

음질 열화를 줄이고 공격에 강인한 오디오 워터마킹 알고리즘

Robust Audio Watermarking Algorithm with Less Deteriorated Sound

강 명 수*, 조 상 진**, 정 의 필*
(Myeongsu Kang*, Sangjin Cho**, Uipil Chong*)

*울산대학교 컴퓨터정보통신공학부, **울산대학교 전기전자정보시스템공학부
(접수일자: 2009년 7월 4일; 수정일자: 2009년 8월 21일; 채택일자: 2009년 9월 11일)

본 논문에서는 오디오 신호의 저작권 보호와 효과적인 음질 개선을 위한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 원 신호에 푸리에 변환을 하여 주파수 영역으로 변환하고 n 개의 서브밴드로 균등 분할한다. 각 밴드별 에너지를 계산하여 에너지가 큰 것부터 k 개를 선택하고 해당 밴드에서 p 개의 주요 피크 성분을 검출하여 길이 m 의 워터마크를 삽입한다. 워터마크된 오디오 신호를 청자에게 들려주었을 때 워터마크 삽입으로 인한 오디오 신호의 왜곡을 느끼지 못하였다. 또한, 제안한 방법은 Cox 방법만큼 MP3 압축, 잘라내기 (cropping), 주파수 변환 (FFT), 반향 (echo)과 같은 워터마크 공격에 강인하였고 신호 대 잡음비 측면에서는 10 dB 이상 우수함을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

핵심용어: 저작권 보호, 워터마킹, 푸리에 변환, 오디오

투고분야: 뉴미디어 분야 (13.4)

This paper proposes a robust audio watermarking algorithm for copyright protection and improvement of sound quality after embedding a watermark into an original sound. The proposed method computes the FFT (fast Fourier transform) of the original sound signal and divides the spectrum into n subbands. Then, it is necessary to calculate the energy of each subband and sort n subbands in descending order corresponding to its power. After calculating the energy, we choose k subbands in sorted order and find p peaks in each selected subbands, and then embed a length m watermark around the p peaks. When the listeners hear the watermarked sound, they do not recognize any distortions. Furthermore, the proposed method is robust as much as Cox's method to MP3 compression, cropping, FFT, echo attacks. In addition to this, the experimental results show that the proposed method is generally 10 dB higher than Cox's method in SNR (signal-to-noise ratio) aspect.

Keywords: Copyright Protection, Watermarking, Fourier Transform, Audio

ASK subject classification: New Media (13.4)

1. 서론

인터넷의 보급과 저장 매체 기술 그리고 멀티미디어 기술의 발달로 디지털 콘텐츠의 이동이 폭발적으로 늘어나고 있다. 디지털 콘텐츠의 특성상 복제와 복사가 쉽고, 쉽게 데이터를 변형할 수 있어 저작 및 소유권을 침해당하는 사례가 점차 늘어나고 있다. 2007년 문화체육관광부의 저작권 침해방지 연차보고서에 따르면, 2006년 한 해 동안 P2P, 웹하드, 포털 사이트의 불법 복제물 단속은 11,153,984점에 달한다. 특히, 음악 불법물 단속을 통해 총 9,956건의 아이디어가 적발, 842만여 점의 저작물이 삭

제되었다 [1]. 이와 같은 저작 및 소유권 침해에 관한 사례는 더욱 늘어날 전망이다 이를 해결하기 위한 방안이 절실하다. 과거에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 암호화 기법이 사용되었는데 이 경우, 소비자가 암호를 해독한 뒤에 얼마나 합법적으로 다루는지 저작권자가 확인할 수 없으며 일단 암호 해독이 되고나면 콘텐츠는 더 이상 어떤 저작권 보호도 받지 못하므로 암호화 기술을 대체하면서 저작권 문제를 해결할 수 있는 솔루션으로 워터마킹 기술이 소개되었다 [2]. 워터마크는 영상이나 오디오와 같은 디지털화된 모든 데이터에 적용할 수 있으며 본 논문에서는 디지털 오디오 데이터의 저작 및 소유권을 보호하기 위해 오디오에 워터마크 기술을 적용하였다. 초기의 오디오 워터마킹 기술은 데이터의 최하위 비트 (least significant bit, LSB)에 워터마크를 삽입한

책임저자: 정 의 필 (upchong@ulsan.ac.kr)
690-749 울산광역시 남구 대학로 102 무거동
울산대학교 컴퓨터정보통신공학부
(전화: 052-259-2220; 팩스: 052-259-1687)

LSB 부호화 방법과 의사난수와 통계적인 과정에 기반을 둔 Patchwork 기법 등이 있었다 [3]. 하지만 이 방법들은 여러 디지털 신호처리에 워터마크가 쉽게 손상되는 단점이 있었다. 이를 극복하기 위한 방안들이 많이 제안되었으며 반향 (echo) 신호를 이용하는 방법과 위상 (phase) 을 이용하는 방법 그리고 심리음향모델을 이용한 대역 확산 (spread spectrum)을 이용한 방법 등이 대표적인 예이다. 반향을 이용한 워터마킹 기법에서는 청각적으로 지각되지 않을 만큼 작은 반향을 오디오 신호에 첨가함으로써 워터마크 정보를 삽입한다 [3][4]. 이와 같은 방법으로 워터마크를 삽입할 경우 음질의 왜곡은 초래하지 않지만 외부 공격에 대한 강인성을 보장하기 어려운 단점이 있어 2001년에는 반향 신호에 대한 심리음향학적 분석을 통해 음질의 왜곡을 최소화하면서 워터마크 공격에 강인한 새로운 반향 커널 제안하여 좋은 결과를 보였다 [4]. 위상을 이용한 방법은 사람의 청각 시스템이 오디오 신호의 절대 위상을 잘 구별하지 못한다는 특성을 이용하여 푸리에 계수의 위상 정보를 변형하여 워터마크를 삽입하는 방법으로 음질 면에서 매우 효과적이다 [3][5]. 하지만 MP3 압축과 같은 워터마크 공격에 의해 위상 정보 쉽게 변형되기 때문에 공격에 대한 시스템의 강인성이 떨어지는 결과를 초래한다. 심리음향모델을 이용한 대역 확산을 이용한 방법이 현재 가장 활발히 연구 중에 있으며, 이는 워터마크를 의사잡음 (pseudo noise) 코드를 통해 대역 확산시킨 후 적절한 가중치를 주어 오디오 신호에 삽입하는 방법이다 [6-10]. 대역 확산을 이용한 기법은 1997년 I. J. Cox에 의해 제안되었으며 의사잡음 코드의 높은 자기 상관성을 이용하여 삽입한 워터마크를 검출할 수 있으며 간섭에 강한 특징을 갖는다 [11]. 하지만 의사잡음 코드를 워터마크로 사용하기 때문에 워터마크된 오디오 신호의 음질에 영향을 미친다. 이를 극복하기 위해 2002년에는 공격에 강인하면서 원 신호에 변형을 작게 하는 워터마크 삽입 방법에 대한 연구가 있었고 [12], 2005년에는 다른 공격에도 강인하지만 특히 MP3 공격에 강인한 워터마킹 시스템을 제안하여 좋은 결과를 보였다 [13]. 이밖에도 MDCT/IMDCT (Modified Discrete Cosine Transform/Inverse Modified Discrete Cosine Transform)를 사용한 고음질 오디오 워터마킹 알고리즘에 대한 연구도 있었다 [14].

워터마킹 기술은 원본 신호의 사용여부에 따라 원본 신호를 사용하는 넌-블라인드 검출 (non-blind detection) 과 원본 신호를 사용하지 않는 블라인드 검출 (blind detection) 방법으로 나눌 수 있다. 초기에는 넌-블라인드

검출 방법이 블라인드 검출 방법에 비해 성능이 더 우수한 것으로 알려졌었지만 1983년 Costa는 블라인드 검출 방법의 성능이 넌-블라인드 시스템의 성능만큼 우수함을 이론적으로 보였다 [15]. 최근에는 블라인드 검출 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데 이는 성능이 매우 뛰어난 블라인드 검출 시스템이 존재한다면 어떠한 응용 분야에도 사용 될 수 있다는 점이 워터마크 연구자로 하여금 더욱 흥미와 매력을 느끼게 하기 때문이다. 하지만 워터마크 검출기에서 원본에 대한 정보 없이 삽입된 왜곡에 대한 처리가 여전히 어려운 문제로 남아있다 [16][17]. 일반적으로 넌-블라인드 검출은 무단배포자 추적, 소유권 증명과 같은 응용 분야에, 블라인드 검출은 소유권 통보, 복제 방지와 같은 응용 분야에 활용 된다 [2]. 2004년에 V. D. Veen 등은 개인 정보를 워터마크로 삽입한 넌-블라인드 검출 기법 기반의 전자 음악 배달 (electronic music delivery, EMD) 시스템을 제안하여 인터넷에서 발생하는 무단 배포를 추적하는데 이 시스템을 활용하였다 [18].

본 논문에서는 오디오 신호의 주파수 대역별 에너지와 주요 피크 성분을 검출하여 워터마크를 삽입함으로써 공격에 강인하고 오디오 신호의 음질 개선할 수 있는 넌-블라인드 검출 기반의 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안한다. II장에서는 선행 연구에 대한 문제점을 제시하고, III장에서는 문제점을 해결하기 위한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 그리고 IV장에서는 제안한 알고리즘의 실험 결과 및 토의를 통하여 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 연구

워터마크에 대한 공격은 원 신호에 큰 변형을 주지 않고 워터마크를 제거하는데 그 목적이 있기 때문에 해당 신호의 중요 위치에 워터마크를 삽입하여야 한다. 예를 들어, 오디오 신호의 고주파 대역에 워터마크를 삽입할 경우 저 대역 통과 필터 공격에 의해 워터마크가 모두 제거 될 수 있다. 오디오 신호는 저주파 대역에 중요한 정보가 존재하므로 저주파 대역에 삽입한 워터마크를 제거할 경우 원 신호에 큰 변형이 발생하므로 워터마크 삽입을 위한 좋은 위치가 된다. 하지만, 저주파 대역에 워터마크를 삽입하게 되면 원 신호에 왜곡을 발생시키므로 왜곡을 최소화할 수 있는 위치를 찾는 것이 중요하다. Cox는 원 신호를 DCT (Discrete Cosine Transform)하여 주파수 영역으로 변환하고, DC 성분을 제외한 계수들 중

에서 큰 값 순으로 m 개의 계수를 추출하여 길이 m 의 워터마크를 해당 위치에 삽입한다 [11]. 이 때, 추출된 주파수 계수에 길이 m 의 워터마크를 삽입하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$v'_i = v_i(1 + \alpha x_i) \quad (1)$$

여기서, v_i 는 워터마크가 삽입될 주파수 계수의 크기, x_i 는 삽입할 워터마크, α 는 가중치, v'_i 는 워터마크가 삽입된 후의 주파수 계수이다. 이 때, 가중치 α 는 일반적으로 0.3-0.7까지의 값으로 사용되며, 이는 워터마크의 삽입으로 인한 원 신호의 왜곡을 사람이 인지하지 못하도록 심리음향 모델을 기반으로 하여 정해진 값이다 [13]. 이와 같이 워터마크가 삽입된 주파수 계수를 IDCT (Inverse Discrete Cosine Transform)하여 워터마크가 삽입된 오디오 신호로 복원한다.

워터마크가 삽입된 오디오 신호에서 워터마크를 검출하기 위한 과정은 삽입의 역 과정으로 수행되며 이 때 워터마크 추출을 위해 원 신호를 필요로 한다. 즉, 식 (2)를 이용하여 워터마크가 삽입된 주파수 계수와 원 신호의 주파수 계수를 이용하여 워터마크를 추출할 수 있다.

$$x_i = \frac{v'_i - v_i}{\alpha v_i} \quad (2)$$

Cox의 방법은 다양한 워터마크 공격에 대해 강인함을 보이긴 하지만 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio, SNR) 측면에서는 다소 좋지 않은 결과를 보이기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 2002년에 Cox의 방법을 유지하면서 워터마크가 삽입될 보다 적합한 위치를 찾고자 하는 시도가 있었는데 먼저, 3단계 웨이블릿 방법을 이용해 워터마크 공격에 강인한 대역을 찾고, 그 대역에 해당하는 주파수 계수의 크기 값을 조사한 바 0.3-0.4 사이의 크기를 가진다는 사실을 바탕으로 접근하였다 [19]. 즉, 원 신호에 DCT를 하여 주파수 영역으로 변환하고 크기가 0.3-0.4인 m 개의 주파수 계수를 추출하여 그 위치에 워터마크를 삽입하여 좋은 결과를 보였다 [12]. 하지만 이 방법의 경우 워터마크를 삽입할 원 신호를 DCT 하였을 때 0.3-0.4인 주파수 계수가 m 개가 되지 않아 프로그램이 실행되지 않는 경우가 종종 발생하였다.

III. 제안한 알고리즘

3.1. 워터마크 삽입과 검출

앞서 언급한 두 워터마킹 시스템의 경우 낮은 신호 대 잡음비와 프로그램 실행의 오류와 같은 문제점을 가지므로 본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 푸리에 변환 (Fourier transform)을 이용한 강인한 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 그림 1은 원 신호에 디지털 워터마크 삽입 블록도이다.

먼저, 원 신호를 푸리에 변환하여 주파수 영역으로 변환하고, 그림 2에서와 같이 해당 스펙트럼을 n 개의 서브밴드로 균등하게 분할한다.

다음으로, 분할된 n 개의 서브밴드에 대해 각 밴드별 에너지를 구하고, 에너지의 크기에 따라 내림차순으로 정렬한다. 해당 밴드의 에너지가 크다는 것은 원 신호의 중요 정보를 많이 포함하고 있다는 것을 의미하므로 해당

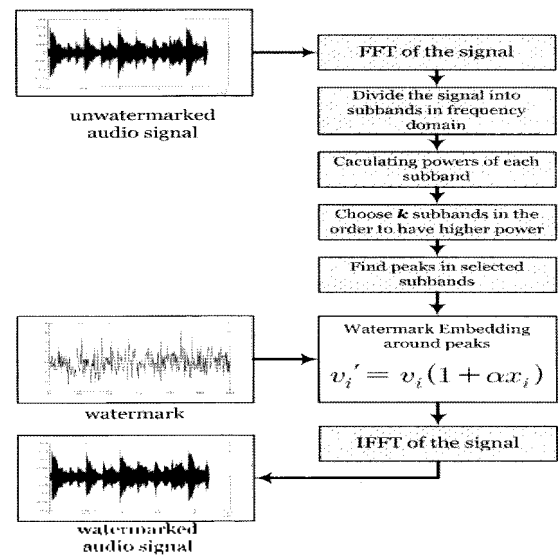


그림 1. 원 신호에 워터마크 삽입을 위한 블록도
Fig. 1. Block diagram of embedding a watermark into the original sound signal.

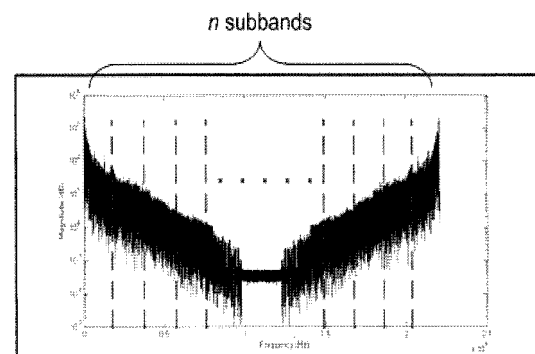


그림 2. 주파수 계수의 대역별 균등 분할
Fig. 2. Dividing the spectrum into n subbands uniformly

밴드의 중요 위치에 워터마크를 삽입할 경우 워터마크 공격에 강인할 수 있다. 또한, 저주파 대역에 국한하여 워터마크를 삽입하는 것이 아니기 때문에 신호 대 잡음비의 향상을 기대할 수 있다. 각 밴드의 에너지를 구하기 위해서는 식 (3)을 이용하였다 [20].

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |x[n]|^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |X(e^{j\omega})|^2 d\omega \quad (3)$$

여기서, $x[n]$ 은 입력 신호, $|X(e^{j\omega})|$ 는 입력 신호 $x[n]$ 에 대한 푸리에 변환 결과이며 E 는 에너지이다. 이와 같이 각 밴드의 에너지를 구한 후 내림차순으로 정렬된 밴드 가운데 k 개의 서브밴드를 선택하고 해당 밴드에서 p 개의 중요 피크를 검출하여 피크를 포함한 해당 피크 주위에 m 개의 워터마크를 삽입한다. 그림 3은 피크 검출 알고리즘에 의해 검출된 피크를 보여준다.

앞서 언급하였듯이, 제한한 방법에서는 m 개의 워터마크가 검출된 피크를 포함하여 해당 피크 주위에 삽입되는데 실제 워터마크가 삽입되는 위치는 검출된 피크와 그 위치를 기준으로 c 개의 소수만큼 떨어진 위치에 삽입된다. 예를 들어, 피크의 위치를 10, c 를 5라고 한 경우 워터마크는 10, 12, 13, 15, 17, 21의 위치에 삽입되며 그림 4는 워터마크가 삽입되는 위치를 보여준다. 이는 소수를 이용한 스프레딩 기법으로 볼 수 있다.

워터마크를 해당 위치에 삽입 할 때는 Cox의 방법과 마찬가지로 식 (1)을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 반면 워터마크 검출은 워터마크 삽입 과정의 역으로 실행되며 식 (2)를 이용하여 검출하며 그림 5는 제한한 워터마크 시스템에서 워터마크 추출과정을 보여준다.

3.2. 유사도 및 신호 대 잡음비 측정

오디오 신호에 삽입한 워터마크 X 와 워터마크가 삽입된 오디오 신호에서 추출한 워터마크 X^* 가 얼마나 유사한지를 결정하기 위해 식 (4)를 이용하여 두 워터마크 신호 사이의 유사도를 측정한다.

$$sim(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^2 \cdot X^{*2}}} \quad (4)$$

X 와 X^* 가 평균이 0이고 분산이 1인 표준 정규분포를 따를 경우, 두 신호의 유사도 값이 6보다 클 때 워터마크가 존재한다고 판단할 수 있다 [11]. 즉, 삽입한 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 유사도를 측정함으로써 워터

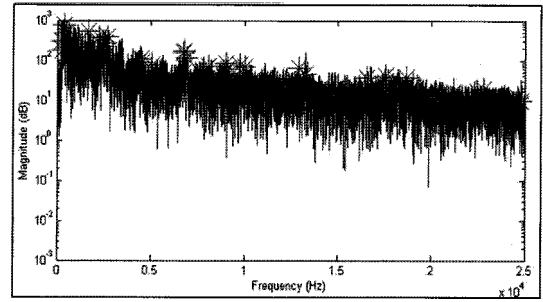


그림 3. 선택된 서브밴드 내에서 피크 검출 (*표시: 피크)
Fig. 3. Peak detection of the selected subbands (* mark: peak).

$c=5$ 일 경우, 해당 수 만큼의 소수를 생성 [2 3 5 7 11]

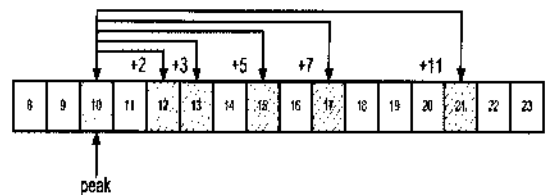


그림 4. 워터마크 삽입 위치
Fig. 4. Location where a watermark is inserted in Fourier coefficients.

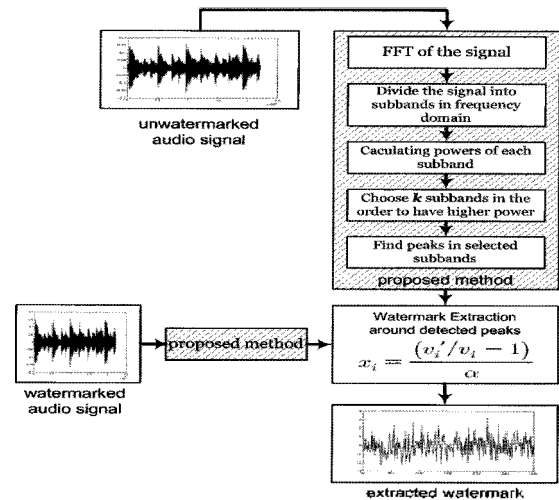


그림 5. 워터마크 검출을 위한 블록도
Fig. 5. Block diagram of detecting the watermark in the watermarked sound signal.

마킹 시스템이 얼마나 강인한지를 평가할 수 있으며 본 논문에서도 유사도를 이용하여 시스템의 강인성을 평가하였다. 또한, 원 신호와 워터마크된 신호 간 왜곡을 나타내는 신호 대 잡음비를 통해 워터마킹 시스템의 인지불가능성 (imperceptibility)을 평가하였으며, 식 (5)를 이용하여 신호 대 잡음비를 구할 수 있다.

$$SNR = 10 \log \left(\frac{Original\ Audio}{Noise} \right) \quad (5)$$

$Noise = Original\ Audio - Watermarked\ Audio$

IV. 실험 결과 및 토의

본 논문에서는 워터마크 공격에 강인하고 워터마크된 오디오 신호의 음질 개선할 수 있는 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 워터마킹 시스템의 성능을 평가하기 위해 각기 다른 장르의 음악을 대상으로 제안한 워터마킹 시스템을 적용하여 신호 대 잡음비를 측정하고 강인성을 확인하였다. 대상 음악은 비틀즈의 "Let it Be" (길이 5.94초), 베토벤의 "Symphony No. 5 in C minor, Op. 67" (길이 5.94초), 숙명여대 가야금 연주단이 연주한 "Hey Jude" (길이 5.94초) 그리고 토의 듣기 시험의 지시 사항을 알리는 "Human Voice" (길이 5.94초)이며, 샘플링 주파수는 44.1 kHz, 양자화 비트수는 16 bit, Mono로 설정한 후 사운드 포지 8.0에서 녹음한 디지털 오디오를 사용하였다.

제안한 워터마킹 시스템의 강인성을 평가하기 위해 MP3 압축, 잘라내기 (cropping), 주파수변환 (FFT), 반향 (echo) 과 같은 공격을 가한 후 워터마크의 존재 여부를 판단하였다. MP3 인코딩과 디코딩은 "Wave To MP3 Maker v1.2"와 "MP3 to Wave Maker v1.2"를 각각 이용하였으며, 잘라내기 공격은 사운드 포지를 이용하여 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 처음 2초간의 워터마크가 전혀

삽입되어 있지 않은 원 신호를 삽입하여 워터마크에 직접적인 손실을 주었다. 주파수 변환과 반향 공격은 "CoolEdit Pro 2.0"을 이용하였는데 주파수 변환 공격은 해당 소프트웨어에 미리 설정된 'Sub Woofer Boost' 필터를 통과시켜 워터마크가 삽입된 신호의 저주파 대역에 직접적인 변형을 가하였다. 마지막으로 반향 공격은 초기 불침을 70%, 감쇄 (decay)를 75%, 지연 (delay)을 100 ms로 설정하여 반향을 삽입함으로써 워터마크에 변형을 가하였다.

삽입할 워터마크의 길이 조절은 Cox 방법의 경우 사용자가 직접 원하는 길이를 입력함으로써 쉽게 조절할 수 있으며 제안한 방법의 경우는 프로그램을 실행시키기 위해 몇 가지 인자들에 대한 설정이 필요하다. 즉, 나누고자 하는 서브 밴드의 수 k , 해당 서브 밴드에서 찾고자 하는 피크의 수 p , 피크뿐만 아니라 피크 주변에 삽입할 워터마크의 수 c 에 대한 설정이 필요하며 최종적으로 워터마크의 길이는 $m - (c + 1) \times p \times k$ 와 같이 계산된다. 본 논문에서는 Cox의 방법과 동일한 조건에서 비교하기 위해 워터마크의 길이를 900으로 하였고 이를 위해 c 와 p 는 각각 5로, k 는 30으로 설정하였다. 이 값은 여러 번의 실험을 통해 워터마크 검출이 잘 되는 경우 중 하나에 해당하는 것이다.

표 1은 제안한 알고리즘과 Cox 알고리즘에 대해 공격

표 1. 알고리즘별 가중치에 따른 유사도 결과
Table 1. Similarity results corresponding to weighted factor for each algorithm.

대상 곡에 따른 유사도	공격종류	$\alpha = 0.3$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.7$	
		제안한 방식	Cox	제안한 방식	Cox	제안한 방식	Cox
팝 (Pop)	No Attack	26.146	30.161	26.145	30.161	26.201	30.161
	MP3	22.935	30.160	25.232	30.161	25.609	30.161
	Cropping	21.575	28.146	21.493	28.146	21.306	28.146
	FFT	26.146	20.905	26.146	25.909	26.205	27.614
	Echo	11.028	13.229	15.310	17.948	17.860	20.765
클래식 (Classic)	No Attack	26.66	30.161	26.671	30.161	26.714	30.161
	MP3	23.969	30.159	25.927	30.160	26.385	30.161
	Cropping	23.307	26.918	23.392	26.918	23.572	26.918
	FFT	10.297	9.4636	14.970	14.225	17.925	17.228
	Echo	10.675	10.511	15.328	15.863	18.169	19.242
악기연주음 (Instrument)	No Attack	26.676	30.161	26.671	30.161	26.771	30.161
	MP3	20.436	30.160	24.969	30.161	25.905	30.161
	Cropping	23.170	26.867	23.199	26.867	23.112	26.867
	FFT	8.9921	14.419	15.205	20.491	19.149	23.485
	Echo	8.3412	9.6158	12.676	14.991	15.844	18.553
음성 (Voice)	No Attack	26.568	30.161	26.671	30.161	26.592	30.161
	MP3	25.319	30.157	26.192	30.159	26.367	30.160
	Cropping	20.479	27.214	20.341	27.214	20.141	27.214
	FFT	16.094	12.734	20.750	16.835	22.871	19.338
	Echo	10.246	10.260	15.238	15.485	18.199	18.845

을 가한 후 가중치에 따른 유사도 결과를 정리한 것이다. 제안한 알고리즘은 모든 공격 후에도 워터마크 검출이 되었음을 알 수 있다.

일반적으로 워터마킹 시스템에서 삽입하고자 하는 워터마크의 길이와 가중치는 워터마킹 시스템의 강인함과 워터마크된 오디오 신호의 음질 사이에서 상충관계 (trade-off)를 조절한다. 만약 워터마크의 길이가 길고 가중치가 큰 값임에도 불구하고 높은 신호 대 잡음비를 유지할 수 있다면, 이상적인 워터마킹 시스템이 될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 두 워터마킹 시스템에 대해 워터마크 길이와 가중치의 변화에 따른 신호 대 잡음비의 추세를 살펴보았으며 그 결과는 그림 6에 잘 나타나 있다. 이 실험에서 사용된 대상 음악은 가야금 연주곡인 "Hey Jude"로 이 곡을 대상으로 한 이유는 다른 대상 음악에 비해 워터마크 길이와 가중치 변화에 따른 신호 대 잡음비의 변화 추이를 가장 크게 나타내었기 때문이다. 본 실험에서는 k 값을 조절함으로써 워터마크의 길이를 조절하였고 p 는 10으로, c 는 5로 각각 설정 하였다. 이 설정 값 또한 여러 번의 실험을 통해 얻어진 값이다.

그림 6은 워터마크의 길이가 길고 가중치 값이 크더라도 불구하고 제안한 방법이 Cox 방법에 비해 월등히 높은 신호 대 잡음비를 유지함을 보여준다.

제안한 방법은 공격에 강한 워터마크 삽입 방법으로 신호의 스펙트럼에서 에너지가 높은 대역의 주요 피크와 소수 간격으로 떨어진 샘플을 선택하였는데 이는 소수를 이용하여 워터마크를 스프레딩 하기 위함이다. 또한 에너지가 높은 곳에 워터마크를 집중적으로 삽입하다보면 음질 저하가 발생할 수 있기 때문이다. 그림 7은 Cox 방법과 제안한 방법 그리고 제안한 방법에서 워터마크 삽입 위치를 에너지가 높은 대역의 피크 주변에 순차적으로 삽입한 방법에 대해 길이가 300인 워터마크를 가중치 0.3으로 하여 삽입한 후 SNR을 비교한 결과이다. 소수를 이용한 워터마크 삽입 방법이 가장 좋게 나타남을 알 수 있다.

표 2는 워터마크 길이가 900인 경우 ($c = 9, p = 3, k = 30$) 제안한 방법인 소수를 사용한 방법과 피크 주변에 순차적으로 삽입한 방법의 유사도와 SNR을 비교한 것이다. 유사도는 두 방법 간 큰 차이는 없지만 SNR이 그림 7에서 확인했던 것과 같이 제안한 방법이 대략 2.8~4.8 dB 정도 우수함을 알 수 있다.

본 논문에서는 제안한 방법과 Cox 방법에 대해 워터마크 공격 후 유사도 측정, 그리고 워터마크와 가중치에 따른 신호 대 잡음비를 측정하였으며 결과적으로 시스템의 강인함은 Cox의 것과 유사하지만, 신호 대 잡음비는 제안

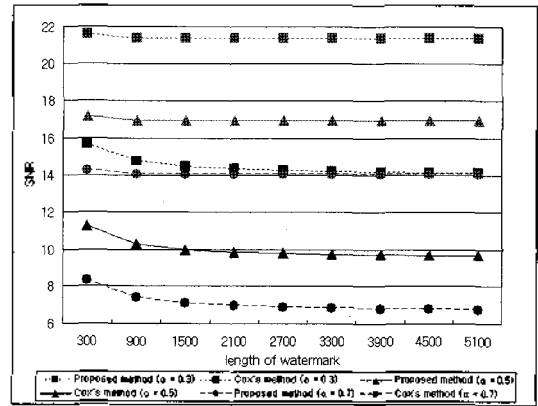


그림 6. 가중치와 삽입된 워터마크 길이에 따른 신호 대 잡음비 비교

Fig. 6. Comparison of SNR according to the length of the watermark and the scaling factor.

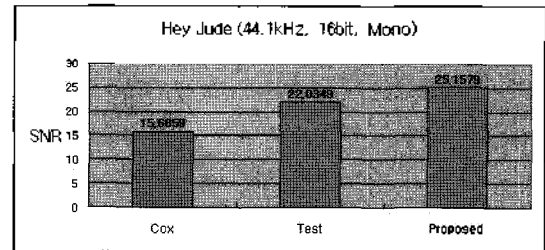


그림 7. 가야금 연주곡 "Hey Jude"에서의 워터마크 삽입 후의 신호 대 잡음비 측정

Fig. 7. Comparison of SNR with the Cox's method, test method and proposed method for the instrumental song, "Hey Jude".

한 방법이 10 dB 신호 우수함을 확인할 수 있었다.

추가적으로 그림 7에서 Cox 방법은 반향 공격에 대해, 제안한 방법은 주파수 변환 공격에 대해 워터마크 검출에 실패하였다. 제안한 방법의 경우 주파수 변환 공격에 실패한 이유는 'Sub-Woofer Boost' 필터 공격에 의해 저주파 영역의 스펙트럼 변화가 크게 발생하여 워터마크 삽입 시 정렬된 대역별 에너지 크기 순서가 공격 후에 다르게 정렬되었기 때문이다. 본 실험에서 가중치에 따른 워터마크 삽입 후의 오디오 파일과 원 오디오 파일은 다음 웹 페이지에서 확인해 볼 수 있다.

링크:

http://signal.ulsan.ac.kr/elektro/documents/audio_wm/

워터마크된 오디오 신호의 음질을 평가하기 위해 주관 청취 평가 방법인 MUSHRA (Multi-Stimulus test with Hidden Reference and Anchor) 청취 테스트를 이용하였다 [21]. 이는 원 오디오 신호에 대한 테스트 오디오 신호의 음질을 평가할 수 있는 방법으로 본 논문에서는 워터

표 2. 알고리즘별 유사도 및 SNR 결과
Table 2. Similarity and SNR results corresponding to each algorithm.

대상 곡	가중치 공격종류	비교 알고리즘 (워터마크의 순차적 삽입)		제한한 알고리즘 (워터마크의 소수 이용 삽입)	
		유사도	SNR	유사도	SNR
팝 (Pop)	No Attack	26.3547	19.1243	27.1794	22.6120
	MP3	24.9575	X	24.6089	X
	Cropping	17.5754		22.8079	
	FFT	26.3554		27.1707	
	Echo	11.2960		11.5630	
클래식 (Classic)	No Attack	26.7315	18.4858	27.6750	21.1299
	MP3	24.9166	X	23.6432	X
	Cropping	18.8802		23.4507	
	FFT	7.5573		7.4933	
	Echo	11.1121		11.4466	
악기연주음 (Instrument)	No Attack	26.6219	17.3451	27.6373	22.1356
	MP3	21.3889	X	19.5622	X
	Cropping	18.1076		25.0396	
	FFT	6.6698		6.5099	
	Echo	10.9578		7.9801	
음성 (Voice)	No Attack	26.5642	25.8903	27.6010	28.7197
	MP3	25.8402	X	26.5143	X
	Cropping	12.8516		23.5358	
	FFT	12.7720		12.9357	
	Echo	11.1471		11.1478	

마크된 오디오 신호를 테스트 신호로 사용하였다. 청취 실험에 참여한 피험자는 울산대학교 대학원에 진학 중이며 디지털 신호처리를 전공으로 하고 있는 학생 및 연구 교수, 총 9명을 대상으로 하여 테스트 하였다. 이 실험에 사용된 오디오 신호는 숨겨진 참조 신호, 차단 주파수가 3.5 kHz인 Butterworth 저주파 통과 필터를 통과한 앵커 신호, 그리고 Cox 방법에 의한 워터마크된 오디오 신호와 제안한 방법에 의한 워터마크된 오디오 신호이고, 실험에 사용된 MUSHRA 소프트웨어는 MUSHRAM (version 1.0)이다 [22]. MUSHRA 청취 테스트 결과 Voice를 제외한 나머지 오디오 신호에 대해서는 가중치가 0.7일 때 평균 70~90정도로 Good - Excellent의 평가 결과를 얻을 수 있었으며 가중치가 0.3~0.5일 때는 평균 90이상으로 Excellent의 평가 결과를 얻을 수 있었다. 반면, Voice의 경우는 가중치가 0.3일 때 평균 85점 정도로 Good의 결과를 얻을 수 있었지만, 가중치가 0.5~0.7일 때는 Fair의 결과를 얻었다. 즉, Voice를 제외한 나머지 오디오 신호에 대해 가중치가 0.5이하인 경우는 제안한 방법을 이용하여 원본 오디오 신호에 가까운 워터마크된 신호를 얻을 수 있었다. MUSHRA 청취 테스트의 결과는 위의 웹 페이지에서 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 오디오 신호의 저작권 보호를 위해 오디오 신호의 주파수 대역별 에너지와 주요 피크 성분을 검출하여 워터마크를 삽입함으로써 공격에 강인하고 오디오 신호의 음질 개선할 수 있는 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 원 신호에 푸리에 변환을 하여 주파수 영역으로 변환된 주파수 계수에 길이 m 의 워터마크를 삽입하였으며, 청자에게 워터마크된 오디오 신호를 들려주었을 때 워터마크 삽입으로 인한 왜곡을 인지하지 못하였다. 또한, 제안한 방법은 Cox 방법만큼 MP3 압축, 잘라내기, 주파수 변환, 반향과 같은 워터마크 공격에 강인하였고 신호 대 잡음비 측면에서는 10 dB 이상 우수함을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 다운샘플링 공격에서는 제안한 방법과 Cox 방법 모두 실패하였지만 유사도면에서 약간의 우수성을 보였는데 향후, 강인한 워터마킹 시스템을 위한 워터마크가 삽입될 위치에 관한 연구가 더 이루어진다면, 재 샘플링과 같은 공격에도 강인한 워터마킹 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 울산대학교 연구 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 2007 저작권 침해방지 연차보고서, <http://www.mcst.go.kr>, 2009.
2. I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002.
3. W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, "Techniques for data hiding," *IBM Systems J.* vol. 35, no. 3-4, pp. 313-336, 1996.
4. 오현오, 김현욱, 윤대희, 석종원, 홍진우, "강인한 오디오 워터마킹을 위한 새로운 반향 커널 설계," *한국음향학회지*, 20권, 2호, 66-76쪽, 2001.
5. J. D. Gordy and L. Bruton, "Performance Evaluation of Digital Audio Watermarking Algorithm," in *Proc. Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 456-459, 2000.
6. L. Boney, A. H. Tewfik and K. N. Handy, "Digital Watermarks for Audio Signals," *IEEE Int. Conf. Multimedia Computing and Systems*, pp. 473-480, 1996.
7. M. D. Swanson, B. Zhu and A. H. Tewfik, "Current state of the art, challenges and future directions for audio watermarking," *IEEE Int. Conf. Multimedia Computing and Systems*, vol. 1, pp. 19-24, 1999.
8. 김현욱, 오현오, 윤대희, 차일환, "공격에 강인한 고품질 디지털 오디오 워터마킹 시스템에 관한 연구," *제13회 신호처리합동학술대회 논문집*, 13권, 1호, 771-774쪽, 2000.
9. P. Bassia, I. Pitas and N. Nikolaidis, "Robust Audio Watermarking in the Time Domain," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 3, no. 2, pp. 232-241, 2001.
10. J. Seok, J. Hong and J. Kim, "A Novel Audio Watermarking Algorithm for Copyright Protection of Digital Audio," *ETRI J.* 24권, 3호, 181-189쪽, 2002.
11. I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
12. 우동훈, 정익필, "특정 주파수계수를 이용한 오디오 워터마킹," *한국음향학회지*, 22권, 4호, 269-275쪽, 2003.
13. 정원교, 이경환, 우홍채, 이용두, "MP3 압축 공격에 강인한 주파수 계수 분석을 이용한 오디오 워터마킹," *한국음향학회지*, 24권, 8호, 492-497쪽, 2005.
14. 조병록, 정일용, 박창균, 이강현, "고음질을 위한 디지털 오디오 워터마킹에 관한 연구," *대한전자공학회논문지*, 39권, 3호, 199-207쪽, 2002.
15. M. Costa, "Writing on Dirty Paper," *IEEE Trans Information Theory*, vol. 29, no. 3, pp. 439-441, 1983.
16. J. A. Bloom, M. L. Miller, "Informed Detection Revisited," *LNCS* vol. 3304, pp. 29-41, 2005.
17. I. J. Cox, M. L. Miller, "The First 50 Years of Electronic Watermarking," *EURASIP J. Applied Signal Processing*, vol. 2, pp. 126-132, 2002.
18. M. van der Veen, A. N. Lemma, T. Kalker, "Watermarking and fingerprinting for electronic music delivery," *Proc. SSMC 2004*, pp. 200-211, 2004.

19. 우동훈, 정익필, "주파수 대역에 따른 워터마크의 강인성," *한국 신호처리시스템학회 하계 학술대회 논문집*, 3권, 1호, 37-40쪽, 2002.
20. A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Discrete-time Signal Processing 2/E*, PRENTICE HALL, New Jersey, 1999.
21. Recommendation BS.1534-1: Method for the subjective assessment of intermediate quality levels of coding systems, ITU (International Telecommunication Union), 2003.
22. MUSHARA - A Matlab interface for MUSHRA listening tests (version 1.0).
<http://www.elec.qmul.ac.uk/digitalmusic/downloads/>

저자 약력

•강 명 수 (Myeongsu Kang)

한국음향학회지 제28권 2호 참조

•조 상 진 (Sangjin Cho)

한국음향학회지 제23권 7호 참조

•정 의 필 (Uipil Chong)

한국음향학회지 제23권 7호 참조