

오류에 견고한 PC 기반 지상파 DMB 수신기 SW 구현[†]

김광석(benkyoboy@lena.uos.ac.kr), 문수한(luna@lena.uos.ac.kr),

김용한(yhkim@uos.ac.kr)

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

Implementation of error-robust software for PC-based T-DMB receivers

Kwang Seok Kim (benkyoboy@lena.uos.ac.kr), Su Han Moon (luna@lena.uos.ac.kr),

Yong Han Kim (yhkim@uos.ac.kr)

Dept. of Electrical and Computer Eng., University of Seoul

본 논문에서는 PC 기반 지상파 DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting, T-DMB) 수신기를 위한 오류에 견고한 SW 구현에 대해 설명한다. 이 수신기는 PC 외부에 T-DMB 신호를 안테나로 수신하여 복조하고 채널 복호하는 프론트 엔드(front-end) 수신 모듈을 이용, USB를 통하여 RS(Reed-Solomon) 부호화된 MPEG-2 TS(Transport Stream) 데이터를 읽어 들여 RS 복호, TS 역다중화, 비디오 복호, 오디오 복호 등의 SW 처리 과정을 거쳐 디스플레이 상에 수신 내용을 표시하게 된다. 수신기가 실용적으로 동작하기 위해서는, 수신된 비트스트림이 예상하지 못한 형태일 때도 오동작하거나 멈춰 서지 않아야 한다. 수신된 비트스트림에는 채널 비트 오류로 인해 훼손된 부분이 있을 수 있으며, 송출 시에 잘못 제작된 비트스트림도 있을 수 있다. 본 논문에서는 우선 RS 복호를 수행하여 정정 가능한 범위까지 오류를 정정하고, 검출되었으나 정정되지 못한 오류 또는 비트스트림 제작 시의 오류로 인한 비트스트림 구분 오류를 검출하여 오류 처리를 수행하며, 이로 인한 화질 손상을 숨기기 위해 프리즈 프레임(freeze-frame)을 수행하도록 하였다.

주제어: 지상파 DMB, T-DMB, 오류 견고성

1. 서론

국내에서 추진 중인 지상파 DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting, T-DMB)[1],[2]는 비디오, 오디오, 데이터를 통합하는 멀티미디어 서비스로서 국내에서 세계 최초로 개발, 도입되었다. T-DMB는 가정, 차량, 야외 등에서 고음질의 오디오 서비스와 고속 이동 중에도 끊어짐이 없는 비디오 서비스 그리고 방송 정보, 뉴스, 교통 정보, 전자상거래 등과 같은 다양한 대화형 데이터 서비스를 하나의 통합 단말기를 통해 24시간 들고 볼 수 있는 이동 수신 성능이 탁월한 뉴미디어이다.

본 논문에서는 PC 기반 T-DMB 수신기를 위한 오류에 견고한 SW 구현에 대해 설명한다. 이 수신기는 PC 외부에 T-DMB 신호를 안테나로 수신하여 복조하고 채널 복호하는 프론트 엔드(front-end) 수신 모듈을 이용, USB를 통하여 RS(Reed-Solomon) 부호화된 MPEG-2

TS(Transport Stream) 데이터를 읽어 들여 RS 복호, TS 역다중화, 비디오 복호, 오디오 복호 등의 SW 처리 과정을 거쳐 디스플레이 상에 수신 내용을 표시하게 된다. 수신기가 실용적으로 동작하기 위해서는, 수신된 비트스트림이 예상하지 못한 형태일 때도 오동작하거나 멈춰 서지 않아야 한다. 수신된 비트스트림에는 채널 비트 오류로 인해 훼손된 부분이 있을 수 있으며, 송출 시에 잘못 제작된 비트스트림도 있을 수 있다. 본 논문에서는 우선 RS 복호를 수행하여 정정 가능한 범위까지 오류를 정정하고, 검출되었으나 정정되지 못한 오류 또는 비트스트림 제작 시의 오류로 인한 비트스트림 구분 오류를 검출하여 오류 처리를 수행하며, 이로 인한 화질 손상을 숨기기 위해 프리즈 프레임(freeze-frame)을 수행하도록 하였다.

본 논문의 2장에서는 T-DMB 표준 및 기술에 대해 간략히 소개하고, 3장에서는 오류에 견고한 수신 SW 모듈 구현에 대해 설명한다. 4장에서는 구현 결과에 대해 설명하고, 5장에서는 결론을 내리도록 한다.

[†] 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

2. T-DMB 표준 및 기술 소개

T-DMB 표준은 기본적으로 유럽의 디지털 오디오 방송(DAB; Digital Audio Broadcasting) 표준[3]을 기반으로 하고 있다. DAB 전송 방식은 이를 개발한 프로젝트 이름을 따서 Eureka-147이라고도 불린다. DAB 표준은 MPEG-1 오디오 레이어 II 방식의 오디오 서비스와 이에 연관된 데이터 서비스, 즉 PAD(program-associated data)와 연관성이 없는(Non-PAD, NPAD) 데이터 서비스가 패킷 모드 또는 스트림 모드 형태로 제공할 수 있다. 스트림 모드 데이터 또는 패킷 다중화에 의해 다중화된 패킷 모드 데이터는 별도의 채널부호화를 거친 후, 각기 양상불 다중화의 별도 서브 채널에 실리게 되며, 시스템 제어 데이터와 함께 하나의 양상불 스트림을 구성한다. 양상불 스트림은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Modulation) 방식으로 변조된 후, 고출력 증폭기를 거쳐 약 1.5 MHz의 주파수 대역폭을 갖는 신호로 송출된다.

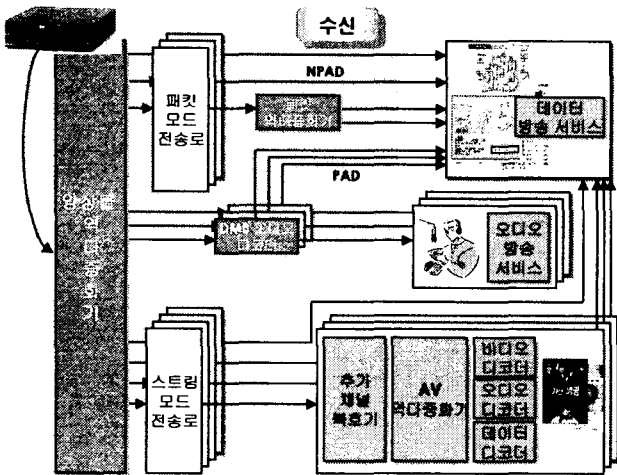


그림 1 T-DMB 수신 시스템 블록도

T-DMB 비디오 서비스를 위해서는 가용 전송률 제한 때문에 고압축의 압축 방식이 필요하므로, 비디오는 H.264/MPEG-4 AVC(Advance Video Coding)[4]로, 오디오는 MPEG-4 Audio 중 ER-BSAC(Error-Resilient Bit-Sliced Arithmetic Coding)[5]으로 부호화한다. 비디오 서비스와 연동된 대화형 데이터 방송을 위해서는 MPEG-4 BIFS(Binary Format for Scene)[6]를 선택적으로 사용할 수 있다. AV(Audio-Visual) 다중화 방식으로는, 각 스트림들이 SL 패킷화, PES 패킷화를 거쳐서, MPEG-2 TS 패킷으로 다중화되는 MPEG-4 over MPEG-2[7] 방식을 사용한다. 이렇게 얻어진 TS에 대해 전송 시 비트 오류를 낮추기 위해서 RS(Reed-Solomon) 부호화 및 길쌈 인터리빙을 적용한 후, EUREKA-147 스트림 모드[3]로 전송한다. 그림 1은 DAB를 기반으로 한 T-DMB 수신 시스템 블록도를 보여주는데, 우측 하단에 비디오 서비스 수신부가 표시되어 있다.

2.1 MPEG-4 AVC

T-DMB 비디오 서비스 규격에는 MPEG-4 AVC의 베이스라인 프로파일이 사용된다. 화소 수를 기준으로 최대 352×288@30fps 형식의 비디오를 제공하며, 7 인치급 LCD 표시 장치에서 비디오 CD급 화질을 제공할 수 있다. 또한, 2 초 단위의 임의 접근(random access)이 가능하다.

2.2 MPEG-4 ER-BSAC

T-DMB 비디오 서비스에서 비디오에 부수된 오디오를 위해서는 최대 48kHz로 표본화된 스테레오 오디오 서비스가 가능하다. 최대 CD 수준의 음질을 제공하며, 아날로그 FM보다 우수한 음질을 제공할 수 있다.

2.3 M4onM2

M4onM2[7]는 패킷 단위의 데이터 전송에 사용되는 규격으로 객체 기반의 MPEG-4 데이터를 방송 환경의 전송 시스템에 적용하기 위한 전송 방식이다. M4onM2[7] 전송 시스템에서 비디오 및 오디오 데이터는 SL 패킷화를 통해 미디어 동기 정보가 추가된 후, PES 패킷화를 거쳐 MPEG-2 TS 패킷화되어 전송된다. MPEG-4 시스템 정보는 14496 섹션으로 구성된 후 TS 패킷화되어 전송된다.

2.4 외부호기

RS 부호기는 외부호화 인코더 규격 EN 300 744의 4.3.2 절에 명시한 외부호화 규격을 따르며, RS(255, 239, t=8) 부호로부터 유도되는 단축된 RS(204, 188, t=8) 부호를 사용한다. 그 특징은 표 1과 같다.

표 1 T-DMB RS 부호의 특징

RS(n,k)	RS(255, 239)	RS(204, 188)	설명
m	8	8	심볼 당 비트수
n	255	204	부호어의 길이
k(n-2t)	239	188	정보 길이
t	8	8	수정 가능한 심볼 수
2t	16	16	패리티 심볼 수
d(n-k+1)	17	17	최소 거리

2.5 외부 인터리버

외부 인터리버는 포르니(Forney) 방식에 기초를 하며 인터리버 깊이를 12로 구성한다. 총 12 개의 브랜치로 구성되어 있으며, 각 브랜치는 17 바이트 × N (N=0, 1, 2, ..., 11) 단위의 FIFO 시프트 레지스터를 포함한다. 204 바이트의 RS 부호화된 TS 패킷의 첫 번째 바이트인 동기 바이트는 N=0 인 브랜치를 통하기 때문에 지연 없이 전송이 된다.

3. 오류에 강인한 T-DMB 수신 SW 모듈 구현

3.1 시스템 구조

T-DMB 수신 시스템은 그림 2와 같이 EUREKA-147 프론트 엔드 기능인 전파 수신, 복조, 채널 복호

등을 수행하는 외부 장치인 DR_BOX-1로부터 USB를 통하여 서브 채널 데이터를 입력으로 받아 PC 상에서 수행되어야 하는 외부 디인터리버, 리드 솔로몬 복호기, 역다중화[6]-[8], 비디오 복호[4], 오디오 복호[5] 등의 기능을 수행하는 모듈들로 구성되어 있다. 각 모듈들은 시스템을 총괄하는 시스템 제어부에 의해 생성 및 소멸되고 각각 세마포어에 의해 쓰레드로 동작한다. 각 모듈간의 데이터 전달은 시스템 제어부에서 할당된 버퍼에 의해 이루어진다.

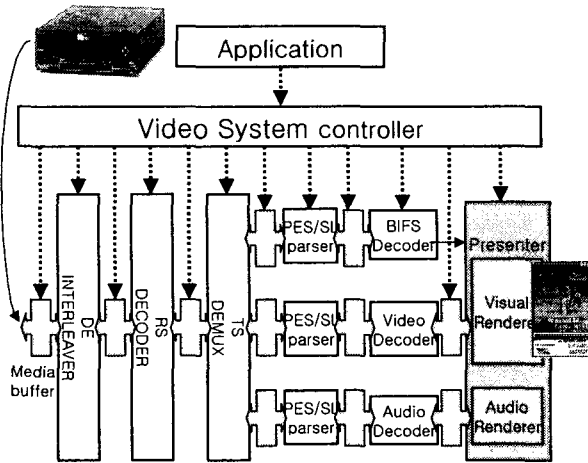


그림 2 T-DMB 수신 시스템 구조

3.2 패킷 오류 처리 및 은닉

T-DMB에서는 비디오 서비스가 요구하는 비트 오류(BER)에 상응하기 위해 외부 인터리버와 RS 부호기를 도입하였지만, 채널에 많은 잡음이 존재하게 되면, 외부 채널 부호기만으로는 패킷 오류 처리를 할 수가 없다. 특히, RS 부호기는 오류를 정정할 수 있는 심볼의 개수가 제한되어 있으므로, 그 이상의 심볼에 오류가 발생했을 경우, 패킷에 오류가 발생한 상태로 데이터를 처리할 수 밖에 없다. 비트 오류가 있는 패킷으로 인해 단말기가 강제로 종료되는 등의 오동작이 초래될 수 있으므로 오류가 발생한 패킷에 대한 처리가 별도로 필요하다. 패킷 오류 처리가 필요한 모듈은 RS 복호부, TS 역다중화부, PES/SL 분석부, H.264 복호부, ER-BASC 복호부 등이다. 외부 디인터리버와 AV 출력부는 비트스트림의 분석과는 관련이 없는 모듈로서, 패킷 오류와는 상관없이 데이터를 처리하므로 패킷 오류에 대한 별도의 대응책이 필요 없다.

RS 복호부에서 패킷 오류 처리에 사용되는 기본 방식은 정정하지 못하는 오류가 검출된 TS 패킷을 버리는 것이다. RS 복호부에서 TS 패킷을 버리더라도 그 다음 처리부에서 TS 패킷의 payload_unit_start_indicator와 PES 페이로드 길이 정보만으로도 버려진 TS가 있었는지를 확인할 수 있다. payload_unit_start_indicator는 PES의 첫 부분을 담고 있는지 여부를 나타내는 일종의 플래그이다. 따라서 완전한 PES를 구성하기 위해서는

기본적으로 payload_unit_start_indicator가 1인 TS 패킷부터 이후 TS 패킷의 payload_unit_start_indicator가 1을 가질 때까지 모든 데이터를 모은다. 그 후, PES의 페이로드 길이 정보를 이용하여 TS 패킷이 버려졌는지 혹은 제대로 모두 처리되었는지의 여부를 알 수 있다.

패킷 오류 처리를 함으로써 단말기의 강제 종료 및 심각한 오류는 방지할 수 있지만, 이러한 오류로 인한 화질 또는 음질의 열화는 피할 수 없는데, 이 때 가능한 한 비디오 및 오디오 데이터에 오류가 없는 것처럼 사용자에게 보여주고 돌려주어야 한다. 따라서 오류 은닉 처리가 필요하다. 비디오 데이터는 프레임 내(intra) 부호화가 적용된 I 프레임과 프레임 간(inter) 부호화가 적용된 P 프레임으로 나뉜다. P 프레임인 경우는 이전 프레임을 참조하여 영상을 복원하는데 이전 프레임에 패킷 오류가 발생하여 참조될 영상 데이터가 이미 버려졌다면 현재 영상을 제대로 복원할 수가 없게 된다. 블록화된 형태의 열화나 기타 여러 가지 형태로 훼손된 영상은 시청자에게 매우 거슬리게 되므로 이를 숨기기 위해 비디오 프레임에서 패킷 오류가 발생했다면 해당 프레임의 바로 전 프레임을 프리즈(freeze)시키고, 다음 I 프레임 직전까지 복호를 수행하지 않는다. 이는 이전 프레임이 프리즈되어 화면이 정지된 것처럼 보이는 것이 블록화 등의 형태로 훼손된 영상을 보여주는 것보다 눈에 덜 거슬리기 때문이다. 오디오의 경우는 복호 과정에서 레퍼런스 프레임을 두지 않기 때문에 패킷 오류가 발생한 프레임만 출력하지 않는다. 각 프레임들은 출력 시간 정보(타임스탬프)를 갖고 있으므로 오류가 발생한 프레임들을 버려도 다른 데이터는 제 시간에 출력될 수 있다.

3.2.1 RS 복호부

T-DMB에서 사용하는 RS 부호는 오류 심볼이 9개 이상인 경우, 오류를 수정할 수 없으므로, 해당 패킷을 버린다. 또 다른 패킷 오류 처리는 다음과 같다. 외부 디인터리버로부터 전달 받은 TS 패킷의 동기 바이트를 확인하여 0x47의 값을 갖지 않으면 그 패킷을 버리게 된다. 그 이유는 두 가지로 생각할 수 있다. 첫째, 동기 바이트에 오류가 발생했을 경우, 다른 비트에도 오류가 발생했을 가능성이 있기 때문이다. 다른 한 가지는 수신기가 음영 지역에서 잠시 신호를 놓쳤을 경우로서, TS 패킷 동기가 맞지 않을 가능성이 크기 때문에 다시 TS 패킷 동기를 찾아야 한다는 것이다.

3.2.2 TS 역다중화부

TS 역다중화부에서 단말기의 오작동 및 정지를 유발시키는 요소는 메모리 할당과 관련된 부분이다. TS 페이로드를 저장하기 위해 메모리를 할당하는데 데이터 길이를 나타내는 필드에서 비트 오류가 발생하면 메모리를 할당하는 과정에서 단말기의 오작동을 유발시킬 수 있다.

적용 필드(adaptation field)는 adaptation_field_control에 의해 담을 수 있는 데이터의 크기가 제한된다. adaptation_field_control이 2인 경우, 적용 필드의 길이는 183 바이트로 제한되며, 3인 경우, 0~182 바이트로 제한된다. PSI를 담은 TS 패킷은 pointer_field를 갖는데, 해당 TS 패킷에 최소한 PSI 데이터의 일부분이 같이 존재해야 한다. PAT와 PMT의 section_length는 1021 보다 작아야 한다. 이러한 제한 사항들을 바탕으로 길이가 제한 값 범위 밖으로 지정되어 있는 패킷의 경우, 오류가 발생한 것으로 판단하고 패킷을 버리게 된다.

OD(Object Descriptor) 스트림의 패킷 오류 처리는 다음 사항을 기준으로 한다. ObjectDescriptorTag 값(0x01)과 비트스트림 분석 값을 비교하여 일치하지 않는 경우와 OD 길이를 나타내는 필드 값을 분석 한 후, TS 패킷으로부터 실제 얻은 ObjectDescriptor 스트림의 길이와 비교하여 차이가 있을 경우, 패킷을 버린다.

3.3.3 PES/SL 분석부

PES 모듈에서는 packet_start_code_prefix를 먼저 분석하는데 그 값은 '0x000001'로 규정되어 있다. 다음으로 분석되는 stream_id는 T-DMB 규격에서 0xFA로 규정되어 있다. 따라서 비트스트림 분석 값이 규격에 의해 정해진 값과 일치하지 않으면 비트 오류가 발생한 것이므로 해당 패킷을 버린다.

실제로 TS 패킷들에 의해 구성된 하나의 PES 길이와 비트스트림 분석 후 얻은 PES_packet_length 및 PES_header_data_length를 비교함으로써, 직전 모듈에서 TS 패킷을 버렸는지 여부를 알 수 있다. 길이가 일치하지 않는 경우, PES 패킷을 분석하지 않는다.

SL 패킷 헤더를 분석하기 위해선, 각 객체(오디오 및 비디오)에 대한 SLConfigDescriptor가 있어야 한다. SL 패킷 헤더를 분석하기 전에 SLConfigDescriptor를 분석하는데 SLConfigDescriptor 태그(tag)는 0x06으로 규정되어 있다. 따라서 오류가 발생하지 않은 SLConfigDescriptor를 수신할 때까지 SL 패킷 분석을 수행하지 않는다.

3.3.4 비디오 및 오디오 복호부

비디오 및 오디오 복호부에서는 기본적으로 하나의 접근 단위(access unit, AU)가 제대로 복원되었는지 여부를 확인한다. AU의 길이를 나타내는 필드로부터 데이터를 읽은 후, 전달 받은 SL 패킷 페이로드의 길이와 비교하여 일치하지 않으면 복호하지 않는다. 이러한 처리를 하는 이유는 AU 길이를 나타내는 필드에 비트 오류가 발생할 수 있기 때문이다. 복호 과정에서 패킷 오류가 인지되면 해당 패킷을 복호하지 않고 버린다. 다음은 비디오 복호 과정에서 패킷 오류가 발생할 수 있는 사항들에 대한 설명이다.

H.264 NAL_unit의 forbidden_zero_bit은 0으로 규정하고 있기 때문에 전송된 비트가 0이 아니면 해당 NAL은

비트 오류가 발생한 것이므로 복호하지 않는다.

초단파 디지털라디오방송 비디오 송수신 정합표준[2]에 의하면 H.264 베이스라인(Baseline) 프로파일 내용 중, SPS(Sequence Parameter Set), PPS(Picture Parameter Set) 및 슬라이스 헤더(Slice Header) 문법에 몇 가지 사항들을 제한하고 있다. 비트스트림 분석 결과, 다음의 제한 사항과 일치하지 않으면 해당 NAL 유닛을 복호하지 않는다.

- pic_order_cnt_type : 2
- num_ref_frames : 3
- frame_mbs_only_flag : 1
- entropy_coding_mode_flag : 0
- num_slice_groups_minus1 : 0
- weighted_pred_flag : 0
- weighted_bipred_idc : 0
- redundant_pic_cnt_present_flag : 0

지상파 DMB 비디오 송수신 정합표준[2]에서는 MPEG-4 ER-BSAC 표준에 몇 가지 제한 사항을 두고 있다. 비트스트림 분석한 결과가 다음의 제한 사항과 일치하지 않을 경우, 해당 프레임을 복호하지 않는다.

- epConfig : 0
- frameLengthFlag : 0
- DependOnCoreCoder : 0
- sba_mode : 0
- ltp_data_present : 0

4. 실험 결과

T-DMB 수신 SW는 윈도우 2000 운영체제에서 C++로 구현되었으며, 실험 환경은 펜티엄IV 1.8GHz CPU를 탑재한 윈도우 2000 운영체제 플랫폼이다.

현재 관악산에서 실험 송출하고 있는 KBS와 SBS T-DMB 신호를 수신하여 T-DMB 수신 SW를 검증하였다.

그림 3과 그림 4는 KBS와 SBS T-DMB 신호를 서울시립대학교 실험실에서 수신한 결과이다. 화면 크기는 화소수를 기준으로 320×240이며, 프레임률은 30 fps이다. 장시간의 수신 동안 오동작하지 않았으며, 오류 환경을 임의로 만들어내기 위해 안테나의 수신을 방해한 경우에도 수신기가 오동작하지 않음을 확인할 수 있었다.

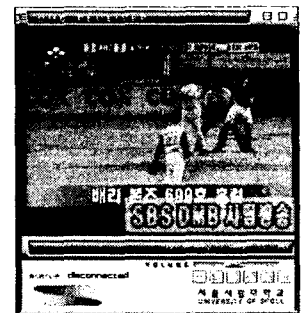
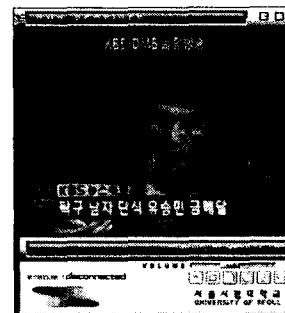


그림 3 KBS T-DMB 비디오 서비스 수신 결과 그림 4 SBS T-DMB 비디오 서비스 수신 결과

5. 결론

본 논문에서는 국내 표준에 부합하는 PC 기반 T-DMB 수신기를 위해, 수신 비트 오류나 송출 비트스트림 오류에도 강인한 SW를 구현하고 그 동작을 검증하였다.

본 논문에서 개발된 수신 SW에서는 데이터 서비스로서 현재 슬라이드쇼와 DLS만 가능하지만, 추후에 T-DMB에서 추구하는 여러 가지 데이터 서비스(MOT 프로토콜, TDC, IP 터널링, BWS, EPG, TPEG 등)를 처리할 수 있는 모듈들을 추가함으로써 모든 T-DMB 서비스를 제공받을 수 있을 것이며, 하드웨어 기반 수신기를 개발하는 이들에게 참조용 수신기 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] TTAS.KO-07.0024 초단파 디지털라디오방송 송수신 정합표준(Terrestrial Digital Audio Broadcasting).
- [2] TTAS.KO-07.0026 초단파 디지털라디오방송(지상파 DMB) 비디오 송수신 정합표준.
- [3] EN 300 401, *Digital Audio Broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers.*
- [4] ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC: Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services.
- [5] ISO/IEC 14496-3 Information technology - Coding of audio-visual objects - Part3: Audio.
- [6] ISO/IEC 14496-1 Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 1: Systems.
- [7] ISO/IEC 3818-1 Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 1: Systems, Amendment 7: Transport of ISO/IEC 14496 data over ISO/IEC 13818-1.
- [8] ISO/IEC 13818-1 Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 1: Systems.