情 報 保 護 學 會 誌
第 12 券 第 1 號, 2002. 2

MPEG 오디오 부호화 과정을 고려한 오디오 워터마킹

김 연 정*, 오 현 오*, 윤 대 희*, 석 종 원**, 홍 진 우**

요 약

시간 영역에서 수행하는 대역확산 워터마킹의 경우 들리지 않으면서도 강인한 워터마크를 생성하기 위해 심리음향모델을 이용한다. 주파수 영역에서 심리음향모델에 의해 변형된 PN 시퀀스는 시간 영역으로 역변환되어 원신호에 삽입된다. 워터마크가 삽입된 오디오 신호가 MPEG 오디오 부호화 과정을 통과할 경우, 다시 심리음향모델과 주파수 변환을 수행하는 중복 연산이 요구된다. 본 논문에서는 MPEG 오디오 부호화 과정과 오디오 워터마킹 과정을 결합시킴으로써 중복 연산을 피한 효율적인 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 MPEG 오디오 부호화 중에서, 특히, MP3 부호화 과정에 대해 수행하였으며, MDCT 영역에서 워터마크를 삽입한다. 삽입된 워터마크 신호는 일반적인 대역확산 워터마킹 복호화기를 이용하여 시간 영역에서 검출이 가능하며, 기존의 방법과 유사한 수준의 복호화 성능을 나타낸다.

I. 서 론

디지털 워터마킹이란 디지털 컨텐츠에 워터마크라고 하는 사용자가 원하는 정보를 지각되지 않게 삽입하는 것을 말한다. 이 때 삽입되는 워터마크에는 저작권 정보와 같은 부가정보가 삽입될 수 있으며, 방송 모니터링, 소유자 확인, 소유자 증명, 인증, 유통 추적, 복제 제어, 접근 제어등의 용도로 활용될 수 있다.

인터넷 및 디지털 방송에서의 디지털 오디오 컨텐츠는 MP3 (MPEG-Audio Layer III[1])나 AAC (MPEG-2 AAC: Advanced Audio Coding[2]) 등과 같이 압축 부호화된 형태로 유통되기 때문에 워터마크의 삽입 및 검출과정을 고음질 오디오 부호화 과정과 결합시키는 형태에 대한 관심이 높아지고 있다[3][4]. 이는 MP3나 AAC 등으로 이미 부호화되어 있는 오디오 컨텐츠에 워터마크를 삽입하고자 할 때, 복잡한 복호화와 부호화 과정을 다시 거쳐야 하는 비합리적 구조를 개선하고, 워터마크 삽입과 오디오 부호화 과정에서 동시에 요구되는 연산을 하나로 결합함으로써 효율성을 높일 수 있는 차원에서 유리한 방법이기 때문이다. 특히, 휴대형 오디오기기, 디지털 방송 수신용 셋톱박스 등과 같이 실시간 구현을 위해 연산량이 제한된 응용 분야에서는 워터마크 삽입 및 검출 과정의 효율성이 매우 중요한 요구사항이다.

본 논문에서는 오디오 워터마킹과 MP3 부호화기를 결합시킨 새로운 오디오 워터마킹 구조를 제안한다. 제안 방법은, 들리지 않으면서도 강인한 워터마크를 생성하기 위해 사용되는 심리음향모델을 MP3 부호화기의 것과 공유하고, MDCT 영역에서 워터마크를 삽입함으로써, MP3 압축과정과 동시에 효율적으로 워터마크를 생성한다. 이를 위해 II장에서는 대역확산 기반 오디오 워터마킹 방법과 MP3 부호화 알고리즘에 대해 간략히 알아본 후, 두 과정이 연속적으로 수행되는 구조의 문제점을 확인한다. III장과 IV장에서는 MP3 부호화기와 결합된 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 성능을 검증하며, 마지막 V장에서 결론을 맺는다.

II. 대역확산 기반 오디오 워터마킹과 MP3 부호화 알고리즘

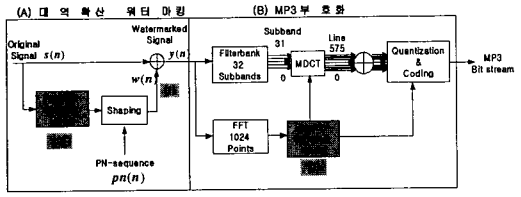
1. 대역확산 기반 오디오 워터마킹

대역확산 기반 오디오 워터마킹은 워터마크 신호로 PN 시퀀스를 삽입하고 그 상관특성을 이용하여

* 연세대학교 전기전자공학과 미디어 · 통신 신호처리연구실({smilekyj, oho, dhyoun}@mcsp.yonsei.ac.kr)
** 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소({jwseok, jwhong}@etri.re.kr)

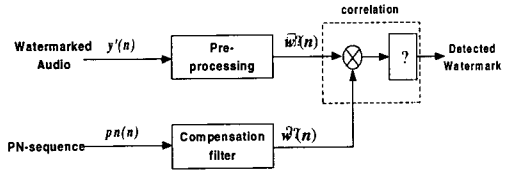
삽입한 워터마크 신호를 검출하는 방법이다[5]. PN 시퀀스는 들리지 않을 정도의 작은 에너지로 오디오 신호에 삽입하여도 자기 상관 특성에 의한 추출이 가능하지만, 심리음향모델에 의해 변형하여 삽입하면 훨씬 큰 에너지를 가지면서도 들리지 않게 삽입할 수 있기 때문에 보다 강인한 워터마킹 방법이 된다[7].

그림 1의 (A)는 대역확산 기반 워터마킹의 부호화 과정을 나타낸다. 오디오 신호에 0, 1의 이진 워터마크 정보에 따라 선택된 PN 시퀀스를 삽입함으로써 부호화된다. 이 때 삽입하는 PN 시퀀스는 오디오 신호와 상관없는 부가잡음이며, 인간의 청각 특성을 고려한 심리음향모델로 마스킹 곡선을 구하고 이를 이용하여 워터마크 신호의 스펙트럼을 변형함으로써 들리지 않으면서 큰 에너지를 갖도록 만들어 삽입한다.



〔그림 1〕 대역확산 워터마킹과 MP3 부호화가 연속적으로 수행되는 과정의 블록 다이어그램

삽입된 워터마크 정보는 워터마크가 삽입된 오디오에서 워터마크 신호성분을 추출하고, 삽입시에 사용한 PN 시퀀스와의 상관 검출을 통해 워터마크 정보를 복호화 한다[5]. 원신호를 사용하지 않는 블라인드(blind) 검출 방법의 경우, 워터마킹된 오디오 신호에서 워터마크 신호를 추출해내는 과정이 필요하다.



〔그림 2〕 대역확산 워터마킹 복호화기

그림 2는 블라인드 복호화기를 나타낸 블록도이다. 워터마크가 삽입된 오디오 신호 $y(n)$은 채널을 통과하면서 채널 특성에 의해 $y'(n)$으로 변형되어 복호화기의 입력으로 들어간다. 일반적으로 워터마크 신호의 에너지는 원신호에 비해 매우 작기 때문에, $y'(n)$으로부터 워터마크 신호 $\tilde{w}'(n)$을 추출하는 전처리 과정을 거치게 된다. 이 때 사용되는 전처리 과정은 오디오 모델링 과정을 통해 워터마크가 삽입된 오디오 신호로부터 원신호를 추정하여 빼줌으로써 이루어진다[7].

또한 복호화기에서 상관 검출을 위해 사용하는 $pn(n)$신호는 검출 성능을 향상시키기 위해 워터마크 신호가 변형되는 과정을 보상해주는 필터를 거치게 된다. 워터마크 신호는 다음 3가지 과정을 통해 변형된다.

① 삽입시 마스킹 곡선에 의한 변형 ($pn(i) \rightarrow w(i)$)
② 채널통과시 공격등에 의한 변형 ($w(i) \rightarrow w'(i)$)
③ 복호화기에서 전처리 과정에 의한 변형
($w'(i) \rightarrow \tilde{w}'(i)$)

이 중, ①, ③은 변형과정을 알고 있으므로 보상이 가능하다. 이러한 보상필터를 거치면서 $pn(n)$은 추출된 워터마크 신호 $\tilde{w}'(n)$에 보다 유사한 형태인 $\hat{w}'(n)$이 되며, $\tilde{w}'(n)$과 $\hat{w}'(n)$의 상관도를 통해 워터마크 유무를 판별한다[7].

2. MP3 부호화 알고리즘

그림 1의 (B)는 576샘플(1 그래뉼) 단위로 수행되는 MP3의 부호화 과정을 나타내는 블록도이다[1]. 먼저 입력 신호는 통계적인 중복성을 제거하기 위해 32개의 가중 중첩 가산 방식 등간격 필터뱅크에 통과하여 서브밴드 샘플로 변환되고 다시 MDCT 변환을 통해 576개의 계수로 이루어진 MDCT 영역의 스펙트럼이 된다. 이와 동시에 FFT를 사용하는 심리음향 모델 II에서는 인간의 청각 특성에 의한 지각적인 중복성을 제거하기 위해, 귀에 들리지 않는 잡음 레벨인 마스킹 임계치를 얻는다. 이 마스킹 임계치를 근거로 하여 주관적으로 양자화 잡음이 신호에 의해 마스킹될 수 있도록 MDCT 스펙트럼의 양자화 비트를 할당하게 된다.

3. 기존 워터마크 부호화 과정의 문제점

앞서 언급된 바와 같이 대역확산 워터마킹에서는 보다 강인한 워터마크를 생성하기 위해 심리음향 모델을 이용한다. 그림 1과 같이 워터마크가 삽입된 오디오 신호가 MPEG 오디오 부호화 과정을 통과할 경우, 다시 심리음향모델과 주파수 변환을 수행

하는 중복 연산이 요구된다 특히, 심리음향 모델은 MP3의 경우 전체 부호화 과정에서 약 40% 이상의 연산량을 차지하는 부분이라는 것을 고려하면, 이 부분을 중복하여 사용한다는 것은 수행시간 및 계산된 자료의 활용면에서 비효율적이다[8].

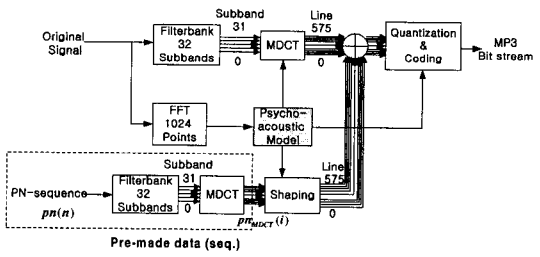
III. MP3 부호화기와 결합된 오디오 워터마킹

1. 결합 부호화기

시간 영역에서 MDCT 영역으로의 변환과정은 선형변환이기 때문에, 워터마크 삽입과정을 원신호에 변형시킨 워터마크 신호를 더하는 것으로 생각할 경우, MDCT 영역에서도 이와 동일한 형태를 가지는 워터마크 삽입 시스템을 통해 시간 영역의 방법과 동일하거나 유사한 워터마크를 삽입할 수 있다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 부호화기로서, 기존 방법이 시간 영역에서 워터마크를 삽입하는 것과 달리, 제안하는 방법은 MDCT 영역에서 삽입한다. MP3 부호화기의 심리음향모델의 결과를 이용하여 MDCT 영역에서 변형된 워터마크 신호는 오디오 신호의 MDCT 계수에 더해지게 됨으로써, 워터마크의 삽입과정은 끝난다. 따라서, 앞서 문제되었던 심리음향의 중복연산을 피할 수 있으며, FFT/IFFT의 변환과정도 생략하게 된다.

이 때 삽입되는 워터마크 신호는 시간 영역에서 생성한 PN 시퀀스를 미리 변환하여 사용한다. 시간 영역에서 1 그래뉼에 해당하는 신호는 중첩 가산되는 MDCT 특성에 의해 3 그래뉼에 존재하지만, 이 신호를 다시 역변환하면 시간 영역에서 본래의 PN 시퀀스를 얻을 수 있다.



〔그림 3〕 MP3 부호화기와 결합된 워터마킹 삽입과정

2. MDCT 영역에서의 워터마크 변형

제안하는 워터마크 부호화기가 기존 방법과 동등한 성능을 보이기 위해서는 그림 1에서의 변형 과정이 MDCT 영역에서 동일하거나, MDCT 영역에서 수행되는 변형에 의해서도 지각적 왜곡 없이 충분히 큰 에너지의 PN 시퀀스를 삽입할 수 있어야 한다. MP3 부호화기에서는 심리음향모델 II를 이용하여, 각 스케일 팩터 밴드의 마스킹 임계치를 결정한다. 이 때 사용되는 심리음향모델은 기존 방법에서 워터마크를 변형하기 위해 사용하는 것과 동일한 역할을 하는 것으로서, 결과로 얻어지는 마스킹 임계치는 FFT 영역이 아닌 MDCT 영역에 적용하기 쉽도록 스케일 팩터 밴드 단위로 얻어지게 된다. 스케일 팩터 밴드와 MDCT 계수와의 관계를 이용하면 각 계수에 마스킹 임계치를 적용할 수 있으며, 마스킹 임계치는 워터마크 변형을 위한 가중치로 사용될 수 있다.

삽입되는 워터마크가 들리지 않기 위해서는 MP3 부호화과정에서 정의되는 허용 왜곡보다는 작게 삽입되어야 한다. 마스킹 임계치와 입력 오디오 신호 에너지의 비로부터 각 스케일 팩터 밴드별로 1개의 MDCT 계수에 대해 허용되는 왜곡(allowed distortion)을 얻는 식은 다음과 같다[1].

$$x_{\min}(sfb) = ratio(sfb) \times en(sfb)/bw(sfb) \qquad (1)$$

이 때, $ratio(sfb)$는 심리음향 모델 II의 결과로 얻어지는 마스킹 임계치이며, $en(sfb)$는 각 스케일 팩터 밴드에서의 원신호 에너지, $bw(sfb)$는 각 스케일 팩터 밴드에 포함된 MDCT 계수의 개수를 의미한다. 한 스케일 팩터 밴드에서 워터마크 삽입에 의해 발생하는 왜곡을 $xfsf(sfb)$라고 할 경우, 이 값은 스케일 팩터 밴드 내의 워터마크 성분의 제곱의 합과 같다. 워터마크 성분의 크기는 MDCT 영역으로 변환된 PN 시퀀스 $pn_{MDCT}(i)$와 스케일 팩터별 변형을 위해 사용하는 가중치인 $scale(sfb)$의 곱으로 이루어진다. 왜곡이 귀에 들리지 않기 위해서는 $xfsf(sfb) \le N \times x_{\min}(sfb)$의 관계를 만족해야 하므로, 식 (2)가 성립한다.

$$xfsf(sfb) = \sum_{i=lbl(sfb)}^{lbl(sfb+1)-1} (pn_{MDCT}(i) \times scale(sfb))^2 \le N \times x_{\min}(sfb) \qquad (2)$$

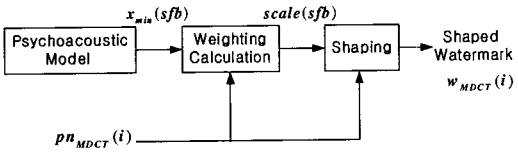
이 때, $lbl(sfb)$는 각 스케일 팩터 밴드의 낮은 주파수를 나타내는 MDCT 계수의 인덱스를 나타내며, N은 $xfsf(sfb)$를 구하기 위해 더해지는 MDCT 성분 개수를 나타낸다. 또한, 같은 스케일 팩터 밴드

내에서의 $scale(sfb)$는 동일한 값이므로, 하나의 상수와 같이 생각할 수 있기 때문에, 식 (2)를 가중치 $scale(sfb)$에 대해 정리하면, 식 (3)과 같다.

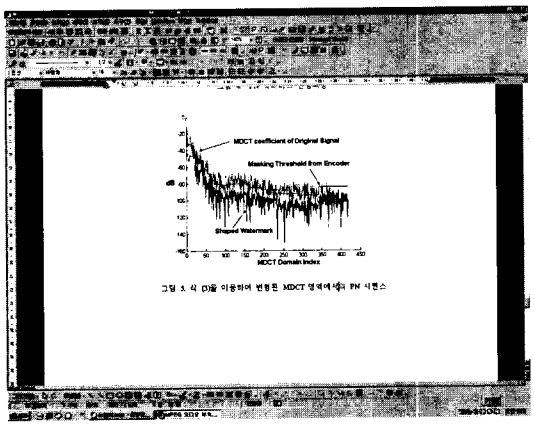
$$scale(sfb) \le \sqrt{\frac{xmin(sfb) \times N}{P}},$$

$$P = \sum_{i=lbl(sfb)}^{lbl(sfb+1)-1} (pn_{MDCT}(i))^2 \quad (3)$$

이 때, MDCT 영역의 PN 시퀀스는 결정된 신호이므로, 식 (3)의 분모 P는 상수값이 된다. 계산된 가중치 $scale(sfb)$을 각 밴드별로 $pn_{MDCT}(i)$에 곱함으로써 워터마크의 변형이 이루어진다. 그림 4에 MDCT 영역에서의 워터마크 변형과정을 다시 정리하였다.



〔그림 4〕 PN 워터마크 변형과정



〔그림 5〕 식 (3)을 이용하여 변형된 MDCT 영역에서의 PN 시퀀스

MP3 부호화기에서는 압축 효율성을 높이기 위해 표본화 주파수가 44.1kHz인 경우 0~417까지의 MDCT 계수만을 전송한다. 이는 주파수 상에서 0~16kHz에 해당된다. 따라서, 삽입되는 워터마크는 MDCT 영역에서 이 대역에만 존재하도록 삽입해야 한다. 또한, 그림 2와 같이 블라인드 복호화를 위해 전처리 필터를 사용할 경우, 필터의 통과 대역을 고려해야 한다.

전처리 필터의 응답은 반전된 오디오 스펙트럼의 형태를 가지기 때문에, 저주파수 대역에 삽입된 워터마크 신호는 전처리 과정 중 제거될 확률이 높다[7]. 이를 고려하면, 워터마크를 800Hz 이하 대역(0~4번째 스케일 팩터 밴드)에는 워터마크를 삽입하지 않는 것이 좋다. 그림 5은 제안한 방법에 의해 MDCT 영역에서 변형된 PN 시퀀스 워터마크의 스펙트럼을 나타낸 결과이다.

3. 검출 과정

제안된 워터마킹 부호화기는 MP3 부호화과정 중 MDCT 영역에서 워터마크를 삽입하지만, 시간 영역으로 변환했을 때는 본래의 PN 시퀀스 특성을 유지하는 신호를 삽입한다. 따라서, 기존의 대역확산 워터마크 복호화기를 이용하여 검출이 가능하다. 본 시스템에서는 그림 2와 같이 전처리 과정을 갖는 블라인드 복호화기를 이용하여 워터마크를 복호화하고, 성능을 평가하였다. 한편, 삽입된 워터마크 신호는 MDCT 영역에서도 PN 시퀀스 자기 상관 특성을 가지고 있기 때문에 MDCT 영역에서 직접 복호화 하는 것도 가능하다.

IV. 실험 결과

1. 음질 평가

제안된 결합구조의 워터마크 부호화기의 성능 평가를 위해 먼저 음질 평가를 수행하였다.

표 1은 제안된 부호화기에 의한 오디오 신호와 원신호를 비교한 주관적 음질 평가의 결과로서, 음질 평가 방법은 ITU-R의 권고안 BS.1116을 준용하였으며, 평가에 사용된 음악은 다양한 장르의 5개의 곡을 선택하였다[10]. 음질 평가는 음향 및 음성 신호처리를 전공하고 있는 10명의 대학원생을 대상으로 수행하여, 결과는 Diffgrade로 나타내였다. 비교를 위해 기존 방법[6]을 이용한 경우와 제안된 방법을 이용한 경우에 대한 결과를 함께 나타내었다. 각 경우에 삽입된 워터마크 신호의 상대적 에너지를 의미하는 SWR은 식 (4)를 통해 계산된다.

$$SWR = 10\log_{10}\left(\frac{Audio\ Signal\ Energy}{Watermark\ Signal\ Energy}\right) \quad (4)$$

〔표 1〕 주관적 음질 평가 결과

	기존 방법[6]	제안한 방법
SWR	21.8 dB	25.1 dB
주관적 음질평가 (Diffgrade)	Imperceptible (-0.1)	Imperceptible (-0.1)

결과 상에서 알 수 있듯이 같은 음질을 낼 때 기존 방법보다 3dB 정도 작게 삽입되었다. 제안 알고리즘의 경우, 시간영역으로 변환되면서 IMDCT의 중첩 가산 과정을 통해 본래의 PN 형태를 복원하게 된다. 그러나 워터마크가 삽입된 후 각 그래뉼별로 다른 양자화 과정을 거치면서 시간 영역으로 복원되었을 때 에일리어징이 발생할 소지가 있기 때문에, 시간 영역에서 직접 삽입한 것에 비해서는 작은 에너지가 삽입되었다. 향후, 에일리어징을 최소화하는 보상 필터등의 설계를 통해 개선될 수 있을 것이다.

2. 복호화 성능 평가

제안된 결합구조의 경우, MP3 부호화기 과정을 거치는 것을 기반으로 하기 때문에, 기존 대역확산 워터마킹 방법에서는 MP3 공격을 받은 것과 같다. 따라서, 실험은 결합된 MP3 부호화기의 비트율을 64kbps, 80kbps, 96kbps로 변화를 준 경우와, MP3 양자화 과정을 거치지 않고 워터마크 삽입된 MDCT 계수를 바로 오디오 신호로 변환한 경우의 BER을 측정하였다. 이 때 전자는 기존 워터마킹 방법에 MP3 부호화 공격을 취한 것과, 후자는 기존 워터마킹 방법만을 취한 것과 비교할 수 있다. 표 2의 결과는 기존 방법과 제안 방법의 복호화 성능을 비교한 것으로써, MP3 항목은 제안된 결합구조와 기존 방법에 MP3 공격을 가한 경우에 대하여 비교하였으며, 신호처리 공격의 경우는 기존방법과 제안 방법 모두 양자화기를 거치지 않은 경우에 대하여 비교하였다. 이 때 사용한 각 신호처리 과정은 SDMI에서 제시한 요구사항에 따라 실시하였다[9].

공격 이전의 경우 기존 방법이 보다 좋은 성능을 보였는데, 표 1에 나타나듯 기존 방법이 제안 방법에 비해 보다 많은 에너지를 삽입할 수 있기 때문이다.

실험 결과 대역통과 필터(Bandpass filter)를 통과했을 때 가장 큰 복호화 오차를 나타내었다. 이는 워터마크를 삽입하는 주파수 영역이 800Hz~16kHz로써 기존 방법의 4~10kHz에 대역제한을 하는 방법에 비해 고주파 영역쪽에 많은 에너지가 삽입되었기 때문이다. 반향 삽입에 의한 영향은 기존 방법과 유사한 정도의 오차가 발생하였다.

〔표 2〕 제안된 결합구조 워터마킹 시스템의 복호화 성능 (BER, %)

구 분	기존 방법[6]	제안한 방법
공격 이전(No Quantize)	0.05	1.43
MP3(96kbps)	-	2.02
(80kbps)	-	3.40
(64kbps)	0.2	7.14
Bandpass Filter	0.24	20.49
Acoustic Echo	1.87	3.55

복호화 과정시 기존 방법의 경우 사용하는 정합 필터 구조를 맞추어 주는 방법으로 성능을 향상시킨 것처럼 제안 방법에서도 심리음향 모델 II에 의한 변형과정을 효율적으로 근사화시킴으로써 복호화 과정의 검출 성능 향상을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 대역확산 기반 워터마킹과 MP3 부호화 과정을 결합한 구조의 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 강인한 워터마크를 삽입하기 위해 필요한 심리음향 모델을 MP3 부호화 과정과 공유하여 MDCT 영역에서 워터마크를 삽입함으로써, 기존 방법에 비해 적은 연산량의 증가만으로 MP3 부호화기에 워터마킹 부호화과정을 삽입할 수 있었다. 복호화 과정은 시간 영역에서 PN 시퀀스를 사용하기 때문에, 대역확산 워터마킹과 동일한 방법을 사용할 수 있다.

제안한 알고리즘은 기존의 방법에 비해 연산량 이득이 높은 효율적인 방법이다. 검출 성능에서 약간의 차이가 있는 부분은 워터마크 변형 과정에 대한 최적화를 통해 보다 큰 에너지를 가진 워터마크를 삽입하게 함으로써 개선할 수 있다.

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(Part3. MPEG-Audio)," 1992.

〔2〕 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 No.1650 "IS

13818-7(MPEG-2 Advanced Audio Coding, AAC)," Apr., 1997.
[3] C. Neubauer, R. Kulessa and J. Herre, "A Compatible Family of Bitstream Watermarking Schemes for MPEG-Audio," *AES 110th Convention*, 2001.
[4] F. Siebenhaar, C. Neubauer and J. Herre, "Combined Compression/Watermarking for Audio Signals," *AES 110th Convention*, 2001.
[5] L. Boney, A. Tewfik and K. Hamdy, "Digital Watermarks for Audio Signals," *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, 1996.
[6] 김현욱, 오현오, 석종원, 홍진우, 윤대희, "강인한 오디오 워터마크의 블라인드 검출을 위한 PN 시퀀스 삽입 및 추출에 관한 연구," 한국음향학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 365-368, 2001.
[7] 김현욱, 오현오, 김연정, 윤대희, "고음질 디지털 오디오 워터마킹을 위한 효율적인 PN 시퀀스 삽입 및 검출방법," 방송공학회논문지 제6권 제1호, pp. 21-31, 2001.
[8] Hyen-O Oh, Joon-Seok Kim, Chang-Jun Song, Young-Cheol Park, Dae-Hee Youn, "Low Power MPEG/Audio Encoders Using Simplified Psychoacoustic Model and Fast Bit Allocation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 47, Issue. 3 , pp. 613 -621, Aug. 2001
[9] http://www.sdmi.org/
[10] ITU-R Rec. BS. 116, "Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichnnel Sound Systems," *International Telecommunication Union*, Geneva, Switzerland, 1994.

〈者 著 紹 介〉

김 연 정 (Yeon-Jung Kim)
2001년 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
2001년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
관심분야 : 오디오 워터마킹, 오디오 신호처리

오 현 오 (Hyen-O Oh)
1996년 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
1998년 : 연세대학교 전자공학과 (석사)
1998년~현재 : 세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
관심분야 : 디지털 신호처리, 오디오 워터마킹, 오디오 부호화

윤 대 희 (Dae-Hee Yoon)
1977년 : 연세대학교 전자공학과(학사)
1979년 : Kansas State Univ.(석사)
1982년 : Kansas State Univ.(박사)
현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
관심분야 : 적응 신호처리, 음성 신호처리, 오디오 신호처리

석 종 원 (Jong-Won Seok)
1993년 : 경북대학교 전자공학과(학사)
1995년 : 경북대학교 전자공학과(석사)
1999년 : 경북대학교 전자공학과(박사)
1999년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 컨텐츠 보호

홍 진 우 (Jin-Woo Hong)
1982년 : 광운대학교 응용전자공학과(학사)
1984년 : 광운대학교 전자공학과 (석사)
1993년 : 광운대학교 전자계산기공학과(박사)
1998년~1999년 : 독일 프라운호퍼연구소 (교환연구원)
1984년~현재 : 한국전자통신연구원 음향기술연구팀장
관심분야 : 오디오 신호처리 및 부호화, 디지털 컨텐츠 보호, 디지털 오디오 방송