

카이 자승 분포를 이용한 워터마킹기법의 연구

A Study on the Watermarking Methods with Chi-Square Distribution

강환일, 김갑일, 한승수
명지대학교 전기정보제어공학부

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

(hwan, kkl, shan@mju.ac.kr)

ABSTRACT

In this paper, we propose the new audio watermarking method and can be used on line processing. Instead of the wavelet transform, we use the integer wavelet transform for the reduction of the computational load. The watermark associated with the chi-square distribution is inserted into the signal on the integer wavelet domain. When extracting the watermark, the spread spectrum methods are used with the coefficients associated with the covariance sequence. We show that the chi-square distribution is a good tool for the spread spectrum method on the wavelet domain. This watermarking technique may be used for the control of the electrical product which can be controlled with the hidden signals and can be moved according to the audible signals simultaneously.

Keywords : audio watermarking, integer wavelet transform, spread spectrum methods

1. 서론

오디오 워터마킹기법에는 스프레드 스펙트럼 방식, 패치워크방식과 echo hiding방식이 있다. 스프레드 스펙트럼 방식에는 가우시안 분포 수열, M-수열, uniform 분포 수열, chaotic 수열, chebychev 수열등을 이용하여 correlation의 패턴을 보고 워터마킹의 유무를 판정할 수 있고 혹은 워터마크 비트를 삽입 추출할 수 있다. 패치워크 방법[5]은 특정한 신호 영역에서 한 신호그룹에서 작은 양의 합산을 하고 다른 신호그룹에서 작은 양을 감산하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. [2] echo hiding방식은 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. 또한 최근에 오디오 신호를 2차원신호로 변환한후 DCT변환과 Modulus를 이용한 오디오 워터마크방식이 발표되었다.[3] 2장에서는 본 논문에서 이용한 정수 웨이브릿변환과 카이 자승 분포를설명하고 3장에서는 워터마크의 삽입과 추출방법을 기술한다. 또한 워터마크 문턱값 마야진을 기술한다. 제4장에서는 실험을 행하여 제시된 방법을 유용성을 보였다. 제5장에서는 카이 자승 분포와 가우시안 분포를 비교한다. 그리고 제6장에서 결론을 기술한다.

II. 본 론

2.1 하르 정수와 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 이동을 나타내고 y축은 확대 축소를 나타낸다. 그리고 z축은 유사도를 나타낸다. 이산웨이브릿 변환은 축소나확대를 이산값으로 변화시키고 이동값도 이산값으로 변화시키면 이산 웨이브릿 변환을 얻는다. 한편 이산웨이브릿 변환을 완전 재건 필터(perfect reconstruction filter)로 구현할 수 있다, 즉 이산신호는 저주파와 고주파로 분해한 후 이 계수들을 이산웨이브릿 필터의 계수로 볼수 있다. 실제 실시간 연산을 위해 정수 이산 웨이브릿변환이 필요하다. 2/2 정수 이산 웨이브릿변환을 설명하면 다음과 같다. 우선 $\{S_{0,0}S_{0,1}S_{0,2}S_{0,3}S_{0,4}S_{0,5}S_{0,6} \dots\}$ 일차원신호를 웨이브릿변환(정수 이산웨이브릿 변환)을 다음과 같이 구한다. [1]
하르 정수 이산 웨이브릿변환의 고주파는

$$D_{1\ell} = S_{0,2\ell+1} - S_{0,2\ell} \quad (1)$$

이고 저주파는

$$S_{1,\ell} = S_{0,2\ell} + \lfloor D_{1,\ell}/2 \rfloor \quad (2)$$

이 된다. 역 웨이브릿변환은

$$\begin{aligned} S_{0,2\ell} &= S_{1,\ell} - \lfloor D_{1,\ell}/2 \rfloor, \\ S_{0,2\ell+1} &= D_{1\ell} + S_{0,2\ell} \end{aligned} \quad (3)$$

으로 다시 원래 이산신호를 얻는다. 여기서

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

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

$$D_{1\ell} = S_{0,2\ell+1} - \lfloor 0.5(S_{0,2\ell} + S_{0,2(\ell+1)}) + 0.5 \rfloor \quad (4)$$

이고 저주파는

$$S_{1,\ell} = S_{0,2\ell} + \lfloor 0.25(D_{1,\ell-1} + D_{1,\ell}) + 0.5 \rfloor \quad (5)$$

이 된다. 2/2 역변환은

$$\begin{aligned} S_{0,2\ell} &= S_{1,\ell} - \lfloor 0.25(D_{1,\ell-1} + D_{1,\ell}) + 0.5 \rfloor, \\ S_{0,2\ell+1} &= \lfloor 0.5(S_{0,2\ell} + S_{0,2\ell+2}) + 0.5 \rfloor \\ &\quad + D_{1,\ell} \end{aligned} \quad (6)$$

으로 구한다.

2.2 카이 자승(chi-square) 분포

가우시안 변수의 자승의 합으로 구성된 변수의 확률밀도 함수는 카이 자승분포를 형성한다. 즉 먼저 n개의 독립적인 임의의 변수 x_i 가 이론적 평균 μ_i 와 표준편차 σ_i 를 가지고 가우시안 형태로 분포되어 있다고 가정하자. 그 합은 카이 자승(chi square) 분포로 알려져 있으며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (7)$$

카이자승분포를 워터마크로 사용하기 좋은 오디오 신호는 양의 평균을 갖는 오디오 신호는 카이 자승 분포로 이루어진 워터마크와 covariance를 구하여 워터마크를 추출한다. 오디오신호에 워터마크를 삽입하는 것이 아니고 오디오신호에 정수스케일링 변수를 곱하여 정수 웨이브릿 변환을 수행한후 저주파에 워터마크를 삽입하게 된다.

III. 워터마크삽입과 추출 알고리즘

워터마크삽입 알고리즘은 다음 7단계로 구성된다.

- 1.원래신호를 8KHz로 표본화한 후 100msec로 프레임을 구성한다. 한 프레임의 데이터는 800개로 구성된다.
2. 데이터에 정수 스케일링 변수 E(예를들면 E=100000)를 곱하고 truncation을 하여 정수연산이 가능하도록 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 분산이 1인 가우시안 분포신호에 정수 스케일링 변수 E를 곱하고 truncation을 하여 정수연산이 가능하도록 정수로 변환된 워터마크를 구한다. 이 워터마크를 워터마크추출시 키로 이용한다.
6. 이 변환된 워터마크를 원래신호의 저주파의 저주파성분(SS)에 합산하여 새로운 저주파의 저주파성분(SSw)을 구한다.
7. 두 번의 역 정수웨이브릿변환을 행하여 원래신호를 구성한다.

워터마크추출 알고리즘은 다음 7단계로 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 가능하도록 정수로 변환한다.
4. 정수로 변환된 데이터를 정수 웨이브릿을 이용하여 저주파와 고주파의 두 데이터로 분해한다. 저주파(S)와 고주파(D)의 데이터의 개수는 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 나눈값으로 정규화한다.
6. 워터마크가있으면 그림1처럼 출력이 나오고 워터마크가 없으면 그림2처럼 출력을 나온다. 또한 워터마크가 0이면 그림1을 180도 회전한 그림을 얻을 수 있다.

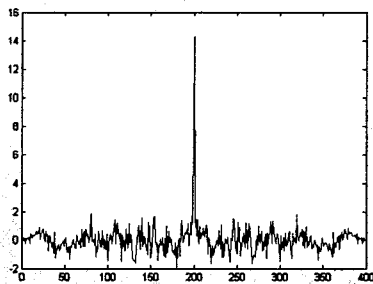


그림 1 워터마크가 있는 경우의 정규화된 covariance패턴

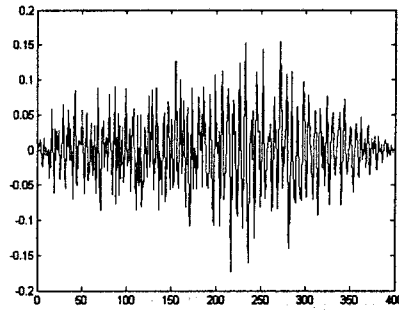


그림 2 워터마크가 없는 경우의 출력

7. 워터마크 추출하는 방법은 정규화된 covariance 패턴에서 식(3)과 (4)로 구한다.

다음은 워터마크 문턱값 마아진에 대하여 살펴본다.

$$\text{normalized covariance } c(k) = \frac{\text{cov}(SS', w')}{\sqrt{(w', w')}} \quad (8)$$

$SS' = SS/E$ $w' = w/E$ 이고

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

이때 여기서 $E[X(\cdot)]$ 는 평균을 뜻한다. $c(k)$ 를 크기순으로 정렬한다. 즉

$$c(i_1) \leq c(i_2) \leq \dots \leq c(i_{2n-1}) \quad (9)$$

이 되도록 i_j 를 구성하고 워터마크 1을 삽입하고 추출할때의 문턱값을

$$Th(w=1) = \frac{C_{i_{2N-1}}}{C_{i_{2N-2}}} \quad (10)$$

로 정의 한다. 원래신호에 가산된 가우시안 (평균 0, 분산 1)의 가중치에 따라 문턱값이 변화한다. 또한 워터마크 0을 삽입하고 추출할때의 문턱값을

$$Th(w=0) = \frac{C_{i_1}}{C_{i_2}} \quad (11)$$

로 정의한다. 이제 워터마크가 1을 삽입하고 추출할 때의 문턱값 마아진을 정의하면

$$\begin{aligned} \text{Margin}(w=1) = & \\ & \min_a Th(w=1) - \\ & \max_a \frac{C_{i_{2N-1}}}{C_{i_{2N-2}}} \quad (\text{no mark}) \end{aligned} \quad (12)$$

위와 가다. 즉 소음가중치에 대한 워터마크 1을 삽입하고 추출할때는 최소값을 이용하고 워터마크가 삽입이 안됐을 때는 문턱값의 최대값을 택하여 그 차를 워터마크 1 삽입추출시 문턱값 마아진이 된다. 이와는 반대로 워터마크 0 삽입추출시 문턱값 마아진을 정의 하면 다음과 같다. 즉

$$\begin{aligned} \text{Margin}(w=0) = & \\ & \min_a Th(w=0) - \\ & \max_a \frac{C_{i_1}}{C_{i_2}} \quad (\text{no mark}) \end{aligned} \quad (13)$$

이 된다.

VI. 실험

원래신호를 8KHz로 표본화한 후 100msec로 프레임을 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.

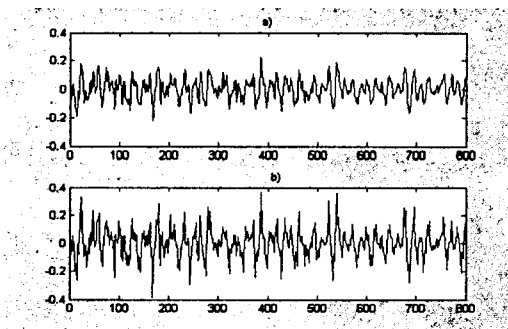


그림 3 a)원래신호
b)워터마크가 삽입된 신호

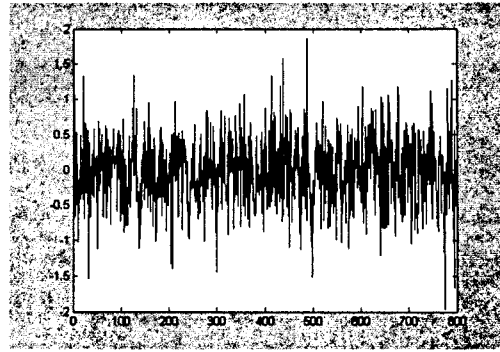


그림 4 소음이 첨가된 원래 파형

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

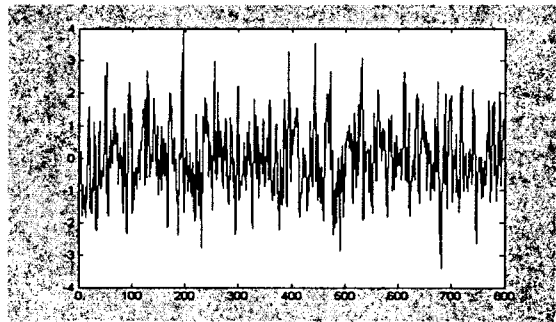


그림 5 소음이 첨가된 파형을 정수변환한 후 워터마크를 삽입하고 역변환후의 파형 a=0.5

V. 카이 자승 분포법 및 가우시안의 비교

이제 워터마크를 가우시안을 사용할 경우와 카이 자승분포를 사용할 경우의 워터마크1삽입추출시 문턱값 마아진과 워터마크 0 삽입추출시 문턱값 마아진을 그림6과 7에 나타내었다. 이 그림에서 보듯이 두 마아진이 소음에 워터마크를 카이 자승분포로 사용하는 것이 더 강인함을 보였다

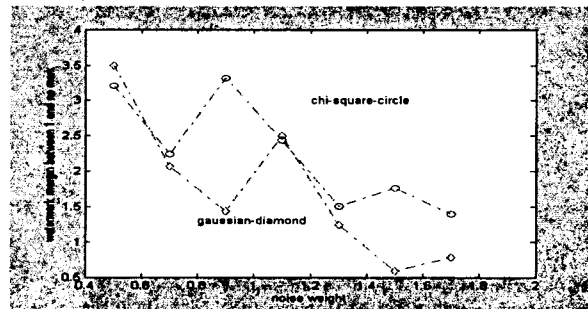


그림 6 가우시안분포와 chi-square분포의 마아진 비교(워터마크 1 과 no mark) E=10000

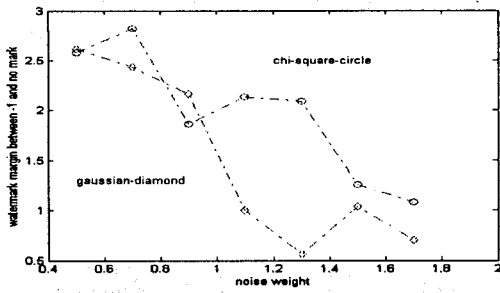


그림 7 가우시안과 chi-square분포의 마아진 비교(워터마크 0 과 no mark)

실험에 의해 E=10000으로 설정하고 워터마크(1)가 있다고 가정하면 3.67보다 커야하고 워터마크(0)가 있다고 가정하면 3.67보다 커야 한다고 가정하고 실험을 하였다. 워터마크를 카이자승분포와 가우시안을 비교하였다. 이 경우 10개의 프레임에 관하여 실험을 행하였다. 이 그림에서 보듯이 카이자승분포를 이용한 워터마크바이트 추출이 가우시안을 사용한것보다 약간 우수함을 보였다. 즉 올바른 워터마크 검출율을 90%까지 허용한다고 가정하자. 이 경우 워터마크 1을 올바르게 검출하는 최대 소음가중치는 카이자승분포의 경우 0.9 이고 가우시안의 경우 0.7이다. 또한 워터마크 0을 올바르게 검출하는 최대 소음가중치는 카이자승분포의 경우 0.9 이고 가우시안의 경우 0.9이다. 그림8과 9를 참조하라.

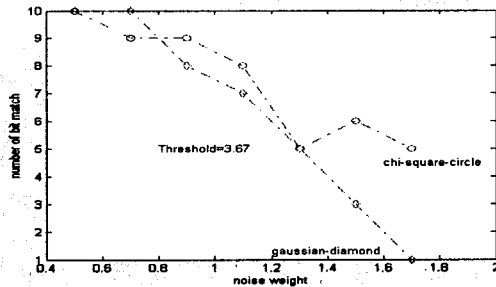


그림 8 소음가중치와 비트매치비교(워터마크=1)

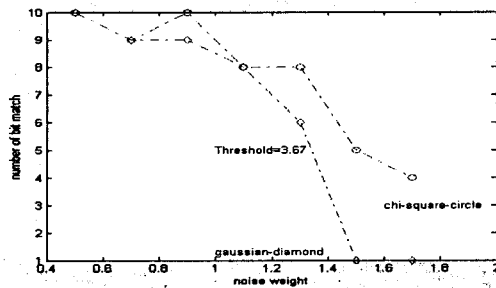


그림 9 소음가중치와 비트매치비교(워터마크=0) E=10000

VII. 결 론

오디오신호에 연동하는 전기기기를 위한 워터마크 핵심 알고리즘은 오디오 워터마킹이며 칩에 알고리즘을 구현하기 위해 정수연산을 선호하고 또한 FFT, DCT등을 이용하는 것은 계산량이 많은 약점이 있다. 이를 개선하기 위해 정수 웨이브릿 변환을 이용하여 정수연산을 하고 있다. 본 논문에서는 실시간처리를 고려한 오디오 워터마킹기법을 제안했다. 실시간 측면에서는 될 수 있으면 계산상의 간략화가 요구되기 때문에 정수 웨이브릿 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.

감사의 글 : 본 연구는 명지대학교 신진교수 연구비 (00.3-01.2) 프로그램에 의해 지원 받았습니다.

IV. 참고 문헌

- [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 패치 워크방식의 개선", pp. 173--182, 멀티미디어 콘텐츠 정보보호 워크샵 11.3. 2001.
- [3] 김용훈, 한승수 "DCT를 이용한 오디오 워터마킹", pp. 185--188, 멀티미디어 콘텐츠 정보 보호 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, 호텔롯데, 2001.