

디지털 방송 표준화 동향

정 제 창

한양대학교 전자통신공학과 교수

1. 아날로그에서 디지털로

1953년 미국에서 NTSC 컬러 TV가 개발된 이래 지난 40년간 TV는 일상 생활에서 가장 중요한 정보 전달 매체로서 비약적 발전을 거듭하였다. 이 아날로그 방식의 TV가 최근 전세계적으로 MPEG 표준에 기초한 디지털 방식으로 변모하고 있다. 방송의 역사뿐 아니라 정보화 사회의 뿌리부터 변화시키는 가히 혁명적인 사건이라 하지 않을 수 없다. 본고에서는 이러한 변화와 관련하여 최근의 디지털 방송 표준화 동향과 관련 기술 동향을 간략히 살펴보고자 한다.

본래 아날로그 컬러 TV는 신호처리, 통신, 소자, 디스플레이 등 모든 면에서 아날로그 기술의 결정체라 할 수 있었다. 지상파 방송으로 시작된 TV 방송은 그 후 케이블(현실적으로는 HFC(Hybrid Fiber/Coax)의 형태)과 위성방송으로 확대되었다. 대역이 상대적으로 제한되어 있고 사용 전력에 여유가 있는 지상파와 케이블 방송에 있어서는 VSB(Vestigial Side Band) 비디오와 FM 오디오가 일반적이며, 반대로 대역이 넓고 사용 전력에 여유가 없는 위성방송에 있어서는 FM 비디오와 PCM 오디오가 널리 쓰이고 있다.

TV 신호에는 시간축상에서 보나 스펙트럼 상에서 보나 빈 공간이 많아 이 부분을 활용하여 디지털 데이터를 전송하기 위한 여러가지 시도가 있었다. 수직귀선 기간(VBI)을 이용한 문자 다중방송이나 청각장애자를 위한 캡션 등은 그 대표적인 예이다. 최근 들어서는 라디오나 TV 방송자원의 효율적 활용이라는 측면에서 데이터 방송에 대한 관심도 높아지고 있다. 기존의 문자다중방송이 VBI만을 이용하여 데이터 전송률이 낮았던데 비해, 3차원 스펙트럼의 빈 곳을 이용하여 데이터를 전송함으로써 수백 kbps의 데이터를 실어 보내는 방법에 대한 연구가 개발되어 왔다.

TV 신호 자체의 디지털화를 위해서 1982년 CCITT(현재는 ITU-R)는 스튜디오 표준의 PCM 비디오 규격인 ITU-R BT.601을 제정하였다. 이 규격은 현재 전세계의 TV 표준이 525/60과 625/50으로 나누어져

있음을 감안하여, 공통의 디지털 규격을 만들고자 하는 노력에서 나온 것이다. 표준화 주파수는 양 방식의 수평 주파수의 정수배인 13.5 MHz로 하였고 Y:U:V=4:2:2의 포맷을 가지고 있으며 각 성분별로 표본당 8비트를 사용하고 있다. 따라서 비트율은 216 Mbps가 된다. 이 규격에 의해 테이프에 기록 재생하는 스튜디오용 디지털 VTR이 D-1 이다.

한편 NTSC의 복합영상신호를 성분별로 분리하지 않고 그대로 PCM으로 디지털화하는 것이 D-2 VTR인데, 이때 표준화 주파수는 컬러 부반송파의 4배인 143 MHz이고 표본당 8비트를 사용하고 있다. 이후에도 컴포넌트형 VTR의 소형화가 계속되어 현재는 D-5나 디지털 베타캠이 기존의 2인치 4헤드, 헬리컬 스캔 타입 C 등의 아날로그 VTR의 뒤를 이어, 방송국 스튜디오의 표준 디지털 VTR로 자리잡고 있다.

1994년은 TV방송에 있어서 하나의 획을 긋는 해이었다. 미국 휴즈사에 의해 세계 최초로 디지털 DBS가 시작된 것이다. "DirecTV"라고 명명된 이 시스템은 36개의 중계기를 이용하여 MPEG-2 방식으로 비디오를 그리고 MPEG-1 방식으로 오디오를 압축하여 방송함으로써 기존의 아날로그 방식에 비해 용량을 4-8배로 늘리게 되었다. 스포츠 40채널, 영화 40 채널을 비롯하여 170 채널 이상의 프로그램이 동시에 전송되기 때문에, 사용자 인터페이스도 단순히 번호를 누르는 것뿐 아니고, 초기화면에서 원하는 프로그램의 분야를 선택하고 다음화면에서 세부 분야를 선택하는 등의 과정을 반복하여 트리 형태로 찾아가고 있다. 당초 케이블의 혜택을 받지 못하는 가구들을 대상으로 사업 계획을 수립하였으나 방송이 시작되자 기존 케이블 가입자들까지도 많은 호응을 하여 방송 첫해에만도 60만대의 수신기가 판매되었고 매년 100만대의 판매고를 기록하고 있다. 미국에서는 그 후 이 DirecTV 외에도 USSB, Primestar, Echostar, Alphastar 등의 디지털 위성방송이 생겨 현재 1000만 가입자를 확보하고 있다. 일본에서도

1997년 10월 70채널의 PerfecTV가 시작된 이래 DirecTV Japan, J sky B 등이 디지털 위성방송을 시작하였다. 우리 나라도 무궁화 위성을 이용한 디지털 방송이 1996년 7월 첫 전파를 발사하였고, 현재 KBS1,2와 EBS1,2가 방송중이다.

이제 방송과 통신과 컴퓨터가 융합되는 도도한 디지털 혁명의 물결속에, 위성뿐 아니라 케이블과 지상파 방송도 고품질의 다양한 서비스를 위해 디지털화 되어야 할 시점에 이르렀다. 이에 따라 미국을 비롯한 선진 각국들이 앞다투어 방송의 디지털화 계획을 발표하고 있다. 이로써 50년간 지속되어온 아날로그 TV시대가 서서히 막을 내릴 준비를 하고 있다.

2. 디지털 방송 기술 표준 MPEG

멀티미디어는 영상과 음향을 중심으로 문자, 도형, 음성, 일반 데이터 등의 정보를 디지털 기술에 의해 압축하여 결합한 것이다. 각각의 정보를 단순히 PCM에 의해 디지털로 표현하면 데이터의 양이 방대해진다. 전화 음성은 64 Kbps(8 KHz 표본화 주파수에 표본당 8 비트), 스테레오 음악을 담은 CD는 1.5 Mbps(44.1 KHz 표본화 주파수에 표본당 16 비트로 2 채널), 미국과 일본, 한국등지에서 채택하고 있는 NTSC 컬러 TV의 복합 영상신호는 114.5 Mbps(14.3 Mhz 표본화 주파수에 표본당 8 비트)이다. 이 복합 영상신호의 PCM 데이터를 기록 재생하는 방송용 VTR이 D-2 포맷으로서 가정에서 얻을 수 있는 최상의 화질이다.

또 전세계에서 쓰이는 세 컬러 TV 방식인 NTSC, PAL, SECAM의 프레임당 주사선수/프레임률/인터레이스율은 대부분 NTSC는 525/29.97/ 2:1, PAL과 SECAM은 625/30/2:1이다. 이들의 스튜디오 디지털 규격인 ITU-R 601에서는 휘도와 색 신호를 성분별로 처리하는데, 휘도성분은 135 Mhz 표본화 주파수에 표본당 8 비트이고 두 색 성분은 각각 67.5 Mhz 표본화 주파수에 표본당 8 비트이어서 합계 216 Mbps가 된다. 이 성분별 영상신호의 PCM 데이터를 기록 재생하는 방송용 VTR이 D-1 포맷으로서 스튜디오에서 볼 수 있는 최상의 화질이다. 한편 차세대 TV로서, 기존 TV의 종횡비인 4:3(1.33:1)보다 가로 방향으로 넓어진 16:9(1.78:1, 역사적으로 영화의 종횡비가 1.33:1, 1.67:1, 1.85:1, 2.4:1(시네마스코프)로 변천해 왔는데, 이를 감안하고 4:3과의 상호변환을 고려하여 이렇게 결정됨)를 사용하고 해상도도 훨씬 높아 영화관에서의 감동을 안방에 전해줄 것으로 기대되면서, 서기 2000년을 전후하여 실용화될 예정인 것이 바로 고선명 TV이다. 고선명 TV의 스튜디오 규격인 SMPTE 240M은 1125/60/2:1로

서 휘도 성분은 74.25 Mhz로 표본화되고 두 색 성분은 그 반의 주파수로 표본화되는데 각각 표본당 8 비트이므로 발생하는 데이터량은 총 12 Gbps로서 현행 TV 스튜디오 규격의 약 6배에 이른다.

멀티미디어의 실현에 열쇠가 되는 것은 바로 이렇게 많이 발생하는 각종 데이터를 어떻게 압축하느냐 하는 것이다. 세계 각국은 영상, 음성 등의 정보 유형에 따른 효율적인 데이터 압축방식의 개발을 위하여 치열한 경쟁을 벌이면서 또 한편으로는 국제 표준 데이터 압축방식의 제정을 위하여 국제표준화기구(ISO: International Organization for Standardization)나 국제전기통신연합(ITU: International Telecommunication Union) 등을 통해 공동의 노력을 기울여 왔다.

MPEG은 국제표준화기구(ISO)와 국제전기기술위원회(IEC)가 정보표현의 표준화를 위하여 구성한 공동위원회(JTC) 산하의 작업반인 JTC1/SC29/WG11의 별칭으로 동영상과 음향의 압축 및 다중화에 관한 표준을 제정하여 왔다. 이 작업반에서는 먼저, 멀티미디어 PC의 필수품인 CD-ROM과 같은 디지털 저장 매체에 VHS 테이프 수준의 동영상과 음향을 최대 1.5 Mbps로 압축 저장하기 위한 목적으로 MPEG-1(ISO 11172)을 완성하였는데, 이는 근래 영화를 CD에 담아 상품화시킨 비디오 CD와 CD-I/FMV(Full Motion Video)에 쓰이고 있다.

MPEG-1에 이어서, 디지털 TV 방송이나 HDTV, 대화형 TV, DVD 등 보다 높은 화질과 음질을 필요로 하는 응용 분야를 고려하여, 보다 높은 비트율에서 영상과 음향을 압축하기 위한 목적으로 MPEG-1을 확장 개선한 것이 MPEG-2(ISO 13818)이다. MPEG-2는 영상 및 음향의 고능률 압축뿐 아니라, 비동기전송모드(ATM: Asynchronous Transfer Mode)에 기초한 광대역 종합정보통신망(BISDN: Broadband ISDN)과의 인터페이스를 고려하여 데이터 패킷의 길이를 결정하였다. 즉 ATM 셀의 크기가 53 바이트로서 헤더 5 바이트를 제외한 유효 부하가 48 바이트임을 고려하고 Reed-Solomon 에러 정정 부호의 여지를 남기기 위하여 MPEG-2 TS(Transport Stream)의 패킷 길이는 188 바이트의 고정길이를 결정되었다. 한편 CD 등과 같이 이미 에러 정정 방법이 정해져 있거나 에러가 발생하지 않는 환경에서 순수하게 MPEG 비트열만을 패킷화하여 저장/전송할 때는 가변 패킷 길이를 갖는 PS(Program Stream)의 형태를 취한다.

MPEG의 다음 목표는 객체 지향 멀티미디어 통신을 위한 차세대 압축 방식으로서, MPEG-1과는 커다란 차이가 있는 이른바 'MPEG-4'이다. 또 MPEG 이전에 제정된 관련 국제 표준으로서는, 종합정보통신망(ISDN)을 이용하여 영상전화나 영상회의를 하기 위한

목적의 H261, 컴퓨터나 전자카메라 등에 응용되는 정지화의 압축을 위한 JPEG(ISO 10918) 등이 있는데, 이들의 기술적 내용의 상당 부분이 MPEG-1에 반영되었다. 한편 ITU-TS(구 CCITT)에서는 64 Kbps 이내에서 전화선을 이용한 영상전화가 가능하도록 기존의 H261 표준을 개선한 H263을 최근 완성하였다.

기술적인 면에서 MPEG-2에는 그동안 상아탑에서 연구되어 왔던 많은 영상 및 음향의 압축 기술들이 망라되었으며, 이 과정에서 구현가능성을 함께 감안하여 현재의 디지털 기술로 구현이 어려운 알고리즘들은 성능의 우수함에도 불구하고 탈락되었다. 반면 현재 표준화가 진행 중인 MPEG-4는, 차세대 멀티미디어 통신 및 데이터베이스 액세스를 위한 데이터 압축 표준으로서, MPEG-2를 포함한 이제까지의 표준과는 달리 단일 표준이 아니고 여러 알고리즘이 공존하면서 응용 분야에 따라 선택되어 쓰이도록 되어 있어, 많은 새로운 방식들이 MPEG-4에 포함되고 있다. 현재 표준화가 끝난 버전 1과 곧 끝날 예정인 버전 2가 있다.

1) MPEG 비디오

MPEG1 비디오는 무손실/손실 압축 기법을 결합하여 높은 압축률을 얻는 동영상 압축방식이다. 구체적으로는 순행주사 화면에 대해 시간방향의 중복성은 매크로블록 단위(16 x 16 화소)의 움직임 추정 및 보상에 의해, 공간 중복성은 DCT와 양자화에 의해, 그리고 통계적 중복성은 런길이 부호화 및 허프만 부호화에 의해 제거하고 있다.

MPEG2 비디오는 MPEG1 비디오를 포함하고 있어 순방향 호환성이 유지된다. MPEG1 비디오가 CD 등의 디지털 축적 매체에 1.15 Mbps의 저비트율로 동화상을 저장하는데 반해, MPEG2 비디오는 보다 고비트율의 방송, 통신, 축적 미디어에서 고품질의 동화상을 전송하거나 저장하는데 사용된다. 응용분야가 다양해진 만큼 충족시켜야 할 요구조건도 많아졌다.

MPEG2 비디오는 일종의 범용(generic) 압축 알고리즘으로서, MPEG1 비디오를 크게 확장 발전시키면서 많은 도구들을 마련하여 응용분야에 따라 이들을 적절히 선택하여 사용하도록 하고 있다. 압축효율의 향상을 위해 MPEG2 비디오는 MPEG1 비디오의 각 요소들을 재검토하여 조금씩 개선함으로써 전체적으로 상당한 향상을 가져오고 있다. 즉 필드단위의 처리, 움직임 추정/보상 방식, 양자화, DCT 계수의 주사방식, 가변장 부호화 등 많은 부분들이 개선되었다.

MPEG2 비디오의 범위는 매우 넓지만 응용분야마다 그중 특정 해상도에 특정 기능까지만을 사용한다. 따라서 부호기와 복호기를 제작할 때의 편의를 위해 MPEG2 비디오를 해상도와 기능에 따라 몇가지로 분

류하고 있다. 우선 화면의 해상도는 4개의 레벨로 분류된다. MPEG1 비디오가 대상으로 하는 것과 같은 작은 화면인 Simple, 현행 TV의 화면크기인 Main, 유럽 고선명 TV(HDTV)의 화면크기였던 High-1440, 미국 고선명 TV를 위한 규격인 High가 그것이다.

또 기능에 따라서는 5개의 프로파일로 나누어진다. 양방향 예측을 이용하는 B 프레임을 제외하여 구현을 용이하게 한 Simple, 많은 기능을 포함하여 대부분의 응용분야에 채택되고 있는 Main, 계층 구조를 가지면서 보다 기능이 확장된 SNR Scalable, Spatial Scalable, High 등이 그것이다.

한편 미국의 지상파 디지털 방송은 1998년 11월부터 실시되고 있는데 HDTV만을 대상으로 하려던 계획을 수정하여 SD TV도 포함하게 되었다. MPEG2 비디오는 현행 TV나 HDTV를 효율적으로 압축하는 것이 주목적이다.

〈표 4 - 1〉 MPEG-2 MP@ML 규격

프레임 포맷	720 x 480 (주파수 29.97Hz) 720 x 576 (주파수 25Hz)
부호화 전송률	최대 15 Mbps
Y,Cr,Cb 표본화 비	4:2:0
화면의 종류	I(intra),P(predictive),B(bidirectional) Picture
부호화 단위	프레임(frame)구조 / 필드(field)구조
움 직 임	프레임구조
벡터예측	필드구조
움직임벡터 탐색범위	수평방향: -128화소 ~ +127.5화소 수직방향: -32화소 ~ +31.5화소
버퍼 크기	1.75 Mbit (1,835,008 bit)
호환성	MPEG-1에 대해 순방향 호환성
DCT DC 정밀도	8bit / 9bit / 10bit
VLC 테이블	MPEG-1과 동일 테이블/신규 테이블
DCT계수의 스캔방법	zig-zag 스캔 / alternative 스캔
가변비트율	채택

현행 TV의 화질은 3-9 Mbps에서, 그리고 HDTV 화질은 17-30 Mbps에서 각각 얻어진다. 비트율은 주어진 채널의 용량과 요구화질을 고려하여 선택된다. MPEG2 비디오에서는, 컴퓨터에서 채택되고 있는 순차주사만을 대상으로 하는 MPEG1 비디오와는 달리, TV에서 사용되고 있는 비월주사 방식의 동화에 대해서도 많은 고려를 하고 있다. 즉 한 화면(프레임)을 두 필드(짝수번째 주사선으로 이루어진 필드와 홀수번째 주사선으로 이루어진 필드)로 나누어 필드구조로 부호화할 수도

있고, 프레임 구조로 부호화할 수도 있다. 부호화에 있어서도 각 매크로블록(16x16 화소 단위)별로 필드단위의 처리가 가능하도록 하여 화면내의 부분적 움직임을 용이하게 처리할 수 있게 하고 있다. 이와 함께 많은 요소가 결합되어 MPEG2 비디오는 MPEG1 비디오보다도 월등한 동화 압축 능력을 가지게 된다.

MPEG2 비디오는 높은 압축률을 얻기 위해 MPEG1 비디오의 여러 요소들을 조금씩 개선하고 있다. 비월 주사인 TV 영상신호의 효율적 압축을 위하여 프레임 구조와 필드 구조를 모두 수용하였다. 프레임 구조의 경우에도 움직임 보상 예측은 각 매크로블록(16x16)마다 프레임 단위 혹은 필드 단위로 선택적으로 행할 수 있다.

MPEG2에 새로이 채택된 움직임 추정·보상 방법으로서 듀얼 프라임(Dual Prime)이 있다. 이것은 필드단위의 움직임 보상을 하되 이에 따라 많아지는 움직임 벡터의 양을 효과적으로 줄이는 방식이다. 이 방식은, B 프레임을 생략하여 부호화에 따른 지연시간과 복잡도를 줄이고자 할 때의 보완 수단으로서, 여전히 좋은 화질을 유지하는데 기여한다.

DCT에 있어서는 프레임 구조에서도 매크로블록 단위로 프레임 모드와 필드 모드중 데이터 발생량이 적은 것을 선택할 수 있다. 따라서 움직임이 많은 경우와 적은 경우 모두 효과적으로 처리할 수 있다. 단, 필드 구조에서는 필드 DCT 하나만이 쓰인다.

DCT 계수의 양자화에 있어서 MPEG1에서는 계수의 크기에 관계없이 양자화 스텝이 일정한 선형 양자화가 사용되고 있다. 반면 MPEG2에서는 계수값이 작을수록 양자화 스텝이 작아 세밀하게 양자화하는 비선형 양자화가 함께 사용된다. 비선형 방식은 복잡도는 증가하지만 평균 양자화잡음을 줄여 양자화기의 성능 향상을 가져온다.

양자화된 DCT 계수의 가변장 부호화를 위한 주사에 있어서, MPEG1에서는 지그재그 주사만을 사용하였다. 그러나 MPEG2에서는 대체 주사(Alternate Scan) 방법이 추가로 사용되는데, 이 두가지 중 하나를 화면 단위로 선택하여 사용한다. 대체 주사는 DCT의 수직 방향 고주파 성분을 상대적으로 일찍 주사하여 특히 움직임이 큰 비월주사 화상에 뛰어난 효과를 보인다.

주사된 DCT 계수의 가변장 부호화(VLC: Variable Length Coding)를 위해 MPEG1에서는 하나의 2차원 VLC 테이블만이 사용되었다. 이에 비해 MPEG2에서는 화면내 부호화를 위한 테이블을 추가로 사용할 수 있도록 하였다. 화면내 부호화는 화면간 부호화에 비해 DCT 계수 값들이 훨씬 커 통계적 특성이 다르므로 이를 반영한 별도의 테이블이 필요했던 것이다. 이 VLC를 사용함으로써 화면내 부호화시의 데이터 발생량을

크게 줄일 수 있다.

스케일러빌리티 기능은 MPEG-2에 새로이 도입된 개념으로서, 공간 스케일러빌리티(Spatial Scalability), 시간 스케일러빌리티(Temporal Scalability), SNR 스케일러빌리티(SNR Scalability) 등이 있다.

공간 스케일러빌리티는 우선 화면을 공간 해상도가 낮은 기본 계층(예: 현행 TV)과 높은 고위 계층(예: 고선명 TV)로 나눈다. 기본 계층을 먼저 부호화하고 이어서 기본계층의 보간성분과 고위계층의 차이성분을 부호화하여, 두 부호화 비트열을 함께 보낸다. 이렇게 하면 현행 TV 수신기로도 기본계층 비트열을 복호하여 고선명 TV를 현행 TV 화질로 볼 수 있고, 고선명 TV 수신기는 두 비트열을 모두 복호하여 고선명 화면을 재생한다. 즉 마치 흑백 TV와 컬러 TV의 경우처럼, 디지털 TV 수상기나 고선명 TV 수상기가 디지털 TV 방송과 고선명 TV 방송을 모두 수신할 수 있어 완전한 호환성이 유지된다.

시간 스케일러빌리티와 SNR 스케일러빌리티도 공간 스케일러빌리티와 마찬가지로, 기본계층과 고위계층으로 나누어 기본 계층의 부호화 비트열과, 기본계층의 확장성분과 고위계층 간의 차이 성분의 부호화 비트열을 보낸다. 다만 기본 계층과 고위 계층의 분류에 있어서 시간 스케일러빌리티는 시간축(화면의 진행방향)으로, SNR 스케일러빌리티는 화소마다의 비트 표현상의 해상도에 따라 나누는 점이 다르다.

이처럼 MPEG2 비디오는 MPEG1 비디오보다도 다양한 기능과 월등한 동화 압축 능력을 가져, 고선명 TV를 포함한 방송 미디어, 주문형 비디오등의 통신 미디어, DVD로 대표되는 축적 미디어등에 모두 사용되면서 멀티미디어 시대를 선도하는 핵심기술로 자리잡고 있다.

2) MPEG 오디오

MPEG1 오디오는 모노, 하이파이 스테레오, 또는 2개국어 음향을 약 6:1 안팎으로 압축하는 방식이다. 기존의 FM 스테레오 방송, CD의 하이파이 스테레오 오디오, 컬러TV의 음성다중 등을 감안하면, MPEG1 오디오의 위와 같은 세가지 모드는 많은 응용분야에서의 오디오 요구조건을 수용하고 있음을 알 수 있다.

압축전의 데이터량은 예를 들어 CD의 경우 44.1KHz x 16비트 x 2 = 1.5Mbps이다. MPEG1 오디오에 있어서는 제2계층에서의 스테레오 압축시 64 - 384 Kbps를 출력한다. 입력음에 따라 다르겠지만 실험적으로 약 6:1 정도의 압축(256Kbps)까지는 원음과의 차이가 거의 느껴지지 않음이 알려지고 있다. 이보다 높은 압축률을 얻는 제3계층은 약 12:1의 압축률에서도 원음과 거의 같은 음질을 얻는데, 인터넷에서 mp3의 확장자를 가지

면서 사용되기 시작한 끝에 최근 국내 업체들이 mp3 플레이어를 상품화하여 세계시장을 주도하고 있다.

MPEG1 오디오는 효과적 압축을 위해 인간의 청각 특성 두가지를 잘 활용한다. 그 첫째는 단일음에 대한 특성으로서, 가청 주파수인 20Hz - 20KHz 대역에서 각 주파수 성분마다 다른 귀의 감도를 곡선으로 나타낸다. 즉 귀에 들리기 위한 최소크기(임계치)를 음압으로 나타낸 것으로서 1KHz 부근이 가장 낮아 귀에 가장 잘 들리고 20Hz의 저주파나 20KHz의 고주파 쪽은 매우 높아진다.

두번째의 청각 특성은 복합 성분간의 상호 작용에 관한 것이다. 즉 어떤 주파 성분이 큰 값으로 존재하면 그 주변에 언덕모양의 소위 마스크 커브를 만들어, 이 임계치 이하의 신호는 귀에 들리지 않고 그 이상의 큰 신호만이 들리게 된다.

위 두가지 특성을 결합하면 음향의 스펙트럼을 분석하여 각 주파수에 있어서 귀에 들리지 않는 범위의 마스크 값을 구할 수 있다. 각 주파수 성분의 양자화 잡음이 이 임계치 이내가 되어 들리지 않도록 하면 그만큼 비트를 절약할 수 있다. 이것이 손실이 있음에도 불구하고 원음과의 차이가 거의 느껴지지 않는 MPEG1 오디오 압축의 근본 원리이다.

MPEG1 오디오에서는 DCT를 이용하는 비디오와 달리 소위 서브밴드 부호화를 이용한다. 입력신호를 우선 32개의 균일한 폭을 갖는 대역통과필터로 구성된 필터뱅크를 통과시켜, 저주파로부터 고주파에 이르기까지 성분별로 나눈다. 또 한편에서는 보다 세밀한 푸리에 스펙트럼 분석을 통해 마스크 임계치를 구하고, 이에 따라 32개의 각 대역에서의 양자화잡음 허용 범위를 결정한다. 비트율이 정해지면 오버헤드를 뺀 가용 비트수가 구해지므로 이를 32개의 대역에 할당하여 각 대역별로 양자화를 행한다. 이때 비트를 많이 필요로 하는, 즉 양자화 잡음을 적게 해야 하는 곳부터 비트를 차례로 한 비트씩 할당한다. 이렇게 하면 전체 비트의 한도내에서 각 대역들이 필요한 만큼 비트를 할당받게 된다. 한 비트 증가할 때마다 그 대역의 양자화잡음의 크기가 반으로 줄어 약 6dB씩 신호대잡음비가 개선된다.

각 대역마다 이렇게 할당된 비트수와 신호의 진폭에 관한 정보인 스케일인자, 그리고 양자화된 표본값을 구하여, 이들을 정해진 포맷에 따라 보내게 된다.

MPEG2 비디오의 고품질화에 대응하여 MPEG2 오디오도 다채널 고품질화를 목표로 표준화가 진행되었다. 그리하여 MPEG2 오디오는 1994년 11월에 IS(International Standard, 국제규격) 13818-3으로 승인되어 표준화가 완결되었다.

MPEG2 오디오는 MPEG1 오디오를 바탕으로 하여 압축효율을 높이기 위한 몇가지 새로운 기법들이 도입

되고 있다. MPEG1 오디오와 비교할 때 MPEG2 오디오에는 특히 다음과 같은 특징들이 포함되어 있다.

우선 멀티 채널(Multi-channel)화되었다는 점이다. MPEG1 오디오의 스테레오 기능이 MPEG2 오디오에서는 6채널까지 확장되어 영화관에서의 입체음향을 그대로 만끽할 수 있게 되었다. 6채널의 성분들(즉 스피커의 위치를) 살펴보면 C(Center), L(Left), R(Right), LS(Left Surround), RS(Right Surround) 의 5개 광대역 신호(20 KHz)와, 저주파 성분(120 Hz)만을 별도로 제공하는 LFE(Low Frequency Enhancement) 신호로 이루어져 있다. 통상 이를 5.1 채널이라고 부르는데, L, R, LS, RS의 4 채널로 이루어진 기존의 돌비 서라운드 입체음향에 비해 더욱 입체감이 향상되었다.

또 멀티 링구얼(Multi-lingual) 기능이 강화되었다. 아시아, 유럽등의 여러지역의 위성방송에서도 볼 수 있듯이 멀티미디어 및 정보통신기술의 만개에 따라 지구촌이 점차 하나가 되어가고 있다. 이에 대응하여 MPEG2 오디오는 전술한 5.1 채널 외에 별도로 7개 국어까지의 부가 음성을 보낼 수 있는 기능이 들어있다.

MPEG2 오디오는 또한 MPEG1 오디오에서 사용된 표본화 주파수의 반인 16KHz, 22.05KHz, 24KHz의 표본화 주파수를 사용할 수 있도록 하고 있다. 이는 한정된 비트율에서 멀티채널 및 멀티링구얼의 많은 데이터를 효과적으로 압축하기 위해서는 입력신호의 대역이 좁을 경우 표본화 주파수를 줄이는 것이 유리하기 때문이다.

또 하나의 고려사항으로 MPEG1 오디오와의 역방향 호환성(Backward Compatibility)이 있다. 이는 MPEG2 오디오 비트열이 MPEG1 오디오 수신기에서 제한적이거나 재생될 수 있음을 의미한다. 구체적으로는 5.1 채널의 MPEG2 오디오가 MPEG1 오디오 수신기에서는 스테레오로 재생된다. 예를 들어 무궁화호 위성을 이용한 디지털 방송의 경우 MPEG2를 표준으로 하고 있는데, MPEG1 오디오 복호기를 장착하는 보급형 모델도 MPEG2 비트열을 받아 스테레오 음향을 재생한다. 이는 컬러 TV 방송이 흑백 TV에서도 흑백으로나마 수신되고 FM 스테레오 방송이 모노 수신기에서 모노로나마 수신되는 것과 같은 개념이다.

오디오에 있어서의 이 역방향 호환성은, 비디오에 있어서의 MPEG2 비디오 수신기가 MPEG1 비디오 비트열을 수신할 수 있는 순방향 호환성과 대비된다. 보다 엄밀하게는, 오디오에 있어서는 MPEG2 오디오 복호기를 설계할 때 MPEG1 오디오 비트열을 복호할 수 있도록 설계하는 것이 일반적이므로 사실상 양방향 호환성이 모두 유지된다.

이 호환성을 위해 MPEG2 오디오는 MPEG1 오디오의 비트열에서 오디오 데이터 부분에 스테레오 성분을

넣고, 이어지는 부가 데이터 부분에 MPEG2 오디오의 추가 성분을 싣고 있다. 비트 여유가 없어 부족할 때는 다시 비트열의 포맷(신택스)을 확장하여 여기에 나머지 데이터를 싣는다. 이렇게 하다보니 MPEG2 오디오의 비트열 포맷이 매우 비효율적이 되어버렸고 이것이 MPEG2 오디오의 성능을 저하시키는 하나의 요인으로 작용하고 있다.

3) MPEG 시스템

MPEG 비디오 비트열과 MPEG 오디오 비트열을 묶어 하나의 비트열로 묶어 전송하거나 저장하기 위한 규격이 MPEG 시스템이다. 이렇게 하나의 비트열로 다중화할 때 통신 채널이나 저장 미디어 등이 갖는 프로토콜이나 저장 포맷에 적합한 형식으로 할 필요가 있다. 이와 함께 비디오와 오디오의 동기(lip sync)를 맞추는 수단을 제공하는 것도 MPEG 시스템의 중요한 역할이다.

MPEG-1 시스템은 단일 프로그램을 오류가 없는 채널 환경에서 다중화하므로, 비디오 CD 등의 비교적 좁은 범위의 응용분야에 사용된다. 보다 정확히는 채널이 가지고 있는 오류 정정 능력에 의해 오류가 수정되므로 MPEG-1 시스템에서는 오류를 고려할 필요가 없다. 이에 비해 MPEG-2 시스템은 방송, 통신, 저장 미디어 등 광범위한 응용분야에 대응하고 있어 그 포맷도 훨씬 복잡하다.

MPEG-2 시스템에는 두 종류의 다중화 방식이 있다. 하나는 프로그램 스트림(PS: Program Stream)이라 불리는 것으로서 단일 프로그램을 오류가 없는 채널 환경에서 다중화하는데, MPEG-1 시스템을 약간 개선한 것이다. 또 하나는 트랜스포트 스트림(TS: Transport Stream)이라 불리는 것으로서 오류가 있는 채널 환경에서 복수의 프로그램을 다중화한다. 복수의 프로그램을 하나의 비트열로 다중화하므로 멀티미디어 시대의 디지털 TV방송 등에 적합하고 제한수신을 위한 스크램블 기능(비트열을 암호화하여 유료 가입자 이외에는 시청할 수 없게 하는 것)을 부가할 수 있도록 되어있다. 또한 랜덤 액세스가 용이하도록 디렉토리 정보나 개별 비트열에 관한 정보 등을 실을 수 있다. PS는 MPEG-1 시스템과 유사하다.

MPEG-2 시스템에서는 많은 시분할다중방식(TDM: Time Division Multiplexing)에서 쓰이고 있는 패킷 다중화 방식을 채택하고 있다. 이때 비디오와 오디오 비트열 각각을 우선 패킷이라 불리는 적당한 길이의 비트열(PES: Packetized Elementary Stream)로 분할한다. PES 패킷은 다양한 응용에 대응하도록 길이의 상한을 64KB까지로 하고 있고, 각 패킷마다 고정길이나 가변길이 어느것이라도 취할 수 있도록 하고 있다. 또한 가

변 전송속도도 허용되고 있고 불연속적인 전송도 가능하다. 이 각각의 PES를 하나의 비트열로 다중화하여 PS나 TS를 만든다.

패킷 길이는 전송채널이나 매체에 크게 의존한다. 가령 광대역 종합정보통신망(BISDN)에 있어서의 프로토콜인 ATM(Asynchronous Transfer Mode, 비동기 전달 모드)에서는 53 바이트의 패킷(셀이라 불린다)을 사용한다. 이중 패킷에 관한 기본 정보를 담은 헤더가 5 바이트를 차지하므로 실제 사용자 정보(Payload)는 48 바이트이다. 이와 같이 길이가 짧은 패킷은 헤더가 상대적으로 많은 비율을 점유하므로 사용자 정보의 전송효율이 떨어지지만, 시분할다중에 있어서의 절체 시간이 짧기 때문에 지연시간과 버퍼 메모리량이 작은 잇점이 있다.

TS 패킷은 ATM과의 접속성을 고려하여 188 바이트의 비교적 짧은 고정길이를 가지고 있다. ATM 셀의 사용자 정보 48바이트 중 한 바이트를 AAL(ATM Adaptation Layer)용으로 사용하면 실제 사용자 정보는 47바이트가 된다. 따라서 하나의 TS 패킷은 4개의 ATM 셀에 실어서 전송할 수 있다. 각 TS 패킷의 첫 4 바이트는 헤더용이므로 나머지 184바이트가 실제 비디오나 오디오등을 실어나르는 Payload 부분이다.

많은 응용분야에서 오류정정을 위한 부호를 부가하는데, TS 패킷의 길이는 이를 고려하여 결정되었다. 즉 블록 오류정정부호로서 가장 탁월한 성능을 갖는 리드 솔로몬 부호를 적용하려면 TS 패킷의 길이는 255보다 충분히 작은 것이 바람직하므로 결국 전송한 ATM과의 접속성을 함께 만족시키는 188로 결정된 것이다.

MPEG-2 시스템에서는 두 종류의 다중화 비트열을 다룬다. 그중 프로그램 스트림(PS: Program Stream)은 하나의 방송 프로그램(비디오 + 오디오 + 자막)을 오류가 없는 채널 환경 혹은 CD 등에서 보는 바와 같이 매체 자체의 오류 정정 기능을 그대로 활용하는 경우에 사용하는 다중화 방법이고, 트랜스포트 스트림(TS: Transport Stream)은 오류가 있는 채널 환경에서 여러개의 방송 프로그램을 동시에 보낼때 사용하는 다중화 방법이다. 예로서 비디오-CD 처럼 하나의 프로그램을 저장할 때는 프로그램 스트림이 사용되고 무궁화 위성을 이용한 복수 프로그램의 디지털 방송에는 트랜스포트 스트림이 사용된다.

트랜스포트 스트림의 기능에 관하여 무궁화 위성 방송의 예를 들어 보다 구체적으로 살펴보기로 하자. 무궁화 위성은 방송용 증계기 3개와 통신용 증계기 12개를 가지는 방송·겸용 위성이다. 위성방송에 있어서 현재의 일본의 위성방송이나 홍콩의 스타 TV등과 같은 아날로그 FM 방식을 사용하면 증계기당 한 방송밖에 수용할 수 없지만, MPEG2를 이용한 디지털 방식을 사

용하면 중계기당 4-8 방송까지 수용할 수 있다. 우리나라의 경우 프로그램의 부족이나 화질등을 고려하여 중계기당 4 방송으로 결정되었다.

이 위성방송에 있어서 다중화는 다음과 같은 단계로 이루어진다. 우선 각 방송국으로부터의 프로그램이 비디오는 MPEG2-비디오, 오디오는 MPEG2-오디오 압축 알고리즘을 이용하여 각각 30:1과 6:1 정도로 압축된다. 이 압축된 비트열은 패킷 형태로 묶어져 각각 비디오 패킷과 오디오 패킷으로 변형된다. 이어서 이들을 188 바이트의 고정길이를 갖는 트랜스포트 스트림 패킷 여러개에 차곡차곡 싣는다. 하나의 트랜스포트 패킷은 4 바이트의 헤더를 제외하면 184바이트의 실제 짐을 실을 수 있다. 헤더에는 13비트의 프로그램 식별정보(PID: Program Identification)가 포함되어, 이 패킷에 실린 짐이 어느 방송국의 무슨(즉 비디오인지 오디오인지) 정보인지를 나타내는데 쓰인다.

이렇게 각 방송국에서 1차적으로 다중화되어 나오는 트랜스포트 패킷은 2차적으로 여러 방송국의 트랜스포트 패킷들이 또 다중화되어 하나의 비트열을 구성하여 하나의 중계기를 통해 송출될 수 있는 형태가 된다. 이런 최종 비트열이 중계기 수만큼 필요하다. 따라서 디지털 위성방송에 있어서의 다중화는 시분할 다중화(TDM: Time Division Multiplexing)과 주파수 분할 다중화(FDM: Frequency Division Multiplexing)이 결합되어 있다. 즉 중계기들은 각각 27MHz의 대역폭을 가지면서 FDM의 형태로 운용되지만 한 중계기를 4개 방송사가 TDM 방식으로 공유하는 것이다. 각각의 중계기에 실릴 트랜스포트 스트림은 여러 정정을 위하여 리드솔로몬 부호와 길쌈부호가 행해지고 QPSK 변조를 통해 지상과 위성간에 전송이 이루어진다.

수신기에서의 트랜스포트 스트림의 복호시에는 위의 역 과정이 행해진다. 우선 수신하고자 하는 방송이 들어있는 중계기를 선택하여 그 신호를 QPSK 복조하고 여러 정정을 행한다. 이 출력은 여러 방송이 다중화된 비트열이므로 우선 수신하고자 하는 방송국의 트랜스포트 패킷만을 골라내고, 이중 비디오 패킷은 비디오 디코더에서, 오디오 패킷은 오디오 디코더에서 각각 복호함으로써 영상과 음향을 재생하게 된다. 이와 같은 다단계 동작을 위하여 몇가지 프로그램 관련 정보 테이블(PSI: Program Specific Information)이 필요하게 된다.

PAT(Program Association Table)는 PID= "0"인 패킷으로서, 각 프로그램마다 트랜스포트 패킷을 할당해주는 역할을 한다. 이렇게 지정된 패킷에 가보면 거기에는 그 프로그램을 구성하는 비디오와 오디오 비트열이 어떤 패킷에 실려오는지 알려주는데 이를 PMT(Program Map Table)라 한다. 이렇게 PAT와

PMT로 나누어서 트리 형태로 기술하는 이유는, 하나의 테이블로 모두를 기술하면 이 테이블이 너무 커져 테이블을 기억시킬 메모리가 커지게 되고, 또한 테이블의 후반부에 기술되는 프로그램의 정보를 액세스하는데 시간이 오래 걸리기 때문이다.

이밖에도 중계기와 프로그램간의 링크 정보를 담은 NIT(Network Information Table)와 조건부 수신 정보를 담은 CAT(Conditional Access Table)등이 시스템 운용을 위한 부가정보 테이블로서 사용된다.

4) 인터넷 방송 기술

인터넷은 Ethernet, FDDI 등으로 대표되는 LAN(Local Area Network)에 의해 연결되는 국부적 통신망을 전세계적으로 연결하기 위한 프로토콜이다. 보다 구체적으로는 OSI 7 Layer 가운데 LAN에 의해 Physical Layer, Data Link Layer, Network Layer 등이 해결되고 이 위에 IP(Internet Protocol) Layer가 있어 인터넷에 접속된 세계의 모든 컴퓨터가 고유의 주소를 가져 서로 데이터를 송수신할 수 있다. 이때 IP Layer에서는 데이터를 송수신 주소를 붙여 일방적으로 전송하므로 네트워크상에서 가능한 제대로 전달되도록 최선을 다할 뿐 전달을 보장하지는 않는다. 이 위에서 응용 프로그램들이 데이터를 구체적으로 주고 받는 Layer가 TCP(Transmission Control Protocol)과 UDP(User Datagram Protocol)이다. TCP는 패킷 하나하나의 전송을 확인하므로 네트워크상에 이상이 있거나 트래픽이 과다하더라도 패킷의 전송이 지연될 뿐 전달은 보장된다. 따라서 일반적으로 실시간으로 전송하지 않더라도 내용물의 전달을 보장해야 하는 메시지나 파일의 전송에 적합하다. 반면 UDP는 실시간성이 요구되는 응용분야를 고려하여 패킷의 전송을 확인하지 않고 일방적으로 전달한다. 따라서 이는 영상이나 음성등 멀티미디어 통신에 주로 사용된다. 인터넷을 통한 멀티미디어 방송에 있어서도 가장 큰 문제는 인터넷이 기본적으로 패킷교환방식이어서 전화망과 같은 회선교환망에서 제공하는 QoS(Quality of Service)를 보장하지 않으므로 영상이나 음성 데이터의 실시간 전송에 적합하지 않다는 것이다. 그런데도 인터넷이 매우 잘 구축되어 일반인이 쉽게 값싸게 액세스할 수 있다는 매력으로 인해 멀티미디어 서비스를 하고자 하는 것이다. 이를 해결하고자 하는 노력이 최근 여러 가지 시도를 낳고 있다. 예를 들어 실시간성을 보다 더 많이 보장하기 위하여 RTP(Real Time Protocol)을 UDP위에 추가하여 Time Stamp 등을 사용하여 동기를 맞추는 것이라든가 인터넷상에서 특정대역을 독점적으로 예약하여 이용하는 프로토콜인 RSVP(ReSerVation Protocol) 등이 그것이다.

3. 결론

디지털 방송은 멀티미디어 정보화 사회에 있어서 가장 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다. 방송의 디지털화는 국가 경쟁력이나 일자리 창출과도 밀접한 관련을 맺고 있다. 디지털 방송이 영상 및 음성 압축기술, 다중화 기술, 에러 정정 기술, 디지털 변복조 기술, 네트워크 기술, 저장매체 기술, 디스플레이 기술 등 첨단 디지털 기술을 망라한 것이므로 관련 연구개발 부문에 아낌없는 투자가 선행되어야 할 것이다. 현재 디지털 TV 셋톱박스나 DVD등의 MPEG2 기반 멀티미디어 기기를 제조할 때 지불해야 하는 특허료만 보더라도 MPEG-2 관련특허, AC-3 오디오 특허, VSB나 OFDM

특허, DVD 매체 관련 특허 등이 있어 국내 업체들에게 적지 않은 부담이 될 전망이다. 그중 MPEG-2 관련 특허는 국내 삼성전자를 비롯한 12개사가 특허풀을 구성하여 MPEG-2 원천특허의 약 80%에 해당하는 30여개의 특허에 대한 사용료를 SDTV 셋톱박스당 4\$씩 징수하고 있다. 이러한 원천특허의 중요성을 감안하여 국내 산업계도 이제까지의 생산기술 중심에서 탈피하여 이제는 원천 핵심기술의 확보에도 많은 관심을 기울여야 하겠다. 아울러 국가적으로 21세기초에 본격적으로 시작할 디지털 지상파 방송을 앞두고 관련 기술개발과 실용화 연구를 위하여 방송사, 연구소, 산업계, 학계의 역할 분담 및 협력의 새로운 패러다임이 절실히 요구된다.

필자소개



정 제 창

- 1980. 서울대학교 전기공학과 공학사
- 1982. KAIST 전기전자공학과 공학석사
- 1980 ~ 1986. KBS 기술연구소 연구원(디지털 TV 및 뉴미디어 연구)
- 1990. 미국 미시간대학(Univ. of Michigan, Ann Arbor) 전기공학과 공학박사
- 1990. ~ 1991. 미국 미시간 대학 전기공학과 연구교수(영상 및 신호처리 연구)
- 1991. ~ 1995. 삼성전자 멀티미디어 연구소 수석연구원(MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구개발)
- 1995. ~ 현재 한양대학교 전자통신공학과 교수(영상통신 및 신호처리 연구실)