

# 터보 부호와 인간 시각 시스템을 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘

김주영\*, 권성근\*, 황희철\*, 정태연\*, 권기룡\*\*, 김덕규\*

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

\*\*부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부

## A Digital Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform Using Turbo Code and Human Visual System

Ju-Young Kim\*, Seong-Geun Kwon\*, Hee-Chul Hwang\*, Tae-Yeon Jung\*,  
Ki-Ryong Kwon\*\*, and Duk-Gyoo Kim\*

\*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook Nat'l University

E-mail : alteir@palgong.knu.ac.kr

\*\*Division of Computer and Electrical Engineering, Pusan University of Foreign Studies

E-mail : krkwon@taejo.pufs.ac.kr

### 요약

본 논문에서는 기존의 워터마킹 알고리즘보다 채널에 대해서 더욱 강인한 특성을 위해 오류 정정 능력이 뛰어난 터보 부호 및 인간 시각 시스템을 이용한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 터보 부호를 이용하여 워터마크를 생성하고, 채널에 강인한 특성을 위해 채널의 부가 정보를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의실험에서 제안한 워터마킹 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 견고성면에서 우수함을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 인터넷이나 네트워크의 급격한 발달로 인해 정지영상, 오디오, 및 비디오 등 멀티미디어 데이터에 대한 저작권 보호 (copyright protection)가 어려워짐에 따라, 이를 해결하는 한 방법으로 디지털 워터마킹이 많이 연구되어지고 있다. 디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 시청각적으로나 통계적으로 감지할 수 없도록 소유권을 나타내는 워터마크를 은닉하는 기술이다.

디지털 워터마킹 알고리즘은 여러 가지 필요조건이 만족되어야 하는데, 그 중에서도 비가시성 (invisibility), 견고성 (robustness), 범용성 (universality), 및 명확성 (unambiguity)등은 필수적으로 만족되어야 한다. 여기서 비가시성과 견고성은 상호 보완적인 (trade off) 관계에 있다. 즉, 워터마크를 많이 삽입하면 할수록 견고성은 뛰어나지만, 비가시성

은 나빠진다. 따라서, 비가시성과 견고성을 만족하여 야만 좋은 워터마크 시스템이라 할 수 있다.

일반적으로 기존의 통신 분야의 이론을 이용하여 워터마킹 시스템을 모델링<sup>[1]</sup>할 수 있다. 여기서, 워터마크는 전송하고자 하는 메시지로 모델링 될 수 있고, 워터마크가 삽입될 영상은 워터마크를 전송하는 채널로 볼 수 있다. 또한, 워터마크 삽입 과정에서는 영상의 특징을 부가 정보 (side information)로 사용할 수 있다. 여기서, 부가 정보는 채널의 정보를 부호화기에 사용하여 복원할 워터마크의 충실도를 높이는데 사용된다.

통신 모델을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법으로 1997년 Cox 등<sup>[2]</sup>은 삽입하고자 하는 워터마크보다 광대역의 주파수 성분을 갖는 영상에 워터마크를 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너지를 감지하게 어렵게 하는 대역확산 방법

(secure spread spectrum)을 제안하였다. 이 방법은 원 영상에 DCT (discrete cosine transform)를 사용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 이 알고리즘에서는 전체 영상을 DCT를 사용하여 주파수 영역으로 변환함으로써 과도한 계산량이 필요하다. 또한, 대상 영상의 부가 정보로 사용된 삽입강도는 워터마크가 삽입되는 계수에 대해 일률적으로 사용됨에 따라 워터마크의 견고성이 감소되는 단점이 있다. 2001년 Gonza'lez 등<sup>[3]</sup>은 낮은 신호대 잡음비에서 원 신호의 복원 능력이 우수한 터보 부호 (turbo code)를 사용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 영상을  $8 \times 8$  블록 DCT를 사용하여 주파수로 변환한 후, 중간 주파수 영역의 계수를 선택하여, 그 선택된 계수에 워터마크를 삽입하였다. 이 방법에서는 선택된 계수들의 차를 삽입강도로 사용하였다. 이 방법도 삽입강도를 잘못 선택함에 따라 워터마크의 견고성을 감소시키는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 방법의 단점을 보완하기 위해 오류 정정 능력이 뛰어난 터보 부호 및 인간 시각 시스템 (human visual system, HVS)<sup>[4]</sup>을 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서, 소유권을 나타내는 정보 비트는 터보 부호화기를 이용하여 영상에 삽입될 워터마크로 생성된다. 또한, 채널로 사용된 원 영상의 부가 정보는 워터마크가 삽입될 웨이블릿 계수 및 HVS를 이용한 각 부대역의 삽입강도에 의해 결정되고, 이 부가 정보가 워터마크 삽입에 사용됨에 따라 워터마크의 견고성을 향상시킨다. 본 논문에서 사용된 터보 부호는 비교적 간단한 구조를 가지면서도 매우 우수한 오류 정정 성능을 가진다.

제안한 워터마킹 방법과 기존의 워터마킹 방법의 성능을 판단하기 위해 모의실험을 행하였으며, 성능 평가의 척도로서 비트 에러율 (bit error rate, BER)을 이용하였다. 실험 결과로부터 제안한 워터마킹 방법이 터보 부호의 오류 정정 능력 및 영상의 부가 정보로 인하여 기존의 방법보다 견고성면에서 나은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

## 2. 제안한 워터마킹 알고리즘

본 논문에서는 채널에 대해서 견고성을 만족시키기 위해 오류 정정 성능이 우수한 터보 부호 및 인간 시각 시스템을 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마

킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 그림으로 나타내면 그림 1에서와 같다. 이 그림에서 보는 바와 같이 정보 비트  $m(t)$ 는 터보 부호화기를 이용하여 워터마크  $w(t)$ 로 생성되고, 워터마크가 삽입될 영상은 채널로 모델링 된다. 이 채널의 부가 정보는 삽입될 계수  $C_o$ 와 HVS를 이용한 삽입강도  $\alpha$ 이고, 이부가 정보를 터보 부호화기에 의해 생성된 워터마크  $w(t)$ 와 같이 채널에 삽입된다. 검출기를 통해 검출된 워터마크  $w'(t)$ 는 원 정보 비트를 포함하고 있으므로 터보 복호기를 사용하여 정보 비트  $\hat{m}(t)$ 를 복원한다. 여기서, 원 정보 비트  $m(t)$ 와 복원된 정보 비트  $\hat{m}(t)$ 와의 BER을 사용하여 견고성에 대한 성능을 평가한다.

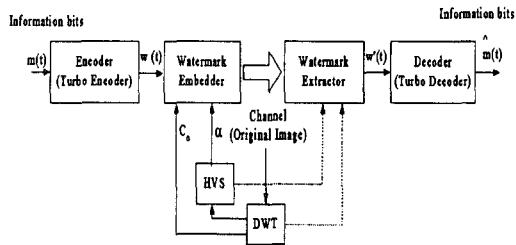


그림 1. 제안한 알고리즘의 전체 흐름도

### 2.1 터보 부호를 이용한 워터마크 생성

제안한 방법에서, 저작권에 대한 정보를 나타내는 정보 비트  $m(t)$ 로는 평균과 분산이 각각 0과 1인 정규분포 (normal distribution)를 따르는 이진 랜덤 시퀀스를 사용하며, 그 성분들은 상호 독립 분포 (identically independent distribution)로 가정한다. 이 정보 비트  $m(t)$ 는 그림 2에서와 같이 터보 부호화기를 이용하여 채널에 삽입할 워터마크로 생성된다.

여기서, 터보 부호는 Berroue 등<sup>[5]</sup>에 의해 제안되었으며 오류 정정에 탁월한 성능을 보인다. 터보 부호화기는 그림 2에서 보는 바와 같이 두 개의 길쌈 부호기와 한 개의 인터리버로 구성되어 있으며, 이중 패리티 정보 (parity information)를 사용함으로서 오류 정정 성능을 증가시키는 특성을 가지고 있다. 여기서, 이중 패리티 정보는 원 정보 비트로부터 첫 번째 길쌈 부호기를 이용하여 얻은 출력  $Y(t)$ 와 인터리버와 두 번째 길쌈 부호화기를 이용하여 얻은 변형된 출력  $Y'(t)$ 이다.

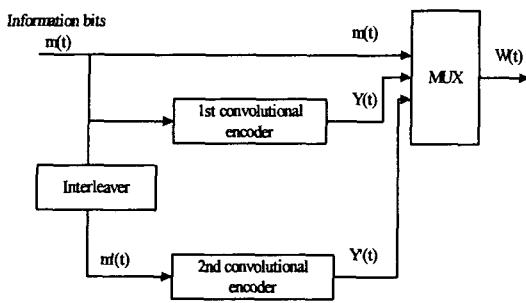


그림 2. 터보 부호화기를 이용한 워터마크 생성

## 2.2 워터마크 삽입 과정

제안한 방법에서, 워터마크의 삽입 방법을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y(t) = x(t) + \alpha_{l,\theta} \times x(t) \times w(t) \quad (1)$$

여기서,  $y(t)$ 는 워터마크가 삽입된 계수들의 크기이고  $x(t)$ 는 워터마크가 삽입될 계수의 크기를 나타내며,  $w(t)$ 는 정보 비트가 터보 부호를 통해 나온 워터마크이며,  $\alpha_{l,\theta}$ 는 영상의 부가 정보로 사용된 삽입강도이다.  $l$ 과  $\theta$ 는 각 부대역의 레벨 및 방향을 나타낸다.

채널을 모델링한 영상의 부가 정보는 워터마크가 삽입될 계수와 HVS를 이용한 삽입강도이다.

먼저, 워터마크가 삽입될 계수를 선택하는 방법은 원 영상을 DWT를 이용하여 3-레벨로 분해한다. 여기서, 대상 영상의 대부분의 에너지를 갖고 있어서 화질의 열화에 큰 영향을 미치는 기저대역을 제외한 나머지 부대역에서, 웨이블릿 계수들의 크기가 낮은 레벨의 대역으로 갈수록 대략 절반씩 감소하는 특성을 이용하여 삽입될 계수를 선택한다. 워터마크가 삽입될 계수를 선택하는 과정은 다음과 같다.

기저대역을 제외한 레벨 3의 각 부대역의 계수 중 절대값이 가장 큰 계수를 선택한다. 이 계수의 절반을 그 부대역의 초기 문턱값으로 정하고 이 문턱값보다 큰 계수를 선택한다. 낮은 레벨의 부대역으로 갈수록 웨이블릿 계수의 크기가 절반으로 줄어들므로 레벨 2, 레벨 1에서는 레벨 3의 각부대역의 문턱값에 1/2과 1/4 배를 그 부대역의 문턱값으로 설정한다.

두번째로, Cox 등이 제안한 방법에서는 HVS를 이용한 삽입강도를 사용하지 않고, 선택된 계수에 일률

적으로 삽입강도를 사용하였다. 이로 인해 견고성이 떨어진다. 따라서, 이러한 단점을 해결하기 위해 선택된 계수들에 대한 시각적인 특성을 고려한 삽입강도  $\alpha_{l,\theta}$ 를 사용한다. 여기서, 시각적으로 감지할 수 없는 범위 내에서 가장 큰 크기의 워터마크를 삽입하기 위해서 인간의 시각적 특성이 높은 주파수 대역에서의 노이즈와 웨이블릿 변환에 대해서 대각성분인 HH 대역에서의 노이즈에 둔감하다라는 성질을 이용한다. 이러한 인간 시각 특성을 이용한 삽입강도  $\alpha_{l,\theta}$ 는

$$\alpha_{l,\theta} = A_l \times B_\theta \quad (2)$$

로 설정된다. 여기서,  $A_l$ 은 인간 시각 특성이 높은 주파수 대역에서의 노이즈에 둔감하다는 웨이블릿 계수에 대한 HVS의 정량적인 수치값이고,  $B_\theta$ 는 대각성분인 HH 대역에서의 노이즈에 둔감하다는 웨이블릿 계수에 대한 HVS의 정량적인 수치값이다. 이를 식으로 나타내면

$$A_l = \begin{cases} 1.00 & \text{if } l=1 \\ 0.32 & \text{if } l=2 \\ 0.16 & \text{if } l=3 \end{cases} \quad (2)$$

$$B_\theta = \begin{cases} \sqrt{2} & \text{if } \theta = HH \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

와 같다. 여기서, 채널에 대한 부가 정보인 선택된 계수 및 HVS를 이용한 삽입 강도를 워터마크와 같이 삽입함으로써 견고성을 향상시킬 수 있다.

## 2.3 워터마크 및 정보 비트의 검출 과정

제안한 워터마킹 방법으로 삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정의 역 과정이다. 워터마크 검출기에서는 부가 정보인 삽입강도와 원 영상의 DWT 계수에 의해 삽입된 워터마크를 쉽게 검출할 수 있다. 복원된 정보 비트는 터보 복호기를 이용하여 검출된 워터마크에서 추출한다. 터보 복호기는 그림 3에서 보는 바와 같다. 여기서, 터보 복호기는 최대사후확률 (maximum *a posteriori*, MAP) 복호기를 이용한 반복 복호를 통하여 원 정보 비트를 복원하게 된다. 부호화기와 마찬가지로 복호기와 복호기 사이에는 인터리버를 두어 복원하려고 하는 정보들의 상관성 (correlation)을 최소화하도록 한다. 이것은 인접한 정보들이 가진 에러의 영향을 최소한으로 감소시킨다.

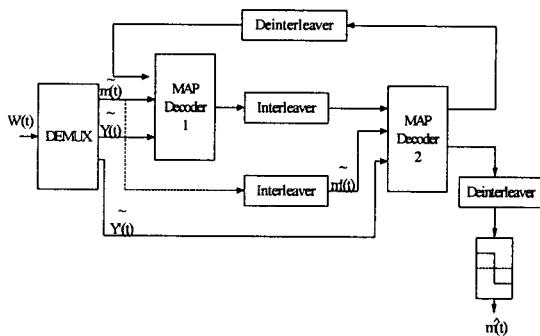


그림 3. 터보 부호의 복호기를 이용한 정보 비트 검출

또한, 터보 복호기의 출력은 반복의 횟수가 증가할수록 성능의 향상을 가져온다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는 실험영상으로  $512 \times 512$  화소의 크기를 갖는 BARBARA와 LENA 영상을 사용하였다. 영상을 쌍직교 (biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 3-레벨의 다해상도 영상으로 분해하였다. 제안한 알고리즘에서, 터보 부호기는 부호율이 1/3이고, 2개의 메모리를 가지며 생성다항식이 [7, 5]인 체계적인 부호기를 사용하였고, 인터리버는 세미랜덤 인터리버를 사용하였다. 제안한 알고리즘은 영상에 따라 다른 크기의 정보 비트를 사용하였으며, HVS특성을 이용한 삽입강도  $\alpha$ 는 DWT의 각 부대역별로 적용하였다. 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘의 견고성을 비교하기 위해 BER을 사용하였다. 본 논문에서 채널로 모델링한 원 영상과 워터마크가 삽입된 계수의 위치는 그림 4에 나타내었다. BER 성능 평가에서 반복 복호 횟수가 증가될수록 오류성능이 향상되지만 반복 복호의 횟수가 어느 정도 이상이 되면 그 성능 향상 정도는 미미하다. 따라서 반복 복호 횟수를 최대 20회로 제안하였다.

그림 5와 6에서 볼 수 있듯이, 기존의 방법과 제안한 방법 모두 신호대 잡음비가 증가할수록 성능이 향상되며 복호를 반복할 때마다 BER이 작아지는 것을 볼 수 있다. 그리고 반복 복호가 5회 이상일 경우에는 뚜렷하게 성능 향상을 보이지 않는다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 기존의 방법은 1.6dB 이상에서, 제안한 방

법은 1.2dB 이상에서 성능향상이 거의 이루어지지 않는 오류마루현상이 일어나며, 제안한 방법이 낮은 신호대 잡음비에서 정보 비트의 복원이 잘된다는 것을 알 수 있다. 그러나, 그럼 6에서는 기존의 방법보다 제안한 방법이 1, 2회 반복 복호에서 더 나은 결과를 보이지만, 반복 복호를 되풀이할수록 기존의 방법과 제안한 방법의 성능이 별 차이가 나지 않음을 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 오류 정정 능력이 뛰어난 터보 부호 및 HVS를 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 터보 부호 및 HVS를 이용하여 원 정보 비트와 복원된 정보 비트와의 오류확률을 감소시켰다. 제안한 방법에서는 영상에 삽입될 워터마크는 정보 비트를 터보 부호에 적용하여 생성하고, 채널에 삽입한 후, 터보 복호기를 이용하여 검출된 워터마크에서 복원된 정보 비트를 추출한다. 이때, 복호기는 MAP 알고리즘을 사용하며, 워터마크가 삽입될 원 영상을 채널로 모델링 한다. 따라서, 복호기에 나온 복원된 정보 비트와 원 정보 비트간의 BER을 계산하여 성능을 평가한다.

제안한 워터마킹 방법과 기존의 워터마킹 방법의 성능을 판단하기 위해 견고성의 척도인 BER 관점에서 모의실험을 행하였다. 실험 결과로부터 제안한 워터마킹 방법이 기존의 방법보다 나은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

### [참고문헌]

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller, A. L. Mckellips, "Watermarking as communications with side information," *IEEE Proceeding*, vol. 87, no. 7, pp. 1127~1141, Jul. 1999.
- [2] I. J. Cox, I. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, Dec. 1997.
- [3] Fe'lix Balado, Fernando Pe'rez-Gonza'lez, "Coding at the Sample Level for Data Hiding: Turbo code and Concatenated Codes," *SPIE Proceeding*, vol. 4314, pp. 532~543, 2001.

- [4] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp. 244~250, Apr. 1992.
- [5] C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo codes (1)," *Proc. of Int. Conf. on Communications*, pp. 1064~1070, May. 1993.

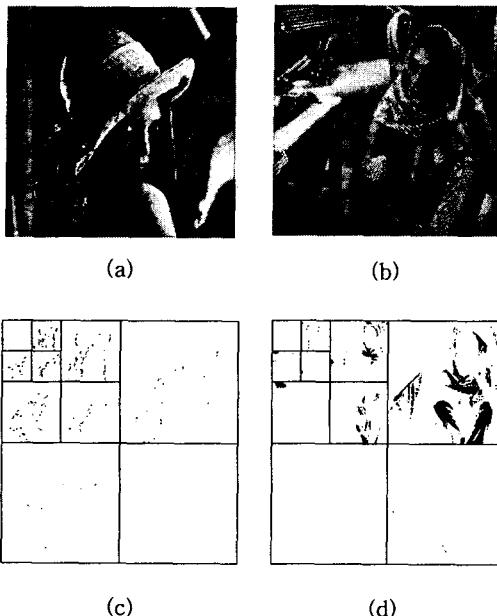


그림 4. (a) LENA, (b) BARBARA의 원 영상, (c) LENA, 및 (d) BARBARA 영상의 워터마크가 삽입된 계수의 위치

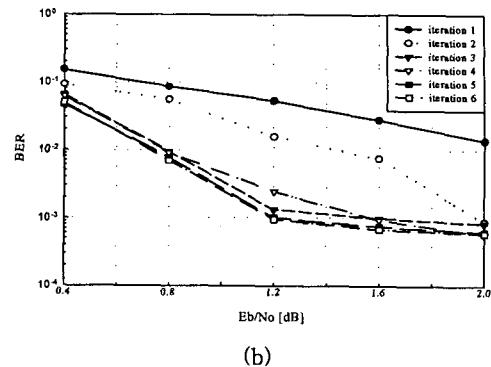
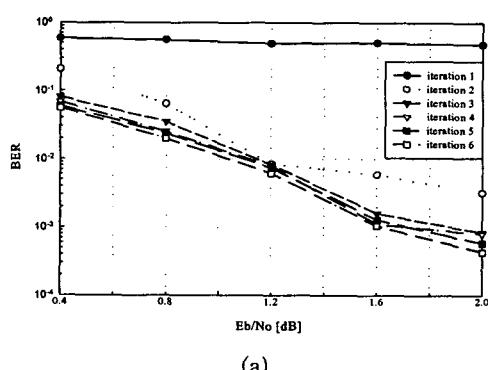


그림 5. LENA 영상에 대한 (a) 기존의 방법 및 (b) 제안한 방법으로 반복 복호 횟수에 따른 BER

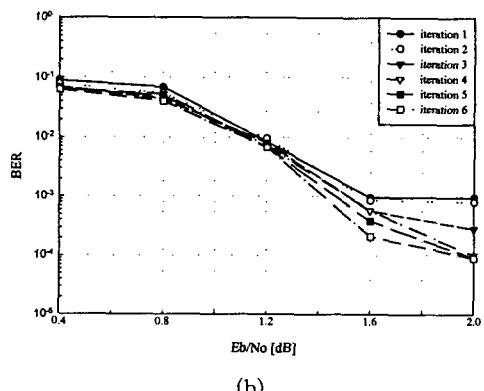
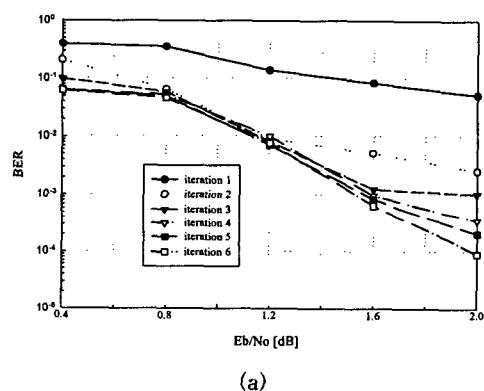


그림 6. BARBARA 영상에 대한 (a) 기존의 방법 및 (b) 제안한 방법으로 반복 복호 횟수에 따른 BER