

논문 2005-42SP-1-6

EZW 비트열의 ZTR심벌을 이용한 디지털 워터마킹

(Digital Watermarking of EZW Coded Image using ZTR symbol)

김 현 우^{*}, 이 호 근^{*}, 이 명 영^{*}, 하 영 호^{*}

(Hyun-Woo Kim, Ho-Keun Lee, Myong-Young Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문은 기존의 EZW 압축방법을 이용하여 EZW 비트스트림에 이진으로 부호화된 영상을 삽입하고 추출하는 방법을 제안한다. EZW 부호화 방법은 두 가지 경로를 가지는데, 첫 번째 경로는 P, N, IZ, ZTR의 네가지 심벌을 가진다. 두 번째 경로에서는 이 심벌들에 대해 세부적인 값을 부호화한다. 제안한 방법에서는 첫 번째 경로의 ZTR 심벌을 이용하여, 웨이블릿 변환에 의해 전송되는 원영상의 고주파수 영역에 나타나는 ZTR 심벌에 워터마크를 삽입한다. 제안한 디지털워터마킹 방법은 낮은 비트율에서 좋은 성질을 보여주었다. 향후 비디오나 3차원 영상의 워터마킹은 새로운 영역으로 자리 잡을 것이다.

Abstract

We proposed a method for embedding coded binary data into EZW bitstreams and extracting embedded data from EZW bitstreams using the traditional EZW decoder. EZW coder have two passes. The first pass, the dominant pass have four symbols, P, N, IZ, ZTR. The second pass is sub-ordinary pass which specifies the value of symbol. In the proposed methods, we use ZTR symbol in the dominant pass. We embed watermark into ZTR symbol in the highest frequency band which original image is transferred by wavelet transform. The proposed digital watermarking method shows good properties for robustness in the low bit rate. Accordingly, based on the proposed digital watermarking, video and 3D image watermarking will become a new area for research in the near future.

Keywords : EZW, 워터마킹

I. 서 론

디지털 워터마킹이란 멀티미디어 콘텐츠 자체에 정보를 저장하는 것으로서 복사 방지, 저작권 보호, 인증, 콘텐츠 라벨링 등을 위해 사용된다. 기존의 워터마킹 방법은 크게 두가지로 나뉘어 있다. 첫째, 압축되지 않은 원영상에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 동영상 등 실시간 처리가 필요한 분야에 사용될 때 데이터들을 처리하는데 어려움이 있고, 콜루전(Collusion)공격에 강인하지 못한 단점이 있다. 둘째, 압축 영역(비트열)에 직접 워터마크를 삽입하는 방법^[1-3]으로 인트라 프레임(Intra-frame)의 DCT 계수에만 워터마크를 삽입하는 방법과 움직임 보상 벡터에 삽입하는 방법

이 있다. 이 방법들은 워터마크를 삽입하고 추출 할 때 완전 복호화 과정을 거치지 않음으로 속도가 빠르다는 장점이 있다. 그러나 비트열에 직접 워터마크가 삽입되므로 공격으로 인하여 지워지기 쉽다는 단점이 있지만 기존의 DVD나 MP3와 같은 제한된 시스템에서는 워터마크가 없이는 재생이나 녹화가 불가능하도록 설정할 수 있다.^[4] 또한 이런 시스템에서는 데이터의 실시간 처리가 필요하므로 압축 영역에 워터마크를 삽입하는 것이 유리하다.

기존의 압축된 영상에 적용한 워터마킹 기법은 JPEG^[5]이나 MPEG^[6]의 비트열에 삽입하는 방식을 많이 사용하였다. DCT를 기반으로 하는 이러한 방법들은 낮은 비트율로 압축할 때에 블록화현상이 생기고 정확한 비트율을 제어하는데 어려운 문제점이 있다. 이에 반해 웨이블릿은 블록 단위가 아닌 영상 전체에 대한 분해 작업을 하므로 블록 현상이 생기지 않는 특징이

^{*} 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National Univ.)
접수일자: 2003년5월15일, 수정완료일: 2005년1월12일

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.^[7] 이러한 EZW 부호화 과정은 크게 주 부호화 과정(dominant pass)과 종속 부호화 과정(sub-ordinary pass)으로 나뉜다.^[8]

본 논문에서는 EZW의 주 부호화 과정에서 발생하는 4가지의 심벌을 이용하여 이진 워터마크 영상을 삽입하는 방법을 제안하였다. 워터마크를 원 영상의 중요하지 않은 심벌에 삽입함으로써 원 영상에 손상을 주지 않고, 워터마크를 간단히 추출할 수 있었다. 워터마크는 이진 영상이며 EZW로 부호화하여 삽입한다. 제안한 방법은 낮은 비트율에서도 워터마크의 손상이 적었고, 비교적 큰 크기의 워터마크 영상을 삽입할 수 있었다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 복사 방지와 저작권 보호, 인증, 콘텐츠 라벨링 등에 활용될 수 있다.

II. 임베디드 제로트리 웨이블릿(Embedded Zerotree Wavelet)

1. 자기상관성(Self-similarity)

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.

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.

이렇게 영상의 같은 위치를 복원하게 되는 부모·후손 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 웨이블릿 분해된 영상의 자기 상관성이라 한다.

2. Zerotree Root

웨이블릿 분해를 하면 영상의 거의 모든 정보가 저주파수 대역에 몰려 있으며, 그 외의 대역에서는 거의 0에 가까운 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 bit plan 방법을 사용해서 부호화 할 경우에 저주파수 대역 외의 다른 대역들은 거의 0인 관계로 bit plan 전체를 부호화하는 것은 상당히 비효율적이 되며, 따라서 각각의 bit plan을 부호화 할 때 모든 bit plan을 부호화하지 않고, Zerotree Root 방법을 사용해서 효율적으로 부호화하게 된다. EZW에서는 부모계수와 후손계수와의 값에 따라 중요도를 부여하여 부호화를 수행한다.

이러한 계수의 중요도 판별은 총 4개의 심벌을 사용해서 부호화 할 수 있는데, 이에 필요한 4개의 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,

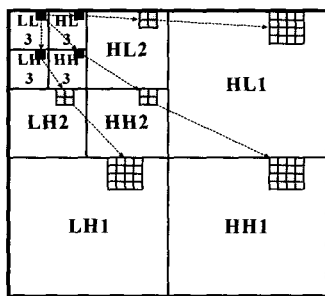


그림 1. 웨이블릿 분해 시 부대역간의 위치적 상관성
Fig. 1. Parent-child dependencies of subbands.

ZTR인 경우에는 더 이상 부호화하지 않는다. 즉 영상의 같은 위치를 복원하는데 관계된 부모, 후손 계수 모두를 하나의 블록으로 생각할 때에, ZTR 심벌은 현재 부호화하는 계수가 포함된 블록의 후손 계수는 모두 0이라는 EOB(End Of Block)에 해당하는 심벌이다.

3. EZW 부호화 과정

EZW는 크게 주 부호화 과정과 종속부호화 과정으로 나누어지게 되는데, 양자화 계수를 반으로 줄여나가면서 이 두 과정을 반복하게 된다. 주 부호화 과정에서는 양자화 계수와 웨이블릿 계수를 비교해서 웨이블릿 계수의 중요도를 Zerotree root 기법을 사용해서 부호화하며, 종속 부호화 과정에서는 주 부호화에서 중요 계수로 판단된 계수의 양자화의 정밀도를 높여 나간다. 이때 주 부호화 과정에서 부호화하는 순서는 가장 분해가 많이 이루어진 저주파 대역부터 고주파 대역으로 올라가는 순서로 부호화가 이루어지며, 종속 부호화 과정에서 부호화하는 순서는 가장 먼저 중요계수로 판단된 계수부터 부호화가 이루어진다.

EZW의 부호화 과정은 아래와 같다.

① 웨이블릿 분해된 모든 계수 ($\gamma(x, y)$)를 조사하여, 최대 값을 찾아낸 후 이 값을 기준으로 초기 임계값 (t_0)을 다음과 같이 설정한다.

$$t_0 = 2^{\lfloor \log_2(\text{MAX}(|\gamma(x, y)|)) \rfloor} \quad (1)$$

② 주 부호화 과정에서 부호화가 이루어질 대상을 설정한다. 처음 시작일 경우 모든 계수가 부호화 대상이 된다.

③ 주 부호화 과정을 시작한다. 부호화 방법으로는 Zerotree Root 기법을 사용한다.

④ 종속 부호화 과정을 시작한다. 주 부호화과정에서 판단된 중요계수 들의 정밀도를 높여나간다.

⑤ 임계값을 반으로 낮춘다.

⑥ 주 부호화 대상에서 중요계수로 판단된 모든 계수를 제외시킨다.

⑦ ③번의 주 부호화 과정부터 반복 시행한다.

이렇게 주 부호화 과정과 종속 부호화 과정을 통해서 중요 계수를 계속 발생시켜 나가며 양자화의 정밀도를 높여나감에 따라서 부호화나 복호화시 임의의 위치 어느 곳에서나 멈출 수 있는 특성을 가지고 있어서 비트

율을 쉽게 조절할 수 있다.

4. 산술 부호화 (Arithmetic coding)

EZW의 엔트로피 부호화로는 산술부호화(Arithmetic coding)가 사용되는데, 이것은 주 부호화 과정에서 심벌이 하나 발생할 때마다 바로 부호화 해나갈 수 있으며, 마찬가지로 종속 부호화 과정에서도 부호가 하나 발생할 때마다 바로 부호화 할 수 있기 때문에, EZW의 연속적인 근사 양자화의 특성을 그대로 살려줄 수 있는 장점이 있으면서도 허프만 부호화와 동등한 성능을 발휘하게 된다. 특히 산술부호화는 각각의 심벌에 비트를 할당하는 방법이 아니라, 주어진 구간의 범위를 각각의 심벌에 해당하는 범위만큼 좁혀나가면서 부호화하는 방법으로 EZW와 같이 부호화하려는 심벌의 수가 적을 때에 아주 효과적으로 부호화 할 수 있다. 주 부호화 과정에서는 심벌 4 개 (POS, NEG, IZ, ZTR)로 구성된 히스토그램을 사용해서 부호화하며, 종속 부호화 과정에서는 심벌 2 개 (1, 0)로 구성된 히스토그램을 사용해서 부호화한다.

III. 제안한 워터마킹 알고리즘

일반적으로 웨이블릿 변환을 이용하여 영상을 압축할 때에는, 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후, 웨이블릿 계수들을 EZW로 부호화한다. 이 때 만들어진 심벌들 사이로 워터마크를 삽입한다. 워터마크를 삽입하는 위치는 원영상에 왜곡을 주지 않기 위해서 가장 높은 주파수 대역에서 중요하지 않은 계수를 나타내는 ZTR 심벌에 워터마크를 삽입한다. 삽입하기 원하는 워터마크 영상은 전체가 다 삽입되지 못하거나 추출이 되지 않을 경우에도 워터마크를 복원하기 위해서 삽입과정 전에 삽입할 워터마크를 EZW를 이용하여 부호화한다. 그리고 워터마크 키를 위해서 부호화된 워터마크를 PN(pseudo-random number)-code로 섞어주어 암호화시킨다. 워터마크를 추출하여도 PN-code의 키가 없이는 워터마크 영상을 원래대로 복원시킬 수 없게 된다.

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-code를 사용하여 섞은 후, 원 영상의 EZW 비트열에 삽입하고 다시 이를 추출하는 과정을 나타내고 있다.

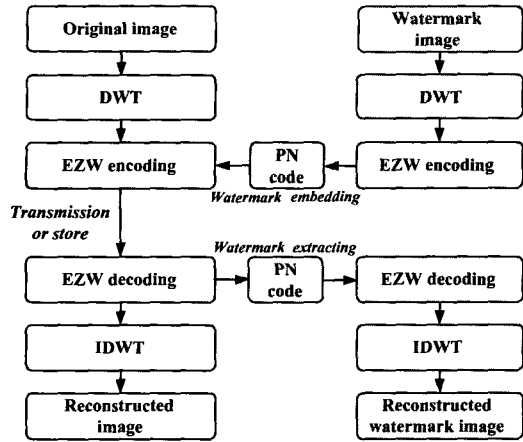


그림 2. 제안한 워터마킹 방법의 블록도
Fig. 2. Block diagram of proposed watermarking scheme.

1. 워터마크 삽입방법

원영상을 EZW로 부호화 할 때, 주 부호화 과정에서 P, N, IZ, ZTR 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 가지나, 후손계수들의 절대값 크기가 임계값보다 작으면 ZTR 심벌, 크면 IZ 심벌로 나타낸다. 하지만 그림 1에서 보면, 웨이블릿 분해시 가장 높은 주파수 대역인 LH1, HL1, HH1는 더 이상 후손계수가 존재하지 않는다. 즉, 가장 높은 주파수 대역의 웨이블릿 계수는 후손 계수가 존재하지 않으므로 임계값보다 작은 계수를 부호화할 때 IZ 심벌은 생길 수 없고 ZTR 심벌만이 부호화된다. 따라서 가장 높은 주파수 대역에서는 3개의 심벌만이 발생할 수 있다. 원래는 4개의 심벌로 부호화를 하지만 실제로는 3개의 심벌만이 존재하므로, 가장 높은 주파수 대역에서 사용되지 않는 IZ 심벌을 이용하여, ZTR 심벌에 워터마크를 삽입한다.

그림 3은 웨이블릿 계수들을 EZW로 부호화할 때 웨이블릿 계수의 트리 구조와 워터마크를 삽입하는 위치를 나타낸다. 트리 구조의 마지막 단은 웨이블릿으로 분해한 계수들의 가장 높은 주파수 대역을 나타낸다. 여기에서 후손계수가 없는 가장 높은 주파수 대역의 ZTR 심벌에 워터마크를 삽입할 수 있음을 보여준다.

그림 4는 워터마크 삽입 방법의 흐름도를 나타낸다. 삽입하는 워터마크는 그 값이 '0'일 경우 ZTR 심벌을 그대로 부호화하고, '1'일 경우에는 ZTR 심벌 대신에

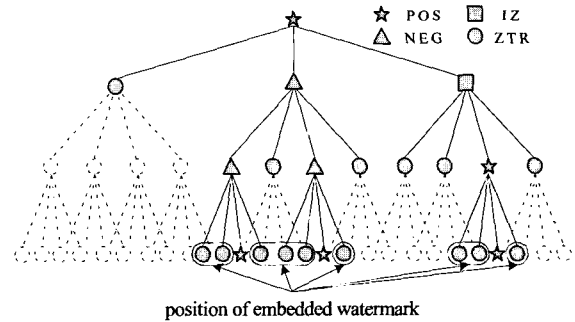


그림 3. 워터마크 삽입위치의 예
Fig. 3. Examples of embedded watermark position.

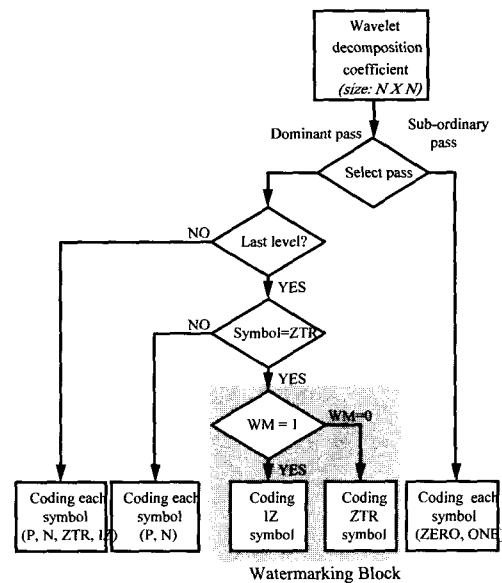


그림 4. 워터마크 삽입 방법의 흐름도
Fig. 4. Flow chart of watermark embedding method.

IZ 심벌을 부호화한다. 가장 높은 주파수 대역에서의 IZ 심벌은 의미가 없으므로 '1'의 워터마크를 표시하는 신호로 쓸 수 있다.

가장 높은 주파수 대역에서 발생하는 ZTR 심벌에는 모두 워터마크를 삽입 할 수 있는데, 이는 영상에 따라 발생하는 심벌의 개수가 모두 다르다. 따라서 동일한 압축률에서 삽입 할 수 있는 워터마크의 양은 영상에 따라 달라진다.

일반적으로 EZW 부호화를 할 때에 발생하는 심벌은 산술 부호화를 사용하여 압축 효율을 향상시킨다. 산술 부호화의 특징은 발생하는 심벌을 바로 부호화할 수 있으며 연속되는 심벌을 부호화하는데 유리하다. 웨이블릿으로 영상을 주파수 대역으로 변환하여 계수들을 부호화할 때, 마지막 레벨에서는 거의 ZTR 심벌로 동일한 심벌이 연속적으로 부호화되어 압축이 많이 되지만,^[8] 제안한 방법으로 워터마크를 삽입하면 ZTR심벌 외에 IZ 심벌이 번갈아 삽입되므로 압축효율이 떨어진

다. 따라서 동일한 비트율에서 워터마킹된 영상과 되지 않은 영상을 비교하면, 약간의 화질 열화가 발생한다. 이는 워터마크의 크기와 원 영상의 크기에 따라 그 정도가 달라진다.

2. 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, EZW로 압축을 하여 삽입을 하면 많은 이점이 있다.

워터마크를 부호화시키는 순서는 아래와 같다.

- ① 이진 영상을 웨이블릿 변환을 한다.
- ② 웨이블릿 분해 계수들을 EZW로 부호화한다.
- ③ 부호화하여 만들어진 비트열의 길이는 원하는 복원율에 따라 정한다.
- ④ 100비트씩 비트열을 잘라 PN-code를 이용하여 섞어준다.

일반적인 워터마킹에서 워터마크를 삽입할 때, 부호화된 워터마크 영상을 삽입하는 방법을 쓰지 못한다. 이는 아무리 강하게 워터마크를 삽입하여도 공격을 받거나 압축을 하게 되면 워터마크가 손상을 입으므로, 손상된 비트열로는 삽입한 워터마크를 복원시킬 수가 없다. 따라서 일반적인 워터마킹에서는 이와 같은 방법은 사용 할 수 없다. 하지만 제안한 워터마킹 방법은 비트열에 직접 워터마크를 삽입하는 방법으로 비트열의 손상은 고려되지 않는다. 다만 압축으로 인하여 비트열이 끝까지 전송되거나 저장되지 못하고 잘리는 경우가 발생한다. 이러한 경우에도 워터마크 영상을 EZW를 이용하여 압축을 하면 유리한다.

워터마크 영상을 원 영상과 마찬가지로 EZW로 압축하여 삽입하면, 보다 적은 비트수를 가지고도 워터마크 영상을 복원하였을 경우에 삽입한 워터마크와의 오차가 줄어든다. 그리고 EZW 비트열이 중요계수 순서로 압축이 되므로, 낮은 비트율로 원 영상을 압축하여 워터마크 비트열의 일부가 없어져도 복원이 가능하다. 이러한 특징을 이용하여 워터마크 비트열을 복원율에 따라 일부만을 삽입하는데 이는 다음절에서 자세하게 소개한다.

또, 워터마크 키를 삽입하기 위해 PN code로 부호화된 워터마크를 임의의 순서로 섞어 주는데, 전체 워터마크를 한번에 섞을 경우에는 EZW의 중요계수 순서로

부호화되는 이점이 사라지므로, 워터마크 비트열을 100개씩 나누어 임의로 비트열을 섞어 주었다. 따라서 PN code의 seed를 결정하는 워터마크 키가 없이는 워터마크 영상을 복원 할 수 없게 된다. 워터마크 키는 나누어진 비트열마다 매번 달리 할 수도 있고, 동일한 키를 이용하여 섞을 수도 있다. 본 논문에서는 동일한 키로 워터마크비트열을 섞어 주었다.

워터마크 된 영상의 비트열에서 부호화 된 워터마크 비트열을 추출하여서 원래의 워터마크 영상을 얻기 위해서는, 위의 과정을 역으로 수행한다.

3. 복원율을 이용한 워터마크의 삽입량 조절

앞에서 언급한 대로 EZW 부호화를 할 때에 만들어지는 심벌은 산술 부호화를 사용하여 압축률을 높인다. 산술 부호화는 동일한 심벌이 연속적으로 발생할수록 압축률은 높아진다. 웨이블릿으로 영상을 주파수 대역으로 변환하여 계수들을 부호화할 때, 마지막 레벨에서는 거의 ZTR 심벌로 동일한 심벌이 연속적으로 부호화되어 압축이 많이 되지만, 제안한 방법으로 워터마크를 삽입하면 ZTR심벌 외에 '1'에 해당하는 워터마크를 나타내기 위해서 IZ 심벌이 삽입되므로 압축효율이 떨어진다.

따라서 동일한 비트율에서 워터마킹 된 영상과 되지 않은 영상을 비교하면, 약간의 화질 열화가 발생한다. 하지만 이 때 발생하는 화질 열화는 원영상의 웨이블릿 계수를 조절하여 복원 될 수 없는 열화를 발생시키는 워터마킹 방법과는 다르게, 압축 효율이 떨어져서 발생하는 화질 열화이다. 따라서 의료영상과 같이 왜곡이 있어서는 안 되는 영상에서는 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입하여 그 크기를 변화시키는 방법보다는 제안한 방법과 같이, 많은 양의 데이터를 보내면 보낼수록 원영상을 복원 할 수 있는 방법이 사용되어야한다.

또한 워터마크를 많이 넣을수록 압축효율이 떨어지게 되는데, 반대로 삽입하는 워터마크의 크기를 줄이면 복원되는 워터마크 영상이 삽입한 워터마크 영상과 오차가 커지게 된다. 항상 100%의 복원을 원하는 경우에는 모든 워터마크를 다 삽입해야 하지만, 대략적인 모양이나 약간의 잡음이 섞인 워터마크를 얻어도 되는 경우에는 삽입하기 전에 워터마크의 양을 줄여서 삽입한다. 이를 적절히 조절하기 위해서 복원율(Reconstruction ratio)을 이용한다. 복원율 R 은 식(2)와 같이 정의한다.

$$R = \frac{N_T - N_E}{N_T} \times 100\% \quad (2)$$

N_T 는 워터마크 영상의 전체 화소 수이고, N_E 는 삽입한 워터마크 영상과 복원한 워터마크 영상 사이에서 다른 화소의 수를 나타낸다. 따라서 완벽하게 워터마크가 복구되었을 때 R 은 100%이다.

표 1은 각각의 복원율을 얻기 위하여 필요한 비트 열의 양을 나타낸다. 복원율이 100%인 경우와 99%인 경우를 비교해 보면 1%의 오차가 발생하는데 대하여 1700비트를 줄일 수가 있다.

결과적으로, 워터마크의 양을 크게 줄여도 복원되는 영상은 거의 차이가 없음을 알 수가 있지만, 워터마크의 크기가 줄어들면 원영상의 압축 효율은 현저히 향상된다. 따라서 워터마크를 삽입 할 때부터 복원율에 따라 그 크기가 줄어든 워터마크를 삽입하므로 압축효율을 향상시키면서 워터마크의 손상을 줄인다.

4. 워터마크 추출방법

삽입된 워터마크를 추출하는 방법은 그림 5처럼 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.

표 1. 복원율에 따른 압축된 워터마크의 크기(64×64)
Table 1. The size of coded watermark by reconstruction ratio.

R	100%	99%	98%	97%
watermark (bit)	4000	2300	1800	1400

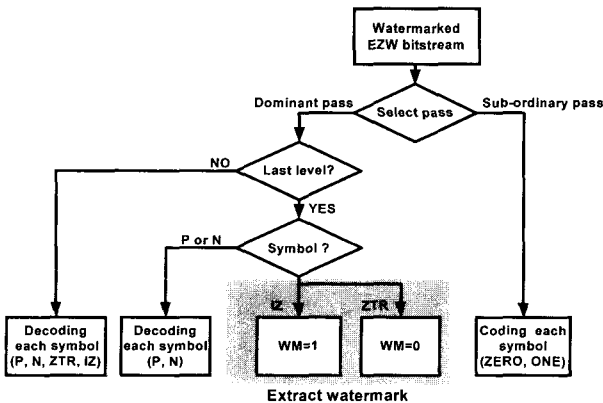


그림 5. 워터마크 추출 방법의 흐름도
Fig. 5. Flow chart of watermark extracting method.

IV. 실험 및 결과

실험에서 원영상은 먼저 Daubechius 9-7 tap 웨이블릿 계수를 이용하여 웨이블릿 분해를 하였고, 이를 EZW를 사용하여 부호화하였다. 이 때 삽입하는 워터마크는 앞장에서 설명한대로 이진 영상을 EZW로 압축하고, 이 때 만들어진 비트열을 100개씩 나누어 PN-code를 사용하여 섞어 만든다.

일반적으로 비트열에 워터마크를 삽입하는 방법의 강인성(robustness)은 압축율에 따라 영상의 열화 정도와 워터마크의 손상유무로 판정한다. 원영상의 열화 정도를 측정하기 위하여 PSNR(Peak-to-peak signal to noise ratio)을 이용하였다. 그리고 워터마크 영상의 손상 정도는 복원율(R)을 이용하여 측정하였다. 원하는 결과는 가능한 한 원영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 PSNR차가 적을수록 좋고, 이 때 추출되는 워터마크 영상의 복원율이 높을수록 좋다.

실험은 원영상의 압축율을 0.5, 0.25, 0.125bpp로 고정 한 상태에서 워터마크의 양을 복원율에 따라 R=100%에서부터 97%까지 조절하여 삽입하였다. 본 논문에서 사용한 워터마크 영상의 경우에 표 1에서 제시한 양만큼의 워터마크가 삽입되었다. 워터마크가 100bit 단위로 잘린 이유는 워터마크 키를 삽입하면서 100개를 단위로 암호화시키므로 100으로 나누어 떨어지지 않는 나머지는 의미가 없기 때문이다.

실험을 위하여 사용된 영상은 512×512 크기의 'Lenna', 'Baboon', 'Barbara', 'Couple', 'Airfield' 등의 5개의 영상이고 워터마크 영상은 64×64 크기의 이진 영상을 사용하였다.

표 2는 각 영상에 대하여 0.5, 0.25, 0.125bpp에서 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 나타낸 것이다. 워터마크를 완벽하게 복원하기 위하여 워터마크 전체를 삽입하였을 경우(R=100%) PSNR의 차이가 0.06에서 0.25까지 비교적 크게 나타남을 볼 수가 있다. 복원될 워터마크 영상의 복원율을 약간 손해보더라도 삽입할 워터마크 크기를 줄여서 삽입할 경우에는 PSNR의 차이가 크게 줄어들음을 볼 수가 있다.

표 3은 Lenna 영상으로부터 추출한 워터마크 영상이다. 0.5bpp인 경우에는 복원율에 따라 삽입된 워터마크가 그대로 추출되는 것을 볼 수 있으나 0.25나 0.125bpp인 경우에는 많은 워터마크가 삽입되어도 잘려나가서 워터마크가 손상을 입을 수 있다.

표 2. 워터마크를 삽입한 경우와 하지 않았을 경우의 PSNR 비교

Table 2. The PSNR of original images and watermarked images.

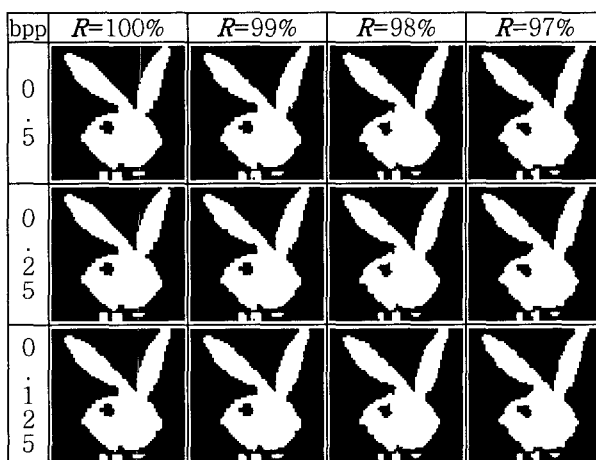
영상	원영상 (A) [dB]	압축율 [bpp]	워터마크가 삽입된 영상(B) [dB]			
			R=97	R=98	R=99	R=100
Lenna	34.00	0.5	33.94	33.93	39.92	33.86
	31.59	0.25	31.54	31.54	31.53	31.45
	29.00	0.125	28.89	28.87	28.85	28.85
Baboon	24.10	0.5	24.07	24.07	24.05	24.03
	22.71	0.25	22.60	22.58	22.55	22.46
	21.08	0.125	21.03	21.02	21.02	21.02
Barbara	30.18	0.5	30.15	30.14	30.14	30.12
	26.49	0.25	26.44	26.43	26.42	26.38
	24.03	0.125	23.91	23.91	23.91	23.91
Couple	30.49	0.5	30.46	30.46	30.45	30.42
	27.71	0.25	27.62	27.61	27.58	27.52
	25.79	0.125	25.67	25.67	25.67	25.67
Airfield	27.03	0.5	26.95	26.94	26.91	26.84
	24.95	0.25	24.86	24.84	24.81	24.70
	22.55	0.125	22.46	22.45	22.45	22.45

V. 결 론

비트열에 직접 워터마크를 삽입하는 기존의 DCT를 기반으로 하는 MPEG과 JPEG의 비트열에 워터마크를 삽입하였다. 하지만 DCT 기반의 압축방법은 낮은 압축율에서 블록화현상이 발생하고, 비트율을 제어하기 힘든 단점이 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위한 방법으로 웨이블릿이 많이 쓰이는데, 본 논문에서는 웨이블릿 계수를 압축하는 방법 중 가장 많이 쓰이는 EZW의 주 부호화 과정에서 발생하는 4가지의 심벌을 이용하여 이전의 워터마크 영상을 삽입하는 방법을 제안하였다. 워터마크를 웨이블릿 분해된 계수상에서 가장 높은 주파수 대역에 위치한 ZTR 심벌에 삽입하므로 원영상에 손상을 주지 않고, 워터마크를 간단히 추출할 수 있었다. 제안한 방법은 낮은 비트율에서도 워터마크의 손상이 적었고, 비교적 큰 크기의 워터마크 영상을 삽입할 수 있었다. 워터마크의 크기를 EZW를 이용하여 압축을 하므로 더 많은 양의 워터마크를 삽입하거나, 원영상의 왜곡을 줄일 수 있었다. 제안한 워터마킹 알고리즘은 복사 방지와 저작권 보호, 인증, 콘텐츠 라벨링 등에 활용될 수 있으며, 실시간(real time) 시스템에

표 3. Lenna 영상에서 추출한 워터마크 영상

Table 3. Extracted watermark image from Lenna image.



서 사용이 가능하다. 앞으로 동영상이나 3차원 데이터에 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 더 필요하다.

참 고 문 헌

- [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," in *Proc. of 18th Symposium on Information Theory*, Benelux, Veldhoven, The Netherlands, May 1997.
- [4] J. A. Bloom, I. J. Cox, T. Kalker, J. Linnartz, M. L. Miller, and C. Traw, "Copy protection for DVD video," *Proceeding of the IEEE*, Vol. 87, no.7, pp.1267-1276, July 1999.
- [5] ISO/IEC International Standard 10918-1, "Digital compression and coding of continuous-tone still images," 1991.
- [6] MPEG-4 Video Group, "MPEG-4 video verification model version 7.0," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG98/N1642, Bristol, England, 1997.
- [7] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficient," *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 41, no. 12, pp. 3345-3462, Dec. 1993.
- [8] 박효서, 박상주, "EZW 기반 영상 압축 기법의 성

능 개선에 관한 연구,” 부호 및 정보이론 연구회
논문집, 1999년

— 저 자 소 개 —



김 현 우(정회원)
1999년 경북대학교 전자공학부
학사 졸업.
2002년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
2002년~현재 삼성전자 연구원.
<주관심분야: 디지털 방송,
영상처리>

이 명 영(정회원)
제 41권 SP편 제 1호 참조

이 호 근(정회원)
제 38권 SP편 제 4호 참조

하 영 호(정회원)
제 38권 SP편 제 3호 참조