 구조

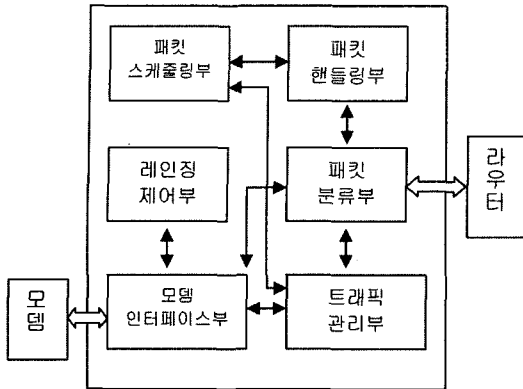
기지국 소프트웨어는 크게 2개의 부분으로 구분된다. 기지국 패킷 호 제어 기능을 수행하는 호처리부, 그리고 트래픽 데이터를 처리하는 트래픽 처리부로 구성되어 있다.

1. 호처리부

호처리부는 크게 공통제어부, 자원 관리부, 패킷호 제어부로 구성된다. 공통 제어부는 기지국



〈그림 7〉 호처리부 블록도



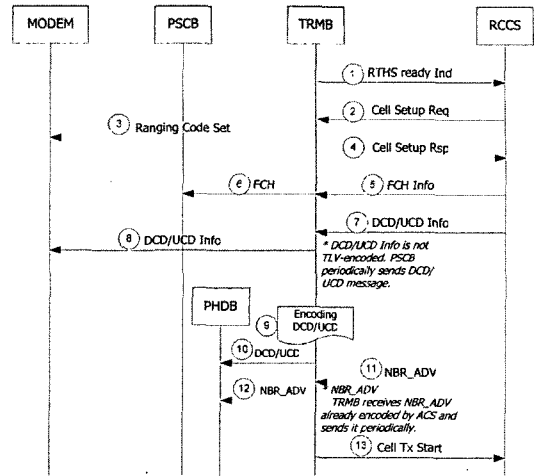
〈그림 8〉 트래픽 처리부 블록도

의 초기화 및 주기적으로 발송해야 하는 정보를 관리하는 기능을 수행하고, 자원 관리부는 CID 할당/해제, SFID 할당/해제, Cell 자원 관리 등의 시스템 자원을 관리하는 역할을 한다. 패킷호 제어부에서는 기본 무선접속, 섹터 핸드오버, 서비스 추가/변경/삭제 등의 역할을 수행한다.

2. 트래픽 처리부

트래픽 처리부는 패킷 스케줄링부, 패킷 핸들링부, 레인징 제어부, 패킷 분류부, 모뎀 인터페이스부, 트래픽 관리부로 구성된다.

패킷 스케줄링부는 시스템과 단말기간 MAC 프레임 송수신을 위한 스케줄을 관리하는 기능을 하며, 패킷 핸들링부는 MAC PDU 핸들링과 ARQ 제어 기능을 수행한다. 레인징 제어부에서는 레인징 관련 기능을 수행하고, 패킷 분류부에서는 트래픽 데이터와 제어 데이터를 분류하는 기능을 수행한다. 그리고 모뎀 인터페이스부는 트래픽 데이터와 제어 데이터를 모뎀과 주고 받는 기능을 수행하며, 트래픽 관리부는 모뎀 DSP 다운로드, 모뎀 제어 및 상태감시, Broadcast 메시지 제어 등의 역할을 수행한다.

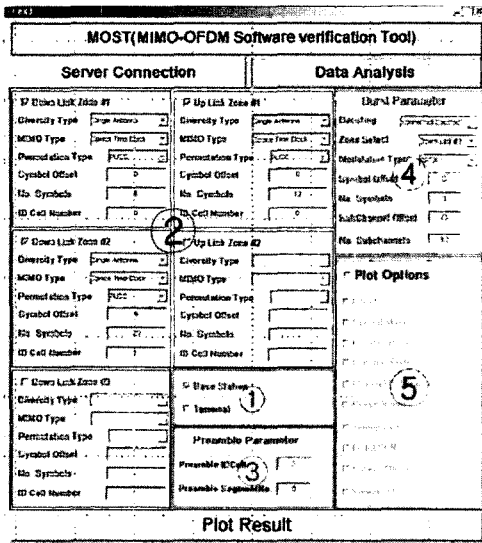


〈그림 9〉 Cell Setup Sequence Chart

그림 9는 트래픽 처리의 하나의 예로서 Cell Setup 을 위한 Sequence Chart를 보여준다.

V. 시스템 검증 Tool

본 장에서는 MIMO OFDM 검증용 GUI (Graphic User Interface)기반의 S/W Tool에 대해서 설명한다. 검증 Tool은 송수신 신호 품질 및 시스템 성능을 측정할 수 있도록 설계되었다. 성능 측정을 위한 처음 단계로 송신 프레임 패턴을 생성한다. 검증 tool에서는 기지국과 터미널, Uplink와 Downlink, Preamble Parameter, Subchannel의 수 등을 선택할 수 있다. 송신부의 성능으로는 EVM(Error Vector Magnitude), Spectrum Mask, Constellation 등을 측정할 수 있고, 수신부의 성능으로는 채널 추정, SNR (Signal to Noise Ratio), Constellation. 등을 측정할 수 있다[46]. 다음 그림 10은 검증용 Tool의 GUI를 나타낸다.



- ① Device Selection, ② Zone Selection,
- ③ Preamble Parameter, ④ Burst selection,
- ⑤ Signal Quality Analysis

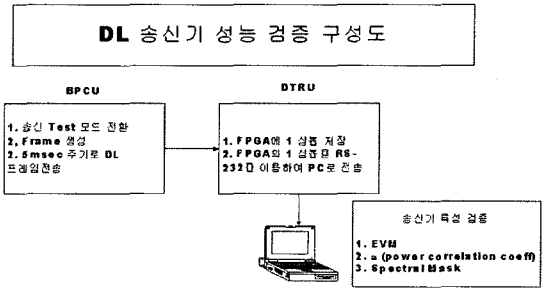
〈그림 10〉 검증용 Tool의 GUI

VI. 성능검증 및 결과

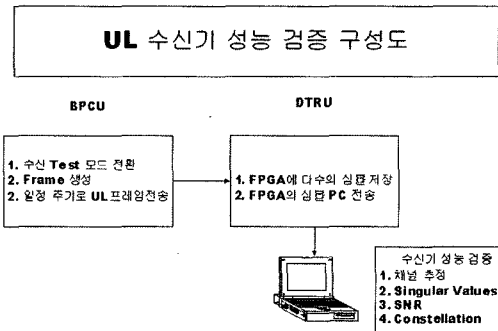
송수신 성능의 검증을 위하여 시스템의 기저 대역 물리계층 처리부의 신호를 별도 제작한 AVIU (Analysis Verification Interface Unit) 보드와 연결하였다. AVIU는 최대 600K byte의 데이터를 버퍼링 할 수 있으며 물리계층 처리부와는 LVDS(Low Voltage Differential Signaling) 로 연결된다. 다음 그림 11은 EVM (Error Vector Magnitude), Spectrum Mask, Constellation 등 송신 성능 측정을 위한 구성도를 나타낸다.

채널 추정, SNR(Signal to Noise Ratio), Constellation 수신 성능 측정을 위한 구성도는 그림 12와 같다.

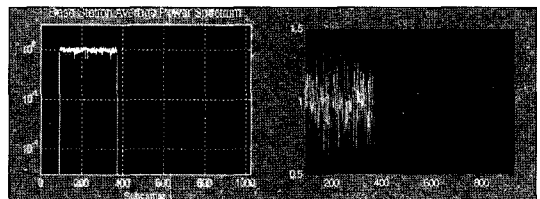
다음 그림 13~16은 SISO(Single Input Single Output)의 경우 신호 품질 측정 결과를 나타낸



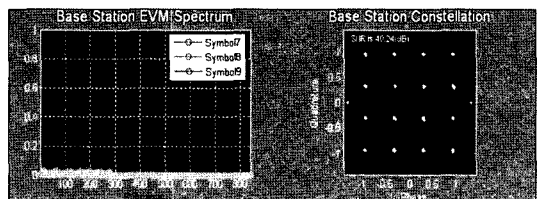
〈그림 11〉 DL 송신기 성능 검증 구성도



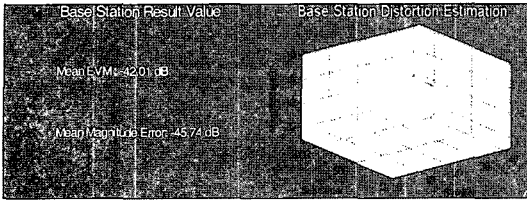
〈그림 12〉 UL 수신기 성능 검증 구성도



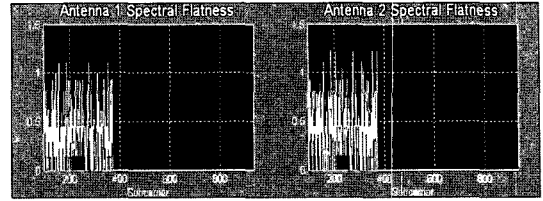
〈그림 13〉 Average Power Spectrum & Spectral Flatness



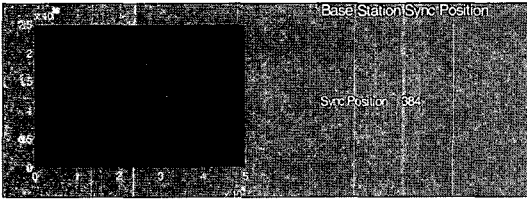
〈그림 14〉 EVM Spectrum & Constellation, SNR



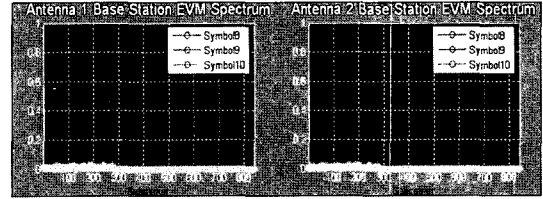
〈그림 15〉 Result Value & Distortion Estimation



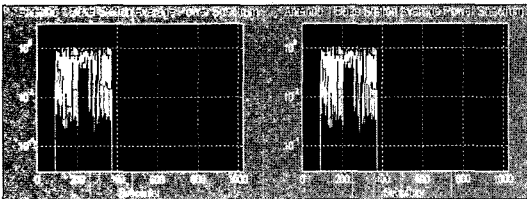
〈그림 18〉 Ant1 & 2 의 Spectral Flatness



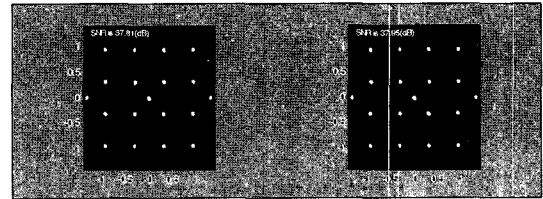
〈그림 16〉 Synchronization



〈그림 19〉 Ant1 & 2 에서의 EVM Spectrum



〈그림 17〉 Average Power Spectrum Ant1& Ant2



〈그림 20〉 Ant1 & 2의 Constellation & SNR

다. 아래 그림의 결과치에 의하면 Power Spectrum 이나 EVM Spectrum, Spectral Flatness 등이 시스템 기준치에 적합하고 동기 획득에도 문제가 없음을 알 수 있다.

그림 17~20은 MIMO(Multi Input Multi Output)의 경우 신호 품질 측정 결과를 나타낸다. 본 시험은 2개의 송신 및 2개의 수신 안테나 모드에서 시행하였으며 측정치는 실내 시험 결과치이다. 시험 결과 안테나1과 안테나2에서의 Power Spectrum이나 EVM Spectrum, Spectral Flatness 등이 기준에 적합함을 알 수 있다.

Ⅶ. 결 론

SDR 기술은 Multi Access 환경에서 효율적인 시스템 구현을 위한 최적의 기술이다. 또한 MIMO OFDM 기술은 차세대 고속 광대역 무선 전송을 위한 필수 기술이다.

그러나 본 기술들을 상용 시스템에 적용시키기 위해서는 실제 시스템 상에서의 성능 검증이 필수적이다.

본 논문에서는 SK Telecom이 개발한 IEEE802.16e (D5) 및 TTA 휴대인터넷 표준 규격(2005년 6월)의 MIMO OFDM SDR 테스트베드 구조를 제시하고, 성능 검증 Tool을 이용한 성능 측정 결과를 제시하였다. 본 고에서는 실내

환경에서 측정된 결과를 제시하였으며, 실외 환경에서의 성능 측정도 수행할 예정이다.

본 개발의 결과는 MIMO OFDM 기반의 상용 시스템 구축 시 활용이 가능하며, 또한 구축된 테스트베드는 다양한 SDR 기술을 검증하는데 사용될 예정이다.

참고문헌

- [1] I. E. Telatar, "Capacity of multi antenna Gaussian channels," AT & T Bell Labs, Tech. Rep. , 1995.
- [2] G. Tsoulos, M. Beach, and J. McGeehan, "Wireless Personal Communications for the 21st Century: European Technological Advances in Adaptive Antennas," IEEE Commun. Mag., Sept. 1997.
- [3] M. D. Batarriere et al., "An Experimental OFDM System for Broadband Mobile Communications," IEEE VTC 2001/Fall, Atlantic City, NJ.
- [4] 한국정보통신기술협회, "2.3GHz 휴대인터넷 표준 물리 계층," 한국정보통신단체 표준, 2005년 6월.
- [5] 한국정보통신기술협회, "2.3GHz 휴대인터넷 표준 매체접근제어 계층," 한국정보통신단체 표준, 2005년 6월.
- [6] IEEE 802.16 2001 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.
- [7] IEEE P802.16e/D8, May 2005 Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands.
- [8] Jeong kim, Seong Keum Kim, Se Hyun Oh, Jong Ho Park, "SDR Based MIMO OFDM System for Future WiMax," SDR Forum '05 Technical Conference.
- [9] Chong Hyun Lee, Heon Il Lee, Joo Wan Kim, Hyong Rock Park, Taeho Yu, Yonggil Park, Won Suk Jeong, "A Novel Space Time MIMO Channel Model," SDR Forum '05 Technical Conference.

용 어 해 설

직접 인쇄 시스템 (Direct Printing System, DPS)

디지털 카메라로부터 프린터로 직접 출력하는 방식의 표준 규격. 기본적인 인터페이스는 USB 이고, 데이터 전송에는 PTP(Picture Transfer Protocol)를 사용한다. 프린트와의 연결에서 카메라는 USB 디바이스로 인식되며 프린터는 USB 호스트 기기로 동작하며, 디지털 카메라에 부착되어 있는 액정모니터를 이용해 프린터를 조작하므로 컴퓨터를 경유할 때보다 출력과정이 쉽고 빨라졌다. 캐논, 후지필름, HP, 올림푸스, 엡슨, 소니 등이 표준화에 참여하였고 2003년부터 상용화되었다.

일회용 컴퓨터(disposable computer)

소규모 데이터를 처리하는 장치로 몇 번 사용하고 버리는 컴퓨터. 몇 번 쓰고 버릴 정도로 값이 싼 것이 특징이며, 소량의 암호화된 데이터를 수집하고 처리하고 교환할 수 있는 페이퍼보드 프로세서로서 무선 식별 기능을 사용하고, 의약품 및 특수 용품 포장, 책, 여권, 복권, 투표용지 등에도 활용할 수 있다. 또한 고도의 보안을 요하는 응용에서 숫자 키보드와 스마트 카드 기기가 통합되어 사용되거나, 카드에 고유의 PIN 카드를 입력함으로써 사용자는 인터넷과 접속해 데이터를 교환할 수 있다.

저자소개



김 정

1991년 전북대학교 전자공학과 학사
 1995년 전북대학교 전자공학과 석사
 1990년-1993년 삼성전자 연구원
 1995년-현 재 SK텔레콤 Access 기술연구원
 차세대기술개발1팀 과장
 주관심분야 SDR, 광대역 무선전송, Beyond 3G



유 태 호

1995년 인하대학교 전자계산공학과 학사
 2001년 인하대학교 멀티미디어공학과 석사
 1995년-1998년 삼성전자 연구원
 2001년-현 재 SK텔레콤 Access 기술연구원
 차세대기술개발2팀 과장
 주관심분야 SDR, Human Interface, 차세대 Device



박 용 길

1986년 서울대학교 전자공학과 학사
 1988년 서울대학교 전자공학과 석사
 1989년-1994년 KT 통신망연구소
 1994년-2001년 신세기통신 기술연구소
 2002년-현 재 SK텔레콤 Access 기술연구원
 차세대기술개발1팀 차장
 주관심분야 SDR, RF성능개선, Home Network, USN

저자소개



유 재 황

1984년 경북대학교 전자공학과 학사
 1986년 연세대학교 전자공학과 석사
 2005년 KAIST 전기및전자공학과 박사
 1988년-1993년 국제상사 전자기술 연구소 선임연구원
 1993년-2006년 SK Telecom Network 연구원 엔지니어링기술개발팀장, Network기술기획팀장
 2006년-현 재 SK텔레콤 Access 기술연구원
 차세대기술개발1팀장(부장)
 주관심분야 SDR, 통신/방송 융합기술, B3G, USN/BcN



김 성 근

1987년 연세대학교 전자공학과 학사
 1989년 연세대학교 전자공학과 석사
 1990년-2005년 SK Telecom IMT2000기술개발팀, 경영전략실, 차세대기술개발팀장
 2006년-현 재 SK텔레콤 Global Network 추진실
 Global Network기술팀장 (부장)
 주관심분야 SDR, USN, 통신/방송 융합기술

저자소개



임 종 태

1986년 연세대학교 전자공학과 학사
 1988년 연세대학교 전자공학과 석사
 1993년 연세대학교 전자공학과 박사
 1993년-2006년 SK Telecom Network 연구원 엔지니어링기술개발팀장, 차세대기술개발팀장, Access망개발팀장, Platform연구원장 역임
 1998년-현 재 정보통신연구진흥원 전파방송기술평가실장, WCDMA USIM 기술개발관리단장, NGMC Forum 서비스 및 마켓분과위원장, 텔레메틱스 표준화포럼 의장
 2006년-현 재 SK Telecom Access기술연구원장 (상무)



오 세 현

1982년 서울대학교 산업공학과 학사
 1984년 KAIST 경영과학과 석사
 1992년 KAIST 경영과학과 박사
 1984년-2005년 삼성물산 기획조정실
 1992년-2005년 SK Telecom 기술전략실장, Network연구원장 역임
 2006년-현 재 SK Telecom 전략기술부문장 (전무)