

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제22권 제5호, 2017년 9월 (JBE Vol. 22, No. 5, September 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.5.570>

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

MMT 기반 계층 부호화된 UHD 콘텐츠의 안정적인 수신을 위한 수신 버퍼 모델 설계 및 구현

송 슬 기^{a)}, 방 정 호^{a)}, 백 종 호^{a)†}

Design and Implementation of Receiver's Buffer Model for Stably Receiving a Hierarchically Encoded UHD Content Based on MMT

SeulKi Song^{a)}, JongHo Bang^{a)}, and JongHo Paik^{a)†}

요 약

최근 방송통신의 발달로 사용자들은 언제, 어디서나 고품질의 다양한 방송 서비스를 원하는 추세이다. 이에 따라 지상파 방송의 경우, 동일한 콘텐츠를 서로 다른 주파수를 통해 FHD와 모바일 품질로 서비스 하고 있으며 최근 별도의 방송망을 확보해 초고화질 품질 서비스를 시험 방송하고 있다. 이는 사용자의 수신환경에 따라 적절한 비용으로 다양한 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있지만 지상파 방송 주파수의 사용 효율면에서는 비효율적이라고 볼 수 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 방송과 통신이 결합된 이기종망 환경에서 SHVC로 계층 부호화된 UHD 콘텐츠를 차세대 멀티미디어 전송 기술인 MMT를 기반으로 전송하기 위한 전송 시스템 모델과 서비스가 제안되었다. 그러나 이동 및 고정 환경 등 여러 환경에서 다양한 품질의 UHD 콘텐츠를 안정적으로 수신할 수 있는 수신 모델에 대한 연구는 아직 초기 단계이다. 따라서 본 논문에서는 MMT를 기반으로 SHVC로 계층 부호화된 UHD 콘텐츠를 안정적으로 수신할 수 있는 수신 버퍼 모델을 제안한다.

Abstract

Recently, with the development of broadcasting communication, users expect to receive high quality and various broadcasting services anytime, anywhere. In the case of terrestrial broadcasting, HD broadcasting and mobile broadcasting are provided at different frequencies. In the case of terrestrial UHD, which recently started trial broadcasting, 700MHz frequency is used which is different from the existing one. If the contents of the same contents are transmitted at different frequencies, it can be considered ineffective in terms of the use efficiency of the terrestrial broadcast frequency. As a method to solve this problem, a transmission system model and a service have been proposed for transmitting the hierarchical encoded UHD contents by SHVC on the basis of the multimedia transmission technology MMT in a heterogeneous network environment combining broadcast network and communication network. However, it is still in the initial stage of study the receiving model that can reliably receive various quality UHD contents in various environments such as mobile and fixed environment. Therefore, in this paper, we propose a receive buffer model that can reliably receive UHD contents layered on SHVC based on MMT.

Keyword : Buffer Model, MMT, SHVC, UHD, Broadcasting System

Copyright © 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

I. 서 론

최근 방송과 통신의 발달로 HD 영상을 넘어 UHD 영상과 같은 고품질·대용량 비디오 데이터가 전송 가능한 시대가 되었다. 이에 소비자들은 고정된 환경 뿐 아니라 이동환경에서도 고품질의 비디오 서비스를 요구하게 되었다. 이에 따라, 위성·케이블·IPTV 등의 방송영상서비스 사업자들은 이미 UHD 방송 서비스를 제공하고 있으며, 통신망을 기반으로 한 고해상도 모바일 방송을 제공하고 있다. 현재 지상파 방송에서는 HD 방송과 모바일 방송을 제공하기 위해 별도의 대역폭을 통해 전송중이다. 각각의 방송 모두 지금보다 높은 고화질의 비디오 서비스를 제공하기에는 고해상도 콘텐츠의 압축 기술, 전송 기술 등의 개선이 필요하며 새로운 대안 기술이 요구된다. 이를 대안하기 위한 기술로 하나의 비디오를 계층적 부호화 방식으로 압축하는 기술 SHVC(Scalable High Efficiency Video Coding)와 IP 망에서 멀티미디어의 전송이 가능한 전송 기술 MMT(MPEG Media Transport)가 주목받기 시작했다^{[1][2]}. 또한 국내 표준 방송기술의 IP 기반 차세대 지상파 방송 서비스를 위해 ATSC(Advanced Television System Committee) 3.0 을 기반으로 방송 기술 규격 개발을 진행중이며, MMT 프로토콜은 ATSC3.0 방송 표준의 차세대 멀티미디어 전송 서비스로 채택되었다.

SHVC는 하나의 비디오를 다양한 해상도에 지원 가능하도록 계층적으로 부호화하여 하나의 비디오 스트림으로 압축하는 방식이다. 계층 부호화된 비디오 스트림을 통해서 다양한 사용자 환경에 적합한 영상으로 복호화가 가능하다. MMT는 MPEG에서 표준으로 제정된 차세대 전송 프로토콜로 IP 네트워크나 디지털 방송 환경에서 멀티미디어 서

비스를 안정적으로 제공할 수 있는 기술이다. MMT는 다양한 전송 채널을 통해 고해상도 콘텐츠뿐 아니라 계층 부호화된 콘텐츠 전송을 지원하고 있으며, 이를 위한 전송 프로토콜, 미디어 데이터 포맷, 시그널링 기능 등을 정의하고 있다. 이 두 기술을 결합하여 MMT를 기반으로 계층 부호화된 UHD 콘텐츠를 방송망과 통신망을 통해 전송하기 위한 연구가 제안되었다^{[3][5]}. [3]에서 서비스를 위한 송, 수신 아키텍처는 제안되었으나 수신측면에서 이를 안정적으로 수신할 수 있는 버퍼 모델에 대한 연구는 아직 초기 단계이다^[4].

본 논문에서는 MMT를 기반으로 계층 부호화된 UHD 콘텐츠를 안정적으로 수신할 수 있는 수신 버퍼 모델을 제안한다. 제안된 수신 버퍼 모델을 기반으로 수신기를 구현하고 실험을 통해 수신 버퍼 모델을 검증한다.

II. 관련 연구

1. SHVC

계층부호화 압축 기술인 SHVC는 다양한 전송 및 소비환경에서 멀티미디어 콘텐츠 서비스를 제공하기 위해 계층적 부호화 방식 도입한 기술이다. SHVC의 기본 부호화 구조는 기본 계층과 향상 계층으로 나눌 수 있다. 향상 계층은 계층 간 예측 툴을 사용하기 때문에 하위 계층과의 의존성이 존재하며, 향상 계층을 부호화 및 복호화하기 전에 해당 계층의 하위 계층들을 차례로 부/복호화해야 한다. SHVC로 부호화된 비디오 스트림은 GoP(Group of Pictures) 단위의 연속적인 프레임이 참조되어 복호화한다. 그림1은 GoP 단위의 프레임이 참조되는 순서를 나타낸다. 그림1에서 각

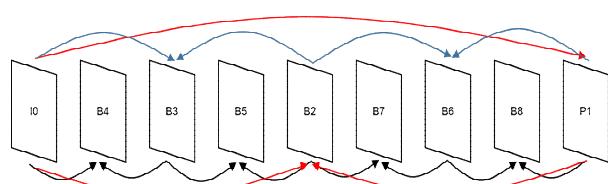


그림 1. GoP 단위의 각 프레임 참조 순서

Fig 1. The structure of the broadcasting system based on MMT for UHD video streaming

a) 서울여자대학교 소프트웨어융합학과 (Department of Software Convergence, Seoul Woman's University)

‡ Corresponding Author : 백종호(JongHo Paik)

E-mail: paikh@swu.ac.kr

Tel: +82-2-970-7738

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1867-5316>

* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0101-16-0189, 네트워크가 결합된 매체 독립형 차세대 융합방송 시스템 및 모니터링 시스템 개발)

Manuscript received July 11, 2017; Revised August 25, 2017; Accepted September 12, 2017.

프레임은 I-Frame (Intra-coded Frame), P-Frame(Predictive Frame), B-Frame(Bidirectional predicted Frame)로 부호화되며 스트리밍 서비스 시 참조 관계에 따라 각 프레임의 중요도가 다를 수 있으며 임의 접근 시 재생 기준이 된다^[1].

2. MMT

MPEG에서는 IP 환경에서 콘텐츠를 전송할 수 있는 멀티미디어 전송 표준으로 MMT를 제안하였다^[6]. MMT는 부호화된 미디어 콘텐츠를 독립적으로 소비가 가능한 논리적인 구조인 ISO-BMFF (ISO Based Media File Format) 기반의 MPU(Media Processing Unit)를 정의한다. 또한 MMT는 MPU 단위의 미디어 데이터를 IP 환경에서 전송 가능하도록 응용계층 전송 프로토콜인 MMTP(MMT Protocol)와 페이로드 포맷을 정의한다.

그림 2는 MPU 단위의 미디어 데이터를 MMTP로 패킷

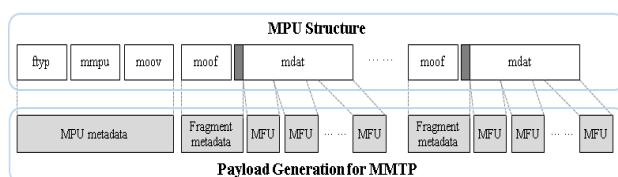


그림 2. MPU 구조의 MMTP 페이로드 생성
Fig 2. The payload generation for MMTP of MPU structure

화 할 때 페이로드 단위를 나타낸다. MPU에서 헤더정보에 해당하는 ftyp, mmpu, moov등의 정보등은 MMPU metadata, Fragment metadata로 구성되며 페이로드에 해당하는 mdat정보는 MFU 구성된다. 이렇게 구성된 MPU 패킷은 그림 3의 MMTP로 패킷화 되는데 MMTP를 수신하면 packet_sequence_number, packet_counter등의 정보를 활용하여 MPU 패킷을 재구성 할 수 있으며 R정보에 따라 임의 접근이 가능하다. SHVC의 I-Frame^{o]} RAP(Random Access Point)가 될 수 있다.

그림 3. MMTP 패킷 구조
Fig 3. The structure of the MMTP packet

3. UHD 비디오 전송을 위한 MMT 기반 방송 시스템

본 연구에 앞서 UHD 비디오 전송을 위한 MMT 기반 방송 시스템이 제안되었다^[3]. [3]에서 제안된 방송 시스템은 UHD 콘텐츠 제공자와 콘텐츠를 MMTP 패킷화하여 전송

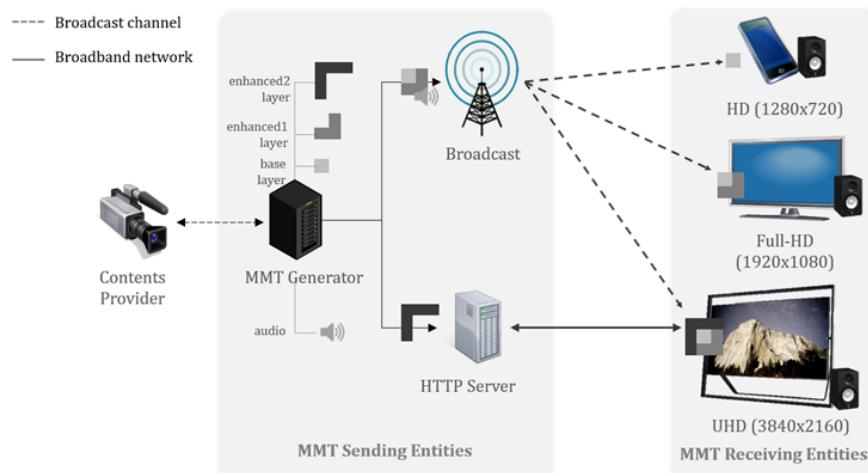


그림 4. UHD 비디오 전송을 위한 MMT 기반 방송 시스템 구성도
 Fig 4. The structure of the broadcasting system based on MMT for UHD video streaming

하는 MMT Generator, 방송망 및 통신망 등의 물리채널, 이를 수신 받아 재생할 수 있는 수신기로 구성된다. [3]에서 제안하는 시나리오는 다음과 같다. UHD 비디오를 기본계층과 향상계층으로 분리하여 부호화한 뒤, 각각 방송망과 HTTP 서버로 전송한다. 수신기는 방송망을 통해 기본계층을 수신해 HD 영상을 재생할 수 있으며, 부가적으로 통신망을 통해 향상계층을 수신하여 UHD 영상을 재생할 수 있다. [3]에서 제시한 시나리오가 구현되기 위해서는 수신기에서 HD 영상에서 UHD 영상으로 변환될 때 끊김 없이 재생할 수 있는 방안이 요구된다. 그림 4는 [3]에서 제안한 방송 시스템에서 비디오 콘텐츠를 2개가 아닌 3개로 분리하여 부호화하였으며 오디오를 추가한 확장된 방송 시스템 구성도이다. 본 연구에서는 그림 4의 방송 시스템을 기반으로 UHD 수신기에서 HD 영상, Full HD 영상, UHD 영상이 차례로 재생될 때 끊김 없이 안정적으로 재생될 수 있는 수신 버퍼 모델을 설계하고 제안한다.

III. MMT 기반 계층 부호화된 UHD 콘텐츠의 수신 버퍼 모델 설계

1. MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신 시나리오

본 논문에서 제안하는 수신 버퍼 모델은 3개의 계층으로 부호화된 비디오 스트림과 1개의 오디오를 수신 받아 재생한다. 비디오스트림은 기본 계층(1280x720 : HD), 향상 계

층 #1 (1920x1080 : Full HD), 향상 계층 #2(3840x2160 : UHD)로 구분된다. 기본 계층과 오디오, 서비스 구성정보는 콘텐츠 재생을 위한 필수 요구사항으로 MMTP로 함께 다중화 되어있다. 향상 계층 #1과 향상 계층 #2는 별도의 기본계층과 다른 망을 통해 통해 수신되며 각각은 MMTP와 HTTP로 패킷화 될 수 있으나 페이로드는 모두 MPU를 기본으로 구성되어 있어 동기화 가능하다. 사용자는 방송, 통신 수신기능이 있는 통합 수신기를 통해 각 해당 콘텐츠를 수신 받으며 수신 받은 콘텐츠의 동기를 맞춰 재생 가능한 스트리밍 고품질 서비스를 우선적으로 제공한다. 만약 통신기능이 없는 수신기라면 향상 계층 #1까지 최대로 재생한다.

2. MMT 기반 계층부호화된 비디오 수신 버퍼 모델

본 논문에서 제안한 수신 버퍼 모델은 수신 시나리오를 기반으로 구현된 MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신기의 Media Processor로 구현된다. 수신기의 구조도는 그림 5이며, 동작 과정은 다음과 같다. MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신기는 IP Receiver와 HTTP Receiver를 통해 MMTP 패킷과 MPU를 수신 받는다. 그림 5의 수신기 구조도는 방송망에서 수신 받아 IP 패킷으로 파싱한 이후의 구조도를 나타낸다. IP Receiver로 수신 받은 MMTP 패킷은 MMTP 파서, MFU 파서를 통해 MFU 페이로드가 추출되며, 본 논문에서 제안한 수신 버퍼 모델이 구현된 미디어 프로세서로 전달된다. HTTP로 수신 받은 MPU는 MFU 파

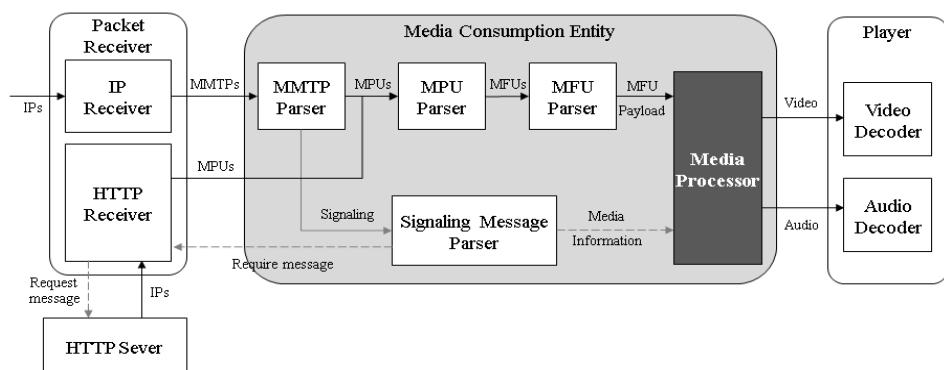


그림 5. MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신기 구조
 Fig 5. The structure of receiver of hierarchically encoded video based on MMT

서를 통해 MFU 페이로드가 추출되어 미디어 프로세서로 전달된다. 미디어 프로세서에서는 본 논문에서 제안하는 버퍼 모델을 기반으로 계층 간의 동기화가 이루어져 화질이 변화하더라도 끊김 없이 재생이 가능하도록 한다.

3. MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신 버퍼 모델 프로세스

본 논문에서 제안하는 MMT 기반 계층 부호화된 UHD

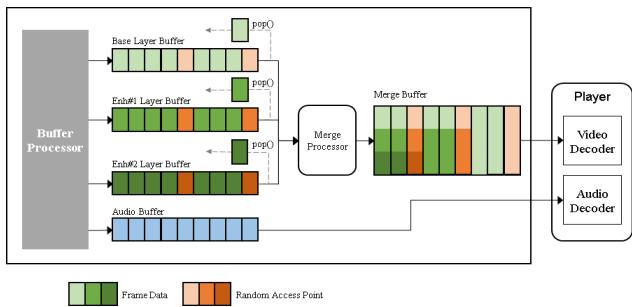


그림 6. MMT 기반 수신 버퍼 모델 구성도

Fig 6. The structure of Receiving buffer model based on MMT

콘텐츠 수신 버퍼 모델 구성도는 그림 6과 같다. 그림 5의 Media Processor는 그림 6의 각 계층 별 버퍼를 관리하는 버퍼 프로세서와 계층 별 프레임을 동기화시켜 고해상도 디코더에 전달하는 머지 프로세서로 구성된다. 머지 프로세서는 각 계층별 index를 파악하여 동기를 맞춘 뒤 머지 버퍼에 전달한다. 각 버퍼는 Queue로 구성된다. 버퍼 프로세서는 파싱한 MFU 페이로드를 각각의 버퍼에 적재시키고 기본 계층과 향상 계층#1에 해당하는 버퍼는 MMTP 패킷을 통해 전달받는다. 따라서 수신 버퍼 프로세서는 임의의 시점에 전달받은 기본 계층과 향상 계층#1에 해당하는 MFU 페이로드를 순서대로 버퍼에 전달한다. 그러나 임의의 시점의 스트리밍 데이터가 디코더에 전달될 때 초기 값이 RAP(Random Access Point)가 아니라면 계층 프레임간의 참조를 할 수 없어 디코더에 전달되더라도 재생할 수 없기 때문에 초기 데이터가 RAP에 해당되지 않는다면 프레임데이터는 버퍼에 전달하지 않고 POP()한다. RAP는 MMTP 패킷 헤더를 통해 알 수 있으며, 비디오 데이터의 경우 프레임 타입이 I-Frame에 해당될 수 있다. 빠른 동기화를 위하여 RAP와 비디오 프레임을 모두 체크하여 비디오의

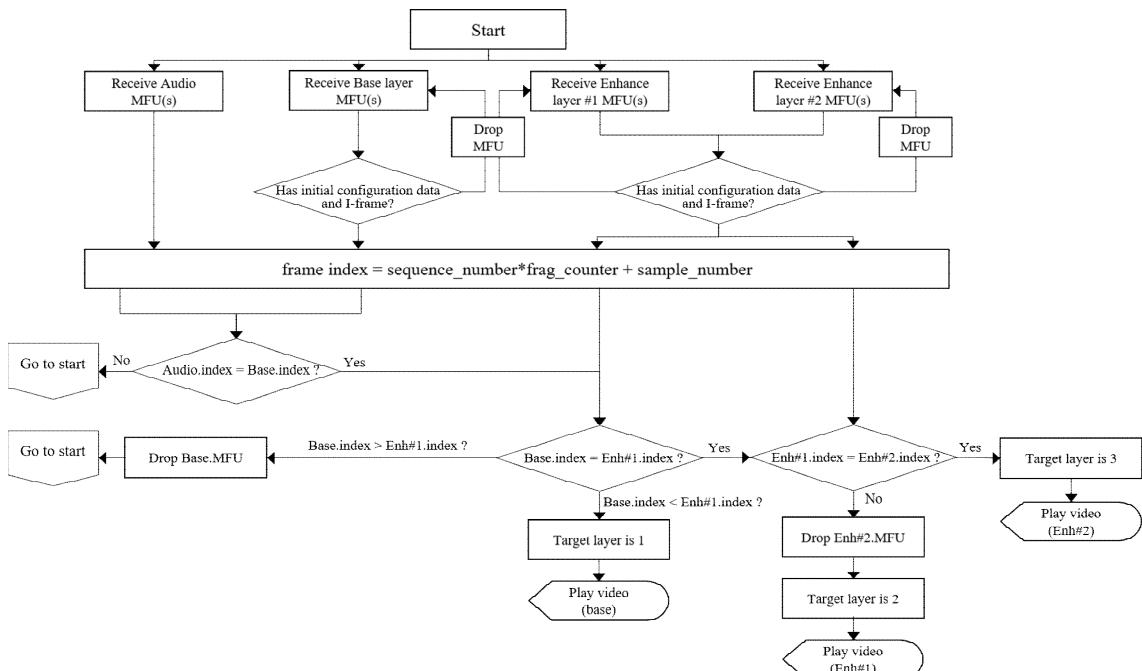


그림 7. 수신 버퍼 모델 동작 흐름도

Fig 7. The operating flow of receiving buffer model

Access Point를 획득 가능하다.

미디어 프로세서에서의 동기화 알고리즘은 그림 7과 같다. 제일 우선적으로 기본 계층이 재생되기 위해 필수적으로 요구되는 구성정보와 RAP를 확인한다. 이 후 오디오와 비디오의 동기를 맞추고 단계적으로 계층의 동기를 맞춘다. 각 스트림의 동기는 index를 기준으로 맞춰지며, index는 MPU 헤더의 sequence_number와 frag_counter, MFU 헤더의 sample_number로 계산된다. 각 스트림의 동기가 맞춰지면 해당 target layer가 설정되고 며지 버퍼에 저장된 스트림이 디코더로 전달되어 재생된다. 만약 망의 불안정으로 스트림이 누락된다면 동기화가 이루어진 스트림을 기준으로 target layer가 변경되고 화질저하가 이루어지지만 스트리밍이 중지되진 않는다. 망이 안정되면 index를 기준으로 동기를 맞추어 다시 고화질로 재생이 이루어진다.

IV. 모의실험 및 구현

1. MMT 기반 계층 부호화된 비디오 송수신 시스템

본 절에서는 제안한 MMT 기반 계층 부호화된 비디오 수신 버퍼 모델의 동작을 검증하기 위해 모의실험을 진행

하고 그 결과를 분석한다. 수신 버퍼 모델을 구현하고 동작을 검증하기 위해 활용한 MMT 기반 계층 부호화된 비디오 송수신 시스템은 그림 8과 같다. 송수신 시스템은 MMT 기반의 응합스트림 생성기, M-PLP 다중화기, 방송신호발생기, HTTP 서버, 수신기로 구성된다. 스트림 제너레이터에서는 UHD 비디오를 3개의 계층으로 분리하여 부호화하고 기본 계층, 향상 계층1, 오디오는 MMTP로 패킷화하여 IP 망으로 다중화기에 전송한다. 향상 계층2는 HTTP 서버에 업로드되어 MMTP 패킷화 과정 없이 1초 길이의 MPU로 업로드 한다. 각각의 수신기는 수신기의 화질과 망 환경에 맞는 계층별 영상과 오디오를 수신받아 재생한다. 이때, 수신기의 버퍼 크기는 MPU가 1초라 적어도 1초 이상을 버퍼링 해야하지만 Intra period의 간격을 고려해 최소 2초에서 네트워크 지연을 고려하여 최대 10초를 버퍼링 할 수 있도록 하여 가변적인 크기로 실험하였다. 수신기의 버퍼 크기 SHVC 영상의 인코딩 파라미터 중 Intra period와 MPU duration에 따라 달라질 수 있으며, 본 논문에서 제안하고자 하는 버퍼모델의 성능과는 관계되지 않는다.

구현 환경은 windows 10 64bit 운영체제 하에 개발 도구로 Windows Visual Studio 2013을 사용하였으며, C++언어를 사용해 구현하였다. HTTP 서버는 HTTP 기반의 Nginx를 사용했다. 영상은 BigBuck Bunny(UHD, 30fps)를 3계

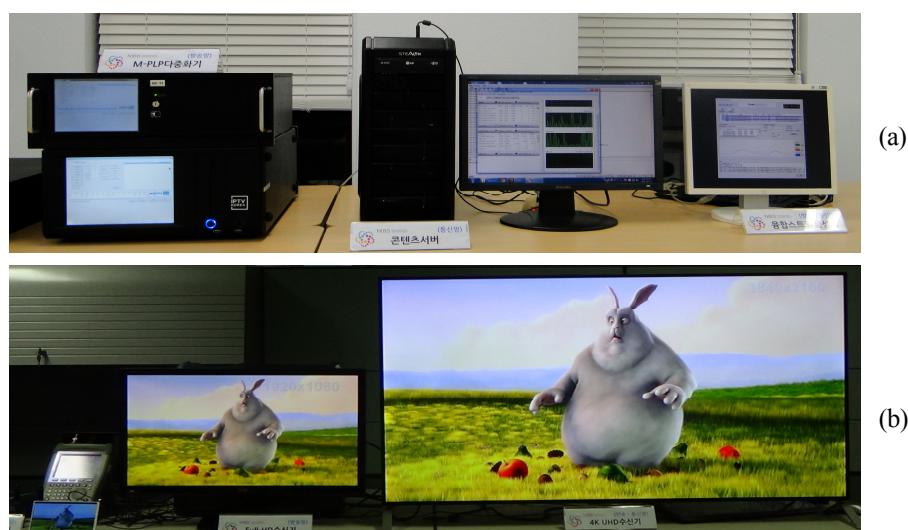


그림 8. MMT 기반 계층부호화된 비디오 송신 시스템(a)와 수신 시스템(b) 구조
 Fig 8. The structure of transmitting System(a) and receiving system(b) for hierarchical encoded video

표 1. 모의실험을 위한 입력 정보

Table 1. Input configuration for experimental

| | | | |
|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Media Presentation Time | 8m 14s | | |
| MPU duration | 1s | | |
| Audio(AAC) | Sampling Rate | 44.1kHz, 2Ch | Broadcast(PLP0) |
| Video(SHVC) | Frame Rate | 30fps | |
| | Resolution | 1280x720(기본계층) | Broadcast(PLP0) |
| | | 1920x1080(향상계층#1) | Broadcast(PLP1) |
| | | 3840x2160(향상계층#2) | HTTP |
| | Intra period | 32 | |

층으로 계층부호화한 비디오 스트림을 사용했다. 표 1은 실험에 사용된 실험 입력 값을 나타낸다.

2. 모의실험 결과

그림 9는 모의실험을 진행한 결과로 그림 8의 UHD 수신기에서 MMTCP 패킷을 수신 받아 각 계층별로 동기화가 이루어져 화면에 재생된 시간을 나타낸다. 먼저 방송을 통해

기본계층과 향상계층#1을 수신 받는다. 이때 기본계층과 향상계층#1의 동기가 맞지 않는다면 기본계층을 먼저 디코더에 전달한다. 이후 향상계층#1의 동기를 맞춰 HD 화질을 재생한다. 향상계층#2가 네트워크에 존재하고 현재 네트워크 이용이 가능하다면 재생하고 있는 기본계층의 MPU를 기준으로 향상계층#2를 요청하고 수신 받아 프레임 동기를 맞추어 UHD화질을 재생한다. 제안된 수신 버퍼 모델을 통해 계층이 합쳐져 화질 변화가 이루어져도 끊김 없이 안정

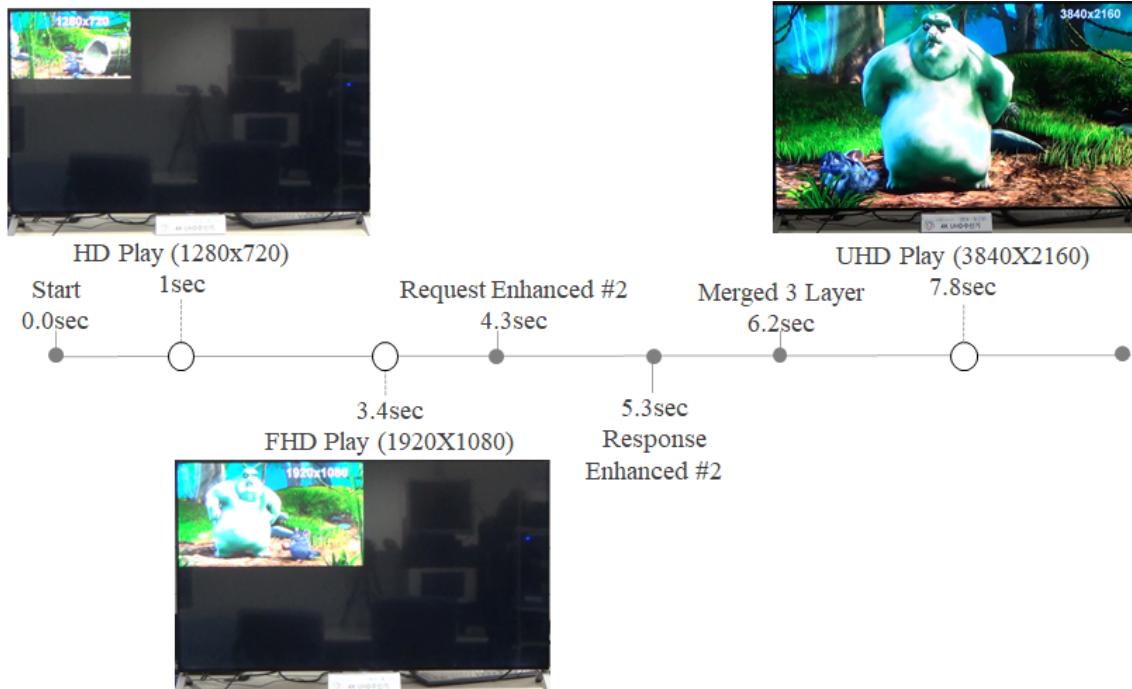


그림 9. 실험 결과

Fig 9. The result of experiment

적으로 재생함을 확인할 수 있다.

그림 9에서 표시된 시간은 제안된 버퍼 모델을 통해 계층이 합쳐진 화질 변경 시간을 측정한 것으로 화질 변화 시간이 버퍼 성능을 의미하지는 않는다. 향상 계층#2를 요청하고 받은 시간을 표시한 것은 3개의 계층이 합쳐져 UHD 화면이 나오는 시간이 Full HD 화면이 나온 시간이 비해 길어진 요인을 설명하기 위한 것으로 제안된 수신 버퍼 모델 검증과는 관련되지 않는다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 MMT를 기반으로 계층 부호화된 UHD 콘텐츠 수신 버퍼 모델을 설계하고 검증하였다. 제안된 수신 버퍼 모델을 통해 계층 부호화된 UHD 콘텐츠의 안정적인 수신과 사용자 환경에 따른 화질별 재생이 가능하다. 이를 통해 방송망에서 별도의 대역폭을 사용하지 않고 계층 부호화된 비디오를 전송해 사용자 환경에 따른 화질별 수신이 가능함으로써 기존 방송 시스템보다 대역폭 활용을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. 또한 방송망과 통신망이 융합된 환경에서 사용자의 수신 환경에 맞는 고화질 방

송 서비스가 가능하다. 향후 계층별 동기속도의 향상 및 버퍼관리의 효율성을 고려한 연구가 추가적으로 요구된다.

참고 문헌 (References)

- [1] Jinhyuk Choi, "Scalable HEVC suitable for broadcasting convergence service", Korean Society of Broadcast Engineers, Vol. 20, No. 1, pp.31-42, 2015, January
- [2] MinKyu Park, "An Overhead Comparison of MMT and MPEG-2 TS in Broadcast Services", Journal of Broadcast Engineering, Vol. 21, No. 3, pp.436-449, 2016, May
- [3] YeJin Sohn, "Design of MMT-based Broadcasting System for UHD Video Streaming over Heterogeneous Networks", Journal of Broadcast Engineering, Vol.20, No. 1, pp.16-25, 2015, January
- [4] MinJae Seo, "Design of Service Signaling Structure based on MMT for Terrestrial UHD Broadcasting Systems in Heterogeneous Network", Journal of Satellite Information and Communications, Vol. 10, No. 2, pp.54-59, 2015, June
- [5] JongGyu Oh, "A Study of Development of Transmission Systems for Next-generation Terrestrial 4K UHD & HD Convergence Broadcasting", Journal of Broadcast Engineering, Vol.19, No.6, pp.767-788, 2014, November
- [6] ISO/IEC 23008-1, "Information technology - High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - Part 1: MPEG media transport (MMT)", Int'l Organization for Standardization, First edition, June, 2014.

저자 소개



송슬기

- 2015년 2월 : 서울여자대학교 멀티미디어학과 학사
- 2017년 2월 : 서울여자대학교 정보미디어학과 석사
- 2017년 1월 ~ 현재 : 전자부품연구원 스마트네트워크연구센터 연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-5727-8383>
- 주관심분야 : 차세대 방송통신시스템

저자소개



방정호

- 1990년 02월 : 중앙대학교 전자공학 학사
- 1996년 12월 : Polytechnic Institute of New York University, USA, Electrical Engineering(EE), MS
- 2001년 05월 : New Jersey Institute of Technology(NJIT), USA, Electrical Engineering(EE), Ph.D
- 2002년 04월 ~ 2013년 11월: 삼성전자 종합기술원, Digital 연구소, 전문연구원
- 2013년 12월 ~ 2015년 10월: 삼성전자 DMC 연구소, 차세대통신팀, 수석연구원
- 2015년 12월 ~ 2016년 08월: 성균관대학교 휴먼ICT융합학과 교수
- 2016년 09월 ~ 현재 : 서울여자대학교 소프트웨어융합학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0557-9221>
- 주관심분야 : 무선통신 네트워크, IoT, 차세대 통신시스템



백종호

- 1994년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 학사
- 1997년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 석사
- 2007년 8월 : 중앙대학교 전자전기공학부 박사
- 1997년 ~ 2011년 : 전자부품연구원 모바일단밀연구센터 센터장
- 2011년 ~ 현재 : 서울여자대학교 소프트웨어융합학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1867-5316>
- 주관심분야 : 차세대 방송통신시스템, 차세대 영상시스템