

스트리밍 음악 서비스의 저작권 보호를 위한 오디오 포렌식마킹 시스템

서용석*, 박지현*, 유원영*

요약

본 논문에서는 인터넷 기반 스트리밍 음악 서비스의 저작권 보호를 위한 새로운 오디오 포렌식마킹 시스템을 제안한다. 제안한 방법에서는 스트리밍 서비스의 QoS 보장을 위해 고속으로 포렌식마크가 삽입된 MP3 파일을 생성한다. 이를 위하여 사전 포렌식마킹 과정을 두고, 사전 처리된 MP3 파일을 프레임 단위 조합 방식으로 사용자 정보가 삽입된 새로운 MP3 파일을 생성한다. 실험 결과, 제안한 방법은 강인성과 비인지성 및 실시간성 등에서 만족스러운 결과를 보였다. 또한 서버/클라이언트로 구현된 스트리밍 기반 오디오 포렌식마킹 시스템에서 실시간 삽입과 모바일 단말에서의 재생과 함께 삽입된 포렌식마크 검출이 가능함을 확인하였다.

키워드 : 포렌식마킹, 워터마킹, 저작권 보호, 스트리밍, 오디오

Audio Forensic Marking System for Copyright Protection of Streaming Music Service

Yongseok Seo*, Jihyun Park*, Wonyoung Yoo*

Abstract

In this paper, we propose a new audio forensic marking system for protecting the copyright of the Internet-based music streaming services. In the proposed method, in order to guarantee the QoS of the streaming service, high speed, and generates a forensic mark inserted MP3 file. We make pre-marking process and generate a new forensic marked MP3 file, a combination of the pre-marked MP3 frame, the inserted user information. Experimental results show that the proposed method satisfactory results robustness and imperceptibility, and real-time properties. In addition, we were confirmed that the real-time embedding and detection from the streaming-based audio forensic marking system that has been implemented on the server/client is possible.

Keywords : Audio, Copyright Protection, Forensic Marking, Streaming, Watermarking

1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Yongseok Seo
접수일:2014년 04월 18일, 수정일:2014년 06월 01일
완료일:2014년 06월 16일

* 한국전자통신연구원 차세대콘텐츠연구본부 콘텐츠보호연구실

Tel: +82-42-860-1137, Fax: +82-42-860-6671

email: yongseok@etri.re.kr

■본 연구는 문화체육관광부 및 한국저작권위원회의 2014년도 저작권기술개발사업의 연구결과로 수행되었음. [2012-cloud-9500, 클린 클라우드를 위한 내용기반 이용제한 기술 개발]

디지털 음악의 저작권 보호 기술 동향이 DRM에서 DRM-free로의 변화와 더불어 최근 오디오 콘텐츠 소비 패턴이 다운로드에서 스트리밍으로 변화하고 있다. 이에 따라 오디오 콘텐츠의 저작권 침해가 심각하게 대두되고, 이에 대한 해결방안으로 오디오 워터마킹 및 포렌식마킹에 대한 연구가 진행되고 있다[1-2].

포렌식마킹은 저작권 확인을 위한 워터마킹의 확장 기술로서 멀티미디어 콘텐츠의 불법유통을 추적할 수 있도록 콘텐츠에 구매자 또는 사용자를 식별할 수 있는 정보를 워터마크로 삽입하는 저작권 보호 기술이다. 워터마킹과 포렌식마킹

기술에서는 비인지성(imperceptibility), 강인성(robustness) 및 용량성(data capacity)이 중요한 요소이며, 최근에는 상업적 응용을 위해 실시간성에 대한 요구가 증가하고 있다. 그러나 이러한 요구사항들은 어느 하나의 성능을 높이면 다른 요소들의 성능이 저하되는 상충관계(trade-off)에 있어 모두 만족시키는 일은 매우 어렵다. 또한 인간 청각 시스템(HAS; Human Auditory System)이 시각에 비해 신호 변화에 보다 민감하기 때문에 워터마크와 같은 부가 정보를 이미지에 삽입하는 것에 비해 오디오 워터마킹은 보다 어려운 기술 분야이다[2, 8].

지난 십여 년에 걸쳐 오디오 워터마킹을 위한 방법으로 low-bit 코딩[3-4], phase 코딩[5], echo-hiding[6-7], patchwork 기법[8-9], 그리고 spread spectrum 기법[10-12] 등 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 이 중 spread spectrum 기법은 통신이론의 대역확산 기법을 이용한 것으로 원 신호와의 낮은 간섭과 높은 강인성 덕분에 워터마킹에서 가장 널리 사용되는 방법이다. 이와 같은 기존 방식들은 주로 강인성과 비인지성을 높이기 위하여 노력하였다.

한편, 인터넷 기반 디지털 음악은 대부분 압축된 형태로 서비스가 이루어진다. 일반적인 방법으로 부호화된 콘텐츠에 포렌식마크를 삽입하기 위해서는 먼저 복호화를 수행한 후 포렌식마크 삽입과 재부호화 단계를 거쳐야 하므로 상당히 많은 시간이 소요된다. 최근에는 이러한 실시간성 문제를 해결하기 위하여 사용자의 서비스 요구 시점에 포렌식마킹을 실시간 처리하면서 다운로드 또는 스트리밍 음악 서비스의 QoS에 영향을 주지 않는 고속 처리 방법이 연구되고 있다.

본 논문에서는 실시간성을 최우선시하여, 스트리밍 음악의 서비스 시점에 사용자ID와 같은 식별 정보가 삽입된 음악 파일을 서버에서 고속으로 생성할 수 있는 시스템을 제안한다. 또한 스트리밍 음악을 모바일 단말에서 재생과 동시에 실시간으로 사용자 식별 정보를 검출하여 저작권 확인이 가능한 오디오 포렌식마킹 시스템을 구현하고, 서버/클라이언트 형태로 구현한 시스템 성능에 대해 실험을 통하여 고찰하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스트리밍 기반 오디오 포렌식마킹 시스템의 전체 구성과 포렌식마킹된 파일을 고속으로 생성하기 위

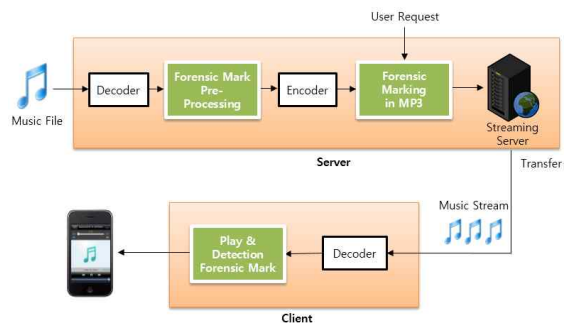
해 제안한 방법을 설명하고, 3장에서는 제안한 시스템의 성능 실험결과를 살펴본 후, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 포렌식마킹 시스템

본 장에서는 스트리밍 기반 오디오 포렌식마킹 시스템의 전체 구조를 설명하고, 포렌식마크 삽입과 검출 단계들이 어떠한 구성 요소로 이루어져 있는지에 대해 자세히 살펴본다.

스트리밍 기반 오디오 포렌식마킹 시스템은 (그림 1)과 같이 사용자 요청 시 실시간으로 포렌식마킹을 처리하기 위한 서버 부분과 재생 시 스트리밍 음악 파일에서 포렌식마크를 검출하기 위한 클라이언트로 구성된다. 실시간으로 포렌식마킹된 파일 생성을 위해 사용자 요청 이전에 사전처리를 하고, 이를 이용하여 서비스 요청 시점에 부호화된 파일에서 고속으로 사용자 정보가 포함된 파일을 재구성하는 구조를 갖는다.

(그림 1) 스트리밍 오디오 포렌식마킹 시스템

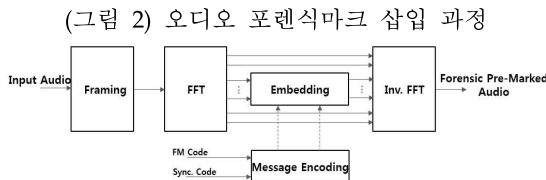


(Figure 1) Streaming audio forensic marking system

2.1 포렌식마크 삽입

스트리밍 기반 오디오 포렌식마킹 시스템에서 사전 처리 과정으로 오디오 신호에 포렌식마크를 삽입하는 세부 과정은 (그림 2)와 같다. 입력 오디오 파일을 포렌식마크 삽입 단위로 프레임링한 후 FFT 계수로 변환한다. 포렌식마크로 삽입될 사용자 ID는 검출 시 동기를 맞추기 위해 동기 코드와 함께 비트 단위로 삽입된다. FFT 계수들은 주파수 대역별로 분리가 가능하며 이때 비트가 삽입되는 영역을 정해줄 수 있다.

FFT 영역에서 비트 삽입이 완료되면 다시 FFT 역변환 과정을 통해 포렌식마크가 삽입된 오디오 샘플을 얻을 수 있다. 이러한 삽입 과정은 오디오 파일 전 구간에 반복적으로 수행되며, (그림 2)의 과정을 통해 포렌식 코드로 '0'의 정보 비트만 삽입된 오디오와 '1'의 정보 비트만 삽입된 오디오, 이렇게 한 쌍의 사전처리된 포렌식마킹 오디오 파일을 미리 생성한다.

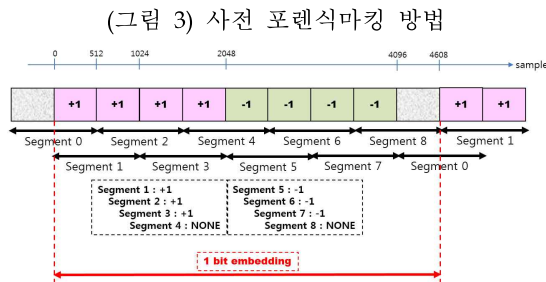


(Figure 2) Audio forensic mark embedding process

2.1.1 포렌식마킹 사전 처리

본 논문에서는 스트리밍 서비스되는 압축 음원을 MP3 파일로 가정하고 시스템을 구성하였다.

(그림 3)은 (그림 2)의 'Embedding' 블록에 해당하며, 사전 포렌식마킹 과정에서의 비트 삽입 구조를 상세히 나타내고 있다. 사전 포렌식마킹 과정에서는 'bit 0'만 삽입된 파일과 'bit 1'만 정보 비트로 삽입된 한 쌍의 파일을 생성하는데, 삽입하는 비트에 따라 MP3 프레임의 FFT 부밴드 에너지 값을 조절한다. 포렌식마크 삽입은 비트 단위로 수행되며, 1 비트의 정보 삽입을 위해 MP3 8프레임이 필요하다.



(Figure 3) Forensic mark pre-embedding

원본 신호를 삽입 비트에 따라 변경하는 방법은 식 (1)과 같이 원본 값을 삽입하고자 하는 비트에 따라 세그먼트 단위로 증가 또는 감소시키

는 방법으로 spread spectrum 기법과 유사하다.

$$Y = M * (1 + P * sign) \quad (1)$$

여기서 M은 원본 값, P는 삽입 강도, sign은 부호를 나타내며 sign의 구성은 다음과 같다.

- bit 0 삽입 시: +1, +1, +1, 0, -1, -1, -1, 0
- bit 1 삽입 시: -1, -1, -1, 0, +1, +1, +1, 0

하나의 MP3 프레임은 1,152 샘플로 구성되며, 한 프레임의 크기는 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$Frame\ size = 144 * bitrate / sampling\ rate \quad (2)$$

FFT 크기를 1,024로 하고 512 샘플씩 중첩하여 포렌식마크를 삽입한다면 (그림 3)과 같이 1 비트 삽입을 위해 4,096 (512 * 8 = 4,096) 샘플이 필요하다. 예를 들어 128kbps 44.1kHz MP3 파일을 대상으로 포렌식마크를 삽입하는 경우에는 한 프레임의 크기가 417 byte이고 MP3 4개 프레임(417 byte * 4) 단위로 1비트 삽입이 이루어진다. 이때 마지막 512 샘플(Segment 8)에는 포렌식마크를 삽입하지 않으며, 동기 비트는 삽입 대역을 2배로 하여 검출 강인성을 높이도록 하였다. 이때 비트 삽입을 위해 선택하는 단위 샘플 길이에 따라 전체 포렌식마크 정보가 원본 신호에 반복되는 횟수가 달라지며, 이에 따라 강인성이 달라지므로 응용 환경에 따라 적절히 조절하는 것이 가능하다.

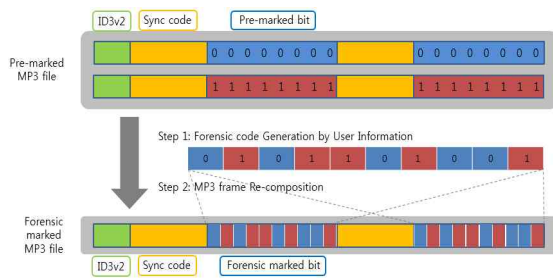
2.1.2 사전처리 파일을 이용한 포렌식마킹

본 논문에서는 스트리밍 시 사용자 정보인 포렌식마크가 삽입된 MP3 파일을 실시간 생성하여 서비스하기 위해 미리 생성해 둔 0과 1의 정보 비트가 삽입된 한 쌍의 MP3 파일을 조합하여 사용자 정보가 포렌식마크로 삽입된 형태의 오디오 파일을 재구성하는 방법을 제안하였다. 이와 같은 방법으로 포렌식마크를 삽입할 때 포렌식마크 검출기에서 검출이 용이한 형태의 단위 길이로 조합해야 하는데, 이 길이는 일반적으로 기본 패킷 길이 또는 기본 바이트 길이의 배수로 정할 수 있으며, 본 논문에서는 MP3 4개 프레임 길이로 하였다.

(그림 4)는 MP3 프레임 조합 방식으로 사용

자 식별 정보가 포렌식마킹된 MP3 파일을 생성하는 방법을 나타내고 있으며 (그림 1)에서 사용자 요청시 포렌식마킹을 하는 부분에 해당한다. 0과 1의 정보 비트를 사전에 삽입해 둔 2개의 MP3 파일에서 사용자 정보에 해당하는 포렌식 코드열에 따라 0과 1의 비트가 삽입된 MP3 프레임들을 조합하여 새로운 MP3 파일을 생성한다. 이때 MP3 파일 헤더인 첫 패킷과 동기 부호는 모두 동일하므로 사전 처리된 파일 어느 한 곳에서 복사하여 사용 가능하다.

(그림 4) 사전처리된 파일을 이용한 MP3 재구성

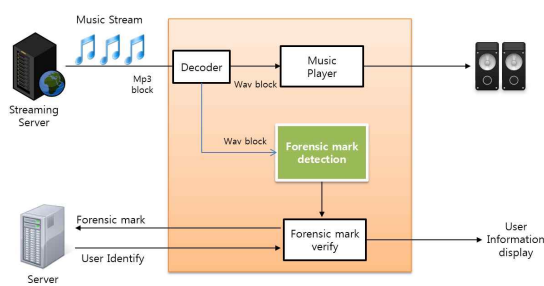


(Figure 4) MP3 re-composition using pre-marked file

2.2 포렌식마크 검출

스트리밍 음악으로부터 삽입된 포렌식마크를 검출하기 위한 클라이언트는 스마트 단말에 설치되는 모바일 앱 형태로서 (그림 5)와 같이 음악 재생과 동시에 포렌식마크 검출 모듈로 복호화된 데이터를 입력하여 포렌식마크를 검출한다.

(그림 5) 포렌식마크 검출 구조



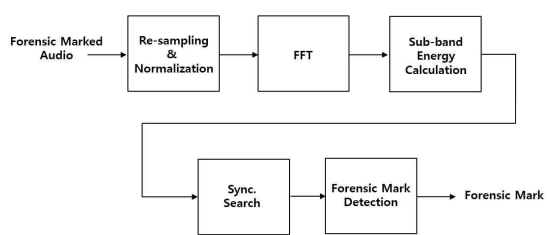
(Figure 5) Forensic mark detection structure

스마트폰의 음악 스트리밍은 대부분 http 다운로드 형식을 사용하고 있어 재생하는 동안 음

원을 다운로드하는 형태를 취한다. 따라서 음원이 다운로드 된 경우에는 재생 시점과 관계없이 포렌식마크 검출에 필요한 데이터를 입력하여 보다 빠른 시간 내에 포렌식마크를 검출할 수도 있다.

포렌식마크 검출 과정은 오디오 스트림을 일정 길이의 세그먼트로 나누고 각 세그먼트에 대해 포렌식마크 검출을 수행한다. 각 오디오 세그먼트에 대한 세부 검출 과정은 (그림 6)과 같이 전처리, FFT, 부밴드별 에너지를 계산하여 동기 신호 검색 및 포렌식마크 검출의 5 단계로 구성된다.

(그림 6) 오디오 포렌식마크 검출 과정



(Figure 6) Audio forensic mark detection process

포렌식마크 검출의 세부 과정은 다음과 같다.

- 1) 전처리: 입력 오디오를 미리 정해진 샘플링 레이트(예, 44.1kHz)로 리샘플링해서 정규화한다.
- 2) 고속 푸리에 변환(FFT): 리샘플링된 오디오를 짧은 길이의 프레임(일반적으로 수십 msec)으로 다시 나누고, FFT를 통해 각 프레임의 스펙트럼을 구한다.
- 3) 부밴드 에너지 계산: 삽입 시 포렌식마크 비트에 따라 부밴드 에너지를 미리 정해진 방법으로 변화를 주었으므로, 검출에서도 구해진 스펙트럼을 부밴드로 나누고 각 부밴드에서의 에너지 비를 계산한다.
- 4) 동기신호 검색: 포렌식마크의 정보가 시작되는 위치를 부밴드 에너지를 이용하여 동기신호의 후보 위치들을 여러 곳 찾는다.
- 5) 포렌식마크 검출: 얻어진 동기 후보 위치들에 대해 포렌식마크 검출을 시도하여 미리 정해둔 문턱값 이상이 되면 검출된 포렌식마크를 출력하게 된다.

3. 실험 결과

제안한 오디오 포렌식마킹 시스템의 성능을 알아보기 위하여 비인지성, 강인성 뿐만 아니라 스트리밍 서버와 모바일 클라이언트를 구성하여 실험을 하였다. 성능 실험을 위해 사용된 스트리밍 서버는 Intel Xeon CPU E5405 2.0GHz, RAM 2GB, CentOS release 5.6의 환경으로 구성하였으며, 6 Byte 길이의 포렌식마크 신호를 삽입하였다.

<표 1>은 포렌식마크 삽입으로 인한 비인지성 실험으로 MP3 192kbps의 5가지 장르 25곡에 대해 MOS(Mean Opnion Score)를 측정하였다. 5명의 피실험자(A~E)를 대상으로 한 MOS 실험결과 평균 점수 4.64를 보였다. [13]의 오디오 품질 지각 평가에 의하면 4.5 이상이면 인간이 음질의 왜곡을 인지할 수 없는 범위로 볼 수 있다.

<표 1> MOS 실험 결과

Tester	Rock	Dance	Ballade	Classic	Jazz	Avg.
A	5	5	5	4	4	4.6
B	5	5	4	5	5	4.8
C	4	5	5	4	4	4.4
D	5	5	4	5	4	4.6
E	5	5	5	4	5	4.8
Average MOS						4.64

<Table 1> MOS test results

<표 2>는 강인성 실험을 위해 포렌식마크가 삽입된 음악에 다양한 변형을 가한 후 검출 성능을 측정한 결과이다. 포렌식마크 정보는 음악의 전 구간에 걸쳐 반복 삽입되어 있어 임의 구간을 잘라내어도 삽입된 정보를 검출할 수 있다. 또한 실제 환경에서 흔히 발생하는 비교의적 왜곡인 MP3 저비트율 압축, 포맷변환, 샘플링율 변환에 대한 강인성 확인을 위해 Adobe Audition을 이용하여 변형 파일을 생성하고 실험을 하였다. DA/AD 변환 실험은 포렌식마크된 음악을 MP3 160kbps 압축 후 재생하면서 PC와 Line-In으로 연결하여 녹음된 파일을 대상으로 실험을 하였다. 일반적으로 이와 같은 디지털-아날로그 변환 과정을 거치면 출력장치에 따른 비선형 왜곡과 잡음 등이 원 데이터에 첨가되어 삽입된 포렌식마크의 검출이 매우 어려워진다.

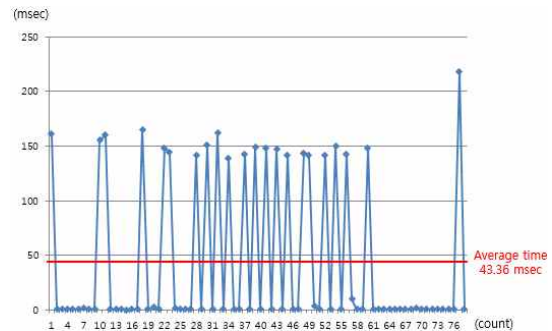
<표 2> 강인성 실험 결과

변형	검출율	비고
임의 구간 절삭	100%	임의 구간 1분 길이
압축	96%	MP3 64kbps
포맷 변환	92%	WAV → MP3(128k) → WMA(VBR Q75)
샘플링 변환	100%	44.1kHz → 16kHz
DA/AD 변환	92%	MP3 160kbps 압축 후 Line-Recording

<Table 2> Robustness test results

또한 포렌식마킹으로 인한 서버측 부하를 실험하기 위하여 스트리밍 서버에서 포렌식마크 삽입 모듈 추가로 인해 발생하는 서비스 지연시간을 측정하였다. 실험 결과 (그림 7)과 같이 총 78회 실험에서 평균 43.36msec의 지연이 측정되었으며, 이는 사용자 정보를 포렌식마킹하는데 소요되는 시간으로 해석 가능하다.

(그림 7) 스트리밍 서버 지연 시간

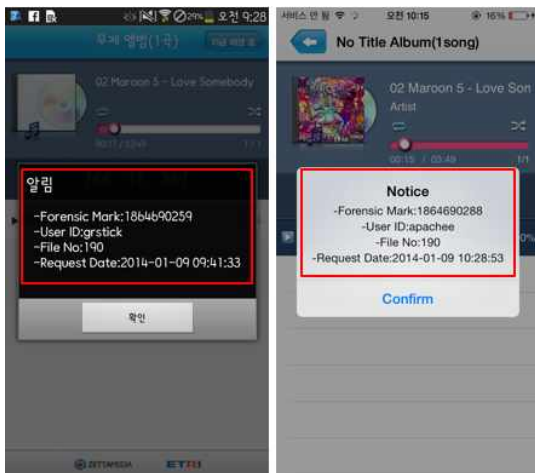


(Figure 7) Streaming server delay time

최근 급증하고 있는 모바일 단말을 이용한 음악 스트리밍 서비스를 고려하여, 포렌식마크된 스트리밍 음악을 모바일 단말에서 검출하는 실험을 하여 그 성능을 평가하였다. 이를 위해 다양한 단말기를 이용하여 포렌식마크가 삽입된 음원에서 포렌식마크 검출 시간을 OS와 기기별로 측정하였다. (그림 8)은 안드로이드와 iOS 환경으로 구현된 포렌식마크 검출 앱에서 서로 다른 사용자 ID로 서버에 접속 후 동일한 곡을 재생할 때 실시간으로 포렌식마크를 검출하는 모습이다. 동일한 곡이라도 서버에 로그인한 사용자에게 따라 검출된 포렌식마크가 다르며, 이러한

곡들이 불법 유통될 경우 검출된 사용자 ID 등의 정보를 이용하여 유포자를 확인하는 것이 가능하다. 실험에서 스트리밍 음악 재생 시작 후 평균 20초 이내에서 음악에 삽입된 포렌식마크 검출이 가능함을 확인하였다.

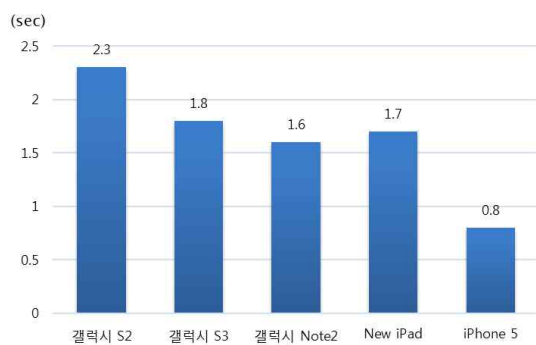
(그림 8) 모바일 단말에서의 포렌식마크 검출



(Figure 8) Forensic mark detection on a mobile

(그림 9)는 안드로이드와 iOS 기반의 모바일 단말에서의 포렌식마크 검출에 소요된 시간을 보여준다. 이 실험은 포렌식마크가 삽입된 MP3 파일을 단말에 저장한 상태에서 순수하게 검출을 위한 연산 시간만 측정하는 것이며, 각 플랫폼과 기기별 성능을 가늠하기 위함이다.

(그림 9) 모바일 단말에서의 검출 시간



(Figure 9) Detection time on mobile device

안드로이드 플랫폼의 경우 각 앱마다 사용할

수 있는 메모리 크기 제한으로 FFT 연산 시간이 증가하는 구조적 문제가 있었다. 이를 개선하기 위해 FFT 연산을 ARM 리눅스 커널에서 실행되는 바이너리 파일로 만들어 실행한 결과, JNI를 사용했을 때보다 약 2배 이상 속도가 향상되는 것을 확인할 수 있었으며 전체적으로 기기의 연산 능력인 CPU 클럭과 코어의 수에 비례하는 검출 속도를 확인할 수 있었다. 하지만 ARM 리눅스 바이너리를 이용하는 방법은 구글에서 공식 지원하는 것이 아니기 때문에 안전한 방법이 아니다. 따라서 JNI를 이용하면서 추출 속도를 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

4. 결론

본 논문에서는 온라인 음악 콘텐츠의 소비가 다운로드에서 스트리밍으로, PC에서 모바일 단말로의 변화를 고려하여, 스트리밍 음악 서비스의 저작권 보호를 위한 새로운 오디오 포렌식마킹 시스템을 제안하였다. 제안한 방법에서는 기존 스트리밍 서비스의 추가적인 지연시간을 최소화하면서 사용자 정보인 포렌식마크가 삽입된 MP3 파일을 고속으로 생성 가능하다. 이를 위해 본 논문에서는 포렌식마킹 사진 처리 과정과 사진 처리된 한 쌍의 MP3 파일을 이용하여 최종 MP3를 고속으로 재구성하는 새로운 방식을 제안하였다. 또한 스트리밍 서버에 포렌식마킹 모듈을 설치하고 포렌식마크 검출을 위한 모바일 앱을 구현하여 실제 서비스와 유사한 환경으로 구성하여 실험하였다. 실험 결과, 강인성과 비인지성은 기존 방식들과 유사한 성능을 보였으며, 특히 서비스 시점에 사용자 정보가 포렌식마크로 삽입된 파일을 고속으로 생성하고, 모바일 단말에서 재생과 동시에 삽입된 정보를 검출하는 속도 등에 대해서는 기존 방식에 비해 우수하다고 보여진다. 본 논문에서 스트리밍 음악의 실시간 포렌식마킹을 위해 제안한 사전준비와 재구성 방식은 MP3 음악뿐만 아니라 비디오 파일에도 유사하게 적용 가능하리라 기대되며, 향후 MP3 파일 뿐만 아니라 다양한 파일 형식에 대해서도 고속 처리가 가능하도록 관련 연구가 지속되어야 할 것이다.

References

[1] N. Cvejic and T. Seppänen, "Digital Audio Watermarking Techniques and Technologies: Applications and Benchmarks," IGI Global Snippet, 2008.

[2] I. Cox, M. Miller, and J. Bloom, "Digital watermarking," San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. 2002.

[3] N. Cvejic, "Algorithms for audio watermarking and steganography," Acta Universitatis Ouluensis, Series C, 2004.

[4] A. Ghobadi, et. al., "Blind Audio Watermarking for Tamper Detection based on LSB," Advanced Communication Technology (ICACT), 2013 15th International Conference on. IEEE, pp. 1077-1082, 2013.

[5] X. He, A. I. Iliev, and Scordilis, "A high capacity watermarking technique for stereo audio," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. Proceedings. (ICASSP'04), pp. 393-396, 2004.

[6] D. Gruhl, A. Lu, and W. Bender, "Echo hiding," Information Hiding. Springer Berlin Heidelberg. 295-315, 1996.

[7] Oscar T.-C. Chen and Wen-Chin Wu, "Highly Robust, Secure, and Perceptual-Quality Echo Hiding Scheme," Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on. vol. 16, pp. 629-638, 2008.

[8] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," IBM Systems Journal, 35(3), pp. 313-336, 1996.

[9] I. Natgunanathan, Y. Xiang, Y. Rong, W. Zhou, and S. Guo, "Robust patchwork-based embedding and decoding scheme for digital audio watermarking," Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on. vol. 20, no. 8, pp. 2232 - 2239, Oct. 2012.

[10] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," Image Processing, IEEE Transaction on. vol.

6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.

[11] H. J. Kim, et al. "Audio watermarking techniques," Intelligent Watermarking Techniques 7, pp.185-208, 2004.

[12] D. Kirovski, and H. Attias, "Audio watermark robustness to de-synchronization via beat detection," Information Hiding. Springer Berlin Heidelberg, vol. 2578, pp. 160-175, 2002.

[13] C. Neubauer, J. Herre, "Digital Watermarking and its Influence on Audio Quality," Audio Engineering Society Convention 105, Audio Engineering Society, 1998.



서 용 석

2001년 : 영남대학교 정보통신공학과 공학석사
 2009년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 공학박사

2001년~현 재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 저작권 보호기술, 멀티미디어 처리



박 지 현

1999년 : 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2010년 : 충남대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1999년~현 재: 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 정보보호, 팽거프린팅, 멀티미디어



유 원 영

1998년 : 전북대학교 전자공학과 공학석사
 2003년 : 전북대학교 전자공학과 공학박사

2001년~현 재: 한국전자통신연구원 책임연구원
 관심분야 : 워터마킹, 포렌식마킹, 팽거프린팅