

방송기술에서 디지털 신호처리 응용 DSP Applications on Broadcast Technology

김기수·윤대회

연세대학교 전자공학과 신호처리연구센터

요약

디지털 오디오 방송(DAB)과 디지털 텔레비전(DTV), 고선명 텔레비전(HDTV) 방송의 실용화가 다가오면서 대용량의 디지털 오디오 신호를 주관적인 왜곡없이 압축, 복원할 수 있는 고품질 오디오 부호화 방식이 방송음향 기술전반에 응용되고 있다[1][2]. 또한 방송 채널에 있어서도 기존의 스테레오에서 다채널 오디오 시스템으로 진전하면서 가상 현실, 입체 음향 등에 필수적인 음장재생 기술이 적용되고 있다[3][4]. 위와 같은 기술은 디지털 오디오 신호처리 기술의 발전이 가져온 결과로 미래의 방송기술을 변화시키고 있다. 본 고에서는 디지털 방송 시스템에 있어서 디지털 신호처리 기술의 응용 분야를 살펴보고 새로운 기술을 소개하기로 한다.

1. 서론

디지털 방송 시스템에 사용되는 오디오 신호처리 기술로는 저장 및 전송을 목적으로 하는 데이터 압축 기법, 현실감과 음장감을 위한 음장재생 기법, 익명화를 위한 음성변환 등의 다양한 분야가 있다. 본 고에서는 디지털 오디오 방송, 고선명 텔레비전 방송, 디지털 저장 시스템 등에 필수적으로 사용되는 고품질 오디오 부호화 방법과 함께 가상 현실, 3차원 음장 재생, 음상 정위 등에 필수적인 다채널 시스템을 사용한 음장재생 방법에 대해 살펴보았다.

최초의 디지털 방송용 고품질 오디오 부호화 방법의 표준안은 유럽 디지털 오디오 방송의 표준규격을 결정하기 위한 EUREKA-147 프로젝트를 통해 얻어졌다. DAB를 위한 새로운 표준 오디오 압축 알고리즘은 MUSICAM(Masking-adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing) 방식이 채택되

었다[5][6]. Philips, IRT, CCETT 등에 의해 개발된 MUSICAM 방식은 청각특성을 이용한 서브밴드 부호화 방식으로 96~128kbit/s에서 Compact Disk와 지각적으로 동일한 복원음을 얻을 수 있다. 한편 MUSICAM 방식은 국제표준화기구(ISO)의 MPEG-1 오디오 부호화 방식의 표준안으로 ASPEC(Adaptive Spectral Perceptual Entrophy Coding)과 함께 1991년에 결정하였다[7]. MPEG-1에서는 약 680Mbyte의 저장용량을 갖는 CD에서 1시간 정도의 동영상과 오디오를 압축, 저장할 수 있으나 방송용으로 사용하기에는 화질과 음질에 적당하지 않다. 이를 기반으로 HDTV와 같은 디지털 방송을 위한 다채널 구조의 MPEG-2 규격을 결정하였다. MPEG-2 표준안은 1994년에 국제 표준안이 결정되었고, 오디오 부분에서는 다채널(5.1ch), 음성 다중 등의 많은 부가 서비스를 제공할 수 있다. MPEG-2 방식은 국내 및 유럽 등의 HDTV 오디오 대역 압축방식의 표준안으로 채택될 전망이다[2].

그러나 미국에서는 디지털 방식 HDTV 표준안을 결정하기 위해 GE, MIT 등으로 구성된 대연합을 결성하고 영상 압축 방식으로는 MPEG-2를 채택하였지만 오디오 압축기술로는 Dolby 연구소에서 개발한 AC-3 알고리즘을 선정하였다. Dolby 사에서 개발한 AC-3 부호화 방법은 MDCT(Modified DCT)를 이용한 적응 변환 부호화 방법을 사용하였다. 초기에는 2채널 스테레오 신호만을 대상으로 한 AC-2로부터 AC-2a를 거쳐, 현재는 다채널 구조를 갖는 AC-3로 발전하였다. 다채널로의 확장은 HDTV나 극장에서의 충실한 원음 재생을 목표로 한 것이며, 전송율도 기존 35mm 영화필름의 음성영역에 기록할 수 있는 한계치인 320kbit/s를 표준으로 하였다[8][9][10]. 이에 디지털 방식의 HDTV에 적용되는 오디오 압축방식의 두가지 표준 알고리즘인 돌비의 AC-3

와 국제 표준화 기구의 MPEG-2 알고리즘에 대해 비교해 보고 앞으로의 동향에 대해 설명한다.

또한 다채널 시스템에서 효과적인 부호화 및 음장재생을 위한 신호처리 방법 등에 대해서도 살펴보았다. 다채널 시스템을 이용한 음장 재생을 위한 신호처리 방법등에 대해서도 살펴보았다. 다채널 시스템을 이용한 음장재생 기술은 영화에서 먼저 사용된 기술로 TV방송에 있어서도 넓은 화면, 다채널로 전환함에 따라 필수적인 분야가 되었다. 방송에서는 영화관과 같이 넓은 Hall을 대상으로 하지 않으므로 채널을 변환하는 과정이 필요하다.

2. MPEG-2 오디오 부호화 알고리즘

ISO/MPEG에서는 1988년 최초로 오디오 압축 알고리즘의 표준화에 대한 작업을 착수하여 14개의 기관으로부터 압축 알고리즘에 대한 제안서를 받았다. 14개 기관은 사용된 압축방식에 따라 ATAC, ASPEC, MUSICAM, SB-ADPCM의 4개그룹으로 다시 나누어졌고, 이 4개 그룹에 대한 여러가지 평가후에 MUSICAM과 ASPEC 방식을 최종적인 표준안으로 채택하였다. 평가결과는 낮은 비트율에서의 음질면에서는 ASPEC 방식이 가장 뛰어난 성능을 가졌으나 하드웨어의 구현 및 지연시간 등에 있어서는 MUSICAM 방식이 더 좋은 점수를 얻었다. 결국 MPEG 오디오 압축표준안의

표 1. Milestones of ISO/MPEG-Audio

Data	Activities
1988.12	1st audio meeting in Hanover
1989.5	Determining requirements & weighting procedure
1989.6	proposal of 14 algorithms to be tested
1989.10	Clustering of proponents into 4 groups
1989.12	Detailed description of 4 proposals : ASPEC, ATAC, MUSICAM and SB-ADPCM
1990.6	Subjective & objective tests at SR
1990.8	Presentation of results & decision to follow a layer concept
1990.12	1st draft of part 3. "Audio Coding" of ISO 11172-3
1991.6	Layer 1, 2 Frozen
1991.11	Layer 3 verification
1991.12	DIS ready for balloting at national standardization body
1992.11	IS ISO/IEC 11172-3 accepted by national standardization body
1993.8	IS ISO/IEC 11172-3 published(MPEG-1)
1994.11	IS ISO/IEC 11172-3 published(MPEG-1)

기본구조는 MUSICAM을 사용하고 부가적으로 ASPEC 방식이 포함된 형태를 갖도록 결정되었다.

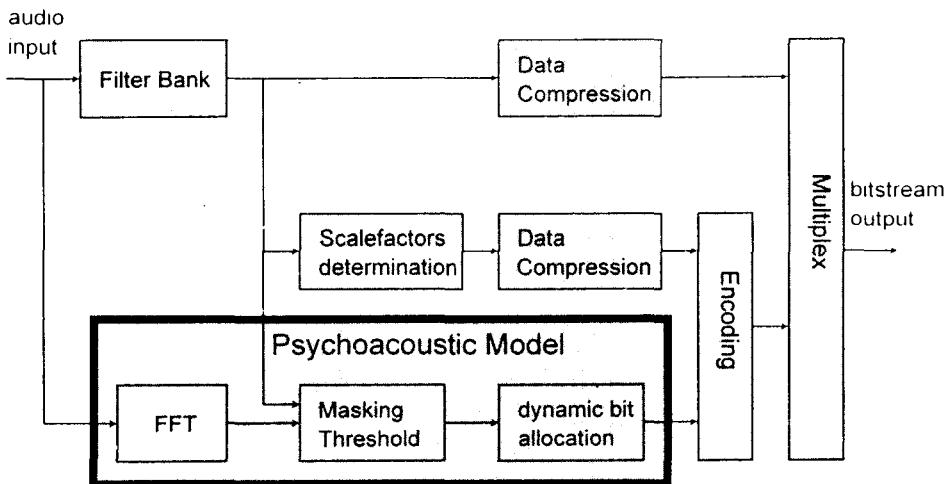


그림 1. MPEG 시스템의 구조

MUSICAM과 ASPEC 방식은 공통적으로 사람의 청각 특성을 이용한 방법으로 주관적인 음질의 손상없이 큰 압축율을 얻을 수 있다. MUSICAM 방식은 서브밴드 부호화를 사용하였고, ASPEC 방식은 MDCT를 이용한 변환 부호화와 엔트로피 부호화를 결합한 구조를 갖는다. 표 1은 ISO에서의 MPEG-1 오디오 부호화의 표준안 흐름을 나타낸다[5][6][7].

MPEG 시스템의 기본 구조는 다음 그림 1과 같다. 입력신호는 32개의 등간격 필터 बैं크를 통과하여 서브밴드 샘플로 바뀌어진다. 이때 심리 음향모델에서는 FFT를 통하여 마스킹 임계값을 얻어 양자화에 쓰이는 비트 할당정보를 주게된다. 즉 필터 बैं크의 출력값과 마스킹 임계값을 가지고 신호 대 마스크 비(SMR : Signal to Mask Ratio)를 구하여 주관적으로 양자화 잡음이 신호에 의해 마스킹 될 수 있도록 비트 할당을 한다. 양자화된 서브밴드 샘플과 비트 할당정보, scalefactor 등이 부가정보로서 비트열에 포함된다. MPEG 시스템은 부호화기의 복잡도와 성능에 따라 표 2와 같은 세개의 계층으로 나뉜다.

표2. MPEG Layers

계 층	특 성
Layer I	Simplified MUSICAM, 128-192 kbit/s 32 Subband Coding, Psychoacoustic Model-1
Layer II	MUSICAM, 96~128 kbit/s, Modified bit allocation, Grouping Scalefactor select Info.
Layer III	MUSICAM+ASPEC, 64~96 kbit/s MDCT, Entrophy Coding, Adaptive Block Size, Nonuniform Quantizer, Psychoacoustic Model-2

복호화기에서는 압축된 비트열을 풀어 각 서브밴드 샘플들을 복원하고 합성필터에 통과시켜 PCM 복원신호를 얻는다. 복호화기는 부호화기에 비해 간단하며 심리음향에 관한 정보를 필요로 하지 않는다.

2.1 필터뱅크

MPEG 계층 I, II에서는 32개의 동일 크기를 갖는

다위상(polyphase) 필터 बैं크를 사용한다. 서브밴드 분석과정은 다음과 같다. 먼저 32개의 새로운 오디오 샘플은 분석 윈도우를 곱한 후, 512 샘플을 8개의 64샘플 블록으로 나누고 각 블록을 더하여 새로운 벡터를 구성한다. 여기에 다음과 같은 분석 행렬(analysis matrix)을 곱하여 32개의 서브밴드 샘플을 만든다.

$$M_{ik} = \cos[(2i+1)(k-16)\frac{\pi}{64}] \quad (1)$$

서브밴드 합성은 부호화된 32 서브밴드 샘플로 출력 오디오 신호를 복원하는 과정으로 분석과정의 역으로 한다. 이 때 사용되는 행렬을 다음식과 같다.

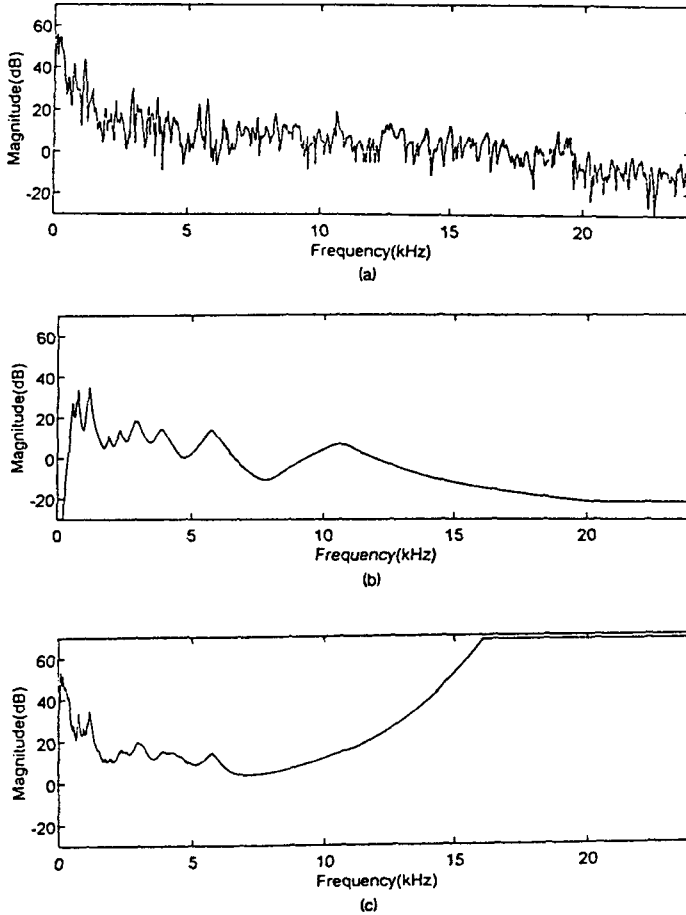
$$N_{ik} = \cos[(i+16)(2k+1)\frac{\pi}{64}] \quad (2)$$

2.2 심리음향 모델

심리음향 모델을 사용하면 각 대역에서 원음에 의해 마스킹 되어 들을 수 없는 최대잡음 레벨을 결정할 수 있다. 이 잡음레벨 즉, 마스킹 임계값을 사용해서 각 밴드의 실제 양자화기를 결정하는 비트 할당을 할 수 있다. MPEG 방식에서는 두가지의 심리음향 모델을 제공하는데 계층 I, II에서는 심리음향 모델 I을 사용하여 마스킹 임계값을 구한다[1].

1) MPEG 심리음향 모델 - 1

계층 I에서는 512-point, 계층 II에서는 1024-point FFT를 통해 스펙트럼을 구하고, 이로부터 각 서브밴드에서의 음압 레벨을 결정한다. 여기에서 마스킹 성분이 순음 또는 잡음인가에 따라 마스킹 곡선이 달라지므로 스펙트럼 정보로부터 순음 성분과 잡음성분을 찾아내야 한다. 먼저 순음성분을 찾아낸 후 나머지 스펙트럼에서 하나의 임계 대역 내에서 하나의 잡음성분을 구한다. 부분 최대값(local maxima) 중에서 주위 신호보다 7dB 이상이 크면 순음으로 간주한다. 여기에 실험적으로 구해진 마스킹 함수를 적용하여 순음에 의한 마스킹 임계값을 구한다. 전체 마스킹 임계값은 개별 마스킹 임계값과 기청 한계의 합으로 구해진다. 그리고 각 서브밴드에서의 음압 레벨과 마스킹 임계값과의 차를 구하여 신호 대 마스크 비(SMR



a) FF스펙트럼 b) 개별 임계값 c) 전체 마스킹 임계값

그림 2. 심리음향 모델 - 1의 결과

: Signal to Masking ratio)를 계산한다. 결국 SMR 이 작다면 신호의 음압 레벨이 작거나 마스킹이 많이 되는 것이므로 적은 비트를 가지고 효과적인 양자화를 할 수 있다. 그림 2는 심리음향 모델 - 1의 각 단계를 보여준다.

2) MPEG 심리음향 모델 - 2

계층 III에서는 FFT 스펙트럼을 청신경의 여기 모델인 스프레딩 함수와 컨볼루션하여 마스킹 임계값을 구하는 심리음향 모델 II를 사용한다. 먼저 신호의 임계대역에 따른 에너지를 계산하고 이 값을 스프레딩 함수와 컨볼루션하여 청신경의 여기 정도를 계산한다. 절대가청 한계를 고려하

여 전체적인 마스킹 임계값을 계산하고 최종적으로 각 서브밴드에서의 신호대마스킹비를 계산한다. 이 방법은 계산량이 많지만 더 정교한 결과를 얻을 수 있다. 돌비 AC-3에서는 위와 같은 방법을 간단히 하여 계산량을 줄인 방법을 사용한다.

2.3 비트 할당 및 양자화

1) scalefactor 계산

각 서브밴드에서 scalefactor 계산은 12샘플마다 이루어진다. 12 샘플의 절대값 중 최대값을 찾아서 0에서 2

사이로 정규화시킨다. 계층 I, II에서는 표준안에 제안된 63개 scalefactor로 정규화 시킨 최대값보다 바로 다음으로 큰값이 scalefactor가 된다. 이를 부호화하는데는 인덱스만 필요하므로 6비트가 사용된다. 계층 II에서는 36샘플이 한 프레임이므로 3개의 scalefactor가 얻어진다. 또한 사용되는 비트를 더욱 줄이기 위하여 인접한 scalefactor가 비슷한 값을 가질 때는 한 개의 값만을 전송한다.

2) 비트 할당

비트 할당에 사용되는 기본 법칙은 한 프레임에 사용 가능한 비트를 넘지 않으면서 그 프레임 전체의 잡음 대 마스크 비(NMR : Noise to Mask Ration)를 최소화시키는 것이다. 한 샘플 당 사용 가능한 비트는 계층 I에서는 0비트에서 15비트까지를 쓸 수 있으나 1비트는 사용하지 않는다. 계층 II에서는 0비트에서 16비트까지 사용하며 고주파 대역에 많은 비트가 할당되지 않는 통계적 특성을 이용하여 고주파 대역의 비트 할당 정보에 사용되는 비트를 줄인다. 즉 어떤 밴드에 16비트까지 할당될 수 있다면 비트 할당 정보는 4비트가 필요하게 되지만 고주파 대역에는 8비트에서 4비트까지 만을 할당하여 비트 할당정보에

사용되는 비트를 2~3비트만 사용한다. 비트 할당과정은 각 밴드별로 MNR을 구한 후 사용 가능한 비트를 모두 사용할 때까지 반복적으로 수행한다. 각 서브밴드에 대해서 MNR은 SNR에서 SMR을 빼서 얻어진다. SNR은 사용되는 비트 수에 의해 결정된다.

3) 양자화

서브밴드 샘플을 양자화 할 때, 0 근처 작은 값에 대한 오차를 줄이기 위해서 0 근처에서 대칭을 이루는 선형 양자화기가 사용된다. 각 서브밴드 샘플들은 scalefactor에 의해 나누어져 정규화된 후 다음과 같이 양자화 되어진다.

- AX+B 계산
- N개의 MSB만을 취한다.
- MSB를 반전시킨다.

위 과정에서 AX+B를 행하면 [-1, 1] 사이의 값이 [-1, (1-2-N+1)]의 범위로 변환되므로 2N-1 레벨로 양자화하기 용이해진다. 여기서 N은 할당된 비트의 수이다. A, B값은 제안서에 주어져 있다. MSB를 반전시키는 이유는 동기 부호(syncword)가 항상 모든 "1" 부호를 사용하기 때문이다. 계층 II에서는 할당된 비트에 따라 3개의 연속된 샘플을 묶어서 부호화하므로 사용 비트

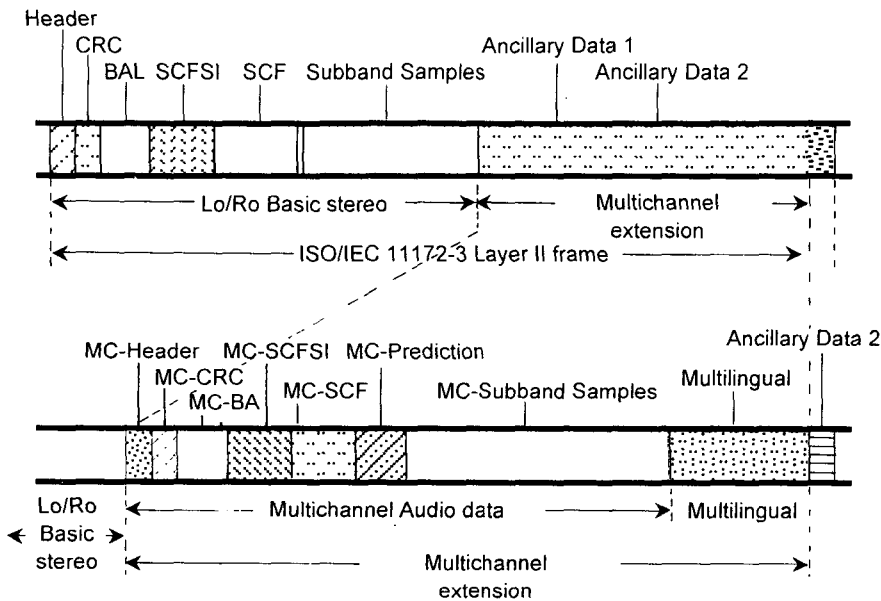


그림 3. MPEG-1, 2 비트열의 구조

를 더 줄일 수 있다.

2.4 오디오 비트열 (Audio Bitstream)

MPEG 오디오 비트열은 프레임 단위로 이루어져 있다. 한 프레임 안에는 헤더 정보, 에러체크에 대한 정보, 오디오 정보와 부가 정보 등이 포함되어 있어 그것을 복호화하면 계층 2인 경우 각 채널의 1152 오디오 샘플을 완전히 복원할 수 있다. 한 프레임은 syncword로 시작하여 다음 프레임의 syncword 바로 전에서 끝난다. 그림 3은 MPEG-1, 2 오디오 비트열의 구조를 나타낸다[2].

2.5 MPEG-2 오디오의 특징

MPEG-1 오디오 부호화 방식과 MPEG-2 오디오 부호화 방식은 기본적인 압축 알고리즘은 동일하며 부가적으로 채널 특성을 이용한 부호화 방식이 사용될 수 있다. MPEG-1 오디오 부호화 방식의 경우 최대 두 채널(좌, 우)의 스테레오 오디오 신호만을 부호화 대상으로 하므로 음상 정위(Sound Image Localization)가 불안정하여 현장감을 충실해 재현하지 못하는 단점이 있었다. 따라서 MPEG-2에서는 이러한 현장감을 살리기 위해서 좌, 우 두채널의 기본 스테레오 신호에 중앙채널, 서라운드 채널 및 저주파 효과채널을 첨가하여 SMPTE, ITU 등의 권고안으로 채택된 3/2+1로 구성된 5.1채널(L, R, C, Ls, Rs, LFE) 부호화 알고리즘으로 표준화하였다[2][3][4]. 각 채널은 저음을 보강하여 원음에 더욱 가까운 음질을 얻을 수 있는 서브우퍼(sub-woofer) 채널, 현장감과 함께 음상 정위효과를 가져올 수 있는 서라운드와 중앙 채널이 기존의 스테레오 사운드에 보강되었다. 또한 이들 채널 외에도 방송용 오디오가 제공해야 할 음성다중 채널, 부가 서비스 오디오 채널에 대해서도 표준안이 제공되었다. MPEG-2 오디오 부호화 방식은 MPEG-1의 계층 2, 3 압축방법과 다채널 부호화 방법이 결합된 형태를 갖고 32~1160kbit/s 정도에서 응용되어질 수 있다.

1) Low Sampling Frequencies

MPEG-2에서는 MPEG-1에서 규정한 세 가지 표본화 주파수(48kHz, 44.1kHz, 32kHz) 이외에도 24kHz, 22.05kHz, 16kHz의 표본화 주파수를 첨가하여

64kbit/s 이하의 낮은 비트율에서도 좋은 음질을 얻을 수 있다. 특히 서라운드 채널이나 센터 채널, 음성 다중 채널의 신호는 두 개의 기본 스테레오 채널 신호에 비해서 통계적으로 대역폭이 작을 뿐 아니라 실제 음질에 미치는 영향도 상당히 작다. 따라서, 이들 채널 신호에 대해서는 MPEG-1에서 지정한 표본화 주파수보다 더 낮은 표본화 주파수로 표본화를 하더라도 지각적인 음질에 있어서 원음과 거의 차이가 나지 않는다.

2) MPEG-2 다채널 시스템

MPEG-2 오디오 부호화 방법은 MPEG-1 오디오 부호화 방법을 다채널로 확장시킨 것이다. 즉, MPEG-2 오디오 부호화 방법은 두 채널의 기본 스테레오 신호뿐만 아니라 센터 채널, 두 개의 서라운드 채널, 선택적으로 서브우퍼 채널과 7개의 부가적인 음성다중 채널, 부가 서비스 채널을 효율적으로 부호화시킬 수 있는 방법이다. 이러한 다채널 확장시스템은 기존의 MPEG-1 복호화기와 완전한 호환이 이루어져야 한다는 제약이 따른다. MPEG-2에서는 MPEG-1과의 호환을 위해서 채널간의 행렬 변환을 수행한다. 이렇게 변환된 채널 신호는 다른 채널의 정보까지 포함하고 있어서 MPEG-1 복호화기는 기존의 스테레오 신호와 차이가 없는 재생 신호를 복원해 낼 수 있다. 하지만 행렬 변환된 오디오 신호를 심리음향 원리에 의해서 낮은 비트율로 부호화하게 되면 양자화 잡음이 서로 누적되어 가청 잡음을 만들어 낼 수도 있다. 따라서 다채널 부호화시 발생할 수 있는 잡음을 줄이는 방법이 따로 고려되어야 한다.

3) MPEG-2 Downward/Backward Compatibility

MPEG-2 3/2 채널 시스템은 실제 5채널 이하의 스피커를 지닌 시스템을 위하여 3/2 채널과의 호환성을 제공한다. 이것은 두 가지 방법으로 수행할 수 있는데, 첫째는 채널 수를 줄이는 변환식에 의하여 전송된 3/2 채널 신호를 3/1, 3/0, 2/2, 2/1, 2/0 또는 1/0 채널로 바꾸는 것이다. 변환을 위한 행렬식은 CCITT 등에서 많은 연구를 통해 제공된다. 두 번째 방법은 3/1, 3/0, 2/2, 2/1, 2/0 또는 1/0의 전송형식을 취하는 것이다. 이와는 별도로 하나의 다채널 신호 대신 두 개의 독립적인 스테레오 신호(3/2, 2/2 또는 1/2)를 전송하는 것도 가능하

다.

그리고 MPEG-2에서는 MPEG-1과의 호환성을 유지하기 위해서 L, R 신호 대신 아래와 같은 행렬식에 의해 변환된 신호 L_o , R_o 를 부호화한다.

$$\begin{aligned} L_o &= L + \alpha \times C + \beta \times L_s \\ R_o &= R + \alpha \times C + \beta \times R_s \end{aligned} \quad (3)$$

이렇게 변환된 스테레오 신호 L_o , R_o 는 5채널 신호를 포괄적으로 포함하고 있기 때문에 MPEG-1 복호화기에 의해서 재생된 신호는 센터 신호, 서라운드 신호에 대한 정보도 가지게 되어 기존의 스테레오 신호와 동일한 음질과 안정감을 유지한다.

3. AC-3 알고리즘

AC-3 오디오 부호화 알고리즘은 복미 지역의 HDTV 오디오 압축기술의 표준안으로 돌비연구소가 제안한 방식이다. MPEG과 마찬가지로 5.1 채널을 수용하고, 32~640kbit/s의 비트율을 갖는다. 압축비를 높이기 위해서 채널간 혹은 채널 내의 마스킹 특성을 이용하며, 고주파 대역의 채널 커플링을 이용하여 비트율을 더욱 줄인다. 기본

적인 부호화 방법은 시간축 에일리어징 제거방법에 기초한 MDCT 변환 부호화 방식을 사용하였다. 다음 그림 4는 AC-3 오디오 부호화기의 블록도이다.

3.1 TDAC filterbank

1) 전처리(Pre-processing)

AC-3 부호화기는 최대 24비트의 워드 길이를 갖는 PCM 워드 형태로 신호를 받아들이며 한 프레임은 6개 블록, 1536개의 샘플로 이루어진다. 입력된 신호는 보다 효율적인 부호화를 위해 3Hz의 차단 주파수를 갖는 하이패스 필터에 통과시켜 DC 성분을 제거한다. 저음 보강 채널(LFE)은 120Hz의 차단주파수를 갖는 8차의 elliptic 로우패스 필터를 통과시킨다.

변환 부호화 방식의 큰 단점으로 지적되는 프리 에코(pre-echo)를 줄이기 위하여 AC-3에서는 윈도우 크기를 신호특성에 따라 변화시키는 방법을 사용하고 있다. 즉, 신호의 에너지 변화 상태를 조사하여 안정 구간의 신호일 때에는 윈도우 크기를 512 샘플로 하고, 천이 구간과 같은 불안정 구간일 때에는 윈도우 크기를 256 샘플로 한다. 256 샘플로 구성된 짧은 블록을 부호화할 때에는 뒤에서 설명할 D45 부호화 방식을 사용한다.

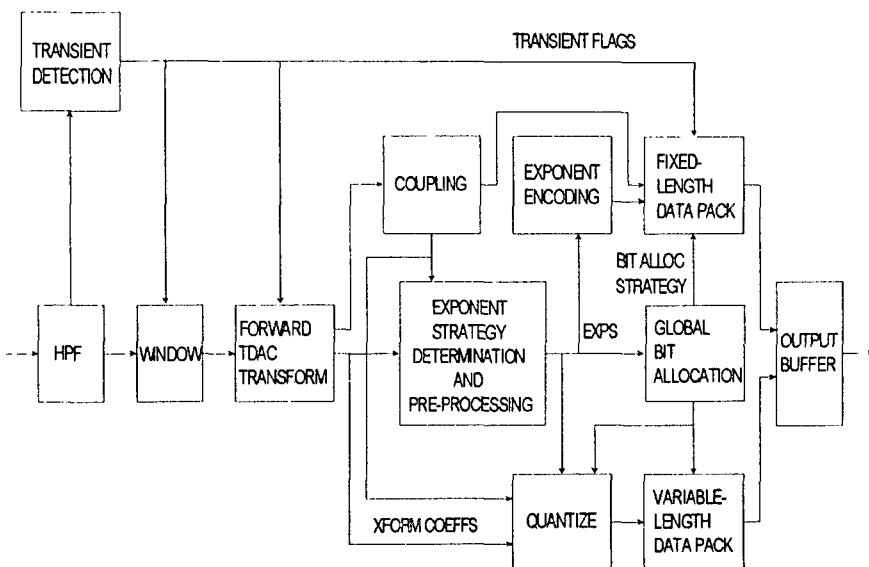


그림 4. AC-3 블록 다이어그램

2) TADC 변환

주파수 영역 변환은 oddly-stacked TDAC 변환 (MDCT)을 사용하며, 다음과 같이 주어진다[16][17]. Forward MDCT :

$$X(k) = \frac{-2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ x(n) \cos \left(2\pi \frac{(2n+1)(2k+1)}{4N} + \pi \frac{(2k+1)}{4} \right) \right\} \quad (4)$$

Inverse MDCT :

$$X(n) = -2 \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ X(k) \cos \left(2\pi \frac{(2n+1)(2k+1)}{4N} + \pi \frac{(2k+1)}{4} \right) \right\} \quad (5)$$

여기서 N은 블럭 길이이다. MDCT를 사용할 때의 가장 큰 장점은 임계 표본화(critical sampling)를 보장한다는 것이다. 즉, 크기가 N인 프레임의 50% 중첩하여 변환하여도 N/2개 샘플로부터 완전 복원된 신호를 얻을 수 있다는 것이다. 이외에도 주파수 선택성이 좋고, DCT의 특성상 블럭간 경계에서 일어나는 왜곡 현상을 줄일 수 있으며, FFT를 사용한 빠른 계산 방법이 존재한다는 장점이 있다. 특히 빠른 알고리즘이 존재한다는 것은 하드웨어의 구현이라는 측면에서 볼 때 매우 중요한 장점이 있다.

3.2 비트 할당 및 부호화

1) 지수 부호화 방법

부호화시 심리 음향 모델을 적용하기 위해서는 입력 신호의 스펙트럼을 구하여야 하는데, AC-3에서는 MPEG과 달리 심리 음향 계산 모듈을 두지 않고 MDCT 변환 계수로부터 스펙트럼 정보를 얻어낸다. 변환 계수는 지수부(exponent)와 가수부(mantissa)로 나뉘어져 부호화되는데, 심리 음향 모델 적용을 위한 스펙트럼 정보는 지수부로부터 얻는다.

AC-3에 사용된 TDAC 필터 뱅크의 주파수 해상도는 93.75Hz이며, 인접 대역에 대하여 12dB의 감쇄율을 갖는다. 그러므로 인접 샘플간 변화량은 ±12dB, 지수값

으로는 ±2의 범위를 넘지 않으므로, 샘플간의 차를 구하여 부호화하면 -2, -1, 0, +1, +2를 나타내는 3bit 로써 나타낼 수 있다. 즉, 처음 샘플만 5bit의 full range 를 사용하여 부호화하고 나머지 샘플들은 샘플간 차를 구하여 부호화 한다. 이렇게 부호화하는 방법은 D15 부호화라 하며 매우 정밀한 주파수 해상도를 갖는다. 그런데 천이 구간과 같은 비안정 구간 신호의 스펙트럼은 넓은 대역에 대해 분포하는 특징이 있고, 주파수 영역 해상도보다는 시간 영역의 해상도가 중요하게 된다. 이 경우 사용하는 것이 D25 또는 D45 부호화 방법인데, D25의 경우는 D15 방법의 절반 즉, 지수값을 하나 걸러 하나씩만 전송함으로써 비트율을 낮춘다. D45 방법은 4개 걸러 하나씩 지수를 전송하는 방법이다. 이때의 정보량은 D15에 비하여 1/4인 0.58 bit/exponent가 되며, 천이 구간의 짧은 블럭을 부호화하는데 사용된다. 이렇게 부호화된 지수값들은 비트수를 더욱 줄이기 위해 다시 3개씩 그룹으로 묶이어서 전송된다.

2) 비트 할당

AC-3에서의 심리 음향 모델은 MPEG 방법에서 처럼 독립된 모듈을 구성하지 않고, 스펙트럼으로부터 비트 할당 정보를 추출해내는 과정속에 자연스럽게 포함되어 구현된다. 먼저 앞서의 방법으로 부호화된 지수부분으로부터 PSD를 구한다. 구해진 PSD로부터 몇개의 대역을 묶어 임계 대역을 고려한 banded PSD를 구하며, 여기에 스프레딩 함수와 유사한 prototype 마스킹 곡선을 적용하여 각 샘플별로 신호성분에 의한 마스킹을 계산해 낸다.

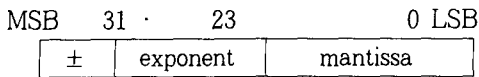
이렇게 계산된 마스킹 곡선을 절대 가청 한계 곡선과 비교하여 다시 큰 값을 택하면 최종적인 마스킹 곡선을 얻는다. 이것과 원래 신호 PSD와의 차를 구하면, 각 주파수 bin에서 부호화하여야할 신호의 전력 레벨을 얻을 수 있다. 정보 이론에 의하면 1비트를 할당할 때마다 SNR은 6dB씩 증가하므로[12][13] 이에 근거하여 비트를 할당한다. 다채널 부호화시에는 커플링(coupling)이라 불리는 블럭간 정보 공유를 통하여 비트율을 더욱 낮춘다.

MPEG에서는 비트 스트림에 비트 할당에 관련된 정보가 포함되는 반면 AC-3에서는 복호화기가 부호화기와 동일한 비트 할당 모듈을 내장하고, MDCT 스펙트럼으로부터 비트 할당에 관련된 정보를 얻어낸다. 전자의 경우 복호화기가 간단해지고, 후자의 경우엔 비트 스트림에 부가

정보가 포함되지 않아 효율적이라는 장점을 가진다.

3) 가수 부호화

앞서 얻은 비트 할당 정보를 통해 가수부를 양자화하게 되는데, 1.5bit까지 할당된 경우에는 테이블로 정의된 대칭형 양자화를 행하고, 6-15 bit의 경우에는 비대칭형 양자화를 사용한다. 비대칭형 양자화는 실수값을 갖는 가수값을 할당된 비트만큼을 사용하여 양자화하는 방법이다.



부동 소숫점 형식으로 표기된 실수값은 위와 같은 형태를 가지므로 여기에서 할당된 비트수 만큼을 추출하여 전송한다. 지수부 부호화에서와 마찬가지로 가수부를 부호화할 때에도 몇개의 샘플들을 묶어서 grouping함으로써 비트를 줄이는 방법을 사용한다. 즉, 3, 5, 11 레벨을 갖는 부호들은 2개 또는 3개씩 묶이어 각각 5비트, 7비트, 11비트 코드워드로 부호화된다.

4. 다채널 부호화 및 음장 재생

현장감있는 음장 효과를 제공하기 위해 MPEG-2에서는 5.1개의 채널을 지원한다. 그림 5는 HDTV에서의 음성부 채널 구성을 나타낸다. 이들 부가 채널은 각각의 특성을 가지고 있으며, 부호화하는 방법도 주로 청각적인 면을 고려하여 채널간의 중복성을 이용한다[2].

4.1 다채널 특성

HDTV의 음성부는 채널 수에 있어서 현장감과 실제 화면과의 음성 정위 등을 위하여 5채널이상의 다채널 시스템으로 구성된다. 하지만 구체적인 장단점을 고려하지 않은 채 채널 수만 무작정 늘리는 것은 시스템의 효율과는 상관 없이 복잡성만 증가시킬 소지가 있다. 그래서 CCIR Task Group 10/1(multi-channel sound system)에서는 채널 수와 스피커의 배치에 대해서 다각도로 검토해왔다. 오른쪽과 왼쪽의 기본적인 스테레오 스피커와 더불어 한개 또는 두개의 중앙 스피커와 두개 또는 네개의 서라

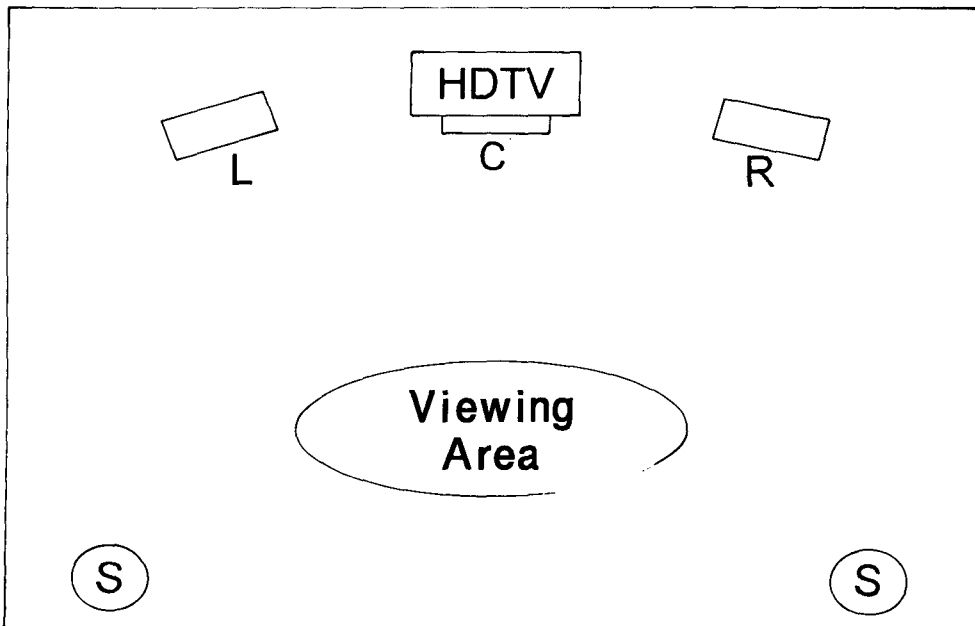


그림 5. HDTV의 5.1 채널 구성

운드 스피커를 여러 측면에서 고려하여 그 장단점을 분석해 놓고 있다.

원칙적으로 전방에 위치하는 스피커는 청취자의 전면에 안정된 가상 음원을 제공시켜 줄 수 있다.(두 채널 스테레오 스피커의 경우 $\pm 30^\circ$ 이내의 청취 각도에 위치하면 청취자는 안정된 가상음원을 제공받을 수 있다.) 여기에 측면이나 후방의 서라운드 스피커를 첨가하는 것은 청취 각도를 증가시켜 주는 잇점도 있지만 그 보다는 측면이나 후방에 음원을 발생시켜줌으로써 좀 더 사실감 넘치는 3차원의 음장을 형성시키기 위함이다. 이러한 점을 고려해 볼 때, 최고의 성능을 낼 수 있는 스피커의 배치는 4개의 전방 스피커와 4개의 서라운드 스피커를 그림 6과 같이 배치시키는 것이다. 전송 채널 수나 시스템의 복잡성 등에 따라서 성능은 다소 차이가 나지만 4/4의 스피커 배치보다 더 적은 수의 스피커 배치도 생각해 볼 수 있는데 다음과 같은 전방/후방 배치를 고려해 볼 수 있다.

1) 전방 채널의 효과

전방에 위치하는 스피커들은 청취자에게 안정된 방향감(localisation)을 제공해 줄 수 있다. 하지만 청취자가 청취 각도를 많이 벗어나 있거나 청취 각도 내에서 이동할 때 방향감에 혼동이 생겨 재생음원에 대한 방향을 착각할 수도 있다. 실제 발생된 음원과 청취자가 느끼는 음원 사이에 생기는 이러한 차이를 위상 왜곡(imaging distortion, V)이라고 하며, 이것은 청취 각도 B에 대한 두 음원의 각도차의 상대적인 비로서 정의된다. 기존의 스테레오 스피커는 60° 정도의 청취 각도를 가지고 있기 때문에 1° 의 방향에러가 발생하면 $V=1.7\%$ 정도가 된다.

한편, 청취자가 중앙선을 따라서 움직일 때는 중앙선을 기준으로 좌, 우로 움직일 때와는 상황이 다소 달라진다. 스피커가 2개일 때와 4개일 때는 항상 좌, 우에 위치한 스피커가 청취자에 대해 대칭을 이루고 있으므로 위상왜곡이 생기지 않는다. 하지만 3개의 스피커가 배치되어 있을 때에는 청취자가 중앙선을 따라 다가서거나 물러서게 되면 중앙 스피커의 소리가 좌, 우 스피커보다 빨리 전달되거나 천천히 전달되므로 위상왜곡이 생긴다. 이런 점들을 고려해 볼 때, 4개의 전방 스피커가 세 개의 스피커를 사용할 때보다 더 유리하지만 세 개의 스피커가 표준화된 것은 아래와 같은 몇가지 이유 때문이다. 먼저, 영상과 함께 전달되는 오디오 신호는 청취자가 위상왜곡을 감지할 수 있는

가보다는 어느 정도까지 위상 왜곡을 견뎌낼 수 있는가를 고려하는 것이 좀 더 타당하다. 실험에 의하면 방향 왜곡(directional distortion)이 15° 정도보다 적을 때에는 일반 청취자들은 꽤 안정된 방향감을 느낄 수 있다. 그리고 하나의 중앙스피커를 사용하였을 때 특히 유리한 경우는 영상과 함께 주로 대화가 전달될 때인데 이 때는 4개의 스피커보다 좀 더 명료성이 주어진다.

또 한가지 유리한 점은 HDTV를 통한 가정의 영화화에 더 많은 호환성을 제공하는 것이다. 미래의 디스플레이 시스템(display system)은 좀 더 넓은 스크린을 사용하게 되는데 스크린이 넓어질수록 시청 각도는 점점 늘어나게 된다. 따라서 그림 6에서 보는 것처럼 가정의 디스플레이 시스템이 넓어질수록 3개의 전방 스피커에 의하여 영화관에서 느낄 수 있는 사운드에 좀 더 가까이 다가갈 수 있게 된다.

스피커의 배열에는 청취 영역이나 방향감 등에 있어서 분명 계층적인 차이를 나타낸다. 하지만 스피커의 배열과 상관없이 동일한 auditory event에 대해서는 가청영역 내에 있는 청취자에게 동일한 방향감을 제공해 주어야 한다. 따라서 4채널, 3채널, 그리고 2채널로 시스템을 구성하더라도 서로 호환이 되도록 채널간의 downward conversion이 꼭 필요하다. 아래에는 3채널에서 2채널(L/R)로의 채널변환에 대해서 설명하였다.

3채널에서 2채널로의 변환은 아래의 변환 행렬식을 통해서 이루어진다.

$$\begin{aligned} L &= L_1 + 0.7C \\ R &= R_1 + 0.7C \end{aligned} \quad (6)$$

이러한 변환 시스템을 지금까지 여러번에 걸쳐서 제안되어 왔다[18][19]. 이것은 방향 이미징(directional imaging)과 라우드니스 밸런스(loudness valance)에 대해서 최상의 절충안으로 여겨진다.

2) 서라운드 채널

앞서 언급한 것처럼 CCIR TG 10/1에서는 전방 두 개의 스피커를 보조하기 두개 혹은 네개의 서라운드 스피커를 설치하였다. 두개의 서라운드 스피커를 사용할 때는 중앙의 스피커에서 $60^\circ \sim 120^\circ$ 사이의 각도로 떨어뜨려 설치하고 네개의 서라운드 스피커를 사용할 때는 나머지 두 개의 스피커를 $60^\circ \sim 150^\circ$ 사이의 각도에 설치한다. 서라운드 스피커는 반드시 어떤 위치에 두어야 한다는 규칙

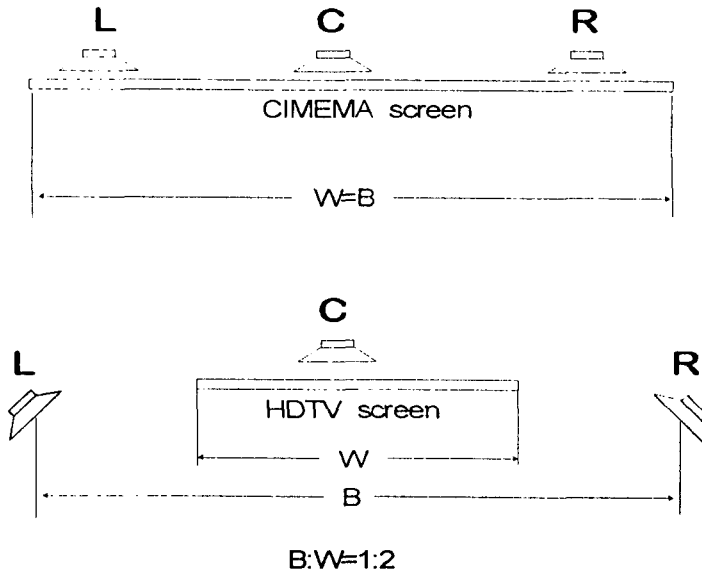


그림 6. HDTV와 영화관 사운드 시스템의 전방 스피커 비교

은 없지만 그림 5-1에서 보는 것처럼 전방의 스피커보다 가까이 두지는 않도록 한다.

그리고 서라운드 스피커의 재생신호는 반드시 스피커의 수와 일치할 필요는 없다. 따라서 네개의 재생신호를 각각의 스피커로 입력시킬 수도 있고 한 개 또는 두 개의 재생신호를 네 개의 스피커로 입력시킬 수도 있다. 두 개의 서라운드 스피커에 대해서도 마찬가지이다. 또한 재생신호의 수도 전송된 신호의 수와 일치할 필요는 없다. upward, downward conversion을 통해서 서라운드 스피커의 배치에 가장 적합한 재생신호를 만들어내면 된다.

서라운드 사운드를 만들어 주는 이유는 좀 더 나은 청취 환경을 형성시켜 주기 위해서인데 이것은 서라운드 사운드가 음장감(imaging of space)과 효과음을 만들어주기 때문이다. 음장감은 주로 심리음향 법칙에 의해서 좌우되며 이것에 의해 서라운드 사운드를 이끌어내게 되었다. 사람의 청각 특성은 두가지 성질에 의해서 음장감을 느끼게 되는데 첫번째가 잔향 효과(reverberance)이고 두번째는 청각적 공간감(auditory spaciousness)이다. 잔향 효과는 청각원이 주위 사물에 반사되어 시간적으로 지연이 일어나 발생한다. 그리고 청각적 공간감은 오케스트라처럼 시각적으로 보이는 경계보다 청각원이 더 넓은 공간을 차지할 때 발생하게 된다.

서라운드 스피커를 사용함으로써 측면음을 발생시킬 수 있으며 측면에서 나오는 소리의 각도에 의하여 공간감의 깊이가 결정된다. 실험에 의하여 한 쌍의 서라운드 스피커 ($\pm 60^\circ \sim 120^\circ$)로도 충분한 측면음을 발생시킬 수 있다 [3][20][21][22]. 하지만 네개의 서라운드 스피커를 사용하게 되면 다음과 같은 몇가지 장점이 생긴다.

- 측면과 뒷면의 스피커를 사용하여 반향을 만들어내기 때문에 공간감의 형성이 좀 더 자연스럽다.
- 가청 지역 전체로 음장을 형성시키므로 잔향효과를 더 잘 유발시킬 수 있다.
- 좀 더 넓은 가청지역을 만들어 주기 때문에 가장자리에 위치한 청취자도 더 깊이 있는 청취가 가능하다.
- 공간감이 청취자의 위치에 영향을 덜 받기 때문에 청취자가 어디에 위치해 있는가가 큰 영향을 미치지 않는다.
- 손상된 음상(sound image)을 들을 때도 서라운드 스피커가 많으면 많을수록 마스킹(masking)효과가 잘 일어나서 음질을 향상시킬 수 있다.

실험에 의하면 두 번째의 서라운드 스피커 쌍은 공간감(spatial impression)과 청취지역을 좀 더 넓게 한다는 것이 밝혀졌다. 이것은 서라운드 신호가 한 개 혹은 두 개가 전송될 때에도 마찬가지이다. 따라서, 가정에서도 후방의 서라운드 스피커를 선택적으로 사용할 수 있도록 하는

것이 바람직하다.

직접음(direct sound)은 반드시 전방의 스피커에 의해서만 전달되는 것이 아니라 서라운드 스피커에 의해서도 전달이 가능하다. 서라운드 신호가 전방의 신호와 일치하지 않으므로 전방 스피커에서 발생하는 직접음 이외의 방향 효과(directional effect)를 발생시킨다. 서라운드 신호가 특히 많이 이용되는 경우는 시청각실과 같은 곳에서의 소리에 대한 반응(박수, 웃음소리, 고함치는 소리)을 효과적으로 살릴 때나 또는 빗소리, 바람소리, 경적소리 등과 같은 것을 영화관에서 들을 때와 같은 효과음을 낼 때이다. 실험에 의하면 이런 효과음은 채널 수가 늘어나면 늘어날수록 영화관 또는 컨서트홀을 더 좋은 환경으로 만들어준다[22].

3) Downward Conversion

전방 신호와 서라운드 신호를 갖고 있는 스테레오 신호는 3/0, 2/0, 신호와 같이 서라운드 신호가 없는 것으로의 downward conversion이 반드시 가능해야 한다. 아래에서는 이와같은 downward conversion에 대하여 몇 가지의 설명을 하였다. 이전의 실험에 의하면 3/2 신호에서 3/0 신호로의 최적변환은 다음 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} L_1' &= L_1 + S_L \\ C' &= C \\ R_1' &= R_1 + S_R \end{aligned} \quad (7)$$

2/0 신호로의 변환은 식(8)과 같이 이루어지다.

$$\begin{aligned} L &= L_1 + 0.5(C + S_L) \\ R &= R_1 + 0.5(C + S_R) \end{aligned} \quad (8)$$

4.2 다채널 부호화

- 전송 채널 전환

MPEG-2 다채널 부호화는 MPEG-1 비트열의 구조와 호환이 이루어져야 한다. 따라서 두 개의 행렬 변환된 신호는 비트열의 MPEG-1 부분에 위치해야 하고, 나머지 확장 채널은 비트열의 다채널 부분에 위치하여야 한다. 보통의 경우 비트열의 다채널 부분에는 다섯 채널의 신호 중 세 채널의 신호가 위치하여 복호화기에서 역변환시킬 때 전송되지 않는 두 채널의 신호까지 모두 복원할 수 있게 해준다. 실제로는 채널을 변환식에 의해서 변환시켰

다가 역변환시켰을 때 잡음들이 서로 합쳐져 귀에 들릴 수도 있게 된다. 복호화 후의 이러한 잡음을 줄이는 한 방법으로서 MPEG-2에서는 확장 채널을 유동적으로 선택하는 전송 채널 변환 방법을 도입하였다. 이것은 복호화된 채널의 잡음이 주로 관련된 채널의 신호 크기에 좌우된다는 사실에 근거한다. 역변환시키는 과정은 MPEG-1 호환 채널(L₀, R₀)에서 확장 채널을 빼는 것과 같으며, 이러한 과정이 가청 잡음을 덜 만들어 내기 위해서는 빼지는 확장 채널이 MPEG-1 호환 채널과 비교하여 상대적으로 신호 크기가 작아야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 전송될 신호가 가장 작은 채널을 선택하도록 한다. MPEG-2에서는 5개의 신호 L, C, R, LS, RS 중 임의의 3개 신호를 T₂, T₃, T₄로 전송하도록 규정하고 있다.

- Dynamic Crosstalk

스테레오 신호 중 공간지각과 관계없는 부분은 입체 음향 모델에 의하여 찾아낼 수 있다. 스테레오와 무관한 신호는 음원의 위치 추정에는 전혀 영향을 주지 못한다[13][14]. 그러므로 스테레오 신호(L, C, R, LS, RS)중 어느 것이라도 스테레오와 무관한 성분들은 입체 음향감에 영향을 주지 않고도 임의의 스피커에 의해서 또는 여러 스피커의 적절한 배치에 의해서 재생될 수 있다. 이것은 여러 주파수 대역에 대해 독립적으로 행해질 수 있다.

- 적응 다채널 예측

채널 간의 통계적 독립성을 이용하기 위하여 redundancy 축소에 적응 다채널 예측방법이 이용된다. 전송 채널 T₂, T₃, T₄에 실제 신호를 전송하지 않고 거기에 해당되는 예측 여러 신호만을 전송한다. 예측기는 지연을 고려하여 2차 정도까지 사용된다.

- 중앙 채널의 가상 부호화

인간의 청각 구조는 고주파 대역에서 음원의 위치를 추정할 때 오디오 신호의 크기 정보만을 사용한다[13][14]. 이러한 사실 때문에 센터 채널의 고주파 부분에 대해서는 왼쪽과 오른쪽 채널의 고주파 대역을 대신 보내주는 것이 가능하며, 이 부분이 중앙 스피커의 가상 음원이 된다. 따라서 비트수가 모자란다면 센터 채널에 대해 phantom coding을 사용하여 음질에는 별로 영향을 주지

않고서도 상당한 이득을 얻을 수 있다.

AC-3에서는 다채널 부호화 방법으로서 채널 커플링 이라 불리는 방법을 사용한다. 이 방법은 MPEG의 Dynamic crosstalk와 개념적으로 동일한 방법으로서 심리 음향 모델을 이론적인 배경으로 삼는다. 인간이 소리의 발생 위치를 추정할 때에는 저주파 대역에서는 시간 지연에 따른 위상차 정보를 이용하지만 2kHz 이상의 고주파 대역에서는 신호 파형의 포락선으로부터 크기 정보만을 얻어내어 이용한다. 즉 커플링은 인간의 귀가 주파수 상으로 매우 가깝게 위치해 있는 두 개의 고주파 신호의 방향성을 구별하지 못한다는 점을 이용한 것이다. 따라서 저주파 대역 신호는 기본 부호화 방법을 사용하여 전송하고, 특정 주파수 이상의 신호에 대해서는 두개 이상 채널에 대한 정보를 공유하여 전송하는 방법을 사용하면 주관적인 음질을 손상시키지 않으면서 압축률을 높일 수 있게 된다.

5. 결론

본 고에서는 디지털 방송 시스템을 위한 오디오 신호처리 응용분야에서 널리 응용되고 있는 방송용 오디오 부호화 방법인 ISO/MPEG-2와 Dolby/AC-3 알고리즘에 관하여 간략하게 살펴 보았다. MPEG-2 방법은 기본적으로 서브밴드 분할 방법을 사용하고 심리 음향 모델을 계산하기 위해 별도의 FFT를 수행하여 매우 정교한 비트 할당을 행한다. 반면 AC-3에서는 MDCT를 사용한 변환 부호화 방법을 사용하고 심리 음향 모델을 위한 별도의 계산을 수행하지 않아 계산량을 줄인다. 그러나 비트 할당 과정에서 이러한 개념이 그 바탕에 포함되어 있다. 또한 기존의 스테레오 시스템이 다채널 시스템으로 전환하는 과정에서 알맞은 채널 수, 각 채널의 특성, 효과적 다채널 부호화 방법에 대해서도 살펴보았다. 이외에도 많은 응용 분야가 있으나 대부분의 디지털 방송을 위한 신호처리 기술은 독자적인 기술 개발보다도 외국의 영향을 많이 받은 것이 사실이다.

현재 국내에서는 무궁화 위성을 이용한 디지털 방송에서의 음성부 부호화 방법에 MPEG-1을 표준안으로 채택했고 따라서 HDTV에 있어서도 호환성 문제 등을 고려하여 MPEG-2 오디오 부호화 방식이 표준안으로 추진되고 있다. 반면에 가전업체 등에서는 미국의 영향력 등을 고려하여 돌비의 AC-3 방법을 NBC(Non-Backward

Compatible) 표준안으로 채택하려는 움직임도 함께 진행되고 있다. 이러한 표준화 움직임은 유럽의 HDTV에 있어서도 DVB(Digital Video Broadcasting) 프로젝트 팀에서 작업을 추진중이다. 방송에 있어서도 국제화 시대를 맞아 국가간의 표준화 작업이 활발히 진행중이다. 따라서 국내의 학계 및 방송기술 연구소 등의 기술진도 국제적인 표준화작업에 적극 참여하여 세계적인 방송기술을 개발해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 No.71 "Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit/s-CD 11172-3(Part 3. MPEG-Audio)" Nov. 1991
2. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 No.803. "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio-CD 13818-3(Part 3. MPEG-Audio)" Nov. 1994
3. D. Meares, "Multichannel Sound for HDTV : Experience with a Promenade Concert Mixdown" CCIR-Doc. IWP 10/12-17(BBC) March 1990
4. G. Carter, "Multi-Channel Sound for HDTV" AES 10th Int. Conf. pp.135-146
5. K. Brandenburg, G. Stoll, "ISO-MPEG-1 Audio : A Generic Standard for Coding of High Quality Digital Audio" J. Audio Eng. Soc., Vol 42, No. 10, 1994 Oct.
6. Y. F. Dehery, *et al.* "A MUSICAM source codec for digital audio broadcasting and storage." *Proc. ICASSP* pp.3605-3608, 1991
7. K. Brandenburg, "ASPEC Coding" AES 10th Conference. pp.81~89
8. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 No.972 "Dolby AC-3 Multi-channel Digital Audio Compression System Algorithm Description." Nov. 1993
9. Craig C. Todd, et al. "AC-3 : Flexible Percep-

- tual Coding for Audio Transmission and Storage," *Audio Engineering Society*, 1993.
10. ATSC T3/251, "Dolby AC-3 : Multi-Channel Digital Audio Compression System," Draft CD of ATSC, Aug 12, 1994.
 11. J. D. Johnston, "Transform coding of audio signals using perceptual noise criteria." *IEEE J. Selected Areas Comm.* pp. 314-323, 1988
 12. N. S. Jayang and P. Noll. "Digital Coding of Waveforms : Principles and Applications to Speech and Video." Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1944.
 13. R. Zelinski and P. Noll, "Adaptive Transform Coding of Speech Signals," *IEEE Trans of ASSP*, pp.299-309, 1977.
 14. T. D. Rossing, *The Science of Sound*. Addison Wesley, 1990.
 15. E. Zwicker, *Psychoacoustics*. Springer-Verlag, New York, 1982
 16. John P. Princen, "Analysis/Synthesis Filter Bank Design Based on Time Domain Aliasing Cancellation." *IEEE. Tans. on Acoutics, Speech, and Signal Processing*, Vol ASSP-34 No. 5, pp.1153-1161 Oct 1986.
 17. J. P. Princen, A. W. Johnson and A. B. Bradley, "Subband/Transform Coding Using Filter Bank Designs Based On Time Domain Aliasing Cancellation." Proc. ICASSP pp. 2161-2164, 1987.
 18. E. Torick "Triphonic Sound System for Television Broadcasting" 12th Techn. Conf of the SMPTE
 19. S. Julstrom "A High-Performance Surround Sound Process for Home Video" J.Audio Eng. Soc(35)
 20. D. Griesinger "Theory and Design of a Digital Signal Processor for Home Use" J. Audio Eng. Soc. 37, 1989, pp.40-50
 21. G. Theile "Further Developments of Loudspeaker Stereophony" 89th AES Convention, 1990, preprint 2947
 22. D. Meares "High-Definition Sound of High Definition Television" AES/SMPTE Joint Television Conference, Detroit, Feb 1-2, 1991
 23. G. Theile "HDTV Sound Systems : How Many Channels?" AES 10th International Conference

필자소개

윤 대 희

1977. 2 연세대학교 전자공학과 졸업
 1978. 9 ~ 1979. 8 Kansas State University, Research Assistant
 1979. 8 ~ 1982. 8 Kansas State University, Research Associate
 1982. 8 ~ 1985. 6 Kansas State University, Assistant Professor
 1985. 9 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 부교수