

상용 CDDA와 하위 호환성을 가지는 새로운 고해상도 부호화방식

論 文

54D-5-7

New High-Resolution Encoding System having Backward Compatibility with CDDA

文 東 旭* · 金 洛 毅†
(Dong-Wook Moon, Lark-Kyo Kim)

Abstract - Conventional CDDA(Compact Disc Digital Audio) system has limitation which means that bandwidth and resolution of the signal are determined by the sampling frequency and quantization bit, 44.1kHz and 16 bit respectively. Though, new medium such as DVD-audio is developed for high-resolution audio recording, it has high complexity and difficulty in manufacturing process. So, CDDA is a widely used medium for high fidelity audio yet. In this paper, we design a new encoding system for high-resolution audio signal which has backward compatible with conventional CDDA. By evaluating for the encoding and decoding process, we verify the availability of our proposed system.

Key Words : Audio Coding, Spectrum Reconstruction, High Resolution Audio, High Fidelity Audio

1. 서 론

선형(LPCM; Linear Pulse Code Modulation) 방식에 의한 기존의 디지털 오디오 시스템은 표본화 주파수와 양자화 비트 수에 의해 신호 대역과 해상도가 결정되는 한계를 가지고 있다. 1982년에 등장한 CD 기반의 디지털 오디오 시스템은 44.1kHz의 표본화 주파수와 16비트의 양자화로 인해, 기록 재생 가능한 신호가 20kHz 및 98.1dB의 다이내믹 레인지(Dynamic Range)로 제한되고 있다. 고전적인 이론에서 가청 주파수 대역인 20kHz까지를 기록 재생하기 위해서는 44.1kHz의 표본화 주파수로 충분한 것이 사실이지만, CD가 상용화된 이후 이 이론은 논란의 대상이 되어왔다[1].

DVD(Digital Versatile Disc) 등 고용량 매체의 등장으로 96/192kHz 및 24비트의 고해상도 포맷을 수용하는 것이 가능해졌으나, CDDA를 대체할 오디오 저장 매체로 제안된 DVD 포럼 진영의 DVD-audio와 Sony/Philips 진영의 SACD(Super Audio CD)는 오소링(Authoring) 절차로 인한 제조 공정상의 복잡성과 관련 기기의 낮은 보급률 및 두 매체 사이의 지나친 경쟁에 의한 시장에서의 혼란 등으로 인해 아직까지 기대만큼의 성공을 거두지 못하고 있다. 때문에, CDDA는 여전히 가장 대중적인 오디오 저장 매체로 사용되고 있는 포맷이다.

본 논문에서는 기존의 CD 기반의 디지털 오디오 시스템에서도 재생 가능한 하위 호환성을 유지하며 88.2kHz의 표본

화 주파수 및 24비트의 양자화를 갖는 새로운 부호화 방식을 제안하고자 한다. 또한 이에 상응하는 복호화 과정을 통해 본 논문에서 제안하는 방식의 유용성을 검증하였다.

2. 새로운 고해상도 부호화 방식의 제안

2.1. CD의 한계에 대한 개선 시도

96년 발표된 퍼시픽 마이크로소닉스(Pacific Microsonics)의 HDCD(High Definition Compatible Digital)는 부호화/복호화 과정을 통한 고해상도 방식으로는 최초로 상용화된 방식으로 88.2kHz 및 24비트로 레코딩된 음원을 44.1kHz, 16비트로 저표본화하는 과정에서 부수적인 다이내믹 프로세싱을 행한 후, 이 과정을 부호화하여 부가적으로 기록하고, 복호화 과정에서는 다시 이에 상응하는 과표본화 처리를 행하는 방법을 통해 고해상도 음원을 기록 재생하였다. 또한, 이 과정에 필요한 부가적인 제어 신호는 LPCM의 LSB 영역에 기록함으로써 기존 CDDA와 호환성을 유지할 수 있었다[2]. 그러나, HDCD는 가청 주파수 영역에서의 신호 크기에 대한 다이내믹 프로세싱과, 저표본화 및 과표본화 과정에서의 과도 특성을 개선하고자 하는 것에 초점이 맞추어진 방식으로 고해상도 음원이 그대로 부호화/복호화 과정을 거친다고는 보기에는 무리가 있는 방식이다. 그럼에도 불구하고, HDCD는 소비자들에게 CDDA의 한계를 넘어서는 최초의 상용 매체로 주목을 받았으며, 적절한 마케팅과 기술 지원으로 고음질 CD로서는 가장 크게 성공한 사례가 되고 있다[3].

2.2 새로운 부호화 방식

본 논문에서 제안하는 고해상도 부호화 방식은 88.2kHz 및 24비트로 레코딩된 음원을 44.1kHz로 저표본화하는 과정에서 손실되는 잔류 음원(residual signal)에 대해 별도의 오디오 부호화기를 거쳐 저비트율로 압축하여 이를 기록한 후, 재

† 교신저자, 正會員 : 建國大學 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : lkkim@konkuk.ac.kr

* 正會員 : 建國大學 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 2005年 2月 7日
最終完了 : 2005年 3月 10日

생 시에는 이를 복호화하여, 88.2kHz 및 24 비트의 음원으로 재생하는 것이 기본 개념이다. 또한 기존 CD플레이어와 호환성을 유지하기 위해 HDCD 와 유사하게 LPCM 영역에서 LSB 및 LSB+1 영역의 2 비트를 압축 오디오 영역으로 할당하고, MSB부터 MSB-13 까지의 14 비트는 기존 44.1kHz 표본화 주파수를 갖는 LPCM 영역으로 사용한다. 이러한 구조로 인해 복호화기가 없는 기존의 CD 플레이어에서도 14 비트 LPCM 영역을 재생할 수 있을 뿐만 아니라, SPDIF (Sony-Philips Digital-audio Interface Format) 출력으로 신호의 전송이 가능하므로 외부기기와의 연결에 유연할 수 있게 된다. 물론, 본 논문에서 제안하는 복호화기를 장착한 기기에서는 LSB 와 LSB+1 영역에 기록된 압축 오디오 신호를 함께 재생함으로써, 88.2kHz 및 24 비트의 고해상도 재생이 가능하게 된다.

2.3 부호화 과정

입력된 88.2kHz 및 24 비트 오디오 신호는 저역 통과 필터 및 데시메이션(Decimation) 필터를 통해 저표본화된 44.1kHz, 14 비트의 LPCM 신호로 변환된다. 이 과정에서 손실되는 잔류 음원은 저표본화된 LPCM 신호를 다시 과표본화와 저역 통과 필터를 통해 88.2kHz 및 24 비트의 신호로 변환하여 원 신호와 (-)연산을 함으로써 구하고, 이를 오디오 부호화기(AAC Coder)를 통해 채널당 88.2kbps 이하의 전송률을 가지도록 압축하여 비트스트림 결합기(Bitstream Packer)를 통해 LPCM 신호와 함께 16 비트의 비트스트림으로 변환한다. 또한, 시간 축 정렬(Time Alignment)을 위한 지연기의 추가로 각 처리 과정에서 생기는 레이턴시(Latency)를 보정하게 된다(그림 1).

2.4 잔류 음원에 대한 오디오 부호화기

MPEG2 및 MPEG4 에서 사용되어지고 있는 AAC (Advanced Audio Coding) 부호화기는 MPEG1 에서의 오디오 압축과는 달리 8kHz 에서 96kHz 의 표본화 주파수를 가

질 수 있으며, 독립적인 부호화 방식을 적용하기 때문에 상대적으로 안정된 음질을 보여주는 것으로 평가되는 등 오디오 신호의 손실압축에 있어 압축율과 재생 품질에 있어 가장 효과적인 방법의 하나로 알려지고 있다[4]. 또한 목표 비트레이트(bit-rate)에 있어서도 기존의 MPEG 1 Layer 3 가 1.33 bit/sample 인 것에 반해 AAC 는 1 bit/sample 로 본 논문에서 적용하고자 하는 부호화 방식에 적합하다[5].

본 논문에서의 오디오 부호화기는 AAC 를 기본으로 하여, 일부 항목을 변형시켜 적용하였다. 특히 기존 CD 플레이어의 랜덤 액세스(Random Access) 기능과 호환될 수 있도록 프레임 당 샘플 수는 588 샘플에 비례하는 147, 294, 588, 1176 샘플을 취했으며, 채널당 88.2kbps 이하의 저전송률에서도 20kHz 에서 40kHz 까지의 신호가 목표 대역이 될 수 있도록 필터 배열을 수정하였다.

2.5 복호화 과정

복호화 과정에서는 우선 CDDA에 기록된 16 비트 신호로부터 MSB 에서 MSB-13 까지의 LPCM 신호와 LSB, LSB+1 에 기록된 압축 신호를 분리해낸다. LPCM 신호는 과표본화와 저역 통과 필터를 통해 88.2kHz 및 24 비트 신호로 변환되고, 압축 신호는 오디오 복호화기(AAC Decoder)를 통해 잔류 음원으로 복호화된다. 두 신호는 연산기를 통해 (+) 연산되어 88.2kHz 및 24 비트 신호로 최종 출력되어진다. 복호화 과정에서도 역시 시간 축 정렬을 위한 지연기를 추가한다(그림 2).

2.6 복호화가 없는 CD 플레이어에서의 재생

본 논문의 부호화 과정을 거친 CD 를 복호화기가 없는 기존 CD 플레이어에서 재생할 시에는 MSB 에서 MSB-13 까지의 LPCM 신호 뿐만 아니라 LSB 및 LSB+1 에 기록된 압축 신호를 LPCM 으로 간주하여 재생하게 된다. 이때, 압축 신호로 인해 LSB 2 비트에 해당하는 -86.1dB 의 랜덤 노이즈가 발생하게 되며, 따라서 기존 CDDA 에 비해서는 약

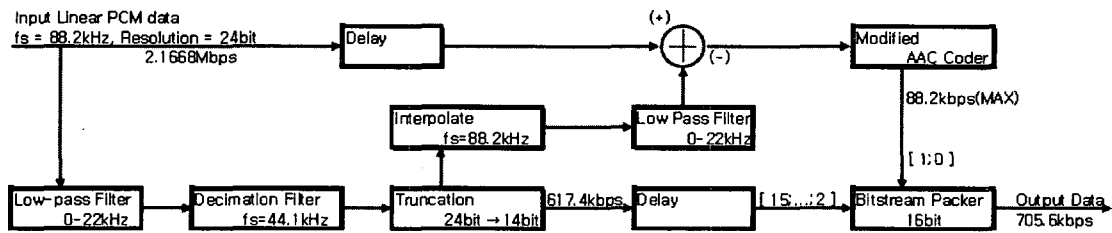


그림 1. 제안하는 고해상도 부호화 알고리즘
Fig 1. Proposed algorithm for high-resolution encoding

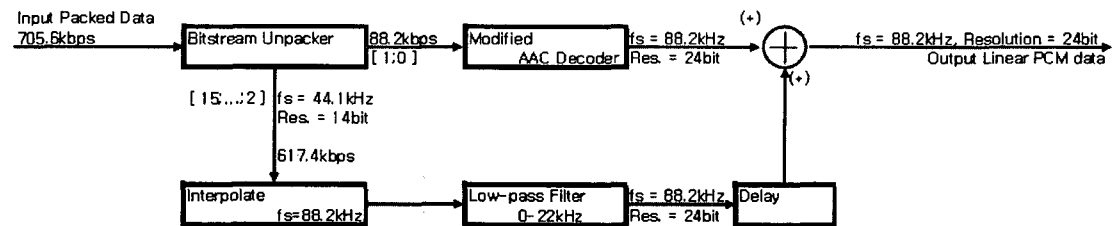


그림 2. 제안하는 고해상도 복호화 알고리즘
Fig 2. Proposed algorithm for high-resolution decoding.

-12dB 의 SNR 이 감소되는 현상을 피할 수 없지만, 청각상 랜덤 노이즈는 보다 큰 레벨의 신호에 마스킹되므로 실용상의 심각한 문제를 일으키지는 않는다.

3. 결과 고찰

본 논문에서 제안하는 방법을 검증하고자, 부호화 과정 및 복호화 과정을 PC 기반의 레코딩 시스템에서 구현하였고, 검증을 위해 88.2kHz 및 24 비트로 표본화된 음원을 사용하여, 부호화 및 복호화 과정을 처리한 후 스펙트럼 분석결과를 비교하여 성능을 평가하였다.

표본 음원으로는 Chuck Mangione 의 「The Feeling's Back」(Chesky Records 1999, CHDVD194)에 수록된 'Quase' 를 88.2kHz, 24 비트 음원으로 재표본화를 거친 후 본 실험에서 사용하였다.

그림 3 은 원음원의 스펙트럼이다. 44kHz 근방까지 음원이 넓게 분포되어있는 것을 알 수 있다. 그림 4 는 복호화기가 없는 기존 CD 플레이어에서 재생 시의 스펙트럼이다. 22kHz 이상의 신호가 재생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

그림 5 는 복호화 과정을 거친 출력 신호의 스펙트럼이다.

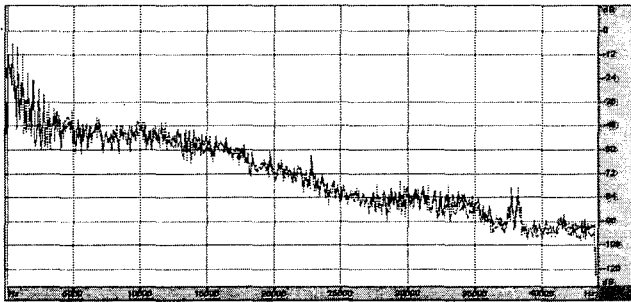


그림 3. 원 음원의 스펙트럼 (fs=88.2kHz, Q.B.=24B)

Fig 3. Spectrum for original sound source (fs=88.2kHz, Q.B.=24B)

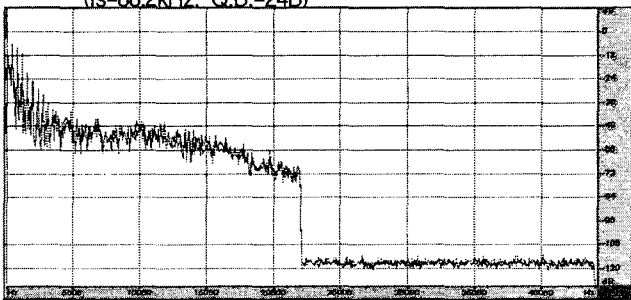


그림 4. 기존 CD 플레이어에 재생 시의 스펙트럼

Fig 4. Spectrum in conventional CD Player

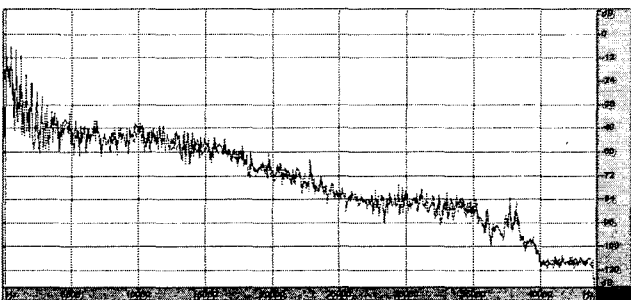


그림 5. 복호화 과정을 거친 후의 스펙트럼

Fig 5. Spectrum after decoding process

그림 3 과 비교하면, 비록 40kHz 이상의 신호가 손실된 것이 보이지만 기존 CD 플레이어의 재생할 수 없는 20kHz에서 40kHz 까지의 신호가 매우 충실하게 재생되는 것을 확인할 수 있다. 표 1 은 원 음원과 복호화 과정을 거친 출력 사이의 레벨 차이를 주파수별로 표기한 내용이다. 38kHz 까지는 ± 1 dB, 40kHz 에서는 -10dB 이내의 응답 특성을 보이고 있다. 38kHz 에서 피크(peak)를 이루는 이유는 과도 신호에 대한 오디오 부호화기/복호화기의 응답 특성 때문으로 보인다.

표 1. 원음원과 출력신호 간의 레벨 차이

Table 1. Differences between original signal and output

주파수	L 채널	R 채널	주파수	L 채널	R 채널
20kHz	+0.01dB	+0.02dB	32kHz	-0.60dB	-0.18dB
22kHz	-0.28dB	-0.06dB	34kHz	-0.52dB	+0.21dB
24kHz	-0.38dB	+0.09dB	36kHz	-0.70dB	+0.15dB
26kHz	-0.15dB	+0.10dB	38kHz	+0.73dB	+0.77dB
28kHz	-0.21dB	+0.18dB	40kHz	-9.06dB	-8.02dB
30kHz	-0.37dB	+0.46dB	42kHz	-25.5dB	-22.9dB

4. 결론

본 논문에서는 기존의 CDDA 포맷과 하위 호환성을 유지 하면서 고해상도 오디오 신호를 기록하는 시스템을 제안하였으며, 제안하는 방식에 대한 구현을 통해 그 유용성을 검증하였다. 그 결과 기존 CDDA 에서는 재생할 수 없는 20kHz 에서 40kHz 의 대역을 기록 및 재생 가능하였고, 표본 음원에 대해 38kHz 에서 ± 1 dB, 40kHz 에서는 -10dB 이내의 응답 특성을 보였다. 본 논문에서 제안하는 시스템의 리얼타임 프로세서(Real Time Processor)의 구현은 이미 상용화된 DSP 를 통한다면 큰 어려움이 없을 것으로 기대된다.

향후 과제로는 LPCM 영역의 2 비트를 압축 데이터로 이용하는 만큼 기존 CD 플레이어에서 재생 시에 손실되는 SNR(Signal to Noise Ratio)을 보상할 수 있는 방법과 압축 부호화 방법에 대한 효율성을 향상시켜 보다 적은 수의 비트를 압축 오디오 신호에 할당할 수 있는 방법이 추가적으로 연구되어야 할 것이다. 또한 피시험자를 대상으로 한 MOS (Mean Opinion Score) 등의 실험을 통해 본 제안의 실제 청각상의 효율성에 대한 검증도 필요로 한다.

참 고 문 헌

- [1] T. Oohashi, E. Nishina, N. Kawai, Y. Fuwamoto and H. Imai, "High-frequency sound above the audible range affects brain electric activity and sound perception", AES 91st Convention, Preprint 3207, October 1991
- [2] Keith O. Johnson, Michael W. Pflaumer, "Compatible Resolution Enhancement in Digital Audio Systems", AES 101st Convention, Preprint 4392, November 1996
- [3] 문동욱, "다시 생각하는 오디오상식-주파수 영역에서 시간 영역까지 HDCD(3)", 월간 오디오, 제 314 호, pp. 150-153, 1998. 4.
- [4] 서정일, 서진수, 홍진우, 강경욱, "저비트율로 압축된 오디오의 음질 개선 방법", 한국음향학회지, 6 호, 제 21 권, pp. 566-575, 2002.
- [5] Karlheinz Brandenburg, "MP3 and AAC explained", The AES 17th International Conference : High-Quality Audio Coding, August 1999.