

UHD 방송 표준 검증을 위한 시험 스트림 개발에 관한 연구

김재일*, 배성포*, 양진영*, 권동현*

Test Stream Generation Method for UHD TV Broadcasting Standard

Jaeil Kim*, Sungpo Bae*, Jinyoung Yang*, Donghyun Kwon*

요약

본 논문에서는 UHD(Ultra High Definition) 방송 표준 수신기 검증을 위한 시험 스트림 제작 방법을 제안한다. 제안하는 시험 스트림은 비디오/오디오 시험 스트림, 시스템/자막 시험 스트림으로 구성된다. 비디오/오디오 시험 스트림은 HEVC (High Efficiency Video Coding) 비디오 표준 및 Dolby AC(Audio Coding)-3와 DTS(Digital Theater System)-HD(High Definition) 오디오 표준 시험에 사용 가능하며, 시스템/자막 시험 스트림은 PSIP(Program and System Information Protocol)과 자막 (Closed caption) 표준 수신기 검증 및 시험에 사용 가능하다. 개발된 HEVC 비디오 표준 시험 스트림은 신택스를 검증하기 위한 표준적합 시험 스트림과 에러 동작 검증을 위한 에러 시험 스트림으로 구분하여 제작하였다.

Key Words : UHD TV, HEVC, DTS-HD, MPEG-2 System, PSIP, Closed Caption

ABSTRACT

This paper presents a generation method of test streams for verifying conformance of an UHD broadcasting receiver including decoders for video and audio as well as parsers for PSIP and closed caption data. The proposed test streams for video/audio signals can evaluate conformance of HEVC, AC-3 and DTS-HD standards. Especially, test streams for HEVC video compression standard can be used for testing syntax compliance and error resilience for a HEVC decoder. Moreover, the proposed test streams for system/program and closed caption can be applied for verifying parsers for PSIP and CEA-708 standards.

1. 서론

유료 방송 사업자인 케이블, IPTV (Internet Protocol TeleVision), 위성 방송사뿐만 아니라 지상파 방송사들은 UHD 방송 서비스에 많은 노력을 기울

이고 있다. 그러한 노력의 일환으로 케이블 방송 사업자들은 2014년 디지털 케이블 UHD TV 방송 송수신 정합 표준¹⁾을, 위성 방송사는 2013년 UHD 디지털 위성 방송 송수신 정합 표준²⁾을 제정하여 사용하고 있다. 또한, 지상파 방송사들도 2017년 본 방송을 위

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-1354, 4K UHD 방송 시험장비 및 품질평가 기술 개발]

•° First and Corresponding Author : Telecommunications Technology Association, ICT Testing & Certification Lab, jaeil0130@tta.or.kr, 정희원

* Telecommunications Technology Association, ICT Testing & Certification Lab, spbae@tta.or.kr, jay@tta.or.kr, kdh@tta.or.kr
논문번호 : KICS2016-04-075, Received April 29, 2016; Revised June 24, 2016; Accepted June 27, 2016

해 송수신 정합 시험등의 작업들을 실시하고 있다. UHD 방송 표준들은 공통적으로 HEVC^[3] 영상 압축 표준을 사용하고 있으며, UHD 디지털 케이블 표준과 UHD 디지털 위성 방송 표준의 경우 MPEG(Moving Picture Experts Group)-2 TS (Transport Stream)^[4]를 전송 포맷으로, 오디오 압축은 AC-3^[5] 또는 DTS-HD^[6] 표준을 사용하며, 시스템 정보는 PSIP^[7]과 SI^[11](System Information)를 이용하고 있다.

일반적으로 방송 수신기는 비디오 및 오디오, 시스템 및 부가데이터가 표준에 적합할 경우 어떠한 스트림이라도 재생이 가능해야 하며 이를 시험하는 것은 매우 중요하다. 이를 위하여, 국제 표준화단체인 JCTVC(Joint Collaboration Team Video Coding)에서는 HEVC 신택스 검증을 위하여 시험 스트림을 개발하여 배포하고 있다^[8]. 시험 스트림 개발 업체인 Allegro에서는 DTV(Digital Television) 검증 스트림 및 HEVC 표준 확인을 위한 ES 단위 신택스, 스트레스, 에러 수신기 시험 스트림을 개발하여 판매하고 있다^[9]. Intel에서는 시험 스트림 제작을 위한 The Intel® Stress Bitstreams and Encoder(Intel® SBE)를 개발하여 판매하고 있으며, ES 단위의 HEVC의 신택스 및 스트레스, 에러 시나리오에 따른 시험 스트림을 제작하여 수신기의 개발에 이용 가능하다^[10]. 이외에도 방송 시험 스트림을 개발하여 판매하는 Agron Design^[11], Sarnoff^[12] 등의 다양한 업체가 있다.

이러한 다양한 시험 스트림에도 불구하고 지역, 나라 및 서비스별로 방송 표준의 파라미터 및 구성이 조금씩 차이가 나므로 이를 검증하기 위한 시험 스트림 개발이 필수적으로 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 UHD 방송 시험 스트림의 다양한 항목 중, HEVC 비디오 압축 표준과 UHD 디지털 케이블 방송 표준, AC-3 및 DTS-HD 오디오 압축 표준, 자막 표준을 검증하기 위한 시험 스트림 제작방법을 소개한다.

제안하는 UHD 방송 표준 시험 스트림의 항목은 표 1과 같다. 시험 스트림은 수신기에서 재생이 가능하도록 MPEG-2 TS 형태로 다중화 되어 방송 스트림 형태로 생성되며, 비디오 ES(Elementary Stream) 및 오디오 ES, 자막, 시스템 정보를 선택적으로 포함한다. 비디오 시험 스트림은 표준 적합 시험 스트림과 에러 시험 스트림으로 구성되며 HEVC 서술자를 포함하도록 구성한다. 오디오 시험 스트림은 AC-3 또는 DTS-HD 오디오 ES 및 해당 오디오 서술자를, 시스템 정보 시험 스트림은 PSIP 테이블과 UHD 서비스 정보 서술자를 비롯한 시스템 정보를, 자막 스트림은 CEA-708-D 표준^[13]에 맞는 HEVC 자막 스트림과 자

표 1. UHD 방송 표준시험 스트림 항목
Table 1. Proposed test streams for UHDTV broadcasting standard

	Category
Video syntax test streams	Intra prediction (Mode, Ref, CIP, etc.)
	Inter Prediction (TMVP, MVD, MV, etc.)
	Quantization (QP, quantization matrix, etc.)
	CABAC (Initialization, SDH, Max bin, etc.)
	Parallel processing tools (Tile, WPP, etc.)
Video error test streams	High level syntax (VPS/SPS/PPS, slice header, RPS, Bumping, Filler, etc.)
	Slice error (slice type, slice end, slice segment address, etc.)
	Tile (the max numbers of tiles, etc.)
	Deblocking filter (tc, β , etc.)
Audio test streams	Quantization (QP offset in PPS, Slice header and CU)
	Weighted Prediction
PSIP/CC test streams	AC-3 ES and AC-3_audio_descriptor
	DTS-HD ES and DTS-HD_audio_descriptor
PSIP/CC test streams	PSIP data and UHD/HEVC_descriptor
	CC (CEA-708-D ^[13]) data and caption_service_descriptor

막 서술자를 포함 하도록 구성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ES 단위의 HEVC 비디오 시험 스트림 제작 방법을 표준 적합성 시험 스트림과 에러 시험 스트림으로 나눠서 기술한다. 3 장에서는 비디오/오디오 ES 및 시스템 정보, 자막 데이터를 포함하는 TS 단위의 시험 스트림 제작 방법을 기술한다. 4 장에서는 제안된 시험 스트림의 생성 결과 및 검증 내용을 기술하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. ES 단위 비디오 시험 스트림 제작 방법

본 논문에서 제안하는 ES 단위의 비디오 시험 스트림은 표준적합 시험 스트림과 에러 시험 스트림으로 구성되며, 개발 항목은 표 1에서 확인할 수 있다. 개발 항목은 HEVC 표준 적합 시험 스트림 항목^[8]과 Allegro^[9] 및 Intel^[10], AgronDesign^[11], Sarnoff^[12]사의 HEVC ES 시험 스트림 항목을 참고하여 구성하였다. 제안된 ES 단위 비디오 시험 스트림은 기존 스트림이 낮은 해상도 (1920×1088, 832×480) 및 100 프레임 이내로 제작된 것에 비하여, 직접 제작한 베이스 밴

드 UHD 영상을 입력으로 최소 480/600/1,200 프레임 (24/30/60 fps의 경우 20초)으로 스트림을 제작하였기 때문에 UHD 수신기의 동작 확인에 이용 가능하다.

한편, 최신 비디오 압축 표준인 HEVC는 H.264/AVC 이후 비디오 압축 성능을 개선한 표준으로 H.264/AVC 표준 대비 약 2배 압축 성능을 개선한 것으로 확인되었다. HEVC는 H.264/AVC의 NAL (Network Abstraction Layer) 단위의 스트림 구조를 계승하여 사용한다. 입력된 영상에 대하여 임의 접근이 가능하도록 독립 복호화가 가능한 CVS (Coded Video Sequence)로 나뉘서 처리되며, 각 CVS 별로 IRAP (Intra Random Access Point) 화면 및 영상의 해상도, 비트심도 등의 신택스 요소를 저장하는 SPS (Sequence Parameter Set)가 삽입된다.

하나의 CVS는 여러 화면 단위로 구성되며 각 화면 단위의 신택스 요소를 결정하기 위하여 PPS (Picture Parameter Set)를 정의하고 있다. 하나의 화면은 여러 개의 슬라이스 세그먼트로 분할 될 수 있으며, 슬라이스 세그먼트의 신택스 요소를 결정하기 위해 HEVC 표준에서는 슬라이스 세그먼트 헤더를 정의하고 있다. 슬라이스 세그먼트는 H.264/AVC의 매크로블록과 유사한 개념인 CTU (Coding Tree Unit) 한 개 이상을 포함하며, CTU는 최대 64×64, 최소 8×8 크기로 SPS에서 설정 가능하다. 하나의 CTU는 쿼드트리 구조로 CU (Coding Unit)로 분할 될 수 있다.

2.1 표준적합 비디오 시험 스트림

제안하는 표준적합 비디오 시험 스트림은 HEVC 비디오 표준의 적합성 시험을 하기 위한 UHD 해상도의 스트림이다. 따라서 수신기는 제작된 UHD 스트림을 반드시 에러 및 지연 없이 파일을 읽어 복호화 할 수 있어야 하며, 화면 깨짐과 같은 시각적 화질 저하가 발생해서는 안 된다. 개발한 표준적합 비디오 시험 스트림은 표 1의 6개 항목에 대하여 스트림을 제작하였으며, 본 논문에서는 그 중 양자화와 관련된 양자화 파라미터 및 양자화 매트릭스 시험 스트림 제작 방법을 소개한다.

2.1.1 양자화 파라미터 관련 시험 스트림

HEVC의 양자화는 H.264/AVC에서부터 사용한 양자화 파라미터(QP: Quantization Parameter)를 통해 수행되며 화면 단위(PPS), 슬라이스 세그먼트 단위(슬라이스 세그먼트 헤더), CU 단위의 설정이 가능하다. 이때, 화면단위, 슬라이스 세그먼트 단위로는 색차 및 휘도 신호의 QP 값을 설정할 수 있으며, CU 단위로

는 휘도 신호에 대한 QP 값 설정이 가능하다. 먼저, 화면 및 슬라이스 세그먼트 단위로 휘도 신호를 설정하기 위하여 PPS내 `init_qp_minus26` 신택스와 `slice_qp_delta` 신택스를 이용한다. 슬라이스 세그먼트 단위의 휘도신호 QP값 `SliceQPY`는 아래 수식을 통해 결정된다^[3].

$$\text{SliceQP}_Y = 26 + \text{init_qp_minus26} + \text{slice_qp_delta} \quad (1)$$

HEVC 표준에 따르면, `slice_qp_delta`는 [-12, 12], `init_qp_minus26`은 [-(26 + `QPbOffsetY`), 25], `SliceQPY`는 [-`QPbOffsetY`, 51] 범위내로 설정되어야 한다. `QPbOffsetY`의 정의는 아래와 같다.

$$\text{QPbOffset}_Y = 6 \times \text{bit_depth_luma_minus8} \quad (2)$$

만약, `bit_depth_luma_minus8`의 값이 0이 아닌 1, 2 값이 되는 경우 휘도 신호의 QP가 마이너스 값이 될 수 있다. 정리하면, 화면 및 슬라이스 세그먼트 단위의 휘도 신호 QP는 SPS의 `bit_depth_luma_minus8`와 PPS의 `init_qp_minus26`, 슬라이스 세그먼트 헤더의 `slice_qp_delta` 신택스를 통해 결정된다.

또한, CU 단위 QP 설정은 PPS에서 설정이 가능한 `diff_cu_qp_delta_depth`와 CU 단위로 전송이 가능한 `cu_qp_delta` 신택스를 통해 결정된다. `diff_cu_qp_delta_depth`는 CU의 어떤 깊이까지 `cu_qp_delta`를 전송할 것인지를 알려주는 파라미터이다. 예를 들어, CTU 크기가 64×64일 때, [0, 3] (64×64에서 8×8 크기)까지 설정이 가능하며, `diff_cu_qp_delta_depth`가 0인 경우 64×64 단위, 1인 경우 32×32 단위, 2인 경우 16×16 단위로 `cu_qp_delta` 전송이 가능하다. CU 단위의 QP는 HEVC 표준 스펙에 정의된 예측 QP 값과 `cu_qp_delta` 신택스의 합을 통해 최종적으로 결정된다.

QP의 시험 스트림은 시험 요소에 따라 시험 스트림을 제작이 가능하다. 먼저, 화면 및 슬라이스 단위로 휘도 신호의 QP를 설정하기 위하여 `init_qp_minus26`와 `slice_qp_delta`를 범위내 값을 임의로 설정하여 스트림을 제작하였다. 또한, CU 단위의 휘도신호 QP 설정을 테스트하기 위하여 화면 단위로 `diff_cu_qp_delta_depth`값을 0, 1, 2, 3으로 설정하고, `cu_qp_delta` 값을 범위내 다양한 값으로 설정하여 스트림을 제작하였다.

2.1.2 양자화 매트릭스 관련 시험 스트림

HEVC의 양자화는 변환 과정에서 16 비트의 정밀도를 유지하기 위하여 수행하는 두 번의 절삭연산 (Clipping operation)을 고려하여 수식 (3)과 같이 수행한다^[3].

$$Z_{ij} = (W_{ij} \times \text{Quant}(i, j) + f) \gg (\text{qbits} + \text{QP}/6 + \text{TS}) \quad (3)$$

수식 (3)에서 W_{ij} 는 변환을 수행한 결과인 변환 계수이고, f 는 오프셋, qbits 는 스케일을 위해 $\text{Quant}(i, j)$ 에 곱해준 값만큼을 나눠주는 값으로 14이다. TS (Transform Shift)는 수평 변환과 수직 변환의 절삭연산을 통해 2의 배수로 나눠진 값에 변환 매트릭스의 norm을 보상해주는 값이다. $\text{Quant}(i, j)$ 는 실제 양자화 매트릭스와 관련된 변수로 수식 (4)와 같이 정의된다.

$$\text{Quant}(i, j) = [(Q(\text{QP}\%6) \ll 4) / \text{QM}(i, j)]_{\text{int}} \quad (4)$$

수식 (4)에서 %는 나머지 연산으로 QP의 값에 따라 나머지 값이 입력되고, $Q(\cdot)$ 값은 QP 값이 6 증가할 때마다 양자화 값이 2배씩 증가하도록 설정된 값이다. 마지막으로, QM (Quantization Matrix)은 HEVC 기본 양자화 매트릭스로 표준에 정의된 매트릭스 또는 새로운 매트릭스 사용이 가능하다.

한편, 양자화 매트릭스를 선택하는 방법은 그림 1과 같다. 양자화 매트릭스의 사용 여부는 SPS 단위로 `scaling_list_enabled_flag` 선택스를 통해 설정 가능하며, SPS 또는 PPS 단위로 HEVC 기본 양자화 매트릭

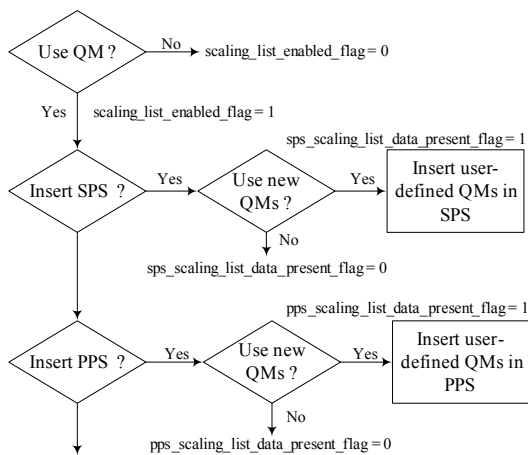


그림 1. HEVC에서 양자화 매트릭스 하이레벨 선택스 정의
Fig. 1. High-level syntax of quantization matrix

스를 사용하거나 새로운 양자화 매트릭스를 정의할 수도 있으며, 이를 위하여 HEVC 스펙에서는 `sps/pps_scaling_list_data_present_flag` 선택스를 이용한다. 만약 새로운 양자화 매트릭스를 정의하는 경우 `scaling_list_data()` 선택스를 통하여 양자화 매트릭스를 저장하게 된다.

양자화 매트릭스의 시험 스트림은 양자화 매트릭스의 사용 여부 및 양자화 매트릭스의 재정의 여부를 시험하도록 제작하였다. 양자화 매트릭스의 사용 여부는 각 CVS 단위로 SPS에서 `scaling_list_enabled_flag`를 0 또는 1로 설정하여 테스트 하도록 제작하였다. 만약, `scaling_list_enabled_flag`가 0인 경우 해당 CVS에서는 양자화 매트릭스를 양자화에 적용하지 않도록 하며, 1인 경우 해당 CVS에서는 양자화 매트릭스를 양자화에 적용하였다. 양자화 매트릭스를 사용하는 경우, SPS의 `sps_scaling_list_data_present_flag`와 PPS의 `pps_scaling_list_data_present_flag`를 이용하여 양자화 매트릭스 재정의 여부를 결정 하므로, 각 선택스를 0 또는 1로 설정하여 기본 양자화 매트릭스를 사용하거나 새로 정의된 양자화 매트릭스로 양자화를 수행하도록 설정하였다. 이때, 각 양자화 매트릭스의 계수는 허용하는 범위내 임의 값을 설정하였다.

2.2 에러 비디오 시험 스트림

방송 송수신 중에 스트림이 손실되거나 데이터가 변경되는 에러가 발생할 수 있다. 방송 스트림의 가장 큰 부분을 차지하는 비디오 ES 스트림의 에러만을 고려했을 때, CVS내 스트림 데이터에 에러가 발생하는 경우 기본적으로 수신기는 IRAP 화면에서부터 복호화를 수행할 수 있기 때문에 IRAP 주기에 따라 1에서 2초간의 에러가 발생할 수 있다. 또한, 비디오 에러를 보정하는 기능이 삽입된 수신기의 경우 최소한의 시각적 화질 저하만으로 방송 송수신 에러를 복원할 수 있다. 따라서, 방송 스트림에 에러가 발생하였을 때 수신기의 에러 처리 정도를 시험하기 위한 스트림이 필요하며, 해당 에러 시험 스트림은 수신기 개발시에 에러를 복원하기 위하여 활용 가능하다. 본 논문에서는 표 1의 에러 시험 스트림 항목에 대하여 수신기의 에러 복원능력을 확인하기 위한 시험 스트림을 제안하며, 여러 항목 중 가중치 예측 방법 에러 시험 스트림 제작 방법을 소개한다.

2.2.1 가중치 예측 방법 에러 시험 스트림

가중치 예측 방법은 화면간 예측 모드에서 참조 화소에 가중치와 오프셋을 적용하여 예측 데이터를 생

성하는 기술로, 조명 변화나 플래시에 따른 밝기 변화가 있는 영상에서 부호화 성능을 개선한다. 가중치와 오프셋은 인코더에서 최적의 부호화 성능을 달성하는 값을 결정하여 슬라이스 단위로 슬라이스 세그먼트 헤더 신택스에 전송한다. 가중치 예측은 양방향 예측과 단방향 예측 각각 수식 (5)와 수식 (6)으로 계산되며, 휘도 신호와 색차신호 모두 같은 수식을 이용한다. 본 논문에서는 휘도 신호의 가중치 예측 방법을 소개하며, 색차신호도 유사한 방식으로 예측을 수행한다.

$$P_{uni} = (w_{10}[i] \times P_{10}[i] + (w_{shift}[i] \gg 1)) \gg w_{shift} + O_{10}[i] \quad (5)$$

$$P_{bi} = (w_{10}[i] \times P_{10}[i] + w_{11}[j] \times P_{11}[j] + ((O_{10}[i] + O_{11}[j] + 1) \ll w_{shift})) \gg (w_{shift} + 1) \quad (6)$$

수식 (5)와 (6)에서 $P_{10/11}$ 는 참조 프레임 데이터의 화소를 의미하며, i 는 리스트 0의 참조 프레임 인덱스, j 는 리스트 1의 참조프레임 인덱스, w_{10} 와 w_{11} 은 리스트 0과 1의 가중치 값이고, w_{shift} 는 나뉘는 값 (denominator), $O_{10/11}$ 는 리스트 0과 1의 오프셋을 의미한다. 먼저, 휘도 신호의 $w_{10/11}$, w_{shift} 와 $O_{10/11}$ 는 아래 수식을 통해 결정된다.

$$w_{10/11} = (1 \ll luma_log2_weight_denom) + delta_luma_weight_10/11 \quad (7)$$

$$w_{shift} = luma_log2_weight_denom + 14 - bitDepth \quad (8)$$

$$O_{10/11} = luma_offset_10/11 \times (1 \ll (bitDepth - 8)) \quad (9)$$

수식 (7), (8), (9)에서, $luma_log2_weight_denom$ 은 [0, 7], $delta_luma_weight_10/11$ 와 $luma_offset_10/11$ 신택스는 [-128, 127] 범위내로 값이 설정되어야 하므로^[3], 가중치 예측 방법 여러 시험 스트림은 HEVC 스펙에 제한된 범위를 넘어선 값을 설정하여 스트림을 제작하였다.

III. TS 단위 방송 시험 스트림 제작 방법

비디오/오디오 ES는 시스템 정보와 부가정보를 포함하여 TS로 다중화되어 수신기에 송신된다. TS로 다중화하기 위하여 본 논문에서는 그림 2와 같이 TS 다중화기 (Mux), 오픈캐스터(opencaster)^[17] 기반 PSIP 생성기, 자막 변환기 (CC convertor), TS 편집기 (TS Editor/Cutter)를 이용하며, 파란색으로 표시된 부분은 추가하거나 새롭게 구현한 부분이다. 제작된 TS는 앞

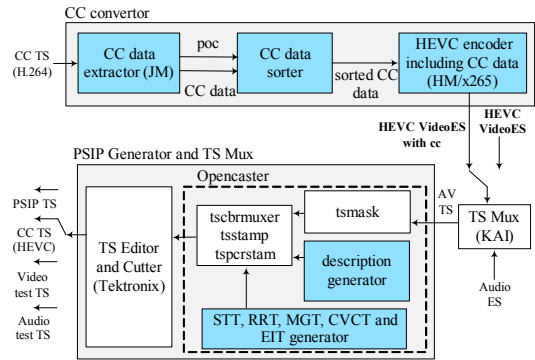


그림 2. TS의 제작 방법 (비디오/오디오, PSIP, CC 스트림)
Fig. 2. Proposed test stream generator for PSIP, CC and Video/Audio test TSs

장에서 소개한 비디오 시험 스트림을 TS로 다중화한 HEVC 비디오 시험 스트림, AC-3 및 DTS-HD 오디오 표준 검증을 위한 오디오 시험 스트림, PSIP 시험 스트림, 자막 시험 스트림으로 구성된다. TS로 다중화된 스트림은 최종적으로 Tektronix TS Editor/Cutter를 이용하여 편집되었다.

본 논문에서 TS 단위 방송 시험 스트림 제작 방법은 다음과 같은 특징을 갖는다. 먼저, 본 논문에서는 오픈 캐스터를 이용하여 PSIP 데이터 및 비디오/오디오/자막의 서술자뿐만 아니라 국내 방송 표준에 새롭게 정의한 서술자의 제작 방법 및 결과를 최초로 제시하였다. 또한, 오디오 스트림의 경우 DTS-HD 오디오 ES 단위 스트림 및 서술자와 함께 TS로 제작하는 방법 및 테스트 결과 또한 처음 제시하였다. 마지막으로, 자막 스트림의 경우 H.264/AVC의 비디오 스트림 SEI에 CEA-708-D^[13] 자막을 삽입한 예제 및 자료들은 많지만, HEVC 표준 스트림에 삽입하여 테스트한 결과는 아직 보고된 것이 없으며 최초로 제시하였다.

3.1 TS 단위 비디오/오디오 시험 스트림 제작

비디오 시험 스트림은 앞 장에서 소개한 ES 단위 HEVC 비디오 시험 스트림과 필요에 따라 오디오 및 시스템 정보를 포함한 MPEG-2 TS로 다중화하여 제작하였다. 이때, HEVC 비디오 스트림의 stream_type은 0×24로 PMT에 설정하였으며, PMT내 스트림의 서술자 루프에 표 2의 HEVC 비디오 서술자 (HEVC_descriptor)를 비디오 스트림 정보를 기술하기 위하여 삽입하였다^[4]. HEVC 비디오 서술자의 태그는 0×38로 설정하였으며, 생성된 비디오 ES의 HEVC 하이레벨 신택스 profile_tier_level()에 정의된 값을 이용하여 생성하였다^[1,4].

표 2. HEVC video descriptor 선택스 및 결과
Table 2. Syntax of HEVC video descriptor and its generation results

Syntax	bits	Mnemonic	Results
HEVC_descriptor() {			
descriptor_tag	8	0×38	0×38
descriptor_length	8	uimsbf	0×0D
profile_space	2	'00'	'00'
tier_flag	1	bslbf	'0'
profile_idc	5	uimsbf	'00001'
profile_compatibility_indication	32	uimsbf	0×60000 000
progressive_source_flag	1	bslbf	'1'
interlaced_source_flag	1	bslbf	'0'
non_packed_constraint_flag	1	bslbf	'0'
frame_only_constraint_flag	1	bslbf	'1'
reserved_zero_44-bits	44	All '0'	0×00000 000000
level_idc	8	uimsbf	0×96
temporal_layer_subset_flag	1	bslbf	'0'
HEVC_still_present_flag	1	bslbf	'0'
HEVC_24hr_picture_present_flag		bslbf	'0'
reserved		'11111'	'11111'
if(temporal_layer_subset_flag=='1'){			
reserved		'11111'	
temporal_id_min		uimsbf	
reserved		'11111'	
temporal_id_max		uimsbf	
}			
}			

케이블 UHD 방송 표준^[1] 및 UHD 디지털 위성 방송 표준^[2]에서 오디오 스트림은 AC-3와 DTS-HD 표준을 지원한다. AC-3 오디오 시험 스트림은 비디오/오디오 ES를 입력으로 PMT내 AC-3 stream_type은 0×81 로 설정하였으며, AC-3 오디오 스트림 서술자(AC-3_audio_stream_descriptor)는 PMT의 서술자 루프에 삽입하였다^[5].

DTS-HD는 DTS사에서 개발한 무손실 오디오 코덱으로 블루레이 디스크에서 주로 사용되며 표준에 따르면 최대 96 kHz, 24 비트, 12채널의 부호화 및 복호화가 가능하다^[6,14]. DTS-HD 오디오는 코어 신호와 코어+확장 신호 규격이 존재하며, 코어+확장 스트림은 코어 스트림만 선택적으로 복호화 할 수 있다. 따라서, DTS-HD 오디오 시험 스트림은 코어와 확장 오

디오 신호 규격을 동시에 확인할 수 있는 코어+확장 오디오 스트림으로 주파수 48 및 96 kHz에 16 및 24 비트로, 2/5.1/7.1 채널을 시험할 수 있도록 DTS사의 DTS-HD 인코더를 이용하여 제작하였다. 또한, 오디오 ES를 TS로 다중화하기 위하여, DTS-HD 오디오 스트림의 stream_type은 0×88로 설정하였으며, DTS-HD 오디오 서술자(DTS-HD_stream_descriptor)는 PMT의 서술자 루프에 삽입하였다^[6].

3.2 시스템 정보 시험 스트림

케이블 UHD 방송 표준에는 비디오/오디오뿐만 아니라 채널 정보 및 제목, 줄거리 등을 저장하는 PSIP 정보가 정의되어 있다^[7]. PSIP 테이블 생성을 위하여 여러 상용화 장비를 사용할 수 있으나 국내 방송 표준에 맞는 PSIP을 생성할 수 없어 자유롭게 PSIP 생성이 가능한 오픈캐스터^[17]를 이용하였다. 이때, 오픈캐스터는 DVB 표준에 해당하는 시스템 정보만을 지원하므로 오픈캐스터에서 지원하지 않는 STT(System Time Table), MGT(Master Guide Table), CVCT(Cable Virtual Channel Table), EIT(Event Information Table)는 새롭게 구현하여 시험 스트림에 삽입하였고, 각 서비스 정보 데이터를 삽입하기 위하여 실제 DTV 방송 스트림을 이용하였다.

국내 케이블 UHD 방송 표준은 UHDTV 서비스에 대한 구체적인 구분을 위해 CVCT에 표 3에서 정의하는 UHD 서비스 정보 서술자를 포함한다. UHD 서비스 정보 서술자는 가상 채널 레코드(Virtual Channel Record) 내 서술자 루프에 위치하며, 오픈캐스터를 이용하여 시험 스트림에 삽입하였다.

표 3. UHD_service_info_descriptor 선택스 및 제작 결과
Table 3. Syntax of UHD_service_info_descriptor and its generation results

Syntax	bits	Mnemonic	Results
UHD_service_info_descriptor() {			
descriptor_tag	8	0×D1	0×D1
descriptor_length	8		0×01
UHD_service_type	4		'0001'
reserved	4	'1111'	'1111'
}			

3.3 자막 시험 스트림

기존 자막은 H.264/AVC의 경우 CEA-708-D^[13] 표준에 따라 정의되며, 비디오 ES 스트림내 SEI(Supplemental Enhancement Information)에 신호

록 정의되어 있다^[15]. 또한, 최근 표준화가 진행중인 지상파 UHD 방송 표준의 경우 자막을 위하여 W3C 표준을 사용하여 새로운 세션으로 전송하^[16], 기본 방송 시스템과의 호환성을 위하여 선택적으로 (optional) H.264/AVC의 자막데이터 전송과 동일한 방식으로 HEVC NAL의 SEI에 자막데이터를 포함하여 전송 할 수 있다. 따라서, H.264/AVC의 자막 시험 스트림^[15]의 자막 데이터를 이용하여 그림 2에서 자막 변환기(CC Converter)를 포함한 과정을 통해 HEVC 자막 시험 스트림을 제작하였다.

H.264/AVC의 자막 시험 스트림은 총 47개 항목으로 구성되어 있으며 문자 코드셋 및 유니코드에서부터 자막 원도 크기 및 커맨드까지 CEA-708-D에서 설정 가능한 모든 항목에 대한 시험이 가능한 스트림이다^[15]. CEA-708-D 자막 데이터는 재생 순서(display order)에 따라 삽입되어야 하며, 프레임 율(frame rate)과 부호화 방식에 따라 제한된 cc_count 수를 고려하여 삽입해야 한다^[13].

HEVC의 자막 시험 스트림 제작은 그림 2의 자막 변환기내 자막 추출기와 자막 정렬기, 자막 데이터를 스트림에 삽입하는 HEVC 부호화기를 이용하였다. 자막 추출기는 H.264/AVC 자막 시험 스트림에서 자막 데이터와 POC(Picture of Count)를 추출하며, 이를 위하여 H.264/AVC 참조 소프트웨어인 JM^[18]을 이용하였다. 자막 정렬기는 비디오 데이터의 재생 순서와 복호화 순서(decoding order)가 다른 임의 접근(Random Access) 설정인 경우 H.264/AVC에서 출력된 POC를 이용하여 재생 순서에 따라 자막 데이터를 정렬한다. HEVC 자막 스트림은 HEVC 참조 소프트웨어인 HM^[19] 또는 HEVC 오픈소스 부호화기인 x265^[20]에 자막 데이터를 저장하는 부분을 추가해 정렬된 자막 데이터를 입력하여 생성하였다. 기본적인 검증을 위해 HM 코드에 구현하였으며, 한자 자막 시험 스트림의 경우 6천 프레임 이상이 필요하므로 속도를 고려해 x265에도 구현하였다.

IV. 스트림 생성 결과 확인

UHD 방송 시험 스트림은 비디오 ES 및 오디오 ES를 입력으로 TS 다중화를 통해 TS 파일로 생성한다. 비디오 ES는 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM(버전 16.5)^[19] 또는 x265^[20]를 이용하여 생성하며, 스트림 제작 목적에 따라 코드를 수정 및 추가 하였다. 비디오 ES 스트림 생성을 위하여 사용한 영상은 4K UHD 카메라를 이용하여 자체 제작한 영상

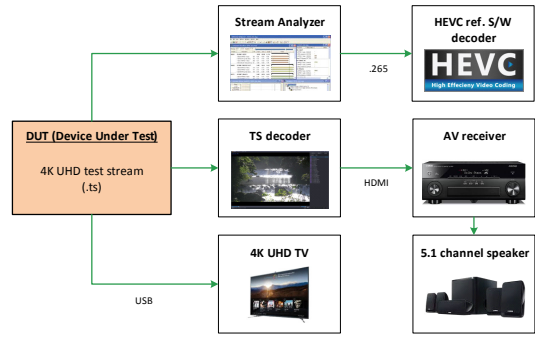
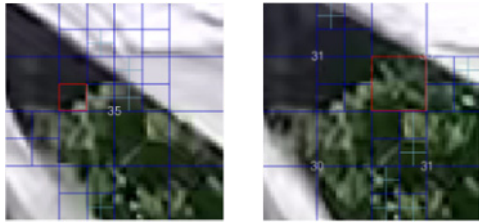


그림 3. 제작한 TS 단위 시험 스트림 검증 방법
Fig. 3. Verification method for proposed test streams

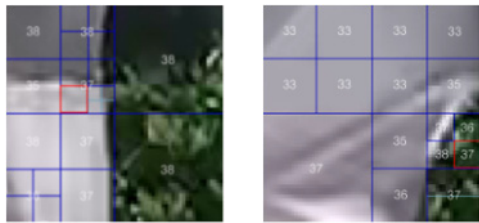
(3840×2160@24/30/60Hz)을 이용하였다. 오디오 ES는 오픈 wave 파일을 이용하여 AC-3 변환기 또는 DTS사의 DTS-HD 인코더로 생성하였다.

그림 3과 같이 제작된 비디오, AC-3 오디오, PSIP, 자막 시험 스트림을 검증하기 위하여 인코딩 스트림 분석기(Tektronix사의 MTS4EA(버전 7.1) 및 MPEG TS Compliance Analyzer), HEVC 참조 소프트웨어 디코더 (HM 16.5), TS 소프트웨어 디코더(다음팟플레이어), 4K UHD TV (삼성전자 UN55JS7200F, LG 전자 65LA97000)를 이용하였으며, DTS-HD TS를 검증하기 위하여 추가로 AV 리시버 (야마하 RX-A850) 및 5.1채널 스피커를 이용하였다. 파일 형태의 TS를 입력으로 4K UHD TV의 경우 TV내 USB 단자에 스트림을 재생하는 방법으로 각 스트림의 재생여부를 검증하였다. 또한, DTS-HD 오디오 TS를 검증하기 위하여 다음팟플레이어에서 제공하는 bypass 기능을 이용하여 HDMI로 AV 리시버에 DTS-HD 스트림을 전송하고, AV 리시버가 DTS-HD를 디코딩해서 5.1 채널 스피커로 출력하도록 설정하였다. 본 논문에서는 지면 제약상 모든 결과를 제시할 수 없기 때문에 2장과 3장의 각 항목별로 하나씩 결과를 제시한다.

HEVC의 표준적합 시험 스트림에서 CU 단위의 QP 설정을 시험하기 위한 스트림 제작 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 흰색으로 표시된 값이 해당 CU의 QP 값이며, 파란색으로 표시된 정사각형이 HEVC 부호화기에서 결정된 CU를 의미한다. 제시된 QP 시험 스트림은 PPS에 [0, 3] 범위내 임의의 값으로 diff_cu_qp_delta_depth를 설정하였으며, 화면 단위로 diff_cu_qp_delta_depth값을 0으로 설정한 경우 64×64 CU, 1로 설정한 경우 32×32 CU, 2로 설정한 경우 16×16 CU, 3으로 설정한 경우 8×8 CU 크기 단위로 동일 QP가 설정된 것을 확인할 수 있었다.



(a) diff_cu_qp_delta_depth=0 (b) diff_cu_qp_delta_depth=1

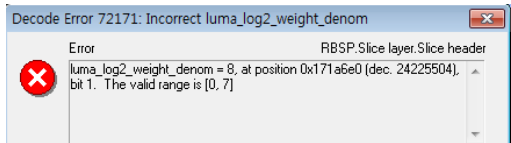


(c) diff_cu_qp_delta_depth=2 (d) diff_cu_qp_delta_depth=3

그림 4. 64×64 CTU에서 diff_cu_qp_delta_depth에 따른 QP
Fig. 4. QP values in different diff_cu_qp_delta_depth for 64×64 CTU



(a) Decoded frame of weighted prediction error stream



(b) Error message of weighted prediction error stream in MTS4EA

그림 5. 가중치 예측 에러 시험 스트림 결과
Fig. 5. Results of weighted prediction error stream

HEVC의 슬라이스 에러 시험을 위해 제작된 가중치 예측 에러 시험 스트림의 재생 결과 및 스트림 분석기의 에러 메시지 결과는 그림 5와 같으며, luma_log2_weight_denom가 HEVC에서 허용한 범위인 [0, 7]을 넘어선 8로 설정한 결과이다. 에러는 CVS 단위로 하나의 에러 화면을 삽입하였으며, 화면간 예측에 따라 에러 전파(error propagation)가 발생하게 된다. 삼성전자와 LG전자의 UHD TV 재생 결과 화면 에러만 보일 뿐 재생이 멈추는 문제가 발생하지 않았

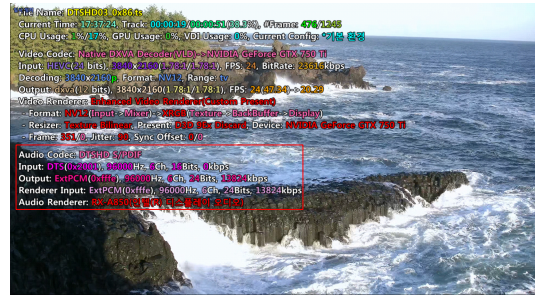


그림 6. DTS-HD 시험 스트림 재생 결과
Fig. 6. Decoded frame of DTS-HD test stream

다. DTS-HD 오디오 시험을 위한 스트림 재생 결과는 그림 6과 같다. DTS-HD 시험 스트림의 재생 결과 오디오 코덱이 DTS-HD이며, 96kHz, 6채널 (5.1채널), 16 비트의 스트림으로 출력 되는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 제작된 DTS-HD 스트림은 그림 3과 같이 TS 디코더를 통하여 bypass 형태로 DTS-HD ES 스트림이 AV 리시버(RX-A850)로 전달되어 재생하며, 5.1채널 스피커를 통해 DTS-HD 오디오 신호가 출력 되는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 HEVC 자막 시험 스트림을 재생한 결과이다. 재생 결과 생성된 자막 시험 스트림은 HEVC 비디오 압축 표준을 사용하였으며, 3840×2160 해상도에 CEA-708-D의 code_g0 자막 데이터 확인을 위해 사용 가능하다. 하지만, 아직 HEVC로 CEA-708-D 자막 재생이 가능한 UHD TV가 없으므로 다음팟플레이어로 확인하였다.

마지막으로 MPEG TS Compliance Analyzer를 통해 PSIP TS의 PMT의 HEVC_descriptor()와 CVCT의 UHD_service_info_descriptor()를 출력한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8-(a)와 (b)에서 갈색으로 표시된 부분이 각 기술자(descriptor)에 해당한다. HEVC_

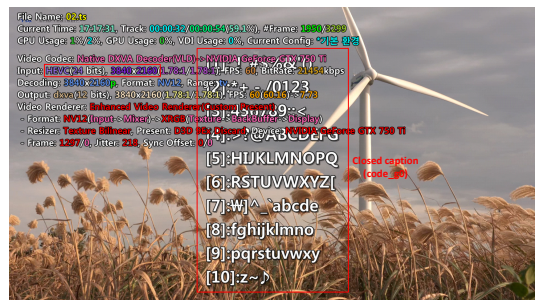


그림 7. CEA-708-D 자막 시험 스트림 재생 결과
Fig. 7. Decoded frame of closed caption test stream for CEA-708-D standard


```
02 B0 34 00 01 C3 00 00 E1 02 F0 00 81 E1 01 F0
0E 04 04 6B 6F 72 00 81 06 80 20 05 FF 1F 00 24
E1 02 F0 0F 38 00 01 60 00 00 00 90 00 00 00 00
00 96 1F 50 06 72 08
```

(a) Result of HEVC_descriptor() in PMT

```
C8 F0 30 00 01 C3 00 00 00 01 00 54 00 54 00 41
00 20 00 20 00 20 00 20 F0 14 01 04 00 00 00 00
00 01 00 01 4D 00 00 02 FC 03 D1 01 1F FC 00 08
83 C8 BA
```

(b) Result of UHD_service_info_descriptor() in CVCT

그림 8. 스트림 분석기를 이용한 서술자 생성 결과
Fig. 8. Generation results for descriptors

descriptor()의 신택스 생성 결과 값은 표 2에서 UHD_service_info_descriptor()의 신택스 생성 결과 값은 표 3에서 확인할 수 있다. 각 서술자의 tag를 통해 서술자를 확인할 수 있으며, 결과를 통해 표준 적합한 값이 삽입되었음을 확인할 수 있었다.

V. 결론

UHDTV의 보급 확산과 더불어 유료 방송사업자인 IPTV, 케이블, 위성방송의 공격적인 UHD 방송 서비스와 2017년 UHD 지상파 방송 서비스의 서비스로 UHD 방송 서비스는 본격적으로 확산될 것으로 예측된다. 이에 UHD 방송 서비스가 성공적으로 안착하기 위하여 UHD 방송 표준의 수신기 검증이 필요하며, 이를 위한 시험 스트림 개발은 필수적으로 요구되는 작업이다.

본 논문은 UHD 방송의 각 요소 기술들을 검증하기 위한 시험 스트림을 소개하였다. 이를 위하여 ES 단위의 비디오 시험 스트림 제작 방법을 소개하였으며, TS 단위로 비디오/오디오 스트림, 시스템 정보, 자막 시험 스트림 제작 방법을 제안하였다. 개발한 비디오 ES 시험 스트림은 비디오 압축 표준인 HEVC의 표준 적합성 및 여러 강인성 시험에 사용가능하다. 또한, 개발한 TS 시험 스트림은 방송 수신기의 비디오/오디오의 표준 적합성 검증에 사용 가능하며, 시스템 정보 시험 스트림은 방송 표준에 사용되는 PSIP 및 서술자 검증에 사용 가능하다. 또한, 자막 시험 스트림은 HEVC 기반의 자막 데이터를 시험하기 위하여 활용 가능하다.

향후, ATSC 3.0 표준을 따르기로 결정된 지상파 UHDTV 방송 송수신 정합 표준의 수신기 표준 적합성 확인을 위하여 MMT 및 ROUTE 시스템 표준에

대한 시험 스트림을 개발할 계획이다. 뿐만 아니라, 다양한 콘텐츠에 대한 비디오/오디오 베이스밴드 신호를 개발 중에 있으며, 이를 스트림 제작에 이용할 계획이다.

References

- [1] TTA, *Transmission and Reception for Digital Cable UHDTV Broadcasting - Part 1: Dedicated Channel*, TTA.KO-07.0115/R1, Jul. 2014.
- [2] TTA, *Transmission and Reception for Ultra High Definition Digital Satellite Broadcasting*, TTA.KO-07.0122, Dec. 2013.
- [3] ISO/IEC and ITU-T, *Information technology - High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments - Part 2: High efficiency video coding*, ISO/IEC 23008-2 / ITU-T H.265, 2013.
- [4] ISO/IEC, *Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems*, ISO/IEC 13818-1, 2013.
- [5] ATSC, *Standard: Digital Audio Compression (AC-3, E-AC-3)*, ATSC A/52, Dec. 2012.
- [6] ANSI/SCTE, *DTS-HD Audio System - Part 2: Constraints for Carriage over MPEG-2 Transport*, ANSI/SCTE 194-2, 2013
- [7] ATSC, *Program and System Information Protocol for Terrestrial Broadcast and Cable*, ATSC A/65, Aug. 2013
- [8] T. Suzuki, G. J. Sullivan, and W. Wan, *Preliminary Draft of ISO/IEC DIS 23008-8 HEVC conformance*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14242, Apr. 2014.
- [9] Allegro, *H.265/HEVC elementary streams*, retrieved 2015, from <http://www.allegrodv.com/>
- [10] Intel, *Intel® Stress Bitstreams and Encoder 20 16*, retrieved 2016, from <https://software.intel.com/en-us/intel-stress-bitstreams-and-encoder>
- [11] Argondesign, *Argon Streams HEVC*, retrieved 2015, from <http://www.argondesign.com/products/argon-streams-hevc/>

[12] Sarnoff, *Sarnoff HEVC Format Bitstreams*, retrieved 2016, from <https://www.sri.com/engage/products-solutions/sarnoff-hevc-format-bitstreams>

[13] CEA, *Digital Television Closed Captioning*, CEA-708-D, Aug. 2008.

[14] wikipedia, *DTS-HD Master Audio*, Retrieved Jun., 9, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/DTS-HD_Master_Audio

[15] TTA, *Assistive Broadcasting Services for the Vision and Hearing Impaired*, TTAK.KO-07.0093/R1, Dec. 2013.

[16] W3C, *TTML Text and Image Profiles for Internet Media Subtitles and Captions (IMSC1)*, Retrieved Apr., 21, 2016, from <https://www.w3.org/TR/ttml-imsc1/>

[17] opencaster, *OpenCaster 3.2.2: the free digital tv software*, retrieved 2016, from <http://www.a-valpa.com/the-key-values/15-free-software/33-opencaster>

[18] JVT, *JM reference Software*, retrieved 2015, from <http://iphome.hhi.de/suehring/ttml/>

[19] JCTVC, *HEVC Test Model(HM)*, retrieved 2016, from https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware

[20] x265, *x265 HEVC Encoder*, retrieved 2016, from <http://x265.org/>

김 재 일 (Jaeil Kim)



2006년 2월 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 졸업
 2015년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
 2015년 4월~현재 : 한국정보통신기술협회 선임연구원
 <관심분야> UHD 방송 코덱 및 시스템, (인지) 비디오 부호화, 패턴인식

배 성 포 (Sungpo Bae)



1999년 2월 : 영남대학교 전자공학과 졸업
 2001년 2월 : 영남대학교 전자공학과 석사
 2003년 3월~현재 : 한국정보통신기술협회 책임연구원
 <관심분야> 전자공학, UHD TV, 고속시리얼인터페이스

양 진 영 (Jinyoung Yang)



1991년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업
 1993년 2월 : 부산대학교 전자공학과 석사
 1993년~2001년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 2000년 : Telecom Italia Lab

방문연구원

2007년 : CableLabs 방문연구원

2002년~현재 : 한국정보통신기술협회 수석연구원
 <관심분야> 방송미디어 코덱 및 시스템, SATA

권 등 현 (Donghyun Kwon)



1990년 2월 : 영남대학교 전기공학과 졸업
 1992년 8월 : 영남대학교 전자공학과 석사
 2002년 2월 : 영남대학교 전자공학과 박사
 1992년~1998년 : ETRI 영상통신연구실

2001년~현재 : 한국정보통신기술협회 방송융합시험인증단 팀장

<관심분야> 방송공학, 신호처리