

論文2002-39CI-3-5

고음질을 위한 디지털 오디오 워터마킹에 관한 연구

(A Study on the Digital Audio Watermarking for a High Quality Audio)

趙炳錄*, 丁日鏞**, 朴暢均***, 李康鉉***

(Byung Lok CHO, Il Yong CHUBG, Chang Gyun PARK, and Kang Hyeon Rhee)

요약

본 논문에서는 고음질을 위한 디지털 오디오 워터마킹(watermarking) 알고리즘을 제안한다. 오늘날 디지털 저작물을 확인하는데 디지털 워터마크(digital watermark)가 쓰이고 있으며, 영상뿐만 아니라 디지털 오디오 분야도 연구가 활발하다. 특히, 디지털 오디오 분야에서의 워터마크 삽입은 워터마크의 강인성뿐만 아니라 워터마크 된 오디오 데이터 자체의 음질에 상당한 영향을 주게 된다. 오디오 워터마크는 일반적으로 FFT 변환 후 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는데, 이때 워터마크 삽입 영향으로 오디오 데이터 음질에 영향을 미치게 된다. 따라서 오디오의 고음질을 유지하면서 강인한 워터마크를 삽입하는 연구가 큰 문제로 대두되었다. 논문에서는 심리음향 모델(Psychoacoustic model) 및 MDCT/IMDCT(Modified Discrete Cosine Transform/Inverse Modified Discrete Cosine Transform)를 사용한 고음질 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안된 논문에서, 오디오 워터마킹 알고리즘을 위하여 44.1KHz, 128Kbps, 스테레오 오디오 파일을 이용하였다. 오디오 데이터가 MDCT를 통해 주파수 변환하는 과정에서 256, 1024, 2048 포인트 간격으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 50ms의 RMS 윈도우를 사용했을 때 원 오디오 데이터와 워터마크 된 오디오 데이터의 전체 RMS 파워의 차이는 0.8dB이다.

Abstract

In this paper, the authors proposed the digital audio watermarking algorithm for a high quality audio. Today, the digital watermark is used to confirm to the digital copyright protection, not only the digital image but the digital audio study is an activeness in the digital watermarking area. Especially, the watermark insertion in the digital audio area affects deeply not only a robustness but the audio quality of the watermarked audio data. Generally, the audio watermark is inserted in the frequency domain after FFT, the quality of audio data is affected by the watermark insertion. Thus, a high quality audio to be maintained at the same time, the study related a inserting of the robustness watermark happened to a hot issue. In this paper, the authors proposed the digital audio watermarking algorithm using psychoacoustic model and MDCT/IMDCT (Modified Discrete Cosine Transform/Inverse Modified Discrete Cosine Transform). In the proposed scheme, the authors experimented the stereo audio file with 44.1KHz and 128Kbps for the audio watermarking algorithm proposed. When the audio data is processed by MDCT, the watermark is able to insert into the frequency domain with 256, 1024 and 2048 interval. In case of 50ms RMS window, it was confirmed that the difference between the original audio data and the watermarked audio data of RMS power is 0.8dB.

Key Words : Digital audio watermarking, Psychoacoustic model, MDCT/IMDCT

* 正會員, 順天大學校 情報通信工學部

(School of Info. & Comm. Eng., Suncheon University)

** 正會員, 朝鮮大學校 컴퓨터工學部

(School of Computer Eng., Chosun University)

*** 正會員, 朝鮮大學校 電子情報通信工學部

(School of Elec. & Info-Comm. Eng., Chosun Univ.)

接受日字:2001年3月6日, 수정완료일:2002年4월15일

I. 서론

오늘날 디지털 세계에서, 정보에 대한 가치는 매우 크며, 그 정보라는 것은 인터넷의 발전으로 다양한 형태로 액세스 될 수 있어서 사용자가 데이터를 복사, 변조하여 저작권이나 소유권을 주장하는 것이 가능하다. 웹(Web)의 폭발적인 확산으로 인하여 누구나 쉽게 웹을 통해 제공되는 데이터들을 쉽게 복사할 수 있다는 것이 큰 역할을 했다. 그러나, 웹의 세계가 점점 복잡해지면서 웹의 확산에 큰 역할을 한 이러한 속성에도 서서히 문제가 제기되고 있다. 웹을 통해 쉽게 배포된 데이터는 원 소유자가 누군지 확인 할 수 없게 되었다. 더욱이 복잡한 과정을 통해 작업한 멀티미디어 데이터들도 웹을 통해 얻을 수 있어 또 다른 문제의 소지가 있다. 데이터의 일부를 수정하거나 제거해 자신의 창작품인 것처럼 내놓게 된다면 많은 논란이 벌어지게 될 것이다.

정보를 보호하는 기술은 여러 가지가 있는데 그 중에서도 특히 암호화 방법을 사용하는 방법이 대표적이다. 그러나 암호화 방법은 암호를 알고 있는 특정인에게만 그 정보에 대한 액세스 권한이 주어진다. 정보를 보호하는 또 다른 기술은 현재 핫 이슈가 되고 있는 워터마킹 기술이 있는데 워터마킹 기술은 디지털 저작물에 직접 저작권자 고유의 정보를 삽입함으로써 디지털 저작물에 대한 지적재산권을 표시 할 수 있다. 디지털 워터마킹 기술은 웹에 올려진 디지털 창작물에 대한 지적재산권을 보호하는 첨단기술이다.

이 기술의 등장 배경은 웹에 올려진 데이터는 누구든지 쉽게 복사할 수 있기 때문에 복사방지와 디지털 창작품의 지적재산권을 보호하여 디지털 저작물에 대한 저작권이나 소유권을 주장하는 것을 방지할 수 있다. 이런 워터마킹 기술은 영상 데이터뿐만 아니라 오디오 데이터에도 적용할 수 있다. 오디오 워터마킹 방법에는 일반적으로 주파수 변환 후, 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법을 사용한다. 이렇게 워터마킹을 하는 과정에서 오디오 데이터는 음질에 영향을 받게 된다. 오디오 특성상 오디오 데이터에 워터마크가 삽입되더라도 워터마크에 의해 음질이 손상되면 상품가치가 떨어지기 때문에 오디오의 음질이 매우 중요하다.^[1-3]

본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 심리음향 모델 및 MDCT/IMDCT를 사용한 고음질 오디오 워터마킹

을 제안한다. 제안된 알고리즘은 고음질을 요구하는 오디오 데이터에 워터마크를 삽입하는 방법으로서 주파수 성분과 워터마크를 삽입하는 방법을 사용하였고, 주파수 성분과 워터마킹을 하기 위해 FFT를 사용하지 않고 MPEG 오디오에 사용되는 MDCT를 사용하여 주파수 변환 후 IMDCT로 역변환 하여 고음질의 샘플을 얻었으며, 심리음향 모델을 사용하여 MDCT/IMDCT에 필요한 제어 값을 제공할 수 있게 하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 고음질 오디오 워터마킹을 위한 심리음향 모델 및 MDCT/IMDCT의 이론적 배경을 설명하고 III장에서는 고음질 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 그리고 IV장에서는 제안된 알고리즘의 실험결과 및 고찰을 통하여 V장에서 결론을 맺는다.

II. 이론적 배경

오디오 워터마크의 일반적인 방법에는 여러 가지가 있는데 가장 기본적인 Low-bit coding과 Phase coding, Spread spectrum, Echo hiding 등의 방법이 있다.^[4-7]

그림 1은 일반적인 워터마크 삽입과정을 나타낸 것이고, 그림 2는 워터마크의 검출과정을 나타낸 것이다.

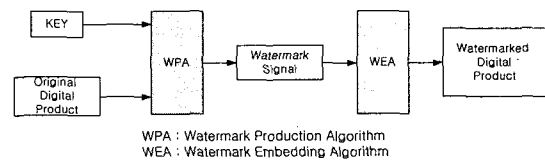


그림 1. 워터마크 삽입
Fig. 1. Watermark insertion.

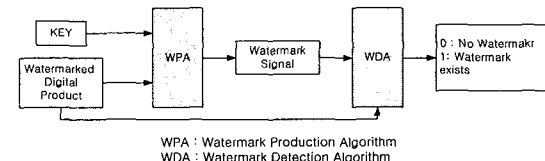


그림 2. 워터마크 검출
Fig. 2. Watermark detection.

보통 음성 데이터는 샘플링 이론에 근거하여 음성 데이터를 표본화하고, 양자화해서 디지털화 되며, 특히 오디오 데이터는 고음질을 위하여 44.1KHz 샘플링을, 16bit 양자화, PCM으로 디지털화 된다. 이 방법에 의해

서 인간의 가청 주파수 대역을 모두 커버할 수 있기 때문에, 매우 높은 음질을 보존한 채 디지털화 할 수 있다. 한편, 이 디지털 데이터는 쉽게 완전한 형식으로 복제할 수 있는 특징이 있다. 이 충실한 재현성은 디지털화의 큰 장점이 되는 반면, 디지털 저작물의 저작권 보호가 필수 조건으로 되어 왔다. Boney는 사람이 지각할 수 없는 형식으로 저작권 정보를 오디오 데이터에 삽입하는 방법을 사용하였다. 청각의 마스킹 현상을 이용한 Boney의 디지털 워터마크의 삽입 방법은 음의 진폭성분을 직접 이용해서 삽입하기 때문에 고품질의 오디오 데이터에는 부적절하고 동시에 워터마크의 은닉성에 문제가 된다.^[8,9]

1. PN-Sequence

PN-sequence은 외부 간섭에 영향을 받지 않는 특성 때문에 워터마킹에 기본 구성을 이룬다. PN- sequence가 이루고 있는 특성 중 자기상관특성이 있는데, n 비트인 PN-sequence를 짝수 번 곱하여 N으로 나누면 1이 나오고, 홀수 번 곱하여 N으로 나누면 1/N이 나온다. 한 비트 지연된 PN- sequence값을 곱하면 -1/N이 나온다. 식 (1)은 이와 같은 관계를 나타낸 것이고, 그림 3은 10개의 레지스터를 갖고 3, 10번 출력 레벨에서 케환이 이루어지는 PN-sequence 생성 모듈이다.

$$R(k) = \begin{cases} 1 & k=0 \\ -\frac{1}{N} & 0 < |k| < N \end{cases} \quad (1)$$

N : 샘플 수

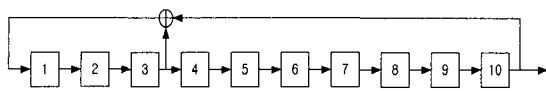


그림 3. 의사 잡음 열
Fig. 3. PN-sequence.

2. 심리음향 모델

심리음향 모델은 PN-sequence에서 곱해진 오디오 데이터를 입력받아 MDCT/IMDCT에 필요한 정보를 제공해주는 역할을 한다. 사람의 귀가 인지할 수 있는 신호 대역은 20Hz에서 20KHz이며, 이 영역에서 특정 주파수에 따라 듣는 특성이 달라지며, 신호크기가 일정 수준 이상에 이를 때까지 그 소리를 듣지 못한다. 이를 절대 가청 주파수의 마스킹 문턱 값이라고 하며, 아래 식 (2)와 같이 표현되고, 그림 4와 같다.

$$ATH(f) = 3.64(f/1000)^{-0.8} - 6.5e^{-0.6(f/1000-3.3)^2} + 10^{-3}(f/1000)^4 \quad (2)$$

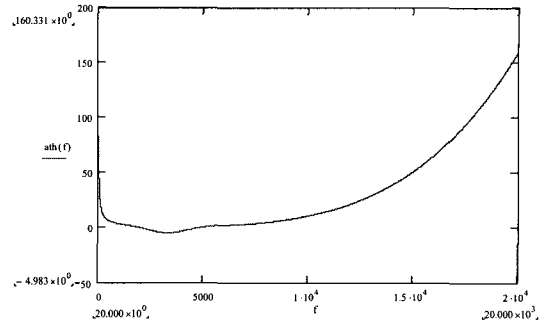


그림 4. 절대 가청 주파수의 마스킹 문턱 값
Fig. 4. Masking threshold of the absolute audible frequency.

ATH(f)는 ATH안의 dB를 나타내고, f는 주파수 값이다. 이 주파수는 낮은 영역과 높은 영역에서 큰 값을 갖고 중간 대역(1KHz-5KHz)에서 낮은값을 갖는다. 이것은 중간 대역에 음성의 중요한 정보가 들어 있다는 것과 일치한다. 위 곡선에서 가장 낮은 지점은 짜인 레벨의 ±1 LSB와 사운드 압력이 동일하다. 사람의 귀는 충분히 높은 주파수의 순간적인 소리는 일정기간 유지할 하지 못한다.

이 모듈에서는 입력신호의 마스킹 문턱치(Masking threshold)를 계산하고, 마스킹 문턱치는 Hanning 윈도우를 씌우고, 연속되는 윈도우 블록의 50% 중첩으로 512에서 2,048까지 샘플 된 오디오 세그먼트의 데이터 블록을 분석하여 MDCT/IMDCT를 위한 윈도우 정보를 제공한다. 이 윈도우 정보를 가지고 MDCT는 주파수 변환을 하는데, 그림 5는 MDCT/IMDCT를 위한 윈도우 형태를 보여준다.

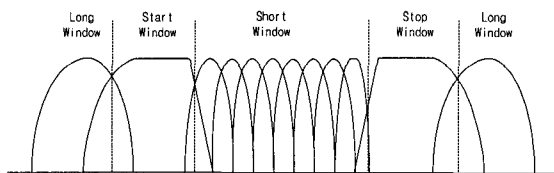


그림 5. MDCT 분석 윈도우
Fig. 5. MDCT analysis window.

3. MDCT/IMDCT

MDCT는 TDAC(Time Domain Aliasing Cancellation)을 이용한 서브밴드 코딩으로 에일리어싱(alia-

sing)을 제거한다. 본 논문에서 사용된 MDCT/IMDCT는 각각 식 (3), 식 (4)와 같다

$$X(i, k) = 2 \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(i, n) \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+n_0)\left(k+\frac{1}{2}\right)\right) \quad (3)$$

for $0 \leq n < N/2$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(i, k) = \text{spectral coefficient} \\ n = \text{샘플 인덱스} \\ k = \text{cosine계수 인덱스} \\ i = \text{블록 인덱스} \\ N = \text{윈도우 길이} \\ n_0 = \left(\frac{N}{2} + 1\right)\frac{1}{2} \end{array} \right.$$

$$X(i, n) = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} x(i, k) \cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+n_0)\left(k+\frac{1}{2}\right)\right) \quad (4)$$

for $0 \leq n < N$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(i, k) = \text{윈도우 된 입력} \\ n = \text{샘플 인덱스} \\ i = \text{윈도우 인덱스} \\ k = \text{spectral계수 인덱스} \\ N = \text{윈도우 길이} \\ n_0 = \left(\frac{N}{2} + 1\right)\frac{1}{2} \end{array} \right.$$

MDCT는 시간영역 데이터를 주파수영역으로 변환하며, IMDCT는 역으로 주파수영역 데이터를 시간영역 데이터로 환원한다. 디코딩 과정에서 IMDCT는 전체 처리과정에서 CPU점유율 30% 이상 많은 연산을 필요로 한다. MDCT/IMDCT는 블록연산이며 따라서 블록간의 연결을 부드럽게 하기 위해 윈도우를 사용한다. 변환을 위한 윈도우의 길이 N 은 *window_sequence*에 의해 결정되고, 표 1은 *window_sequence*에 따른 윈도우 길이 N 이다

표 1. 윈도우 수열

Table 1. Window sequence.

$N =$	{	2048, <i>ONLY_LONG_SEQUENCE</i> (0x0)
		2048, <i>LONG_START_SEQUENCE</i> (0x1)
		256, <i>EIGHT_SHORT_SEQUENCE</i> (0x2)
		2048, <i>LONG_STOP_SEQUENCE</i> (0x3)

표 1에서 *EIGHT_SHORT_SEQUENCE*만 제외하고 모두 2,048개의 샘플을 사용하는 *LONG_BLOCK*이다, 따라서 *window_sequence=0x2*일 때만 *SHORT_BLOCK*으로 256개의 샘플을 블록으로 처리하고 나머지는 모두 *LONG_BLOCK*으로 처리한다.

본 논문에서의 MDCT/IMDCT는 KBD (Kaiser-

Bessel derived)윈도우와 sine 윈도우 2가지를 사용하기 때문에 윈도우 길이뿐만 아니라 윈도우형태도 결정해야 한다. 이것은 현재 블록의 *WINDOW_SHAPE*와 과거 window shape인 *WINDOW_SHAPE_PREVIOUS_LOCK*으로 결정한다. 그리고 윈도우의 전체 길이를 1/2하여 전반부(left)는 *WINDOW_SHAPE*으로 결정된 윈도우 형태를 사용하고, 후반부(right)는 *WINDOW_SHAPE_PREVIOUS_BLOCK*에 의해 결정된 윈도우형태를 사용한다. *WINDOW_SHAPE/WINDOW_SHAPE_PREVIOUS_BLOCK = 0x1*이면 KBD window를 사용한다.

이렇게 주파수 변환 영역에 집적 워터마크를 삽입하게 되고, 다시 복원 후 PN-sequence를 곱하면 음질의 열화 없는 워터마크 된 오디오 데이터를 얻을 수 있다.^[10~13]

III. 고음질 오디오 워터마크 제안

1. 알고리즘 구성

본 논문에서는 삽입된 워터마크의 은닉성을 확보하기 위하여 Spread spectrum 방법을 사용하고, 오디오 데이터의 고음질을 보장하기 위하여 MPEG 오디오에 채택된 심리음향 모델과 MDCT/IMDCT를 사용한다. 이와 같이 제안된 전체 알고리즘 구성은 다음과 같다.

<오디오 워터마크를 위한 알고리즘 구성>

A : 오디오 데이터

W : 워터마크

W' : 워터마크 삽입된 오디오 데이터

A*PN : 오디오 데이터와 PN-Sequence를 곱한 값

PN : PN-Sequence

PSY : 심리음향 모델

MDCT : Modified DCT

IMDCT : Inverse Modified DCT

{절차 1} A와 PN을 서로 곱한다.

{절차 2} A*PN 값을 MDCT와 PSY에 보낸다.

{절차 3} PSY에서는 윈도우 값을 계산한다.

{절차 4} MDCT에서는 PSY의 결과 값을 가지고

A*PN을 주파수 변환 후, W를 삽입한다.

{절차 5} IMDCT로 시간영역으로 변환한다.

{절차 6} PN와 승산하여 동기 시킨다.

이의 의사 코드는 다음과 같다.

<Pseudo code for the audio watermarking proposed>

```

WHILE n DO
  A*PN
  PSY(A*PN)
  WHILE N DO
    MDCT(A*PN)
  THEN WATERMARK INSERTION
    IF W= TRUE
      IMDCT(W')
    ELSE WATERMARK INSERTION
  END IF
W'*PN
    
```

그리고 제안된 오디오 워터마킹 흐름도는 그림 6과 같다.

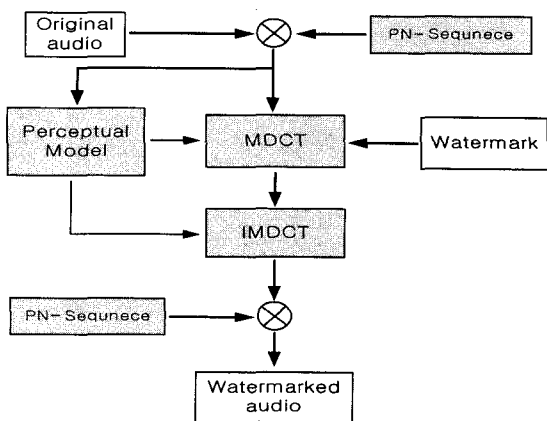


그림 6. 제안된 오디오 워터마크 삽입 흐름도
Fig. 6. Flow chart of the audio watermark insertion.

2. 오디오 데이터와 PN-Sequence의 승산

오디오 데이터에 워터마크를 삽입하여 디지털 워터마크의 은닉성을 확보하기 위하여 Spread spectrum 방식의 한 방법인 직접 스펙트럼 확산(DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum)을 이용한다. DSSS에는 PN-sequence가 필요하기 때문에 이 PN-Sequence의 생성기를 디지털 워터마크의 고유키로 정한다. 그림 6의 제안된 흐름도에서 오디오 데이터와 두 신호를 승산하여 MDCT에 인가된다. MDCT를 거친 스펙트럼 신호는 간섭, 채널 잡음 등으로 부터 보호하기 위해 사용되는데, 이는 PN-sequence가 잡음의 간섭을 막고,

우수한 자기상관특성을 두고 있기 때문이다. 이 모듈은 그림 6과 같이 오디오 파일의 입력단과 출력단에 사용되는데, 입력단에서 PN-sequence를 곱함으로써 주파수 영역으로 변환 될 때 전 주파수 영역으로 확산된다. 주파수 영역에 워터마크를 삽입한 후 IMDCT로 시간영역 변환 후 다시 한번 PN-sequence를 곱해 줌으로써 동기화 해주어 원 오디오 데이터를 복원 할 수 있다. PN-sequence와 오디오 데이터를 곱하여 확산된 오디오 신호는 심리음향 모델과 MDCT의 입력값이 되어 변환된다.

3. MDCT/IMDC의 최적화

MDCT 모듈로 인가된 신호는 주파수 영역으로 변환되기 위한 과정을 거치는데 많은 연산량을 필요로 한다. 그러므로 MDCT/IMDCT를 최적화함으로써 연산량을 효율적으로 감소시킬 수 있다. 식 (3)과 식 (4)는 계수인덱스 길이와 누산 후 2 또는 2/N을 곱하는 것 말고는 차이가 없다. 따라서 식 (3)의 경우를 최적화 하여 식 (4)에도 적용가능 하다.

식 (3)에서 cosine 계수를 식 (5)와 같이 지수 함수로 나타내어 최적화를 수행할 수 있으며, 이에 따른 흐름선도는 그림 7과 같다

$$\cos\left(\frac{2\pi}{N}(n+n_0)\left(k+\frac{1}{2}\right)\right) = e^{j\frac{2\pi}{N}(n+n_0)(k+\frac{1}{2})} = C_N^{(n+n_0)(k+\frac{1}{2})} \quad (5)$$

여기서 $e^{j\frac{2\pi}{N}} = C_N$

식 (3)과 식 (4)에서 cosine계수인덱스 k에 대해 최적화를 실시한다. 연산 량의 감소는 k에 대해 최적화함

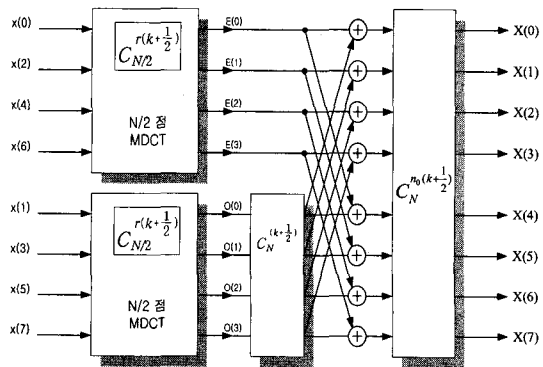


그림 7. N/2 점 MDCT의 흐름선도
Fig. 7. Flow chart of N/2 point MDCT.

으로써 가능하다. 식 (5)는 cosine함수만 남게 되며, cosine함수의 주기적 성분에서 부호를 제외하면 주기는 2^{p-1} 이 된다.

3. 워터마크 추출

워터마크 삽입량 Z 는 오디오 표본화 주파수 f_s 와, 샘플 수 N 을 이용해서 식 6과 같이 구해진다.

$$Z = \frac{f_s}{N} \quad (6)$$

따라서, 음질 열화에 비해서, 각 프레임에 대해 복수 비트를 삽입한 것이 쉽게 가능하고 삽입 량은 각 프레임마다 삽입 비트 수에 비례한다.

오디오 워터마크의 추출과정은 워터마크 된 오디오 데이터에 워터마크 삽입 과정에서 사용된 것과 동일한 모듈인 PN-sequence와 승산하여 동기 시킨 후 다시 한번 MDCT를 하여 주파수 영역에서 워터마크를 추출한다. 이 과정은 그림 8과 같다.

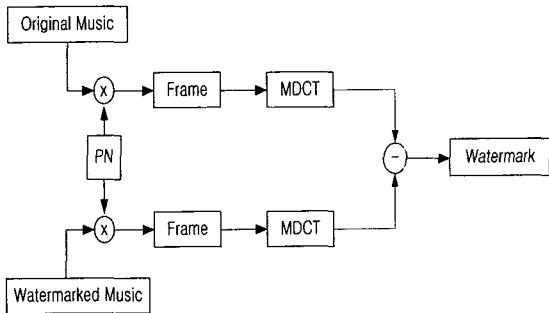


그림 8. 워터마크 추출 블럭도
Fig. 8. Block diagram of watermark extraction.

만약 워터마크 삽입단계와 다른 PN-sequence를 사용한다면 올바른 워터마크를 검출할 수 없을 뿐만 아니라 오디오 음질 자체가 열화 된다.

고음질에 가치가 있는 오디오 데이터에 워터마크를 삽입할 경우, 워터마크에 의해 음질이 떨어지지 않는 것이 매우 중요하고, 실제로 고품질의 오디오 데이터에 삽입을 해서 음질이 미치는 영향을 알아본다.

IV. 실험결과 및 고찰

본 논문의 실험을 위하여 C++을 이용하여 오디오 워터마크 응용 프로그램을 구현하였다. 본 논문에서 사용

된 오디오 실험 데이터는 스테레오 44.1KHz 16비트이고, 양자화 한 클래식 오디오 데이터 및 케스터네츠 오디오 데이터를 사용했으며, 실험대상의 오디오 데이터가 스테레오 음이기 때문에 그 한쪽 채널에만 워터마크를 삽입하였다.

오디오 데이터에 주파수 변환을 하기전과 워터마크를 삽입 후 복원하기 위하여 PN-sequence를 곱하는데, 그림 9는 본 논문에서 사용된 PN-sequence 모듈의 파형이고, 그림 10은 PN-sequence의 자기상관 특성을 나타내는 파형이다.

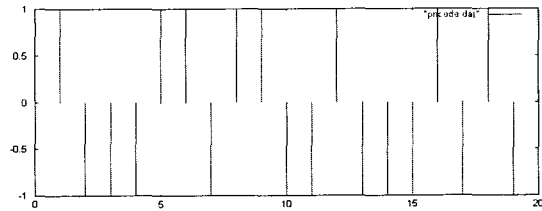


그림 9. PN-sequence 신호
Fig. 9. PN-sequence signal.

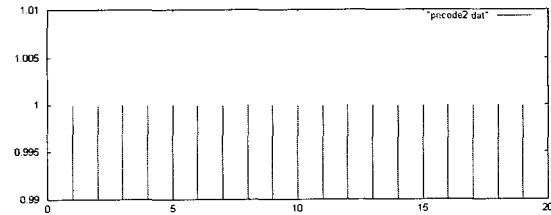


그림 10. PN-sequence의 자기 상관 특성
Fig. 10. Auto-correlation of PN-sequence.

그림 11은 PN-sequence를 곱하기 전의 테스트를 위한 신호를 나타낸 것이고, 그림 12는 PN-sequence를 승산한 후의 신호이다.

그림 13은 PN-sequence를 곱하여 원 신호의 복원을 보여준다.

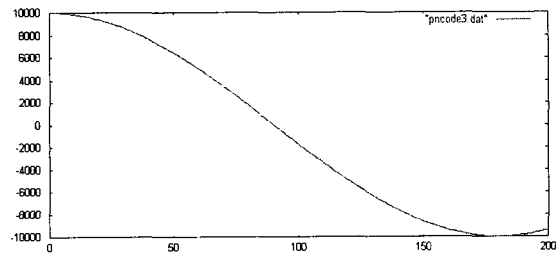


그림 11. PN-sequence를 위한 테스트 신호
Fig. 11. Test signal for PN-sequence.

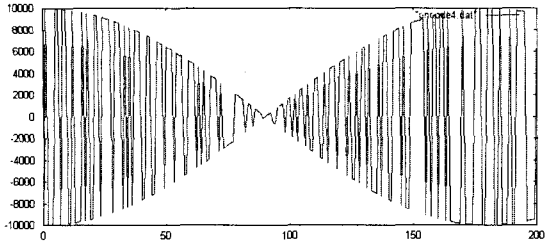


그림 12. PN-sequence와 테스트 신호를 곱한 신호
Fig. 12. Multiplication of PN-Sequence and Test Signal.

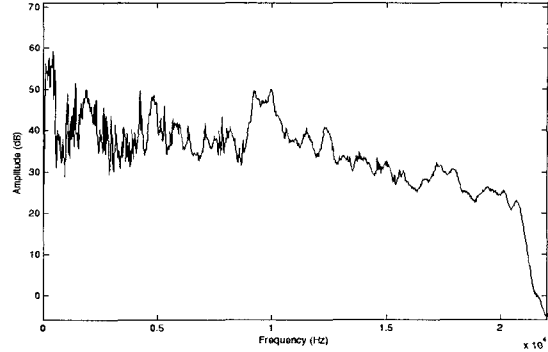


그림 15. 주파수 영역에서 원 오디오 데이터 스펙트럼
Fig. 15. Original audio data spectrum in frequency domain.

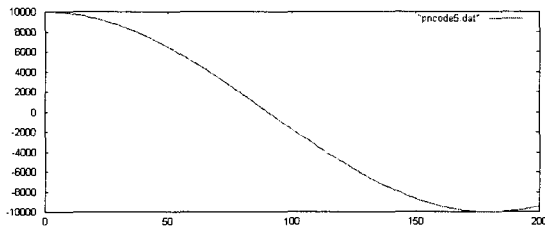


그림 13. 복원한 테스트 신호
Fig. 13. Decoded test signal.

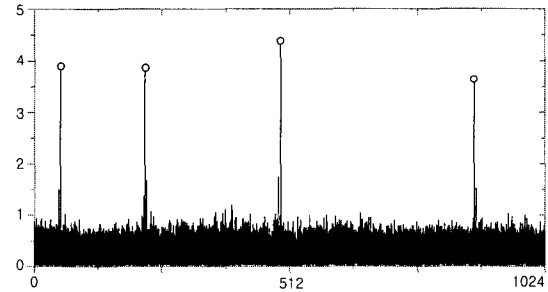


그림 16. 워터마크 검출
Fig. 16. Watermark detection.

그림 14는 본 논문에서 제안된 알고리즘을 응용프로그램으로 구현하고 워터마크를 삽입하는 장면을 나타낸 그림이다. 그림 14에 오디오 데이터의 블록 포인터, 즉 256, 1024, 2048의 MDCT 윈도우 크기에 워터마크를 삽입하였고 그림 15는 이 데이터의 주파수 영역에서 파형이고 그림 16은 이렇게 확산된 주파수 영역에 워터마크를 삽입하고 IMDCT로 복원한 후, 워터마크를 추출한 결과이다.

그림 17은 워터마크 된 오디오 데이터를 MPEG-1 Layer 3 압축 후 다시 복원한 다음 워터마크를 검출한 것이다. 여기에서 워터마크의 위치는 임의의 샘플수열 30, 250, 500, 890에 위치하여 실행하였다.

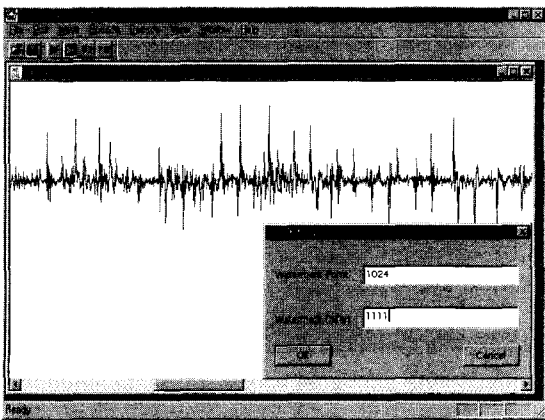


그림 14. 오디오 워터마킹 응용 프로그램
Fig. 14. Audio watermarking application program.

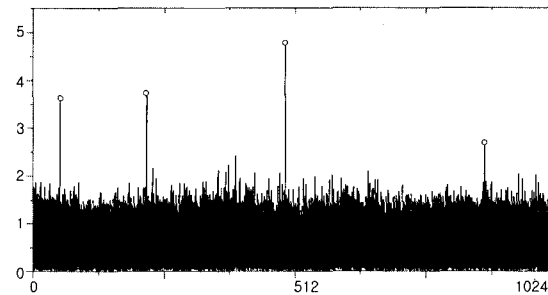


그림 17. MPEG-1 Layer 3 압축에 대한 워터마크의 추출
Fig. 17. Watermark detection by MPEG-1 Layer 3 compression.

표 2와 3은 각각 워터마크 된 데이터와 오리지널 데이터의 비교 분석결과이다.

표 2. 원 오디오 데이터
Table 2. original audio data.

측정종류	결과
Channel	1
Min sample value	-28315
Max sample value	28384
Peak amplitude	1.31dB
Minimum RMS power	-28.4dB
Maximum RMS power	18.58dB
Average RMS power	20.28dB
Total RMS power	20.55dB
Using RMS window	50ms

표 3. 워터마크가 삽입된 결과
Table 3. Result of the watermarked audio data.

측정종류	결과
Channel	1
Min sample value	-28315
Max sample value	28384
Peak amplitude	1.24dB
Minimum RMS power	-27.4dB
Maximum RMS power	17.58dB
Average RMS power	19.28dB
Total RMS power	19.57dB
Using RMS window	50ms

그림 18은 워터마크를 하기 이전의 원 신호이고 그림 19는 워터마크를 한 후의 데이터 파형이다. 이 두 신호 차를 얻어 그림 20에서 나타난 차분 파형처럼 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

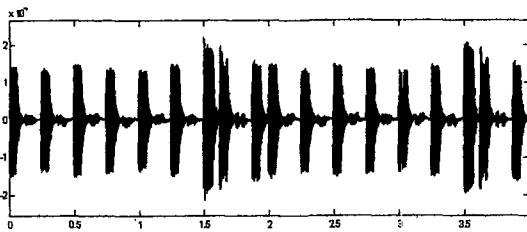


그림 18. 원 오디오 신호 파형
Fig. 18. Original audio signal waveform.

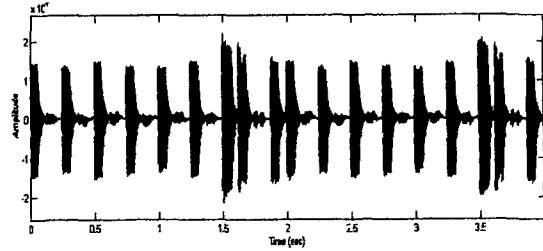


그림 19. 워터마크 된 오디오 신호 파형
Fig. 19. Watermarked audio signal waveform.

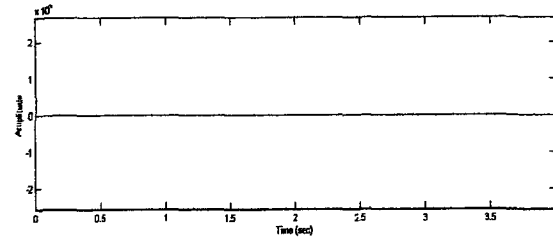


그림 20. 차분 파형
Fig. 20. Difference waveform.

V. 결론

본 논문에서는 고음질을 위한 오디오 워터마킹 방법을 제안하였는데, 주파수 영역에 직접 워터마크를 삽입하는 방법으로, 입력 데이터 값인 워터마크를 위한 오디오 파일은 샘플링율 8KHz~96KHz, 비트율 64Kbps~256Kbps, 스테레오 및 모노를 지원하기 때문에 샘플링율과 비트율이 다른 여러 오디오 데이터에 적용할 수 있고, 워터마크 삽입 시 워터마크 삽입 간격을 조절할 수 있어 워터마크의 삽입량을 결정할 수 있다. 그리고 파라메타의 결정으로 입력 오디오 데이터의 특정한 부분에 워터마크를 삽입할 수 있다. 실험 결과 PN-sequence 와 동기가 이루어지지 않는 오디오 데이터에서 워터마크를 검출하기 위해 공격하면 워터마크를 검출할 수 없을 뿐만 아니라 오디오 데이터의 음질에도 심각한 영향이 있음을 알 수 있다.

본 논문의 결과 1,044Mbyte의 클래식 오디오 데이터의 워터마크 인코딩 처리 시간은 Pentium-III 256M 시스템에서 40초의 시간이 소요되었다. 제안된 알고리즘의 각각의 블록을 H/W로 설계 시 인코딩 속도의 개선으로 빠른 워터마크 인코딩을 할 수 있으며, 본 제안된 알고리즘은 MPEG 오디오의 심리음향 모델과 MDCT/IMDCT 블록을 사용하였기 때문에 MPEG 오디오 워터마킹의 연구에 응용될 수 있다.

감사의 글

본 논문을 자상히 심사하여 주신 보이지 않은 심사 위원님께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김정태, 이강현, "MPEG Audio을 위한 MDCT/IMDCT의 설계에 관한 연구," 대한전자 공학회 학술대회, 1999
- [2] "ISO/IEC MPEG-2 Advanced Audio Coding 4382(N-1)"-Presented at the 101st Convention, 1996 November 8-11 Los Angeles, California, AN AUDIO ENGINEERING SOCIETY PREPRINT, 1996.
- [3] Brandenburg K, & Stoll G, "ISO-MPEG-1 Audio : A Generic Standard for Coding of High Quality Digital Audio," Journal of the Audio Engineering Society, No. 10, pp. 780~792, Oct. 1994.
- [4] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, Tom Leighton and Talal Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, No. 12, 1997.
- [5] D. Gruhl, A. Lu, and W. Bender, "Echo Hiding," in Proc. Information Hiding Workshop (University of Cambridge, U.K), pp. 295~315, 1996.
- [6] V. Basia and I. Pitas, "Robust audio watermarking in the time-domain," Proc. Europ. Signal Processing Conf., Sept. 1998.
- [7] Jack Lacy, Schuyler R. Quackenbush, Amy R. Reibman and James H. Snyder, "Intellectual property protection systems and digital watermarking," OPTICS EXPRESS. Vol. 3, No. 12., 7 Dec. 1998.
- [8] L. Boney, A.H. Tewfik, & K.N. Hamdy, "Digital watermark for audio signals," Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems, June 1996.
- [9] F. Hartung & M. Kutter, "Multimedia watermarking Technique," Proceedings of IEEE, Vol. 87, No. 7, July 1999.
- [10] R. Wolfgang, C. Podichuk and E. Delp, "Perceptual watermarks for images and video," Processings of the IEEE, May 1999.
- [11] W. Bender, D. Gruhl and N. Morimoto, Techniques for data hiding, In Proc. of SPIE, volume 2420, page 40, Feb. 1995.
- [12] R. Dixon, Spread Spectrum System with Commercial Applications, Wiley, New York, 1994.
- [13] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel and C. F. Osborne, "A Digital Watermark," Proc. ICIP94, Vol. II, page 86, 1994.

저 자 소 개

趙炳錄(正會員) 論文 第38卷 CI編 第4號 參照

朴暢均(正會員) 論文 第38卷 CI編 第6號 參照

丁日鏞(正會員) 論文 第38卷 CI編 第4號 參照

李康鉉(正會員) 論文 第38卷 CI編 第4號 參照