

높은 비가청성을 갖는 믹스 음악의 크기 변조 오디오 워터마킹 기술에 관한 연구

강세구*, 이영석**

Study on the Amplitude Modification Audio Watermarking Technique for Mixed Music with High Inaudibility

Se-Koo Kang*, Young-Seok Lee**

요약 본 논문에서는 믹스 음악을 위한 디지털 오디오 워터마킹 기술을 제안하였다. 믹스 음악은 기존에 저작권이 확보되어 있는 음악을 편집하여 한편의 오디오 클립에 다수의 음악이 포함되어 있는 재창조된 음악을 의미한다. 오디오 콘텐츠와 관련된 저작권료는 보통 완전체 오디오를 기준으로 부과된다. 그러나 믹스 음악의 경우에는 오디오 완전체를 모두 사용하는 것이 아니라 일부만을 이용하기 때문에 저작권료의 산정에서 저작권자와 사용자간의 분쟁의 소지를 갖고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 오디오 저작권료와 관련된 문제의 기술적인 해결 방법으로서 믹스 음악을 구성하고 있는 각각의 오디오 콘텐츠에 대하여 서로 다른 워터마크를 삽입하여 음악을 구분할 수 있는 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안된 기술은 기존의 워터마킹 방법과 달리 믹스음악을 구성하는 각각의 오디오에 대하여 서로 다른 워터마크를 삽입하기 때문에 오디오 전체에 대하여 워터마크를 삽입하는 기존의 방법과 달리 오디오의 품질을 떨어뜨리는 단점이 있다. 이에 대한 기술적 해결로서 비 가청성이 강조된 이진 랜덤 열을 이용하고 워터마크 삽입에 따른 신호의 왜곡 특성이 가장 적은 크기 변조 오디오 워터마킹 기술을 이용하였다. 제안된 방법은 워터마크의 추출 특성을 통하여 성능을 검증하였다.

Abstract In this paper, we propose a watermarking technology for a mixed music. The mixed music means recreated music that contained a number of musics in one audio clip. Royalty associated with the audio content is typically imposed by the full audio content. However, the calculation of royalties gives rise to conflict between copyright holders and users in the mixed music because it uses not full audio content but a fraction of that. To solve the conflict related with the mixed music, we propose a audio watermarking technique that inserts different watermarks for each audio in the audio that make up the mixed music. The proposed watermarking scheme might have poor SNR (signal to noise ratio) to embed to each audio clip. To overcome poor SNR problem, we used inaudible pseudo random sequence which modifies typical pseudo random sequence to canonical signed digit (CSD) form. The proposed method verifies the performance by each watermark extraction and the time internal estimation values from the mixed music.

Key Words : Digital contents, Mixed music, Audio watermarking, Inaudible random sequence, Copyright protection

1. 서론

네트워크 기술의 빠른 발전과 다양한 멀티미디어

어 콘텐츠들의 네트워크를 통한 유통은 디지털 콘텐츠로 통칭되는 디지털 데이터의 유통에 새로운 패러다임을 가져왔다. 디지털 콘텐츠는 네트워크를

This research project was supported by Ministry of Culture, Sports and Tourism (MCST) and from Korea Copyright Commission in 2015.

* Corresponding Author : Department of Electronics, ChungWoon University(yslee@chungwoon.ac.kr)

Received February 3, 2016

Revised February 7, 2016

Accepted February 13, 2012

통하여 빠르게 배포되는 장점이 있는 반면에 원본과 복사본을 구별할 수 없는 단점으로 인하여 저작권을 무시하는 불법 복제 또는 불법 유통을 야기하여 경제적 사회적 문제를 발생시키고 있다 [1]. 특히 노래나 어학 학습 등을 포함하는 오디오 콘텐츠들은 영화와 같은 영상 콘텐츠와 달리 데이터 량이 상대적으로 작고, 유행을 타지 않는 점 등의 이유로 꾸준히 불법 유통이 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 상황에서 오디오 콘텐츠들의 불법 복제 및 유통을 개선하기 위하여 기존 유통망의 건전성 확보 또는 인적 자원을 이용한 불법 유통망 적발과 같은 고전적인 방법을 이용하는 경우는 그 개선 효과가 미미할 뿐 아니라 불법 유통을 더 음성적으로 발전시키는 역효과를 가져오기 때문에, 기존의 방법과 다른 불법 복제 및 유통에 대한 대안이 필요하다.

최근 20년 동안 이와 같은 불법 복제 및 유통의 현실에 대한 기술적 조치로서 워터마킹 기술을 이용하여 큰 효과를 보였다. 워터마킹 기술은 오디오 콘텐츠에 콘텐츠를 식별하거나 저작권을 주장할 수 있는 정보를 삽입하여 추후에 해당 콘텐츠에 대한 저작권 시비가 일 경우, 삽입된 워터마크 정보를 이용하여 저작권을 주장할 수 있는 기술을 의미한다.

그러나 최근 음악의 흐름으로서 리믹스(remix) 또는 믹스(mix) 음악이 새로운 문화 현상으로 대두되면서 워터마킹 기술은 새로운 전환점을 요구받기에 이르렀다. 믹스 음악은 기존에 저작권을 갖고 있는 음악들을 변조하거나 일부를 가져와 다른 음악의 일부와 연결하여 만들어지는 재창조적인(recreative) 음악을 의미 한다 [2]. 저작권의 관점에서 믹스 음악은 원 음악의 전체를 이용하는 것이 아니기 때문에 믹스 음악을 구성하는 원음들 전체에 대한 저작권료를 지불할 필요가 없으며, 믹스 음악은 그 자체가 창조적인 음악으로서 받아들여지고 있는 사회적 경향에 의해 원음의 저작권자와 믹스 뮤직 작곡자들 사이에 저작권료와 관련된 갈등이 발생하여왔다. 이에 따라 미국의 저작권법에서는 믹스 음악을 하나의 창조적인 객체로

인식하고 믹스 음악 작곡자들은 믹스 음악을 구성하고 있는 원음들의 저작권자들에게 믹스음악에 사용된 만큼의 원음에 대한 저작권료를 지불하도록 하는 믹스 음악과 관련된 법을 제정하였다. 또한 이를 바탕으로 덱셋 미디어(Dupset media)와 같은 믹스 음악을 전문으로 유통하는 기술 벤처 회사는 믹스 음악의 작곡자가 믹스 음악에 사용된 음악 관련 정보를 문서를 통하여 회사 측에 전달하면 이를 이용하여 원음의 작곡자들에게 과금을 정산하고 지급하는 방식의 비즈니스 모델을 통하여 수익을 올리고 있다 [3]. 덱셋 미디어의 비즈니스 모델에서 사용되는 방법은 믹스 음악 작곡자들이 주는 믹스 음악 정보에 의존하여 과금을 정산함으로써 발생 할 수 있는 원음 관련 정보의 고의적 누락 또는 잘못 기록된 정보에 취약한 단점이 있다.

본 연구에서는 믹스 음악을 구성하고 있는 원음의 인식 및 원음이 사용된 시간을 근거로 하는 정산 등을 고려한 믹스 음악을 위한 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안한 방법은 믹스 음악을 구성하는 원음 전체에 일정한 시간 간격으로 워터마크를 시간평면에서 주기적으로 삽입하고, 이와 별도로 웨이블릿 평면에서 원음의 특징과 관련된 워터마크를 삽입하는 이중 워터마킹 삽입 방식을 사용하였다. 따라서 시간 평면에 삽입된 워터마크는 워터마크가 존재하는 위치를 상관관계 식을 통하여 알 수 있도록 하는 역할을 수행하고 웨이블릿 평면에서 삽입된 워터마크는 원음의 종류를 알 수 있고 추출된 워터마크의 개수는 원음이 수록된 시간을 알 수 있도록 하였다. 또한 워터마크 추출 과정에서는 순환 이동(circular shift) 방법을 이용하여 워터마크를 추출하는데 걸리는 시간을 줄이도록 하였다. 또한 사용한 워터마킹 기술은 워터마크의 삽입으로 인한 원음의 왜곡이 가장 적다고 알려진 크기 변조 워터마킹 기술을 사용하였다. 또한 사용된 워터마크는 시드(seed)를 이용하여 발생 시킨 랜덤 열에 비가청성을 높이는 알고리즘을 적용하여 원음의 왜곡이 최소화 되도록 하는 방법을 사용하였다.

2. 오디오 워터마킹 기술의 제안

2.1 비가청성을 갖는 의사 랜덤 열 발생

본 연구에서는 비가청성을 향상시키기 위한 랜덤 열을 그림 1과 같이 방법을 통하여 발생시키는 방법을 사용하였다 [4]. 제안한 방법은 시드(seed)를 이용하여 이진 랜덤 시퀀스를 발생시키는 것으로부터 시작한다. 발생한 이진 시퀀스는 인접한 디지털이 0이 아닌 값을 허용하지 않도록 하기 위하여 표준부호 디지털 코딩을 실시한다 [5]. 디지털 코딩의 결과를 인접한 디지털과 순서쌍으로 나타내면 측정 위치에 인접한 디지털이 측정 위치의 디지털과 항상 부호가 반대라는 점이다. 이와 같이 제안된 이진 시퀀스는 주파수 분석을 통하여 그 특성을 분석할 수 있다.

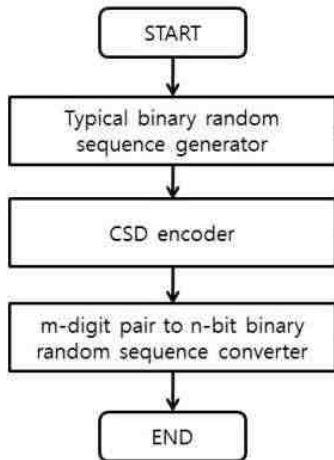


그림 1. 비가청성을 향상 시킨 랜덤 열을 발생시키기 위한 신호 흐름도
 Fig. 1. Schematic diagram for inaudible random sequence generation

위의 방법을 통하여 발생시킨 랜덤 열은 지연 성분 n_0 를 갖는 임의의 지점 i 에서 발생한 디지털의 주파수 성분은 $e^{2\pi f(n_0+i)}$ 로 나타낼 수 있고 인접한 지점 $i+1$ 에서 주파수 성분은 $e^{2\pi f(n_0+i+1)}$ 로 나타낼 수 있다. 본 연구에서 사용한 방법을 이용하여 이진 랜덤 열을 발생시키는

경우에는 인접한 디지털의 부호가 서로 다르기 때문에 두 디지털의 주파수 성분 $\delta_d(f)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_d(f) = \cos(2\pi f n_0) \Delta C + j \sin(2\pi f n_0) \Delta S \quad (1)$$

위식에서 ΔC 는 $\cos(2\pi f i) - \cos(2\pi f(i+1))$ 이고 ΔS 는 $\sin(2\pi f i) - \sin(2\pi f(i+1))$ 이다. 그러므로 식 (1)로부터 위식으로부터 ΔC 및 ΔS 의 영향으로 두 디지털의 주파수 성분의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 만약 일반적인 랜덤 열의 경우에서 와같이 인접한 디지털 간의 부호를 고려하지 않을 때에 두 디지털 사이의 주파수 성분은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_s(f) = \cos(2\pi f n_0) \Delta R + j \sin(2\pi f n_0) \Delta I \quad (2)$$

위 식에서 ΔR 및 ΔI 는 각각 다음과 같다.

$$\Delta R = \cos(2\pi f i) + \cos(2\pi f(i+1)) \quad (3)$$

$$\Delta I = \sin(2\pi f i) + \sin(2\pi f(i+1))$$

식 (3)에서 알 수 있는 바와 같이 부호를 고려하지 않은 전형적인 랜덤 열은 인접한 디지털 사이에 주파수 특성이 더해지는 경우가 나타날 수 있으며 따라서 두 주파수 성분의 합으로 인접한 디지털 간의 주파수 특성이 나타난다.

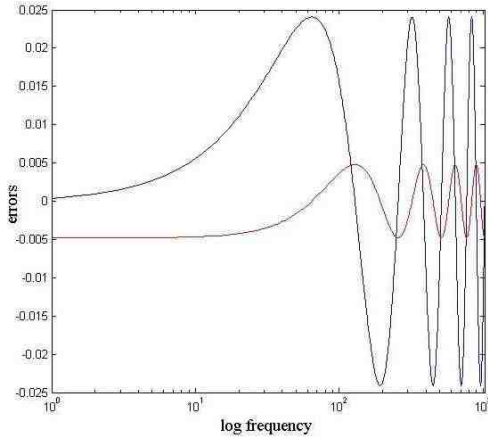


그림 2. 제안한 이진 랜덤 열 (붉은선)과 일반적인 이진 랜덤 열 (파란선)의 가청 영역 주파수 특성
 Fig. 2. Frequency characteristics of the proposed (red line) and typical (blue line) binary random sequences

그림 2는 식 (1)과 식 (2)의 방법에 의하여 발생시킨 이진 랜덤 열의 주파수 성분을 로그 스케일로 표현되는 인간의 청각 시스템을 고려하여 나타낸 것이다. 그림에서 붉은 선은 본 연구에서 제안한 이진 시퀀스의 주파수 특성을 나타내고 파란 선은 인접한 디지털이 일반적인 이진 시퀀스 발생에 의하여 만들어진 디지털들의 주파수 특성을 나타낸다. 이 결과가 의미하는 것은 본 연구에서 사용하려는 이진 랜덤 열이 기존의 이진 랜덤 열에 비하여 인간의 가청영역에서 주파수 이득이 적게 나타나기 때문에 정보의 은닉에 더 유리한 특성을 나타낸다는 것이다. 이와 같은 특성은 디지털 음향 저작물의 소유권을 주장할 수 있는 정보를 이진 랜덤 열을 이용하여 삽입하는 오디오 워터마킹 기술에서 매우 적합한 특성이다.

2.2 크기 변조 워터마킹 삽입 및 추출 과정

본 연구에서는 워터마크를 추출하기 위하여 그림 3과 같은 워터마크 삽입 과정을 구현하였다.

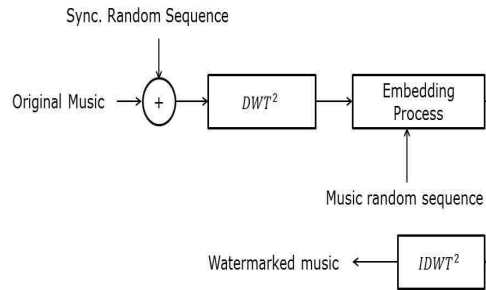


그림 3. 제안한 기술의 워터마크 삽입 과정
 Fig. 3. Watermark embedding process of the proposed watermarking technique

그림 3으로부터 원음에 반복적으로 워터마크를 일정한 간격으로 삽입하기 위한 동기화 랜덤 열을 시간 평면에서 삽입하도록 하였다. 이 과정은 모든 원음에 동일한 랜덤 열을 사용하기 때문에 해당 워터마크가 삽입된 위치에서 상관 식을 통하여 워터마크의 삽입 위치를 추정하기 위해서 이다. 본 연구에서는 2048 샘플마다 512 샘플로 구성된 동기화 랜덤 열을 삽입하였다. 동기화 랜덤 열이 삽입된 음악은 각 음원 마다 정보를 나타낼 수 있는 워터마크를 삽입하기 위하여 두 번의 이산 웨이블릿 변환을 수행하여 두 개의 중간 대역들 안에 각각 512 샘플들로 구성된 랜덤 열을 반복하여 삽입하였다. 삽입 하는 방식은 원음의 크기를 변조시키는 크기 변조 워터마킹 기술을 사용하였다. 크기 변조 워터마킹 기술은 대역확산 워터마킹 기술 또는 양자화 인덱스 워터마킹 알고리즘과 같은 전형적인 오디오 워터마킹 기술들에 비하여 원음의 왜곡률이 더 작은 기술로 알려져 있다 [6]. 웨이블릿 평면에서 워터마크 삽입이 끝난 후, 워터마크된 신호는 두 번의 역 이산 웨이블릿 변환을 통하여 시간평면 워터마크된 신호를 발생 시킨다.

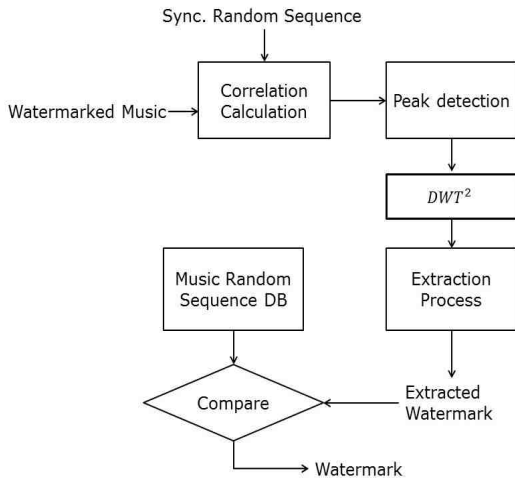


그림 4. 제안한 기술의 워터마크 추출 과정
 Fig. 4. Watermark extraction process of the proposed watermarking technique

그림 4는 본 연구에서 제안한 워터마킹 기술의 추출 과정을 나타낸 것이다. 그림으로부터 워터마킹된 음악은 워터마크가 위치한 부분을 추출하기 위하여 동기 랜덤 열과 워터마킹된 음악 간에 상관성을 계산한다. 그 다음은 상관성 계산 결과에 따라 워터마크가 삽입된 부분에서 생성된 피크를 검출하는 과정을 통하여 워터마크가 삽입된 위치를 추출한다. 음악에 삽입된 워터마크를 추출하기 위하여 워터마킹된 음악은 2번의 이산 웨이블릿 변환을 거쳐 중간 영역들에 삽입된 워터마크를 추출하는 프로세스를 진행하도록 하였다. 이 과정을 통하여 워터마크의 추출뿐 만 아니라 추출된 워터마크의 수를 계수하여 믹스 음악을 구성하는 음원의 종류 및 시간을 연산할 수 있도록 구성하였다. 또한 추출한 워터마크는 음악을 구분할 수 있는 랜덤 열들로 구성된 데이터베이스의 랜덤 열들과 순환 이동 방식을 이용하여 비교함으로써 추출한 워터마크에 해당하는 음악을 검색할 수 있도록 구성하였다 [7-10].

3. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서는 실험을 위하여 각각 10곡씩 장르 별 mp3 음악 파일을 준비하였다. 실험 과정은 각

각의 mp3 파일을 음원으로 사용하여 본 연구에서 제안한 워터마킹 삽입 방식을 이용하여 워터마킹된 음원을 구성하였다. 그림 5는 실험을 위하여 사용된 음원 및 그것의 워터마킹된 음악을 나타내고 있다.

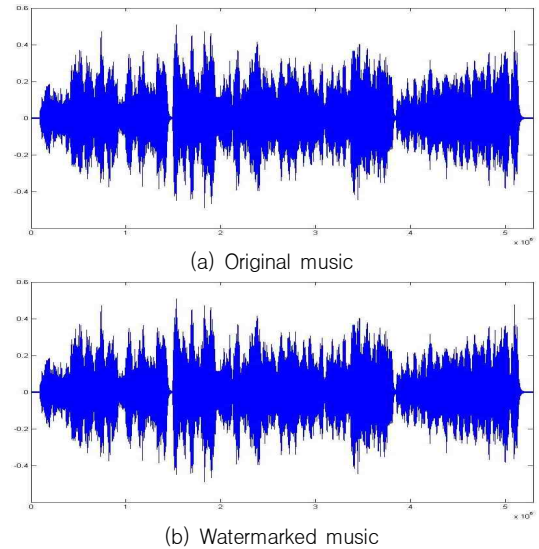


그림 5. 원음과 워터마킹된 음원의 예들
 Fig. 5. Examples of original and watermarked music

또한 그림 6은 원음과 워터마킹된 음원의 주파수 스펙트럼을 푸리에 변환을 통하여 비교한 것이다.

그림 6 (a)는 원음의 주파수 성분을 나타내고, 그림 6(b)는 워터마킹된 음원의 주파수 성분을 나타내고 있다. 그림에서 관찰한 바와 같이 원음과 워터마킹된 음원이 주목할 만한 차이를 나타내지 않

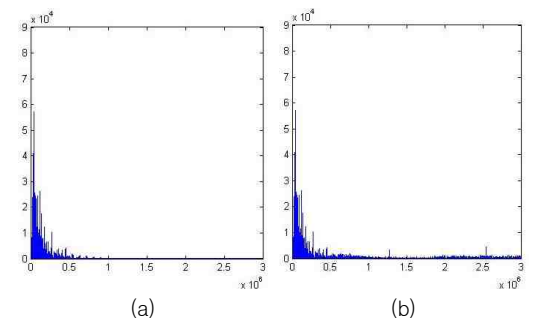


그림 6. 원음과 워터마킹된 음원의 스펙트럼 비교
 Fig. 6. Spectrum comparison of original and watermarked

음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 워터마크를 구현하기 위하여 사용한 랜덤 열이 인간의 가청 주파수 영역에서 작은 이득을 갖는 특성으로부터 기인한 것이다. 워터마크의 추출 과정에서는 워터마크된 음원들을 이용하여 만들어진 믹스 음악으로부터 워터마크를 추출하는 상황을 가정하여 50곡의 워터마크된 음원으로부터 3곡을 임의로 선택하고, 선택된 3곡에서 임의의 부분을 선택한다. 믹스 음악은 선택된 부분을 서로 연결하여 믹스 음악을 구성하였다. 표 1은 믹스 음악 실험을 위하여 구성된 3곡으로 이루어진 믹스 음악이 연결되어 있는 시간 간격의 예를 나타내고 있다.

표 1. 믹스 음악의 일례
Table 1. Examples of mixed music

Mixed music	Original music			
	No.	101	201	401
A	Time(sec)	3.21	3.67	3.62
	No.	204	503	303
B	Time(sec)	6.31	8.65	21.58
	No.	402	505	304
C	Time(sec)	7.42	3.47	31.5
	No.	301	204	202
D	Time(sec)	6.28	5.98	22.87

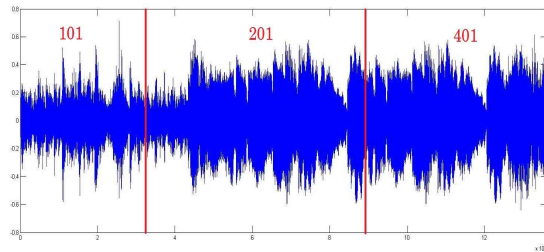


그림 7. 믹스 음악 A의 일례
Fig. 7. Example of mixed music A

또한 그림 7은 표 1의 믹스 음악들 중에 믹스 음악 A를 나타낸 것이고 붉은 선으로 나타낸 부분이 각각 워터마크된 원음 번호 101, 201 및 401이 구분되어지는 부분을 나타낸다.

워터마크를 추출하는 과정은 믹스 음악이 임의로 잘려진 워터마크된 음원의 연결로 이루어졌기

때문에 워터마크가 존재하는 부분을 탐색하는 것으로 시작한다. 기 서술된 워터마크의 추출 과정에서 나타낸 바와 같이 시 평면에서 동기 랜덤 열과 믹스 음악 간의 상관도 계산을 통하여 피크가 나타나는 부분이 워터마킹이 존재하는 부분으로 추정할 수 있다. 그림 8은 이에 대한 예로서 믹스 음악 A과 동기 랜덤 열 간의 상관성 연산 결과를 나타내고 있다.

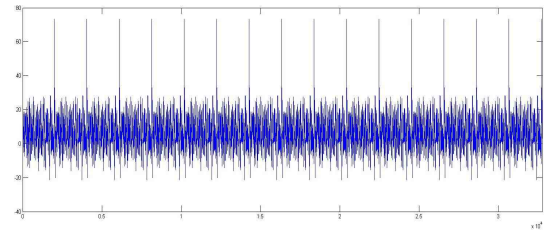


그림 8. 믹스 음악 A와 동기 랜덤 열의 상관성 계산
Fig. 8. Correlation calculation between the mixed music A and sync. random sequence

표 2. 표 1의 믹스 음악으로부터 추출된 원음들
Table 2. Extracted oOriginal music and time from the mixed music in Table 1

Mixed music	Original music			
	No.	101	201	401
A	Time(sec)	3.19	3.43	3.22
	No.	204	503	303
B	Time(sec)	6.21	8.12	20.24
	No.	402	505	304
C	Time(sec)	7.10	3.23	31.22
	No.	301	204	202
D	Time(sec)	6.17	5.55	22.34

본 연구에서는 제안한 워터마킹 알고리즘을 평가하기 위하여 신호 대 잡음 비(SNR: signal to noise ratio)를 40dB로 고정된 상태에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 워터마크 추출을 통한 음악의 종류 및 삽입 시간을 추출할 수 있는지를 확인하였다.

표 2는 제안한 워터마킹 알고리즘을 표 1에서 만들어진 믹스 음악 적용한 결과를 나타내고 있다.

이로부터 추정된 원음의 시간이 표 1에서 나타낸 원음의 시간에 비하여 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 믹스 음악을 구성하는 원음들이 정확하게 워터마크가 시작되는 부분에서 잘려지지 않는 경우 워터마크가 시작되는 부분까지의 원음 샘플들은 인식하지 못하게 되어 시간 오차가 발생하는 알고리즘의 특성에 기인한 것이다. 예를 들어 44.1 kHz로 샘플링된 CD 음질의 음원은 제한한 알고리즘에서 2048개의 샘플마다 동기 랜덤 열을 삽입하기 때문에 이론적으로 약 0.046초마다 워터마크를 추출할 수 있으며 실험에서는 2048개의 샘플을 한 블록으로 하는 32768 샘플에 대하여 동기 랜덤 열을 이용한 상관 분석을 수행하였기 때문에 0.734초의 길이를 갖는 음악 샘플에서 워터마크를 추출할 수 있도록 하였다. 그러므로 표2에서 나타낸 바와 같이 믹스 음악을 구성하는 대부분의 음원들이 0.734초 이내의 오차율을 갖고 시간을 추정해내는 것을 관찰 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 음악 예술계에서 새로운 문화로 떠오르고 있는 믹스 음악 즉, 기존에 작곡된 음악들을 섞거나, 연결하여 새로운 음악을 재창조하는 음악에서 믹스 음악을 구성하는 원음들을 구분하고, 삽입된 시간을 추정하여 이에 따른 저작권의 과금 체계를 구성하는 데 사용할 수 있는 새로운 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안된 워터마킹 기술은 이론적으로 약 0.046초의 음악 샘플로부터 음원을 구분할 수 있으며, 실제 적용 시에는 0.734초의 음원 샘플로부터 워터마크를 추출할 수 있도록 구성하였다. 실험을 통하여 제안한 워터마킹 기술이 믹스 음악으로부터 음원을 추출하고 삽입 시간을 약 0.734초의 오차범위 안에서 추출하는 것을 확인할 수 있으며 이와 같은 기술은 믹스 음악을 구성하는 음원의 저작권료의 과금 체계와 같은 기술적 조치를 취하는데 응용 가능한 기술이다.

REFERENCES

- [1] Chung-Ping Wu, Po-Chyi Su and C.-C. Jay Kuo, "Robust and efficient digital audio watermarking using audio content analysis", Proceedings of Security and Watermarking of Multimedia Contents II, vol. SPIE 3971, May, 2000.
- [2] P. A. Tremblay and S. McLaughlin, "Thinking Inside the Box: A New Integrated Approach to Mixed Music Composition and Performance", Proceedings of International Computer Music Conference, pp. 379-386, 2009.
- [3] David Stein "Method and System for Analyzing Copyright Information in a Mixed Long-Format Audio File ", US patent No. 13/475, 2012.
- [4] M. W. Nam, Y. S. Lee, " Study on the inaudible random signal generation using CSD coding," KIIECT, vol. 8, No. 4, pp. 263-269, 2015.
- [5] S. Hentschke, A. Herrfeld, N. Reifschneider, and D. Forster, "A flexible repetitive CSD code filter processor unit in CMOS", Proceedings of ASIC Conference and Exhibit, pp. 261-264, September, 1994.
- [6] Wen-Nung Lie and Li-Chun Chang, "Robust and high-quality time-domain audio watermarking based on low-frequency amplitude modification", IEEE Transactions on Multimedia, Vol.8 , No. 1, pp. 46-59, 2006.
- [7] Zhi Li, Guizhong Liu, Yang Yang and Junyong You, "Scale and rotation invariant local binary pattern using scale adaptive text on and subuniform based circular shift", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 21 , No. 4, pp. 2130-2140, 2011.
- [8] Xiangyang Wang, Panpan Niub and

Hongying Yang, "A robust digital audio watermarking based on statistics characteristics," Pattern Recognition, vol. 43, pp. 1-8, 2009.

- [9] M. D. Swanson, "Current state of the art, challenges, and future directions for audio watermarking, " Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Computing and Systems, pp.19-24, 1999.
- [10] W. Lie and L. Chang, "Robust and high-quality time-domain audio watermarking subject to psychoacoustic masking," Proc. IEEE. Int. Symposium of Circuits and Systems , vol. 2, pp. 45 -48 , 2002

저자약력

이 영 석(Young-Seok Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

디지털 신호처리, 임베디드 시스템, 의용생체공학

강 세 구(Se-gu Kang)

[학생회원]



- 2014년 8월 : 청운대학교 전자공학과 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 산업경영기술대학원 전자공학과 (석사과정)

<관심분야>

임베디드 시스템