

MPEG-2 TS 기반의 UHD TV 다중화 기법

장의덕¹, 박동일¹, 이응돈², 김재곤¹

¹ 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

² 한국전자통신연구원

{jangeuydoc, yoguembulnab, jgkim}@kau.ac.kr, edlee@etri.re.kr

Multiplexing of UHD TV Based on MPEG-2 TS

Euy-Doc Jang¹, Dong-Il Park¹, Eung-Don Lee², Jae-Gon Kim¹

¹Korea Aerospace University

²Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문에서는 UHD TV(Ultra HDTV)를 위한 MPEG-2 TS(Transport Stream)의 다중화 기법 및 다중화 SW 툴의 설계 및 구현에 대해서 기술한다. 대용량의 UHD 비디오를 처리하기 위해서는 당분간 병렬처리에 기반한 코덱 구현이 불가피하며 이로 인해 다수의 비디오 비트스트림 간의 동기화 및 다중화가 요구된다. 본 논문에서는 4K(또는 8K) 해상도의 UHD 비디오가 4개의 화면으로 분할되어 각각 H.264/AVC로 부호화되고, 2개의 5.1 채널의 오디오가 AC-3로 부호화되는 병렬처리 기반의 UHD TV의 TS 다중화를 고려한다. H.264/AVC를 전송하기 위한 MPEG-2 시스템(Systems) 확장 규격과 AC-3를 다중화하기 위한 ATSC 규격에 따라 PES 패킷화 및 TS 다중화 툴을 설계한다. 본 논문의 다중화 툴은 타이밍 모델을 만족하도록 T-STD(TS Systems Target Decoder)에 정의된 버퍼들의 상태를 모니터링 하면서 다중화 스케줄링을 수행하고 한 TS 패킷의 전송 시간 단위로 H/W의 실시간 처리를 에뮬레이션(emulation) 한다. 또한 전체 다중화 구조에 있어서 재다중화(Re-multiplexing)의 포함 여부에 따른 장단점에 대해서 고찰한다. 상용 검증 툴 및 재생 툴을 통하여 구현한 TS 다중화 툴의 규격의 적합성 및 그 기능을 검증한다.

1. 서론

HD 해상도 이상의 초고해상도(UHD: Ultra HD) 비디오에 대한 요구가 증대됨에 따라서 HDTV 이후의 방송 서비스로 UHD TV를 위한 기술 개발이 진행되고 있다 [1]. UHD TV를 위한 비디오 코덱으로 8K 해상도의 UHD 비디오를 16개의 화면으로 분할하여 MPEG-2 또는 H.264/AVC로 부호화한 병렬처리 기반의 코덱 구현이 보고된 바 있다 [1][2]. 이와 같이 대용량의 UHD 비디오를 처리하기 위해서 당분간 병렬처리에 기반한 구현이 불가피하며, 따라서 UHD의 전송 및 저장을 위해서는 복수 개의 비디오 비트스트림(ES: Elementary Stream) 간의 동기화 및 다중화가 요구된다.

본 논문에서는 UHD TV를 위한 MPEG-2 TS의 다중화 기법 및 다중화 SW 툴의 설계 및 구현에 대해서 기술한다. 4K(또는 8K) 해상도의 UHD 비디오가 4개의 화면으로 분할되어 각각 H.264/AVC로 부호화되고 [3], 2개의 5.1 채널의 오디오가 AC-3로 부호화되는 [4] 병렬처리 기반 UHD TV의 TS 다중화를 고려한다.

먼저 부(sub) 부호기로부터 출력되는 4개의 H.264/AVC ES를 다중화하기 위한 MPEG-2 시스템 확장 규격 [5]에 따라서 PES(Packetized ES) 패킷화, TS

다중화 등을 수행한다. H.264/AVC는 NAL(Network Adaptation Layer) 단위(NAL Unit: NALU)로 구성되므로 이를 고려한 접근단위(Access Unit: AU) 검출을 통하여 PES 패킷화를 한다. 또한 UHD TV의 다채널 입체 음향을 지원하기 위하여 AC-3로 부호화된 2개의 5.1 채널 오디오 ES를 다중화기로 입력하는 것으로 가정한다. AC-3의 다중화는 ATSC의 AC-3 다중화 표준 [4]에 따라서 AC-3 ES를 기술하기 위한 서술자를 PMT(Program Map Table)에 추가하고, AC-3의 AU 검출 후 하나의 AU를 PES 패킷화하는 과정을 포함한다. 또한 타이밍 및 동기화를 위해서 확장 표준에 따라 TS 시스템 목표 복호기(T-STD: TS System Target Decoder)를 만족하도록 STD 버퍼의 모니터링을 통한 TS 다중화를 수행한다.

본 논문의 TS 다중화 툴은 한 TS 패킷 전송에 해당하는 시간을 기준 단위로 HW로 구현될 실시간 처리를 SW로 구현한 에뮬레이터로, 선택스 및 타이밍 등 MPEG-2 TS의 적합성을 상용 검증 툴 [7] 및 실시간 SW 재생기 [8]를 통하여 검증하였다. 설계 구현된 TS 다중화 툴의 다중화 성능으로 Null 패킷 및 패킷 헤더 등 다중화 오버헤드 비중을 분석한다. 또한 전체 다중화 구조에 있어서 재다중화의 포함 여부에 따른 다중화 구조

를 제시하고 그 장단점에 대해서 고찰한다. 본 논문의 다중화 기법 및 SW 툴은 병렬처리에 기반한 UHD TV 코덱의 다중화 규격 및 HW 다중화기 개발을 위한 시험 및 검증 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 H.264/AVC와 AC-3의 다중화 규격 및 설계에 대해서 기술한다. 3장에서는 UHD TV의 다중화 기법을 제시하고 TS 다중화 SW 툴의 설계 및 구현 내용을 기술한다. 4장에서는 TS 다중화 툴의 시험 및 검증 내용을 기술하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. H.264/AVC 및 AC-3 다중화

가. H.264/AVC 다중화

MPEG-2 시스템에서는 H.264/AVC ES를 TS에 다중화하기 위하여 AU의 정의 및 STD 모델 확장 등의 개정 표준을 규정하고 있다[5]. 본 논문에서는 이 표준을 바탕으로 H.264/AVC의 다중화를 설계한다. H.264/AVC를 TS로 전송하기 위해서는 바이트열 포맷의 규약[3]에 따라야 한다. 바이트열 포맷은 그림 1과 같이 각 AU를 구성하는 여러 개의 NALU이 존재할 수 있고 각 NALU의 선두에는 NALU의 경계를 표시하기 위한 SCP(Start Code Prefix) 3 바이트가 위치한다.

일반적으로 TS에서 ES의 AU 접근성을 고려하여 AU 단위로 PES 패킷을 구성한다[6]. 따라서 PES 패킷화를 위해서는 H.264/AVC의 AU를 검출하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 입력 ES로부터 AUD(AU Delimiter) NAL을 검출한다. 즉, 그림 1과 같이 영(zero) 바이트(0x00) 1 바이트와 SCP(0x000001) 3 바이트, 그리고 AUD NAL(NAL_type = 9)을 검출하여 AU를 검출한다.



그림 1. H.264/AVC ES 신택스(AU의 구조)

나. AC-3 다중화

AC-3 다중화는 MPEG 시스템 표준에서 별도로 규정하고 있지 않으며 본 논문에서는 ATSC의 AC-3을 다중화 규격[5]에 따라 설계한다. AC-3 ES의 기본적인 정보를 기술하는 서술자를 PMT에 추가하고 AC-3의 AU를 검출한 후 AU 단위로 PES 패킷화를 진행한다. AC-3의 AU는 그림 2와 같이 하나의 동기 프레임(sync frame)으로 구성된다. 각각의 동기 프레임의 시작에는 동기를 획득하고 유지하는데 필요한 SI(동기 정보) 헤더와 BSI(비트열 정보) 헤더가 존재한다. 이어서 5.1 채널 부호화 한 6 개의 오디오 블록 AB(오디오 블록)가 존재하며, 예비 정보를 위한 Aux 필드와 CRC가 위치한다. AC-3의 AU를 검출하기 위해서는 SI 헤더의 syncword와 프레임 크기를 나타내는 frmsizecod를 이용한다. syncword는 0x0B77, frmsizecod는 오디오 비트율과 표본화율에 따라 명시되어 있다. 동기 프레임에서 syncword를 검출하고 AU의 길이 frmsizecod를 확인함으로써 고정 길이의 AU를 검출한다. PES 패킷 헤더에

서 stream_id는 사적 스트림(private stream)에 해당하 는 0xBD를 사용한다[4].

ATSC 규격에서는 AC-3 다중화를 위해서 등록(Registration) 서술자와 AC-3 오디오 서술자를 PMT에 추가하도록 규정하고 있다. AC-3를 위한 stream_type 값으로 사용자 개인(user private)을 이용하여 0x81의 값을 사용하고 등록 서술자는 포맷 ID를 명시하며, 오디오 서술자는 AC-3 ES에 대한 표본화율, 채널 수, 서라운드 정보 등을 기술한다.

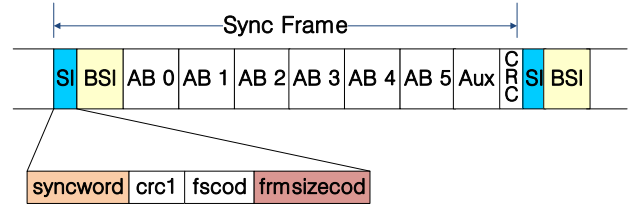


그림 2. AC-3 ES 신택스(동기 프레임)

다. T-STD 모델의 확장

MPEG-2 시스템에서는 동기 재생 및 복호시 버퍼관리를 위해 STD라 불리는 가상참조 복호기 모델을 규정하는데, H.264/AVC를 전송하기 위한 STD 확장 규격을 정의하고 있다[5]. STD에서는 그림 3과 같이 TB_n(시스템 버퍼), MB_n(다중화 버퍼), EB_n(ES 버퍼)를 두고 이들 버퍼의 크기 및 입출력 방식과 비트율 등을 정의하고 있다. 이들 STD의 버퍼들에 넘침/결핍이 발생하지 않도록 다중화 하여야 하며, 이를 위해서 본 논문에서는 가상의 이들 버퍼들을 두고 버퍼 상태의 모니터링 결과를 TS 다중화 스케줄링에 반영함으로써 출력 TS가 타이밍 모델을 만족하도록 한다.

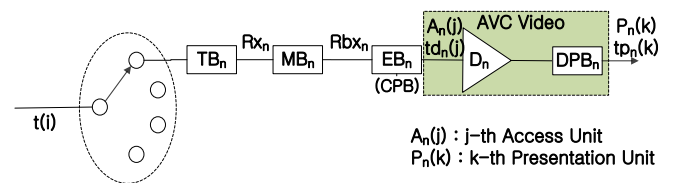


그림 3. H.264/AVC를 위한 T-STD 모델

3. TS 다중화 SW 툴

본 장에서는 앞에서 기술한 MPEG-2 시스템 표준을 기반으로 UHD TV의 TS 다중화 툴 설계 및 구현에 대해 기술한다. 본 논문에서는 4K(3840x2160) 해상도의 UHD 비디오를 4개의 부 HD(1920x1080) 비디오로 분할 부호화된 각각의 H.264/AVC ES와 2개의 AC-3 ES의 TS 다중화를 고려한다. 먼저 각 분할된 HD 비디오의 다중화 기법을 기술하고 병렬처리 기반의 UHD TV 다중화 방법에 대해 소개한다.

가. 전체 구조

분할된 하나의 HD 비디오와 AC-3오디오 ES를 다중화하는 툴의 전체적 구조는 그림 4와 같이 TS 패킷 받

생부, PSI 패킷 발생부, 스케줄링 및 다중화부, 출력 관측 부로 구성된다.

타이밍 모델에 따라 PCR, PTS/DTS를 이용하여 단대 단(end-to-end) 지연이 일정하도록 한다. 다중화 틀에서는 ES 율, TS 율, 초기 DTS 값 등을 설정하여 유연한 프로그램 다중화가 가능하게 한다. 한 TS 패킷 전송 시간 단위로 각 블록에서 진행되어야 할 처리를 수행하도록 실시간 처리를 에뮬레이션 한다. 출력 관측부(OMB: Output Monitoring Block)는 최종 출력인 TS가 T-STD의 버퍼들의 결핍 또는 넘침 등의 상태를 모니터링하여 스케줄링에 반영한다.

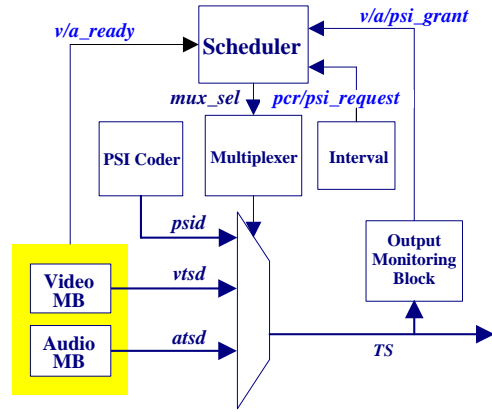


그림 3. 스케줄러 및 다중화기 구성도

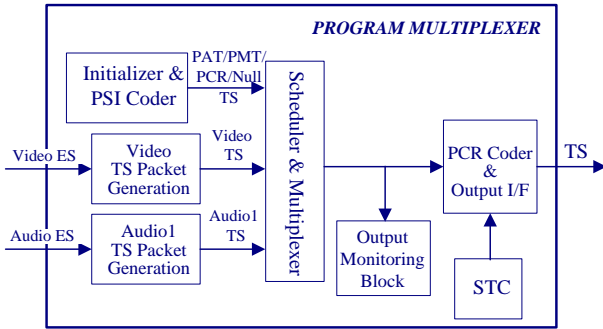


그림 2. 프로그램 다중화기 구성도

나. 스케줄링 및 다중화부

스케줄링 및 다중화부는 프로그램 다중화기의 출력이 고정비트율(CBR)이 되도록 한 TS 패킷의 전송시간에 해당하는 기준 시간마다 한 TS 패킷을 선택하여 다중화한다. 그림 5와 같이 ES의 MB 버퍼의 상태(v/a_ready), PCR, PSI 패킷의 전송주기(pcr/psi_request), 그리고 T-STD 버퍼 상태(v/a/psi_grant)를 고려하여 생성할 TS 패킷을 선택하며 동작은 아래와 같다.

```

초기 state
mux_sel = PAT packet
mux_sel = PMT packet
mux_sel = PCR packet
goto to 동작state

동작 state
IF pcr_request THEN
    mux_sel = PCR packet
ELSE IF psi_request THEN
    mux_sel = PAT packet
    mux_sel = PMT packet
ELSE IF a_ready & a_grant THEN
    mux_sel = audio packet
ELSE IF v_ready & v_grant THEN
    mux_sel = video packet
ELSE
    mux_sel = null packet
    
```

다. 다중화 구조

위와 같이 한 부 HD에 대한 프로그램 다중화 기법을 바탕으로 전체 UHD 비디오의 다중화 구조는 다음과 같이 1) 각 부 HD 비디오를 다중화한 TS를 재다중화하는 구조와 2) 단일 프로그램에 4 개의 HD 비디오를 다중화하도록 확장하는 프로그램 다중화의 2 가지 형태를 고려할 수 있다.

첫 번째 구조는 각 부 HD를 서로 다른 4개의 프로그램으로 가정하고 각각 프로그램 다중화한 4 개의 TS를 그림 6과 같이 하나의 TS로 재다중화 하는 방법이다. 일반적인 재다중화와 달리 본 논문에서는 UHD 화면이 동일한 크기의 HD 화면으로 분할되어 동일한 비트율로 부호화된다는 가정을 바탕으로 동일한 전송률을 갖는 4 개의 TS를 다중화하는 경우를 고려한다. 따라서 그림 6과 같이 각 TS를 균일하게 다중화함으로써 PCR 수정이 불필요하고, PSI도 재다중화를 고려하여 PID를 할당함으로써 PSI 갱신 등의 처리 없이 재다중화를 수행할 수 있도록 한다.

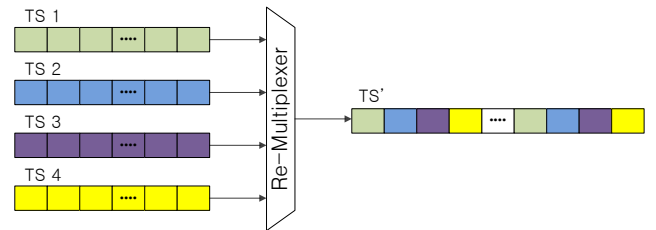


그림 4. 재다중화 구조

두 번째 구조는 모든 HD 비디오가 하나의 프로그램을 구성하는 형태로 4 개의 비디오 ES와 2 개의 오디오 ES가 포함된 프로그램 다중화를 하는 형태이다. 이는 단순히 전송한 프로그램 다중화 구조에서 ES의 수를 추가하는 확장된 형태로 구현된다. 본 논문에서 가정하는 형태의 병렬처리 기반의 UHD TV 코덱에서는 재다중화 없이 프로그램 다중화 기법으로 UHD 다중화가 충분함을 알 수 있다.

4. 실험 및 검증

본 장에서는 앞에서 설계한 다중화 틀을 이용하여 병렬처리 기반의 UHD TV 코덱을 위한 다중화를 실험하고 재다중화의 사용 여부에 따른 장단점에 대해서도 고찰한다. 또한 구현한 TS 다중화 틀을 상용 검증 틀[7] 및 재생 틀[8]을 통하여 규격의 적합성 및 그 기능을 검증한다. 다중화 구현에 사용한 ES와 PES 패킷화의 규격은 다음과 같다.

표 1. 다중화 실험 조건

	Video	Audio
ES	H.264/AVC , Main@Level 4.2 10 Mbps 1920x1080,24p 30 sec (720 frames)	AC-3 5.1 ch 448 kbps 48 kHz sampling, 32 ms 30 sec
PES	AU length: variable Timestamp : PTS, DTS PTS/DTS AU interval : 3750	AU length : 1792 Bytes Timestamp : PTS PTS AU Interval: 2880
TS	TS Rate : 48 Mbps (12 Mbps for HD video)	

위의 규격에 따라서 본 논문의 TS 다중화 톨로 재다중화된 UHD TS는 재생 톨(VLC player) [8]에서 정상적으로 재생됨을 확인하였고 TS 분석 톨 [7] [9]을 이용한 신택스/시멘틱스 및 타이밍 검증에서도 규격에 적합함을 검증하였다. 재다중화에 기반한 구조는 각 프로그램 TS를 PSI 갱신없이 균일하게 다중화함으로써 PSI 및 PCR 패키지의 중복으로 인한 오버헤드가 증가하는 단점이 있다. 프로그램 다중화 기법으로 생성된 UHD TS도 정상동작함을 보였다. 그림 7은 실시간 TS 재생 톨인 VLC player에서 재생 시 다중화된 4 개의 HD 비디오의 재생 화면이다.

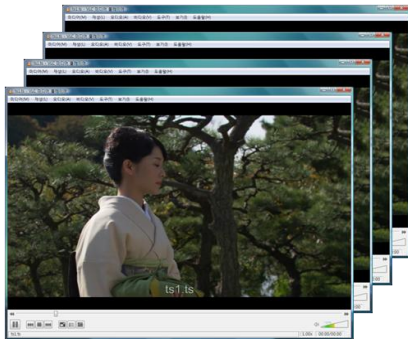


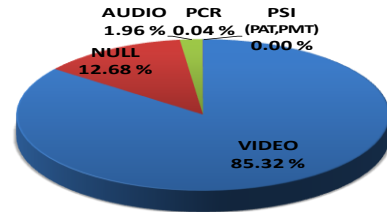
그림 5. 다중화된 TS 재생 확인

그림 8은 본 논문의 프로그램 다중화 스케줄링에 의한 UHD TS의 패킷별 구성 비율을 보여주는 것이다. 그림 8(a)는 패킷 별 전체 구성비율을 그림 8(b)는 TS의 시작 부분의 50 ms에 해당하는 TS 패킷의 다중화 결과를 보여준다. PCR은 0.08초의 주기를 가지고 전체 TS의 0.04%의 비율을 차지하며 PSI는 0.5초 간격으로 T-STD 버퍼의 상태를 함께 고려하여 전송하며 오버헤드의 발생이 미미하다. 하지만, 고정 전송률의 TS로 다중화하기 위한 Null 패킷은 12.68%를 차지하여 이를 줄이기 위한 ES의 비트율 증가 및 스케줄링 기법이 필요함을 알 수 있다.

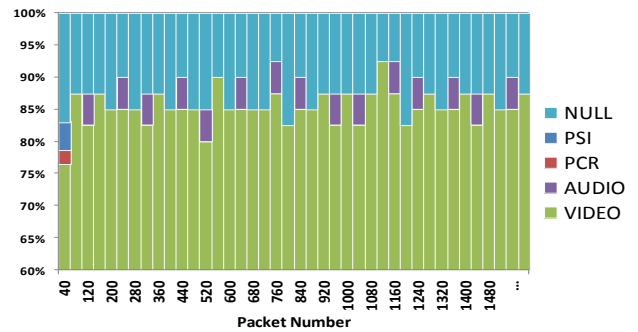
5. 결론

본 논문에서는 MPEG-2 시스템 표준에 기반한 UHDTV 다중화 기법 및 실시간 SW 구조를 제안 및 구현하고 상용 검증 톨 및 재생 톨을 통하여 규격의 적합성 및 그 기능을 검증하였다. 또한 H.264/AVC 및 AC-3의 TS 다중화를 위한 PES 패키징 및 타이밍 모델을

만족하는 스케줄링 기법 등을 제시하였다. 병렬처리 기반의 코덱에서 UHD의 각 분할 화면의 비디오가 하나의 프로그램으로 구성되는 프로그램 다중화 구조가 대용량의 UHD 다중화에 적합함을 알 수 있다. 본 논문의 다중화 기법 및 톨은 UHDTV 다중화 규격 및 HW 다중화기 개발을 위한 시험 및 검증 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.



(a) 전체 패킷별 다중화 구성비



(b) 시간별 패킷 다중화 비율(TS 50 ms 구간)

그림 8. UHD TS의 패킷 구성

참고문헌

- [1] 최해철, 정세운, 최진수, 홍진우, "초고선명(UHD) 비디오 부호화 기술 동향," *전자통신동향분석*, 제24권, 제3호, pp. 69-71, 2009년 6월.
- [2] S. Sakaida et al., "The super hi-vision codec," *In Proc. IEEE ICIP*, San Antonio, Sep. 2007.
- [3] *ISO/IEC 14496-10: 2008, Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced video coding.*
- [4] *Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3) Revision B, ATSC A/52B*, Advanced Television Systems Committee, 2005.
- [5] *ISO/IEC 13818-1: 2007, Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems.*
- [6] J. G. Kim, H. K. Lee, J. W. Kim, and J. H. Jeong, "Design and implementation of an MPEG-2 transport stream multiplexer for HDTV satellite broadcasting," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, pp.672-678, Aug. 1998.
- [7] MP2TSAE-Transport Stream Analyzer, <http://www.manzanitasystems.com>
- [8] VLC media player, <http://www.videolan.org>
- [9] tsMuxeR, <http://www.smlabs.net>