

정수 웨이브릿변환을 이용한 워터마킹기법의 연구

강환일, 김갑일, 한승수  
 명지대학교 전기정보제어공학부

A Study on the Watermarking Methods with Integer Wavelet Transforms

Hwan Il Kang, Kab Il Kim, Seung-Soo Han  
 Division of Electrical, Information & Control Eng., Myongji Univ.

**Abstract** - 오디오 워터마킹기법에는 스프레드 스펙트럼방식, 패치워크방식과 echo hiding방식등이 있다. 본 논문에서는 실시간처리를 고려하여 오디오 워터마킹기법을 제안하고자 한다. 실시간 측면에서는 될 수 있으면 계산상의 간략화가 요구된다. 이와 관련하여 정수 웨이브릿 변환을 이용한 오디오 워터마킹 방법을 제안한다. 워터마킹을 추출할 때는 스프레드 스펙트럼을 이용한다. 이 오디오 알고리즘은 음악에 연동하는 전기기기를 구성할 때 유용한 알고리즘이 된다. 즉 음악에 워터마크를 삽입하여 이 워터마크를 전기기기 동작제어 비트열로 이용할 수 있다.

상변화에 둔감함을 이용하였다. 이 방법은 원본 신호가 있어야 한다. 주파수마스킹방법은 오디오신호와 워터마크 신호를 FFT한후 psychoacoustic model을 이용하여 차등 가산 연산을 수행하여 워터마크를 첨가한다.[5] 2장에서는 본 논문에서 이용한 정수 웨이브릿 변환을 설명하고 또한 워터마크의 삽입과 추출방법을 기술한다. 제3장에서는 실험을 행하여 제시된 방법을 유용성을 보였다. 그리고 제4장에서 결론을 기술한다.

1. 서 론

오디오 워터마킹기법에는 스프레드 스펙트럼방식, 패치워크방식과 echo hiding방식등이 있다. 스프레드 스펙트럼 방식에는 가우시안 분포 수열, M-수열, uniform 분포 수열, chaotic 수열, chebychev 수열등을 이용하여 correlation의 패턴이나 유사도를 보고 워터마킹의 유무를 판정할 수 있고 혹은 워터마크 비트를 삽입 추출할 수 있다. 원 신호를 주파수 평면으로 변환하는 방법으로 FFT, DCT, Wavelet transform을 많이 사용하고 있으며 변환평면에서 워터마크를 삽입하고 원 상태로 복원하는 방법을 취하고 있다. 그러나 실시간 처리를 위해서는 table이나 정수 웨이브릿 변환을 이용하여 계산량을 줄일 수 있다.

패치워크 방법은 특정한 신호 영역에서 한 신호그룹에서 작은 양의 합산을 하고 다른 신호 그룹에서 작은 양을 감산하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 주파수 평면에서 패치워크를 하고 DCT변환이 다른 변환보다 성능이 우수하다고 증명하였다. [2]

반향 은폐(echo hiding)방식은 원래신호와 원래신호의 적당한 양을 지연시킨 신호의 합을 구한다. 지연된 시간의 차이에 따라 워터마크삽입유무를 판정할 수 있다. 추출하는 방법은 신호의 캡스트럼 신호에서 지연된 시간을 구할 수 있다. 그러나 캡스트럼을 구하는 것은 온라인상에서 많은 계산량으로 인하여 사용하는데 durbin알고리즘으로 바꾸어 사용하면 계산량을 줄일 수 있다. 인간의 청각계는 짧은 반향신호를 인지하지 못하므로 서로 다른 지연시간을 갖는 에코 신호를 삽입하는 방법이다. 또한 최근에 오디오 신호를 2차원신호로 변환한후 DCT변환과 Modulus를 이용한 오디오 워터마크방식이 발표되었다. [3]

하위비트조작법은 각 오디오 신호의 LSB(Least Significant Bit)에 워터마크삽입하여 이용하나 잡음등에 약해 부가적인 기술을 추가하여야 한다. 위상부호화 방법에는 위상을 조작하여 데이터를 삽입하는 방법으로 주파수영역에 워터마크를 삽입하여 인간의 청각계는 위

2. 정수웨이브릿변환

2.1 하르(Haar)와 2/2 정수 이산 웨이브릿 변환

연속웨이브릿변환[4]은 특정한 웨이브릿의 축소 혹은 확대와 이동을 통하여 원래파형과 축소 및 확대된 웨이브릿과의 유사도를 구하여 3차원적으로 표현할 수 있다. 즉 x축은 이동을나타내고 y축은 확대 축소를 나타낸다. 그리고 z축은 유사도를 나타낸다. 이산웨이브릿 변환은 축소나확대를 이산값으로 변화시키고 이동값도 이산값으로 변화시키면 이산 웨이브릿 변환을 얻는다. 한편 이산 웨이브릿 변환을 완전 재건 필터(perfect reconstruction filter)로 구현할 수 있다. 즉 이산신호는 저주파와 고주파로 분해한후 이 계수들을 이산웨이브릿 필터의 계수로 볼 수 있다. 실제 실시간 연산을 위해 정수 이산 웨이브릿변환이 필요하다. 2/2 정수 이산 웨이브릿변환을 설명하면 다음과 같다. 우선  $\{S_{0,0}S_{0,1}S_{0,2}S_{0,3}S_{0,4}S_{0,5}S_{0,6}...\}$  일차원신호를 웨이브릿변환(정수 이산웨이브릿 변환)을 다음과 같이 구한다. 하르 정수 이산 웨이브릿변환의 고주파는

$$D_{1,\ell} = S_{0,2\ell+1} - S_{0,2\ell} \quad \text{이고} \quad \text{저주파는}$$

$$S_{1,\ell} = S_{0,2\ell} + \lfloor D_{1,\ell}/2 \rfloor \text{ 이 된다. 역 웨이브릿변환은}$$

$$S_{0,2\ell} = S_{1,\ell} - \lfloor D_{1,\ell}/2 \rfloor \text{ 과}$$

$$S_{0,2\ell+1} = D_{1,\ell} + S_{0,2\ell} \text{으로 다시 원래 이산신호를 얻는}$$

다. 여기서  $\lfloor \cdot \rfloor$  는 변수에 가까운 정수이며 변수보다 작은 정수를 뜻한다.

2/2 정수웨이브릿변환을 구현하자. 우선  $\{S_{0,0}S_{0,1}S_{0,2}S_{0,3}S_{0,4}S_{0,5}S_{0,6}...\}$  일차원신호를 웨이브릿변환을 다음과 같이 구한다. 2/2 변환의 고주파는

$$D_{1,\ell} = S_{0,2\ell+1} - \lfloor 0.5(S_{0,2\ell} + S_{0,2(\ell+1)}) + 0.5 \rfloor \quad \text{이고}$$

저주파는

$$S_{1,\ell} = S_{0,2\ell} + \lfloor 0.25(D_{1,\ell-1} + D_{1,\ell}) + 0.5 \rfloor \text{ 이}$$

된다. 2/2 역변환은

$$S_{0,2\ell} = S_{1,\ell} - \lfloor 0.25(D_{1,\ell-1} + D_{1,\ell}) + 0.5 \rfloor,$$

$$S_{0,2\ell+1} = \lfloor 0.5(S_{0,2\ell} + S_{0,2\ell+2}) + 0.5 \rfloor + D_{1,\ell} \text{ 으로 구한다.}$$

## 2.2 워터마크삽입과 추출 알고리즘

워터마크추출 알고리즘은 다음 7단계로 구성된다.

1. 원래신호를 8KHz로 표본화한 후 100msec로 프레임 을 구성한다. 한 프레임의 데이터는 800개로 구성된다.
2. 데이터에 정수 스케일링 변수 E(예를들면 E=100000)를 곱하고 truncation을 하여 정수연산이 가능 하도록 정수로 변환한다.
3. 정수로 변환된 데이터를 정수 웨이브릿을 이용하여 저주파와 고주파의 두 데이터로 분해한다. 저주파(S)와 고주파(D)의 데이터의 갯수는 각각 400개가 된다. 다시 저주파성분을 정수 웨이브릿변환(SS)을 적용하여 저주파성분과 고주파성분(SD)으로 분해한다.
4. 비가청성을 고려하여 원래신호의 저주파의 저주파성분(SS)에 watermark를 삽입한다.
5. 워터마크는 평균이 0이고 발산이 1인 가우시안 분포 신호에 정수 스케일링 변수 E를 곱하고 truncation을 하여 정수연산이 가능 하도록 정수로 변환된 워터마크를 구한다. 이 워터마크를 워터마크추출시 키로 이용한다.
6. 이 변환된 워터마크를 원래신호의 저주파의 저주파성분(SS)에 합산하여 새로운 저주파의 저주파성분(SSw)fmf 구한다.
7. 두 번의 역 정수웨이브릿변환을 행하여 원래 신호를 구성한다.

워터마크추출 알고리즘은 다음 6단계로 구성한다.

1. 원래신호를 8KHz로 표본화한 후 입력된 신호를 end point detection방법이나 인위적으로 삽입된 신호로 입력된 신호와 원래 신호의 출발점을 일치시킨다.
2. 100msec로 프레임을 구성한다. 한 프레임의 데이터는 800개로 구성된다
3. 데이터에 정수 스케일링 변수 E(예를들면 E=100000)를 곱하고 truncation을 하여 정수연산이 가능 하도록 정수로 변환한다.
4. 정수로 변환된 데이터를 정수 웨이브릿을 이용하여 저주파와 고주파의 두 데이터로 분해한다. 저주파(S)와 고주파(D)의 데이터의 갯수는 각각 400개가 된다. 다시 저주파성분을 정수 웨이브릿변환(SS)을 적용하여 저주파성분과 고주파성분(SD)으로 분해한다.
5. 저주파성분의 저주파성분(SS)를 정수 스케일링 변수 E으로 나누고 워터마크값을 정수 스케일링 변수 E으로 나눈후 correlation을 구하고 워터마크값을 정수 스케일링 변수 E으로 나눈 값으로 정규화한다.

$$\text{normalized covariance} = \text{cov}(SS', w') / \sqrt{(w', w')}$$

$$SS' = SS/E \quad w' = w/E \text{ 이고}$$

$$\text{cov}_{XY}(k) = \sum_{i=0}^{N-1-k} (X(i+k) - E[X(\cdot)]) (Y(i) - E[Y(\cdot)])$$

이며 여기서  $E[X(\cdot)]$ 는 평균을 뜻한다.

6. 워터마크가있으면 그림1처럼 출력이 나오고 워터마

크가 없으면 그림2처럼 출력이 나온다. 또한 워터마크가 0이면 그림1을 180도 회전한 그림을 얻을 수 있다.

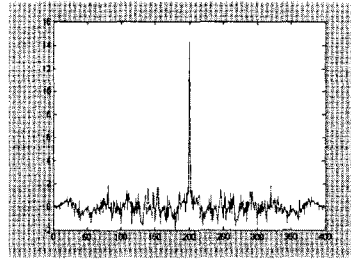


그림 1 워터마크가 있는 경우의 correlation패턴

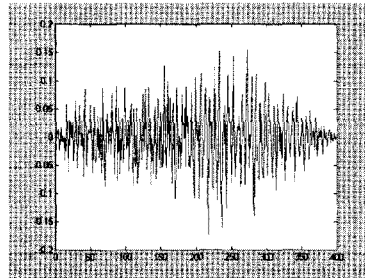


그림 2 워터마크가 없는 경우의 출력

## 3. 실험

원래신호를 8KHz로 표본화한 후 100msec로 프레임 을 구성한다. 한 프레임의 데이터는 800개로 구성된다. 한 프레임에 관하여 소음을 추가하여 실험하였다. 그림3에 원래신호와 워터마크가 삽입된 신호를 나타낸다. 이 경우 정수 스케일링 변수E는 100000로 설정하였다. 그림4는 오디오신호에 가우시안 소음을 첨가한 경우이다.

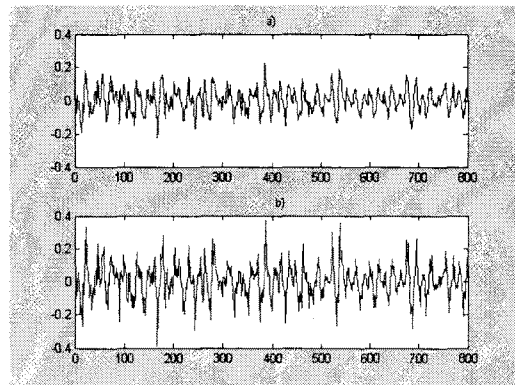


그림 3 a)원래신호  
b)워터마크가 삽입된 신호

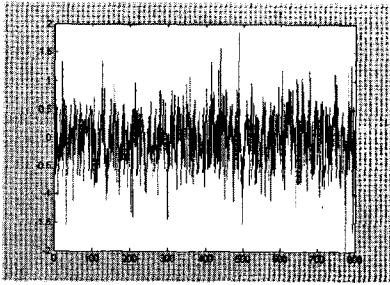


그림 4 소음이 첨가된 원래 파형

원래 파형에 소음을 첨가한후(그림4) 워터마크를 삽입하고(그림 5) 워터마크를 검출한 후 covariance 패턴을 그림6에 나타냈다.

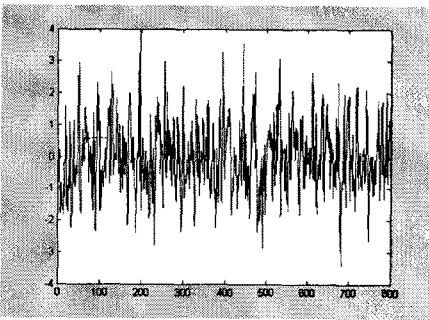


그림 5 소음이 첨가된 파형을 정수변환한 후 워터마크를 삽입하고 역변환후의 파형 a=0.5

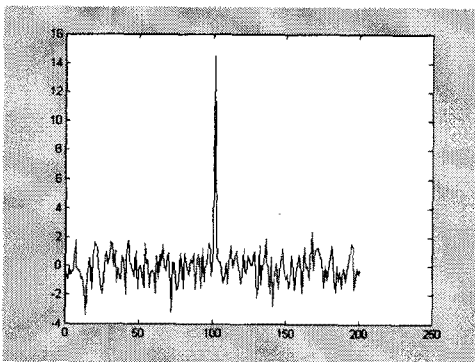


그림 6 소음 가중치 a=0.5 정수스케일링 변수 E=10000

## 2.2 covariance 관련된 계수에 의한 워터마크 유무의 판별

실험에 의해 E=10000으로 설정하고 워터마크(1)가 있다고 가정하면 2.77보다 커야하고 워터마크(0)가 있다고 가정하면 2.67보다 커야하고 워터마크가 없으면 1.37보다 작아야 한다고 가정하자. 이 값들은 표1에 의해 결정되었다. 소음(가우시안 소음) 가중치는 0.5로 하고 실험에 삽입한 비트는 10비트이고 올바르게 추출된 비트는 그림2로 나타낸다. 이 표에서 보듯이 소음 가중

치가 a=0.7일때까지 완전한 올바른 검출을 나타낸다.

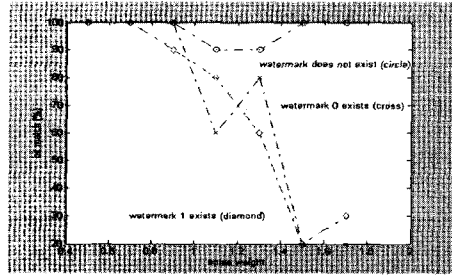


그림 7 워터마크 검출율 (E=10000)

표1 문턱값결정을 위한 covarice와 관련된 값결정

소음가중치 (a)	정수스케일링 변수(E)	correlatin패턴의 최대치(B)	correlatin패턴의 두 번째 최대치(C)	E/C	correlatin패턴의 최대치(B)	correlatin패턴의 두 번째 최대치(C)	E/C
0	1000	13.6145	1.9942	6.8270	8.7060	8.319	1.046
	10000	13.1577	2.0234	6.5026	0.3294	0.313	1.051
	100000	12.5418	2.2157	5.6604	0.2862	0.246	1.162
0.5	1000	14.1794	2.5200	5.6263	1.9136	1.871	1.022
	10000	16.1334	2.7133	5.9460	1.8170	1.392	1.392
	100000	13.1505	2.4564	5.3536	0.2983	0.290	1.028
0.7	1000	13.7526	3.5529	3.8709	2.1723	2.147	1.011
	10000	14.8343	2.5682	5.7761	1.9960	1.913	1.040
	100000	14.4310	2.9190	5.1210	2.5588	2.447	1.045
0.9	1000	12.6367	3.1459	4.0170	2.7211	2.677	1.016
	10000	12.5078	3.0540	4.0955	3.3022	2.728	1.210
	100000	16.0531	5.1109	3.1410	3.1986	2.523	1.263
1.1	1000	14.1982	4.2511	3.3375	4.9549	3.761	1.290
	10000	15.5120	5.5814	2.7792	3.6166	3.535	1.022
	100000	16.6270	5.0715	3.2588	3.9931	2.942	1.365
3	1000	21.3457	8.6660	2.4632	10.6387	9.649	1.230
	10000	16.9655	10.2914	1.6404	10.6131	9.155	1.301
	100000	14.0371	11.4673	1.2241	8.3785	7.500	1.117

#### 4. 결 론

오디오신호에 연동하는 전기기기를 위한 워터마크 알고리즘은 오디오 워터마킹이며 칩에 알고리즘을 구현하기 위해 정수연산을 선호하고 또한 FFT, DCT등을 이용하는 것은 계산량이 많은 약점이 있다. 이를 개선하기 위해 정수 웨이브렛 변환을 이용하여 정수연산을 하고 있다. 본 논문에서는 실시간처리를 고려한 오디오 워터마킹기법을 제안했다. 실시간 측면에서는 될 수 있으면 계산상의 간략화가 요구되기 때문에 정수 웨이브렛 변환을 이용한 오디오 워터마킹 방법을 제안했다. 워터마킹을 추출할 때는 스프레드 스펙트럼을 이용했다. 이 오디오 알고리즘은 음악에 연동하는 전기기기를 구성할 때 유용한 알고리즘이 될 수 있다. 즉 음악에 워터마크를 삽입하여 이 워터마크를 전기기기 동작제어 비트열로 이용할 수 있을 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A. R. Calderbank, I. Daubechies, W. Sweldons, B. Yeo, Lossless image compression using integer to integer wavelet transform, Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference on , Volume: 1, pp. 596 -599 vol.1, 1997.
- [2]김형중, 여인원 "디지털 오디오를 위한 패치워크방식의 개선", pp. 173--182, 멀티미디어 콘텐츠 정보보호 워크샵 11.3. 2001.
- [3]김용훈,한승수 "DCT를 이용한 오디오 워터마킹", pp. 185--188, 멀티미디어 콘텐츠 정보보호 워크샵 11.3. 2001.
- [4] R. Rao & A. S. Bopardikar, *Wavelet Transform*. Addison-Wesley, Natick MA, USA, 1998.
- [5]김종원 "Audio watermarking & its applications,"2001년 국제컨퍼런스 기업의 경쟁력 향상과 21세기 정보기술, 6.21, 호렐롯데, 2001.