

논문-01-6-2-09

지각 모델링을 이용한 디지털 오디오 워터마킹 방법

석종원*, 홍진우*

Digital Audio Watermarking Scheme Using Perceptual Modeling

Jong Won Seok* and Jin Woo Hong*

요약

디지털 워터마킹 기법은 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 새로운 해결책으로 제시되고 있으며, 국내외에서 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 최근 들어 많은 관심을 끌고있는 디지털 오디오의 저작권 보호를 위한 새로운 워터마킹 방법을 소개한다. 제안된 워터마킹 기법은 MPEG의 심리음향모델을 사용하여 지각적으로 감지되지 않을 뿐 아니라, 워터마크 검출 시에도 전처리 과정을 거쳐 원본 오디오 신호 없이도 워터마크의 검출이 가능하다. 개발된 오디오 워터마킹 기술은 원본 오디오에 비해 오디오의 품질이 떨어지지 않을 뿐 아니라, 워터마크를 제거하고자 가해지는 다양한 공격에도 워터마크가 제거되지 않는 특징을 가지고 있다. 또한, 기존의 확산대역 방식을 이용하는 워터마킹 방법이 시간축 변형 공격에 상당히 취약한 단점을 가지는 것에 비해, 제안된 방법은 변형된 형태의 원본 신호를 워터마크로 사용하여 시간축 공격에도 안정적으로 워터마크를 검출할 수 있었다.

Abstract

As a solution for copyright protection of digital multimedia contents, digital watermark technology is now drawing the attention. In this paper, we presented two novel audio watermarking algorithms as a solution for protecting unauthorized copy of digital audio. Proposed watermarking schemes include the psychoacoustic model of MPEG audio coding to achieve the perceptual transparency after watermark embedding and preprocessing procedure before correlation in watermark detection to extract copyright information without access to the original audio signal. Experimental results show that our watermarking scheme is robust to common signal processing attacks and it introduces no audible distortion after watermark insertion.

I. 서론

인터넷과 같은 컴퓨터 망과 컴퓨터 이용의 급격한 발달로 인해 문서, 음성, 오디오, 영상, 동영상 등의 멀티미디어 데이터의 이용 및 보급이 일반화되고 있다. 그러나, 이러한 멀티미디어 데이터들은 디지털이라는 속성으로 인해 복사하면 또 하나의 원본이 만들어지므로, 누구나 손쉽게

불법적인 복제를 통해서 이들 디지털 데이터를 획득할 수 있게 된다.

지금까지 가장 대표적이고 널리 사용되는 데이터 보호 기법은 데이터를 암호화하는 방법으로 암호를 알지 못하면 데이터에 접근이 불가능하다는 장점이 있다. 하지만 일단 암호가 해독된 데이터는 아무런 제약 없이 불법적으로 복사되고 배포될 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 최근에 디지털 워터마킹 기법이 디지털 멀티미디어 콘텐츠 저작권 보호를 위한 새로운 해결책으로 제시되고 있으며, MPEG (Moving Picture Experts Group), DVD (Digital Versatile Disc) Forum, SDMI (Secure

* 한국전자통신연구원 방송미디어연구부
Broadcasting Media Department, ETRI

* 본 연구는 정보통신부의 "디지털 콘텐츠 관리 기술 개발"사업의 일환으로 수행된 연구 결과입니다.

Digital Music Initiative)등에서 표준화 기법을 규정하기 위한 여러 가지 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1][2][3][4][5]}.

현재까지 발표된 워터마크 알고리즘의 대다수는 영상 데이터를 대상으로 하였고, 오디오 데이터를 대상으로 한 경우는 극히 일부에 지나지 않는다. 하지만, 최근 들어 문제가 되고 있는 MP3 오디오 파일의 불법 복제 등을 생각해 볼 때, 오디오 데이터의 워터마킹 기법 역시 시급히 해결되어야 할 과제이다. 현재까지 발표된 주요한 오디오 워터마킹 방법은 다음과 같다.

Bender^[6] 등은 확산대역(Spread Spectrum), 반향(Echo), 그리고 위상(Phase)을 이용하는 방법의 3가지 방식의 오디오 워터마킹 방법을 제안하였다. 확산대역 방식은 저작권 정보를 PN 시퀀스를 이용하여 확산시킨 후, 이에 적절한 가중치를 두어 원본 오디오 신호에 더해 주는 방식이다. 반향 방식은 청각적으로 감지할 수 없을 정도의 지연과 크기를 가지는 반향 신호를 오디오 신호에 삽입하는 방식이다. 이때, 삽입되는 0과 1의 정보는 각각의 지연 정도를 다르게 하여 삽입하였다. 검출 시에는 자기상관 함수나 캡스트럼을 이용하여 지연된 위치에서의 피크를 찾아내어 삽입된 정보가 1인지 0인지를 판별하게 된다. 위상을 이용하는 방법은 청각적 특성이 위상 성분에 덜 민감하다는 점을 이용하여 위상 성분에 저작권 정보를 삽입하여 주는 방법이다. Cooperman^[7] 등은 오디오 신호에 FFT(Fast Fourier Transform)를 취하여 얻은 계수 값의 LSB(Least Significant Bit)에 워터마크를 삽입하고 다시 Inverse FFT를 취하여 워터마크가 삽입된 오디오 신호를 얻는 방법을 제안하였다. Wolosewicz^[8]는 오디오 신호를 주파수 영역으로 변환한 다음 6.5 kHz 이상의 대역을 워터마크 신호로 교체해 준다. 이 방법은 고주파 영역에만 워터마크 정보를 삽입하여 워터마크 삽입 후 오디오 신호의 음질이 떨어지는 것을 막고자 하였다. Lee^[9] 등은 확산대역 방식과 선형예측 분석 방법을 이용하는 방법을 제안하였으며, 공격에 상당히 강인한 것으로 알려져 있다. 최근에는 Swanson^[10] 등이 확산대역 방식과 심리음향 모델을 이용하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 최근 들어 많은 관심을 끌고있는 심리음향 모델링을 이용한 디지털 오디오 워터마킹에 대한 최신 동향 및 개발된 오디오 워터마킹 기술을 소개한다. 개발된 오디오 워터마킹 기술은 원본 오디오에 비해 오디오의 품질이 떨어지지 않을 뿐 아니라, 워터마크를 제거하고자 가해지는 다양한 공격에도 워터마크가 제거되지 않는 특징을 가지고 있다.

II. 워터마킹 기법이 갖추어야 할 요건

1. 비지각성(Imperceptibility)

현재 워터마킹 기술에 대한 연구는 대부분 워터마크를 보이지 않게 또는 들리지 않게 영상이나 오디오 신호 속에 숨기는 방식들에 대한 것이다. 이것은 지적 소유권의 주장을 위해 워터마크를 삽입하면서도 서비스의 품질을 떨어뜨리지 않게 하기 위함이다. 예를 들어, 워터마크가 음악에 삽입되었을 때 원래의 음악과 워터마크된 음악 사이의 차이를 청취자가 구별할 수 없을 정도여야 하며, 영상 또는 비디오의 경우에도 마찬가지로 화질의 차이를 느낄 수 없어야 한다.

2. 강인성(Robustness)

디지털 형태의 음악, 영상, 비디오 등은 손실 부호화, 필터링, 기하학적 변환 등의 일반적인 신호처리에 의해 쉽게 변형될 수 있다. 워터마킹 기술이 그 기능을 발휘하기 위해서는 그 워터마크가 위와 같은 신호처리 후에도 검출할 수 있어야 한다. 특히, 오디오의 경우 위에서 언급한 필터링이나 압축공격 외에도 속도변화(linear speed change), 스케일 변화(pitch-invariant time-scaling change) 등 다양한 공격에도 워터마크가 살아 남아야 한다. 워터마킹 기술이 영상, 오디오, 비디오와 같은 멀티미디어 저작물에 대한 지적 소유권 보호를 위해 성공적으로 적용되기 위해서는 강인성이 무엇보다 중요하다.

3. 워터마크의 검출시 원 신호의 사용 여부

워터마킹 기법은 원 신호를 사용하는지 여부에 따라 크게 두 부류로 나누어볼 수 있다. 워터마크 검출시 원 신호를 필요로 하는 경우는 실용적으로 적용하기 부적합하다. 즉, 원 신호가 유효하지 않은 경우가 존재할 수 있고, 신호 처리 없이도 가짜 워터마크를 단순히 삽입하여 올바른 소유권자를 구별할 수 없도록 만들 수 있기 때문이다^[11]. 따라서, 방송이나 PD(Portable Device) 등의 환경에 사용되기 위해서는 원 신호 없이 워터마크 검출이 가능해야 한다.

III. 오디오 워터마킹 기술동향

최근까지 연구된 오디오 데이터 워터마킹 방식 중에서

공격에 강하면서도 상대적으로 오디오의 품질을 손상시키지 않는 것으로 알려진 방식은 인간의 청각 특성을 이용하는 방법이다. 즉, MPEG 오디오 부호화의 심리음향 모델에서 사용되는 마스킹 임계치를 이용하여 워터마크가 삽입된 후에도 오디오 데이터의 품질을 떨어뜨리지 않으며, 임의의 공격에도 강인한 특성을 지니게 된다. 이 장에서는 이와 같은 인간의 청각특성을 이용한 오디오 워터마킹 기술에 대하여 최근에 발표된 연구 결과를 소개한다.

1. Swanson 방법^[10]

이 방법은 MPEG-1의 심리음향모델(I) 및 확산대역 기술을 사용하며, 저작권 정보를 변조하기 위해 PN (Pseudo-noise) 시퀀스를 사용한다. 일반적으로 PN 시퀀스는 확산대역 시스템에서 정보신호를 변조하여 확산시키는데 사용되며, 잡음과 유사한 특성을 가진다. 특히, 간섭에 매우 강인한 성질을 가지며 자기상관이 우수한 것으로 알려져 있다. PN 시퀀스의 발생방법은 미리 정의된 길이의 linear feedback shift register를 이용하여 만들게 된다. 이때 PN 시퀀스의 길이는 shift register의 수에 의해 결정된다. 만일 shift register의 수가 m 이라면 최대 2^m-1 의 주기를 갖는 PN 시퀀스를 얻게 되며, 2^m-1 개의 PN 시퀀스 중 하나를 사용하게 된다. 그리고 이때 shift register의 상태값이 PN 시퀀스를 발생시키는 키 (Key)가 되는 것이다. 따라서, 실제 삽입될 저작권 정보는 특정 키 값을 이용해 발생된 PN 시퀀스와 곱하여 확산 시킨 다음 마스킹 임계치를 이용하여 가중치를 준 다음 원본 오디오 신호에 더해진다. 자세한 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다.

- 1) MPEG-1의 심리음향모델(I)을 이용하여 프레임 단위의 오디오 데이터에 대한 마스킹 임계치를 구한다.
- 2) 오디오 프레임 길이와 동일한 PN 시퀀스 신호를 발생시킨다.
- 3) 발생된 PN 시퀀스와 비트 스트림 형태의 저작권 정보를 곱하여 확산 시켜 저작권 정보를 은닉 시킨다.
- 4) PN 시퀀스를 이용하여 확산된 저작권 정보는 FFT를 취하여 주파수 영역의 데이터로 변환 시킨다.
- 5) 1)번 과정에서 구해진 오디오 신호의 마스킹 임계치를 이용하여 주파수 영역으로 변환된 저작권 정보를 최대한 마스킹 임계치에 근접하도록 크기를 조절한다.
- 6) 마스킹 임계치에 근접하도록 크기가 조절된 저작권 정보에 Inverse FFT를 취하여 시간영역의 신호로 변환하여 최종적인 워터마크 신호를 얻어낸다.
- 7) 원본 오디오 신호와 6)번 과정을 통해 얻어진 워터마크 신호를 더하여 워터마크가 삽입된 오디오 신호를 얻는다.

그림 1은 Swanson이 제안한 방법을 이용한 오디오 워터마크 삽입 과정을 보여주고 있다. 이 방식은 처음으로 오디오 워터마킹에 MPEG 오디오 부호화에 사용되는 심리음향 모델을 이용하였다는데 큰 의미가 있다. 하지만 이 방식의 가장 큰 단점은 워터마크 검출 시 원본 오디오 신호를 필요로 한다는 점이다. 즉, 워터마크가 삽입된 오디오 신호에 원본 오디오 신호를 빼주어서 추정된 워터마크 신호를 먼저 구한 다음, 추정된 워터마크 신호와 PN 시퀀스 사이의 상관성을 이용하여 저작권 정보를 추출하게 된다. 그리고, PN 시퀀스를 사용하는 확산대역에 기반한 워터마킹 방법이 가지는 단점인 시간축 공격에 매우 취약하다는 약점을 가지고 있다.

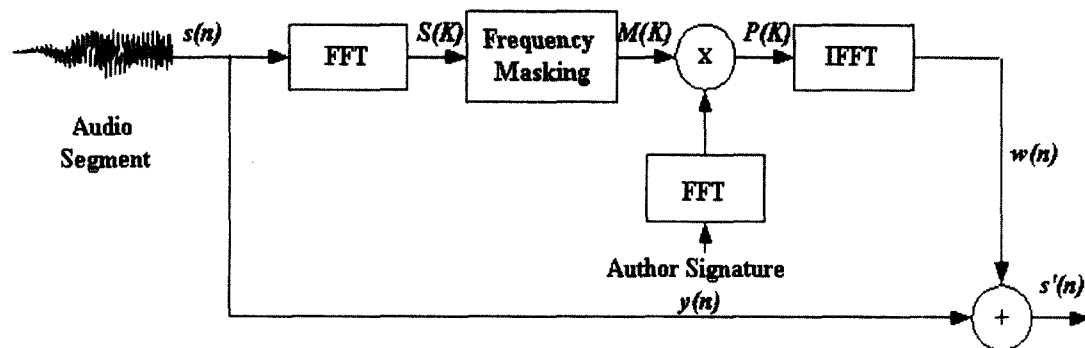


그림 1. Swanson 방식에 의한 오디오 워터마크 삽입방법
Fig. 1. Audio watermark embedding method by Swanson

2. Garcia 방법^[11]

PN 시퀀스와 심리음향 모델을 이용한다는 점에서 이 방법의 워터마크 삽입 과정은 Swanson의 방법과 거의 유사하다. 삽입 과정에서의 차이점은 심리음향 모델 적용 시 Swanson의 방법은 MPEG-1의 심리음향모델(I)을 사용한 반면, 이 방법에서는 MPEG-1 layer3 또는 MPEG-2에서 사용하는 심리음향모델(II)를 이용하였다는 점이다.

이 방식의 최대 장점은 워터마크 추출 시 원본 오디오를 필요치 않는다는 점이다. 이를 위해서 이 방식에서는 워터마크 추출시 삽입시와 동일하게 심리음향모델(II)을 이용하여 마스킹 문턱치 이하의 신호 성분을 추출하여 여기에서 워터마크 정보를 추출하였다. 하지만, 이렇게 할 경우 워터마크 추출 과정이 복잡해지게 되고, 이에 따른 계산량 역시 증가하게 되는 단점이 있다. 또한 워터마크 삽입시 심리음향모델(II)를 사용하여 심리음향모델(I) 보다는 정교한 마스킹 문턱치를 구할 수 는 있으나, 계산량의 증가는 피할 수 없게 되는 단점을 가지고 있다. 이 방법 역시 Swanson의 방법과 마찬가지로, PN 시퀀스를 사용하는 확산대역에 기반을 둔 방법이기 때문에 시간 축 공격에 매우 취약한 단점을 가지고 있다. 그림 2와 3은 Garcia 방식에서 제안된 오디오 워터마크 삽입 및 추출 과정을 보여주고 있다.

3. 비트스트림 워터마킹 방법^[12]

이 방식은 독일의 Neubauer와 Herre에 의해 제안한 방식으로, 압축된 오디오 비트스트림을 대상으로 하고 있다. 즉, 오디오 신호를 부호화 한 후 압축된 오디오 비트스트림을 복호화하여 오디오 부호화시 사용된 심리음향모델을 이용하여 워터마크를 삽입하고, 다시 이를 부호화하는 방

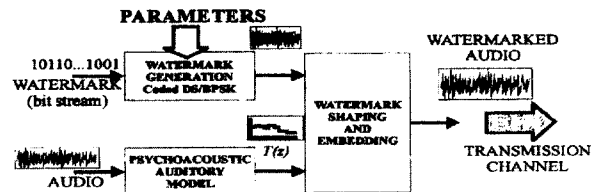


그림 2. Garcia 방식에 의한 오디오 워터마크 삽입 방법
Fig. 2. Audio watermark embedding method by Garcia

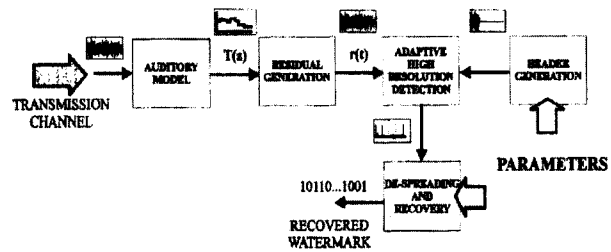


그림 3. Garcia 방식에 의한 오디오 워터마크 추출 방법
Fig. 3. Audio watermark detection extraction by Garcia

식이다. 이 방식은 오디오 신호 압축과 동시에 워터마크삽입이 이루어진다는 장점이 있으나, 부호화 및 복호화 과정의 첨가로 인한 계산량의 증가는 피할 수 없게 된다. 이 방식에서는 이러한 삽입과정에서의 복잡성으로 인한 계산량을 줄이기 위해 워터마크가 삽입된 오디오를 다시 재부호화 할 때, 처음 부호화 시 사용된 스케일 팩터, 심리음향모델, 및 양자화 스템을 그대로 이용하였다.

워터마크 추출 시에는 압축된 비트스트림을 복호화 한 후, 평활화(Equalization) 과정을 거쳐 복호화된 오디오 신호를 워터마크를 추출할 수 있는 영역으로 옮긴 다음, 단 구간 자기 상관함수(Short-time autocorrelation function)를 이용하여 워터마크를 추출하게 된다. 그림 4 및 5는 비

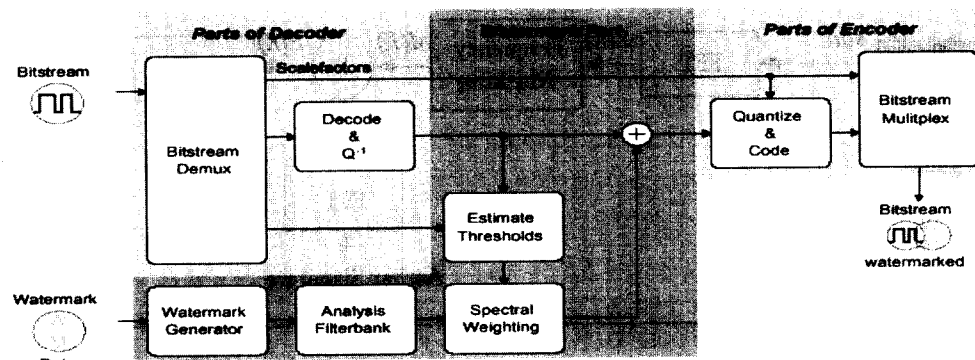


그림 4. 비트스트림 오디오 워터마크 삽입 방법
Fig. 4. Bitstream audio watermark embedding method

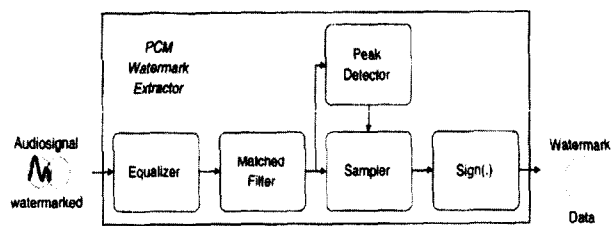


그림 5. 비트스트림 워터마킹 방식에 의한 워터마크 추출 방법
Fig. 5. Bitstream audio watermark extraction method

트스트림 오디오 워터마킹의 삽입 및 추출 과정을 보여주고 있다.

IV. 제안된 오디오 워터마킹 기법

이 장에서는 오디오 워터마킹을 위해 개발된 두 가지 알고리즘을 소개한다. 첫 번째 방법은 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 기술에 기반한 알고리즘으로써, PN (Pseudo-noise) 시퀀스를 사용하는 방법이다. 두 번째 방법은 확산대역 방식을 사용하지 않으며, 저작권 정보를 포함하게 되는 워터마크 신호로는 오디오 신호 자체를 이용하는 방법이다. 두 가지 방법 모두 심리음향모델을 이용하여 워터마크 신호를 삽입하게 되며 삽입한 후에도 오디오의 품질을 저하시키지 않는 장점을 가지고 있다. 그림 6은 오디오 세그먼트의 스펙트럼과 이에 해당하는 마

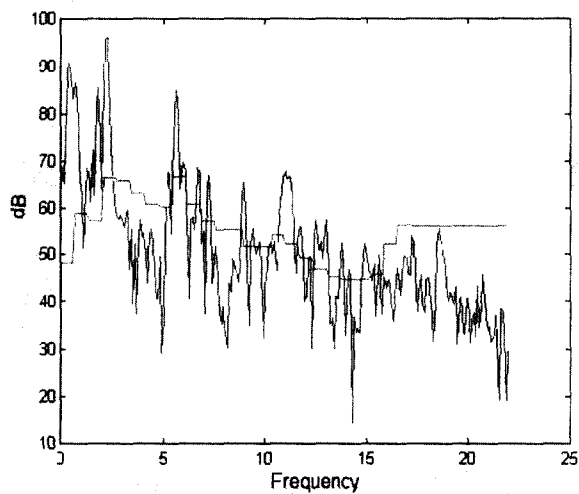


그림 6. 오디오 스펙트럼과 마스크 임계치
Fig. 6. Audio spectrum and masking threshold

스킹 임계치의 예를 나타내고 있다. 심리음향모델(I)에서 마스크 임계치를 구하는 과정은 아래와 같다^[13].

- 1) 오디오 신호를 일정크기의 처리 단위인 프레임으로 나눈다.
- 2) 프레임 단위의 오디오 데이터에 FFT를 취하여 전력 스펙트럼을 구한다.
- 3) 구해진 전력 스펙트럼에서 순음(Tonal)과 잡음(Non-tonal) 성분을 구한다.
- 4) 미리 정의된 가청한계곡선을 이용하여 가청한계곡선 이하의 스펙트럼 성분을 제거한다.
- 5) 각각의 순음 성분과 잡음 성분에 대한 마스크 곡선을 구한다.
- 6) 구해진 각각의 순음 및 잡음 성분의 마스크 곡선을 이용하여 전체적인 마스크 임계치를 구한다.

1. PN 시퀀스를 사용하는 방법

첫 번째 오디오 워터마크 삽입 방법은 앞서 Swanson이 제시한 방법과 동일하다. 하지만 Swanson의 방법과 달리, 워터마크 검출시 원본 오디오 신호를 필요로 하지 않으면서도 안정적으로 워터마크 신호를 검출할 수 있다는 장점을 가진다. 일반적으로 워터마크 검출시 원본 신호가 없을 경우, 워터마크가 삽입된 오디오 신호와 워터마크 신호간의 상관성을 찾기가 대단히 어렵다. 따라서, 원본 신호 없이 워터마크를 검출하기 위해서는 워터마크가 삽입된 오디오 신호를 워터마크를 추출할 수 있는 영역으로 Projection시키는 전처리 과정이 있어야 한다. 본 논문에서는 워터마크 검출 시, 워터마크가 삽입된 오디오 신호 고유의 스펙트럼을 제거시키는 전처리 과정을 통해서 워터마크가 삽입된 오디오 신호를 워터마크를 추출하기 용이한 영역으로 Projection시켜서 워터마크 신호를 추출하였다. 이러한 전처리 과정을 거친 신호는 전처리 과정을 거치지 않은 신호에 비해 분산이 줄어들게 되어, 신호 자체의 동적 범위(Dynamic range)가 줄어들 뿐 아니라, 확률분포 함수를 이용하여 수학적으로 모델링하기도 상당히 용이하게 되는 장점을 가지게 된다. 그림 7은 전처리과정을 거친 신호와 거치지 않은 신호의 확률분포 함수를 나타내고 있다. 그림 7에서도 확인할 수 있듯이, 전처리 과정을 거친 신호의 분산이 그렇지 않은 경우보다 상당히 줄어든 것을 확인할 수 있으며, 수학적으로 모델링이 용이함을 확인할 수 있다.

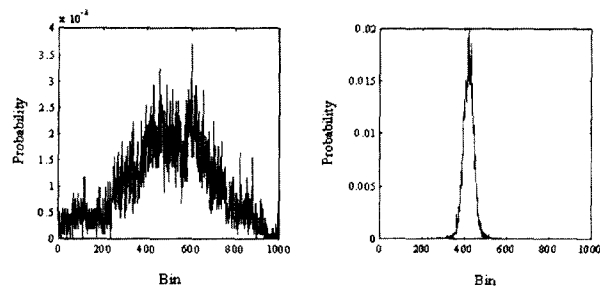


그림 7. 확률분포함수 (a) 워터마크가 삽입된 오디오 신호 (b) Projection 시킨 후의 신호
Fig. 7. Probability distribution function (a) watermarked audio signal (b) signal after projection

2. 변형된 원본 신호를 사용하는 방법

일반적으로, 확산대역 방식의 워터마킹 방식은 대부분의 공격에 상당히 강한 것으로 알려져 있고, 실제 검출 실험시 검출을 역시 상당히 양호한 결과를 보여준다. 하지만, 확산대역 방식을 이용하는 워터마킹 방법은 시간축 변형 공격에만은 상당히 취약한 단점을 가지고 있다. 즉, 속도 변화(linear speed change), 스케일 변화(pitch-invariant time-scaling change), Wow and Flutter 등의 시간축 상의 변화를 가져오는 공격이 가해지는 경우 검출이 불가능해진다. 이는 워터마크 검출 시 PN 시퀀스를 사용하기 때문인데 시간축 공격이 가해질 경우 오디오에 포함된 워터마크 신호와 PN 시퀀스 사이의 동기가 맞지 않게 되기 때문이다.

두 번째 방법은 위에서 언급한 확산대역 방식의 문제점을 해결하기 위해서 저작권 정보를 포함하게 되는 워터마크 신호로 오디오 신호 자체를 이용하는 방법이다. 즉, PN 시퀀스를 사용하지 않고 변형된 형태의 오디오 신호를 워터마크로서 사용하는 방법이다. 원본 오디오에 변형을 가하여 워터마크로 사용될 신호를 만든 다음 워터마크 신호에 약간의 지연(Delay)을 주어 원본 오디오 신호에 더해지게 된다. 이때 지연되는 정도가 바로 키 값이 되는 것이다. 이렇게 할 경우, 시간 축 상의 공격이 가해져서 길이가 변하게 되더라도 워터마크로 삽입된 신호가 변형된 형태의 원본이기 때문에 동기를 고려하지 않고도 워터마크 신호를 안정적으로 추출할 수 있는 장점을 가지게 된다.

검출 시에는 워터마크가 삽입된 오디오를 대상으로 첫 번째 방법과 마찬가지로 전처리 과정을 거쳐 워터마크를 추출하기 용이한 영역으로 Projection 시킨 후, 자기상관함수나 캡스트럼을 취해 키 값인 지연된 위치에서 피크정보를 추출하여 저작권 정보를 얻어내게 된다. 삽입과정은 첫

번째 방법에서 PN 시퀀스 대신 변형된 형태의 원본 신호를 사용하는 것 외에는 동일하다. 그림 8은 두 번째 방법에서 심리음향모델을 이용한 워터마크 삽입 과정을 나타내고 있다.

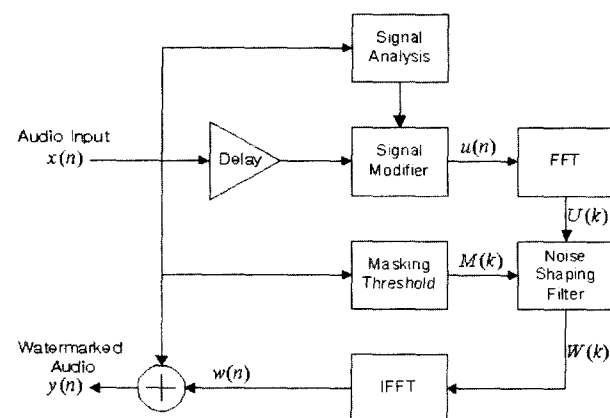


그림 8. 변형된 원본 오디오를 사용한 워터마크 삽입 과정
Fig. 8. Watermark embedding process using modified original audio

V. 실험결과

제안된 두가지 워터마킹 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 SDMI Phase-I에서 정한 강인성 테스트를 실시하였다. 실험에 사용된 오디오 신호는 클래식, 팝송 등 다양한 장르의 6가지의 오디오 신호를 선정하였으며, 각각의 길이는 30초를 가지도록 하였다. SDMI Phase-I에 따라 사용된 공격 방법은 아래 표 1과 같다.

표 1. 강인성 테스트에 사용된 오디오 워터마크 공격 방법
Table 1. Audio watermark attack type for robustness test

Type of attack	Target rate
1 Down sampling	44.1 to 22.05 kHz
2 D/A, A/D	converting twice
3 Equalization	10 band graphic equalizer
4 Band-pass Filtering	100 Hz - 6 kHz
5 Linear speed change	+/- 10%
6 Codec	MP3 : 64kbps/2ch AAC : 128kbps/2ch
7 Noise addition	S/N : 36dB
8 Time-scale Modification	Pitch-invariant time scaling +/- 4%
9 Addition echo	Delay 100 ms

표 2. 제안된 첫 번째 방법에 대한 강인성 테스트 결과
Table 2. Robustness test result for proposed method I

번호	공격 방법	검출률 (%)	결과
1	Down sampling	100%	No
2	D/A, A/D	1.30%	Yes
3	Equalization	0.00%	Yes
4	Band-pass Filtering	2.34%	Yes
5	Linear speed change	100%	No
6	MP3	2.99%	Yes
7	MPEG-2 AAC	0.91%	Yes
8	Noise addition	4.56%	Yes
9	Time-scale Modification	100%	No
10	Addition echo	0.00%	Yes

표 3. 제안된 두 번째 방법에 대한 강인성 테스트 결과
Table 3. Robustness test result for proposed method II

번호	공격 방법	검출률 (%)	결과
1	Down sampling	0.00%	Yes
2	D/A, A/D	2.10%	Yes
3	Equalization	0.00%	Yes
4	Band-pass Filtering	2.73%	Yes
5	Linear speed change	0.52%	Yes
6	MP3	4.56%	Yes
7	MPEG-2 AAC	0.26%	Yes
8	Noise addition	5.34%	Yes
9	Time-scale Modification	0.00%	Yes
10	Addition echo	0.26%	Yes

워터마크 추출과정에는 워터마크 삽입 여부를 확인하는 기능을 추가하여 워터마크가 삽입이 되지 않았을 경우, 이를 판별할 수 있도록 하였다. 표 2와 3은 각각 본 논문에서 제안한 두 가지 알고리즘에 대한 공격 결과를 보여주고 있다. 표 2는 PN 시퀀스를 사용한 첫 번째 방법에 대한 실험 결과이고, 표 3은 변형된 형태의 원본 오디오를 사용한 두 번째 방법에 대한 실험 결과이다. 실험 결과에서도 확인할 수 있듯이, 첫 번째 방법의 경우, 확산대역 방식에 기초한 방법이 가지는 장점으로 인해 압축이나 Band-pass 필터링 등의 공격에는 상당히 강인한 특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 하지만, 앞서서도 언급했듯이, PN 시퀀스를 사용하기 때문인데 시간축 공격이 가해질 경우, 오디오에 포함된 워터마크 신호와 PN 시퀀스 사이의 동기가 맞지 않게 되어 속도 변화, 스케일 변화 등의 시간 축 상의 변화를 가져오는 공격이 가해지는 경우 검

출이 불가능해져서 워터마크가 없는 것으로 결과가 나타났다. 반면에, 두 번째 방법의 경우, 압축이나 필터링 등의 공격 뿐 아니라, 변형된 형태의 원본 신호를 사용하였기 때문에 시간축 공격이 가해졌을 경우에도 동기문제에 상관없이 안정적으로 워터마크 신호를 검출할 수 있었다.

VI. 결 론

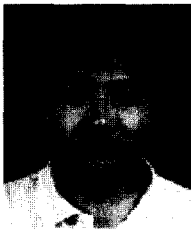
본 논문에서는 최근 들어 많은 관심을 끌고있는 디지털 오디오의 저작권 보호를 위한 워터마킹 기술의 최신 동향 및 개발된 두 가지 알고리즘을 소개하였다. 첫 번째 방법은 확산대역 기술을 이용한 방법으로 PN(Pseudo-noise) 시퀀스를 사용하였다. 그리고, 두 번째 방법에는 확산대역 방식을 사용하지 않고, 저작권 정보를 포함하게 되는 워터마크 신호로 오디오 신호 자체를 이용하였다. 제안된 두 가지 방법 모두 MPEG의 심리음향모델을 사용하여 지각적으로 감지되지 않을 뿐 아니라, 워터마크 검출시에도 전처리 과정을 거쳐 원본 오디오 신호없이도 워터마크의 검출이 가능하였다. 두 번째 방법의 경우에는, 기존의 확산대역 방식을 이용하는 워터마킹 방법이 시간 축 변형 공격에 상당히 취약한 단점을 가지는 것에 비해, 제안된 방법은 변형된 형태의 원본 신호를 워터마크로 사용하여 시간 축 공격에도 안정적으로 워터마크를 검출할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Swanson, M. Kobayashi, and A. Tewfik, Multimedia data embedding and watermarking technologies, *Proceedings of IEEE*, Vol. 86, No. 6, pp. 1064-1087, June 1998.
- [2] C. Cox, J. Killian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum communication for multimedia", *Technical report, N.E.C. Research Institute*, 1995.
- [3] R. J. Anderson and F. Peticolas, On the limit of steganography, *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 16, pp. 474-481, May 1998.
- [4] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, A DCT-domain system for robust image watermarking, *Signal Processing*, Vol. 66, no. 3, pp. 357-372, May 1998.
- [5] F. Hartung and M. Kutter, Multimedia watermarking techniques, *Proceedings of IEEE*, Vol. 86, No. 6, pp.

- 1079-1107, June 1998.
- [6] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, Techniques for data hiding, in Proc. SPIE, Vol. 2420, p. 40, San Jose, CA, Feb. 1995
- [7] M. Cooperman and S. Moskowitz, Steganographic method and device, U.S. Patent 5,613,004, March 1997.
- [8] J. Wolosewicz, Apparatus and method for encoding and decoding information in audio signal, U.S. Patent 5,774,452, June 1998.
- [9] C. Lee, K. Moallemi, and R. Warren, Method and apparatus for transporting auxiliary data in audio signals, U.S. Patent 5,822,360, Oct., 1998.
- [10] M. Swanson, B. Zhu, A. Tewfik, and L. Boney, Robust audio watermarking using perceptual masking, Signal Processing, Vol 66, no. 3, pp. 337-355, May 1998.
- [11] Ricardo A. Garcia, Digital Watermarking of Audio Signals Using a Psychoacoustic Auditory Model and Spread Spectrum Theory, In 107th AES Convention, New York, Sep. 1999, preprint 5073.
- [12] Christian Neubauer and Juergen Herre, Audio Watermarking of MPEG-2 AAC Bit Streams, In 108th AES Convention, Paris, Feb. 2000, preprint 5101.
- [13] ISO/IEC IS 11172, Information Technology Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage up to about 1.5 Mbits/s.

 저 자 소 개

**석 종 원**

1987년 3월~1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1993년 3월~1995년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1995년 3월~1999년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
 1999년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 방송미디어연구부 선임연구원
 주관심분야 : 디지털 신호처리 및 부호화, 디지털 콘텐츠 보호 및 관리

**홍 진 우**

1978년 3월~1982년 2월 : 광운대학교 응용전자공학과 졸업 (공학사)
 1982년 3월~1984년 2월 : 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1990년 3월~1993년 8월 : 광운대학교 대학원 전자계산기공학과 졸업 (공학박사)
 1998년~1999년 : 독일 프라운호퍼연구소 (교환연구원)
 1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 방송콘텐츠 연구팀장 (책임연구원)
 2000년 1월~현재 : 한국음향학회 홍보이사, 뉴미디어음향 학술분과위원장, 한국방송공학회 편집위원
 1993년 1월~현재 : 정보통신표준화연구단 방송기술위원회 위원
 주관심분야 : 오디오 신호처리 및 부호화, 디지털 콘텐츠 보호 및 관리, 디지털 오디오 방송