

## Embedded Zerotree Wavelet 알고리즘을 이용한 디지털 워터마킹

손영우\*

### 요약

본 논문은 EZW 알고리즘의 특성을 이용하여 영상의 중요 부분을 추출하는 방법과 이 방법에 의해 중요 부분이 추출 되었을 때에 중요 계수에만 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 먼저 영상을 웨이블릿 변환 후 제로 트리 코딩을 하여 중요 계수를 검출하고, 검출된 중요 계수에 워터마크 이진 영상을 삽입하였다.

기존의 방법들은 각 대역내 계수들간의 상관 관계를 이용하여 워터마크를 삽입한 반면, 본 논문에서는 웨이블릿 변환된 영상의 계수 값이 동일한 방향을 갖는 대역 사이에서 상관관계를 갖는다는 점을 이용하여 워터마크를 삽입하였다.

실험 결과, 제안한 방법은 기존의 방식에 비하여 각종 공격에서의 강인함을 보였으며 점진적 전송이 요구되는 분야와 영상 자료를 검색하는 분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

## Digital Watermarking Using Embedded Zerotree Wavelet Algorithm

Young-Woo Son\*

### Abstract

In this paper, We proposed extraction method using EZW a specific character and then add watermark significant coefficient of image. After wavelet transform in image, the significant coefficient value add to watermark information image.

In this method, the locations of nonzero wavelet coefficients are encoded with a tree structure, called zerotree, which can exploit the self-similarity of the pyramid decomposition across different scales.

The simulation shows that this method provides a superior performance over conventional method and can be successfully applied to the application areas that requires of progressive transmission and search for image data.

Key words : Digital Watermarking, Wavelet transform, EZW algorithm

### 1. 서론

컴퓨터와 통신, 멀티미디어 기술의 발전으로 문서, 음성, 비디오 등 다양한 멀티미디어 정보들은 디지털화되어 효율적으로 저장, 접근, 이용이 가능하고, 특히 웹(Web)의 활성화로 더욱 확장되고 있다.

한편 디지털 콘텐츠의 복제가 확산됨에 따라 이에 대한 소유권 문제와 이를 효율적으로 보호할 수 있는 기술이 요구되고 있는 실정이다. 디지털

영상정보의 보호를 위해 적용할 수 있는 방법은 다음의 세 가지로 분류할 수 있다[1].

첫째, 공개키 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 방법으로, 영상을 원래의 데이터로 복구하기 위해서는 관련키를 알고 있어야 한다. 이 방법은 수학적으로는 안전하나 사람이 개인키로 암호화 된 정보를 배포하는 것을 막을 수 없다는 단점을 가지고 있다. 둘째, 보호 대상 영상정보에 대하여 접근 제어용 방화벽(firewall)을 구축하는 방법으로, 컴퓨터 네트워크를 통한 사용자 인증 절차를 거쳐 영상 데이터의 사용을 제한하는 방법이다.

셋째, 디지털 영상의 불법적인 내용 조작을 막고, 영상의 소유권을 보장할 수 있는 방법으로 디지털 워터마크(digital watermark)가 있다. 디지털

\* 제일 저자(First Author) 손영우  
접수일 2005년 8월 22일, 완료일 2005년 12월 12일  
\* 김포대학 멀티미디어과 교수  
ywson@kimpo.ac.kr

워터마크는 공개키 알고리즘이나 방화벽 등으로 해독된 영상에 대하여 부가적인 보호를 제공한다. 저작권 정보, 배포자 정보 그리고 사용자 정보를 영상에 삽입함으로써 법적인 문제가 발생하였을 때 해결책을 제시할 수 있다고 하겠다.

따라서 본 논문에서는 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)의 특성을 이용하여 영상의 중요 부분을 추출하는 방법과 추출된 중요 부분의 계수가 큰 쪽에다만 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하여 디지털 영상에 시각적으로 보이지 않는 워터마크를 삽입하였다. 제안한 알고리즘을 사용하여 일반적인 영상 처리에서도 워터마크가 추출되는 강인함을 실험을 통하여 확인하고, 그 소유권을 판정함으로써 저작권 보호와 인증에 대한 해결책을 제시하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 워터마크

워터마킹(watermarking)은 어떤 미술작품이나 특정 영상물의 제작자가 이 작품은 자신의 것이라는 것을 표시하기 위해 육안으로는 보이지 않는 투명한 형태의 표시를 해 두는 것을 말하며 이러한 개념을 컴퓨터에 적용한 것이 바로 디지털 워터마킹이다.

주어진 원영상 I에 레이블(label)  $S = S_1, S_2, \dots, S_n$  을, 부호화 과정 E를 통하여 삽입하면 워터마크가 내장된 영상  $I' = E(I, S)$ 를 얻을 수 있다. 이때 레이블 S는 영상에 표시된 워터마크가 된다[3]. 워터마킹 기법은 다음과 같은 기본 요구 조건을 만족해야 한다[2].

가. 시각적인 무감지성(Perceptual Invisibility)

나. 확실한 추출(Trustworthy Detection)

다. 자동화된 추출과 탐색(Automated detection /search)

라. 관련된 키(Associated key)

마. 통계적 무감지성(Statistical Invisibility)

바. 다중 워터마킹(Multiple Watermarking)

사. 강인성(Robustness)

### 2.2 Embedded Zerotree Wavelet(EZW)

Shapiro는 zerotree를 사용하는 부호화에 비트평면 부호화를 적용하여 효율 높은 압축 알고리즘

인 embedded zerotree wavelet (EZW)[7,8,9,10]을 제안하였다. 여기서 embedded란 부호화 측에서 원하는 임의의 비트율에서 부호화를 멈출 수 있다는 개념으로 비트 평면의 개념을 적용한 것이다. 그리고 역시 복호화 과정에서도 전송되는 비트열에 적용할 수 있는 것이다. 이 알고리즘은 원래영상에 대한 사전 지식이나, 벡터 양자화에 사용되는 코드북 같은 데이터가 없이도 압축률이 높은 부호화를 할 수 있다. Shapiro는 EZW에 이산 웨이블릿 변환을 통한 대역분할을 적용하였다. 다음의 [그림 1]과 같이 원 영상은 이산 웨이블릿 변환을 통해 임의 레벨 i의 저주파 대역을  $LL_{i+1}$  과  $LH_{i+1}, HL_{i+1}, HH_{i+1}$ 의 4개의 대역으로 나누어 계층적인 영상구조를 만들었다. Shapiro는 시물레이션에서 5레벨까지의 계층적인 구조를 적용하였는데 이산 웨이블릿 변환을 위해 Adelson이 제안한 9-tap대칭 필터를 사용하였다. 웨이블릿 변환을 통해 계층적인 영상구조로 원영상을 부호화하는 경우 영상 자체의 고유 성질인 자기 유사성(self-similarity)을 이용하여 부호화 효율을 높일 수 있다. 자기 유사성이란 계층적인 영상구조에서 같은 방향성을 가지고 같은 공간적인 위치에 있는 계수들 사이에 적용되는 알고리즘으로 다른 레벨의 있는 방향성이 같은 대역들간 즉  $HL_1$ 과  $HL_2$ 사이에서 중요도를 예측할 수 있다. [그림 2]에는 대역간 자기유사성을 의미하는 EZW에서 서브밴드의 부모-자식 종속성을 나타내었다.

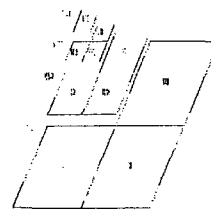


그림 1 계층적 영상 구조

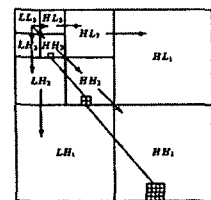


그림 2 EZW에서 서브밴드의 부모-자식 종속성

또한, 웨이블릿 필터를 사용하여 변환된 계층적 구성의 계수들에 대해 임의의 계수  $x$ 가 임계값  $T$ 보다 작다면 중요도가 낮다고(Insignificant) 가정하여 부호화를 하지 않고 임계값  $T$ 보다 크다면 중요도가 크다고(Significant)하여 부호화를 행한다.

이와 같은 알고리즘과 자기 유사성을 이용하여 다음과 같은 가정을 할 수 있다. 만약 계수  $x$ 가 임계값  $T$ 보다 작다면(중요도가 낮음:Insignificant)  $x$ 와 같은 방향성을 가지며 같은 공간적인 위치를 가지는 하위 레벨 계수들의 중요도 역시 낮다고 볼 수 있다. 따라서 부호화시 계수  $x$ 와 같은 공간적인 위치를 가지는 하위 레벨 계수들을 대표하여 계수  $x$ 만을 부호화함으로써 원 영상의 화질에 많은 저하없이 압축율을 높일 수 있다. 이 때 계수  $x$ 를 parent라고 하고  $x$ 의 하위레벨 계수들을 children 또는 descendent라고 한다.

descendent들이 모두 임의 임계값  $T$ 보다 작은 parent를 zerotree root(ZTR)라고 하여 부호화하지만 만약 descendent들 중 하나의 계수라도 임계값  $T$ 보다 크다면 parent는 isolated zero(IZ)하여 descendent들의 대표로써 부호화되지 않고 오직 IZ로써 부호화된다.

Shapiro는 계수들을 부호화하기 위해 ZTR(Zero Tree Root)와 IZ(Isolated Zero), POS(Positive), NEG(Negative) 4개의 심벌을 사용하였다. 이와 같은 알고리즘을 통해 계층적 구조인 웨이블릿 계수들은 계수값의 절대값 크기에 따라 스캔이 이루어지므로 중요도에 따른 부호화를 할 수 있게 되는 것이다. 이것은 DCT에서 DCT변환된  $8 \times 8$ 의 블록에 왼쪽 맨 위에 존재하는 DC계수를 많은 비트로 부호화하고 나머지 AC계수에 대해선 Zigzag 스캔으로 AC계수의 절대값이 크것만 부호화 하는 것과 같은 맥락의 의미라고 할 수 있다. 그 다음 연속적 근사 양자화(Successive Approximation Quantization : SAQ)가 계수들의 중요도 검사 후에 적용된다. 양자화 과정을 통해서 두 가지 list가 필요하게 된다. 하나는 dominant list이고 다른 하나는 subordinate list가 그것이다.

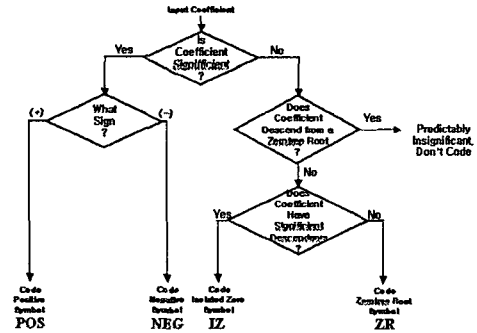


그림 3 중요 계수에 따른 트리 구성도

dominant list는 임의 임계값에 대한 중요도 판별에서 임계값보다 계수의 절대값이 작은 계수(Insignificant coefficient)들의 위치 정보를 가지고 있게 된다. 따라서 바로 이전의 임계값보다 작은 임계값을 가지고 중요도 판별을 하는 경우 이전에 부호화되지 않은 계수들의 위치 정보를 이 list에서 찾아 판별함으로써 부호화 과정을 간략화할 수 있다. 그리고 나머지 list인 subordinate list는 중요도 판별에 의해 임계값보다 큰 계수에 대한 절대값을 저장함으로써 부호화 과정에서 계수의 절대값이 큰 것부터 부호화가 이루어짐으로써 embedded에 의한 정지 영상의 점진적인 전송이 가능하게 된다.

### 3. 제안된 워터마크 알고리즘

#### 3.1 워터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 알고리즘은 원래영상을 이용하여 웨이블릿 변환을 한 후, EZW알고리즘의 특성을 이용하여 영상의 중요 부분을 추출하는 Zerotree Coding을 수행하고, 이 방법에 의해 추출된 중요 부분에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 때 생성한 워터마크는 이진로고 파일을 생성하여 이용하게 되고, 영상의 중요 부분을 추출하는 Zerotree Coding을 수행한 후 추출되는 중요 계수에 워터마크를 삽입하였다.

**[알고리즘 1] EZW 알고리즘에 의한 워터마크 삽입 알고리즘.**

- Step 1 : 원영상을 3단계 DWT를 한다.
- Step 2 : 제로 트리 코딩을 수행하여 중요 계수를 추출한다.
- Step 3 : 얻어진 중요 계수값에 Watermarking 정보 이진 로고 영상을 삽입한다.
- Step 4 : 삽입한 영상을 IDWT후 Watermarked Image를 생성한다.

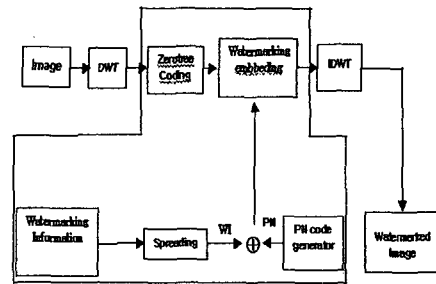


그림 4 워터마크 삽입 과정

**3.2 워터마크 추출 알고리즘**

본 논문에서 제안하는 워터마크 추출 알고리즘은 손실 압축과 잡음 등의 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 웨이블릿 변환을 한 후, 영상의 중요 부분을 추출하는 Zerotree Coding을 수행하여 추출되는 중요 계수에 임계치를 적용한 다음, 삽입한 워터마크를 추출한다.

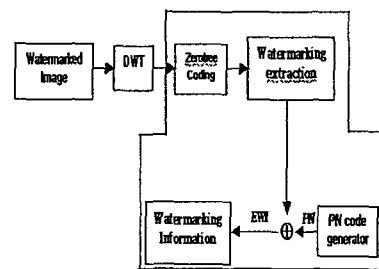


그림 5 워터마크 추출 과정

**[알고리즘 2] 웨이블릿 변환에 의한 워터마크 추출 알고리즘.**

- Step 1 : Watermarked Image를 DWT를 한다.
- Step 2 : 제로 트리 코딩을 수행하여 중요 계수를 추출한다.
- Step 3: Watermarked Image와 PN code의 계수차를 검출하여 Watermarking Information를 추출한다.
- Step 4: 추출된 워터마크의 소유권자가 사용한 워터마크 인지를 통계학적인 접근방법으로 판단하여 인증한다.

[그림 4]에는 워터마크 삽입 과정을, [그림 5]에는 워터마크 추출 과정을 나타내었다.

**4. 실험 결과 및 고찰**

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 및 추출 방법은 Pentium(R)4 2.0GHz와 Windows2000 Professional, Visual C++ 6.0의 실험 환경에서 구현되었다. 본 실험은 256\*256 크기의 원래영상을 사용하였고, Watermarking Information Bit는 140\*140 크기의 이진로고 파일영상을 사용하였다. 워터마크를 삽입하기 위해 EZW알고리즘의 특성을 이용하여 영상의 중요 부분을 추출하는 방법과 이 방법에 의해 중요 부분이 추출되었을 때에 중요 계수에만 워터마크를 삽입하여, 시각적으로 인지할 수 없는 워터마크된 영상을 생성하였다. 또한 생성된 워터마크 영상으로부터 삽입된 워터마크 정보비트를 추출하여 상관계수[2,4,5]를 이용하는 방법으로 인증하였다.

[그림 6]에는 본 논문에서 사용되는 실험영상으로 영상 처리에 사용되는 일반적인 영상들과 형평성을 맞추기 위해 일반 사진도 실험하였고, [그림 7]은 워터마크 삽입 영상으로 사용하였다. [그림 8]은 실험 영상에 이진 워터마크를 삽입한 영상이며, [그림 9]는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크를 추출한 상황을 나타내는 그림이고,

[그림 10]는 워터마크의 원 영상과 추출한 워터마크의 유사도를 측정한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 워터마크 삽입 이전 영상과 삽입 후 영상의 차이 즉, 열화는 매우 적음을 알 수 있었고, 추출된 워터마크의 유사도는 0.994정도로 삽입된 워터마크원본과 비교하여 매우 유사함을 확인할 수 있었다. [그림 11-1]부터 [그림 11-5]에는 워터마크를 삽입한 영상이 각종 공격을 받았을 때 화상의 열화를 나타낸 것으로 추출된 영상의 유사도에서 알 수 있듯이 0.9이상의 유사도를 보이고 있으며 외부 공격에 대한 워터마크의 손상은 미약하다는 것을 확인할 수 있었다. 즉 외부 공격에 대한 방어성이 우수하다고 할 수 있다. [표 1]에는 실험에 사용된 영상들이 각종 공격을 받은 후 추출된 워터마크의 유사도를 나타낸 것으로 실험에서 알 수 있듯이 제안된 EZW방식의 워터마크 삽입 방법이 외부 공격에 대한 방어성이 우수한 것으로 확인되었다.

표 1. 실험영상에 대한 각종 공격에 대한 유사도

실험 영상	Collusion Attack	Cropping Attack	JPEG Attack	Noise Attack	Resize Attack
a	0.991964	0.992500	0.972143	0.992321	0.930000
b	0.991786	0.993036	0.980536	0.980536	0.911786
c	0.994107	0.995893	0.987500	0.996250	0.946429
d	0.991964	0.994107	0.983571	0.993214	0.910714
e	0.991607	0.995000	0.974286	0.992321	0.924107
f	0.987500	0.989643	0.965536	0.988393	0.936607

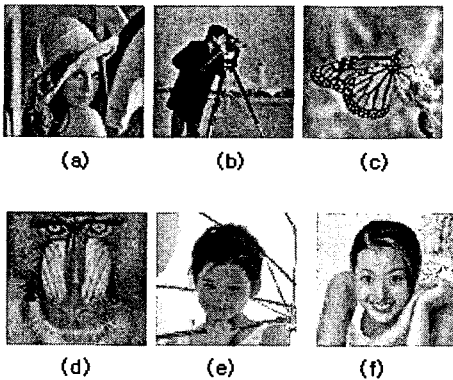


그림 6 실험 영상



그림 7 워터마크 삽입 영상

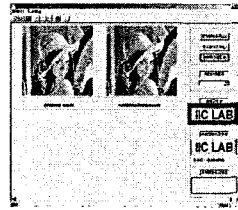


그림 8 워터마킹 정보 이진영상삽입

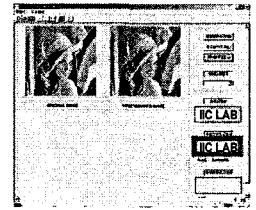


그림 9 삽입한 워터마킹 정보 추출

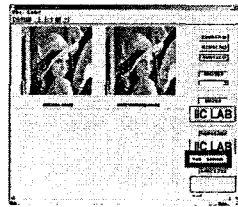


그림 10 유사도추출



그림 11-1 실험결과



그림 11-2 실험결과  
Cropping attack

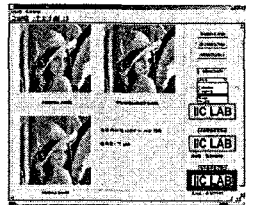


그림 11-3 실험결과  
JPEG attack



그림 11-4 실험결과  
Noise attack

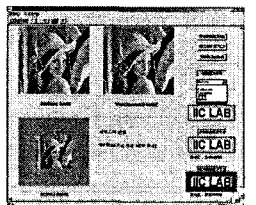


그림 11-5 실험결과  
Resize attack

### 5. 결 론

본 논문에서는 watermarking 방법을 사용해서 디지털 미디어 콘텐츠의 저작권 중 인증과 무결성을 보장하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 워터마크를 삽입하기 위해 EZW 알고리즘의 특성을 이용하여 영상의 중요 부분을 추출하는 방법과 이 방법에 의해 중요 부분이 추출되었을 때에 중요 계수에만 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한 알고리즘이다.

이 부호화 방식은 원하는 비트율에서 부호화기가 멈출 수 있게 되어있고, 부호화기에서 만들어진 비트 스트림을 복호화기로 복호화할 때, 어느 순간에 멈추어도 복호화가 되는 장점이 있다. 이런 특징 때문에 위 방식으로 부호화를 하면, 점진적 전송(progressive transmission) 이 가능하게 되고, 영상 자료를 검색하는 면에서의 장점이 있다.

일반적으로 영상에서의 예지는 시각적으로 중요한 요소이며, 기존의 많은 문헌에서 이러한 예지 정보가 웨이블릿 변환 영역에서의 중요계수와 관련이 있음을 보여주었다. 실험결과 제안된 방법은 기존의 방식에 비하여 특히 낮은 비트율에서도 좋은 결과를 나타냄을 확인하였으며 점진적 전송이 요구되는 분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

[1] 안영아, 장주만, 김지균, 김태운, "2차원 웨이블릿을 이용한 이미지 검색 시스템 설계," 한국정보처리학회, 춘계학술발표논문집, 제6권, 제1호, pp. 1309-1312, 1999. 4.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. On Image Processing, 6,12, pp. 1673-1687, 1997.

[3] S. Craver, N. Memon, N. Yeo, and M. Yeung, "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownership?," IBM Research Report, RC20509, July 25, 1996.

[4] I. J. Cox, M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of

Perceptual Modeling," Proc. SPIE Conf. on Human Vision Electronic Imaging II, Vol. 3-16, pp. 92-99, Feb., 1997.

[5] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A watermarking technique for digital imagery : further studies," Video and Imaging Processing Laboratory, Proceeding of the International Conf. on Imaging Science, pp. 279-287, 1997.

[6] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호," 정보과학회지 제15권 제 12호, pp. 22-27, 1997. 12.

[7] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", IEEE Transactions on Signal Processing, Special Issue on wavelets and Signal Processing, 41(12), pp. 3445-3462, December, 1993.

[8] L. Ang, H. N. Cheung and K. Eshraghian, "EZW algorithm using depth-first search representation of the wavelet zerotree," submitted to 5th International Symposium on Signal Processing and its Applications, Aug. 1999

[9] C. D. Creusere, "A new method of robust image compression based on embedded zerotree wavelet algorithm," IEEE Trans. Image Processing, vol.6, no.10, pp.1436-1442, Oct. 1997.

[10] "Introduction to Data Compression," Morgan Kaufmann, pp.479-492, 2000.

### 손 영 우



2000 광운대학교대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1991-1998 한국산업기술정보원(책임연구원)

2006. 현재 한국디지털콘텐츠학회 이사

2006. 현재 한국멀티미디어학회 이사

2006. 현재 김포대학 멀티미디어과 교수