

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제25권 제5호, 2020년 9월 (JBE Vol. 25, No. 5, September 2020)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2020.25.5.789>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

5G 이동통신망을 전송채널로 활용하는 휴대형 4K UHD 방송중계 장치

백 정 훈^{a)†}, 김 용 석^{b)}

Portable 4K UHD Broadcasting Device using 5G Mobile Network as a Transmission Channel

Junghoon Paik^{a)†} and Yongsuk Kim^{b)}

요 약

본 논문에서는 5G 이동통신망을 전송채널로 활용하는 휴대형 4K UHD(Ultra High Definition) 방송중계 장치의 프로토콜 구조를 제안하고 시제품을 구성하여 5G 이동통신망을 통한 방송중계 시험을 실시한다. 방송중계 시험을 통하여 4K UHD 인코더의 인코딩 시간은 최소 86.28ms 부터 최대 88.41ms이며, 5G 이동통신망에서의 중계지연 시간은 평균 13.645ms, 지연변이는 17.49ms이고 Glass-to-Glass 지연시간은 평균 289.90ms, 지연변이는 27.63ms로 측정됨을 확인한다. 개발된 시제품을 활용한 서울과 안성간의 중계 시험을 통해 5G 이동통신망을 통한 4K UHD 방송중계의 가능성을 확인한다.

Abstract

In this paper, we propose a protocol structure of a portable 4K Ultra High Definition (UHD) broadcast relay device that utilizes a 5G mobile communication network as a transport channel, and construct a prototype to conduct a broadcast relay performance test through a 5G mobile communication network. The test shows that the encoding time of the 4K UHD encoder is from a minimum of 86.28ms to a maximum of 88.41ms, the relay delay time in the 5G mobile communication network is 13.645ms on average, the delay variation is 17.49ms, and the glass-to-glass delay time is 289.90 on average, the delay variation is 27.63ms. Using the developed prototype, a relay test between Seoul and Anseong is conducted, and the possibility of 4K UHD broadcasting through a 5G mobile communication network is confirmed.

Keyword : 5G mobile network, 4K, UHD, Portable, Broadcasting device

a) 동아방송예술대학교 방송기술계열(Department of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts)

b) (주)로와시스(Lowasis)

† Corresponding Author : 백정훈(Junghoon Paik)

E-mail: jhpaik@dima.ac.kr

Tel: +82-31-670-6734

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>

· Manuscript received July 20, 2020; Revised August 18, 2020; Accepted August 18, 2020.

I. 서 론

방송과 통신의 융합으로 특징되는 ATSC3.0의 도입으로 방송 콘텐츠의 전송채널로 통신망이 적용되는 상황^{[1]-[3]}에서 100Mbps에서 최대 20Gbps의 전송률을 제공하는 초광대역성(eMBB: enhanced Mobile Broadband), 1ms 수준의 지연시간(latency)을 제공하는 고신뢰/초저지연 통신(URLLC: Ultra Reliable & Low Latency Communication), 1,000,000/km²의 연결 밀도(connection density)를 제공하는 대량연결(mMTC: Machine Type Communication)로 특징되는 5G 이동통신망의 출현은 방송환경에 획기적인 변화를 예고하고 있다^[4].

[5]에서는 5G 이동통신망의 점대다중점(point to multi-point) 기능을 이용하여 방송서비스를 제공하기 위한 방안을 제시하고 있고, [6]에서는 5G 이동통신망을 통해 UHD와 같은 대용량의 데이터를 무선전송하기 위한 구조 및 시스템을 H2020 5G City Project를 통해 제안하고 있다. [7]에서는 지상파 방송 서비스를 제공하기 위한 5G의 무선 접속 네트워크(Radio Access Network)의 구조를 제시하고 있으며, [8]에서는 5G의 28 GHz 대역을 통해 500 Mbps 4K UHD 서비스를 셀 경계 100 m에서 제공할 수 있음을 보여주고 있다.

한 편 수십 Mbps 이상의 대용량 전송기능이 요구되는 4K 및 8K UHD 영상의 출현으로 이를 충족시킬 수 있는 중계 방식이 부재한 상황에서 5G 이동통신망의 초광대역성은 무선 방송중계의 가능성을 제시한다. 또한, 5G의 초저지연 특성은 실시간성이 요구되는 방송중계의 성능을 제고시킬 수 있으며, 경기장과 같이 많은 사람들이 모이는 곳에서 이루어지는 중계의 특성을 고려하면 5G의 대량연결 특성은 방송중계 환경에 적합한 요인이다. 이러한 예로서 2018년 US 오픈에서 AT&T, Ericsson, FOX Sports, Fox Innovation Lab, 인텔이 팀을 이루어 5G를 통해 4K 동영상을 서비스하였다.

최근 미국에서는 5G 이동통신망을 이용한 4K UHD 휴대형 방송중계 장치가 출시되었으며 이 장치는 8개의 5G 모뎀을 내장하여 최대 70Mbps의 전송률을 제공한다[표 1]. 또한, 5G 이동통신망에 최적화된 전송프로토콜을 자체적으로 개발하여 통신망의 상태에 따라 전송률을 가변시킨

는 적응형 스트리밍 방식과 전방오류제어 및 손실된 패킷을 복원하는 기능을 제공하고 있으며 5G 이동통신망의 장애나 성능저하시에도 서비스 품질을 보장하기 위한 채널결합 기능을 제공한다.

표 1. 이동통신망을 이용한 휴대형 방송중계장치 기능

Table 1. Functions of portable broadcasting device using mobile Network

Video Interface	4xSDI (12G/3G/HD/SD)
Video Encoding	8/10-bit H.265/HEVC, H.264
Audio Encoding	AAC-LC
Data Connection	5G/4G /3G and internal WiFi 2.4/5GHz, 802.11ac/b/g/n support, IP Satellite (KA/BGAN)
Transport	Automatic Adaptive Bit Rate (ABR), automatic Forward Error Correction (FEC) and other lost packet recovery
Simultaneous Bonding	Up to 14 network links: 8 x internal 5G/4G/3G dual-SIM modems + 2 external 5G/4G/3G modems + 2 internal WiFi and 2 Ethernet ports
Internal Battery Run Time	4 hours
Control	On-unit / Remote monitoring & management
Social Support	Supports live streaming to social media platforms

본 연구에서는 5G 이동통신망의 출현에 따라 5G 이동통신망을 전송채널로 사용하면서 4K UHD 영상을 중계할 수 있는 방송중계 장치의 구조를 제안한다. 제안하는 방송중계 장치는 중계과정에서 발생될 수 있는 지터(jitter)를 최소화 하기 위하여 RTP를 적용하고, 전송용량을 증대시키기 위한 채널결합 기능과 무선채널의 품질저하에 따라 다른 전송채널을 선택하는 채널절체(channel switch) 기능을 제공한다.

본 논문의 구성은 II장에서 중계장치의 구조 및 기능을 제시하고, III장에서는 중계장치의 성능을 기술하며 IV장에서 결론을 도출한다.

II. 방송 중계장치 구조 및 기능

1. 방송 중계장치 구조

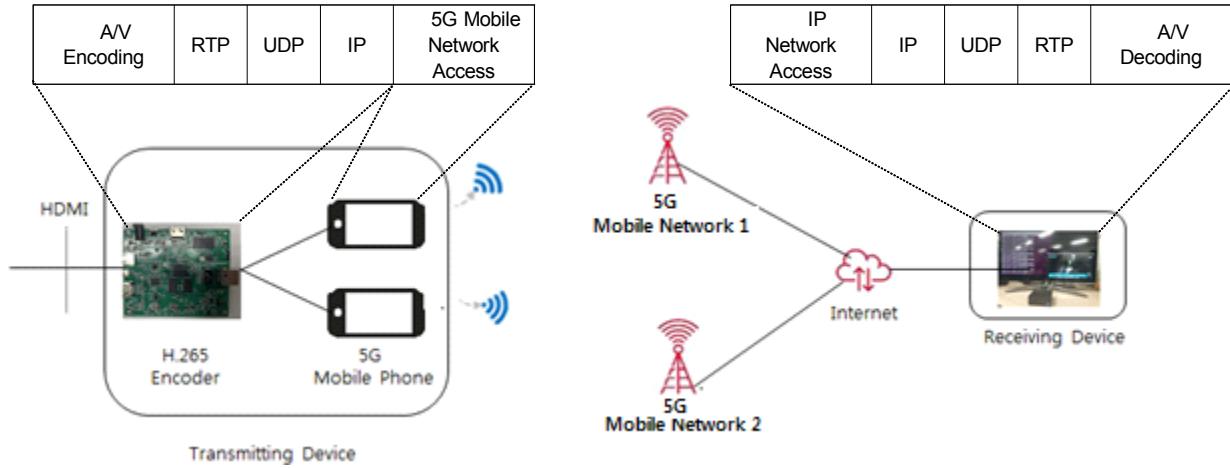


그림 1. 중계장치 구조 및 프로토콜

Fig. 1. Portable Broadcasting Device Structure and Protocol

1.1 프로토콜 구조

방송 중계장치는 송신측과 수신측으로 구성되며 송신측의 프로토콜 구조는 비디오 및 오디오를 압축하는 인코딩 계층과 중계과정에서 발생되는 지터를 최소화하기 위한 RTP 계층 및 인터넷 전송을 위한 UDP(User Datagram Protocol) / IP(Internet Protocol) 계층과 5G 이동통신망 접속기능을 제공하는 계층으로 구성된다. 수신측 장치는 인터넷을 통해 송신측의 중계데이터를 수신하며 이를 위하여 인터넷 접속을 위한 계층과 RTP 및 압축을 해제하는 디코딩(decoding) 계층으로 구성된다[그림 1].

송신측의 프로토콜 중 인코딩 계층부터 IP 계층까지는 H.265 인코더에서 구현하며, 5G 이동통신망 접속계층 기능은 현재까지 5G 이동통신망 접속기능을 제공하는 모뎀이 부재하므로 5G 모바일 단말기를 통해 구현하며, 모바일 단말기의 USB(Universal Serial Bus) 테더링(tethering) 기능을 통해 인코더와 인터페이스 하는 방식으로 구성한다.

1.2 인코더 구조

[그림 2]는 H.265 인코더 및 내부구조를 나타낸다. 인코더의 기능은 SoC(System on Chip) 기반으로 구현되며

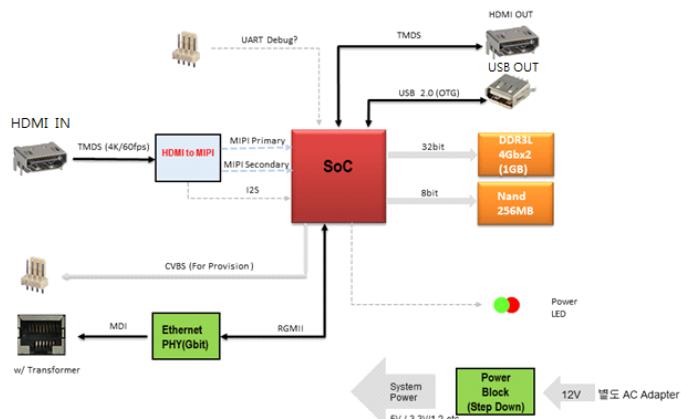


그림 2. 인코더 및 인코더 구조
 Fig. 2. Encoder and encoder structure

HDMI(High Definition Media Interface)를 통해 수신된 테이터를 H.265로 인코딩 하고 RTP, UDP, IP 패킷(packet)으로 캡슐화(encapsulation) 하여 USB 인터페이스를 통해 출력한다.

[표 2]는 인코더의 사양을 나타낸다.

표 2. 인코더 사양

Table 2. Specification of Encoder

Category	Function	Specification
SoC	Ambarella S5L SoC	1GHz ARM Cortex-A53 CPU,DSP,ISP H.265, H.264 Encoder
I/O	A/V Output	HDMI 2.0
	A/V Input	HDMI 2.0
	USB	USB2.0(Type A)
Network	Wireless	WiFi, IEEE802.11 a/b/g/n/ac(2.4GHz/5GHz)
Memory	Ethernet port	10/100/1000 Mbps
	Flash ROM	NAND 256MB
	DDR3L	4Gbit x 2

1.3 소프트웨어 구조

소프트웨어는 [그림 3]과 같이 커널(Kernel), 디바이스 드라이버(Device driver), 응용 프로그램(Application program)으로 구성되며 디바이스 드라이버는 입력신호컨버터(Input Signal Converter) 디바이스 드라이버와 인코더 디바이스 드라이버로 구성되고, 응용 프로그램은 입력신호 컨

버터 및 인코더 관리(Input Signal Converter & Encoder Management) 응용 프로그램 및 스트리밍(Streaming) 응용 프로그램으로 구성된다.

1.3.1 입력 신호 컨버터 디바이스 드라이버

입력 신호 컨버터는 카메라, 셋톱박스 등과 같이 외부장비로부터 입력 받는 HDMI 신호를 인코더가 처리할 수 있는 MIPI(Mobile Industry Processor Interface) 신호로 변환하는 기능을 수행하며, 입력 신호 컨버터 디바이스 드라이버는 입력 신호 컨버터의 상태를 읽거나 설정을 하고 응용 프로그램과 상호작용하는 기능을 수행한다.

1.3.2 인코더 디바이스 드라이버

인코더는 입력 신호 컨버터에서 입력 받는 MIPI 신호를 H.264 또는 H.265 인코딩 방식을 사용하여 인코딩하는 기능을 수행한다. 인코더 디바이스 드라이버는 인코더의 상태를 읽거나 설정을 위해 커널에 존재하며, 응용프로그램과 상호작용한다.

1.3.3 입력 신호 컨버터 및 인코더 관리 응용 프로그램

입력 신호 컨버터 및 인코더 관리 응용 프로그램은 입력 신호의 정보를 수집하여 입력 신호 컨버터와 인코더의 동작에 필요한 값을 설정하는 기능을 수행한다.

1.3.4 스트리밍 응용 프로그램

스트리밍 응용 프로그램은 인코더에서 인코딩된 데이터

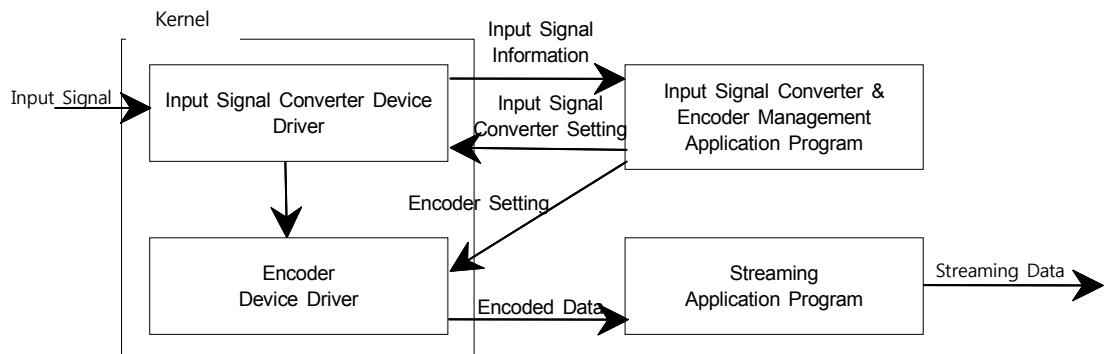


그림 3. 소프트웨어 구조

Fig. 3. Software structure

를 네트워크를 통해 수신기에 전송하는 기능을 수행한다.

의 채널상태를 모니터링 하고, 필요한 경우 다른 이동통신망으로 변경하는 채널절체 기능을 제공한다[그림 5].

2. 중계장치 기능

2.1 채널결합

중계장치는 다수개의 5G 이동통신망과 접속되므로 하나의 이동통신망을 통해 중계하는 경우 전송률이 부족한 경우는 다른 이동통신망을 통해 동시에 전송되게 하는 채널 결합 기능을 제공한다[그림 4]. 다중 이동통신망을 통해 중계하는 경우 발생될 수 있는 수신 패킷의 순서 뒤바뀜 현상은 RTP의 순서 재배열 기능을 적용한다.

2.2 채널절체

중계장치는 중계품질을 제고하기 위하여 5G 이동통신망

III. 성 능

1. 4K UHD 인코딩 시간

[표 3]은 4K UHD 인코딩 시간을 측정하기 위한 시험조건 및 결과를 나타낸다. 시험에 활용한 비디오는 MKV (Matroska Multimedia Container) 형식의 MPEG-DASH (Moving Picture Expert Group-Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)이며, 시험결과 인코딩 시간은 86.23ms에서 88.40ms이고, 수신측에서의 디코딩 시간을 포함한 인

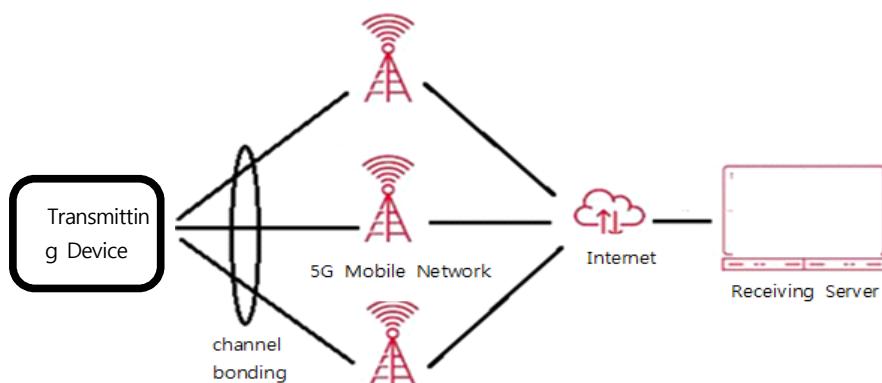


그림 4. 채널결합
 Fig. 4. Channel bonding

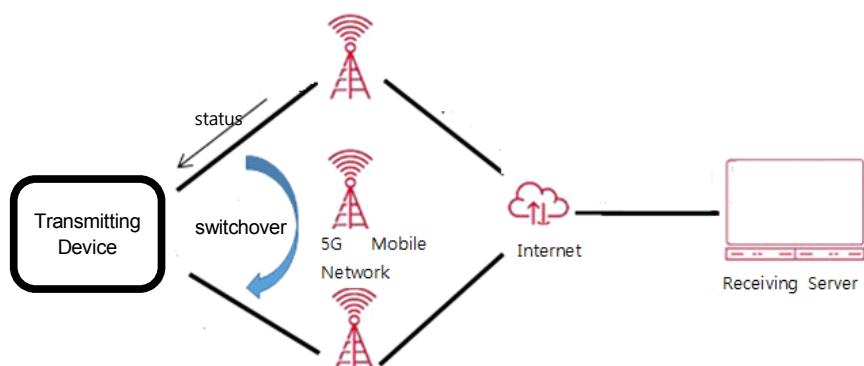


그림 5. 채널 절체
 Fig. 5. Channel Switching

코딩 및 디코딩 시간은 평균 233ms 이다.

표 3. 4K UHD 인코딩 시간 시험환경 및 결과

Table 3. Test condition and result for 4K UHD encoding time

Audio/Video	Encoder	4K UHD Encoding Time
Format: MKV Video: 3840x2160p 60fps, H.264, 25 Mbps Audio: 48 kHz, 2ch, MP3, 384 kbps	3840x2160p 30fps HEVC, Main Profile @ Level 5.1, IP mode Video bit rate 35Mbps(VBR) AAC audio	86.23 ~ 88.40 msec (233 mses, encoding to decoding time)

2. 4K UHD 인코딩률

4K UHD 인코더의 인코딩률을 확인하기 위하여 [표 4]와 같이 인코더에서 인코딩률을 35Mbps로 설정하여 인코딩을 수행하고 수신서버에서의 인코딩률을 확인한다.

표 4. 4K UHD 인코딩 전송률

Table 4. 4K UHD encoding rate

Audio/Video	Encoder setting
Format: MKV Video: 3840x2160p 60fps, H.264, 25 Mbps Audio: 48 kHz, 2ch, MP3, 384 kbps	3840x2160p 30fps HEVC, Main Profile @ Level 5.1, IP mode Video bit rate 35Mbps(VBR) AAC audio

[그림 6]은 수신서버에서의 인코딩률 분포로서 평균 값

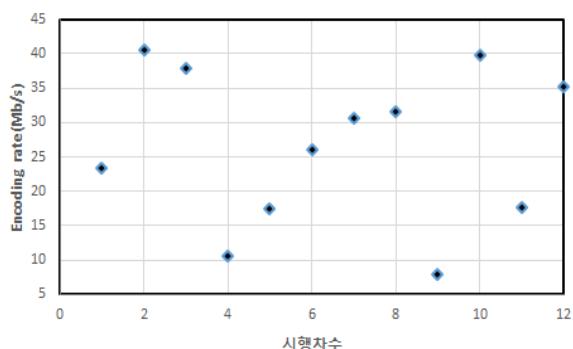


그림 6. 인코딩률 분포

Fig. 6. Encoding rate distribution

은 26.54Mbps로 측정되어 송신측에서 설정한 35Mbps 이하로 측정됨을 알 수 있다.

3. 전송채널 지연

5G 이동통신망의 전송지연 시간을 측정하기 위한 구성도는 [그림 1]과 같다. 송신측은 서울시 송파구에 위치하며 PC와 5G 모바일 폰을 USB 테더링을 통해 KT 이동통신망에 접속되고 수신측 서버는 동일한 장소에서 SK Broadband 인터넷에 연결된다. 시험에 사용된 4K 콘텐츠는 [표 5]의 특성을 갖는 PCAP(Packet Capture) 파일이며 유의미한 수치를 도출하기 위하여 400회의 전송시험을 실시한다.

표 5. PCAP 파일 특성

Table 5. Characteristic of PCAP file

PCAP file
ROUTE/IP Video: 3840x2160p 60fps, HEVC, 17Mbps Audio: 48kHz, MPEG-H

[그림 7]은 5G 이동통신망에서의 전송지연 분포를 나타내며 전송지연의 평균 값과 지연변이(delay variation)는 [표 6]에 표시된다. 지연변이는 지연의 평균 값 μ 와 표준편차(standard deviation) σ 의 비율인 $\frac{\sigma}{\mu}$ 로 정의한다. 전송지연은 0.2ms에서 209.7ms 까지 분포하는 것으로 측정됨으로서 지연변이가 낮지 않지만 이동통신망 뿐만 아니라 best-effort 서비스 특성을 갖는 인터넷망에서의 지연이 포

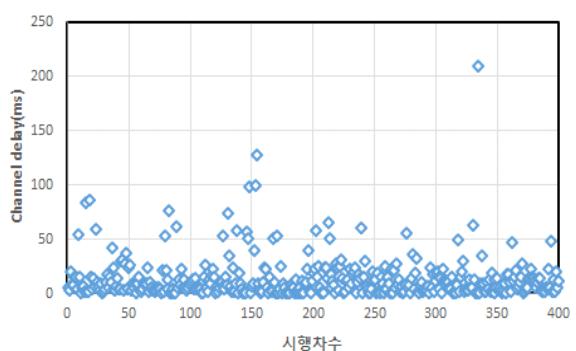


그림 7. 5G 이동통신망 전송지연 분포

Fig. 7. Transmission delay distribution in 5G mobile network

합된 것을 고려한다면 방송중계의 전송채널로 적용은 가능하다고 판단된다. 전송채널에서의 지연 평균 값은 13.65ms, 표준편차는 19.42ms, 지연변이는 1.42로 측정된다.

표 6. 5G 이동통신망 전송지연 평균 및 지연변이
 Table 6. Transmission delay and delay variation in 5G mobile network

Item	Performance
Transmission delay average	13.65ms
Standard deviation	19.42ms
Delay variation	1.42

4. Glass-to-Glass 지연

송신측 카메라에서 수신측 TV 까지의 전체 지연시간인 Glass-to-Glass의 지연시간을 측정하기 위한 구성은 이전항목인 3.전송채널 지연의 구성과 동일하다. [그림 8]과 [표 7]은 Glass-to-Glass의 지연분포와 지연시간을 나타낸다. 평균 지연시간은 289.90ms로서 기존의 4G 이동통신망을 사용한 방송중계장치의 지연시간이 0.5sec 수준임을 고려하면 관련성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

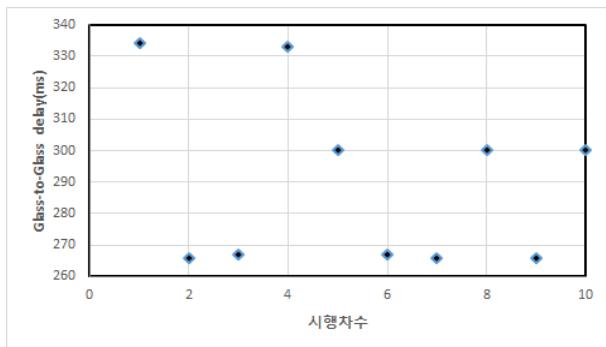


그림 8. Glass-to-Glass 전송지연 분포
 Fig. 8. Glass-to-Glass delay distribution in 5G mobile network

표 7. 전체지연 평균 및 지연변이
 Table 7. Glass-to-Glass delay and delay variation in 5G mobile network

Item	Performance
Glass-to-Glass delay average	289.90ms
Standard deviation	26.21ms
Delay variation	0.09

Glass-to-Glass 지연시간은 송신측에서의 인코딩 시간, 5G 이동통신망과 인터넷에서의 전송시간, 수신측에서의 디코딩 시간, 송신측과 수신측에서의 버퍼링 시간으로 구성되며 이전 시험결과를 통하여 송신측에서의 인코딩과 수신측에서의 디코딩 시간의 합이 233ms, 이동통신망과 인터넷에서의 지연이 13.65ms 이므로 Glass-to-Glass 지연시간 중 80%가 인코딩과 디코딩 시간임을 확인할 수 있다. 따라서 중계품질을 개선하기 위해서는 인코딩과 디코딩 시간을 줄이기 위한 방안이 요구되며 특히 인코딩 시간에 비하여 디코딩 시간이 약 1.7배가 되므로 디코딩 시간을 낮추기 위한 방안이 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 수신서버에서 수신되는 패킷을 저장하는 버퍼의 크기 및 버퍼에서의 대기시간을 줄이기 위한 서비스 방식이 도출되어야 하며 인코딩과 디코딩 알고리듬 적용시 병렬화 방식 등을 통해 처리시간을 줄이기 위한 데이터 처리 구조의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

5. 채널절체

채널절체 시험을 위한 구성은 이전항목인 3.전송채널 지연의 구성과 동일하다. 채널절체 시험은 [그림 9]와 같이 SKT와 KT의 5G 단말기를 USB 테더링 기능을 통해 콘텐츠를 송신하는 PC와 연결하고 하나의 이동통신망을 통해 중계하다가 USB 테더링 기능을 비활성화 한 후 다른 이동통신망을 통하여 전송한 후 수신서버에 정상적으로 수신되는지를 확인한다.

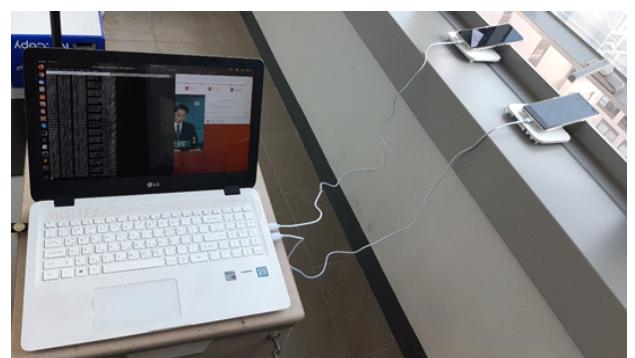


그림 9. 채널 절체 시험 환경
 Fig. 9. Channel switchover test condition

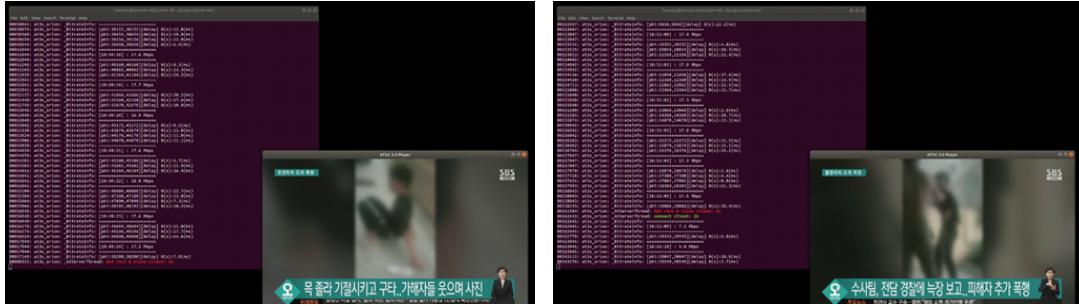


그림 10. 절체 이전과 절체 이후 수신서버에서의 영상화면
Fig. 10. Video screen on the receiving server before and after switchover



그림 11. 안성-서울간 중계시험
Fig. 11. Anseong to Seoul transmission test

시험결과는 [그림 10]과 같이 절체 후에 수신 서버에서의 영상 끊김 현상이 잠시 발생한 후 정상적으로 영상이 수신됨을 확인할 수 있다.

6. 서울/안성간 중계 시험

[그림 11]은 개발된 중계기를 통해 5G 이동통신망을 이용하여 안성(안성시 삼죽면)과 서울(서울시 송파구)간에 중계시험을 실시한 결과이다. 카메라는 Sony사의 4K UHD 카메라인 PXW-Z190을 사용하였으며 양호한 중계품질로 중계가 정상적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 5G 이동통신망을 전송채널로 사용하는 4K UHD 방송 중계장치의 구조 및 기능을 제안하고 시제

품을 구성하여 중계시험을 실시하였다.

시험을 통하여 4K UHD 중계채널로 5G 이동통신망의 적용이 가능하며, 중계품질의 개선을 위해서는 H.265의 인코딩 및 디코딩 시간을 낮추는 것이 필요하다는 것을 확인했다. 이를 위하여 송신측과 수신측에서의 버퍼용량을 최소화 하는 구현방안 도출이 중계장치의 성능을 결정하는 핵심 요소 중 하나라고 사료된다. 또한, 5G 이동통신망의 시간에 대한 변화에 적응성을 갖는 중계가 이루어지기 위해서는 통신망의 상황에 따라 인코딩율을 가변시키는 적응형 스트리밍(adaptive streaming) 기술의 적용이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Chang Ho Seo et al., "A Study on Delivery Integration of UHD, Mobile HD, Digital Radio based on ATSC 3.0," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 24, No. 4, pp.643-659, July 2019.

- [2] Yong Suk Kim et al., "Implementation of UHD Broadcasting Receiver Based on ATSC 3.0 Standards," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 23, No. 6, pp.790-799, November 2018.
- [3] Woon Hyun Lee et al., "Study on 2x2 MIMO Detection in ATSC 3.0 Systems," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 22, No. 6, pp. 755-764, November 2017.
- [4] 3GPP, 5G NR, Spec., Release 16.
- [5] D. Gomez-Barquero, D. Navratil, S. Appleby and M. Stagg, "Point-to-Multipoint Communication Enablers for the Fifth-Generation of Wireless Systems," *IEEE Communications Standards Magazine*, Vol. 2, No. 1, pp.53-59, March 2018.
- [6] C. Colman-Meixner et al., "Deploying a novel 5G-enabled architecture on city infrastructure for ultra-high definition and immersive media production and broadcasting," *IEEE Trans. Broadcast.*, Vol. 65, No. 2, pp.392 - 403, Jun. 2019.
- [7] M. Säily et al., "5G radio access network architecture for terrestrial broadcast services," *IEEE Trans. Broadcast.*, Vol. 66, No. 2, pp.1 - 12, Jun. 2020.
- [8] Woo-Ghee Chung, "Study on Effective 5G Network Deployment Method for 5G Mobile Communication Services," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 29, No. 5, pp.353~358, May 2018.

저자 소개



백정훈

- 2002년 9월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술계열 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>
- 주관심분야 : 방송네트워크 기능 고도화 및 성능분석



김용석

- 1991년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1994년 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 1997년 : 경북대학교 전자공학과 박사
- 1997년 ~ 2000년 : 한국전자통신연구원 방송미디어연구부 선임연구원
- 2001년 ~ 2017년 : 씨디지털스트림테크놀로지 연구소장
- 2017년 ~ 현재 : 주식회사 로와시스 연구소장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9108-5243>
- 주관심분야 : 디지털방송 시스템, 디지털신호처리, 컴퓨터비전