

가변 반송파 BPSK를 이용한 오디오 워터마킹 기법

이형욱, 박세형, 문용민, 한상우, 신재호
동국대학교 전자공학과
전화 : (02)2260-3336, 팩스 : (02)2272-5667

An Audio Watermarking Technique Using BPSK with Variable Carrier Frequency

Hyoung-uk Lee, Se-hyoung Park, Yong-min Moon, Sang-woo Han, Jaeho Shin
Department of Electronic Engineering, Dongguk University
E-mail: ailoye@dgu.ac.kr

Abstract

In this paper, we consider the problem of digital audio watermarking to robust about compression without original audio data. We specifically address the audio watermarking using BPSK with variable carrier frequency. This technique make audio data embeded watermarking robust with compression attack, for example MPEG, AC-3, etc.

I. 서론

오늘날 디지털 기술의 발달로 음질이 뛰어난 음악 콘텐츠를 손쉽게 입수하는 것이 가능해졌다. 이로 인해 음반 산업 시장이 확대될 수 있게 된 반면, 이를 악용하여 돈을 내지 않고도 익명의 사용자가 배포하는 CD음질의 디지털 오디오 콘텐츠를 쉽게 입수하여 즐길 수 있게 되었다. 그로 인해서 최근에 저작권 문제가 심각하게 대두되고 있다. 이에 대한 대책마련과 디지털 콘텐츠의 양성적인 사용을 위하여 여러 가지 방법의 콘텐츠

보호 기술들이 연구되고 있다. 그 중에 디지털 오디오 워터마크 기법은 디지털 음악 시장을 보호할 수 있는 기술의 하나로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 이러한 흐름에 발맞춰 미국음반협의회(RIAA)에서는 SDMI (Secure Digital Music Initiative)를 구성하여 디지털 음악 보호를 위한 표준화작업을 발빠르게 진행하고 있다.

워터마크는 이를 제거시키려는 공격자에 의해 행해지는 여러 가지 공격에 대한 강인성과 워터마크에 의한 원본 손상과의 적절한 균형을 이루어야 한다.[1] 즉, 강인성을 위해서 워터마크 신호를 많이 삽입함으로써 사용자의 귀에 잡음으로 들려서는 안되며, 또한 반대로 잡음으로 들리지 않게 하기 위해서 적은 양을 삽입함으로써 공격에 약해도 안 되는 것이다. 공격 중에서 압축의 예를 들면, 오디오가 압축되는 경우에는 잡음이 약 40-50dB 이상 삽입되기 때문에 워터마크가 손실될 가능성이 높다.

지금까지의 워터마크는 검출시 원본을 이용하여 대조하는 방식으로 이루어졌다. 그러나, 앞으로 포터블 장치 등에서 사용되기 위해서는 원본이 없어도 워터마크를 검출해 낼 수 있는 방법이 필요하다.[5]

W. Bender는 echo hiding과 patchwork를 이용하여 원본없이 워터마크를 검출하는 방식을 제안

하였고[2], C. Neubauer는 스펙트럼 확산 방식과 BPSK를 이용하여 원본없이 워터마크를 검출하는 방식을 제안하였다.[3]

본 논문에서는 MPEG-1 심리음향모델 1의 마스크 특성을 이용한 적응 필터에 BPSK를 이용하여 대역확산시킨 신호를 필터링시켜 오디오 워터마크를 삽입하는 방법을 구현하였다. 오디오 신호에서 각 블록의 마스크 곡선을 구해 적응적으로 워터마크 신호와 필터링하여 오디오 신호에 삽입하였기 때문에 심리음향모델을 이용한 손실부호화인 MPEG 압축과 같은 압축 공격에 매우 강한 특성을 가진다.

II. 워터마크 삽입 및 검출

2.1 워터마크의 삽입

본 논문에서는 대역 확산 시스템 중 BPSK를 사용하여 협대역 신호를 훨씬 큰 대역에 걸쳐 보내는 방식을 사용했다. 이는 큰 대역폭의 신호측면에서 볼 때 협대역 신호의 에너지는 아주 작은 양이고, 전주파수 대역으로 분산되기 때문에 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지가 작아 협대역 신호를 검출하기가 어렵게 된다.[1] 신호의 확산에 Pseudo-random sequence를 사용하여 공격자가 워터마크를 추출하였더라도 해독을 하지 못하게 하기 위함이다.

다음 그림은 워터마크 삽입과정을 나타낸다.

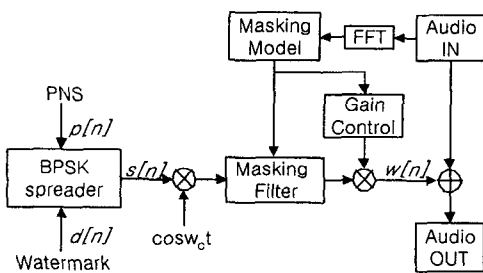


그림 1 워터마크 삽입 방법

워터마크 데이터 $d[n]$ 을 BPSK spreader에서 Pseudo-random sequence $p[n]$ 을 이용하여 확산시킨다. 이러한 방식은 일반적으로 processing gain에 의해 간섭, 잡음 등에 대한 저항성이 증가하는 특성이 결정된다. processing gain은 검출기

의 입력에서 나타나는 낮은 SNR에 대한 보상을 할 때 사용되므로 검출기에서 $d[n]$ 을 복원하기 위해서 보내는 신호 $s[n]$ 은 높은 processing gain을 가져야 한다. 즉, 이러한 강인성을 가지기 위해서는 충분한 processing gain을 통해 $s[n]$ 에 에너지를 확산해 주어야 하는데 일반적으로 오디오 신호의 에너지는 $s[n]$ 에 비해 10-20dB 이상 커야 한다. 따라서 processing gain은 다음 식을 만족한다.

$$10 \log(n) \geq 20 \text{ dB} \quad (1)$$

이 식을 만족하는 n 의 최소값을 구하면

$$10 \log(127) = 21.03 \text{ dB}, \quad n \geq 127 \quad (2)$$

이 된다. 그러므로, $p[n]$ 은 $d[n]$ 보다 127배 이상 많아야 한다. 즉, 워터마크 데이터 $d[n]$ 의 한 비트에 Pseudo-random sequence 신호 $p[n]$ 은 127개 이상 들어가야 한다.

만약 $d[n]$ 과 $p[n]$ 이 양극신호(antipodal: [1,-1])이면 두 신호는 BPSK spreader에서 다음과 같은 단순한 곱의 형태로 나타낼 수 있다.

$$s[n] = d[n] \times p[n] \quad (3)$$

이렇게 확산된 신호는 변조과정을 거쳐 오디오 데이터 스펙트럼의 일정 영역으로 이동하게 된다. 다음으로 압축에 강한 특성을 갖게 하기 위해서 Spectral Masking Model을 적용하여 입력 오디오 블록들의 마스크 곡선을 구한 후, 이에 적용하는 필터를 구하였다.[8] 여기에서 구해진 필터와 워터마크 신호를 필터링한다. 결국 변조된 워터마크 신호를 마스크 필터를 통과시킨 후 이득 조절을 하여 워터마크를 오디오 신호에 삽입한다.

2.2 워터마크의 검출

워터마크의 검출 과정은 워터마크가 삽입된 오디오 신호가 입력이 되면, $\sqrt{2} \cos \omega t$ 를 이용하여 변조된 값을 다시 복조한다. 그 다음 과정으로 정합필터(matched filter)를 사용하여 워터마크 신호와 오디오신호를 분리한다.[6],[7] 정합 필터의 계수는 $p[N-n]$ 을 갖게 되고 신호의 자기상관 특

성에 따라 각 Pseudo-random sequence의 주기내에서 최대값을 갖게 된다. 여기서 검출된 결과값을 이용하여, 임계치(threshold)를 결정한다. 지금까지의 과정을 통해 검출된 파형은 실험 결과에서 나타난 바와같이 매 블록마다 일정한 주기를 가지고 다른 신호에 비해 큰 값을 갖는 신호로 나타난다.[3] 워터마크 검출 과정은 다음과 같다.

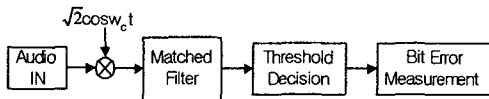


그림 2 워터마크 검출 방법

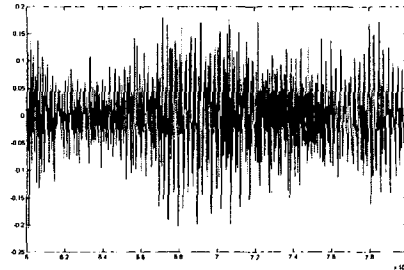


그림 4 워터마크가 삽입된 파형

워터마크 신호를 제거하기 위하여 MPEG-1 Layer III 압축 공격을 하였을 때의 출력 파형은 그림 5와 같다.

III. 실험 및 결과

4.1 실험 방법

제한한 오디오 워터마크 방식의 성능을 시험하기 위하여 다음의 방법으로 테스트하였다.

- ① 워터마크 삽입한다.
- ② SDMI 스펙에 규정된 공격방법 중 몇 가지를 선택하여 워터마크를 테스트한다.[5]
 - ㉠ addition echo
 - ㉡ linear speed change
 - ㉢ lowpass filtering
 - ㉣ MPEG-1 Layer III codec
- ③ 워터마크를 검출하여 BER을 측정한다.
- ④ 음질을 평가한다.[4]

4.2 실험결과

그림 3은 입력된 오리지널 신호의 파형이고, 그림 4는 출력된 워터마크 삽입 신호이다.

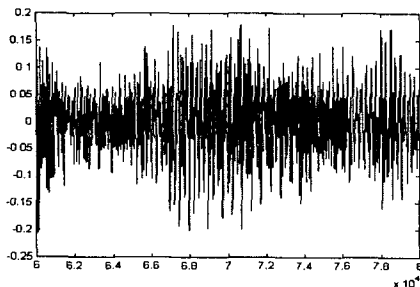


그림 3 오리지널 신호의 파형

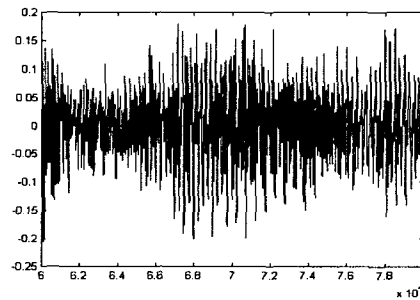


그림 5 공격당한 파형

그림 6은 워터마크가 삽입된 오디오 신호를 복조기와 matched filter를 이용한 검출기에 통과시켜 워터마크를 검출한 결과이다.

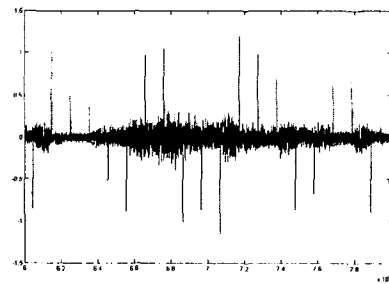


그림 6 워터마크 검출 파형

표1은 SDMI 스펙에 규정되어 있는 오디오 워터

마크에 대한 공격 방법들을 사용하여 강인성을 평가한 것이다. 표3은 C. Neubauer의 논문[4]에 기록된 음질평가표에 근거하여 주관적으로 수행한 음질테스트의 결과이다. 음질 테스트는 PEAQ(Perceptual Evaluation of Audio Quality) 측정 시스템을 사용하였다. 이는 실제의 소리를 심리 음향적으로 측정하는 방법이다. 다음의 표는 이 측정 방법에서 사용하는 총 5등급으로 나뉘어진 SDG(Subjective Diff-Grade) 등급을 보여준다.

표 1 SDG(Subjective Diff-Grades)

SDG	Description
0.0	imperceptible
-1.0	perceptible but not annoying
-2.0	slightly annoying
-3.0	annoying
-4.0	very annoying

표 2 워터마크의 강인성 평가 (BER을 백분율로 표시)

Attack types		
Addition echo	Linear speed change	MPEG-1
2%	5%	2%

표 3 오디오 음질 테스트

	FFT size	PNS	SDG
비발디의 사계 '봄' (44.1kHz, mono, 16bits)	4096	1023	0.0
	4096	511	0.0
	4096	255	0.0
	4096	127	-0.1
	2048	255	-0.1

IV. 결론

본 논문에서는 마스킹 특성을 이용한 적응 필터를 구현하고 이를 BPSK로 대역 확산된 신호와 필터링시켜 오디오 워터마크를 삽입하는 방법을 제안, 구현하였다.

변조 주파수를 조절함으로써 어떤 주파수 대역에 든지 워터마크를 삽입할 수 있지만, 마스킹 필터를 사용하였기 때문에 삽입되는 워터마크로 인한

잡음의 영향은 아주 작게 나타났다. SDMI에 규정된 테스트 방법 중에 압축 등에는 강한 특성을 나타낸다. MP3를 이어 보편화될 MPEG-2 AAC의 압축 특성에 적합한 워터마크를 연구하는 것도 필요한 연구과제이다.

V. 참고문헌

[1] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia" Tech. Rep. 95-10, NEC Research Institute, 1995

[2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding", IBM Systems Journal, vol.38, no.3&4, pp.313-336, 1996

[3] L. Boney, A.H. Tewfik, K.N. Hamdy, "Digital Watermarks for Audio Signals", Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, Hiroshima, Japan, pp. 473-480, June 17-23, 1996

[4] C. Neubauer, J. Hesse, K. Brandenburg, "Continuous Steganographic Data Transmission Using Uncompressed Audio" IHW'98 - Proc. of the International Information hiding Workshop, April. 1998

[5] SDMI, Amendment 1 to SDMI Portable Device Specification, Part I, Version 1.0, 1999

[6] Leon W. Couch II, Digital And Analog Communication Systems, Fifth Edition, Prentice Hall, 1997

[7] B. Sklar, Digital Communication, Prentice Hall, 1988

[8] ISO/IEC 11172 part 3: audio, first edition, August, 1993