

특집논문-01-6-1-01

방송 콘텐츠 보호를 위한 디지털 오디오 워터마킹

오 현 오*, 윤 대 희*, 석 종 원**, 홍 진 우**

Digital Audio Watermarking for Copyright Protection of Broadcasting Content

Hyen-O Oh*, Dae-Hee Youn*, Jong-Won Seok** and Jin-Woo Hong**

요 약

디지털 오디오 워터마킹 기술은 최근 들어 많은 응용 분야에서 관심을 가지고 있는 새로운 연구분야이다. 디지털 방송의 경우도 콘텐츠에 대한 저작권 보호 필요성이 요구됨에 따라 오디오 워터마킹에 대한 관심이 고조되고 있다. 디지털 워터마킹이란 영상, 오디오 등과 같은 디지털 데이터에 보이거나 들리지 않는 정보를 은닉시키는 기술을 말한다. 대표적인 오디오 워터마킹 방법에는 대역확산 기반의 워터마킹, 반향 워터마킹, 위상 부호화 워터마킹, 패치워크 워터마킹 등이 있으며, 계속해서 새로운 워터마킹 기법들이 개발되고 있다. 본 논문에서는 디지털 방송 콘텐츠의 보호를 위한 오디오 워터마킹의 적용 방법에 따른 기술적 요구사항을 알아보고, 현재 개발된 대표적인 오디오 워터마킹 방법들의 특징을 살펴본 뒤, 몇 가지 항목에 대해 장단점을 비교 평가한다.

Abstract

Over the last few years, digital audio watermarking has become an interesting issue in many application areas, including digital broadcasting. This is primarily motivated by a need to provide copyright protection of digital audio content. Digital watermarking is a technique to embed copyright or other information into the underlying data. Several possible audio watermarking techniques have been developed including spread spectrum watermarking, echo watermarking, phase coding, and patchwork. In this paper, we describe some requirements of digital audio watermarking as a tool for copyright protection of broadcasting content, and compare popular audio watermarking algorithms in some significant aspects.

I. 서 론

아날로그 표현에 비해 뚜렷한 장점을 가지고 있는 디지털 미디어의 발전은 방송 분야에서도 디지털 TV, 고선명 TV, 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting) 등과 같이 디지털화를 가속화시키고 있다. 디지털 방송은 기

존의 아날로그 방송과는 비교할 수 없을 정도의 고화질과 고음질의 신호를 가정까지 전송하는 것을 가능하게 하며, 특히 디지털 고유의 장점으로 인해 저장과 복사 후에도 품질의 열화가 발생하지 않는다. 국내의 경우도 공중파 및 위성에서의 HDTV가 시험 방송을 시작하였으며, 이미 상당한 시장을 형성하고 있는 인터넷 방송의 경우도 디지털 방송의 한 예라고 볼 수 있다. 다른 한편으로, 편집, 보관, 복사가 쉬운 디지털 방식의 장점은 디지털 콘텐츠에 대해 '저작권 보호'를 위한 새로운 장치가 요구된다. 즉, 디지털 콘텐츠의 불법적인 유통을

* 연세대학교 전기전자공학과 음향·음성·신호처리연구실
Aspp Lab., Dept. of Electronic and Electrical Eng., Yonsei University

** 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소
Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

막고 저작권을 보호하기 위한 방법이 필요하게 되었다. 인터넷을 통해 급속도로 확산되어 고음질의 음악 콘텐츠를 불법적으로 유통시키고 있는 MP3(MPEG-1/2 Audio Layer-III)는 디지털 콘텐츠에 대한 저작권 보호의 중요성을 보여주는 좋은 예이다. 디지털 방송의 경우도 라디오, TV를 통해 수신된 오디오나 영상 신호를 녹음, 녹화하는 것만으로 원 신호와 동일한 고품질의 콘텐츠를 가질 수 있게 되는데, 이로 인한 저작권자의 허가 없는 불법적인 편집, 복사, 유통을 제한할 수 있는 장치가 현재로서는 없는 실정이다.

디지털 워터마킹이란 영상, 오디오 등과 같은 디지털 데이터에 보이거나 들리지 않는 정보를 은닉시키는 기술을 말한다. 이때 저작권, 소유자, 사용 제한 등의 정보를 워터마크로 삽입하여 콘텐츠에 대한 저작권 보호의 수단으로 디지털 워터마킹을 사용할 수 있다. 저작권 보호를 목적으로 하는 디지털 워터마킹은 방송 모니터링, 소유자 확인, 소유권 증명, 인증, 유통 추적, 복제 제어, 접근 제어 등의 용도로 활용될 수 있다^{[1][2]}. 디지털 방송에서의 경우도 고품질로 불특정 다수에게 전송되는 방송 콘텐츠에 워터마크를 삽입하여 그 소유를 명확히 하고 수신자를 인증할 수 있는 기술적 장치를 구현할 수 있다.

디지털 워터마킹이 가져야 하는 특성은 그 활용 목적에 따라 여러 가지로 달라지지만, 기본적으로 원 신호를 왜곡시키지 않도록 하는 비지각성(imperceptibility)과 삽입된 워터마크가 쉽게 소멸되지 않아야 한다는 강인성(robustness)을 갖추어야 한다^{[1][3][4]}. 초기의 워터마킹 알고리즘은 신호처리적인 공격이나 의도적인 공격을 고려하지 않았기 때문에 비지각성에 초점을 맞추어 개발되었다. 그러나 워터마크가 저작권 보호 등으로 사용 영역이 점차 확대되면서 일반적인 신호처리 과정에 대한 강인성도 매우 중요한 요구사항이 되었다. 워터마크의 강인성을 높이기 위한 한 방법은 보다 큰 에너지로 워터마크를 삽입하는 것이다. 특히, MP3와 같은 고음질 압축 과정 후에도 워터마크가 사라지지 않도록 하기 위해서는 지각적으로 중요한 부분에 워터마크가 은닉되어야 한다^[5]. 그러나 이것은 지각되지 않아야 한다는 워터마크의 본질적 특성과 서로 상충되는 요구 조건이다. 결국, 현재의 모든 오디오 워터마킹 방법에 있어서 비지각성과 강인성 사이에는 서로 대립적인 관계에 놓여있다. 즉, 비지각성을 유지하기 위해서는 강인성이 떨어지고, 강인성을 높이기 위해서는 그만큼 음질의 열화를 감수해야만 한

다. 이밖에도 디지털 워터마킹은 원 신호 없는 워터마크 검출, 부호화 및 복호화 과정의 연산량, 삽입할 수 있는 데이터의 양 등이 응용 목적에 따라 중요한 요구사항이 될 수 있다.

본 논문에서는 디지털 방송 콘텐츠 보호를 위한 워터마킹 기술의 적용 방법을 두 가지 형태로 나누어 각각에 따른 기술적 요구사항을 알아보고, 현재 개발된 대표적인 오디오 워터마킹 방법들에 대한 기술적 특징을 비교 평가함으로써, 향후 오디오 워터마킹 기술의 연구 개발 방향을 제시할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

II. 디지털 방송에서의 오디오 워터마킹

디지털 방송에서 콘텐츠 보호를 위해 사용되는 오디오 워터마킹 기술의 적용 방법은 여러 가지가 있겠으나, 크게 다음 두 가지 형태로 나누어 생각할 수 있다.

1. 실시간 인증형 워터마킹

실시간 인증형 워터마킹은 각 가정의 수신기에서 디지털 방송을 수신할 때 콘텐츠에 삽입된 워터마크를 실시간으로 검출하여 현재의 방송을 시청 혹은 청취할 수 있는 권한이 있는지 여부를 확인하는 방식의 시스템이다. 그림 1은 이런 형태의 시스템에 대한 워터마크 부호화 및 복호화 과정을 나타내는 블록도이다. 방송국 등에서 콘텐츠를 방송하기 전에 워터마크 부호화기를 통해 워터마크를 삽입하여 전송하고, 수신기에서는 이 콘텐츠를 수신하여 삽입된 워터마크를 실시간 검출하여 콘텐츠의 사용에 대한 인증을 확보할 수 있도록 하는 형태의 구조이다. 이는 이

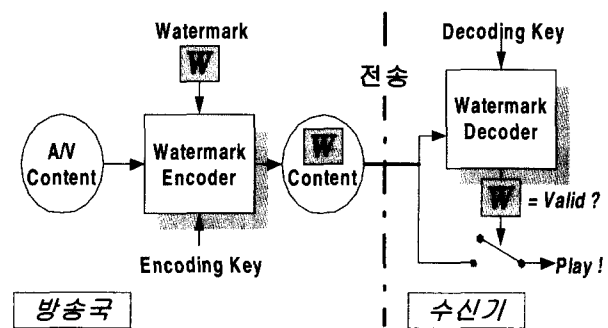


그림 1. 실시간 인증형 워터마킹 시스템

Fig. 1. Real-time authentication type watermarking system

전에 스크램블과 같이 콘텐츠의 암호화를 통해 사용 권한을 관리하던 방식과 유사한 형태의 응용 사례가 된다. 그러나 암호화 기술의 경우 암호가 한 번 해제된 콘텐츠에 대해서는 관리의 대책이 없었던 반면, 워터마크는 콘텐츠 자체 내부에 영구적으로 은닉되어있기 때문에 보호 기능이 일회성에 그치지 않는다. 이러한 구조의 워터마킹 시스템은 방송 모니터링과 같은 용도에도 적용될 수 있다^[2].

실시간 인증형 워터마킹 시스템에서 중요한 것은 부호화 및 복호화 과정의 실시간 처리 기술이다. 이를 위해서는 알고리즘 구현에 필요한 연산량을 최소화해야 한다. 콘텐츠에 대한 인증 절차를 위해 지나치게 고가의 장비가 요구된다면 어떤 소비자도 이런 시스템을 반가워하지 않을 것이기 때문이다. 또한 이 시스템 구조에서 콘텐츠에 대한 불법적인 복제의 방지 기능을 제공하기 위해서는 각 복호화기가 워터마크 정보를 일부 변경할 수 있는 기능이 요구된다. 이를 위해서는 각 수신기내에 워터마크를 삽입할 수 있는 부호화기가 내장되어야 하며, 알고리즘적으로 중복 워터마크 기능을 지원할 수 있어야 한다. 더불어 의도적으로 워터마크 정보를 변경하는 것은 불가능하도록 방어할 수 있는 기능도 요구된다. 또한 시청자가 채널을 수시로 변경하는 경우처럼, 임의의 시점부터 재생을 하더라도 워터마크를 검출할 수 있는 동기화가 반드시 필요하다.

2. 저작권 확인형 워터마킹

저작권 확인형 워터마킹은 콘텐츠에 대한 소유권 혹은 저작권에 대한 법적 판정이 요구되는 경우 콘텐츠의 소유자를 명확히 해 주는 형태의 응용 방식을 말한다.

즉, 그림 2에서처럼 워터마크가 삽입된 방송 콘텐츠를 수신하여 실시간 재생하거나 이를 저장, 복제하여 유통되는 동안 콘텐츠 내에 워터마크가 잠복해 있다가, 후에 콘텐츠 소유에 대한 법적인 문제가 발생한 경우, 워터마크를 복호화하여 저작자 혹은 소유자를 증명해 주는 것으로 디지털 콘텐츠에 일종의 서명을 남겨두는 개념이다. 이런 방식의 안전 장치를 디지털 콘텐츠에 확보하여 방송 프로그램 제공자는 안심하고 디지털 방송을 통해 불특정 다수에게 콘텐츠를 제공할 수 있을 것이다.

저작권 확인형 워터마킹에서는 복호화기의 실시간 처리 기능보다 어떠한 의도적 혹은 신호처리 공격에 대해서도 생존하여 잠복할 수 있는 강인성이 매우 중요한 요구사항이다. 따라서 많은 연산량을 차지하더라도 신뢰성 높은 검출이 가능해야 한다. 또한, 중복 워터마크를 허용하지 않는 것이 바람직하다. 처음 삽입한 소유자 이외에는 워터마크를 읽을 수는 있어도 그 내용을 바꾸거나 다른 워터마크를 삽입할 수는 없도록 하는 것이다. 또한 콘텐츠가 공격에 의해 변질되는 경우 이를 확인할 수 있는 장치인 'fragile watermark'를 병행하여 삽입하는 구조의 워터마킹 시스템도 고려할 수 있다.

3. 공개키와 비밀키

지금까지 개발된 대부분의 워터마킹 방법은 비밀키(secret key)에 의존하는 대칭형 기술이다. 여기서 대칭형이란 말의 의미는 워터마크의 검출을 위해서는 삽입시에 사용된 변수들을 복호화기도 알고 있어야 한다는 것이다. 이는 삽입된 워터마크를 제거하려는 의도적 공격자가 삽입 시에 사용된 변수를 알게 됨으로써 쉽게 워터마크를 제거할 수 있는 단서를 제공하게 된다. 따라서 실

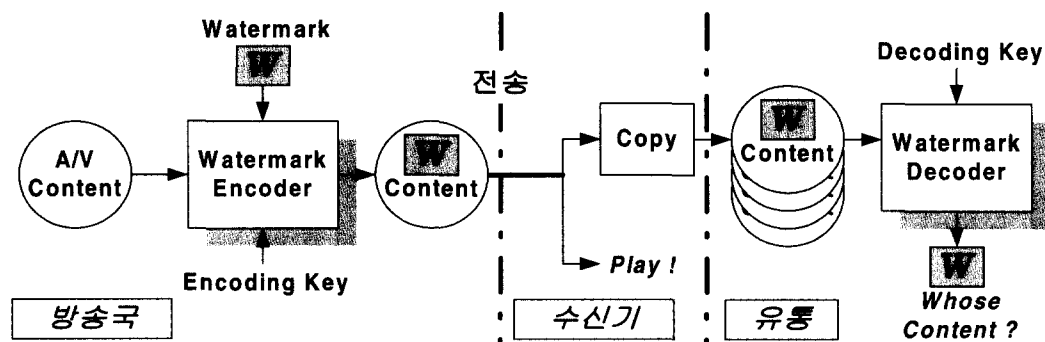


그림 2. 저작권 확인형 워터마킹 시스템
Fig. 2. Owner identification type watermarking system

시간 인증형 워터마킹에서처럼 다수에게 복호화기가 노출된 형태의 경우 대칭형 기술은 그 변수의 비밀 유지가 어려울 수 있다.

이에 반해, 비대칭형 워터마킹이란 삽입 시에 사용되는 키와 검출에 사용되는 키가 다른 파라미터를 갖는 방식이다. 검출 시에 사용되는 키를 공개키(public key)라 하며 공개키를 이용해서는 워터마크의 검출만을 할 수 있고 공격을 통해 워터마크를 제거하거나 위조된 워터마크를 삽입하는 것은 불가능하도록 단혀있는 구조의 알고리즘이다. 비대칭형 워터마킹의 예로 백색잡음을 이용한 방법이 있다^[6]. 여기서 백색잡음을 필터에 의해 변형하여 유색잡음 신호로 만들어 이 신호를 워터마크로 삽입하고, 복호화 과정에서는 오디오 신호에서 추출된 잡음의 주파수 형태가 삽입에 사용한 필터의 응답과 유사한지 확인하는 것으로 워터마크를 검출하게 된다. 즉, 백색잡음은 부호화기에서 사용되는 비밀키가 되고, 필터 응답은 복호화기에서 필요한 공개키가 되는 비대칭형 워터마킹 알고리즘이다.

Ⅲ. 대표적인 오디오 워터마킹 알고리즘

일반적으로 사람은 시각 정보보다 청각 정보에 보다 민감하기 때문에 오디오 신호의 손상이 영상 신호의 손상보다 더 쉽게 지각된다. 또한, 오디오 신호는 영상 신호에 비해 데이터의 양이 적기 때문에 정보를 감출 수 있는 영역도 상대적으로 부족하다. 지금까지 영상 신호에 비해 오디오 신호에 대한 워터마킹 방법이 수적으로나 성능적으로 개발이 지연되고 있는 이유는 바로 이 때문이다. 지금까지의 오디오 워터마킹 기술은 대부분 영상 워터마킹에서 사용된 기술이 그대로 수용되거나 변형된 것이 많다. 그러나, 영상 신호의 워터마킹 기술을 바로 오디오 신호에 적용할 경우 음질이 손상되기 쉬우며 강인성도 떨어질 수 있다. 따라서, 오디오 신호 고유의 특성을 이용한 워터마킹 방법의 개발이 필요하다. 지금까지 연구된 대표적인 오디오 워터마킹 방법으로는 LSB 부호화 방법, 위상 정보를 변형하는 방법, 대역 확산을 이용한 방법, 반향(Echo) 신호를 이용하는 방법, 패치워크를 이용한 방법 등이 있다^{[3][4][7][8]}.

1. LSB 부호화

LSB (Least Significant Bit) 부호화^[4]는 양자화된 오

디오 샘플의 최하위 비트들을 변형하여 원하는 정보를 삽입하는 방법이다. PCM 형식의 디지털 오디오 데이터에서 최하위 비트의 변형은 음질에 거의 영향을 주지 않는다는 성질을 이용하여 여기에 정보를 삽입하는 것이다. 삽입과 검출 과정이 간단하고 음질 왜곡이 적은 장점이 있지만, 실제로 필터링이나 압축과 같은 신호 처리 과정을 거치게 되면 LSB 값은 보존되기 힘들기 때문에 강인성에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않아 저작권 보호를 위한 워터마킹으로 사용하기 어렵다. 삽입할 수 있는 정보의 비트율은 상대적으로 높기 때문에 콘텐츠에 대한 설명이나 제목, 부가 정보 등 강인성이 크게 요구되지 않는 정보를 전송하는 방법으로 사용할 수 있다. 삽입되는 정보를 암호화하고 강인성을 향상시키기 위해 PN 시퀀스를 이용하여 대역을 확산시켜 삽입하는 방법도 제안되었다. 이 개념은 확장되어 LSB 뿐만 아니라, 조금 더 큰 신호로 원 신호에 삽입하는 방법도 가능하다. 이에 대해서는 다음 절의 대역확산 기반의 워터마킹에서 다시 다루도록 한다.

2. 대역확산 기반의 워터마킹

대역 확산(Spread Spectrum)을 이용한 방법^{[4][7]}은 영상 워터마킹에서부터 널리 사용되며, 오디오 워터마킹에서도 현재 가장 많이 연구되고 있는 대표적인 워터마킹 방법이다. 이진수로 표현된 워터마크 신호를 PN(Pseudo Noise) 시퀀스로 대역 확산하여 오디오 신호에 더하는 방법으로 삽입한다. 삽입된 워터마크는 PN 시퀀스의 높은 자기 상관 성질을 이용하여 상관기에 의해 검출할 수 있으며, 간섭에 강한 특징을 갖는다. 이때, 복호화기에서는 삽입에 사용된 PN 시퀀스를 알고 있어야 검출이 가능하며, 이것이 검출을 위한 변수로 사용된다. 강인성의 향상을 위해서는 큰 에너지를 갖도록 삽입해야 하는데, 삽입되는 에너지가 증가할수록 원 신호의 SNR이 나빠지며, 따라서 음질의 왜곡을 초래한다.

이때 심리 음향 모델 등을 통해 얻을 수 있는 지각적 마스킹 효과를 이용하여 PN 시퀀스를 변형하여 삽입하게 되면 지각되지 않으면서도 비교적 큰 에너지의 워터마크 삽입이 가능하며 강인성을 보다 향상시킬 수 있다^{[8][9]}. 검출 시에 원신호를 사용하게 되면 적은 연산량을 갖는 복호화기만으로도 신뢰도가 매우 높은 복호화가 가능하지만, 실시간 인증형 워터마킹과 같이 원 신호를 갖는 것이 불가능한 대부분의 응용 시스템에서는 사용할

수 없게 된다. 따라서 복호화기에서 원 신호를 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 블라인드(blind) 기법의 개발이 필요하다.

블라인드 검출 방식에서 삽입된 워터마크 신호는 오디오 신호에 비해 에너지가 매우 작기 때문에 PN 시퀀스를 이용하여 직접 상관도를 구하는 경우 검출이 잘 이뤄지지 않는다. 따라서, 워터마크가 삽입된 오디오 신호로부터 원래의 오디오 신호만을 분리하여 제거하는 과정이 필요하다. 오디오 신호를 제거하는 방법으로 선형 예측 분석(Linear Predictive Analysis)을 이용하는 워터마크 방법이 있다^[10]. 일반적으로, 오디오 신호는 PN 시퀀스에 비해 인근 샘플들간의 상관성이 높기 때문에 선형 예측을 통해서 오디오 신호에 해당하는 성분만을 제거할 수 있다. 한편, 부호화기에서 마스킹 곡선에 의해 PN 시퀀스를 변형한 경우, 워터마크 신호도 시간 영역에서 이웃 샘플들간의 상관성을 갖게 되므로 선형 예측 방법에 의해 오디오 신호와 함께 일정 부분 제거되는 문제가 발생할 수 있어서 각별한 노력이 필요하다.

PN 시퀀스를 변형하기 위한 마스킹 곡선을 얻는 심리음향 모델 과정은 MPEG/Audio [11]와 같은 고음질 오디오 부호화 기술에서 제안된 방법을 사용하는데, 연산 과정이 매우 복잡하여 실시간 워터마크 시스템의 구현을 어렵게 하는 요인이 된다. 부호화 및 복호화 과정의 연산량 감소를 위해, 심리음향 모델에 대한 통계적 분석을 바탕으로 이를 대체할 수 있는 고정된 지각 필터를 사용하여 복잡성을 크게 낮추면서도 심리음향 모델을 사용한 방법과 거의 유사한 음질과 복호화 성능을 갖는 워터마크 시스템이 제안되기도 하였다^[12].

대역확산 기반의 워터마크 방법은 높은 암호화 특성을 가지며 일반적인 신호처리 공격에 대해 대체로 강인한 장점이 있지만, 음악의 재생 속도가 달라지는 현상인 선형 속도 변화(Linear Speed Change)와 같은 시간축 길이 변화형의 공격에 취약하다는 문제점을 가지고 있다. 또한, 고음질 오디오 부호화 기술의 발전으로 지금보다 효율적인 압축 방법이 등장한다면, PN 시퀀스를 이용하여 삽입된 워터마크 신호는 결국 부호화 과정에서 제거될 수도 있다. 또한, 고음질을 추구하는 청취자들의 경우 비록 삽입된 PN 시퀀스가 지각적으로 들리지 않는다고 하여도 고품질의 오디오 신호에 잡음을 첨가하는 것 자체를 선호하지 않는 경향이 있다.

3. 반향을 이용한 워터마크

반향(Echo)을 이용한 워터마크^[4]에서는 귀에 들리지 않을 만큼 작은 반향을 오디오 신호에 첨가함으로써 워터마크 정보를 삽입하게 된다. 오디오 신호를 프레임 별로 나누고, 각 프레임에 삽입하고자 하는 이진 워터마크에 따라 다른 반향을 삽입하여 부호화하고, 복호화 과정에서는 각 프레임 별로 삽입된 반향의 시간 지연(offset)을 검출하여 이진 정보를 복호화하게 된다. 이 경우 첨가되는 신호는 잡음이 아니라 원 신호와 같은 특성을 갖고 있는 오디오 신호 자체이기 때문에, 삽입된 신호가 들리더라도 왜곡으로 인지되지 않으며 오히려 음색을 풍부하게 해주는 효과를 기대할 수 있어서 고음질 오디오 워터마크에 사용하기 적합하다. 또한 이렇게 삽입된 워터마크는 신호의 캡스트럼이 갖는 특성을 이용하여 원 신호 없이 복호화가 가능하다^[4]. 반향 워터마크의 경우 프레임과 프레임의 경계에서 불연속점이 발생하여 왜곡을 초래할 수 있는데, 이를 최소화하기 위해 각 프레임 사이에 중첩(overlap) 구간을 두어 반향 오프셋이 자연스럽게 변화하도록 하는 기법을 사용한다^[4].

반향을 이용한 워터마크에서도 워터마크의 강인성을 향상시키기 위하여 충분히 큰 반향 신호를 삽입하게 되면 왜곡을 초래할 수 있다. 음질 왜곡은 일으키지 않으면서 검출 시에 나타나는 워터마크 에너지를 크게 향상시킬 수 있는 방법으로, 위상이 반대이고 미세한 시간 지연의 차이를 갖는 반향을 이용한 방법이 제안되었다^[13]. 위상이 반대인 두 신호의 상쇄 효과로 인해 삽입되는 반향의 에너지는 하나의 반향을 삽입하는 경우에 비해 월등히 작지만 삽입된 두 반향은 캡스트럼에 의해 모두 검출이 가능하기 때문에 검출 시에 발견되는 에너지는 증가하게 된다.

반향 워터마크는 음질면에서 매우 뛰어나고 여러 가지 신호처리 공격에 대해 비교적 강인한 특성을 가지고 있으며, 특히 선형 속도 변화 공격에 대해서도 변화된 정도를 복호화기에서 추적하여 보상함으로써 검출을 할 수 있는 장점을 갖는다^[14]. 반향 워터마크의 단점은 캡스트럼 연산을 통해 워터마크를 검출하기 때문에 복호화기의 연산량이 많이 요구된다는 점과 삽입과 검출을 위한 비밀키가 오프셋과 프레임 길이로 단순하다는 점이다. 검출 변수의 암호화를 향상시키기 위해서는 오프셋 값을 프레임별로 가변시키는 방법을 고려할 수 있다. 또한, 보다 강인하면서도 음질 왜곡은 최소화하는

반향 워터마킹을 위해서 프레임 길이와 오프셋 등을 원 신호의 특성에 따라 가변시키는 알고리즘을 고려할 수 있다.

4. 위상을 이용한 워터마킹

위상을 이용한 방법에서는 사람의 귀가 오디오 신호의 위상 정보에 둔감하다는 특성을 이용한다. 여기에는 오디오 신호 스펙트럼의 초기 위상을 변형하여 원하는 정보를 삽입하고 이를 검출하는 방법^[4]과 각기 다른 pole과 zero를 갖는 전역 통과 필터를 이용하여 각 프레임 별로 이진 정보를 삽입하는 방법^{[15][16]}이 있다. 첫 번째 방법의 경우, 고음질을 얻기 위해서는 삽입할 수 있는 정보량이 지극히 제한되고, 실제로 삽입된 워터마크는 오디오 신호의 시작 부분에만 존재하기 때문에 신호처리 과정에서 쉽게 손상을 입게 되어 사용하기 어렵다.

두 번째 방법에서는, 이진수의 워터마크 정보로 다음과 같이 응답 이득이 1이고 서로 다른 pole과 zero를 갖는 두 개의 전역 통과 필터에 대응시켜서 프레임별로 삽입한다.

$$H_i(z) = \frac{za_i + 1}{z + a_i}, \quad i = 0, 1 \quad (1)$$

복호화기에서는 각 프레임별로 약속한 위치에서 오디오 신호의 zero 특성이 나타나는지 여부를 검출하여 이진 워터마크 정보를 복호화 할 수 있다. 전역 통과 필터를 이용한 방법은 결국 삽입되는 정보가 오디오 신호 전체에 분포하는 것이 아니라, 각 프레임의 경계에만 존재하는 바람직하지 않은 특성과 함께 압축과 같은 신호처리 공격에 취약한 단점을 갖는다. 또한, 프레임 경계의 불연속점은 음질의 심각한 왜곡을 초래할 수 있기 때문에 이에 대한 개선책이 필요하다^{[16][19]}.

5. 패치워크 워터마킹

패치워크(Patchwork)를 이용한 워터마킹^[4]은 영상 신호에 대한 워터마킹 방법으로 처음 제안되었다. 이 방법은 하나의 모집단에서 임의로 선택된 두 개의 표본 집합은 서로 비슷한 통계적 특성을 갖는다는 개념에 바탕을 두고 있다. 영상 신호를 구성하는 공간상의 각 점들을 모집단이라고 하고, 여기서 무작위로 n 개씩 추출한 표본 집합을 X 와 Y 라고 할 때, 이 두 집합의 평균

과 표준편차는 통계적으로 같다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$E(\bar{X} - \bar{Y}) = 0 \quad (2)$$

만약 이런 두 표본 집합에 대해 강제적으로 한 집합의 샘플들에는 임의의 상수 d 를 더하고 다른 집합의 샘플들에는 d 만큼 빼다면, 두 표본평균의 차에 대한 기대값은 $2d$ 가 될 것이다. 이러한 성질을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이 패치워크이다.

패치워크 알고리즘을 오디오 신호에 적용할 경우는, 오디오 신호를 주파수 영역으로 변환한 후 주파수 스펙트럼을 모집단으로 하여 워터마크를 삽입하고 검출한다^[17]. 또한, 워터마크의 강인성을 향상시키기 위해 임의의 상수를 더하는 대신, 원래 샘플의 크기에 비례하는 값을 더하는 방법도 제안되었다^[17]. 한편, 패치워크 알고리즘을 변형한 MPA 알고리즘에서는 주파수 변환 방법으로 웨이블릿을 사용하였으며, 일반적인 오디오 신호뿐만 아니라, 음성신호에 적용하는 경우에 대한 실험도 수행되었다^[18].

패치워크 방법은 시간 영역의 신호뿐만 아니라, 다양한 방법으로 변환된 신호에 대해 적용할 수 있으며, 변환 방법 자체가 하나의 키 역할을 담당하게 된다. 또한, 샘플을 추출하여 표본집합을 형성하는 과정 자체가 암호화 기능을 제공하는 장점이 있다. 비밀키를 이용한 블라인드 검출이 가능하고, 일반적인 신호처리 공격에 대해서도 대체로 강인할 수 있다. 그러나 역시 선형 속도 변화 공격에 취약하며 삽입할 수 있는 정보의 양이 너무 적고, 부호화 및 복호화 과정의 연산량도 많이 요구되는 것이 단점으로 지적되고 있다.

IV. 비교 평가 및 토의

1. 각 알고리즘 별 비교 평가

표 1은 III장에서 살펴본 대표적인 오디오 워터마킹 방법들에 대해 몇 가지 특징을 비교하여 정리한 결과이다. 비교로 사용한 항목은 음질, 공격 전 및 MP3 공격 후의 BER, 구현의 복잡성, 암호성, 삽입 데이터율 등이다. 패치워크를 제외한 나머지는 각 방법에 대해 제안한 논문의 내용을 바탕으로 구현을 통해 얻은 결과이며, 패치워크 알고리즘에 대해서는 논문의 결과를 인용하여 나머지 방

표 1. 대표적 워터마킹 방법의 특징 비교
Table 1. Properties comparison for 5 audio watermarking algorithms

평가 기준	Imperceptible	Perceptible but not annoying	Slightly annoying	Imperceptible	Perceptible but not annoying
인식 가능성	0.0 %	0.0 %	0.3 %	0.0 %	0.0 %
검출 가능성	undetectable	3.0 %	undetectable	0.4 %	1.2 %
복호화 복잡성	0.1 PCU*	20 PCU	3 PCU	1 PCU	10 PCU
삽입 복잡성	0.1 PCU	5 PCU	2 PCU	10 PCU	10 PCU
강인성	매우 낮음	높음	보통	보통	높음
데이터율	44100 bps	43 bps	43 bps	14 bps	3 bps

* PCU : Processing Complexity Unit

법의 결과에 대한 상대적인 값으로 나타내었다^[17]. 음질은 10명의 오디오 신호처리 전공자를 대상으로 비공식 주관적 음질평가를 통해 얻은 결과를 Diffgrade의 대표값으로 나타내었다^[14]. BER(Bit Error Rate)은 워터마크 삽입 후 검출 시에 나타나는 오차를 백분율로 나타내었으며, 신호처리 공격에 대한 강인성을 알아보기 위해 MP3 공격 후의 BER도 측정하였다. 부호화 및 복호화 과정의 복잡성은 구현 환경에 따라 다를 수 있기 때문에, 알고리즘이 요구하는 처리 과정의 복잡성을 반향 워터마킹 부호화 과정을 기준으로 상대적인 값(PCU: Processing Complexity Unit)으로 나타내었다. 이때, 반향 워터마킹 부호화 과정에서 한 샘플처리 과정에 드는 연산량은 대략 곱셈 2회 덧셈 1회이다. 암호성은 제3자에 의해 삽입에 사용된 변수들이 노출되고 워터마크 정보를 변형시키거나 다른 정보를 삽입할 수 있는 가능성의 여부를 상대적으로 측정한 항목이다. 데이터율은 각 알고리즘이 삽입할 수 있는 최대 비트율을 44.1kHz로 샘플링된 1채널 오디오 데이터를 기준으로 bps(bit per second) 단위로 나타내었다.

저작권 보호를 위한 워터마킹이 기본적으로 갖추어야 하는 특성이 음질(비가청성)과 강인성이라고 볼 때, LSB 부호화와 All-pass 필터 부호화 방법은 이 조건을 만족시키지 못하기 때문에 부적합하다. 대역확산 방법은 음질과 강인성 측면에서 어느 정도 우수한 성질을 가지고 있으며, 삽입되는 비트율도 상대적으로 높다. 그러나, 다음 절에 언급될 선형 속도 변화와 같은 시간축 변화형 신호처리 공격에 치명적인 약점을 가지고 있어서 이를 극복하는 것이 가장 큰 문제라 할 수 있으며, 부호화 과정의 복잡성이

상대적으로 매우 높은 것도 단점이다. 패치워크 방법의 경우 음질과 강인성 측면에서는 매우 우수하지만, 시간축 공격에 취약하고 삽입되는 데이터율이 지극히 낮다는 것이 단점으로 지적될 수 있다. 반향 워터마킹은 음질면에서 가장 우수하며, 강인성도 매우 높은 것이 장점이지만, 상대적으로 삽입 가능한 비트율이 낮고 암호성도 높지 않은 것이 단점이다. 또한 복호화기의 복잡성도 상대적으로 높은 편이다. 그러나, 반향 워터마킹은 시간축 변화형 공격에 대해 어느 정도 대응이 가능하기 때문에 보다 연구가 진행될 필요가 있다.

2. 시간축 공격에 대한 대응 분석

현재까지 개발된 오디오 워터마킹 알고리즘이 공통적으로 극복해야 할 가장 큰 과제 중의 하나가 시간축 공격에 대응할 수 있는 동기화(synchronization)이다. 여기서 동기화란 복호화기가 워터마크가 삽입된 오디오 신호로부터 프레임의 올바른 위치를 찾아서 정렬하고 올바른 검출이 가능하도록 하는 과정을 말한다. 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 아무런 신호처리나 왜곡, 혹은 공격이 가해지지 않은 경우와 오디오의 재생은 항상 첫 번째 샘플부터 시작된다는 가정을 하는 경우엔 이것이 문제되지 않는다. 그러나, 선형 속도 변화나 피치 변조(Time Scale Modification) 등과 같은 시간축 길이가 변화하는 공격이 가해지는 경우에 프레임의 길이와 위치 자체가 부호화 시에 사용한 것과 달라지며, 각 알고리즘의 특성에 따라 검출에 필요한 변수들도 달라지는 문제가 발생하기 때문에 이를 적절히 보상하지 않으면 검출이 전혀 이루어지

표 2. 시간축 공격에 대한 동기화 및 워터마크 검출 방안
Table 2. Synchronization after time domain attack and Watermark Detection

공격 유형	검출불가	변화율을 알면 검출가능	검출불가	Pilot Echo를 이용 검출가능	검출불가
Time Shift Attack	검출불가	변화율을 알면 검출가능	검출불가	Pilot Echo를 이용 검출가능	검출불가
Time Scale Modification	검출불가	검출불가	검출불가	검출불가	검출불가
Resample Attacks	syncword 삽입 시 검출가능	검출가능	동기 검출을 위한 노력 필요	동기 검출을 위한 노력 필요	동기 검출을 위한 노력 필요

지 않는다. 또한 오디오 신호가 임의의 샘플에서부터 재생되는 경우에는 부호화기에서 정의한 프레임의 경계를 찾는 것과 현재 프레임의 데이터가 실제 정보에서 어떤 부분을 표현하는지를 찾아내는 것이 어려운 문제가 된다. 특히, 실시간 인증형 워터마킹의 경우에는 사용자가 해당 방송 콘텐츠를 시청할 때 반드시 처음부터 재생한다고 가정할 수 없기 때문에, 임의의 시점에서부터 재생을 하는 경우에 대한 동기화는 매우 중요하며 반드시 요구되는 사항이다.

표 2에는 앞서 살펴본 다섯 가지 오디오 워터마킹 방법 별로 시간축 공격에 대한 대응 결과 및 알고리즘적 대응 가능성을 비교 정리하였다. 대역확산 방법은 임의의 시점 재생(Random Access)에 대한 동기화 측면에서 매우 유리한 특성을 가지고 있다. PN 시퀀스의 상관도 자체가 프레임 동기를 찾는 역할을 할 수 있기 때문이다. 다만, 이를 위해서는 복호화기의 연산량이 크게 증가하게 된다. 그러나, 선형 속도 변화 및 피치 변조에서와 같이 프레임의 길이가 달라진 경우에 대한 검출과 동기화는 아주 어렵거나 거의 불가능하다. 시간축 길이가 달라질 경우 삽입에 사용된 PN 시퀀스의 길이도 이에 비례하여 변화하기 때문에, 그 변화된 정도를 알지 못하면 검출이 되지 않는다. 따라서 변화된 정도를 검출할 수 있는 장치가 별도로 마련되거나 개발되어야 한다. 패치워크는 워터마크가 시간축에서 삽입되지 않고 DCT나 DFT와 같은 변환된 영역에서 삽입되는 알고리즘이기 때문에, 시간축 공격에 대해 더욱 취약한 단점을 갖는다. 선형 속도 변화에 대한 대응은 반향 워터마킹 방법에서 효과적으로 찾아낼 수 있다. 프레임 길이 변화에 비례하여 삽입된 반향의 오프셋도 변화하기 때문에 이를 검출하여 변화된 정도를 찾을 수 있기 때문이다^[14]. 그러나 반향 워터마킹의 경우는 임의의 시점에서 복호화하는 기술에 대한 방법의 연구가 많이 이루어져야 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 방송 콘텐츠의 보호를 위한 워터마킹의 적용 방식에 따른 요구사항을 알아보고, 대표적인 오디오 워터마킹 방법들에 대한 기술적 특징을 비교 평가하였다. 오디오 워터마킹을 위해 제안된 방법들 가운데 대역확산 기반의 워터마킹, 반향 워터마킹, 패치워크 워터마킹이 비교 대상 항목들에 대해 대체로 우수한 성능을 보이고 있지만, 이들 알고리즘 사이에도 각기 장단점이 있으며, 아직까지 상용화할 수 있는 수준에 이른 방법은 없는 형편이다. 특히, 시간축 공격에 대한 동기화 및 대응 방법 개발은 모든 워터마킹 알고리즘이 안고 있는 중요한 과제이다. 향후, 디지털 방송 콘텐츠 보호를 위한 워터마킹 시스템의 개발을 위해서는 새로운 워터마킹 알고리즘을 개발하거나 각 요구사항에 대해 장점을 갖는 알고리즘을 복합적으로 사용하는 방법 등에 대한 연구가 이루어져야 한다. 더불어 복호화를 위한 키의 설정을 비롯하여 적합한 적용 모델을 설정하는 것도 알고리즘 자체의 개발에 선행되어야 할 중요한 문제이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Petitcolas, R. Anderson, and M. Kuhn, "Information Hiding - A Survey," *Proceedings of the IEEE, special issue on protection of multimedia content*, vol. 87, No. 7, pp. 1062-1078, Jul. 1999.
- [2] I.J. Cox, M.L. Miller, J.A. Bloom, "Watermarking applications and their properties", *Proc. of International Conference on Information Technology Coding and Computing*, pp. 6-10, 2000.
- [3] M. Swanson, M. Kobayashi, and A. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies

- (invited paper).” *Proc. of the IEEE*, Vol. 86, No. 6, Jun. 1998.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, A. Lu, “Techniques for data hiding”, *IBM System Journal*, Vol 35, Nos 3&4, 1996.
- [5] I. Cox, and M. Miller, “A review of watermarking and the importance of perceptual modeling,” *Proc. Of Electronic Image '97*, Feb. 1997.
- [6] T. Furon, N. Moreau and P. Duhamel, “Audio Public Key Watermarking Technique,” *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 1959-1962, 2000.
- [7] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Sharnoon, “A secure, robust watermark for multimedia”, *Proc. Workshop on Information Hiding, Univ. of Cambridge, U.K.*, May 30-Jun. 1, 1996.
- [8] L. Boney, A. Tewfik and K. Hamdy, “Digital Watermarks for Audio Signals,” *IEEE Int. Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 473-480, 1996.
- [9] M. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, “Current state of the art, challenges and future directions for audio watermark-ing,” *IEEE Int. Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 19-24, 1999.
- [10] Jon Won Seok and Jin Woo Hong, “Audio watermarking for copyright protection of digital audio data,” *Electronics Letters*, Vol. 37, No. 1, pp. 60-61, Jan. 2001.
- [11] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 No.71 “Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit/s-CD 11172-3(Part3. MPEG-Audio)”, 1992.
- [12] 김현욱, 오현오, 김연정, 윤대회, “고음질 디지털 오디오 워터마킹을 위한 효율적인 PN 시퀀스 삽입 및 검출 방법,” *방송공학회 논문지, 제6권 제1호*, 2001년 6월.
- [13] Hyen-O Oh, Jong-Won Seok, Jin-Woo Hong and Dae-Hee Youn, “New Echo Embedding Technique for Robust and Imperceptible Audio Watermarking,” *Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, May 2001.
- [14] 오현오, 김현욱, 윤대회, 석종원, 홍진우, “강인한 오디오 워터마킹을 위한 새로운 반향 커널 설계,” *한국음향학회지, 20권, 2호*, 2001년.
- [15] Y. Yardymcy, A. Cetin and R. Ansari, “Data Hiding in Speech Using Phase Coding,” *Eurospeech 97*, vol. 3., pp. 1679-1682, 1997.
- [16] T. Ciloglu and S. Karaaslan, “An Improved All-pass Watermarking Scheme for Speech and Audio,” *Proc. of the 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo.*, vol. 2., pp. 1017-1020, 2000.
- [17] M. Arnold, “Audio watermarking: Features, Applications and Algorithms,” *Proc. of the 2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo.*, vol. 2., pp. 1013-1016, 2000.
- [18] 여인권, 김형중, 최용희, 김기섭, Jitendra K. Manandhar, “디지털 방송을 위한 패치워크 기반 음성 워터마크,” *방송공학회논문지 제5권 제2호*, pp. 220-225, 2000년 12월.
- [19] 김연정, 김현욱, 오현오, 윤대회, “전대역 필터를 이용한 오디오 워터마킹 성능분석,” *한국음향학회 하계학술대회*, 2001년 7월 (참조).

저 자 소개



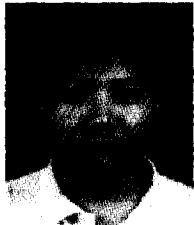
오 현 오

1996년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1998년 3월~현재 : 연세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
 주관심분야 : 디지털 신호처리, 오디오 워터마킹, 오디오 부호화



윤 대 회

1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1979년 8월 : Kansas State Univ. (공학석사)
 1982년 8월 : Kansas State Univ. (공학박사)
 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
 주관심분야 : 적응 신호처리, 음성 신호처리, 오디오 신호처리



석 종 원

1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1995년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1999년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
 1999년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 콘텐츠 보호



홍 진 우

1982년 2월 : 광운대학교 응용전자공학과 졸업 (공학사)
 1984년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1993년 8월 : 광운대학교 대학원 전자계산기공학과 졸업 (공학박사)
 1998년~1999년 : 독일 프라운호퍼연구소 (교환연구원)
 1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 음향기술연구팀장
 주관심분야 : 오디오 신호처리 및 부호화, 디지털 콘텐츠 보호, 디지털 오디오 방송