

Frequency masking과 Wavelet 변환을 이용한 적응형 오디오 워터마킹

이동인* . 김순곤**

An Adaptive Audio Watermarking using Frequency Masking and Wavelet Transform

Dong-In Lee* , Soon-Gohn Kim**

요 약

본 논문에서는 디지털오디오 원시 데이터의 양에 따라 적당한 양의 오디오워터마크를 생성, 삽입하여 일정한 수준의 오디오데이터의 품질을 유지하도록 하는 적응적 워터마킹을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 심리음향모델인 frequency masking과 Wavelet 변환의 개념을 적용한다. 저작권자 혹은 소유자의 데이터는 PN-sequence를 이용하여 생성된다. 워터마크 생성량의 조절은 특정한 모듈이 담당하게 되는데 이 모듈은 원시 데이터의 크기에 따라 워터마크의 적당한 양을 산출하여 오디오데이터의 품질을 유지하도록 한다.

Key words: Psychoacoustics, Frequency Masking, Wavelet Transform, Audio Watermarking, Copyright

1. 서 론

정보화의 발달로 통신을 통해서 정지영상, 동영상, 문서, 음악데이터, 음성데이터등의 멀티미디어 보급이 급격히 증가하고 있다. 이러한 발달은 유용한 데이터의 효과적인 분배, 재생산, 응용등의 긍정적인 현상을 야기시키는 반면, 원래 데이터의 저작권자나 소유자들과 이용자간의 저작권 분쟁 등 멀티미디어 산업의 부정적인 측면도 무시하지 못할 만큼 증가하고 있다. 이러한 저작 및 소유권의 침해를 방지하는 기술 중 하나가 워터마킹이라 할 수 있다.

워터마킹은 데이터 샘플에 대한 약간의 수정을 통해서 디지털 데이터내에 숨겨진 저작권 정보를 삽입하는 모든 공정을 의미한다. 암호화와는 달리, 워터마킹은 데이터에 대한 접근을 제한하지는 않는다. 암호화에서는 일단 크래킹되면 그 데이터는 더 이상 보호되지 않는다. 워터마크는 영구히 원데이터에 남아서 소유자의 정보를 담고 있게되고 워터마크를 불법적으로 제거할 경우 데이터의 성능과 질이 현저히 저하되는 특성을 가지게 된다.

이러한 유용하고 신뢰성있는 워터마크는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.

- 원 데이터에 삽입되어야 한다.
- 원 데이터의 성능을 저하시켜서는 안된다

- 불법적인 추출에 노출되면 안된다
- 원 데이터에 대한 잡음, 압축, 절단, 변환등의 처리에 강인해야 한다
- 저작권자의 워터마크 추출이 가능해야 한다

1.1 적응형 워터마크의 필요성

현재 오디오 워터마킹 알고리즘으로 많이 이용되는 Spread spectrum 기법은 사람이 인식하지 못하도록 하면서 강인한 특성을 유지할 수 있도록 삽입하는 방법으로 I.J. Cox에 의하여 제안된 방법이다. 이 방법은 협대역의 신호(watermark)를 훨씬 큰 대역폭의 신호(original signal)의 전반에 걸쳐 보내는 방법이다. 이는 큰 대역폭의 신호에서 볼 때 협대역의 신호는 아주 작은 양이고, 전주파수 영역으로 분산됨으로써 하나의 주파수에서 볼 때 신호의 에너지는 작아 협대역 신호를 검출하기가 어렵게 된다.

대역확산 방법에 의한 워터마크 생성은 워터마크의 위치를 알 수 없으며, 또한 삽입에 이용되는 주파수 성분도 원 신호의 특징을 결정짓는 중요한 성분들이 선택되므로 각종 신호처리 과정이나 고의적인 공격 등에 대하여 강한 특성을 갖게 된다[11].

하지만 원시 디지털 오디오데이터의 크기에 관계

* 중부대학교 대학원 전자계산학과

** 중부대학교 컴퓨터멀티미디어학과

없이 생성되는 워터마크의 양이 일정하다면 원시데

<표 2> Critical Band center frequencies and bandwidths

<표 1> 소리의 심리적 인자와 물리적 인자의 관계

	라우드니스 (Loudness)	피치 (Pitch)	탬브르 (Timbre)	시간 (Duration)
압력 (Pressure)	강함	약간	약간	약간
주파수 (Frequency)	약간	강함	보통	약간
스펙트럼 (Spectrum)	약간	약간	강함	약간
시간 (Duration)	약간	약간	약간	강함
엔벨롭 (Envelope)	약간	약간	보통	약간

이터의 크기가 달라지는 경우, 생성되는 워터마크가 삽입된 데이터의 품질은 보장받을 수 없게 된다. 따라서 원시 오디오데이터의 크기의 변화에 따라 삽입할 워터마크의 양을 변화시킴으로서 원시데이터 대비 워터마크의 비율을 일정하게 유지하고, 생성된 데이터의 품질을 일정한 수준으로 유지하는 모듈이 필요하게 되었다.

2. 관련연구

2.1 심리음향

심리음향(Psychoacoustics)이란 소리가 사람에게 어떻게 들리는가를 사람의 심리와 음향을 관련시켜 연구하는 학문이다. 소리를 나타내는 데는 앞에서 언급한 바와 같이 물리적으로 표현하는 것이 일반적이다. 하지만 사람이 소리를 인식할 때는 인간 심리가 큰 영향을 미치기 때문에 물리적 인자들에 의한 표현으로는 그 현상을 정확하게 설명하기가 어렵다. 따라서, 물리적인 표현에 인간 심리의 요소를 가미한 인자들의 필요성이 생기게 되었다.

소리에 대한 물리적 인자는 압력, 주파수, 스펙트럼, 시간, 엔벨롭(envelope)의 5가지이다. 이 다섯 가지 속성 중 우리에게 새로운 용어는 스펙트럼과 엔벨롭이다. 스펙트럼은 소리의 주파수 성분들을 나타내는 말이다. 즉 우리가 소리의 파형을 볼 때 시간을 x축으로 파의 크기를 y축으로 보는 방법이 있고, 또 다른 하나의 방법은 시간대신 주파수를 x축으로 파의 크기를 y축으로 보는 방법이 있다. 두 번째 방법에서 나타나는 파의 형상을 스펙트럼이라고 한다. 엔벨롭이란 시간에 따라 소리의 크기가 변화하는 모습을 나타내는 말이다.

그렇다면, 심리적 요소를 가미한 소리의 표현 인자들은 어떤 것이 있을까? 아마도 물리적 인자들과 유사한 것일 것이다. 소리의 크기를 나타내는 라우드니스(Loudness), 소리의 높이를 말하는 피치(Pitch), 소리를 구분하는 데 사용되는 탬브르(음색, Timbre)와 소리가 들리는 시간을 말하는 시간(Duration)이 있다. 여기서 주의해야 할 것은 시간이다. 즉, 시간이란 소리가 나는 시간이 아니라 소리가 들리는 시간을 말한다.

그럼 여기서 소리의 물리적 인자들과 심리적 인자

No	CF	BW	No	CF	BW	No	CF	BW
1	50	80	9	1000	160	17	3400	550
2	150	100	10	1170	190	18	4000	700
3	250	100	11	1370	210	19	4800	900
4	350	100	12	1600	240	20	5800	1100
5	450	110	13	1850	280	21	7000	1300
6	570	120	14	2150	320	22	8500	1800
7	700	140	15	2500	380	23	10500	2500
8	840	150	16	2900	450	24	13500	3500

단위 : Hz, CF : Critical Frequency, BW : Bandwidth

들의 관계를 살펴보자. 우리가 느끼는 음의 세기는 소리의 실제 세기와 강한 연관이 있으나 다른 물리적 인자들과도 약간의 연관성이 있다. 예를 들면, 우리가 들을 수 있는 소리의 크기를 변화시키기 위해서는 가장 쉽게 소리의 압력을 높이면 효과가 크고, 다른 물리적 인자들을 변화 시켜도 그 효과는 작지만 우리가 듣는 소리의 크기는 변한다는 것이다. 한편, 우리가 듣는 소리의 높고 낮음은 주파수와 강한 관계가 있고, 탬브르(음색)는 스펙트럼과 강한 관계, 주파수와 엔벨롭과는 보통의 관계를 가지고, 지속 시간은 시간과 강한 관계를 가지고 있다.[2]

2.2 임계대역

1940년에 Fletcher는[3] 광대역잡음에 대한 순음(sinusoidal sound)이 마스킹되는 정도를 실험을 통해, 인간 귀의 소리지각 메카니즘에서 주파수 대역별 필터들의 조합처럼 특정 주파수별 임계대역이 있는 것을 발견하였다. 그의 실험에서 정해진 크기의 순음(sinusoidal sound)이 그 순음의 주파수를 중심 주파수로 하는 잡음의 주파수 대역폭의 변화에 따라, 그 순음(sinusoidal sound)이 마스킹되는 정도를 측정 하였다. 그 결과, 순음이 마스킹되는 잡음 주파수 대역폭에 한도가 있는 것을 발견했다. 이 대역폭을 임계 대역폭(critical bandwidth)이라 한다.

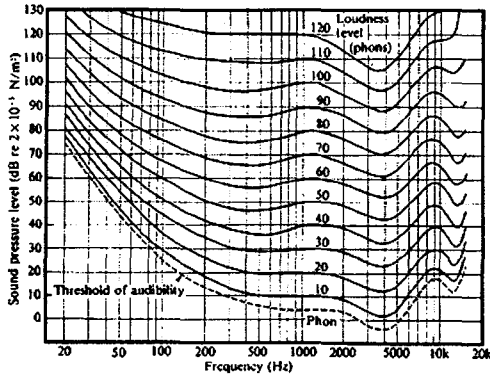
Fletcher는 이 결과를 청각필터(auditory filter)로 설명하였다. 즉, 귀가 여러개의 필터로 구성된 것과 같이 특정 주파수 영역에 대한 소리 신호를 한꺼번에 처리 한다는 것이다. 그의 뒤를 이어 많은 연구가 이어졌고, Zwicker(1961)는 24개의 청각필터(auditory filter)를 제안했다. (표 2. 참조)

2.3 라우드니스 지각

일반적으로, 소리의 크기를 라우드니스라고 이해하고 있는데, 이것이 일상에서의 대표적인 오류중의 하나이다. 인간의 음향 지각은 위에서 이야기 했듯이, 개인의 귀-뇌 시스템의 차이와 각기 다른 경험에 따라 다를 수 있다. 즉 상당히 주관적 성격이 강하다. 이를 이해하기 위해 많은 과학자들이 소리의 물리적인 인자들과 주관적(심리적)인 인자

들과의 관계를 통해 인간의 주관적인 음향지각을 이해하고자 했다.

사람 귀의 민감도는 소리의 특징과 그 주파수적인 특징에 따라 변한다. 심리적인 소리의 크기는 고주파수 영역보다 상대적으로 저주파수영역에서 민감도가 떨어진다. 가장 민감도가 큰 주파수 영역



(그림 1) 등라우드니스(Equal Loudness)곡선

은 3500 Hz ~ 4000 Hz이다. 일반적으로 이퀄라이저가 있는 오디오 시스템에서 권장되는 이퀄라이징 패턴과 모습이 유사한 것을 알 수 있다. 그리고 라우드니스 버튼을 볼 수가 있는데, 이는 상대적인 민감도가 떨어지는 저주파수 영역의 출력을 높여줌으로써 전체 주파수 영역에서 고른 출력을 들려주기 위한 노력의 일환으로 이해되고 있다.

(그림.1)에서 Phon이라는 새로운 단위를 볼 수 있다. 이는 인간의 심리적인 요소를 가미한 소리의 크기 단위이다. 쉽게 이야기 하자면 1kHz에서의 소리의 크기를 기준으로 주파수별 동등한 효과를 내도록 음압을 증가시켜서 얻은 값들을 연결한 곡선들이다. 이를 등 라우드니스(Equal Loudness) 곡선이라고 한다.[3]

2.4 Wavelet 변환

웨이브렛 해석은 신호처리 계통에 속하는 여러 분야에서 각자의 특수한 목적에 부합되도록 개별적으로 발전시켜온 특수한 기술들을 하나로 통합하면서 등장하였다. 컴퓨터 비전에서 이용된 다해상도(multi-resolution) 분석방법이나 음성과 영상압축에서 사용되던 서브밴드(sub-band) 코딩 기법, 응용 수학에서 사용된 웨이브렛 시리즈 전개등 많은 기본 기법들이 최근에 들어 웨이브렛 이론의 특수한 응용으로 밝혀졌다.

웨이브렛 해석은 연속 신호와 이산 신호의 경우에 모두 적용될 수 있으며 다양한 분야에서 그 응용 가능성을 인정받고 있다.

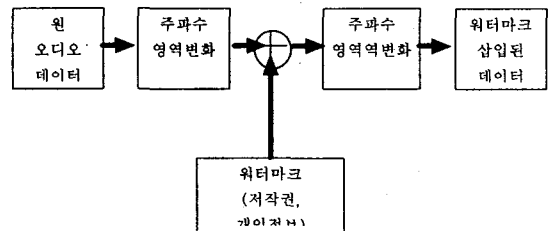
웨이브렛변환은 특별히 비정형(nonstationary) 신호의 분석에 유리한 특징을 가져서 고전적인 단구간 푸리에 변환(STFT : short time fourier transform)이나 가보 변환(gabor transform)을 대체할 새로운 대안으로 대두되고 있다. 웨이브렛 변환이 고전적인 단구간 푸리에 변환과 구별되는 근본적인 차이점은 단구간 푸리에 변환의 경우 모든 주파수 대역에 대하여 동일한 크기의 필터 윈도우를 사용하는 반면

웨이브렛 변환은 고주파 대역에서는 폭이 좁은 윈도우를, 저주파 대역에서는 폭이 넓은 윈도우를 사용한다는 것이다. 따라서 웨이브렛 해석은 상대 대역폭 불변 해석(constant relative bandwidth analysis)이라고도 일컬어지며, 주파수 대역의 변화 폭은 항상 주파수 값에 비례한다.

웨이브렛 변환은 입력 신호를 특정 기저 함수의 집합으로 분리하는 과정으로도 이해될 수 있다. 웨이브렛 변환에 사용되는 기저 함수의 집합은 하나의 기본 웨이브렛 기저함수(mother wavelet basis function)에 대한 시간축 방향으로의 확대 및 축소 그리고 평행 이동을 통해 얻어진다. 기본 웨이브렛 기저 함수는 특별한 형태의 밴드(band-pass) 필터로 생각할 수 있으며, 웨이브렛 변환의 상대 대역폭 불변성은 기본 웨이브렛 기저에 대한 시간축 방향 축소 및 확대에 의해 충족되어진다. 이에 따라 웨이브렛 변환에서는 주파수 대역이라는 용어 대신 스케일(scale)이라는 용어를 주로 사용하며, 입력 신호에 대한 웨이브렛 변환을 다른 말로 원 신호의 시간, 스케일 공간표현이라 일컫는다[10].

3. 일반적인 워터마크 삽입기법

사람이 인식하지 못하게 하면서 강인한 워터마크의 삽입기법으로는 I. Cox에 의해 제안된 대역확산을 이용한 방법을 널리 사용하고 있다. 이는 협대역신호(watermark)를 더 큰 대역폭의 신호(original signal)를 통해 보내는 방법으로서 큰대역폭의 신호에서 볼 때 협대역신호의 에너지는 아주 작은 양이고, 시간 영역에서는 전체적으로 분산되기 때문에 검출이 어려운 특성을 가지고 있다.



(그림 2) 대역확산기법의 블록도

4. 오디오 마스킹

오디오 마스킹이란 하나의 큰 소리에 의해서 주변의 다른 작은 소리들이 들리지 않게 되는 인간의 청각현상중의 하나를 말한다. 이러한 마스킹에는 Spectral마스킹과 Temporal 마스킹이 있다. 이러한 마스킹현상을 이용하면 원 데이터에 워터마크를 삽입하되 들리지 않게 삽입할 수가 있는 것이다.

4.1 Spectral 마스킹

Spectral 마스킹은 Frequency 마스킹이라고도 하는

데 오디오신호의 주파수 영역사이의 마스킹 현상을 말한다. 만약 주파수영역에서 인접한 두 오디오 신호가 있으면 두 주파수중 강한 주파수신호는 약한 주파수신호를 들리지 않게 만드는데 이를 masking이라 하고 이때의 강한 주파수를 masker라 하며 약한 주파수를 masked signal이라 한다. masker의 masking threshold는 masker와 masked signal의 주파수, 음압레벨등에 의해서 결정된다. 본 논문에서 이용하는 Spectral masking은 ISO-MPEG Layer 1의 심리음향모델을 업데이트한 ISO-MPEG Later III의 심리음향모델이다[9].

4.2 Temporal 마스킹

Temporal 마스킹은 premasking과 postmasking을 말하는데 premasking은 강한 masker가 발생하기 전에 약한 신호가 masking되는 것을 말하고,postmasking은 강한 masker가 발생한 후에 약한 신호가 masking되는 현상을 말한다. premasking은 masker 이전의 5 - 20ms에서 발생하고, postmasking은 masker 이후의 50 -200ms에서 발생한다. Frequency masking 과 Temporal Masking 효과는 각각 특성을 가지고 있는데, Frequency masking은 주파수영역에서, Temporal masking은 시간영역에서 일어나는 효과라는 것이다. 본 논문에서는 Frequency masking을 이용한 심리음향모델1을 응용한다.[9]

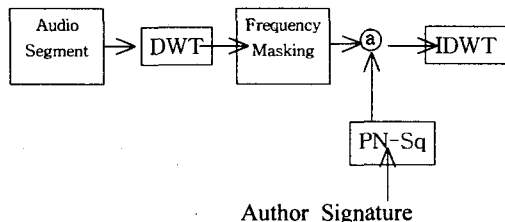
5. 제안하는 워터마킹

본 논문에서는 주파수영역변환으로 Wavelet을 이용하였고, 워터마크를 삽입하기 위해서 인간청각체계중 Frequency masking 현상을 이용하였고, 저작권/소유권자의 정보는 PN-Sequence를 이용하여 생성하였다. 입력되는 원시데이터의 크기에 따라 적당한 양의 워터마크를 발생하기 위해서 아래의 모듈을 삽입하여 일정수준의 오디오데이터의 품질을 유지하고자 하였다.

$$G = \text{int}(\text{read_size}/n)$$

G : 워터마크의 양,
read_size : 입력된 원시데이터
n : 판단변수

제안하는 워터마킹은 오디오신호에 대한 일반적인 워터마킹기법에 기본을 두고 있다.



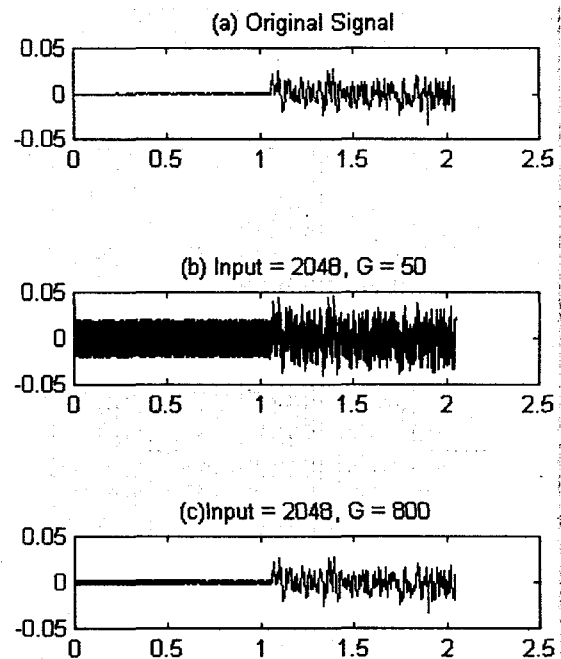
(그림 3) 본 논문에서 이용된 워터마킹 블록도

자세한 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) Audio Segment의 Power Spectrum을 분석한다.
- 2) Power spectrum의 Frequency mask를 연산한다.
- 3) 저작권/소유권자의 정보를 PN-Sequence를 이용하여 생성한다.
- 4) 정보가 삽입된 데이터를 IDWT한다
- 5) 원시데이터의 크기를 측정하여 Gain 값을 산출한다.
- 6) Gain 값이 반영된 워터마킹된 블록이 생성된다

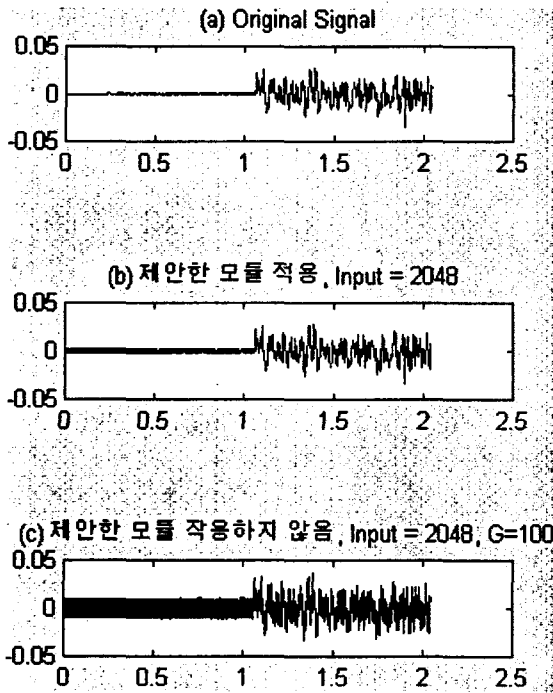
6. 실험결과

먼저 원시 데이터의 입력크기를 2048로 고정하고 후 G값을 변화시키면서 실험을 하였다.



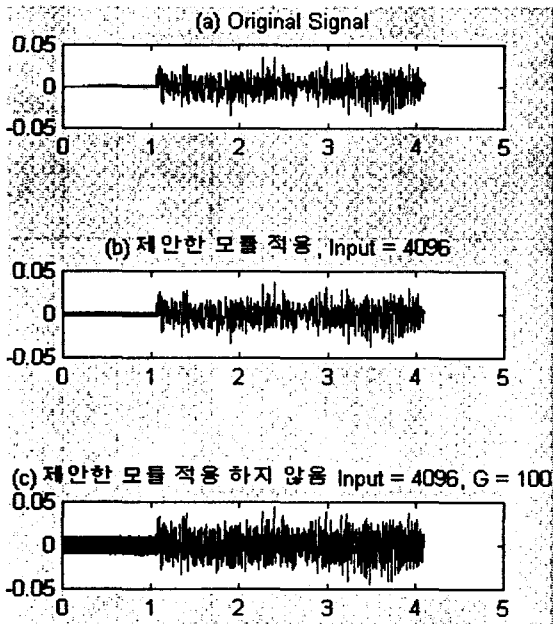
(그림 4) G값을 50, 800으로 fix 한 후 결과

그림 4-(a)는 워터마크를 삽입하지 않은 원래의 데이터인데 워터마크를 삽입한 후의 결과와 비교하기 위해서 그림을 첨가했다. 원래의 signal의 파형과 비슷할수록 원래의 음질에 가까워진다. 그림 4-(b)와 그림 4-(c)는 각각 G값을 50, 800으로 주고 워터마크를 삽입한 결과를 보인 것이다.G값은 워터마크의 양을 조절하는 기능을 하는 변수로서 G값이 클수록 원래의 신호와 흡사한 파형을 보이고 따라서 좋은 음질을 들려준다. (그림 4)는 입력데이터의 크기를 2048로 설정한 후 실험결과를 명확히 관찰하기 위해서 G값의 크기를 큰 쪽으로 변화시켜 실험한 것이다. 그림 4-(b)는 원래의 파형과 비교했을 때 잡음이 아주 많이 삽입되어 있다는 것을 알 수 있다. 실제로 청각을 통해 들어 보면 원 오디오데이터와 더불어 상당한 잡음이 들렸다. 그림 4-(c)는 원래의 신호파형과 비교했을 때 아주 흡사한 모양을 갖고 있고, 실제로 들어 보면 원래의 오디오데이터와 구분하기 힘들 정도로 잡음이 없었다. (그림



(그림 5) 입력=2048, 제안한 알고리즘 적용한 결과와 적용하지 않은 결과의 비교

5)는 이제 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 적용한 결과와 적용하지 않고 정해진 G값을 가지는 알고리즘을 적용한 결과를 비교하는 실험을 그림으로 보인 것이다. 그림 5-(a)는 입력데이터를 2048로 하고, 워터마크를 삽입하지 않은 원래의 original signal이고 마찬가지로 워터마크 삽입후의 결과와



(그림 6) 입력=4096, 제안한 알고리즘 적용한 결과와 적용하지 않은 결과의 비교

비교하기 위한 그림이다. 그림 5-(b)는 제안하는 모듈을 적용한 후의 결과이다. 파형이 원래의 오디오 데이터의 파형과 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. 실제로 들어본 결과 original signal과 거의 차이가 없는 음질을 들려주고 있었다. 그리고 그림 5-(c)는 G 값을 100으로 정한 후의 결과이다. 원래의 파형과 상당히 다른 모양을 보이고 있었다. 실제로 들어본 결과도 원 오디오와 함께 잡음이 많이 들었다. (그림 6)은 (그림 5)와 같은 실험이지만 입력데이터의 크기를 변화시킨 실험이다. 그림 6-(a)는 원래의 워터마크를 삽입하지 않은 오디오데이터의 파형이다. 그림 6-(b)는 원래의 오디오데이터에 제안하는 워터마크 알고리즘을 적용한 결과이다. (그림 5)의 실험과 같은 알고리즘에 입력데이터만 4096으로 2배증가시킨 후 워터마크를 삽입한 것인데 original signal과 별다르지 않은 파형을 보이고 있으며, 실제로 들어본 결과도 (그림 5)와 마찬가지로 원래의 음질과 별 차이가 없었다. 그림 6-(c)도 (그림 5)의 실험과 같은 알고리즘에 입력데이터만 4096으로 변화시킨 후 워터마크를 삽입한 결과인데 (그림 5)에서 보인 결과보다는 양호하지만 제안한 모듈을 적용한 결과보다는 좋지 않은 파형을 보였고, 실제로 들어본 결과도 잡음이 많이 들었다.

그리고 이러한 실험결과를 계량화하여 수치로 나타낸 것이 <표 3> 이다.

위의 실험결과를 좀 더 명확하게 분석하기 위해서

<표 3> original signal과 워터마크 삽입한 신호와의 차이(제안한 모듈적용시와 비적용시 비교)

실험방식 데이터열	입력 2048 G=50	입력 2048 G=800	입력 2048 제안모듈 적용	입력 4096 제안모듈 비적용
1st	0.0084	0.0005	0.0005	0.0042
2nd	0.0130	0.0008	0.0008	0.0065
3rd	0.0192	0.0012	0.0012	0.0096
4th	0.0031	0.0002	0.0002	0.0015
5th	0.0167	0.0010	0.0010	0.0083
⋮				
2044th	0.0054	0.0003	0.0003	0.0027
2045th	0.0197	0.0012	0.0012	0.0099
2046th	0.0111	0.0007	0.0007	0.0056
2047th	0.0105	0.0006	0.0006	0.0052
2048th	0.0199	0.0013	0.0013	0.0099
⋮				
4092th	-	-	0.0005	0.0038
4093th	-	-	0.0013	0.0100
4094th	-	-	0.0005	0.0045
4095th	-	-	0.0008	0.0062
4096th	-	-	0.0012	0.0097

수치화하는 방법을 사용하였다. <표 3>의 수치는 워터마크가 삽입되기 전의 원 오디오데이터와 워터마크가 삽입된 후의 오디오데이터의 유사관계를 분

석하기 위해서 두 데이터간의 차이를 수치로 표현한 것이다. 표를 보면 제안한 알고리즘을 적용한 후의 데이터와 원래의 워터마크를 삽입하기 전의 데이터와의 차이가 제안한 알고리즘을 적용하지 않은 실험보다 상대적으로 현격히 적음을 알 수 있다. 이에 따르면 제안한 오디오워터마킹 알고리즘이 입력데이터의 크기변화에도 일정한 수준의 음질을 유지하도록 하는 적응성이 강화되어 있다는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문은 디지털오디오데이터의 크기를 감지하여 일정한 수준의 품질을 유지하는 워터마크의 생성을 통하여 저작권 정보를 삽입하는 워터마킹처리에 대해서 기술하고 있다. 이 과정은 삽입된 워터마킹을 인식불가능하도록 하는 기법의 근간이 되는 인간청각체계의 마스킹현상을 이용하였다.

원오디오데이터의 저작권자의 정보는 PN-Sequence로 생성되어 삽입된다. Host signal은 DWT(Discrete Wavelet Transform)을 거쳐 Frequency Making을 한후 원시 데이터의 크기에 따른 워터마크의 양을 조정하는 모듈을 거친 후 저작권자의 정보를 삽입한 후 다시 IDWT(Inverse DWT)한 상태로 재생성된다. 삽입된 후의 오디오 데이터는 원시데이터의 크기의 변화에도 오디오의 품질을 유지하고 워터마크정보는 들을수 없다. 앞으로 데이터에 대한 불법적인 공격을 시도하여 워터마크의 강인성에 대한 테스트를 거쳐야 하고 Blind Watermarking에 관한 연구로 진행되어야 하겠다.

8. 참고문헌

- [1] 자료원: 강성훈, 강경옥(1997), '입체음향', 기전연구소.
- [2] Rossing, T. D.(1990) 'The science of sound', Addison Wesley, ch.5, p.80
- [3] Rossing, T. D.(1990) 'The science of sound', Addison Wesley, ch.5, p.92
- [4] Pohlman, K.C.(1997), 'Principles of digital audio', McGraw-Hill, 3rd ed.
- [5] Moore, B. C. J.(1989), 'An Introduction to the Psychology of Hearing', 3rd ed., Academic Press.
- [6] http://mustech.tfc.ac.kr/digital_music/lecture_material/Sound%20Processing/2-심리음향및디지털오디오.htm
- [7] http://www.3stech.co.kr/ko/pds/info1_4.html
- [8] Ken.C. Pohlmann,'Principles of Digital Audio', McGraw-Hill Book, 1997
- [9] ISO/IEC 11172-3, 1994
- [10] <http://www.intersys21.com/product/idl/wavelet.html>
- [11] I.J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", Tech. Rep. 95-10, NEC Research Institute, 1995.