

특집논문-01-6-1-02

## 켈스트럼 영역에서의 오디오 워터마킹 방법

이 상 광\*, 호 요 성\*

### Digital Audio Watermarking in The Cepstrum Domain

Sang-Kwang Lee\* and Yo-Sung Ho\*

#### 요 약

본 논문에서는 켈스트럼 영역에서의 오디오 워터마킹 방법을 제안한다. 광대역 채널에 협대역 신호를 숨기는 대역확산(spread spectrum) 통신과 유사한 방법을 이용하여 워터마크 신호를 오디오 신호의 켈스트럼 성분에 삽입한다. 의사잡음 시퀀스(pseudo-random sequence)를 이용하여 오디오 신호에 삽입할 워터마크 신호를 발생시킨다. 켈스트럼 계수들의 분포와 인간 청각 시스템(Human Auditory System, HAS)의 주파수 마스킹 특성을 고려하여 결정된 가중치를 곱해서 얻은 워터마크 신호는 사람의 귀로 감지할 수 없을 정도의 크기를 갖는다. 본 논문의 실험 결과에서 보인 것처럼, 오디오 신호의 사용 권한이 없는 사용자들은 삽입된 워터마크 신호를 검출하기가 통계적으로 거의 불가능하며, 다중 워터마크, MPEG 오디오 부호화, 부가잡음과 같은 다양한 공격에도 소유자에 의해서는 워터마크 신호의 검출이 가능하다.

#### Abstract

In this paper, we propose a new digital audio watermarking scheme in the cepstrum domain. We insert a digital watermark signal into the cepstral components of the audio signal using a technique analogous to spread spectrum communications, hiding a narrow band signal in a wide band channel. In our proposed method, we use pseudo-random sequences to watermark the audio signal. The watermark is then weighted in the cepstrum domain according to the distribution of cepstral coefficients and the frequency masking characteristics of the human auditory system. The proposed watermark embedding scheme minimizes audibility of the watermark signal, and the embedded watermark is robust to multiple watermarks, MPEG audio coding and additive noise.

#### I. 서 론

최근 디지털 오디오, 정지영상, 동영상과 같은 디지털 콘텐츠의 저작권 보호의 필요성이 대두되면서 디지털 워터마킹에 대한 관심이 고조되고 있다. 디지털 콘텐츠는 아날로그 신호에 비해 다양한 이점들을 제공해 주지만, 원본

과 동일한 대량의 복사본이 불법적으로 배포될 수 있어서 저작권 보호에 심각한 위협이 되고 있다. 워터마킹은 소유자 확인(owner identification), 특허권 사용료 지불(royalty payment), 원본 조작 여부 인증(authentication)에 사용될 수 있다.

워터마킹이란 오디오, 정지영상, 비디오 신호 등의 멀티미디어 데이터에 들리지 않거나 보이지 않도록 데이터의 소유권 정보를 삽입하는 과정으로, 일단 워터마킹된 데이터는 사용 권한이 없는 사용자에게 통계적으로 소유권 정보의 검출이 불가능해야 하며, 필터링이나 압축 등과 같은 공격에도 소유자에 의해서는 소유권 정보의 검출이 가능해야 한다.

\* 광주과학기술원 정보통신공학과  
Department of Information and Communications, Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)

\* 본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광네트워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC)와 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

영상과 비디오 신호와 비교해 볼 때, 오디오 신호는 단위 시간당 매우 적은 수의 샘플들로 표현된다. 이것은 오디오 신호에 강인하고 들리지 않게 삽입할 수 있는 정보량이 영상 신호에 비해 매우 적다는 사실을 의미한다. 오디오 워터마킹의 또다른 문제점은 인간 청각 시스템(Human Auditory System, HAS)이 인간 시각 시스템(Human Visual System, HVS) 보다 매우 민감하고, 들리지 않는 부분이 보이지 않는 부분보다 매우 얻기 힘들다는 것이다<sup>[1]</sup>.

Boney *et al.*<sup>[2]</sup>은 오디오 워터마킹에 대한 대역확산(spread spectrum) 방법을 제안하였다. 이 방법은 여러 단계에 걸쳐 필터링된 의사잡음 시퀀스(pseudo-random sequence)를 이용하여 HAS의 장기간 및 단기간 마스크 효과를 얻게 된다. Bassia와 Pitas<sup>[3]</sup>는 시간 영역에서 오디오 신호에 대역확산 방법을 이용하여 워터마크를 직접 삽입하였다. 하지만, 이 방법들은 인간의 청각 신경에 대한 수평 주파수 해상도에 대해서는 고려하지 않았다.

본 논문에서는 대역확산 방법을 이용하여 워터마크 신호를 오디오 신호의 캡스트럼 성분에 삽입하였다. 캡스트럼 성분의 분포와 HAS의 주파수 마스크 특성을 이용해 계산된 캡스트럼 마스크를 기반으로 하여, 워터마크 신호가 삽입된 오디오 신호와 원래의 오디오 신호가 지각적으로 서로 구별되지 않도록 하였다.

본 논문의 2절에서는 워터마킹의 기본 원리를 소개한다. 3절에서는 워터마크 신호를 삽입하는 방법을, 4절에서는 삽입된 워터마크 신호를 검출하는 방법에 대해 설명한다. 5절에서는 실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법을 분석하였으며, 6절에서 결론을 내렸다.

## II. 워터마킹의 기본 원리

워터마킹은 워터마크 신호를 헤더(header)가 아닌 호스트(host) 데이터에 삽입하는 것으로, 워터마크 신호는 워터마크가 삽입된 신호 내에서 지각적으로 구별하기 어렵고 보안(security)이 유지되어야 한다. 또한, 올바른 키(key) 값을 사용하여 부분적으로 또는 전체적으로 워터마크 신호를 복원할 수 있어야 한다.

지각적으로 구별하기 어렵게 워터마크 신호를 삽입하기 위해 몇 가지 지각적인 특성이 암시적이거나 명시적으로, 또는 고정적이거나 적응적으로 호스트 데이터에 이용될 수 있다. 또한, 워터마크가 지각적으로 구별되지 않도록 하기 위해 워터마크 신호가 삽입되는 샘플이나 변환 계수는 평균 크기에 비해 상대적으로 적은 양으로 변형되어야 한다.

적은 양을 변화시키고도 강인성을 보장받기 위해, 일반적으로 워터마크 신호는 호스트 데이터에 중복적으로 삽입된다. 따라서, 워터마크를 복원하는데 많은 데이터를 이용할 수 있으므로 좀 더 강인한 워터마크 복원이 이루어진다. 또한, 워터마킹 시스템은 워터마크의 조작과 삭제를 막기 위해 하나 혹은 그 이상의 키 값을 사용한다.

워터마킹 시스템을 설계하는데 다음 세 가지 주요 사항을 고려해야 한다. 첫 번째 사항은 호스트 신호에 더해지는 워터마크 신호  $W$ 의 설계이다. 전형적으로, 워터마크 신호는 키 값인  $k$ 와 워터마크 정보  $I$ 와 관련이 깊으며, 다음과 같이 표현된다.

$$W = f_0(I, K) \quad (1)$$

두 번째 고려사항은 워터마크 신호  $W$ 를 호스트 데이터  $X$ 에 삽입하는 알고리즘의 설계이다. 워터마크가 삽입된 신호  $Y$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$Y = f_1(X, M) \quad (2)$$

세 번째 사항은 키 값과 원본 데이터를 이용하여 워터마크가 삽입된 신호에서 워터마크 정보를 복원하는 검출 알고리즘의 설계이다. 복원된 워터마크 정보는 다음과 같이 표현된다.

$$I_0 = g(X, Y, k) \quad (3)$$

이때 원본 데이터가 필요없는 경우에는 다음과 같이 표현된다.

$$I_0 = g(Y, k) \quad (4)$$

워터마크 신호 설계와 워터마크 신호 삽입 알고리즘 설계에 관한 처음 두 가지 고려사항은 삽입되는 워터마크가 호스트 신호에 따라 적응적으로 만들어질 때, 하나의 통합된 형태로 취급된다.

그림 1은 일반적인 워터마크 삽입 과정을 보여준다. 입력 신호는 워터마크, 호스트 데이터, 공개키 또는 비밀키 값이다. 응용에 따라 호스트 데이터는 비압축 또는 압축된 형태이며, 대부분의 방법에서는 비압축 데이터 상에서 동작한다. 워터마크는 문자나 정지영상 같이 어떠한 형태도 가능하다. 비밀키 또는 공개키 값은 보안을 강화하는데 사용된다. 즉, 인증되지 않은 사용자가 워터마크를 검출하지 못하도록 키 값은 워터마크를 보호하는데 사용된다. 비밀키 또는 공개키

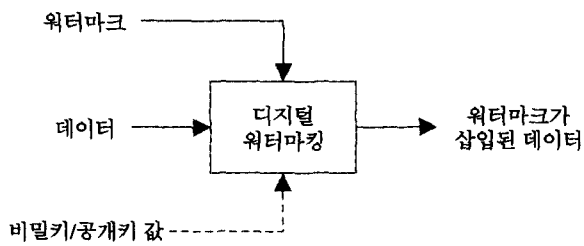


그림 1. 워터마크 삽입 과정

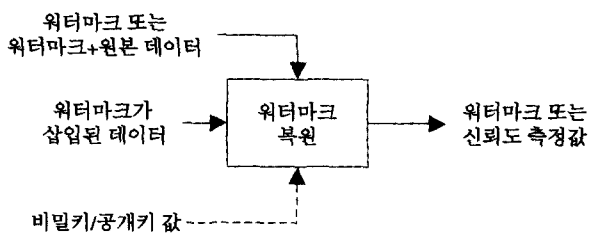


그림 2. 워터마크 복원 과정

값과 조합되어 워터마킹 방법은 각각 비밀 워터마킹 또는 공개 워터마킹 방법으로 분류된다. 워터마크 삽입 알고리즘의 결과는 변형된, 즉, 워터마크가 삽입된 데이터가 된다.

그림 2는 일반적인 워터마크 복원 과정을 보여주고 있다. 입력 신호는 워터마크가 삽입된 데이터, 비밀키 또는 공개키 값, 워터마크 또는 워터마크와 원본 데이터이다. 워터마크 복원 알고리즘의 출력 신호는 복원된 워터마크 또는 원본 워터마크와 입력 데이터에 포함되어 있는 워터마크와의 유사성을 나타내는 신뢰도 측정값이 된다.

대부분의 워터마킹 방법들은 대역확산 통신과 유사한 방법을 이용하고 있다. 이 방법은 호스트 데이터에 비해 상대적으로 작은 크기의 의사잡음 시퀀스를 더해 워터마크 신호를 삽입한다. 의사잡음 시퀀스는 상관관계 수신기 (correlation receiver) 또는 정합 필터 (matched filter)를 이용하여 검출될 수 있다. 의사잡음 시퀀스를 적절히 선택하여 적용하면, 오경보 확률 (false alarm)을 낮출 수 있다.

### Ⅲ. 워터마크 삽입 알고리즘

#### 1. 대역확산 워터마킹

주파수 영역 워터마킹은 처음 Boland *et al.*<sup>[4]</sup>과 Cox *et al.*<sup>[5]</sup>에 의해 소개되었으며, 그들은 변조에 기반한 지각적

으로 적응적인 방법을 독자적으로 개발하였다. Cox *et al.*은 대역확산 통신 방법을 이용하여 워터마크를 시각적으로 중요한 주파수 성분에 확산시켰다.

워터마크는, 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포  $N(0,1)$ 과 같이, 주어진 확률 분포로 만들어진  $N$  샘플의 시퀀스  $w(n)$ 으로 구성된다. 워터마크는 신호  $x(n)$ 에 삽입되어 워터마크가 삽입된 신호  $y(n)$ 을 만든다. Cox *et al.*은 세계의 워터마크 삽입 방법을 제안하였다.

$$y(n) = x(n) + aw(n) \quad (5)$$

$$y(n) = x(n)e^{aw(n)} \quad (6)$$

$$y(n) = x(n)(1 + aw(n)) \quad (7)$$

여기서  $a$ 는 워터마크의 크기를 결정하며,  $x(n)$ 은 지각적으로 중요한 스펙트럼 성분이다. 식 (5)는  $x(n)$  값이 심하게 변하지 않을 경우에 적당하다. 식 (6)은 식 (5)의  $x(n)$ 과  $y(n)$ 에 대수(logarithm)를 취한 형태이다. 또한, 식 (6)은  $aw(n)$ 의 값이 작을 경우에 식 (7)과 같이 근사화될 수 있다. 대부분의 경우에 사용되는 식 (7)에서 비례상수  $a$  값을 스펙트럼 성분에 따라 적응적으로 변화시켜 지각적인 잡음을 제거할 수 있다.

#### 2. 복소 켈스트럼 (complex cepstrum)

이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)이  $X(w)$ 인 시퀀스  $x(n)$ 을 고려해 보자. 시퀀스  $x(n)$ 의 복소 켈스트럼  $c_x(n)$ 은 다음과 같이 정의되는  $C_x(w)$ 의 역푸리에 변환(Inverse Discrete Fourier Transform, IDFT)이다<sup>[6][7]</sup>.

$$C_x(w) = \ln[X(w)] = \sum_n c_x(n)e^{jwn} \quad (8)$$

즉,  $c_x(n)$ 은  $\ln[X(w)]$ 의 IDFT로 구해진 시퀀스이다. 그림 3은 복소 켈스트럼을 구하는 과정을 보여주고 있다.

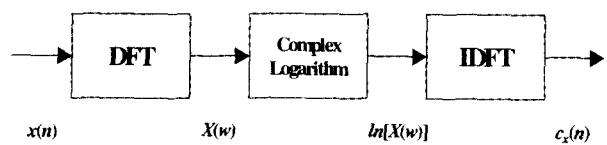


그림 3. 복소 켈스트럼을 구하는 과정

켈스트럼 계수의 주요 장점은 계수들의 상관관계가 매우 작다는 것이다. 더욱이, 높은 차수의 켈스트럼 성분은 아주 작고, 낮은 차수에서 높은 차수의 켈스트럼 계수로 가면

서 넓은 범위의 분산값을 갖는다<sup>[8]</sup>. 그림 4는 복소 캡스트럼의 전형적인 분포를 보여주고 있다. 여기서,  $x$ 축에 나타난 시간은 위에서 설명한 차수와 같은 의미이다. 분산값은 이웃하는 계수값의 변화량으로 생각할 수 있으며, 낮은 차수에서의 큰 분산값은 높은 차수로 가면서 급격히 작아짐을 알 수 있다. 이는 식 8에 포함된 복소 대수 (complex logarithm)의 영향으로 볼 수 있다.

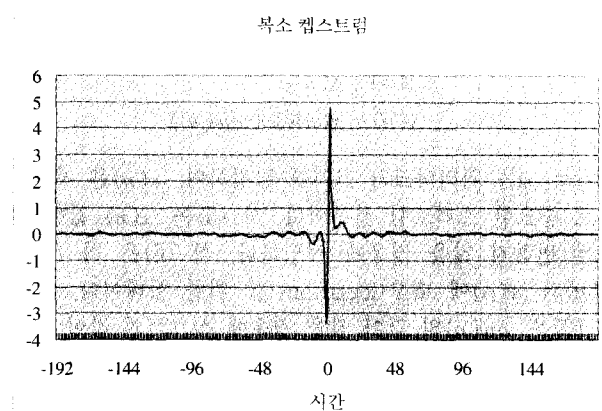


그림 4. 복소 캡스트럼의 분포

### 3. 주파수 마스킹 (frequency masking)

심리음향 모델 (psychoacoustic model)은 오디오 신호를 분석하고 주파수 함수로서 이용가능한 잡음 마스킹의 양을 계산하는데 이용된다. 주어진 신호 성분의 마스킹은 주파수 분포와 크기에 의존한다. 인코더에서는 입력 오디오 신호를 제한된 비트수로 표현하기 위해 이 정보를 이용한다.

심리음향 모델에 속해 있는 기본적인 단계의 일반적인 개요는 아래와 같다<sup>[9]</sup>.

- ▶ 단계 1: 오디오 데이터를 시간축으로 전개한다. 음향심리는 프레임 단위로 계산된다. 음향심리 모델로 전달된 오디오 데이터는 부호화될 오디오 데이터를 동반해야 한다. 심리음향 모델은 필터 बैं크와 데이터 오프셋에 의한 오디오 데이터의 지연 문제를 해결하여, 계산되는 데이터가 음향심리 분석 윈도우 내의 중간에 있도록 해야 한다.
- ▶ 단계 2: 오디오 데이터를 주파수 영역으로 변환한다. 마스킹 임계값의 정확한 계산을 위해 정교한 주파수 해상도가 요구되기 때문에 다상 필터 बैं크 (polyphase filter bank) 대신에 독립된 시간-대-주파수 사상 (mapping)을 이용해야만 하므로 푸리에 변환을 이용한다. 푸리에 변환을 하기 전에 오디오 데이터에 적용되는 표준

해닝 가중치 (Hanning weighting)는 변환 윈도우의 윤곽선 효과를 감소시키는데 필요하다.

- ▶ 단계 3: 임계 대역 (critical band)에 관련된 그룹으로 만들어 스펙트럼 값을 처리한다. 심리음향 계산을 간략화하기 위해 지각적인 양으로 주파수 값을 처리한다.
- ▶ 단계 4: 스펙트럼 값을 음조 (tonal) 성분과 비음조 (non-tonal) 성분으로 분리한다. 음조 성분과 잡음과 비슷한 성분을 판정하고 분리하는데, 이는 각각의 마스킹 영향력이 다르기 때문이다.
- ▶ 단계 5: 확산 함수를 적용시킨다. 주어진 신호의 마스킹 효과는 임계 대역 둘레에 확산된다. 확산 함수를 신호 성분에 적용시켜 잡음 마스킹 임계값을 결정한다.
- ▶ 단계 6: 임계값의 하향 경계값을 설정한다. 실험적으로 결정된 절대 마스킹 임계값과 들리지 않는 영역의 임계값을 포함한다. 이 임계값은 소리를 들을 수 있는 하향 경계값이다.
- ▶ 단계 7: 각 부대역 (subband)에 대해 마스킹 임계값을 구한다. 다상 필터 बैं크에 의한 것보다 더 높은 주파수 해상도의 마스킹 임계값을 계산한다. 부대역 내의 주파수들에 대해 계산된 다수의 마스킹 임계값들로부터 부대역 임계값을 구한다.
- ▶ 단계 8: 신호-대-마스킹 비 (Signal-to-Mask Ratio, SMR)를 계산한다. 심리음향 모델은 부대역 내의 신호 에너지와 부대역에 대한 최소 마스킹 임계값의 비로 SMR을 계산한다. 이 값은 인코더의 비트할당 구간으로 전달된다.

### 4. 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 알고리즘에서 워터마크는 캡스트럼 성분에 부분적으로 확산되어 어떤 성분에서도 작은 양의 에너지를 가지며 검출하기 어렵다. 오디오 캡스트럼 성분에 확산된 워터마크는 비의도적 또는 의도적 공격에 대해 높은 보안성을 제공한다. 또한, 워터마크가 삽입된 신호는 어떠한 지각적 왜곡도 발생하지 않는다.

$N$  샘플의 오디오 신호  $x(n)$ 과 의사잡음 시퀀스  $w(n)$ 을 고려해 보자. 워터마크가 삽입된 샘플  $y(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$y(n) = f(x(n), w(n)) \quad (9)$$

여기서  $f(\cdot)$ 는 워터마크를 삽입하는 함수이다. 복소 캡스트럼에 워터마크를 삽입하기 위해 식 (9)를 구체화하면 다음과 같이 표현된다.

$$c_y(n) = c_x(n) + aw(n) \quad (10)$$

여기서  $c_y(n)$ 은  $y(n)$ 의 복소 캡스트럼이다.  $a$ 는  $w(n)$ 을 조절하여  $x(n)$ 의 지각적 음질을 변화시키는 비례 계

수 (scaling parameter)이다.  $a$ 가 큰 값을 가질 경우, 지각적 왜곡없이  $x(n)$ 을 상당량 변화시킬 수 있다.

5. 다중 비례 계수 (multiple scaling parameters)

스펙트럼 성분들을 변형시키면서 발생하는 효과가 서로 다르기 때문에, 단일 비례 계수  $a$ 를  $x(n)$ 의 모든 값에 적용하기에는 부적합하다. 따라서, 본 논문에서는 다중 비례 계수를 이용한다.

다중 비례 계수를 정의하기 위해, 3.2절에 기술된 켈스트럼의 분포와 3.3절에 기술된 주파수 마스킹 특성을 이용한다. 이웃하는 켈스트럼 계수와와의 차이가 작을 때, 워터마크가 삽입된 신호는 원신호와 비교하여 눈에 띄게 차이가 난다. 다중 비례 계수를 구하는 첫 번째 단계로, 낮은 차수에서 높은 차수의 켈스트럼 계수로 가면서 넓은 범위의 분산값을 갖는다는 특성을 이용하여, 다음과 같이 첫 번째 계수를 계산한다.

$$a_1(n) = \begin{cases} c, & c_x(n) - c_x(n-1) > r \\ 0, & c_x(n) - c_x(n-1) \leq r \end{cases} \quad (11)$$

여기서  $c$ 는 상수이고,  $r$ 은 임계값이다.

다음 단계로, HAS의 주파수 마스킹 특성을 이용하기 위해, 켈스트럼 영역에서 신호-대-마스킹 비(Cepstral Signal-to-Mask Ratio, CSMR)를 계산하였다. 두 번째 계수는 다음과 같이 계산한다.

$$a_2(n) = 1 + CSMR \quad (12)$$

그림 5는 CSMR을 보여주고 있다.

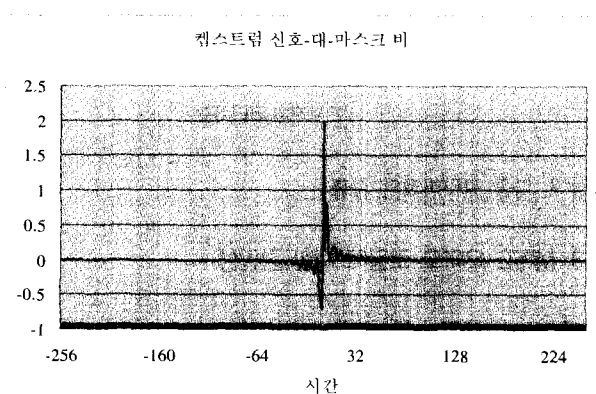


그림 5. 켈스트럼 신호-대-마스킹 비(CSMR)

최종적인 다중 비례 계수는 다음과 계산된다.

$$a(n) = a_1(n)a_2(n) \quad (13)$$

결국, 켈스트럼 영역에서 워터마크가 삽입된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$c_y(n) = c_x(n) + a(n)w(n) \quad (14)$$

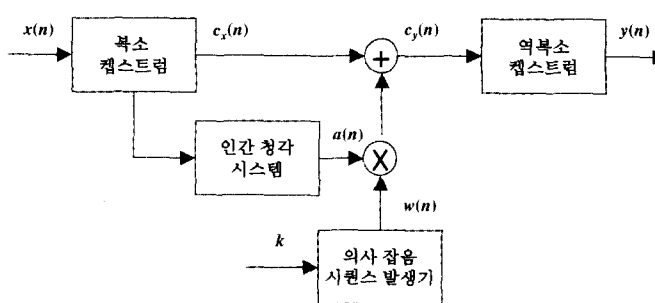


그림 6. 워터마크 삽입 알고리즘

그림 6은 워터마크 삽입 과정을 보여주고 있다. 여기서 +는 삽입 알고리즘을, ×는 HAS 정보를 이용한 워터마크의 가중치를 곱하는 과정을 나타낸다<sup>[10][11]</sup>.

IV. 워터마크 검출 알고리즘

워터마크의 존재 여부를 조사하기 위해, 복원된 워터마크  $w'(n)$ 과 원본 워터마크  $w(n)$ 과의 상호 상관관계 (cross correlation)를 측정한다. 상호 상관관계는 다음과 같이 정의된다.

$$r(m) = \sum_{n=1}^N w'(n)w(n+m) \quad (15)$$

$$= \sum_{n=1}^N a(n)w(n)w(n+m), 0 \leq m \leq N-1$$

여기서

$$w'(n) = c_y(n) - c_x(n) = a(n)w(n) \quad (16)$$

이상적인 의사잡음 시퀀스는 백색 잡음과 유사한 상관관계 특성을 갖는 자기 상관관계 (autocorrelation) 함

수를 갖는다<sup>[12]</sup>. 워터마크 검출 반응은 다음과 같이 정의한다.

$$d = \max |r(m)|, 0 \leq m \leq N-1 \quad (17)$$

## V. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 및 검출 알고리즘을 이용한 실험에는 몇 개의 16 비트 스테레오 44.1 kHz 오디오 신호를 이용하였으며, 1000 개의 무작위로 발생된 워터마크 신호에 대한 워터마크 신호 검출 응답(watermark detector response)을 측정하였다.

### 1. 워터마크의 유일성

그림 7은 무작위로 발생된 1000 개의 워터마크에 대한 워터마크 검출의 응답이며, 워터마크가 삽입된 신호 내에 키 값에 해당되는 워터마크만이 정합됨을 보여준다. 올바른 워터마크에 대한 워터마크 검출 응답은 그렇지 않은 워터마크에 비해 매우 큰 값을 나타내며, 이는 알고리즘이 아주 낮은 오경보율을 갖는다는 사실을 보여주고 있다.

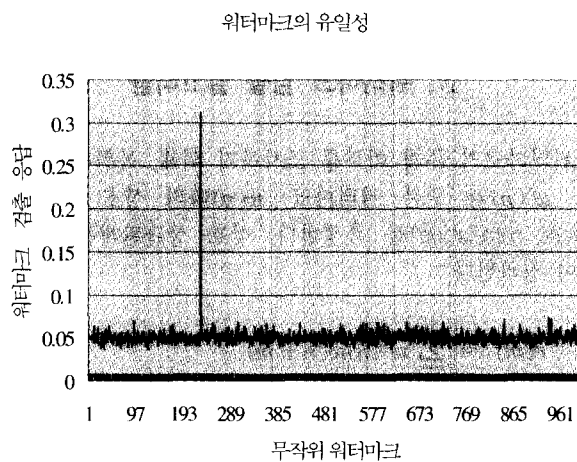


그림 7. 워터마크의 유일성

### 2. 다중 워터마크에 대한 강인성

본 논문에서는 네 개의 연속적인 워터마크 삽입 후 워

터마크 검출 응답을 실험하였다. 즉, 원신호가 워터마크되고, 그 워터마크가 삽입된 신호가 다시 워터마크가 되는 과정으로 다중 워터마크를 삽입하였다. 이러한 워터마킹은 공격의 한 형태로 볼 수 있으며, 그 과정이 반복되면 심각한 신호 왜곡이 생긴다.

한편, 다중 워터마크는 많은 응용 분야에 유용하게 쓰일 수 있다. 예를 들면, 음악 작품의 저자가 여러 명인 경우, 다중 워터마크를 이용하여 각자의 저작권을 인증할 수 있다. 한 저자의 워터마크를 검출할 때, 다른 저자의 워터마크는 잡음으로 처리된다.

그림 8은 오디오 신호에 네 개의 워터마크를 삽입했을 경우, 무작위로 발생된 1000 개의 워터마크에 대한 검출 응답을 보여주고 있다. 네 개의 기둥은 네 개의 워터마크가 삽입되어 있다는 것을 나타낸다. 또한, 연속적인 워터마킹이 워터마크 검출 과정에서 서로 간섭을 일으키지 않는다는 것을 설명해 준다. 전체 워터마크에 대한 에너지가 각 워터마크에 나누어 삽입되어 그 응답이 감소했지만, 각각의 워터마크를 구별하는데 문제가 되지는 않았다.

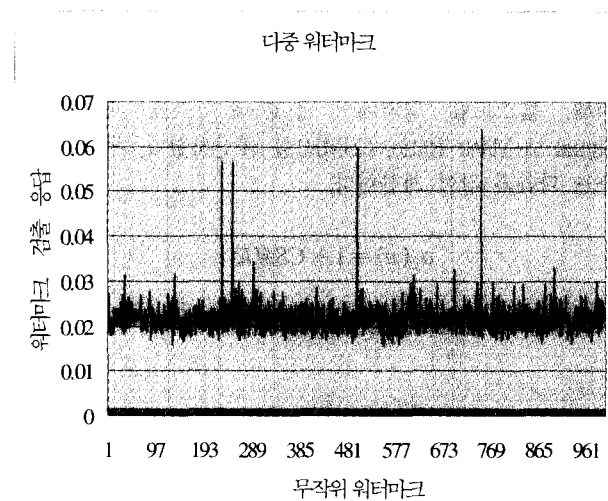


그림 8. 다중 워터마크의 검출

### 3. MPEG 오디오 코딩에 대한 강인성

몇 가지 다른 비트율에서의 MPEG-1 오디오 계층 III (MP3) 코딩에 대한 강인성을 실험하였다. 그림 9에 보인 것과 같이, 워터마크는 인코딩/디코딩 과정을 통과하고도 잘 검출되었다. 디코딩된 후의 워터마크 검출 응답은 5.1

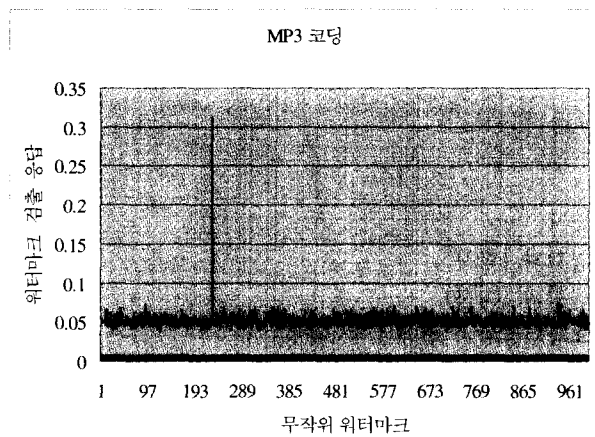


그림 9. MP3 오디오 코딩에서의 검출

절의 경우와 거의 비슷한 값을 나타내었다.

#### 4. 부가잡음(additive noise)에 대한 강인성

부가잡음에 대한 강인성을 실험하였다. 그림 10은 워터마크 신호가 삽입된 신호에 부가잡음을 더해준 후의 워터마크 검출 응답을 나타낸 것이며, 워터마크 검출 응답이 약간 감소했지만 워터마크 신호를 검출하는데 문제가 되지는 않았다.

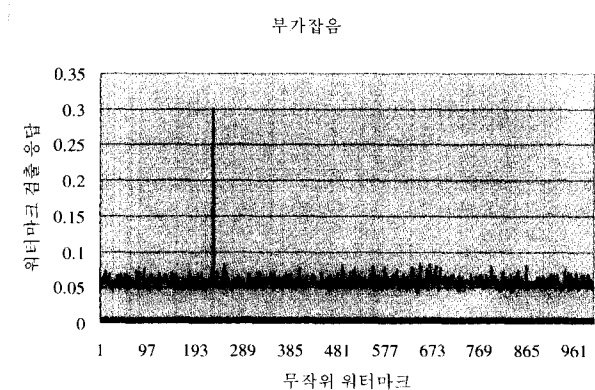


그림 10. 부가잡음에 대한 검출

## VI. 결론

본 논문에서는 캡스트럼 영역에서의 오디오 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크 신호는 대역확산 방법을 이용하

여 캡스트럼 성분에 삽입되었다. 제안된 워터마킹 방법은 캡스트럼 계수의 분포와 캡스트럼 신호-대-마스킹 비를 이용하였다. 또한, 워터마크는 오디오 신호에 지각적으로 들리지 않도록 삽입되었으며, 의사잡음 시퀀스의 상관관계 특성에 따라 키 값을 알고 있는 사용자에게 대해서는 쉽게 검출되었다. 실험 결과는, 워터마크 신호는 권한이 없는 사용자에게 통계적으로 검출이 불가능하며, 다양한 공격에도 소유자에 의해서는 검출이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

## 참고 문헌

- [1] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia watermarking techniques," *Proc. of IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, Jul. 1999.
- [2] L. Boney, A. Twefik and K. Hamdy, "Digital watermarks for audio signals," *Europ. Signal Processing Conf.*, Sep. 1996.
- [3] P. Bassia and I. Pitas, "Robust audio watermarking in the time domain," *Europ. Signal Processing Conf.*, Sep. 1998.
- [4] F. Boland, J. Ruanaidh and W. Dowling, "Watermarking digital image for copyright protection," *Int. Conf. Image Processing and Its Applications*, vol. 410, Jul. 1995.
- [5] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," *IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp. 243-246, Sep. 1996.
- [6] L. Rabiner and R. Schafer, *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1978.
- [7] J. Proakis and D. Manolakis, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996.
- [8] S. Young, D. Kershaw, J. Odell, D. Ollason, V. Valtchev and P. Woodland, *The HTK Book*, Entropy Ltd, 1999.
- [9] D. Pan, "A tutorial on MPEG/audio compression," *IEEE Multimedia Journal*, pp. 60-74, Summer 1995.
- [10] S. K. Lee and Y. S. Ho, "Digital audio watermarking in the cepstrum domain," *IEEE Int'l Conf. on Consumer Electronics*, pp. 334-335, Jun. 2000.
- [11] S. K. Lee and Y. S. Ho, "Digital audio watermarking in the cepstrum domain," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 46, no. 3, pp. 744-750, Aug. 2000.
- [12] A. Leon-Garcia, *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1994.

---

 저 자 소 개
 

---

**이 상 광**

1996년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)  
 1998년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)  
 1998년 9월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 전공 (박사과정)  
 주관심분야 : 디지털 워터마킹, 오디오 부호화, 멀티미디어 통신

**호 요 성**

1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)  
 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (석사)  
 1983년 3월~1995년 9월 : 한국전자통신연구소 선임연구원  
 1989년 12월 : University of California, Santa Barbara Department of Electrical and Computer Engineering (박사)  
 1990년 1월~1993년 5월 : 미국 Philips 연구소 Senior Research Member  
 1995년 9월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수  
 주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호처리 및 압축, 초저속 영상통신, 디지털TV와 고선명 TV 방식, 멀티미디어 통신 방식