

해금 사운드 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 워터마킹 알고리즘

Watermarking Algorithm for Copyright Protection of Haegeum Sound Contents

홍연우, 강명수, 조상진, 정의필

Yeon-woo Hong, Myeong-su Kang, Sang-jin Cho, Ui-pil Chong

요약

본 논문에서는 해금 사운드 콘텐츠의 저작권 보호를 위해 해금의 주파수 특성을 고려한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 해금 음은 1500Hz~2000Hz 대역과 2800Hz~3500Hz 대역에서 배음 성분의 크기가 공통적으로 크게 나타나는데 이 대역을 워터마크 삽입대역으로 결정하였다. 제안한 방법은 원 신호에 푸리에 변환을 하여 주파수 영역으로 변환하고 삽입대역에 속한 배음 성분에 PN 시퀀스를 통해 생성한 워터마크 비트를 삽입하였다. 또한 저역통과 필터, 대역통과 필터, 잘라내기, 노이즈 추가, MP3 압축과 같은 공격에서 최대 1.41%의 BER을 보였고, 클래식, 팝, 가요금 등의 연주곡과 비교 실험 결과 해금에서 가장 뛰어난 성능을 보였다. 주관 청취 테스트인 MUSHRA 테스트 결과 해금 음에 대해서는 평균 98점 이상을 보였고 국악연주곡에서는 96.67점을 보여 모두 Excellent의 평가 결과를 보였다.

Abstract

This paper proposes a watermarking algorithm considering the frequency characteristics of Haegeum sounds for copyright protection of digital Haegeum sound contents. The harmonics of Haegeum sounds commonly have large magnitude values in 1500Hz~2000Hz and 2800Hz~3500Hz so that those bands are selected to embed a watermark. The proposed method computes the FFT (fast Fourier transform) of the original sound signal and embeds the watermark bits generated by PN (pseudo noise) sequence into the harmonics in the selected bands. Furthermore, the proposed method is robust to lowpass filter, bandpass filter, cropping, noise addition, MP3 compression attacks and the maximum BER (bit error rate) is 1.41% after lowpass filter attack. To measure the quality of the watermarked sound, subjective listening test, MUSHRA (multiple stimuli with hidden reference and anchor), was conducted. The mean value of MUSHRA listening test is bigger than 98 and 96.67 for every Haegeum sounds and Korean classical music with Haegeum, respectively.

Keywords : Digital Audio Watermarking, Haegeum Contents, Copyright Protection, FFT

1. 서론

초기의 오디오 워터마킹 기술은 데이터의 최하위비트 (least significant bit, LSB)에 워터마크를 삽입한 LSB 부호화 방법과 의사난수와 통계적인 과정에 기반을 둔 Patchwork 기법 등이 있었다[1]. 이들은 여러 디지털 신호 처리에 워터마크가 쉽게 손상되는 단점이 있어 이를 극복하기 위한 방안들이 많이 제안되었는데 반향(echo) 신호를 이용하는 방법, 위상(phase)을 이용하는 방법, 심리음향모델을 이용한 대역 확산(spread spectrum)을 이용한 방법 등이 대표적인 예이다. 반향을 이용한 워터마킹은 청각적으

로 지각되지 않을 만큼 작은 반향을 오디오 신호에 첨가함으로써 워터마크 정보를 삽입한다[1, 2]. 이 경우 음질의 왜곡은 초래하지 않지만 외부 공격에 대한 강인성을 보장하기 어려운 단점이 있어 2001년에는 반향 신호에 대한 심리음향학적 분석을 통해 음질의 왜곡을 최소화하면서 공격에 강인한 새로운 반향 커널을 제안하여 좋은 결과를 보였다[2]. 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 효과적이거나 MP3 압축과 같은 워터마크 공격에 의해 위상 정보가 쉽게 변형된다[1, 3]. 현재 가장 활발히 연구 중에 있는 심리음향모델과 대역 확산을 이용한 방법은 워터마크를 의사잡음(pseudo noise) 코드를 통해 대역 확산시킨 후 적절한 가중치를 주어 오디오 신호에 삽입하는 방법이다[4-8]. 대역 확산을 이용한 기법은 1997년 I. J. Cox에 의해 제안되었으며 의사잡음 코드의 높은 자기 상관성을 이용하여 삽입한 워터마크를 검출

*울산대학교

투고 일자 : 2009. 9. 23 수정완료일자 : 2009. 10. 14

게재확정일자 : 2009. 10. 29

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. R01-2008-000-20493-0)

할 수 있으며 간섭에 강한 특징이 있다[9]. 그러나 의사잡음 코드를 워터마크로 사용하기 때문에 워터마크된 오디오 신호의 음질에 영향을 미친다. 이를 극복하기 위해 2002년에는 공격에 강인하면서 원 신호의 변형을 줄이는 워터마크 삽입 방법에 대한 연구가 있었고, 2005년에는 다른 공격에도 강인하지만 특히 MP3 공격에 강인한 워터마크 시스템을 제안하여 좋은 결과를 보였다[10, 11]. 이밖에도 최적의 워터마크 삽입 영역과 적절한 워터마크 양을 찾자 한 연구와 적응적 가중치를 가지는 마스크 처리 기반의 웨이브릿 워터마킹에 관한 연구가 있었고 워터마크 삽입용량을 최적화하기 위한 임계값 선택에 대한 연구와 실시간 워터마크 삽입 시스템에 관한 연구도 있었다[12-15].

워터마킹 기술은 원본 신호의 사용여부에 따라 원본 신호를 사용하는 난-블라인드 검출(non-blind detection)과 원본 신호를 사용하지 않는 블라인드 검출(blind detection) 방법으로 나눌 수 있다. 초기에는 난-블라인드 검출 방법이 블라인드 검출 방법에 비해 성능이 더 우수한 것으로 알려졌었지만 1983년 Costa는 블라인드 검출 방법의 성능이 난-블라인드 시스템의 성능만큼 우수함을 이론적으로 보였다[16]. 최근에는 블라인드 검출 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데 이는 성능이 매우 뛰어난 블라인드 검출 시스템이 존재한다면 어떠한 응용 분야에도 사용될 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[17, 18]. 일반적으로 난-블라인드 검출은 무단배포자 추적, 소유권 증명과 같은 응용 분야에, 블라인드 검출은 소유권 통보, 복제 방지와 같은 응용 분야에 활용된다[19]. 2004년에 V. D. Veen 등은 개인 정보를 워터마크로 삽입한 난-블라인드 검출 기법 기반의 전자음악 배달(electronic music delivery, EMD) 시스템을 제안하여 인터넷에서 발생하는 무단 배포를 추적하는데 이 시스템을 활용하였다[20].

기존의 워터마킹 관련 연구는 대부분이 워터마킹 기술을 음악, 음성, 영상 등을 포함한 다양한 멀티미디어 콘텐츠에 적용하여 성능을 검증한 범용적 알고리즘으로 특정 악기를 대상으로 한 연구는 이루어지지 않았으며 특히 국악기 음에 워터마킹을 적용한 연구는 없었다. 본 논문에서는 해금의 배음 특성을 고려하여 에너지가 큰 주파수 대역의 배음 성분에 워터마크 비트를 삽입함으로써 해금 콘텐츠를 효율적으로 보호할 수 있는 난-블라인드 기반의 워터마킹 알고리즘을 제안한다. II장에서는 해금 소리의 특성을 III장에서는 제안한 워터마킹 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘의 실험 결과를 보이고 토의를 통하여 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 해금 특성

해금은 활로 현을 마찰해서 소리를 내는 활현악기로 6세기경 중국의 해(奚) 부족 문화권에서 유래하여 고려시대부

터 우리나라에서 연주되기 시작했다[21]. 해금의 운지법은 크게 3가지로 이는 각각 주아 가까운 쪽에 왼손을 위치시키는 황종 운지법, 줄의 가운데 부분을 잡고 소리를 내는 중려 운지법, 울림통 가까운 곳에 위치시키고 소리를 내는 청황종 운지법이며 황종 운지법과 청황종 운지법은 한 옥타브 차이가 난다. 해금 소리는 배음 분포가 상당히 규칙적이며 20kHz의 고주파 대역까지 배음이 존재한다[22]. 또한 1600Hz~1800Hz의 주파수 성분이 가장 두드러지게 나타나고 2500Hz, 5500Hz, 6500Hz, 9000Hz 부근에서 배음 성분이 급격히 감소하는 특징이 있다[23]. 특히 1500~2000Hz 대역과 2800~3500Hz 대역에서 배음 성분의 크기가 공통적으로 크게 나타나는데 이 대역을 워터마크 삽입구간으로 활용하여 해금 콘텐츠 보호를 위한 워터마킹 알고리즘을 구현하였다.

III. 제안한 워터마킹 알고리즘

워터마크에 대한 공격은 원 신호에 큰 변형을 주지 않고 워터마크를 제거하는데 그 목적이 있기 때문에 해당 신호의 중요 위치에 워터마크를 삽입하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 해금 소리의 주파수 특성을 고려하여 에너지 분포가 큰 삽입구간의 배음 성분에 워터마크를 삽입한다. 워터마크 삽입과 추출과정은 프레임 기반으로 처리하며 4096 샘플을 한 프레임으로 한다. 매 프레임에 삽입되는 워터마크 비트 수는 해당 프레임의 삽입대역에 속하는 배음 성분의 수와 일치하며 프레임마다 각기 다를 수 있다.

삽입되는 워터마크는 PN(pseudo noise) 시퀀스를 통해 생성한다. PN 시퀀스는 길이 N의 feedback shift register에 의해 생성되는 $2^N - 1$ 길이의 구간 잡음형 이진 시퀀스로 $2^N - 1$ 의 유일한 코드들을 생성할 수 있고 자기상관성이 강하다. 모든 시퀀스는 각각 1의 개수가 0의 개수보다 1개 많은 특성이 있어 모든 PN 시퀀스는 에너지가 균일하다. 이러한 특징과 저차 증명을 위한 유일한 코드를 다량 생성할 수 있다는 이유로 많은 워터마킹 방법에 사용된다[24]. 워터마크 삽입 과정은 그림 1과 같으며 다음과 같은 절차를 거친다.

- 1) 원 신호에 푸리에 변환을 적용하여 주파수 영역으로 변환한다.
- 2) 주파수 영역 전 구간에서 배음 성분을 추출한다. 이 때 배음 성분은 일정 크기 이상의 값을 가지고 기본주파수의 정수배에 가까운 피크가 된다.
- 3) 삽입구간(1.5~2.0kHz, 2.8~3.5kHz)에 속하는 배음(h_i)에 PN 시퀀스에 의해 생성된 워터마크 비트(w_i)를 삽입한다. 이때, 생성된 워터마크 비트가 1이면 1을 0이면 -1을 삽입한다. 워터마크가 삽입된 배음 h'_i 는 식 (1)과 같다.

$$h'_i = h_i + h_i \alpha w_i \quad (1)$$

이 때, α 는 가중치, w_i 는 워터마크 비트이다.

- 4) 워터마크가 삽입된 배음 성분을 포함하는 스펙트럼을

역푸리에 변환하여 워터마크가 삽입된 신호를 구한다.

워터마크 검출은 삽입 과정의 역으로 실행되는데 그림 2와 같으며 다음의 절차로 수행된다.

- 1) 워터마크가 삽입된 신호를 푸리에 변환하여 주파수 영역으로 변환한다.
- 2) 주파수 전 구간에서 배음 성분을 추출한다.
- 3) 추출된 배음 중 삽입대역에 속하는 배음과 원 신호의 배음과의 차를 구하여 워터마크 비트를 검출하며 검출된 워터마크 비트 w_i 는 식 (2)와 같다.

$$w_i = \begin{cases} 1, & h'_i - h_i > 0 \\ 0, & h'_i - h_i \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

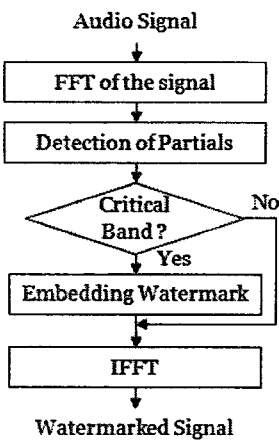


그림 1. 워터마크 삽입 과정 블록도

Fig. 1. Block diagram of embedding a watermark

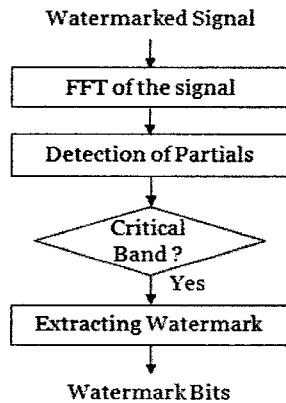


그림 2. 워터마크 검출 과정 블록도

Fig. 2. Block diagram of detecting the watermark bits

IV. 실험 결과 및 토의

4.1 실험 환경 및 조건

본 논문에서는 해금 콘텐츠 보호를 목적으로 해금 특성을 고려한 워터마크 알고리즘을 제안하였다. 제안한 워터마크 시스템의 성능을 평가하기 위해 각기 다른 장르의 음악을 대상으로 제안한 워터마크 시스템을 적용하여 BER(Bit Error Rate)을 구하였다. 실험에 사용된 해금 단위음은 [23]에서와 같은 방법으로 해금의 전체 음역에서 중간 음역에 속하는 대표음 5개를 대상으로 하였고, 본교 무향실에서 해금 연주 전문가의 연주를 녹음한 것으로 중려 운지법의 황(Eb4), 태(F4), 중(Ab4), 임(Bb4), 남(C5)음이다. 또한 해금 연주곡 “산령산”(4.49초), 해금 연주가 꽃별의 “The Road To Sidh”(8.96초), 숙명여대 가야금 연주단이 연주한 “Hey Jude”(5.94초), 기타 연주곡(9.57초), R.Kelly의 “I believe I can fly”(11.06초), 피아노 연주곡(6.62초), 클래식 “J. Strauss I Radetzky March - Op.228.mp3”(9.68초), 드림콘타이저의 “너희가 힙합을 아느냐”(9.28초)에 대하여, 샘플링 주파수는 44.1kHz, 양자화 비트수는 16bit, Mono로 설정한 후 워터마크 실험에 사용하였다.

제안한 워터마크 시스템의 강인성을 평가하기 위해 MP3 압축, 잘라내기(crop, cropping), 저역통과 필터(LPF, lowpass filter), 대역통과 필터(BPF, bandpass filter), 노이즈 추가(NA, noise addition)과 같은 공격을 가한 후 워터마크 비트를 검출하였다. 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 40% 정도의 구간에 워터마크가 전혀 삽입되어 있지 않은 원 신호를 삽입하여 워터마크에 직접적인 손실을 주었다. 저역통과 필터와 대역통과 필터 공격에는 2차 버터워스 필터를 이용하였는데 저역통과 필터의 차단주파수는 10000Hz로, 대역통과 필터의 차단주파수는 100Hz와 6000Hz로 하였으며 노이즈 추가에는 백색 잡음을 사용하였다.

스펙트럼은 주파수 영역에서 입력 신호의 에너지 정보를 표현하므로 프레임 기반 처리에서 한 프레임의 크기는 스펙트럼에 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 한 프레임을 4096 샘플로 하였는데 이는 44100 샘플링 주파수를 고려하면 약 0.1초의 구간에 해당한다. 일반적으로 음성 신호의 경우 20ms 정도를 사용하지만 실험 결과 4096 샘플로 하였을 때 워터마크 검출 결과가 뛰어났다.

필터링 공격에서 저역통과 필터와 대역통과 필터의 차수 또한 워터마크 검출에 영향을 미치게 되는데 논문에서는 2차 버터워스 필터를 사용하였다. 저역통과 필터의 차단 주파수는 샘플링 주파수의 절반 정도인 10kHz로 워터마크가 전 대역에 걸쳐 삽입이 되었다고 한다면 50%이상의 손실을 줄 수 있는 정도이다. 차단 구간에 삽입된 워터마크가 없다 하더라도 공격의 목적이 원 신호의 왜곡이 아닌 이상 충분한 공격이 될 수 있다고 판단된다. 또한 대역통과 필터의 차단 주파수의 경우 [8]을 참고로 하여 결정하였다.

가중치(α)는 워터마크 삽입과 검출에 가장 큰 영향을 미치게 되는데 가중치를 높게 하면 검출 결과는 향상되지만 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 왜곡을 줄 수 있다. 가중치를 0.1부터 1.5까지 변화 시켜가며 실험한 결과 1.3 이상은 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 왜곡을 발생시켰다. 따라서 원본 신호와 워터마크가 삽입된 신호와의 차이를 느끼지 못하는 범위에서 높은 값인 1.1로 결정하였다. 또한 PN 시퀀스 생성 과정에서 N 의 값은 4로 하여 15개의 비트를 생성하였으며 초기 상태 값은 실험을 통해 9로 결정하였다.

가중치(α)는 워터마크 삽입과 검출에 가장 큰 영향을 미치게 되는데 가중치를 높게 하면 검출 결과는 향상되지만 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 왜곡을 줄 수 있다. 가중치를 0.1부터 1.5까지 변화 시켜가며 실험한 결과 1.3 이상은 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 왜곡을 발생시켰다. 따라서 원본 신호와 워터마크가 삽입된 신호와의 차이를 느끼지 못하는 범위에서 높은 값인 1.1로 결정하였다. 또한 PN 시퀀스 생성 과정에서 N 의 값은 4로 하여 15개의 비트를 생성하였으며 초기 상태 값은 실험을 통해 9로 결정하였다.

4.2 워터마크 실험 결과

표 1은 해금 단위음에 대한 워터마크 검출 결과를 나타낸다. 워터마크가 삽입된 (no attack, no 표기) 황음부터 SNR이 각각 29.86dB, 29.1dB, 26.84dB 27.88dB, 35.68dB 이고 노이즈 추가 공격에 대해 황음은 0.81%, 남음은 1.41%의 BER을 나타내었다. 단위음의 경우 약 2초 정도의

길이로 삽입되는 워터마크 비트의 수가 대부분 70~80여 개 정도이므로 BER이 1%를 넘는다 해도 하나의 비트에 해당한다. 황음의 경우 124비트의 워터마크가 삽입되었는데 노이즈 추가에서 123비트를 검출 하였으므로 해금 단위음에 대해서는 매우 뛰어난 검출 결과를 보였다.

표 1. 해금 단위음에 대한 BER (단위 : %)
 Table 1. BER of Haegeum sounds

	황	태	중	입	남
no	0	0	0	0	0
LPF	0	0	0	0	0
BPF	0	0	0	0	0
Crop	0	0	0	0	0
NA	0.81	0	0	0	1.41
MP3	0	0	0	0	0

표 2. 여러 가지 연주곡에 대한 BER (단위 : %)
 Table 2. BER of various audio signals

	해금	국악	가야금	기타	피아노	클래식	팝	힙합
no	0	0	20.51	0	0	0	0	0
LPF	0	0	2.56	4.62	0	0	1.18	0
BPF	1.42	2.96	23.08	13.85	4.76	3.8	11.83	18.82
Crop	0	0	14.29	0	0	0	0	0
NA	0	0.74	23.18	16.15	0	0	3.55	8.24
MP3	0	0	10.26	0	0	5.06	0.59	7.06

다양한 연주곡에 대한 결과를 살펴보면 해금의 경우 해금만으로 연주한 음악으로 대역통과 필터 공격에 대해서 1.42%의 BER을 보였으며 나머지 모든 공격에 대해서는 모든 워터마크 비트를 검출하였다. 국악은 대역통과 필터에서 2.96%, 노이즈 공격에서 0.74%의 BER을 나타내었는데 이는 다른 음악에 비하여 상대적으로 작은 값이며 해금이 주를 이루는 국악 협주곡으로 해금의 특성이 잘 반영된 때문이라고 볼 수 있다. 가야금의 경우 저역통과 필터 이외의 모든 결과에서 10%이상의 BER을 보이는데 이는 삽입구간에서 가야금의 배음 성분의 크기가 상대적으로 약하기 때문이며 가야금과 해금은 배음 특성에 차이가 있음을 보여 준다. 기타와 팝의 경우 저역통과 필터보다는 대역통과 필터에서 더 높은 BER을 보이며 기타는 노이즈 공격에서 BER이 훨씬 높게 나타나며 팝은 MP3 공격에서도 작은 값이지만 BER을 보인다. 힙합은 대역통과 필터 공격에 가장 약하며 노이즈와 MP3 공격에서도 BER이 상대적으로 높게 나타난다. 클래식은 대역통과 필터 공격에서 해금이나 국악보다 BER이 높게 나타나며 MP3 공격에도 5.06%의 BER을 보인다. 피아노의 경우 해금과 마찬가지로 대역통과 필터에서만 BER 값을 나타내지만 해금이나 국악 보다는 더 큰 값을 보인다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 해금에서 가장 뛰어난 결과를 보였다. 실험에서 사용한 워터마크 삽입 후의 오디오 파일과 원 오디오 파일은 다음 웹 페이지에서

확인해 볼 수 있다.

“http://signal.ulsan.ac.kr/duck16/haegeum_wm.htm”

4.3 주관 청취 테스트 결과

워터마크된 오디오 신호의 음질을 평가하기 위해 주관 청취 평가 방법인 MUSHRA(Multi-Stimulus test with Hidden Reference and Anchor) 청취 테스트를 이용하였다 [25]. 이는 원 오디오 신호에 대한 테스트 오디오 신호의 음질을 평가할 수 있는 방법으로 본 논문에서는 워터마크된 오디오 신호를 테스트 신호로 사용하였다. 청취 실험에 참여한 피실험자는 울산대학교 대학원에 재학 중이며 디지털 신호처리를 전공으로 하고 있는 학생 및 연구 교수, 총 10명을 대상으로 하여 테스트 하였다. 이 실험에 사용된 오디오 신호는 숨겨진 참조 신호, 차단 주파수가 3.5kHz인 버터워스 저역통과 필터를 통과한 앵커 신호 1, 그리고 차단 주파수가 7kHz인 버터워스 저역통과 필터를 통과한 앵커 신호 2, 제안한 방법에 의해 워터마크가 삽입된 오디오 신호로 총 4가지를 사용하였다. 실험에 사용된 MUSHRA 소프트웨어는 MUSHRAM(version 1.0)이다[26, 27].

피실험자는 오디오 신호를 듣고 원 신호와의 유사도를 0~100 사이의 점수로 입력하게 되며 입력 값은 0점과 100점을 5단계로 나누며 각각 Bad, Poor, Fair, Good, Excellent의 결과로 나누게 된다. 그림 3의 MUSHRA 청취 테스트 결과 모두 평균 96점 이상으로 Excellent의 결과를 얻었다. 원 신호의 경우 100점의 평균값을 보여야 하지만 국악과 남음을 제외한 나머지 실험에서 99점 정도로 나타났다. 제안한 방법으로 워터마크된 신호의 경우 국악을 제외한 나머지 실험에서 모두 평균 98점 이상을 보여 원 신호와 유사한 결과를 보였다. 국악은 96.67점을 나타내었지만 해금과 함께 다른 국악기의 연주가 섞여 있는 연주곡으로 다른 악기의 영향을 받기 때문에 근소한 차이를 보였다고 할 수 있다. 제안한 방법을 이용하여 원본 오디오 신호에 가까운 워터마크된 신호를 얻을 수 있었으며, MUSHRA 청취 테스트의 결과는 위의 웹 페이지에서 확인할 수 있다.

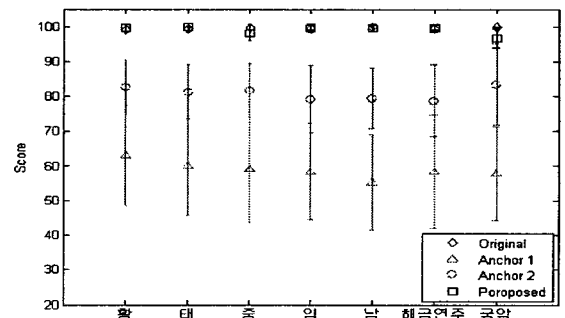


그림 3. MUSHRA 주관 청취 테스트 결과 (평균과 신뢰구간)

Fig. 3. Experimental results of MUSHRA listening test (mean and confidence interval)

V. 결론

본 논문에서는 해금 사운드 콘텐츠 보호를 위해 해금의 배음 특성을 고려하여 에너지 분포가 큰 주파수 대역에 워터마크를 삽입함으로써 해금 소리에 적합한 워터마킹 알고리즘을 최초로 제안하였다. 해금 음은 공통적으로 1500Hz ~ 2000Hz 대역과 2800~3500Hz 대역에서 배음 성분의 크기가 크게 나타나므로 이 대역을 워터마크 삽입구간으로 활용하였다. 원 신호에 푸리에 변환을 하여 주파수 영역에서 삽입구간에 속하는 배음성분에 PN 시퀀스에 의해 생성된 워터마크 비트를 삽입하였다. MP3 압축, 잘라내기, 저역통과 필터, 대역통과 필터, 노이즈 추가와 같은 공격을 가했을 때 해금 단위음의 경우 노이즈 추가에서 황음이 0.81%, 남음이 1.41%의 BER을 보였고 나머지는 모두 100% 검출하였다. 여러 가지 연주곡 중에서는 해금에 가장 강인함을 실험을 통해 확인할 수 있었다. MUSHRA 청취 테스트 결과 워터마크된 오디오 신호에 대해 평균 96 이상으로 모두 Excellent의 평가 결과를 얻었다. 향후 더 많은 삽입구간을 선정하는 방법과 배음을 중심으로 삽입위치를 늘리는 방법 등에 대한 실험이 이루어진다면 제안한 워터마크 알고리즘을 활용하여 특정 국악기 음에 대한 워터마크 알고리즘으로 응용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 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.

[2] 오현오, 김현욱, 윤대희, 석종원, 홍진우, "강인한 오디오 워터마킹을 위한 새로운 반향 커널 설계," *한국음향학회지*, 20권, 2호, pp. 66-76, 2001.

[3] J. D. Gordy and L. Bruton, "Performance Evaluation of Digital Audio Watermarking Algorithm," in *Proc. Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 456-459, 2000.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 김현욱, 오현오, 윤대희, 차일환, "공격에 강인한 고음질 디지털 오디오 워터마킹 시스템에 관한 연구," 제13회 신호처리합동학술대회 논문집, 13권, 1호, pp. 771-774, 2000.

[7] 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.

[8] J. Seok, J. Hong and J. Kim, "A Novel Audio Watermarking Algorithm for Copyright Protection of Digital Audio," *ETRI J.* vol. 24, no. 3, pp. 181-189, 2002.

[9] 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.

[10] 우동훈, 정의필, "특정 주파수계수를 이용한 오디오 워터마킹," *한국음향학회지*, 22권, 4호, pp. 269-275, 2003.

[11] 정원교, 이경환, 우홍채, 이응두, "MP3 압축 공격에 강인한 주파수 계수 분석을 이용한 오디오 워터마킹," *한국음향학회지*, 24권 8호, pp. 492-497, 2005.

[12] 오재호, 조시용, 김선형, "주파수 영역에서의 최적 워터마크 삽입영역 선정에 대한 연구," *한국신호처리시스템학회논문지*, 3권, 3호, pp. 36-40, 2002.

[13] 정성록, 김태효, "적응 가중치 마스크 처리 기반 강인한 웨이브릿 워터마킹," *한국신호처리시스템학회논문지*, 4권, 2호, pp. 46-52, 2003.

[14] 이강승, 박기범, "디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 임계값 선택방법," *한국신호처리시스템학회논문지*, 10권 1호, pp. 49-59, 2009.

[15] 정용재, 박성모, 김종남, 문광석, "디지털 방송 콘텐츠 저작권 보호를 위한 실시간 워터마크 삽입 시스템 구현," *한국신호처리시스템학회논문지*, 10권, 2호, pp. 100-105, 2009.

[16] M. Costa, "Writing on Dirty Paper," *IEEE Trans Information Theory*, vol. 29, no. 3, pp. 439-441, 1983.

[17] J. A. Bloom, M. L. Miller, "Informed Detection Revisited," *Proc. 2004 International Workshop on Digital Watermarking*, 2004.

[18] I. J. Cox, M. L. Miller, "The First 50 Years of Electronic Watermarking," *EURASIP J. Applied Signal Processing*, vol. 2, pp. 126-132, 2002.

[19] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002.

[20] M. van der Veen, A. N. Lemma, T. Kaller, "Watermarking and fingerprinting for electronic music delivery," *SPIE Conf. security and watermarking of multimedia contests*, 2004.

[21] 송혜진, *한국악기*, 열화당, 2001.

[22] 홍연우, 조상진, 변중배, 정의필, "운지법에 따른 해금 소리의 배음 구조 분석," *한국신호처리시스템학회 하계 학술대회 논문집*, 8권 1호, pp. 58-61, 2007.

[23] 홍연우, 조상진, 최명환, 정의필, "해금 소리 합성을 위한 스펙트럼 파라미터 추출," *한국디지털아트미디어학회 학술발표대회 논문집*, 5권, 1호, pp. 7-10, 2007.

[24] 이희숙, 이우선, "심리음향 모델을 이용한 오디오 워터마킹," *한국정보과학회 봄 학술발표논문집*, 28권, 1호, pp. 859-861, 2001.

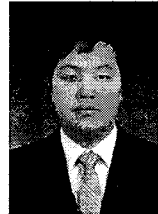
- [25] Recommendation BS.1534-1: Method for the subjective assessment of intermediate quality levels of coding systems, ITU(International Telecommunication Union), 2003.
- [26] MUSHARA - A Matlab interface for MUSHRA listening tests (version 1.0). <http://www.elec.qmul.ac.uk/digitalmusic/downloads/>
- [27] Carlos Herrero, "Subjective and objective assessment of sound quality: solutions and applications," in *Proc. CIARM Conf.*, pp. 1-20, 2005.



홍 연 우(Yeon-woo Hong)

2006년 2월 울산대 컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
 2009년 8월 울산대 컴퓨터정보통신공학과 (석박사 수료)

※주관심분야 : 디지털신호처리, 악기음향, DSP 응용



강 명 수(Myeong-su Kang)

2008년 2월 울산대 컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
 2008년 3월 ~ 현재 울산대 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

※주관심분야 : 디지털신호처리, 악기음향, DSP 응용



조 상 진(Sang-jin Cho)

1997년 2월 울산대 전자공학과(공학사)
 2002년 2월 울산대 전자공학과(공학석사)
 2007년 2월 울산대 컴퓨터정보통신공학과 (공학박사)

2009년 3월 ~ 현재 울산대 전기전자정보시스템공학부 연구교수

※주관심분야 : 디지털신호처리, 악기음향, DSP 응용



정 의 필(Ui-pil Chong)

正會員

1978년 2월 울산대 전기공학과(공학사)
 1980년 2월 고려대 전기공학과(공학석사)
 1986년 1월 미국 Oregon State University 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)

1996년 12월 미국 Polytechnic University 전자공학과(공학사)

1986년 9월 ~ 1990년 12월 미국 Bruckner Mobile Electronics, 전자 및 통신 엔지니어

1994년 1월 ~ 1996년 5월 미국 뉴욕 Polytechnic University CATT 연구소 Research Fellow

1997년 3월 ~ 현재 울산대 컴퓨터정보통신공학부 교수

※주관심분야 : 디지털신호처리, 고장진단, 3D사운드