

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제27권 제6호, 2022년 11월 (JBE Vol.27, No.6, November 2022)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2022.27.6.914>

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

5G 이동통신망을 통한 상용 4K UHD 스트리밍 장치

백 정 훈^{a)‡}, 김 용 석^{b)}

Commercial 4K UHD Streaming Device over 5G Mobile Communication Network

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

요 약

본 논문에서는 5G 이동통신망을 전송채널로 활용하는 4K UHD(Ultra High Definition) 상용 스트리밍 장치를 구성하고 성능시험 결과를 제시한다. 스트리밍 장치는 전송품질에 대한 모니터링 기능을 제공하는 RTP(Realtime Transport Protocol)를 전송 프로토콜로 적용하여 적응형 스트리밍 기능을 제공한다. 또한, 전송채널의 대역폭 변화에 최적화된 인코딩을 위하여 영상신호의 인코딩률을 조절할 수 있는 기능을 제공하며, 세 개의 5G 이동통신망과 인터페이스 되어 특정 채널에서의 장애 발생 시 다른 채널을 통해 스트리밍하는 자동 절체 기능도 제공한다. 성능시험을 통하여 4K UHD 신호에 대한 H.265 인코딩률은 48.69Mbps, Glass-to-Glass 평균 지연시간은 293.60ms, 립싱크를 위한 비디오 및 오디오의 평균 시간 차이는 120ms 수준임이 확인되어, 개발제품이 5G 이동통신망을 통한 4K UHD 스트리밍 장치로 적용될 수 있음을 보인다.

Abstract

In this paper, we construct a commercial 4K UHD(Ultra High Definition) streaming device that utilizes a 5G mobile communication network as a transport channel and conduct a streaming performance test. It uses RTP(Realtime Transport Protocol) which has transmission quality monitoring capability as a transmission protocol to apply adaptive streaming. In addition, it provides the function to adjust the encoding rate of the video signal so that encoding can be optimized for the change in the bandwidth of the transmission channel. Through the performance test, it is confirmed that the H.265 encoding rate for 4K UHD signal is 48.69Mbps, the average glass-to-glass delay time is 293.60ms, and the average time difference between video and audio for lip sync is 120ms. With the result of performance test, it is shown that the streaming device is applied to 4K UHD Streaming device over 5G mobile communication network.

Keyword : 5G mobile network, 4K, UHD, Portable, Streaming

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

· Manuscript September 16, 2022; Revised October 11, 2022; Accepted October 11, 2022.

I. 서론

5G 이동통신망의 높은 처리율, 개선된 스펙트럼 효율, 낮은 전송지연, 우수한 이동성, 높은 연결 밀도는 대용량의 4K UHD 신호를 스트리밍하기에 5G 이동통신망이 최적화되어 있음을 의미한다. 관련 표준에서도 5G 이동통신망을 통한 스트리밍 기능을 지원하라는 내용이 규정되어 있다. ETSI(European Telecommunications Standards Institute)는 3GPP (3rd Generation Partnership Project) Released 14 Enhanced TV에서 FeMBMS(Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)를 사용하여 5G 이동통신망을 통해 고정 및 이동 TV 서비스를 제공하기 위한 기능을 정의하고 있고, Release 16에서는 이동성과 서비스 영역에서 개선된 내용을 규정한다^{[1][2]}. Release 16 Enhanced TV에서는 5G 방송 기능 및 차세대 서비스로의 확장 기능을 규정한다^[3].

5G 이동통신망을 이용한 4K UHD 스트리밍 서비스의 첫 번째 시도는 2018년 영국 BT Sport와 EE가 Wembley Stadium에서 런던의 ExCel 전시장까지의 중계방송^[4]이었으며 같은 해 Huawei는 E2E(end to end) 5G 네트워크 슬라이싱(slicing) 기술과 4K UHD 방식을 적용하여 상하이에서 Migu Music Award를 방송하였다^[5]. 참고문헌[6]에서는 5G 이동통신망을 통한 4K UHD 신호의 중계를 위하여 스트리밍 장치를 개발하고 스트리밍 성능을 측정하였다. 개발된 스트리밍 장치는 5G 모뎀을 사용하며 H.265 방식의 인코딩 기능을 제공한다. 특징적 내용으로는 SST(Safe Streams Transport) 프로토콜을 사용하여 5G 이동통신망에서 동적으로 변화되는 대역폭 환경에서 전송률을 자동으로 조절하는 적응형 스트리밍 기능을 제공한다. 또한, 전송 데이터의 용량에 따라 다수 개의 5G 전송채널을 통해 전송하는 채널 병합 기능도 제공하며 손실된 데이터에 대해서는 재전송을 통한 복구 기능도 제공한다. 또한, SST를 통하여 5G 이동통신망과 같은 무선 구간에서의 적응형 스트리밍 기능을 제공함과 동시에 스트리밍 과정에서 거치게 되는 인터넷에서의 적응형 스트리밍 기능을 위하여 SRT(Secure Reliable Transport) 프로토콜을 적용함으로써 스트리밍의 전체 구간에서 적응형 스트리밍 기능을 제공한다. 스트리밍 성능을 확인하기 위하여 CBR(Constant Bit Rate)와

VBR(Variable Bit Rate) 타입의 영상을 활용하여 송신 측과 수신 측에서의 데이터 손실, 전송률, 지연 성능을 측정하고, 측정을 통해 전송률은 44.9 ~ 91 Mbps, 전송지연은 평균 800ms이며 최대 2sec까지도 증가하는 것으로 보고하고 있다. 5G 이동통신망에서의 자원(resource) 할당을 통하여 4K UHD 신호의 스트리밍 품질을 제고하는 연구도 진행되고 있다, 참고문헌[7]에서는 비디오 스트림에 대하여 스트림을 인식하고 공평성을 고려하여 5G 이동통신망의 대역폭을 비디오 스트림에 할당하는 알고리즘을 개발하였고 모의실험을 통해 평균 전송률이 13.1%까지 증가되고 전체 버퍼링 타임이 68.9%까지 개선됨을 보인다.

본 연구는 5G 이동통신망을 통한 4K UHD 방송 신호 스트리밍에 관한 내용으로 기존의 연구에서 주목하는 적응형 스트리밍 방식을 위하여 전송품질의 모니터링 능력이 우수한 RTP 를 사용하여 5G 이동통신망의 무선 구간과 인터넷의 유선 구간에 통합적으로 적응형 스트리밍 기능을 적용하는 것을 특징으로 한다. 제안하는 스트리밍 장치는 전송채널의 대역폭 변화에 최적화된 인코딩을 할 수 있도록 영상신호의 인코딩률을 조절할 수 있는 기능을 제공하며, 세 개의 5G 이동통신망과 인터페이스 되어 특정 채널에서의 장애 발생 시 다른 채널을 통해 스트리밍하는 자동 절체 기능도 제공한다.

본 논문의 구성은 II 장에서 스트리밍 장치의 구조 및 기능을 제시하고, III 장에서는 스트리밍의 성능을 기술하며 IV 장에서 결론을 도출한다.

II. 스트리밍 장치 구조 및 기능

1. 스트리밍 장치 구조

1.1 인터페이스 및 프로토콜 구조

4K UHD 스트리밍 장치는 그림 1과 같이 HDMI(High Definition Multimedia Interface)를 통해 4K UHD 신호를 수신하고, 5G 이동통신망을 스트리밍 채널로 활용하기 위하여 5G 이동통신 단말기와 USB 방식으로 인터페이스 된다. 5G 전송채널의 인터페이스 수는 세 개이고 특정 채널에서 장애 발생 시 다른 전송채널로 절체되어 스트리밍이 지

속된다. 스트리밍 장치는 HDMI를 통해 수신한 4K UHD 신호를 H.265 방식으로 인코딩하며 스트리밍의 실시간성을 보장하고 스트리밍 품질을 모니터링하기 위하여 RTP를 적용한다. 목적지로의 스트리밍 과정에서 인터넷을 통한 전송이 이루어지므로 인터넷 프로토콜을 탑재하며, 실시간성이 강화된 스트리밍을 위하여 전송 프로토콜로서 UDP (User Datagram Protocol)를 적용한다.

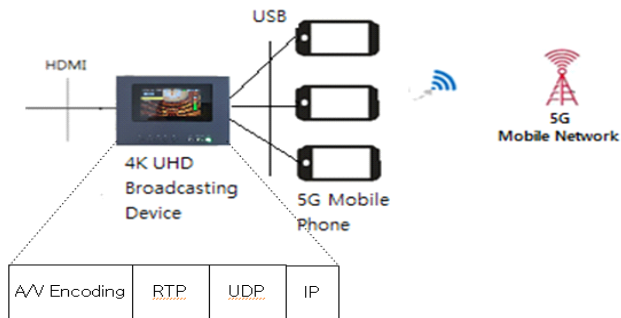


그림 1. 스트리밍 장치 인터페이스 및 프로토콜 구조
Fig. 1. Interface and Protocol Structure for Streaming Device

1.2. 하드웨어 구조

그림 2는 스트리밍 장치의 하드웨어 블록도를 나타낸다. 스트리밍 장치는 하드웨어 인코딩 기반의 SoC(System on Chip)를 적용하며 HDMI 수신 인터페이스를 위한 MIPI (Mobile Industry Processor Interface) CSI(Camera Serial

interface)가 포함된다.

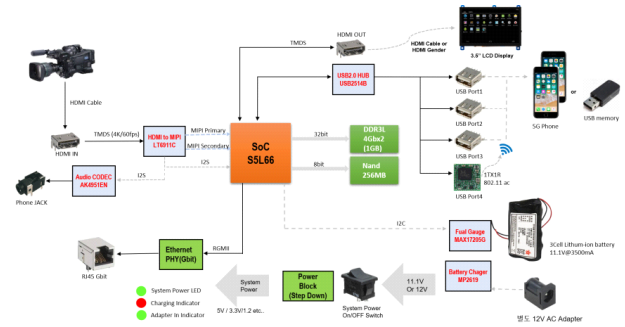


그림 2. 스트리밍 장치 하드웨어 구조
Fig. 2. Hardware Structure for Streaming Device

표 1은 스트리밍 장치의 하드웨어 사양을 나타낸다. 그림 3은 개발된 제품의 외형을 나타낸다.



그림 3. 스트리밍 장치 외관
Fig. 3. Streaming Device Shape

표 1. 스트리밍 장치 하드웨어 사양
Table 1. Hardware Specification for Streaming Device

Category	Function	Specification
Product Type	AV Transmitter	UHD (4Kp30)
Main SoC	Ambarella S5L SoC	1GHz ARM Cortex –A53 CPU,DSP,ISP H.265/HEVC and H.264/AVC Encoder
I/O	A/V Output	3.5" LCD Display
	A/V Input	HDMI 2.0
	USB	USB2.0 3 port (Type A)
	Audio Output	3.5pi Phone Jack
Network	Wireless	WiFi : IEEE802.11 a/b/g/n/ac(2.4Ghz/5Ghz) 4Tx4R, 2Tx2R
	Ethernet port (RJ45)	10/100/1000 Mbps
Memory	Flash ROM	NAND 256MB
	DDR3L	4Gbit x 2
Power Supply	External AC Adapter	12Vdc/2A (TBD)
	Internal Battery	3Cell Lithium-Ion 11.1V@3500mA
PCB Size	W x L	130 x 100 (mm), 2.0T@14Layers

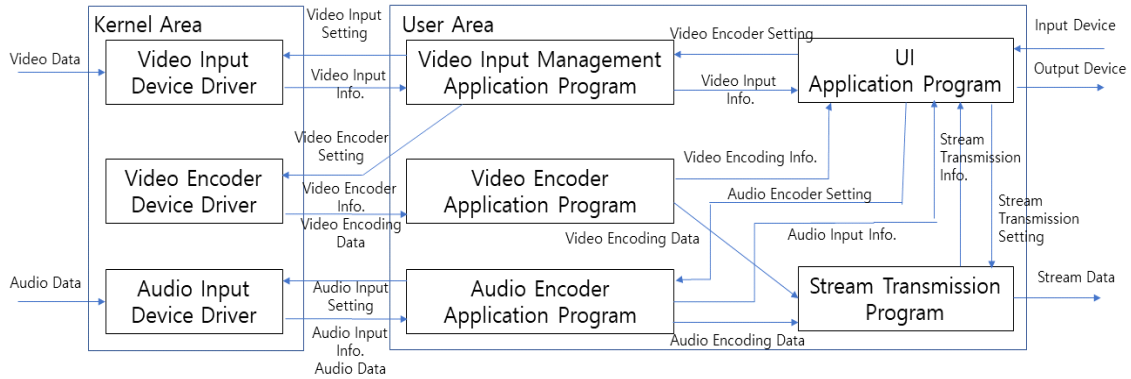


그림 4. 스트리밍 장치 소프트웨어 구조
 Fig. 4. Software Structure for Streaming Device

1.3. 소프트웨어 구조

소프트웨어는 그림 4와 같이 모듈화하여 구성한다. 모듈은 커널 영역의 비디오 입력 디바이스 드라이버, 비디오 인코더 디바이스 드라이버, 오디오 입력 디바이스 드라이버와 사용자 영역의 비디오 입력 관리 응용 프로그램, 비디오 인코더 응용 프로그램, 오디오 인코더 응용 프로그램, 스트림 전송 응용 프로그램, UI 응용 프로그램으로 구성된다.

1.3.1 비디오 입력 디바이스 드라이버

카메라, 셋톱박스 등과 같이 외부 장비로부터 입력받는 HDMI 신호의 비디오 데이터를 인식하여 비디오 인코더가 처리할 수 있는 데이터로 변환한다.

1.3.2 비디오 인코더 디바이스 드라이버

비디오 입력 디바이스 드라이버로부터 수신한 데이터를 H.265 또는 H.264 포맷으로 압축한다.

1.3.3 오디오 입력 디바이스

카메라, 셋톱박스 등과 같이 외부 장비로부터 입력받는 HDMI 신호의 오디오 데이터를 인식하여 오디오 인코더 응용 프로그램이 처리할 수 있는 데이터로 변환한다.

1.3.4 비디오 입력 관리 응용 프로그램

비디오 입력 신호 정보 수집, 비디오 입력 신호 변환기 설정, 비디오 인코더 설정 등의 기능을 수행한다.

1.3.5 비디오 인코더 응용 프로그램

비디오 인코더 정보 수집, 비디오 인코딩 데이터 수집 등의 기능을 수행한다.

1.3.6 오디오 인코더 응용 프로그램

오디오 입력 신호 정보 수집, 오디오 입력 신호 설정, 오디오 인코더 설정, 오디오 인코딩 데이터 수집 등의 기능을 수행한다.

1.3.7 스트림 전송 응용 프로그램

인코더에서 부호화된 비디오 및 오디오 인코딩 데이터를 네트워크를 통해 송신한다.

1.3.8 UI 응용 프로그램

비디오 입력 신호 정보 및 비디오 인코더 정보, 오디오 입력 신호 정보, 스트림 전송 정보를 수집하여 출력 장치로 전송한다.

1.4 설정 기능

스트리밍 장치 설정을 위한 UI(User Interface)가 제공되며 이를 통해 호스트 설정, 주소 설정, 포트 설정, 네트워크 설정, 이더넷 설정, 모바일 설정, 와이파이 설정, 인코더 설정, 비디오 코덱 설정, 비디오 비트율 설정, 오디오 비트율 설정, 타임존 설정 등이 이루어진다. 그림 5는 기본 UI와 모바일 설정 화면을 나타낸다.

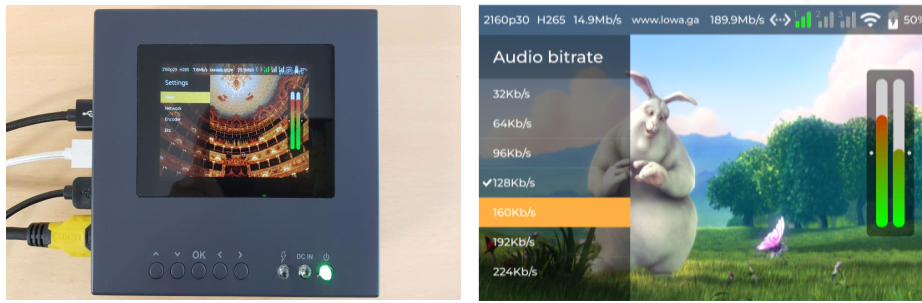


그림 5. 기본 설정 UI 및 오디오 비트율 설정 UI
Fig. 5. Default Setting UI and Audio Bit Rate Setting UI

III. 성능 분석

1. 시험 환경

그림 6은 스트리밍 장치 성능을 측정하기 위한 시험 환경을 나타낸다. 그림 6(a)는 송신부 구성으로 스트리밍 장치는 세 개의 5G 이동통신 단말기와 연결된다. 그림 6(b)는 수신부 구성으로 인터넷에 연결된 수신 서버와 모니터로 구성된다.

이러한 시험환경을 통해 H.265 인코딩을, Glass-to-Glass 지연, 립싱크, 절체 기능에 대한 성능을 측정하여 개발된 스트리밍 장치가 5G 이동통신망을 통한 4K UHD 신호의 스트리밍 장치로 적합한지를 확인한다.

표 2는 스트리밍 장치 성능을 측정하기 위한 설정을

나타낸다.

표 2. 스트리밍 장치 설정
Table 2. Streaming Device Setting

Item	Encoding rate(Mbps)
Resolution	3840x2160p, 29.97Hz
Chroma Format	4:4:4,
Bit Depth	8bits
Profile@Level	Main Profile
Compression	HEVC / AAC
Bit Rate	50Mbps

2. H.265 인코딩률

스트리밍 장치의 인코딩률을 측정하기 위한 구성은 그림



(a) Transmitting Test Part



(b) Receiving Test Part

그림 6. 성능시험 환경
Fig. 6. Performance Test Environment

7과 같이 4K UHD 신호를 스트리밍 장치의 HDMI를 통해 입력하고 스트리밍 장치는 H.265 방식으로 수신한 4K UHD 신호를 인코딩하여 동일한 네트워크에 연결된 수신 서버로 송신한다. 수신 서버는 수신된 인코딩 데이터를 10 초 동안 저장하고 동영상 재생 프로그램인 다음 핫플레이어로 재생하면서 인코딩률을 측정한다.



그림 7. 인코딩률 시험 환경
 Fig. 7. Test Environment for Encoding Rate

그림 8은 PC 수신 서버에서 수신되는 압축 데이터를 10 초 동안 저장하여 비트율을 측정한 결과이고, 그림 9는 동영상 재생 프로그램인 다음 핫플레이어 저장한 파일을 재생하면서 전송률을 확인한 결과이다.

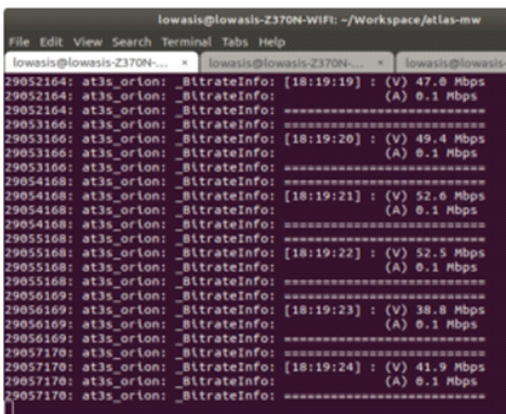


그림 8. PC 수신 서버에서의 수신 비트율
 Fig. 8. Receiving Bit Rate at PC Server



그림 9. 동영상 재생 비트율
 Fig. 9. Video Playback Bit Rate

표 3은 스트리밍 장치의 인코딩률을 50Mbps로 설정한 상태에서 인코딩률을 측정한 결과로써 최소 인코딩률은 45.164Mbps이고 평균 인코딩률은 48.69Mbps임을 확인할 수 있다.

표 3. H.265 인코딩률
 Table 3. H.265 Encoding Rate

Test	Encoding Rate (Mbps)	Average Encoding Rate (Mbps)	Data Size (Byte)
1	49.644	48.69	62,054,954
2	50.966		63,707,795
3	45.164		56,454,663
4	49.055		61,319,123
5	48.621		60,776,640

3. Glass-to-Glass 지연

빛이 카메라 렌즈를 통과해서 최종 수신 모니터에 표시 되기까지의 시간인 Glass-to-Glass 지연시간을 측정하기 위하여 셋톱박스에서 4K UHD 타임 코드 스트림을 출력하고 HDMI 분배기에 입력하여 분배기 두 개의 출력 중 하나의 출력에는 스트리밍 장치를 연결하고 다른 출력에는 TV를 연결하여 스트리밍 장치와 TV에 동시에 송신한다. 스트리밍 장치는 수신한 4K UHD 신호를 5G 이동통신망을 통해 수신 서버로 송신하고 수신 서버는 수신한 신호를 재생하여 모니터에 표시한다. 수신 서버 모니터와 TV 모니터에

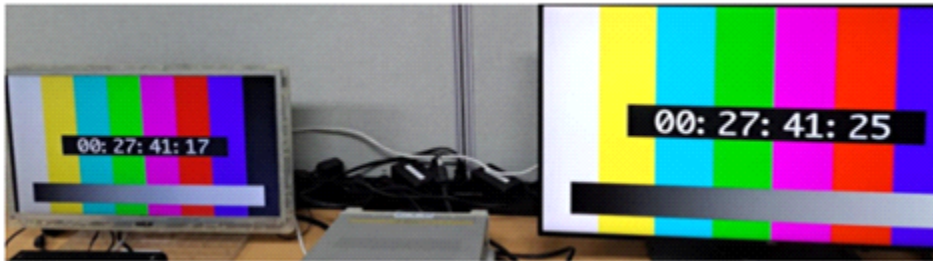


그림 10. Glass-to-Glass 지연 시험 결과
Fig. 10. Test Result for Glass-to-Glass Delay

표시되는 타임 값의 차이를 측정한다. 그림 10과 표 4는 Glass-to-Glass의 지연분포와 지연시간을 나타낸다. 평균 지연시간은 293.60ms이고 최대 지연시간은 367ms로 측정된다.

참고문헌[6]에서도 4K UHD 신호를 5G 이동통신망을 통해 스트리밍하여 Glass-to-Glass 지연을 측정하였다. 측정결과는 전송율에 따라 가변되며 전송율이 44.9Mbps~91Mbps 인 경우 인코더와 디코더간의 지연은 800ms ~ 2sec 수준이다.

표 4. Glass-to-Glass 지연 (1 frame = 1/30 sec)
Table 4. Glass-to-Glass Delay (1 frame = 1/30 sec)

Test	Time at Receiving Server Monitor	Time at TV Monitor	Delay(msec)	Average Delay
1	27:41:17	27:41:25	267(8 frames)	293.6
2	27:10:13	27:10:21	267(8 frames)	
3	27:36:15	27:36:26	367(11 frames)	
4	27:35:20	27:35:29	300(9 frames)	
5	27:14:01	27:14:09	267(8 frames)	

4. 립싱크(Lip Sync.)

5G 이동통신망을 전송채널로 사용하는 스트리밍 장치의 립싱크 성능을 측정하기 위한 구성은 비디오와 오디오가 포함된 4K UHD 신호를 HDMI를 통해 스트리밍 장치가 수신하여 5G 이동통신망을 통해 수신 서버로 스트리밍하고 수신 서버에서 동영상 편집 프로그램인 Light Works를 활용하여 비디오 화면과 오디오 레벨 간의 시간 차이를 측정한다. 그림 11과 표 5를 통해 비디오와 오디오의 시간 차

이는 평균 120ms 임을 확인한다.

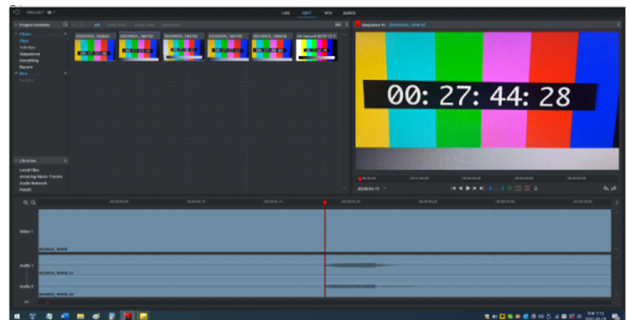


그림 11. Lip-Sync 시험 결과
Fig. 11. Test Result for Lip-Sync

표 5. 립싱크
Table 5. Lip Sync

Test	Difference (msec)	Average Difference
1	100	120
2	133	
3	133	
4	167	
5	67	

5. 채널 절체

채널 절체 시험을 위한 스트리밍 장치 구성은 그림 12와 같이 세 개의 5G 이동통신 채널과 연결된 상태에서 특정 채널로 스트리밍을 시행하다가 동작 채널의 연결을 끊어지게 한 후에 다른 채널을 통하여 정상적으로 수신 서버로 스트리밍되는지를 확인한다. 그림 12(b)와 같이 동작 채널



(a) 세 개의 5G 이동통신 전송채널 연결



(b) 세 개의 채널 중 두 개의 채널 연결 해지

그림 12. 채널 절체 시험

Fig. 12. Test for Channel Switching

의 USB 연결을 끊으면 일시적으로 수신 서버에서의 동영상 재생이 멈추었다가 다시 재생됨을 확인할 수 있다.

화된 인코딩률로 인코딩하는 지능형 인코더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 논문에서는 5G 이동통신망을 전송채널로 사용하는 상용 4K UHD 스트리밍 장치의 구조 및 기능을 제안하고 상용 제품을 구성하여 국내에서 운용 중인 5G 이동통신망을 활용하여 성능시험을 실시하였다.

성능시험을 통하여 4K UHD 신호에 대한 H.265 인코딩률은 48.69Mbps, Glass-to-Glass 평균 지연시간은 293.60ms, 립싱크를 위한 비디오 및 오디오의 평균 시간 차이는 120ms로 확인됨으로서 4K UHD 방송 신호의 스트리밍 채널로 5G 이동통신망의 적용이 가능함을 확인했다.

5G 이동통신망을 통하여 4K UHD 신호를 고품질로 스트리밍하고 8K UHD 신호까지 스트리밍하기 위해서는 네트워크의 상태에 따라 전송률을 동적으로 가변시키는 적응형 스트리밍 기술이 적용될 필요가 있다. 이를 위하여 스트리밍 장치와 수신장치 간에 전송품질을 모니터링하고 전송품질 데이터를 상호 교환하는 전송 프로토콜이 적용되어야 하며 스트리밍 장치는 수신장치로부터 수신한 전송품질 데이터를 활용하여 네트워크의 상태에 최적

참고 문헌 (References)

- [1] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Release 14 TR 21.914, 2017. <https://www.3gpp.org>
- [2] A. Lustica and J. Bozek, "5G Technology for Broadcast TV Applications," 2019 International Symposium ELMAR, pp. 97 - 100, 2019 doi: <https://doi.org/10.1109/ELMAR.2019.8918666>
- [3] ETSI, 3GPP TR 21.916, 2020. <https://www.3gpp.org>
- [4] H. McLean, "Live from London: EE and BT Sport achieve world first with 5G broadcast using remote production," Sports Video Group Europe, November 2018. <https://www.svgeurope.org/blog/headlines/ee-and-bt-sport-crack-world-first-with-live-5g-broadcast-using-remote-production/>
- [5] "Huawei to Complete the World's First Real 4K UHD Live Broadcasting Through 5G Network Slicing", December 2018. <https://www.huawei.com/en/news/2018/12/migu-china-mobile-4k-uhd-live-broadcasting-5g>
- [6] Alen Lustica, Marko Jurcevic, Jelena Bozek, "Live UHD/4K Video Transmission over 5G Network", 2021 International Symposium ELMAR, pp. 17 - 20, September 2021. doi: <https://doi.org/10.1109/ELMAR52657.2021.9550862>
- [7] X. Yuan, L. Pu, X. Xu, and J. Xu, "Explore the impact of cellular resource allocation on mobile UHD video streaming over 5G UDN," 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 1 - 7, March 2021. doi: <https://doi.org/10.1109/WCNC49053.2021.9417283>

저 자 소 개



백 정 훈

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



김 용 석

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