

EZW를 이용한 디지털 워터마킹

김 현 우, 이 호 근, 김 회 수, 하 영 호
경북대학교 전자전기컴퓨터학부

Digital Watermaking of EZW coded image in the compressed domain

Hyun-Woo Kim, Ho-Keun Lee, Hee-Soo Kim, and Yeong-Ho Ha
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University
e-mail: yha@ee.knu.ac.kr

요약

본 논문에서는 EZW(embedded zerotree wavelet)를 사용하여 영상을 압축하는 과정에서 워터마크를 삽입하는 새로운 방법을 제안하였다. 비트열에 워터마크를 삽입하는 기존의 방법은 DCT를 기반의 MPEG과 JPEG 비트열에 워터마크를 삽입하였다. 하지만 DCT 기반의 압축 방법은 낮은 비트율로 압축할 때에 블록화현상이 생기고 비트율을 제어하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 웨이블릿을 이용한 압축 방법이 사용되었고, 대표적인 방법으로 EZW가 많이 쓰인다.

본 논문에서는 EZW의 주부호화 과정(dominant pass)에서 발생하는 4가지의 심벌을 이용하여 부호화된 이진 워터마크 영상을 삽입하는 방법을 제안하였다. 웨이블릿 분해된 계수 상에서 마지막 레벨에 위치한 ZTR(zerotree root) 심벌에 워터마크를 삽입함으로써 원 영상에 손상을 주지 않고, 워터마크를 간단히 추출할 수 있었다. 또 낮은 비트율에서도 워터마크의 손상이 적었고, 많은 양의 워터마크 영상을 삽입할 수 있었다.

I. 서론

최근 정보통신의 발달과 멀티미디어 통신기술의 발달로 멀티미디어 콘텐츠에 대한 저장과 전송이 매우 용이해졌다. 그러나 이러한 디지털 멀티미디어 콘텐츠는 원본과 복사본의 구분이 없기 때문에 이에 대한 복사 방지, 저작권 보호, 인증 등을 위한 워터마킹에 더 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다.

기존의 압축된 영상에 적용한 워터마킹 기법[1-3]은 JPEG[4]이나 MPEG[5]의 비트열에 삽입하는 방식을 많이 사용하였다. DCT를 기반으로 하는 이러한 방법들은 8×8 크기의 블록 단위로 처리하므로 낮은 비트율로 압축할 때에 블록화현상이 생기고 정확한 비트율을 제어

하는데 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 웨이블릿을 이용한 압축방법이 많이 부각되고 있다. 웨이블릿은 블록 단위가 아닌 영상 전체에 대한 분해 작업을 하므로 블록 현상이 생기지 않는 특징이 있으며, 또 EZW과 같은 알고리즘을 적용하면 JPEG보다 훨씬 적은 비트율에서 같은 PSNR을 나타냄으로 압축율에서 성능이 뛰어나고, 비트 단위 처리를 하므로 부호화 및 복호화에서 정확한 비트율 제어가 가능한 장점이 있다[6].

이러한 EZW는 4가지 심벌을 이용하여 부호화하게 되는데 중요 계수를 나타내는 두 개의 심벌(POS, NEG)과 그렇지 않음을 나타내는 두 개의 심벌(IZ, ZTR)이 있다. 부호화 과정에서 ZTR 심벌은 그 자신과 후손 계수들 중에서 더 이상 중요 계수가 없음을 나타낸다. 하지만 마지막 레벨에 있는 ZTR 심벌은 그 자신의 계수 값이 중요하지 않음만을 나타낸다. 본 논문에서는 이러한 특징을 이용하여, 마지막 레벨에 있는 ZTR 심벌에 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 이진 영상이며 EZW로 부호화하여 삽입한다. 삽입된 워터마크는 원 영상을 낮은 비트율로 전송하더라도 손상 없이 추출할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EZW의 구체적인 알고리즘에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 워터마킹 알고리즘의 구체적인 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 그에 따른 실험 및 결과를 보여주며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. Embedded Zerotree Wavelet

EZW는 웨이블릿 분해된 영상의 효율적인 압축방법이다. 이는 기본적으로 웨이블릿의 특성인 자기 상관성(self-similarity)에 기초한 연속적인 근사 양자화(SAQ: successive approximation quantization) 방법을 사용한 부호화 방법이다.

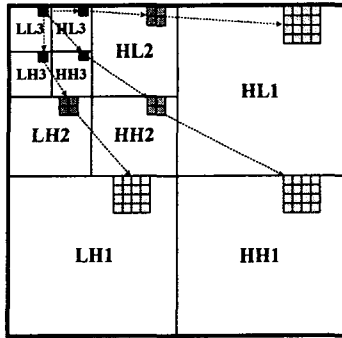


그림 1. 웨이블릿 분해 시 부대역간의 위치적 상관성

EZW의 중요한 특징은 임의의 비트율에서 부호화나 복호화를 멈출 수 있는데, 이는 이전에 발생한 부호는 이후에 발생하는 부호에 영향을 받지 않기 때문이다. 이렇게 하기 위해서는 항상 중요한 정보를 중요하지 않은 정보보다 먼저 전송해야 하며, EZW에서는 웨이블릿 계수들의 MSB(maximum significant bit)부터 시작하여 하위 레벨의 비트로 부호화하여 중요한 정보를 먼저 전송하게 된다.

그림 1은 웨이블릿 계수간의 위치적 상관성을 보여준다. 웨이블릿 분해를 하게 되면 LL3의 하나의 계수는 HL3, LH3, HH3의 각각 하나의 계수와 동일한 위치의 정보를 가진다. 이 정보는 HL2, LH2, HH2 대역에서는 각각 4개의 계수와 동일한 위치의 정보가 되고, 마찬가지로 HL1, LH1, HH1에서는 각각 16개의 계수가 동일한 위치의 정보가 된다.

따라서, 영상간의 같은 위치를 복원하게 되는 부모·후손 계수들 간에는 서로 연관성이 있는데, 일반적으로 부모 계수의 값이 클 경우, 후손 계수들의 값이 클 확률이 높으며, 부모 계수의 값이 작을 경우, 후손 계수들 역시 값이 작을 확률이 높다. 이를 이용하여 현재 부호화하려는 계수의 절대 값이 임계값 보다 큰지 작은지를 판단하고, 후손 계수들 중에서 임계값보다 절대값이 큰 계수가 존재하는지를 판단한 후, 현재 부호화하려는 계수가 임계 값보다 클 경우에는 항상 후손 계수를 부호화하고, 그렇지 않을 경우에는 후손 계수의 상황에 따라서 후손 계수의 부호화 여부를 결정한다. EZW는 크게 주 부호화 과정(dominant pass)과 종속 부호화 과정(sub-ordinary pass)으로 나뉜다. 주 부호화 과정에서 사용되는 네 가지의 심벌은 다음과 같다.

- POS(positive significant) : 웨이블릿 계수의 절대값이 양자화 계수보다 크며 그 부호가 양수 일 때.
- NEG(negative significant) : 웨이블릿 계수의 절대값이 양자화 계수보다 크며 그 부호가 음수 일 때.
- IZ(isolated zero) : 웨이블릿 계수의 절대값이 양자화 계수보다 작으나 그 후손 계수 중 큰 값이 있을 때.
- ZTR(zerotree root) 웨이블릿 계수와 후손 계수의 절대값이 양자화 계수보다 작을 때.

현재 부호화하려는 심벌이 POS, NEG나 IZ인 경우에는 항상 그 후손 계수에 대해서 POS, NEG, IZ, ZTR 심벌을 이용하여 다시 중요도를 판별하여 부호화하고, ZTR인 경우에는 더 이상 부호화하지 않는다.

종속 부호화 과정은 주부호화 과정에서의 중요 계수들의 정밀도를 높여준다. 이러한 과정을 통해서 부호화를 하므로 부호화나 복호화시 임의의 위치 어느 곳에서나 멈출 수 있어서, 비트율을 쉽게 조절 할 수 있다.

III. 제안한 워터마킹 알고리즘

제안한 방법에서는 삽입과정 전에 삽입할 워터마크를 부호화해야 한다. 이는 워터마크 영상 전체가 다 삽입되지 못했을 경우에도 워터마크를 복원하기 위한 방법이다. 그림 2는 제안한 워터마킹 방법의 블록도이다. 그림에서 왼쪽이 일반적인 영상의 웨이블릿 분해와 EZW 압축과정이고, 오른쪽은 워터마크 영상의 웨이블릿 분해와 EZW 압축과정이다. 부호화된 워터마크 영상을 PN(pseudo-random number) code를 사용하여 섞은 후, 원 영상의 EZW 비트열에 삽입하고 다시 이를 추출하는 과정을 나타내고 있다.

1. EZW로 부호화된 워터마크 영상의 생성

원 영상의 EZW 비트열에 삽입되는 워터마크는 영상, 음성, 텍스트 등의 다양한 정보가 삽입될 수 있다. 제안한 방법에서는 워터마크로 이진 영상을 부호화하여 사용하였다. 이진 영상은 '1'과 '0'으로 구성되어 있으므로 워터마크로 바로 삽입할 수 있으나, 원 영상과 마찬가지로 EZW로 압축하여 삽입하면 보다 적은 비트수를 가지고도 워터마크 영상을 복원하였을 경우에 삽입한 워터마크와의 오차가 줄어든다. 또, EZW 비트열이 중요계수 순서로 압축이 되므로 낮은 비트율로 원 영상을 압축하여 워터마크 비트열의 일부가 없어져도 복원이

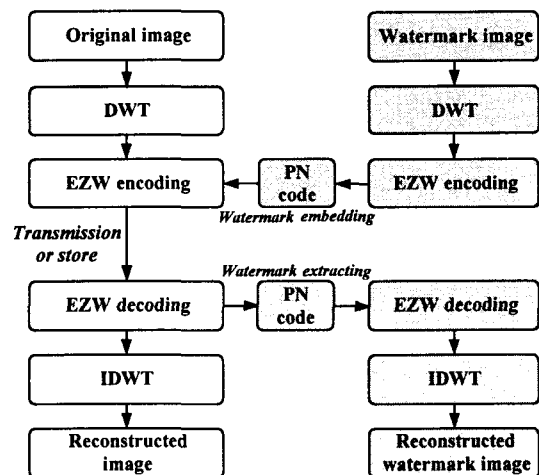


그림 2. 제안한 워터마킹 방법의 블록도

가능하다.

또, 워터마크 키를 삽입하기 위해 PN code로 부호화된 워터마크를 임의의 순서로 섞어 주는데, 전체 워터마크를 한번에 섞을 경우에는 EZW의 중요계수 순으로 부호화되는 이점이 사라지므로, 워터마크 비트열을 N 개씩 나누어 임의로 비트열을 섞어 주었다. 따라서 PN code의 seed를 결정하는 워터마크 키가 없이는 워터마크 영상을 복원 할 수 없게 된다.

2. 워터마크 삽입방법

EZW의 주 부호화 과정에서는 4개의 심벌을 사용한다. 그 중에서 중요계수가 아님을 나타내는 ZTR 심벌과 IZ 심벌은 각각 두 가지의 의미를 내포하고 있는데, 정해진 임계값에 대하여 그 자신의 절대값이 임계값보다 작은 계수라는 것은 두 심벌이 동일한 의미를 가지고, 그 후손 계수들의 절대값이 임계값보다 작으면 ZTR 심벌, 크면 IZ 심벌로 나타낸다. 하지만 그림 1에서 웨이블릿 분해시 LHL, HL1, HH1는 더 이상 후손 계수가 존재하지 않는다. 즉, 마지막 레벨의 웨이블릿 계수는 후손 계수가 존재하지 않으므로, 임계값보다 작은 계수를 부호화할 때 IZ 심벌은 생길 수 없고 ZTR 심벌만이 부호화된다. 따라서 마지막 레벨에서의 ZTR 심벌 대신 워터마크를 삽입한다.

그림 3은 웨이블릿 계수들을 EZW로 부호화할 때 웨이블릿 계수의 트리 구조와 워터마크를 삽입하는 위치를 나타낸다. 여기에서 마지막 레벨의 ZTR 심벌에 워터마크를 삽입할 수 있음을 보여준다.

삽입하는 워터마크는 그 값이 '0'일 경우 ZTR 심벌을 그대로 부호화하고, '1'일 경우에는 ZTR 심벌 대신에 IZ 심벌을 부호화한다. 마지막 레벨에서의 IZ 심벌은 의미가 없으므로 워터마크를 표시하는 신호로 쓸 수 있다. 그림 4는 워터마크 삽입 방법의 흐름도를 나타낸다.

일반적으로 EZW 부호화를 할 때 심벌을 산술 부호화(arithmetic coding) 사용하여 압축 효율을 향상시킨다. 산술부호화의 특징은 발생하는 심벌을 바로 부호화할 수 있으며 연속되는 심벌을 부호화하는데 유리하다.

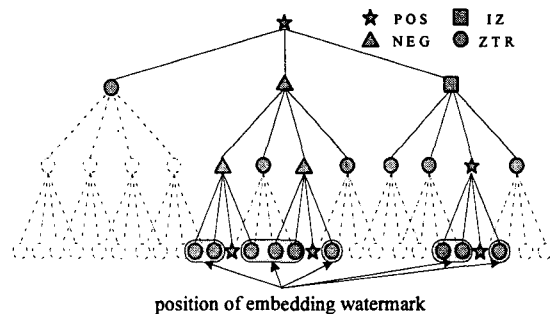


그림 3. 워터마크 삽입위치의 예

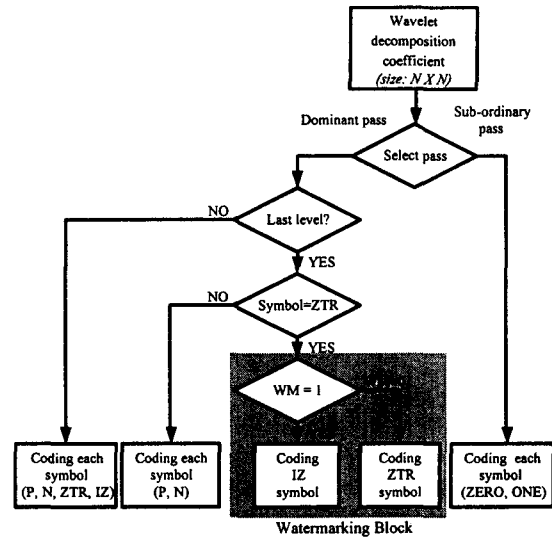


그림 4. 워터마크 삽입 방법의 흐름도

웨이블릿 분해시 계수들을 부호화할 때, 마지막 레벨에서는 거의 ZTR 심벌로 동일한 심벌이 연속적으로 부호화되어 압축이 많이 되지만[7], 제한한 방법으로 워터마크를 삽입하면 ZTR심벌 외에 IZ 심벌이 번갈아 삽입되므로 압축효율이 떨어진다. 따라서 동일한 비트열에서 워터마크된 영상과 되지 않은 영상을 비교하면, 약간의 화질 열화가 발생한다. 이는 워터마크의 크기와 원 영상의 크기에 따라 그 정도가 달라진다.

3. 워터마크 추출방법

삽입된 워터마크를 추출하는 방법은 삽입 방법의 역순으로 실행한다. 워터마크를 추출한 후 키를 이용하여 EZW 비트열로 만들고, 이를 복호화한다. 워터마크를 추출하고 난 후에는 원 영상의 비트열에 더 이상 워터마크가 남아 있지 않아, 원 영상에 왜곡을 주지 않는다.

IV. 실험 및 결과

실험에서는 512×512 크기의 'Lenna' 영상에 워터마크로 64×64 크기의 이진 영상을 삽입하여 실험하였다. 이 때 삽입하는 워터마크는 먼저 이진 영상을 EZW로 압축하고, 이 때 만들어진 비트열을 100개씩 나누어 PN code를 사용하여 섞어 만든다. 일반적으로 비트열에 워터마크를 삽입하는 방법의 강인성은 압축율에 따라 영상의 열화 정도와 워터마크의 손상유무로 판정한다. 그림 5는 512×512 'Lenna' 영상의 일부를 나타낸다. 0.25bpp와 0.125bpp로 압축하였을 때 원 영상과 워터마크를 삽입한 영상의 화질이 거의 유사함을 볼 수 있다. 이 때의 PSNR은 표 1과 같다. 일반적으로 비트열에 워터마크를 삽입하는 경우에는 많은 데이터를 삽입하지 못하는 경향이 있다. 하지만 제한한 방법에서는



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

그림 5. 512×512 'Lenna' 영상의 일부 (a) 원 영상 (b) 워터마크를 삽입하지 않고 0.25bpp로 압축한 영상 (c) 워터마크를 삽입하고 0.25bpp로 압축한 영상 (d) 워터마크를 삽입하지 않고 0.125bpp로 압축한 영상 (e) 워터마크를 삽입하고 0.125bpp로 압축한 영상



(a)



(b)



(c)

그림 6. (a) 삽입한 64×64 워터마크 영상 (b) 0.25bpp 시 추출한 워터마크 (c) 0.125bpp 시 추출한 워터마크

원 영상 크기의 5%에 해당하는 이진 영상을 삽입하여도 화질의 열화가 크지 않음을 알 수 있다.

그림 6은 삽입한 워터마크와 0.25bpp와 0.125bpp에서 추출한 워터마크를 나타낸다. 그림 6(a)의 삽입한 워터마크와 그림 6(b)와 (c)에 추출된 워터마크는 거의 차이가 없음을 볼 수 있다.

표 1. 워터마크를 삽입한 경우와 하지 않았을 경우의 PSNR 비교

bpp	no watermark	watermark	difference
0.5	34.00dB	33.90dB	0.10
0.25	31.59dB	31.48dB	0.11
0.125	29.00dB	28.87dB	0.13

V. 결론

본 논문에서는 EZW의 주부호화 과정에서 발생하는 4가지의 심벌을 이용하여 이진 워터마크 영상을 삽입하는 방법을 제안하였다. 워터마크를 원 영상의 중요한 심벌에 삽입함으로써 원 영상에 손상을 주지 않고, 워터마크를 간단히 추출할 수 있었다. 또 낮은 비트율에서도 워터마크의 손상이 적었고, 비교적 큰 크기의 워터마크 영상을 삽입할 수 있었다. 제안한 워터마크 알고리즘은 복사 방지 등에 활용될 수 있으며, 앞으로 동영상이나 3차원 데이터에 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] F. Hartung and B. Girod, "Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain," *Proceeding of IEEE ICASSP '97*, pp. 2621-2624, 1997.
- [2] H. Kiya, Y. Noguchi, A. Takagi, and H. Kobayashi, "A Method of inserting binary data into MPEG video in the compressed domain," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E82-A, no. 8, pp. 1485-1492, 1999.
- [3] G. C. Langelaar, R. L. Lagendijk, and J. Biemond, "Realtime labeling methods for MPEG compressed video," *Proceeding of 18th Symposium on Information Theory in the Benelux*, Veldhoven, The Netherlands, May 1997.
- [4] ISO/IEC International Standard 10918-1, "Digital compression and coding of continuous-tone still images," 1991.
- [5] MPEG-4 Video Group, "MOEG-4 video verification model version 7.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG98/N1642, Bristol, England, 1997.
- [6] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficient," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3345-3462, 1993.
- [7] 박효서, 박상주, "EZW 기반 영상 압축 기법의 성능 개선에 관한 연구," *부호 및 정보이론 연구회 논문집*, 1999.