특집논문-10-15-2-06

MPEG-2 TS 기반의 UHDTV 다중화

장 의 덕^{a)}, 박 동 일^{a)}, 김 재 곤^{a)*}, 이 응 돈^{b)}, 조 숙 희^{b)}, 최 진 수^{b)}

Multiplexing of UHDTV Based on MPEG-2 TS

Euy-doc Jang^{a)}, Dong-Il Park^{a)}, Jae-Gon Kim^{a)*}, Eung-Don Lee^{b)}, Suk-Hee Cho^{b)}, Jin Soo Choi^{b)}

요 약

본 논문에서는 UHDTV(Ultra HDTV)를 위한 MPEG-2 Transport Stream(TS)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 4 개의 화면으로 분할되어 각각 H.264/AVC로 부호화되고, 2 개의 5.0 채널의 오디오가 AC-3로 부호화되는 병렬처리 기반의 UHDTV의 TS 다중화를 고려한다. H.264/AVC와 AC-3를 TS로 전송하기 위한 MPEG-2 시스템(Systems) 확장 규격을 반영한 PES 패킷화 및 TS 다중화 툴을 설계한다. 또한 T-STD(TS System Target Decoder)의 타이밍 모델을 만족하도록 T-STD에 정의된 버퍼들의 상태를 모니터링 하면서 다중화 스케줄링을 수행하고, 한 TS 패킷의 전송 시간 단위로 H/W의 실시간 처리를 에뮬레이션(emulation)하도록 구현한다. UHDTV 다중화를 위해서 재다중화(Re-multiplexing)를 포함하는 UHD 재다중화와 단일 TS로 다중화하는 UHD 프로그램 다중화의 2 가지 구조를 구현하고 이들의 장단점에 대해서 고찰한다. 본 논문에서 설계 구현된 TS 다중화 툴은 상용 분석 툴 및 실시간 재생 툴을 이용하여 규격 및 타이밍의 적합성과 그 기능을 검증한다.

Abstract

In this paper, a method of MPEG-2 Transport Stream (TS) multiplexing for Ultra HDTV (UHDTV) and its design and implementation as a SW tool is described. In practice, UHD video may be divided into several HD videos and each video is encoded in parallel. Therefore, it is necessary to synchronize and multiplex multiple bitstreams encoding each HD video for transmitting and storing UHD video. In this paper, it is assumed that 4 HD videos partitioning a UHD spatially are encoded as H.264/AVC and two 5.0 channel audios are encoded by AC-3. Therefore, 4 H.264/AVC elementary streams (ESs) and 2 AC-3 ESs is mainly considered in the TS multiplexing of UHD. For the carriage of H.264/AVC and AC-3 over MPEG-2 TS, PES packetization and TS multiplexing are designed and implemented based on the extended specification of the MPEG-2 Systems and ATSC (Digital audio compressed standard), respectively. The implemented UHD TS multiplexing tool emulates real time HW operation in the time unit corresponding to the duration of one TS packet transmission in a given TS rate. In particular, in order to satisfy the timing model, the buffers defined in the TS System Target Decoder (T-STD) are monitored and their statuses are considered in the scheduling of TS multiplexing. For UHD multiplexing, two kinds of multiplexing structures, which are UHD re-multiplexing and UHD program multiplexing, are implemented and their strength and weakness are investigated. The developed UHD TS multiplexing tool is tested and verified in terms of the syntax and semantics conformance and functionalities by using a commercial analyzer and real-time presentation tools.

Keywords: UHDTV, MPEG-2 Transport Stream, Multiplexing, H.264/AVC

I. 서론

HD 해상도 이상의 초고해상도(UHD) 비디오에 대한 요구가 증대됨에 따라서 HDTV 이후의 방송 서비스로 UHD TV를 위한 기술 개발이 진행되고 있다^[1]. HDTV의 해상도를 넘어서는 UHD TV를 위한 비디오 코덱으로 8K (7680x4320) 해상도의 UHD 비디오를 16 개의 화면으로 분할하여 MPEG-2 또는 H.264/AVC로 부호화한 병렬처리 기반으로 구현된 코덱이 보고된 바 있다^{[2][3]}. 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.

MPEG-2 시스템(Systems)은 압축된 AV ES 및 부가데이터의 전송 및 저장을 위한 다중화 규격으로 저장 응용을 고려한 PS(Program Stream)와 전송을 위한 TS의 두 가지 다중화 규격을 제공하고 있다. MPEG-2 TS의 다중화는 먼저 각각의 ES를 별도의 PES(Packetized ES) 패킷으로 구성하고 이들 PES를 다시 188 바이트의 고정길이 TS 패킷으로 다중화한다. TS 다중화 시 프로그램 제어정보(PSI: Program Specific Information)를 포함하여 역다중화 기능을 제공하고 또한 AV 부호기에서 복호기까지의 일정한 지연을 갖도록 하여 AV간의 동기가 맞도록 하는 동기 및 타이밍 기능을 제공한다. 이를 위하여 PES 헤더에 그 패킷의 유효부하 응용 데이터의 재현 및 복호 시점을 지정하는 타임스탬프(PTS/DTS: Presentation/Decoding Time Stamp)를 포함하고, 수신측의 시스템 클럭 복구를 위하여 프로그램 기준클럭(PCR: Program Clock Reference) 타임스탬프를 0.1초에 한번 이상 포함하도록 한다.

본 논문에서는 UHD TV를 위한 MPEG-2 TS의 다중화

기법 및 다중화 SW 툴의 설계 및 구현에 대해서 기술한다. 4K(3840x2160) 해상도의 UHD 비디오가 4 개의 화면으로 분할되어 각각 H.264/AVC로 부호화되고^[4], 2 개의 5.0 채널의 오디오가 AC-3로 부호화되는^[5] 병렬처리 기반 UHD TV의 TS 다중화를 고려한다.

먼저 부(sub) 부호화기로부터 출력되는 4 개의 H.264/AVC ES를 다중화하기 위한 MPEG-2 시스템 확장 규격^[6]에 따라서 PES 패킷화, TS 다중화 등을 수행한다. H.264/AVC는 NAL(Network Abstraction 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 2 개의 5.0 채널 오디오 ES를 다중화기로 입력하는 것으로 가정한다. AC-3의 다중화는 ATSC의 AC-3 다중화 표준^[5]에 따라서 AC-3 ES를 기술하기 위한 서술자를 PMT(Program Map Table)에 추가^{[5][7]}하고, 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 기준단위로 HW로 구현될 실시간 처리를 SW로 구현한 에뮬레이터로, 신택스 및 타이밍 등 MPEG-2 TS의 적합성을 상용 검증 툴^{[9][10]} 및 실시간 SW 재생기^[11]를 통하여 검증하였다. 설계 구현된 TS 다중화 툴의 다중화 성능으로 Null 패킷 및 패킷 헤더 등의 다중화 오버헤드 비중을 분석한다. 또한 전체 다중화 구조에 있어서 재다중화의 포함 여부에 따른 다중화 구조를 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. 2 장에서는 H.264/AVC와 AC-3의 다중화 규격 및 설계에 대해서 기술한다. 3 장에서는 UHD TV의 다중화 기법을 제시하고 TS 다중화 SW 툴의 설계 및 구현 내용을 기술한다. 4 장에서는 TS 다중화 툴의 시험 및 검증 내용을 기술하고 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

a) 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

School of Elec., Telecom. & Computer Eng., Korea Aerospace Univ.

b) 한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부 실감미디어연구팀

Realistic Media Research Team, ETRI

✉ 교신저자 : 김재곤(jgkim@kau.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 방송통신위원회의 지식경제 기술혁신사업 (정보통신 산업원천기술개발사업) [2008-F-011-02, 차세대 DTV 핵심기술 개발]과 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업[GRRC-항공 2009-B01]의 지원으로 수행되었음.

· 접수일(2009년12월29일), 수정일(2010년2월25일), 게재확정일(2010년2월25일)

II. H.264/AVC 및 AC-3 다중화

1. UHDTV 코덱 구조

본 논문에서는 그림 1과 같이 4K 해상도의 UHD 비디오를 공간적으로 4 분할하여 각각의 부 HD 부호화기에 의해 H.264/AVC로 부호화되는 병렬처리 기반의 코덱을 가정한다. 4 대의 부호화기 중 한 대가 마스터 부호화기로 동작하고 나머지 3 대는 슬레이브 부호화기로 동작하여 전체 PCR (Program Clock Reference), PTS/DTS(Presentation Time Stamp/Decoding Time Stamp) 등의 타이밍 정보를 공유하여 분할된 부 HD 프레임들의 동기를 일치시킨다. 또한, UHDTV의 다채널 입체 음향 지원을 위한 10.0 채널은 2 개의 5.0 채널 AC-3 ES로 부호화된다.

그림 1. 병렬처리 기반 UHDTV 코덱 구조
Fig. 1. UHDTV codec based on parallel processing

2. H.264/AVC 다중화

MPEG-2 시스템에서는 H.264/AVC ES를 TS에 다중화하기 위하여 AU의 구조 정의 및 STD 모델 확장 등의 개정 표준을 규정하고 있다^[6]. 본 논문에서는 이 표준을 바탕으로 H.264/AVC의 다중화를 설계한다. H.264/AVC를 TS로 전송하기 위해서는 바이트열 포맷의 규약^[4]에 따라야 한다. 바이트열 포맷은 그림 2와 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 TS에서는 ES의 AU 접근성을 고려하여 AU 단위로 PES 패킷을 구성한다^[8]. 따라서 PES 패킷화를 위해서는 H.264/AVC의 AU를 검출하는 과정이 필요하다. AUD(AU Delimiter) NALU은 AU 앞부분에 포함되어 AU의 시작을 나타내는 NALU으로서 각 AU는 AUD NAL을 반드시 포함해야 함을 규정하고 있다. 본 논문에서는 입력 ES로부터 AUD NAL을 검출한다. 즉, 그림 2와 같이 영(zero) 바이트(0x00) 1 바이트와 SCP(0x000001) 3 바이트, 그리고 AUD NAL(NAL_unit_type = 9)을 포함하는 NAL 헤더를 검출하여 하나의 AU를 검출한다.

또한, 본 논문에서는 HDTV 이후에 높은 해상도의 UHD 비디오의 다중화를 위해 MPEG-2 시스템에서 규정하고 있는 분할 화면에 대한 정보를 포함하는 서술자^[6]를 고려한다. 이는 UHD 비디오를 4 분할 시 각 분할된 HD 비디오를 원하는 위치에 재생 시 사용된다. MPEG-2 시스템 표준에서는 그림 3과 같이 전체 화면의 크기와 종횡비(aspect ra

그림 2. H.264/AVC ES 신택스(AU의 구조)
Fig. 2. Syntax of H.264/AVC ES(Structure of AU)

그림 3. 비디오 분할 정보 서술자
Fig. 3. Split-screen descriptor

tio) 정보를 내포하는 목표 배경 그리드 서술자(target_background_grid_descriptor)와 각 분할된 비디오의 좌측 상단 좌표를 포함하는 비디오 윈도우 서술자(video_window_descriptor)를 PMT에 추가하도록 규정하고 있다.

3. AC-3 다중화

AC-3 다중화는 MPEG 시스템 표준에서 별도로 규정하고 있지 않으며 본 논문에서는 ATSC의 AC-3를 다중화 규격^{[5][7]}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 4와 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 AB(오디오 블록)가 존재하며, 예비 정보를 위한 Aux 필드와 CRC가 위치한다. AC-3의 AU를 검출하기 위해서는 SI 헤더의 syncword(0x0B77) 2 바이트와 비트율과 표본화율에 따른 해당 AU 즉, 프레임 크기를 나타내는 frmsizecod를 확인함으로써 고정 길이의 AU를 검출한다. PES 패킷 헤더에서 stream_id는 사적 스트림(private stream)에 해당하는 0xBD를 사용한다^[5].

ATSC 규격에서는 AC-3 다중화를 위해서 등록(Regis-

tration) 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 4. AC-3 ES 신택스(동기 프레임)
Fig. 4. Syntax of AC-3 ES(Sync frame)

4. 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^[6]. STD에서는 그림 5와 같이 TBn(전송 버퍼), MBn(다중화 버퍼), EBn(ES버퍼)를 두고 이들 버퍼의 크기 및 입출력 방식과 비트율 등을 정의하고 있다. 본 논문에서는 MBn에서 EBn으로 고정된 비율로 전달되는 누출 방식

그림 5. H.264/AVC를 위한 T-STD 모델
Fig. 5. T-STD model for H.264/AVC

(Leak method)을 가정하고 프로파일과 레벨에 따라 규정되어 있는 버퍼의 크기와 전송률을 적용한다. 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.

III. TS 다중화 SW 틀 설계 및 구현

본 장에서는 앞에서 기술한 MPEG-2 시스템 표준을 기반으로 UHDTV의 TS 다중화 틀 설계 및 구현에 대해 기술한다. 본 논문에서는 4K(3840x2160) 해상도의 UHD 비디오를 각각의 HD(1920x1080) 비디오로 분할 부호화된 H.264/AVC ES 4 개와 5.0 채널의 AC-3 ES 2 개의 TS 다중화를 고려한다. 먼저 각 분할된 HD 비디오의 다중화 기법을 기술하고 병렬처리 기반의 UHDTV 다중화 방법에 대해 소개한다.

1. 전체 구조

분할된 하나의 HD 비디오와 AC-3 오디오 ES를 다중화하는 틀의 전체적 구조는 그림 6과 같이 TS 패킷 발생부, PSI(Program Specific Information) 패킷 발생부, 스케줄링 및 다중화부, 출력 관측부(OMB: Output Monitoring Block)로 구성된다.

타이밍 모델에 따라 PCR, PTS/DTS를 이용하여 단대단(end-to-end) 지연이 일정하도록 한다. 다중화 틀에서는 ES 율, TS 율, 초기 DTS 값 등을 설정하여 유연한 프로그램 다중화가 가능하게 한다. 이는 한 TS 패킷 전송 시간 단위로 각 블록에서 진행되어야 할 처리를 수행하도록 실시간 처리를 에뮬레이션 한다.

일단 H.264/AVC 비디오, AC-3 오디오 인코더로부터 생성된 비디오 1 개, 오디오 1 개의 ES가 그림 6의 프로그램 다중화기로 입력되면 PES 패킷화와 TS 패킷화를 수행하게 된다. PES 패킷화 시 헤더에 포함되는 주요 정보는 그 패킷의 유료부하가 포함하는 응용 데이터의 재현 및 복호 시각

그림 6. 프로그램 다중화기 구성도
Fig. 6. Architecture of Program multiplexer

반영한다. ES의 MB 버퍼의 상태에 따라 v/a_ready의 활성화 신호를, PCR, PSI 패킷의 전송 주기마다 pcr/psi_request의 활성화 신호를, 그리고 T-STD 버퍼 상태를 고려한 v/a/psi_grant의 활성화 신호를 통하여 생성할 TS 패킷을 선택하여 출력한다.

3. UHDTV 다중화 구조

위와 같이 하나의 부 HD 비디오에 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 그림 8(a)와 같이 각 부 HD 비디오를 서로 다른 4 개의 프로그램으로 가정하고 각각 프로그램 다중화한 4 개의 TS를 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 균등하게 순차적으로 다중화하는 경우를 고려한다. 따라서, 각 TS를 균일하게 다중화함으로써 PCR 수정이 불필요하고, PSI도 재다중화를 고려하여 PID를 할당함으로써 PSI 갱신 등의 처리 없이 재다중화를 수행할 수 있도록 한다.

두 번째 구조는 위에서 기술한 재다중화의 추가적인 과정 없이 모든 부 HD 비디오가 하나의 프로그램을 구성하는 형태로 4 개의 비디오 ES와 2 개의 오디오 ES가 포함된 프로그램 다중화를 하는 형태이며 그림 8(b)와 같다. 이는 단순히 전술한 그림 6의 프로그램 다중화 구조에서 ES의 수를 추가하는 확장된 형태로 구현된다. 따라서, 각 PES 헤더에 포함되었던 PTS/DTS 값은 ES 별로 초기화의 과정이 추가되었으며 역 다중화에 필요한 제어 정보 PSI에도 확장된 ES에 대한 정보로 갱신되어 다중화된다.

또한, 스케줄러 및 다중화기 구성도 전술한 TS 다중화

(a) 재다중화 기반의 UHD TS

(b) 프로그램 다중화 기반의 UHD TS

그림 8. UHD Transport Stream의 구조
Fig. 8. Structure of UHD Transport Stream

툴과 마찬가지로 확장된 ES에 대해 동일한 패킷 우선 순위와 추가된 MB 버퍼들의 상태에 따라 다중화되고 발생하는 TS를 최종 출력 단에서 출력 관측부를 통해 TS 패킷을 출력시키는 형태로 구현된다. 따라서, ES들의 MB 버퍼 상태와 T-STD 버퍼 상태를 고려하여 출력하는 활성화 신호도 확장시켜 주었으며 이를 통해 추가된 비디오와 오디오에 대한 TS 패킷 출력이 이루어진다.

본 논문에서 가정하는 형태의 병렬처리 기반의 UHD TV 코덱에서는 재다중화 없이 프로그램 다중화 기법으로 UHD 다중화가 충분함을 알 수 있다.

IV. 실험 및 검증

본 장에서는 앞에서 설계한 다중화 툴을 이용하여 병렬처리 기반의 UHD TV 코덱을 위한 다중화를 실험하고 재다중화의 사용 여부에 따른 장단점에 대해서도 고찰한다. 또한, 구현한 TS 다중화 툴을 상용 검증 툴^{[9][10]} 및 재생 툴^[11]을 통하여 규격의 적합성 및 그 기능을 검증한다.

1. 실험 조건

다중화 구현에 사용한 TS와 PES 패킷화의 규격은 다음

표 1. 다중화 실험 조건

Table 1. Test condition of Multiplexing

	Video	Audio
ES	Spatial-Temporal Resolution: - UHD: 3840x2160, 24p - sub HD: 1920x1080, 24p (YUV 4:2:0, 24 bits/pixel) H.264/AVC - Main@Level 4.2 - JM 15.0 Bitrate: 10 Mbps Duration: 30 sec (720 frames)	5.0 ch(L, R, C=L, SL=L, SR=R)*2 Sampling rate: 48 kHz, 32ms AC-3 - ATSC - Stereo L, R 32 bits/sample Wav Bitrate: 448 kbps Duration: 29.942 sec (1,437,255 samples)
PES	AU length: variable Timestamp: PTS, DTS PTS/DTS AU interval: 3750 - 1/24 * 90,000	AU length: 1792 bytes Timestamp: PTS PTS AU interval: 2880 - 32ms * 90,000
TS	TS Rate: 48 Mbps (12 Mbps for sub HD video)	

표 1과 같다.

2. UHD TS 다중화 성능분석

위의 실험 조건에 따라서 본 논문의 TS 다중화 툴로 다중화된 분할된 4 개의 부 HD TS를 재다중화한 UHD TS를 재생 툴(VLC player)^[11]에서 정상적으로 재생됨을 확인하였고 TS 분석 툴^{[9][10]}을 이용한 선택스/시맨틱스 및 타이밍 적합성 검증에서도 규격을 만족함을 확인하였다. 이와 같은 재다중화에 기반한 구조는 각 프로그램 TS를 PSI 갱신 없이 균일하게 다중화함으로써 PSI 및 PCR 패킷의 중복

그림 9. 다중화된 UHD TS 재생 확인

Fig. 9. Real-time presentation of UHD TS

으로 인한 오버헤드가 증가하는 단점이 있다. 또한, 모든 부 HD 비디오가 하나의 프로그램으로 다중화되는 프로그램 다중화 기법으로 생성된 UHD TS도 정상 재생 함을 보였다. 그림 9는 실시간 TS 재생 툴인 VLC player에서 프로그램 다중화 기법으로 생성된 UHD TS를 재생 시 다중화된 4 개의 HD 비디오가 동시 재생되는 화면이다.

표 2는 본 논문에서 구현한 재다중화 및 프로그램 다중화 스케줄링에 의한 UHD TS의 전체 패킷별 구성 비율을 보여주는 것이며, 그림 10(a), (b)는 TS의 초반부 70 ms 구간에 해당하는 TS 패킷의 다중화 비율 결과를 보여준다. 패킷별 전체 구성 비율에서 볼 수 있듯이 PCR은 0.08 초의 주기를 가지고 전체 TS에서 재다중화 시 0.16 %, 프로그램 다중화 시 0.04 %의 비중을 각각 차지하며 0.1 초 간격으로 T-STD 버퍼의 상태를 함께 고려하여 전송하는 PSI 정보 역시 전체적인 비율이 재다중화 시 0.25 %, 프로그램 다중화 시 0.06 %로 오버헤드가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 재다중화로 생성된 TS 패킷 다중화 비율 그림 10(a)가 프로그램 다중화 비율의 그림 10(b)와 비교할 때 TS 생성 초기에 PSI와 PCR 패킷의 비중이 높은 것을 통해 다시 한번 확인할 수 있다. 이것은 재다중화 기반으로 UHD TS 패킷 생성시 각 4 개의 TS에 대한 PCR 및 PSI 패킷이 중복되어 증가하는 오버헤드에 해당한다. 하지만 고정 전송률의 TS로 다중화하기 위한 Null 패킷은 12.63 %를 차지하여 이를 줄이기 위한 ES의 비트율 증가 및 스케줄링 기법이 필요함을 확인할 수 있다.

따라서, 실험의 결과를 통하여 병렬처리 기반의 코덱에서 UHD의 각 분할 화면 비디오가 별도의 재다중화 과정없이 하나의 프로그램으로 구성되는 프로그램 다중화 구조가 대용량의 UHD 다중화에 적합함을 확인할 수 있다.

표 2. 구현한 UHD TS에 대한 전체 패킷별 구성비

Table 2. All per packet composition of implementation UHD TS

	전체 패킷별 다중화 구성비 (%)				
	PSI	PCR	Video	Audio	Null
재다중화 UHD TS	0.25	0.16	85.32	1.96	12.32
프로그램 다중화 UHD TS	0.06	0.04	85.32	1.96	12.63

그림 11은 프로그램 다중화 구조로 생성된 UHD TS를 상용 검증 툴을 이용하여 PCR의 적합성 및 PSI의 생성 주기, T-STD 시스템 버퍼에 대해 검증한 화면이다. 그림 11(a)는 PCR의 정확도를 27 MHz 기준으로 확인한 결과이며, 그림 11(b)는 PCR 지터(Jitter)의 범위를 검증하는 것으로 모두 규격에 만족함을 알 수 있다. 그림 11(c), (d)는 T-STD의 시스템 버퍼가 PSI의 주기인 0.1 초 단위로 입출력되는지 여부를 확인하는 과정이다. 또한, 그림 11(e), (f)를 통해 다중화된 비디오와 오디오에 대한 PES 정보를 확인하였다. 이를 통해 24 fps의 H.264/AVC와 48 kHz의 AC-3 ES를 PES 패킷화한 정보를 이용하여 각각의 PTS 간격이 정상적으로 다중화 되었음을 확인할 수 있다.

그림 10. UHD TS의 시간별 패킷 다중화 비율(TS 70 ms 구간)
Fig. 10. Packet composition of UHD TS(over 70 ms duration)

그림 11. 생성된 UHD TS의 규격의 적합성 검증

Fig. 11. Compliance validation of generated UHD TS

3. HW 구현 검증

본 논문에서 구현한 프로그램 다중화 기법으로 생성된 UHD TS를 검증하기 위하여 TS 역다중화 및 H.264/AVC 복호화를 수행하는 상용 ASIC 및 검증보드^[13]를 이용하였다. 전송한 프로그램 다중화 기반의 UHD TS의 간단한 형태의 역다중화를 위해 PMT 내의 PID를 이용하여 특정 PID만 필터링하는 복호화 칩을 사용한다. 즉, H.264/AVC ES 4 개와 AC-3 ES 2 개를 포함하는 MPEG-2 TS가 4개의 복호화 칩으로 동시에 입력되면 각 복호화 칩에서 해당 PID에 따라 필터링하여 PCR/PTS/DTS에 따라 병렬로 복호화되고 4 개의 HD-SDI 칩으로 데이터를 전달하는 병렬 처리 형식으로 이루어진다. 이 때, PMT 내에 존재하는 분

할된 4 개의 화면의 위치 정보를 담고 있는 서술자를 검출하여 해당 칩으로 데이터를 전달하여 4K UHD 비디오를 재생하고 각 부 HD 화면 간의 동기화는 하나의 마스터 클럭에 의해 이루어진다. 추후 UHD TS를 역다중화/복호화하여 UHD 화면을 재구성하여 실시간 재생하는 상용 ASIC 기반의 UHD TV 수신기를 구현할 예정이다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 MPEG-2 시스템 표준에 기반한 UHD TV 다중화 기법 및 실시간 SW 구조를 제안 및 구현하고 사용 검증 툴 및 재생 툴을 통하여 규격의 적합성 및

그 기능을 검증하였다. 4K(또는 8K) 해상도의 UHD 비디오를 다중화하기 위해 4 개의 부 HD 화면으로 분할하여 각각 H.264/AVC로 부호화하고, 입체 음향의 지원을 위하여 2 개의 5.0 채널 오디오가 AC-3로 각각 부호화되는 것을 가정하였다. 또한, 부호화된 H.264/AVC 및 AC-3의 TS 다중화를 위한 PES 패킷화 및 타이밍 모델을 만족하는 스케줄링 기법 등을 제시하였다.

UHD 비디오 다중화를 위한 재다중화 포함여부에 따른 2 가지 형태의 다중화 구조를 구현하고 생성된 TS를 분석함으로써 재다중화 시 발생하는 오버헤드에 대해 분석하였다. 이를 통해, 병렬처리 기반의 코덱에서 UHD의 각 분할 화면의 비디오가 하나의 프로그램으로 구성되는 프로그램 다중화 구조가 대용량의 UHD 다중화에 적합함을 알 수 있다. 이러한 프로그램 다중화 구조에 의해 생성된 UHD TS는 실시간 TS 재생 툴에서 다중화된 모든 비디오와 오디오가 동기를 맞추어 정상 재생됨을 확인하였다. 본 논문의 다중화 기법 및 툴은 UHDTV 다중화 규격 및 HW 다중화기 개발을 위한 시험 및 검증 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 최해철, 정세윤, 최진수, 홍진우, "초고선명(UHD) 비디오 부호화 기술 동향," 전자통신동향분석, 제24권, 제3호, pp. 69-71, 2009년 6월.
- [2] 정세윤, 조숙희, 이용돈, 김성훈, 최진수, 홍진우, "UHDTV 기술 현황과 전망," 전자공학회지, 제36권, 제4호, pp. 427-435, 2009년 4월.
- [3] S. Sakaida et al., "The super hi-vision codec," In Proc. IEEE ICIP, vol. 1, pp. I-21-I-24, Sep. 2007.
- [4] ISO/IEC 14496-10: Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced video coding, 2008.
- [5] Digital Audio Compression Standard (AC-3, E-AC-3) Revision B, ATSC A/52B, Advanced Television Systems Committee, 2005.
- [6] ISO/IEC 13818-1: Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, 2007.
- [7] B. J. Lechner et al., "The ATSC transport layer, including program and system information protocol (PSIP)," In Proc. IEEE, vol. 94, pp. 77-101, Jan. 2006.
- [8] 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.
- [9] MP2TSAE-Transport Stream Analyzer, <http://www.manzanitasystems.com>
- [10] MPEG2 TS packet analyzer, <http://www.pjdaniel.org.uk/mpeg/>
- [11] VLC media player, <http://www.videolan.org>
- [12] tsMuxeR, <http://www.smlabs.net>
- [13] STMicroelectronics, <http://www.st.com>

저 자 소 개

장 의 덕

- 2009년 2월 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 석사과정
- 주관심분야 : 비디오 신호처리/부호화, SVC, MPEG

박 동 일

- 2010년 2월 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 석사과정
- 주관심분야 : 영상부호화, UHDTV, High-performance Video Coding

 저 자 소 개

김 재 곤

- 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1992년 2월 : KAIST전기 및 전자공학과 석사
- 2005년 2월 : KAIST전기 및 전자공학과박사
- 1992년 3월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원/팀장
- 2001년 9월 ~ 2002년 11월 : 뉴욕 콜롬비아대학교 연구원
- 2007년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 조교수
- 주관심분야 : 비디오 신호처리/부호화, 디지털방송 미디어, 미디어 컨버전스, 멀티미디어 통신

이 응 돈

- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사 졸
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사 졸
- 2009년 8월 : 충남대학교 정보통신공학과 박사 졸
- 1996년 3월 ~ 1999년 11월 : (주)대우전자 VCR사업부/정보통신사업부
- 1999년 12월 ~ 2010년 현재 : 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원
- 주관심분야 : MPEG 시스템 기술, AV 부호화 기술, 멀티미디어 전송 기술(OFDM, WFMT, MIMO)

조 숙 희

- 1993년 2월 : 부경대학교 전자계산학과 학사
- 1996년 2월 : 부경대학교 대학원 전자계산학과 석사
- 1999년 9월 : 요코하마국립대학교 대학원 전자정보통신공학과 박사
- 1999년 11월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부 선임연구원
- 2004년 11월 ~ 2005년 10월 : 캐나다 CRC (Communications Research Centre) 연구원
- 2008년 6월 ~ 2009년 12월 : 차세대방송표준포럼 UHDTV WG 의장
- 주관심분야 : Video Coding, UHDTV, MPEG-2/4 System

최 진 수

- 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 1996년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원 재직
- 2001년 2월 ~ 2005년 3월 : 한국전자통신연구원 데이터방송연구팀장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 실감미디어연구팀장
- 2004년 10월 ~ 2006년 3월 : TTA 데이터방송프로젝트 그룹 의장
- 주관심분야 : 영상통신, UHDTV, 데이터방송