

케이블망에서 UHDTV 콘텐츠 전송을 위한 MAC 프로토콜 설계 및 검증

노선식*, 최진수**, 김성훈**

요약

본 논문에서는 케이블망에서 UHDTV 콘텐츠를 전송하기 위한 MAC 프로토콜을 설계한다. 50Mbps의 케이블 방송채널을 통해 200Mbps 콘텐츠를 제공하기 위해 다수의 물리적 채널을 결합하는 채널 결합 기법을 적용한다. 이를 위해 Headend와 Set-Top Box(STB)는 결합 채널에 대한 정보를 공유할 수 있어야 한다. 제어 정보 공유 및 방송 채널 제어를 위한 MAC 프로토콜을 설계하기 위해 채널 결합 기반 케이블 방송망 구조 및 전송 구조를 제시하고, 제어 정보 전송을 위한 제어 메시지를 설계한다. Headend와 STB 간 제어 메시지 흐름을 제시하고, STB에서 처리 절차를 설계한다. OPNET을 통해 시뮬레이터를 개발하고, 설계한 MAC 프로토콜의 성능을 검증한다.

Design and Verification of MAC Protocol to Transmit UHDTV Contents in Cable Networks

Sun-Sik Roh*, Jin-Soo Choi**, Sung-Hoon Kim**

ABSTRACT

In this paper, we propose the MAC protocol to support UHDTV contents in cable broadcast networks. To transfer 200Mbps 8K UHDTV contents channel bonding are used and the information of bonded channel are shared between Headend and Set-Top Box(STB). We design the network architecture and the format of the control message. The information flow of control messages and the procedure at STB are proposed. We develop OPNET based simulator and verify the designed MAC protocol.

Key Words : UHDTV, Cable network, MAC protocol, Channel bonding, OPNET

* 광주대학교 정보통신공학과(✉ssroh@gwangju.ac.kr)

** 한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부

· 제1저자(First Author) : 노선식 · 교신저자(Correspondent Author) : 김성훈

· 접수일(2011년 1월 11일), 수정일(1차 : 2011년 2월 14일), 게재확정일(2011년 2월 17일)

I. 서론

디지털 방송 기술의 발달로 HDTV, IPTV, 3DTV 등 다양한 방법으로 고품질의 방송 서비스를 제공하고 있다. 더욱이 고품질 방송 콘텐츠에 대한 시청자들의 요구로 인해 방송 서비스는 완전 HDTV(High-Definition TV)가 제공하는 화질보다 4배에서 16배 이상 선명한 초고화질 비디오를 제공하는 UHD TV(Ultra HDTV)로 발전하고 있다[1-4].

UHD TV 콘텐츠는 3840 × 2160 해상도를 갖는 4K 콘텐츠와 7680 × 4320 해상도를 갖는 8K 콘텐츠로 구분할 수 있는데, 궁극적으로는 8K 콘텐츠를 제공하는 것이 목표이다.

8K UHD TV 비디오 영상은 비압축시 최대 20Gbps의 전송속도가 요구되면 압축하게 되면 200Mbps의 전송속도가 필요하다. 1024QAM이나 4096QAM을 사용할 경우 한 채널당 50Mbps와 80Mbps 이상의 전송 용량을 제공할 수 있으나 압축된 8K UHD TV 콘텐츠를 전송하기에는 부족하다. 8K UHD 콘텐츠를 케이블 방송망에서 제공하기 위해서는 물리적 채널을 결합하여 하나의 콘텐츠를 전송하는 채널 결합 기법을 사용해야 한다. 하지만 아직 케이블 방송망에서 채널 결합 기법을 사용하는 연구가 수행되지 않았다.

본 논문에서는 케이블 방송망에서 채널 결합 기법을 이용하여 8K UHD TV 콘텐츠를 제공하기 위한 MAC 프로토콜을 설계하였다. 이를 위해 케이블망에서 8K UHD TV 콘텐츠 전송 전략을 제시하였으며, 대역의 신호방식 기반 전송 방안을 위한 MAC 프로토콜을 설계하였다. 채널 결합 기반의 케이블 방송망 구조를 제시하였으며, 결합 채널 정보를 전송하기 위한 MAC 프레임 구조를 설계하였다. OPNET 기반 시뮬레이터를 개발하였으며, 이를 통해 설계된 MAC 프로토콜의 타당성을 검증하였다.

II. UHD TV 콘텐츠 전송

2.1 UHD TV 콘텐츠

UHD TV는 가정에서 70mm 영화 수준의 화질로 초고선명 비디오 다채널 오디오 서비스를 감상할 수 있는 차세대 실감방송 기술이다[1-4]. HDTV가 제공하는 화질보다 4배에서 16배 이상 선명한 초고화질 비디오를 제공하기 위해 화소수에 있어서 4K(3840×2160)와 8K(7680×4320)를 제공하며, 오디오는 10.1 ~ 22.2채널까지 제공한다.

화면이 커지고 휘도가 높아질수록 깜빡임 현상이 증가하기 때문에 화면 주사율에 있어서 HDTV 30Hz에서 60Hz로 높여서 제공하며, bit depth 24~36비트로 색을 표현한다. 컬러형식에서 4:2:2 이상으로 큰 화면에서 더욱 섬세하고 자연스러운 영상의 표현이 가능하다.

디스플레이의 크기가 같더라도 화소의 크기가 더욱 작아지게 되어 화소 간격을 느낄 수 없게 되며, 63인치 이상의 디스플레이에서 자연스러운 영상의 표현이 가능하다.

표 1. UHD TV 콘텐츠 특성
Table 1. Parameters of UHD TV Contents

Parameter	4K	8K	
YUV	4:2:2	4:2:2	
No. of Pixels	3840 ×2160	7680 ×4320(8K)	
Bits/pixel	10bit	10bit	
FPS	30	30	
Data Rate	Uncompress	5Gbps	20Gbps
	Compress	50Mbps	200Mbps

초고품질의 방송서비스를 제공하는 차세대 방송 기술인 UHD TV 기술을 통해 비디오 신호를 제공하기 위해서는 YUV 4:2:2, 픽셀 당 10비트, 30 fps를 기준으로 4K(3840×2160)와 8K(7680×4320) 해상도에 대해 압축하지 않았을 경우 각각 5Gbps와 20Gbps의 전송 속도가 요구된다(표1). 최근 압축기법을 이용하여 100배로 압축을 하는 경우에도 각각 50Mbps와 200Mbps 전송 속도가 요구된다[1,4].

2.2 UHD TV 콘텐츠 전송 방안

케이블망은 케이블 데이터망과 케이블 방송망으로 구분할 수 있다. 케이블 데이터망에서 데이터 전송은 DOCSIS[5] 규격을 따라 이루어진다. 8K UHD TV 콘텐츠가 대용량이기 때문에 다양한 콘텐츠가 공유 채널을 사용하는 케이블 데이터망보다는 케이블 방송망을 통해 8K UHD TV 콘텐츠를 전송해야 한다.

표 2. 8K UHD TV 콘텐츠 전송 방안
Table 2. Strategy to Transfer 8K UHD TV Contents

구분	1단계	2단계	3단계
망구조	케이블방송망	케이블방송망+신호채널	케이블방송망+케이블데이터망
전송 방식	Broadcasting	Broadcasting	Interactive Service Broadcasting
변조 방식	64/256/1024/4096QAM	64/256/1024/4096QAM	64/256/1024/4096QAM
최대 본딩 채널 수	4채널	4채널	4채널
제어 방식	Signalling	Signalling/MAC	MAC
계층	L1	L1/L2	L2
관련 표준	×	OpenCable/DOCSIS	DOCSIS
프로토콜	In-Band Signalling	Out-of-Band Signalling+DSG	OOB, DSG, DOCSIS 3.0
핵심 기술	채널결합기술 Frame Sequencing (L1)	채널결합기술 Frame Sequencing (L1/L2)	채널결합기술 Frame Sequencing (L2)

채널 결합 정보를 전송하는 방식에 따라 케이블 방송망에서 8K UHD TV 콘텐츠 전송은 3단계로 구분할 수 있다(표2). 1단계는 대역내 신호방식 기반의 전송방안이다. 기존 케이블 방송망이 단방향 분배망이라는 전송 특성을 유지할 수 있는 방안으로, 적용이 용이하다는 장점을 갖는다. 2단계 전송 방안은 기존 케이블 방송 채널이외의 신호 채널을 이용하여 제어 정보를 전송하는 대역외 전송 방안이다. 제어 정보 전송은 기존 케이블 방송망에서 사용하는 OOB(Out-Of-Banding) 방식[6-9]이나 DSG(DOCSIS Settop Gateway)[10] 기반 방식을 사용할 수 있다. 초기에는 OOB 방식의 도입이 용이하지만 케이블 망이 케이블 방송망과 케이블 데이터망을 융합하는 방향으로 개발되고 있는 점을 고려해 보면 장기적으로 DSG 기반 전송방식이 적합하다. 3단계는 상향 채널이 존재하는 양방향 방송 서비스를 제공하기 위한 전송방안이다. OOB와 DSG 방식을 이용할 수 있으며, 케이블 데이터망과 케이블 방송망이 융합된 환경에서는 DOCSIS 기반 전송 구조가 적합하다.

III. MAC 프로토콜 설계

본 논문에서는 채널 결합 기법을 이용하여 8K UHD TV 콘텐츠를 전송하기 위해 DSG 기반의 MAC 프로토콜을 설계한다.

3.1 전송구조

8K UHD TV 콘텐츠 전송을 위한 전송 구조는 그림 1과 같다. 비디오 및 제어 서버로부터 전송된 콘텐츠와 제어 정보는 외부 망을 통해 Headend로 전송된다. Headend는 제어 정보 처리를 위한 CMTS와 콘텐츠 전송을 위한 비디오 처리기(Video Processor)로 구성

된다. CMTS는 DSG 프로토콜을 처리하기 위한 기능을 수행하며, 일반적인 DSG 제어 정보와 채널 결합 정보를 DOCSIS 채널을 통해 STB로 전송한다. STB는 DSG 프로토콜을 처리하기 위해 eCM 기능을 포함한다. 케이블 방송망 기반 구조이기 때문에 Headend의 비디오 처리기는 방송 QAM 채널을 통해 해당 STB에 콘텐츠를 방송한다.

채널 결합 기법을 제공하기 위한 STB의 구조는 그림2와 같다.

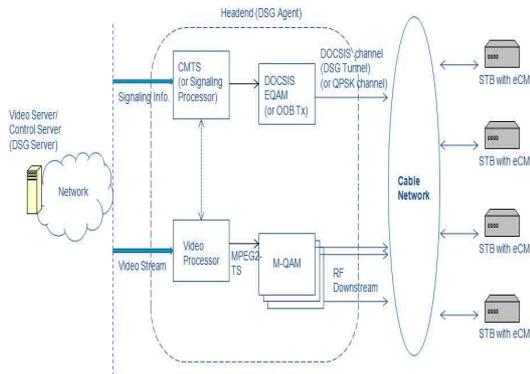


그림 1. 8K UHD TV 콘텐츠 전송 구조
Fig. 1 Network Architecture

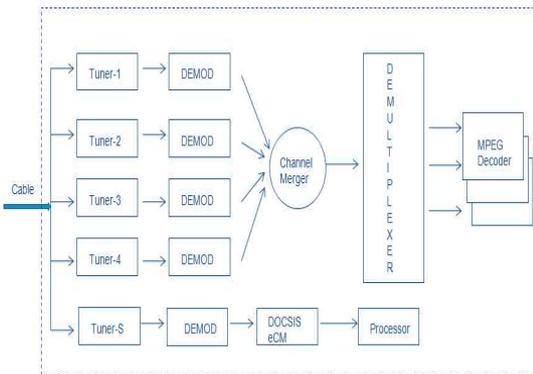


그림 2. STB 구조
Fig. 2 STB Block Diagram

각각의 QAM 채널에 대한 수신기가 존재하며, 최대 4개의 채널을 결합 할 수 있는 구조이다. DOCSIS 채널을 통해 제어 정보를 수신하기 위해 DOCSIS 채널에 대한 수신기가 한 개 존재한다. Headend에서 각 채널로 분할하여 전송된 콘텐츠는 STB의 채널 결합기 (Channel Merger)에 의해서 하나의 콘텐츠로 결합된다.

Headend와 STB 사이에서 채널 결합 제어 정보를 전송하기 위해 BDCD (Broadcasting Downstream Channel Description) 메시지를 정의하였다. 본 논문에서는 DSG 기반으로 결합 채널을 제어하기 위한 MAC 프로토콜을 설계하기 때문에 BDCD 메시지는 DOCSIS Message Header와 DOCSIS Management Message Header 구조를 갖는다. BDCD 메시지의 TLV 값은 표3과 같다.

3.2 제어 메시지 구조

표 3. BDCD 메시지 TLV 값
Table 3. TLV of BDCD Message

Type	Length (Byte)	Name
1		Channel Bonding Information
1.1	1	Broadcast Service ID (or Program ID)
1.2	1	Bonding Type 0x00 : Not Bonding 0x01 : 2 Channel Bonding 0x02 : 3 Channel Bonding 0x03 : 4 Channel Bonding
1.3	1	UHD Mode 0x00 : Normal 0x01 : HD 0x02 : 4K 0x03 : 8K
1.4	1	QAM Mode 0x00 : 64QAM 0x01 : 64QAM 0x02 : 64QAM 0x03 : 64QAM
1.5	4	Bonding Channel List Entry

3.3 정보 흐름도와 처리 절차

BDCD 메시지를 이용한 Headend와 STB 사이의 메시지 흐름도는 그림 3과 같다. 케이블 방송망 구조가 단방향 망이기 때문에 결합 채널 설정은 Headend에서 이루어지며, 설정 정보를 BDCD 메시지를 통해 주기적으로 STB에 통보한다.

망을 초기화할 때는 제어 채널의 설정을 위해 'SYNC' 메시지를 전송한다. 망이 초기화된 이후에도 망의 동기를 맞추기 위해 주기적으로 'SYNC' 메시지를 전송한다. 망 설정 및 Headend에 관련된 정보를 전송하기 위해 'REG' 메시지를 전송한다. 단방향 방송 서비스를 제공하기 때문에 'REG' 메시지는 Headend에서 STB로 전송된다.

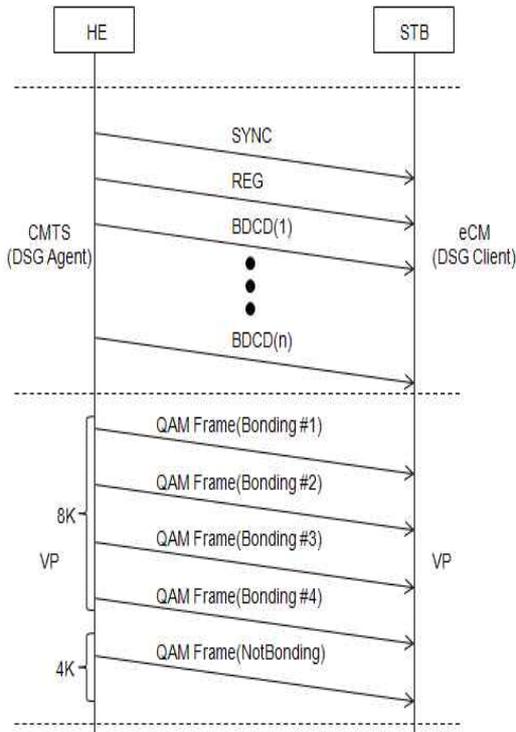


그림 3. 신호 메시지 흐름
Fig. 3 Control Message Flow

등록이 완료되면 방송 서비스 채널 및 물리 채널 정보를 전송하기 위해 'BDCD' 메시지를 전송한다. 'BDCD' 메시지는 n개로 분할해서 전송할 수 있으므로, 분할된 n개의 메시지를 모두 수신해야 한다. Headend는 망을 초기화할 때 'BDCD' 메시지를 임의의 m번 연속적으로 송신한 후 데이터 프레임을 전송한다. 방송 서비스가 정상적으로 제공되는 중에 결합 채널이나 방송 서비스에 대한 물리적인 채널이 변경되면, 'BDCD' 메시지의 'Configuration Change Count'를 증가시켜서 전송한다. 변경된 'BDCD' 메시지를 연속적으로 임의의 k번 수신한 후 채널을 변경한다. 그림 4는 STB에서 DOCSIS eCM의 동작을 나타낸다.

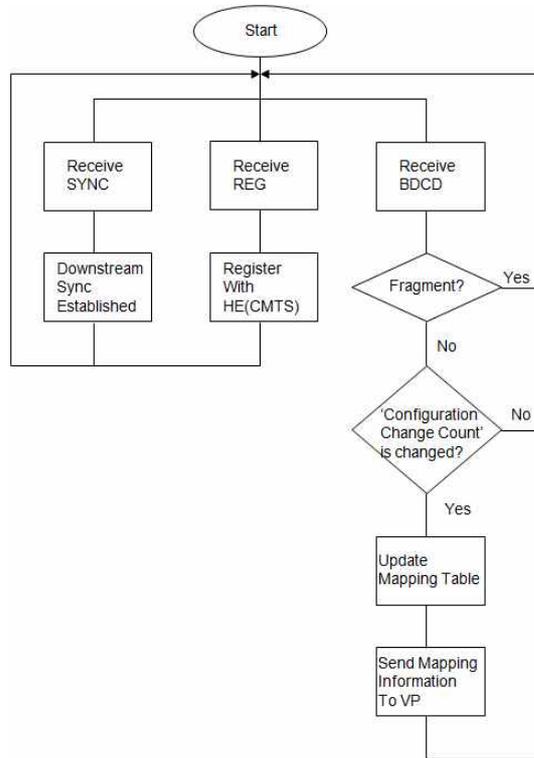


그림 4. STB의 처리 절차
Fig. 4 Message Process of STB

IV. 시뮬레이터 개발 및 성능 검증

설계된 프로토콜의 검증을 위해 OPNET [11,12] 기반 시뮬레이터를 개발하였다. OPNET 기반 시뮬레이터는 Project, Network 모델, Node 모델, Process 모델, Packet 모델, Link 모델로 구성된다.

Network 모델은 그림5와 같다. 전체 망은 3개의 비디오 서버, 하나의 Headend(CMTS 내장), 6개의 STB(eCM 내장) 그리고 6개의 DTV로 구성되어 있다. 비디오 서버는 설정에 따라 8K UHDTV 콘텐츠 또는 4K UHDTV 콘텐츠를 생성할 수 있다. 비디오 서버와 Headend간에는 양방향 점대점 링크로 연결되어 있으며, 200Mbps의 전송 속도를 갖는다. Headend와 STB는 양방향 버스로 연결되어 있고, STB의 수는 임의로 확장이 가능하다. STB로 전송된 DSG 메시지와 BDCD 메시지는 STB의 eCM블록에서 처리되며, 데이터는 DTV로 전송된다.

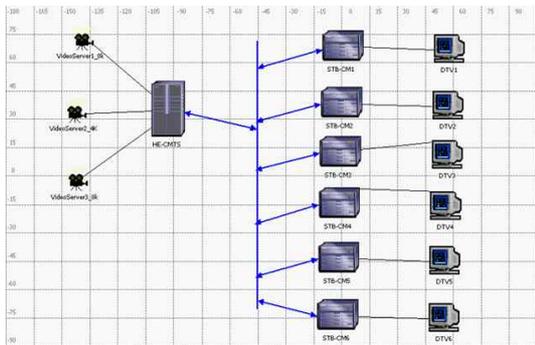


그림 5. Network 모델
Fig. 5 Networks Model

시뮬레이터의 Node 모델, Process 모델, Packet 모델, Link 모델의 개발 모듈은 표 4와 같다.

표 4. 시뮬레이터 모듈
Table 4. Simulator Module

Model	Module Name
Node Model	8K/4K Video Server Node
	HE-CMTS Node
	STB-eCM Node
	DTV Node
Process Model	Video Server Traffic Generation Process
	Video Server MAC Process
	HE DOCSIS(CMTS) Process
	HE Video Processor Process
	STB DOCSIS(CM) Process
	STB Video Processor Process
Packet Model	BDCD Packet
	1024 QAM Frame Packet
Link Model	UHDDOC BUS Link
	UHDDOC PTP Link

8K UHDTV 콘텐츠를 수신하도록 설정된 STB에서 채널 결합 기법을 적용한 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림6을 통해 망 전체적으로 12개의 1024QAM이 구성되어 있고, 그 중 결합 채널 설정된 채널 1,2,3,4를 통해서 데이터를 수신하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 그림 7을 통해서 생성된 8K UHDTV 콘텐츠가 4개의 결합 채널을 통해 균등하게 전송되어 수신되고 있음을 확인할 수 있다. 결국 그림 6과 그림 7을 통해 설계된 MAC 프로토콜에 의해 채널 결합 기법이 정상적으로 적용되고 있으며, 8K UHDTV 콘텐츠가 정상적으로 전송되고 있음을 검증할 수 있다. 그림 8을 통해 4K UHDTV 콘텐츠에 대해 STB에서 단일 채널을 통해 데이터를 송수신함을 확인할 수 있다.

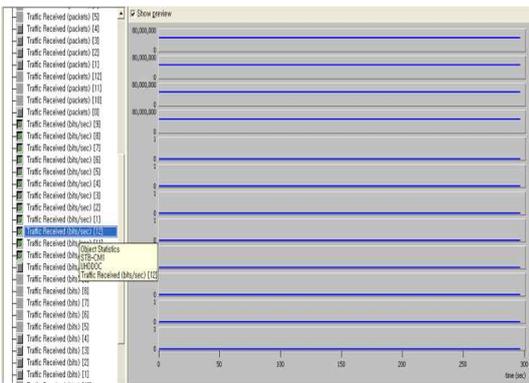


그림 6. STB에서 채널별 수신량
Fig. 6 Data Rate per Channel at STB

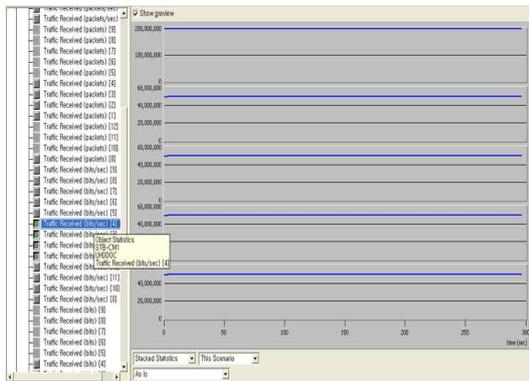


그림 7. 8K UHDTV 콘텐츠 송수신
Fig. 7 Transmission of 8K UHDTV Contents

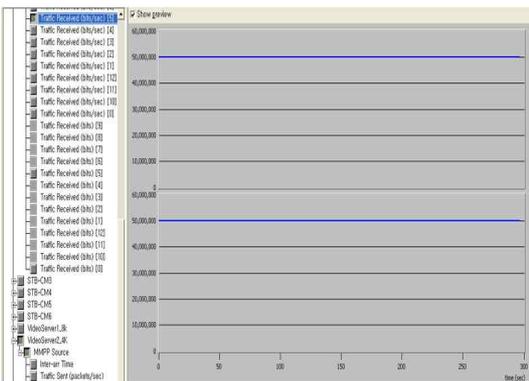


그림 8. 4K UHDTV 콘텐츠 송수신
Fig. 8 Transmission of 4K UHDTV Contents

V. 결론

시청자들의 실감 방송에 대한 요구로 인해 2K(2048×1080)로 대표되는 HDTV에 대한 기술 개발이 활발하게 진행되어 현재 전세계적으로 HDTV방송이 서비스 되고 있다. 하지만 시청자들의 고품질 방송과 대규모 디스플레이에 대한 요구는 HDTV를 넘어 UHDTV에 대한 기술 개발을 초래하였다.

본 논문에서는 8K UHDTV 콘텐츠를 전송하기 위해 채널 결합 기법을 사용하는 케이블 방송망에서 결합 채널 제어를 위한 MAC 프로토콜을 설계하였다. 제어 정보 전송을 위해 BDCD 메시지를 설계하고 신호 메시지 흐름을 제시하였다. OPNET 기반 시뮬레이터를 통해 Headend와 STB간에 방송 채널에 대한 채널 결합 제어가 정상적으로 이루어지고 있음을 검증하였다.

참고문헌

- [1] 안충현, "UHD(Ultra High Definition) TV 기술개발 동향," *방송공학회지* 제13권 제1호, pp.97-112, 2008.3
- [2] 정세운, 조숙희, 김성훈, 이용돈, 서정일, 강경옥, 박상규, 최진수, "UHDTV 서비스 기술 특허 동향 분석," *전자통신동향분석* 제24권 제1호 pp.75-89, 2009.2
- [3] 권정아, 김성민, 박광만, "실감미디어에 대한 소비자 수용도 분석 및 산업전망", *전자통신동향분석* 제 24권 제2호 pp.1-8, 2009.4
- [4] Masayuki Sugawara, "Super HI-Vision - research on a future ultra-HDTV system," *EBU TECHNICAL REVIEW*, 2008.
- [5] *Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0, MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification*, CM-SP-MULPIv3.0-113 -100611, Cable Television Laboratories, Inc, June 2010
- [6] *Out-of-Band Transger Interface Specification*, OC-SP-OOB-I01-05118, OpenCable, Nov. 2005

[7] *Digital Broadband Delivery System: Our of Band Transport Part 1: Mode A*, ANSI/SCTE 55-1, SCTE, 2009

[8] *Digital Broadband Delivery System: Our of Band Transport Part 2: Mode B*, ANSI/SCTE 55-2, SCTE, 2008

[9] *Digital Audio Visul Council 1.4.1 Specification*, <http://www.davic.org>, 1999

[10] *DOCSIS Set-top Gateway (DSG) Interface Specification*, CM-SP-DSG- 115-100611, Cable Television Laboratories, Inc, June 2010

[11] www.opnet.com

[12] 신상헌, 김철, *OPNET 중급입문*, 홍릉과학출판사, 2010

감사의 글

본 논문은 2010년도 방송통신위원회, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다 [과제 관리번호: 2008-F-011, 과제명: 차세대 DTV 핵심기술 개발].



최진수(Jin-Soo Choi)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1996년~현재 한국전자통신연구원 실감미디어연구팀장
※ 관심분야: 멀티미디어방송, 영상통신, 실감방송



김성훈(Sung-Hoon Kim)

1996년 국민대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2008년 국민대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

2000년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
※ 관심분야: 디지털 방송시스템, 디지털 통신, UHDTV, 3DTV

저자소개



노선식(Sun-Sik Roh)

1995년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
2002년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)

2002년~현재 광주대학교 정보통신학과 교수
※ 관심분야: 네트워크, UHDTV, RFID/USN, 네트워크 보안