

18GHz 지하철 무선영상 전송시스템 개발

정상국¹, 안태기², 김백현², 남명우^{3*}, 이영석⁴, 오명관⁵

¹(주)씨아이테크, ²한국철도기술연구원, ³해전대학 전자캐드과,

⁴청운대학교 디지털방송공학과, ⁵해전대학 디지털서비스과

Development of Wireless Image Transmission System in Subway at 18GHz

Jeong, Sang-Guk¹, An, Tae-Ki², Kim, Back-Hyun²,
Myung Woo Nam^{3*}, Young-seock Lee⁴ and Myung-Kwan Oh⁵

¹C&I Technologies, ²Korea Railroad Research Institute,

³Dept of Electronic CAD, Hyejeon College,

⁴Dept. of Digital Broadcasting and Electronics, Chungwoon University,

⁵Dept. of Digital Service, Hyejeon College

요약 지하철 운행 중 차지공간 무선영상전송을 위해 18GHz 대역을 이용한 OFDM 방식의 영상 전송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 디지털 변조 보드와 RF 보드로 구성하였으며, 지하철 터널공간 내에서 18GHz의 멀티패스 페이딩에 강한 특성을 가진다. 시스템의 검증을 위하여 스펙트럼 분석기를 사용해 전송 시스템의 출력 신호를 분석하였고, 분석결과 구현된 시스템은 350MHz에 대역폭 8MHz, -19dBm의 채널 파워를 가짐을 확인할 수 있었다. 또한, 영상의 송·수신 특성을 시험하기 위하여 SR사의 MPEG-2엔코더를 사용하여 영상을 입력하고 송신한 후 SR사의 수신기를 이용하여 영상 수신 실험을 하였다. 실험결과 송신한 영상이 손실 없이 수신됨을 확인하였다.

Abstract The video transmission system using OFDM method at 18GHz frequency band was developed for wireless video transmission from subway to monitoring center when subway running. It is composed of digital modulation board and RF board. And it has a robust characteristics of multipath fading in subway tunnels at 18GHz. To verify the system, we used spectrum analyzer for analysing the output of transmission system and get the results that it has 350MHz frequency, 8MHz bandwidth and -19dBm channel power. Also we tested video receiving using MPEG-2 encoder and got good quality images.

Key Words : Subway, 18GHz, Video Transmission

1. 서론

철도운영의 효율성과 철도 서비스 향상을 위해 차지공간(차량 운전실과 지상의 관계센터간)의 무선통신 시스템에 광대역 멀티미디어 기술을 적용하려는 요구가 꾸준히 증대되고 있다. 멀티미디어 기술은 지하철 역사의 CCTV 영상을 차량 운전자에게 전달하여 안전 운행을 돕게 된다.

무선으로 대용량의 영상을 전송하기 위해서는 채널당 10MHz이상의 안정적인 무선 채널이 요구된다. 그리고 기존의 ISM 대역 지하철 무선 영상전송 시스템은 혼선 및 간섭이 많아 고품질의 영상을 전송하기 위해서는 전용의 주파수 대역이 필요하다. 이에 정보통신부 고시 2007-34호에서는 열차 무선영상 전송에 18.86~18.92GHz와 19.20~19.26GHz를 사용하도록 할당하였다[1,2].

18GHz의 주파수는 초기 경로 손실과 멀티패스페이딩

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 남명우(mwnam@hj.ac.kr)

접수일 10년 03월 22일

수정일 10년 04월 15일

게재확정일 10년 05월 13일

의 영향이 매우 크고, 회절이 되지 않아 전파의 도달 범위가 송신각과 수신각에 따라 크게 영향을 받는다[3-5]. 따라서 지하철과 같이 터널구간에서 주로 통신이 이루어지는 시스템에서는 다중경로페이딩의 영향에 강한 디지털변조방식을 사용해야만 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 고려하여 지하철 무선영상전송에 적합한 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 디지털변조방식을 적용한 전송 시스템을 개발하였다. 전송 시스템은 디지털변조보드와 RF보드로 구성되며, 스펙트럼 분석기를 사용하여 시스템의 출력 특성을 측정하였다. OFDM이 적용된 전송 시스템은 8MHz의 캐리어 대역폭과 QAM16 변조방식이 사용되었다.

2. 본론

영상통신시스템은 크게 송신부와 수신부로 구성된다. 수신부의 경우는 방송수신용으로 개발된 상업용 모듈이 많은 반면, 송신부의 경우는 범용성이 떨어져 비용이 상승하기 때문에 직접 설계하여 사용하는 경우가 많다. 본 논문에서는 이러한 이유로 지하철의 무선영상전송을 위한 시스템을 설계하였다.

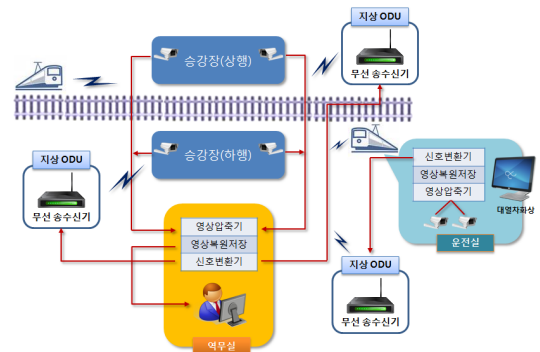
2.1 열차무선영상전송시스템

차지상간 영상전송시스템은 승강장과 객실에 카메라를 설치하고, 무선데이터통신을 통하여 실시간 영상을 전송함으로써 관제센터(사령실/역무실)와 전동차 운전실에 설치된 모니터로 승강장 및 객실 상황을 원격 모니터링할 수 있는 설비이다. 설계된 시스템은 승객 안전에 크게 기여할 수 있는 것으로 도시철도건설규칙 제46조에 의거 현재 도입이 진행 중이다[6].

2.1.1 18GHz 양방향 무선영상시스템

양방향 무선영상시스템은 대열차 공간화상시스템과 객실감시시스템을 결합한 형태이다. 먼저 대열차 공간화상시스템은 승강장에 카메라를 설치하여 승무원이 운전실에서 전동차의 역사 진입 전, 정차 중, 출발 후의 승강장을 감시할 수 있도록 승강장 영상을 전송하여 전동차 운행의 안전을 확보하는 시스템이다. 대열차 공간화상시스템은 지하철, 열차 등에서 승무원이 1인 운전을 할 경우 매우 유용한 시스템이다. 다음으로 객실 감시시스템은 객실에 카메라를 설치하고 객차 내의 영상신호를 차지상간 영상전송시스템을 통해 역사로 전송하여, 실시간 객차 내의 감시가 가능하도록 구성한 시스템이다. 무인운전을

기본으로 하는 열차시스템에서는 객실 감시시스템이 더 중요한 요소가 될 수 있다.



[그림 1] 18GHz 양방향 무선영상전송 시스템

2.1.2 18GHz 무선영상 시스템의 구조

18GHz 무선영상 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 승강장의 영상은 화면분할기에서 4분할된 후, 영상압축기에서 MPEG2/4 방식을 이용하여 압축된다. 압축된 영상 신호는 MPEG2-TS 신호로 OFDM 모뎀에 전송되고 OFDM 변조되어 IF신호로 출력된다. 출력되는 IF OFDM 신호의 대역폭은 8MHz이다. IF OFDM 신호는 주파수 상향변환기에 의해 18GHz로 변환된다. 18GHz의 최고 출력 채널 파워는 20dBm(=100mW)이다. 시스템의 송신측 안테나는 패치 안테나를 사용하였고 안테나 이득은 +15dBm이다. 수신측은 수신안테나에서 입력된 OFDM 신호를 IF신호로 주파수 하향 변환 후, OFDM 수신기로 신호 복호하여 MPEG 디코더로 MPEG2-TS를 전달한다. 전달된 신호는 MPEG2/4 디코더로 영상을 복원하여 모니터에 보여주게 된다.

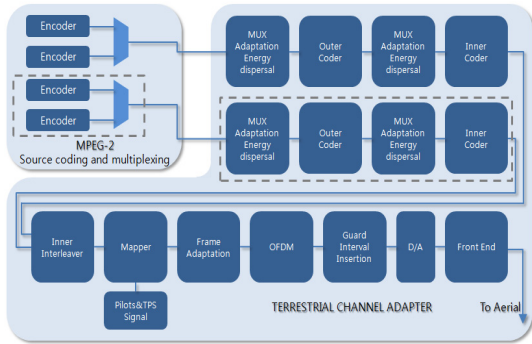


[그림 2] 18GHz 무선영상전송 시스템 구성도

2.2 OFDM 변조기

베이스 밴드 신호는 전송되기 전에 채널 부호화와 변조를 거친다. 신호가 전송되는 동안 전송 경로를 통해 잡

음과 여러 장애가 발생할 수 있으므로 전방오류정정(Forward Error Correction; FEC)이 필요하고 동기화 기법도 제공되어야 한다. 그림 3는 DVB-T 송신시스템의 기능 구성도이다[8].

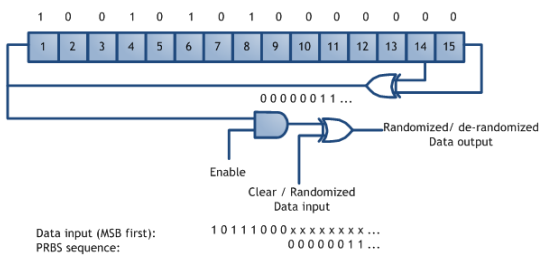


[그림 3] DVB-T 송신 시스템 구성도

2.2.1 스크램블과 동기화

송신기의 입력은 MPEG-2 전송 다중화기로부터 시스템에 입력된다. 비트 스트림은 고정된 길이의 패킷들로 재구성되는데, MPEG-2 전송 다중화 패킷의 총 길이는 1 sync-word(i.e 47HEX) 바이트를 포함해서 188 바이트이다. Sync-word 바이트의 최상위 비트는 “0”에서 시작되며 MPEG-2 다중화기의 입력데이터는 스크램블러로 랜덤화 된다. 그림 4와 같은 PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) 발생기의 다항식은 다음과 같다.

$$1 + x^{14} + x^{15} \tag{1}$$



[그림 4] 스크램블러의 구조

2.2.2 외부 부호화와 외부 인터리빙

시스템에 사용된 외부 부호화는 축소된 리드-솔로몬(Reed-Solomon) RS(204, 188, t=8) 부호를 사용하며, 이 부호는 RS(255, 239, t=8) 부호를 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. 리드-솔로몬 부호화는 비반전(i.e. 47HEX)과 반전

(ie. B8HEX) 패킷 sync 바이트에도 적용될 수 있다. 외부 부호화를 이용하여 16 패리티 바이트의 오류 검출 부호를 생성하여 정보 데이터 188 바이트를 포함, 총 204 바이트의 출력값을 얻게 된다. 이 외부 부호화를 이용하여 총 8 바이트의 오류를 검출하고 복원 시킬 수 있다. 부호 생성 다항식은 다음과 같다.

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15}) \tag{2}$$

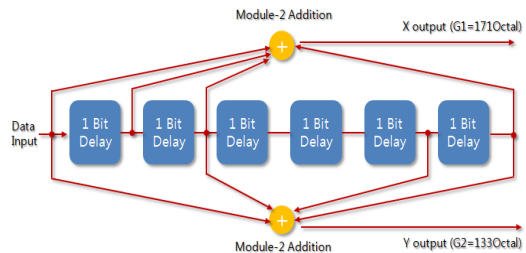
여기서 $\lambda = 02_{HEX}$ 이다. 필드 생성 다항식은 다음과 같다.

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + x^1 \tag{3}$$

외부 인터리버는 전송과정에서 연속되는 데이터가 한꺼번에 대량으로 손실되는 것을 방지하기 위해 데이터를 일정한 순서로 정렬하는 것으로, 개발된 시스템에서는 “Forney” 방식의 컨볼루션 인터리버(convolutional interleaver)를 사용하였고, 반전 또는 비반전된 sync-word로 시작되는 204 바이트 단위의 패킷을 인터리빙 하였다. 인터리빙된 데이터 바이트는 오류 정정 패킷과 반전 비반전된 sync-word로 구성되어 졌다.

2.2.3 내부 부호화화 내부 인터리빙

시스템은 분산된 비트 에러에 대응하기 위해 내부 부호화단에서 부호화율 1/2과 64 state 컨볼루션 부호(convolutional code)를 기반으로 한, 다양한 비율의 심볼 탈락 컨볼루션 부호(punctured convolutional code)를 제공한다. 이렇게 함으로써 다양한 서비스와 데이터 전송률에 따라 최적의 부호화율(1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)을 정할 수 있다. 기반이 되는 부호의 생성 다항식은 $G_1 = 171_{OCT}$ 와 $G_2 = 133_{OCT}$ 이다. 이 생성 다항식에 따른 컨볼루션 부호화기는 그림 5와 같다.

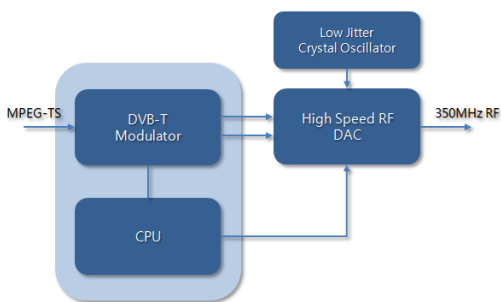


[그림 5] 부호화율 1/2의 컨볼루션 부호화기

내부 인터리빙(inner interleaving)은 비트 인터리빙(bit-wise interleaving)과 심볼 인터리빙(symbol interleaving)으로 구성되며 인터리빙 기법은 외부 인터리버와는 다른 블록 인터리버(block interleaver)를 사용하였다.

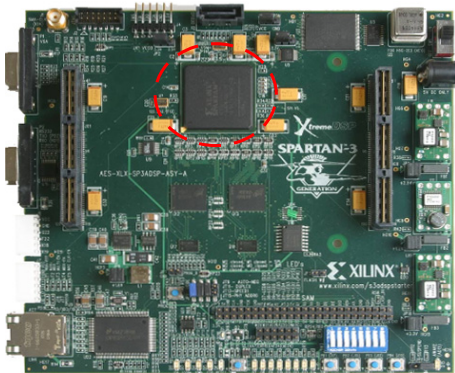
2.3 OFDM 송신기

그림 6은 OFDM 송신 시스템의 구성도이다. 입력된 MPEG-TS 신호는 DVB-T 변조를 수행한 후 High Speed RF DAC를 통해 350MHz RF로 주파수가 상향변환 된다. 그림 6에서 DVB-T 변조기는 그림 4와 그림 5를 이용하여 구현되었다[7].



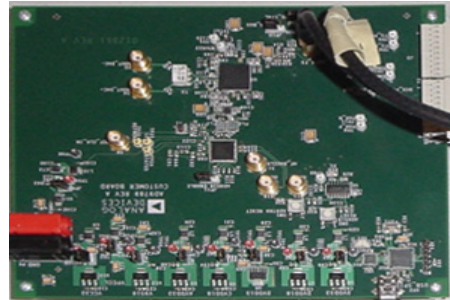
[그림 6] OFDM 송신 시스템 구성도

그림 7은 OFDM 변조 보드이다. 그림 7의 원형 점선 부분과 같이 Xilinx FPGA Spartan3AD FPGA 칩을 사용하여 OFDM 변조기를 구현하였다. FPGA 내부블럭은 VHDL을 사용하여 구현하였으며, 내부의 블록도는 그림 3과 같다. OFDM 변조 보드는 MPEG2-TS 신호를 입력 받고, OFDM 변조를 수행한 후 complex DAC 형식의 IF 신호를 출력한다. 출력신호는 I의 16bit와 Q의 16bit 두 포트에 출력된다.



[그림 7] OFDM 변조 보드

그림 8은 RF 보드이다. 고속 DAC와 정밀 클럭 발생기로 구성되어 있다. RF 보드는 I의 16bit와 Q의 16bit를 입력받은 후 Baseband Digital Upconverter를 통해 IF 주파수로 상향 변환한다. 변환된 신호는 High Speed RF DAC를 통해 출력된다.

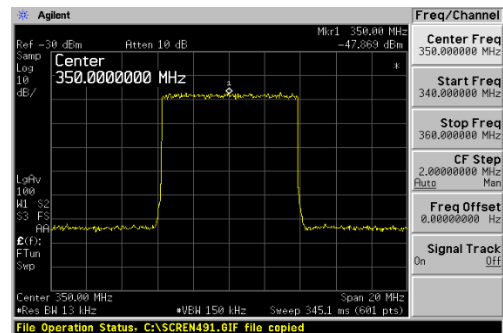


[그림 8] RF 보드

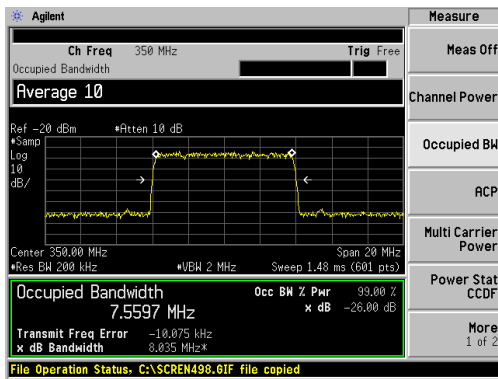
3. 실험 결과

본 연구에서는 터널 내부가 완전한 곡선으로 구성되어 900m 길이의 안양시 충훈 터널에서 제작된 무선 영상 전송시스템을 실험하였다. 실험은 OFDM 신호의 스펙트럼 분석 및 대역폭 측정, 채널 전력 및 송신기의 출력 특성을 중심으로 실시하였다.

그림 9는 IF OFDM 신호의 스펙트럼이다. 중심주파수는 350MHz이고 중심점의 신호 레벨은 -47dBm이다. 그림 10은 IF OFDM 신호의 대역폭 측정 결과이다. 측정된 채널 대역폭은 7.5597 MHz이다. 그림 11은 IF OFDM 신호의 채널 파워 측정 결과이다. 측정된 채널 파워 결과는 -19dBm이다. 개발된 시스템의 송신기의 출력 특성은 표 1과 같다. MER 44.5dB, SNR 45dB, Phase Jitter 0.21, Amplitude Linearity 0.5dB 이다.



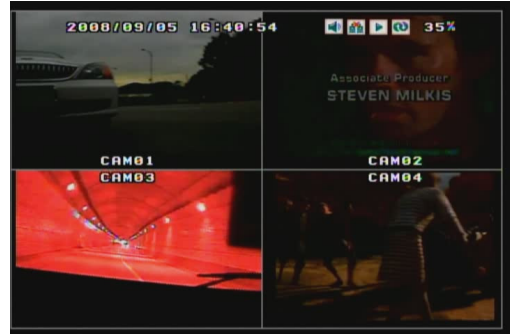
[그림 9] OFDM신호의 스펙트럼



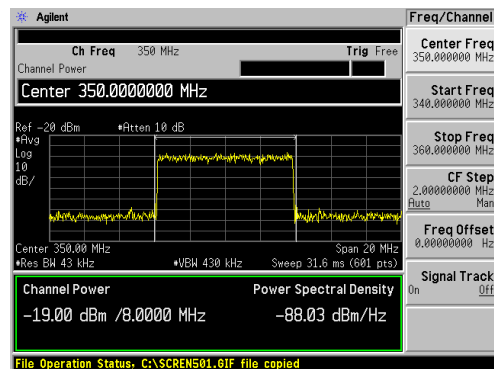
[그림 10] OFDM신호의 채널 대역폭

영상송수신 특성을 실험하기 위하여 SR사의 MPEG-2 엔코더를 사용하여 영상을 입력하여 송신한 후 SR사의 수신기를 이용하여 수신 실험을 하였다.

의 감쇄로 인한 오차율(error rate)을 고려 대상으로 한다. 따라서 송수신 환경에서의 잡음으로 인한 신호의 왜곡을 고려하지 않기 때문에 그림 12의 결과와 같이 선명한 영상 수신 데이터를 받을 수 있는 것으로 사료된다.



[그림 12] 터널 내부의 전송시스템에서 수신된 영상



[그림 11] OFDM신호의 채널 파워 측정

[표 1] 송신기의 출력 특성

구분	MER (dB)	SNR (dB)	Phase Jitter (RMS)	Amplitude Linearity (dB)
값	44.5	45	0.21	0.5

그림 12는 터널 내에서 영상을 송수신한 결과 화면이며, 송신한 영상이 손실 없이 수신됨을 확인할 수 있다. [9]에서 나타난 바와 같이 터널 내부의 전파 환경은 굴절 및 반사 또는 산란 등에 의한 원 신호의 페이딩 또는 감쇄가 발생 할 수 있으나, 지상에서의 송수신 환경과 같이 송수신 채널을 통한 잡음의 유입으로 인한 신호의 왜곡은 거의 발생하지 않는 것이 일반적이다. 또한 OFDM 방법을 이용한 데이터의 송수신은 거리에 따른 수신 신호

참고문헌

- [1] 안준오 외, “지하철 무선영상전송장치용 주파수 분배 방안 연구”, 정보통신부, 2007.
- [2] 김백현, 신덕호, “열차무선시스템 최신 연구 동향”, 철도학회, 07, 2004.
- [3] 정상국, 최갑봉, 안태기, 김백현, 박종철, 양동석, “18GHz 차지상간 양방향 영상전송시스템의 도로및 터널 구간에서 경로손실 특성”, 대한전기학회, 춘계학술대회.
- [4] 송기홍, “지하철 터널 형태에 따른 2.4GHz 대역 무선영상 신호의 페이딩 특성”, 한국해양정보통신학회, 제12권 제2호, pp223-230, 2007.
- [5] 김영수, “지하터널의 다중전파 환경에서 RFID 태그 인식을 최적화에 관한 연구”, 박사학위논문, 서울시립대학교, 2009.
- [6] 백중현, 김용규, 이창구, 박재영, “무선통신기반 차량 제어장치의 자동차 시험 분석”, 한국산학기술학회논문지, v.10, no.5, 2009.
- [7] 홍대기, “MB-OFDM UWB에서 효율적인 자동 이득 조절 장치”, 한국산학기술학회논문지, v.8, no.6, 2007
- [8] 최갑봉, “지하터널의 고속이동차량에서 OFDM에 의한 양방향 무선 광대역 영상전송 시스템의 구현”, 박사학위논문, 서울시립대학교, 2009.
- [9] YP Zhang, HJ Hong, “Ray-optical modeling of simulcast radio propagation channels in tunnel”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004.

정 상 국(Sang-Guk Jeong)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2000년 1월 ~ 현재 : (주)씨아이테크 연구소 (책임연구원)

<관심 분야>
멀티미디어 통신, 철도통신

남 명 우(MyungWoo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 혜전대학 전자캐드과 (교수)

<관심 분야>
신호처리, 회로설계, 마이크로프로세서

안 태 기(Tae-Ki An)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (박사수료)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (선임연구원)

<관심 분야>
멀티미디어 통신, 영상분석, 인공지능

이 영 석(Young-Seock Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 디지털방송공학과 (교수)

<관심 분야>
임베디드 시스템, SoC, 의용전자시스템

김 백 현(Baek-Hyun Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 (선임연구원)

<관심 분야>
이동통신, 멀티미디어통신, 철도통신, 열차제어

오 명 관(Myung-Kwan Oh)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (석사)
- 2002년 8월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사)
- 1993년 8월 ~ 1999년 2월 : 고려정보테크 (주) 정보통신연구소 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 혜전대학 디지털서비스과 부교수

<관심 분야>
영상처리, IT 서비스 등