

---

# 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성과 인지가중치를 이용한 디지털 워터마킹

류 권 열\*

## Digital Watermarking Using Subband Characteristics and Perceptual Weights of Wavelet Transform Image

Kwon-yeol Ryu\*

### 요 약

웨이브릿 변환 영상에서 저주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방법은 공격에 견고하지만 비가시성이 저하된다. 그리고 고주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방법은 비가시성이 좋지만 공격에 취약하다. 본 논문에서는 부대역의 특성과 인지가중치를 이용하여 삽입강도를 적응적으로 조절함으로써 워터마크의 비가시성과 견고성을 향상시키는 방법을 제안한다. 실험결과, 제안한 방법은 비가시성에서 1.7dB~2.6dB 향상되고, 유사도 측정에서 0.2~12.9 향상됨으로써, 기존의 방법에 비해 비가시성 및 견고성이 우수함을 알 수 있다.

### ABSTRACT

Watermark insertion methods on low frequency subbands in wavelet transform image are robust in attacks, but become reduction of invisibility. And watermark insertion methods on high frequency subbands have a good visibility, but are weak in attack. In this paper, we propose the method that improve invisibility and robustness of watermarks according as we adaptively control insertion intensity by using subband characteristics and perceptual weights. Experimental result, we show that the proposed method has excellent of invisibility and robustness more than the conventional method, according as it is improved with 1.7dB~2.6dB in invisibility, and is improved with 0.2~12.9 in similarity measurement.

### 키워드

Watermarking, Subband, Visibility, Robust

## I. 서 론

디지털 워터마킹은 저작권자의 고유정보를 사람의 인지능력으로는 감지하기 어렵도록 워터마크를 삽입한 후, 저작권 분쟁이 발생할 경우 워터마크를 추출함으로써 저작권의 소유자를 입증할 수 있는 기술으로써 저작권 보호, 지문 감식, 복사 보호 및 방송 감시 등에 많이 사용

되고 있다. 디지털 워터마킹은 비가시성(*invisibility*), 견고성(*robustness*), 범용성(*universality*) 및 명확성(*unambiguity*) 등의 조건을 필히 만족해야 하고, 특히 워터마크가 삽입된 영상에 다양한 공격이 가해진 후에도 워터마크 정보를 추출할 수 있도록 하는 견고성은 워터마킹의 중요한 조건이다. 영상에 워터마크를 삽입하는 방법은 공간영역에 삽입하는 방법과 주파수영역에 삽입하는 방법

[1-4]이 있으며, 공간영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 영상의 특정위치 또는 전체영역에 직접 워터마크를 삽입하기 때문에 워터마크 삽입과 추출이 용이하고, 처리시간이 빠르다. 그러나 영상의 화소값에 직접 영향을 주므로, 비가시성과 견고성이 떨어진다. 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법에서 웨이브릿 변환을 이용하는 방법은 시간과 주파수 영역의 국부성을 가지므로 비정상상태 신호를 처리하는데 효과적이며, 좋은 에너지 밀집도와 빠른 수행능력을 나타내므로 많은 연구가 진행되고 있다.

Podilchuk 등[5]은 웨이브릿 변환 영상에서 인간 시각 모델을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 워터마크의 비가시성을 위하여 최저주파수 대역을 제외한 모든 고주파수 대역에 대해 JND(just noticeable difference)를 계산하고, JND 보다 큰 값을 가지는 웨이브릿 계수를 중요계수로 선택한 후, 선택된 중요계수에 워터마크를 삽입한다. 그러나 이 방법은 최저주파수 대역에 워터마크를 삽입하지 않고, 웨이브릿 계수의 특성을 고려하지 않기 때문에 다양한 공격에 대한 견고성이 떨어진다. Voloshynovskiy 등[6]은 영상의 통계적 특성을 이용하는 적응적 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 원 영상과 워터마크의 통계적 특성을 이용하여 NVF(noise visibility function)를 계산하고, NVF를 이용하여 워터마크를 삽입 및 검출한다. 그러나 이 방법은 평탄영역에 대한 삽입강도를 고려하지 않기 때문에 비가시성이 떨어진다. 이러한 기존의 방법은 최저주파수 대역에 워터마크를 삽입하지 않으므로 워터마크의 가시성은 향상되나 견고성이 저하되며, 고주파수 대역에서 영상의 지역특성을 고려하지 않고 워터마크를 삽입하므로 평탄영역에서 비가시성이 저하된다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성과 인지가중치를 이용하여 워터마크의 비가시성과 견고성을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 영상의 지역분산과 평균을 이용하여 NVF 및 인지가중치를 계산하고, 인지가중치의 평균보다 큰 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입하며, 평탄영역과 에지영역에 대한 삽입강도를 적응적으로 조절함으로써 워터마크의 비가시성과 공격에 대한 견고성을 향상시킨다. 중주파수 대역은 모든 대역에 워터마크를 삽입할 경우 증폭이 심하여 비가시성 저하가 발생할 수 있으므로, 동일 레벨 부대역 중에서 분산이 큰 대역에 워터마크를 삽입한다. 고주파수

대역은 JPEG 또는 MPEG 등과 같은 부호화 과정에서 워터마크가 쉽게 제거 및 변형이 될 가능성이 크므로 워터마크를 삽입하지 않는다. 본 논문의 구성은 2장에서 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성을 분석하고, 3장에서 제안한 디지털 워터마킹에 대해 기술하며, 4장에서 실험결과를 분석하고, 5장에서 결론을 나타낸다.

## II. 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성

웨이브릿 변환은 저주파수 통과 필터와 고주파수 통과 필터의 조합을 이용하여 영상을 LL (low-low), LH(low-high), HL(high-low), HH (high-high) 대역으로 분해한다. 그리고 LL 부대역에 대해 반복적으로 웨이브릿 변환을 적용하여 한 레벨 높은 변환을 수행한다. Lena 영상을 레벨 3까지 웨이브릿 변환한 영상은 그림 1과 같다.

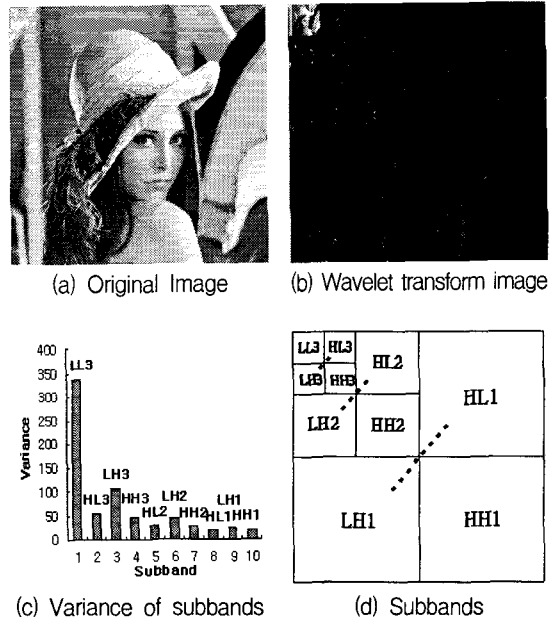


그림 1. 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성  
Fig. 1. The subband characteristics of wavelet transform image

그림 1에서 (a)는 원 영상, (b)는 웨이브릿 변환 영상, (c)는 웨이브릿 변환 영상에서 각 부대역의 분산을 나타낸다. 그림 1(c)의 X축 항목 1은 최저주파수 대역인 LL3

을 나타내고, 항목 2 3 4는 레벨 3의 부대역인 HL3 LH3 HH3을 나타내고, 항목 5 6 7은 레벨 2의 부대역인 HL2 LH2 HH2를 나타내고, 항목 8 9 10은 레벨 1의 부대역인 HL1 LH1 HH1을 나타낸다. 그림 1에 나타나는 바와 같이 최저주파수 대역은 영상의 에너지가 밀집된 대역으로 평탄영역과 예지영역이 골고루 존재하므로, 워터마크를 삽입할 경우 공격에 대한 견고성은 좋으나, 비가시성이 저하되어 화질열화가 나타날 수 있다.

웨이브릿 변환 영상에서 각 부대역의 분산은 그림 1(c)에 나타나는 바와 같이 최저주파수 대역(LL3)이 가장 크고, 중주파수 대역(HL3 LH3 HH3 HL2 LH2 HH2)은 영상의 수직 또는 수평 방향 주파수 특성에 따라 다르게 나타날 수 있다. 부대역의 분산이 클수록 실제 영상과 유사도가 높고, 다양한 값들이 분포하므로 워터마크 삽입 특성이 우수하지만, 모든 부대역에 워터마크를 삽입할 경우 증폭이 심해져 비가시성이 저하될 수 있다. 고주파수 대역(HL1 LH1 HH1)은 분산이 적고, 예지성분을 나타내므로 JPEG 등의 부호화 공격에 취약한 단점이 있다.

### III. 제안한 디지털 워터마킹

동일한 강도의 워터마크를 영상에 삽입할 경우 평탄 영역에서 비가시성이 저하되고, 평탄영역의 비가시성을 높이기 위해 삽입강도를 낮추면 공격에 대한 견고성이 약해지는 현상이 나타나므로 워터마크를 삽입하는 위치지정과 삽입강도 조절은 비가시성과 견고성을 만족하기 위한 중요한 요소이다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성과 인지가중치를 이용하여 워터마크의 비가시성과 견고성을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 영상의 지역분산과 평균을 이용하여 NVF 및 인지가중치를 계산하고, 인지가중치의 평균값보다 큰 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입하며, 평탄영역과 예지영역에 대한 삽입강도를 적응적으로 조절함으로써 워터마크의 비가시성과 공격에 대한 견고성을 향상시킨다. 중주파수 대역은 모든 대역에 워터마크를 삽입할 경우 증폭이 심하여 비가시성 저하가 발생할 수 있으므로, 동일 레벨 부대역에서 분산이 큰 대역에 워터마크를 삽입한다. 고주파수 대역은 JPEG 또는 MPEG 등과 같은 부호화 과정에서 워터마크가 쉽게 제거 및 변형이 될 가능성이 높으므로 워

터마크를 삽입하지 않는다. 제안한 방법에 대한 구성도는 그림 2와 같다.

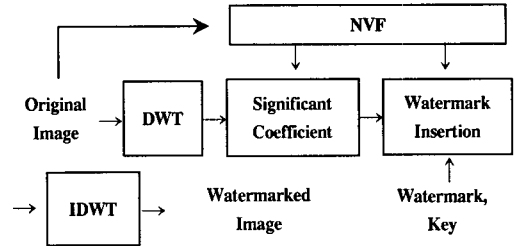


그림 2. 제안한 방법의 블록 구성도  
Fig. 2 Block diagram of proposed method

그림 2에서 NVF는 영상에 잡음을 넣었을 때, 잡음이 보이는 정도를 나타내는 함수이고, 영상의 지역적 특성에 따라 0과 1사이의 다른 값을 가지며, 비정상 상태가 우스 모델의 경우 NVF는 식 (1)과 같다.

$$NVF(u, v) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(u, v)} \quad (1)$$

$$\sigma_x^2(u, v) = \frac{1}{(2L + 1)^2} \sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L (x(u + m, v + n) - \bar{x}(u, v))^2 \quad (2)$$

$$\bar{x}(u, v) = \frac{1}{(2L + 1)^2} \sum_{m=-L}^L \sum_{n=-L}^L x(u + m, v + n) \quad (3)$$

식 (1) 및 식 (2)에서  $\sigma_x^2(u, v)$ 는 화소 좌표가  $1 \leq (u, v) \leq M$ 인 위치에서 지역블록의 분산을 나타내고, 식 (3)에서  $\bar{x}(u, v)$ 는 지역블록의 평균을 나타내며, 식 (2) 및 식 (3)에서  $(2L + 1)^2$ 는 지역블록의 크기를 나타낸다. 512x512 영상의 경우 레벨 2 부대역에서 지역블록은 4x4 크기이고, 레벨 3 부대역에서 지역블록 크기는 8x8 이다.

식 (1)에서 계산된 NVF와 인지가중치를 이용하여 예지영역 또는 평탄영역의 특성에 최적화된 삽입강도와 인지가중치를 적용하며, 삽입강도  $i_w$  와 인지가중치  $P_w$  는 식 (4) 및 식 (5)와 같다.

$$i_w = M_w \cdot (1 - NVF) + M_s \cdot NVF \quad (4)$$

$$P_w = M_w \cdot (1 - NVF) \cdot w + M_s \cdot NVF \cdot w \quad (5)$$

식 (4)에서  $M_w$ 와  $M_s$ 는 시각적인 변화를 느끼지 못하는 범위 내에서 가장 큰 크기의 워터마크를 삽입하기 위해 사용하며,  $M_w$ 는 에지영역 인지마스크를 나타내고,  $M_s$ 는 평탄영역 인지마스크를 나타낸다. 본 논문에서 사용한 에지영역 인지마스크는 Watson 모델[7]을 사용하고, 평탄영역 인지마스크는 Safranek 모델[8]을 사용하며, 각 모델의 인지마스크 값은 그림 3과 같다.

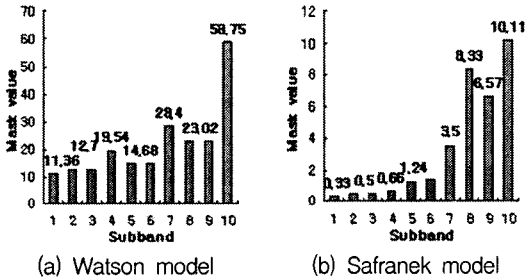


그림 3. 인지마스크  
Fig. 3. Perceptual mask

워터마크는 식 (5)에서 계산된 각 부대역별 인지가중치가 그 평균값 보다 큰 웨이브릿 계수를 중요계수로 지정하고, 식 (6)과 같이 인지가중치를 적용하여 중요계수에 삽입한다.

$$X_{u,v}^* = X_{u,v} + M_w \cdot (1 - NVF) \cdot w + M_s \cdot NVF \cdot w \quad (6)$$

식 (6)에서  $X_{u,v}^*$ 는 웨이브릿 변환 영상에서 워터마크가 삽입된 계수를 나타내고,  $X_{u,v}$ 는 워터마크가 삽입되기 전의 중요계수를 나타낸다.

워터마크 추출은 삽입의 역 과정으로 진행되며, 원 영상으로부터 NVF를 계산하여, 식 (7)과 같이 워터마크를 추출한다.

$$w = \frac{X_{u,v}^* - X_{u,v}}{M_w \cdot (1 - NVF) \cdot w + M_s \cdot NVF \cdot w} \quad (7)$$

#### IV. 실험결과

본 논문에서 제안한 방법에 대한 성능 평가는 512×512 크기의 Goldhill, Lena, 및 Man 영상을 9/7 쌍직교 이산 웨이브릿 필터를 이용하여 3 레벨로 분해하고, 평균이 0이고, 분산이 1인 정규분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 워터마크로 사용하여 실험하였다. 비가시성에 대한 평가는 PSNR (peak signal to noise ratio)를 이용하였고, 견고성에 대한 평가는 삽입된 워터마크와 검출된 워터마크 간의 유사도를 이용하였으며, PSNR과 유사도는 식 (8) 및 식 (9)와 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{255^2}{MSE} \right] \quad (8)$$

$$S(w, w^*) = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{(w^* \cdot w^*)}} \quad (9)$$

식 (8)에서 MSE(mean square error)는 원 영상과 복원 영상 간의 평균 자승 오차를 나타낸다. 식 (9)에서  $w$ 와  $w^*$ 는 원래 삽입된 워터마크와 검출된 워터마크를 나타내고,  $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터 내적을 나타낸다.

본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 그림 4와 같다.

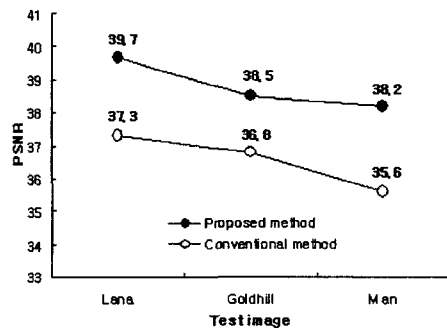


그림 4. 워터마크의 비가시성  
Fig. 4. Invisibility of watermarks

그림 4에 나타나는 바와 같이 제안한 방법은 최저주파수 대역에 워터마크를 삽입하였음에도, 기존의 방법 [5]에 비해 비가시성이 1.7dB~2.6dB 향상됨을 알 수 있다. 이는 영상의 에지영역과 평탄영역에 대해 각각 최적화된 인지가중치를 적용하고, 웨이브릿 변환 영상의 중간주파수 대역과 고주파수 대역의 특성을 고려하여 워터마크를 삽입하기 때문이다.

제안한 방법에 대한 견고성을 평가하기 위해 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 JPEG 부호화, 지역통과 필터, 절단 등의 공격을 하였다. 부호화 과정에서 영상의 고주파수 성분을 제거하는 JPEG 부호화에 대한 견고성은 그림 5와 같다.

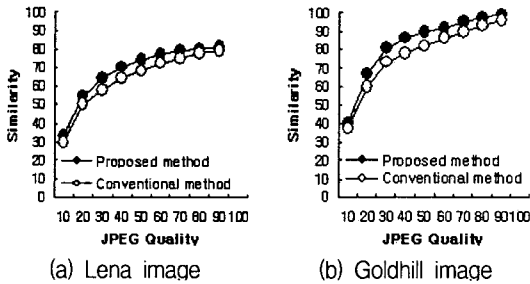


그림 5. JPEG 부호화에 대한 견고성  
Fig. 5. Robust according to JPEG coding

그림 5에 나타나는 바와 같이 제안한 방법은 전체 워터마크의 일부를 최저주파수 대역에 삽입하여 유사도가 2.3~8.6 향상됨으로써 기존의 방법보다 부호화 공격에 견고함을 알 수 있다.

일반적인 신호처리 방법인 지역 통과 필터와 중간값 필터 처리에 대한 견고성은 그림 6과 같다.

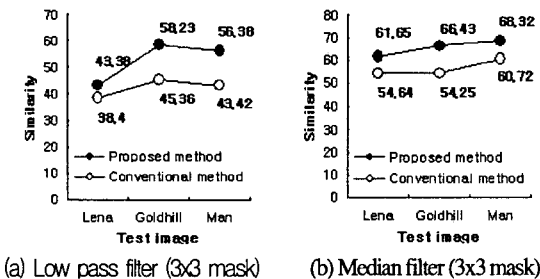


그림 6. 필터 신호처리에 대한 견고성

Fig. 6. Robust according to signal processing using filters

그림 6에 나타나는 바와 같이 제안한 방법은 지역 통과 필터를 이용한 신호처리에서 유사도가 5.0~12.9 향상되고, 중간값 필터를 이용한 신호처리에서 유사도가 7.0~12.2 향상됨으로서 기존의 방법보다 견고함을 알 수 있다.

기하학적 변형인 절단(cropping)에 대한 견고성은 그림 7과 같다.

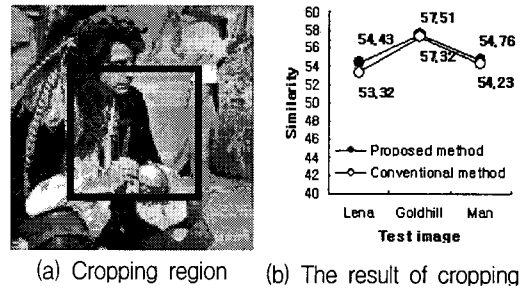


그림 7. 절단에 대한 견고성  
Fig. 7. Robust according to cropping

그림 7(a)에서 사각형은 절단영역을 나타내며, 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 크기의 1/4에 해당하는 부분을 획득하고, 나머지 부분은 원 영상으로 구성된다. 그림 7(b)에 나타나는 바와 같이 제안한 방법의 절단에 대한 유사도는 근소한 차이지만, 0.2~1.1 향상되어 기존의 방법 보다 견고함을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영상의 부대역 특성과 인지가중치를 이용하여 워터마크의 비가시성과 견고성을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 영상의 지역분산과 평균을 이용하여 NVF 및 인지가중치를 계산하고, 각 부대역 인지가중치의 평균값보다 큰 웨이브릿 계수를 중요계수로 지정하고, NVF를 이용하여 평탄영역과 에지영역에 대한 삽입강도를 적응적으로 조절함으로써 계수 특성에 최적화된 워터마크를 삽입하였다. 중주파수 대역은 모든 대역에 워터마크를 삽입할 경우 증폭이 심하여 비가시성 저하가 발생할 수 있으므로, 동일 레벨 부대역에서 분산이 큰 대역에 워터마크를 삽입하였다. 실험 결과, 제안한 방법은 영상에 따라 차이

는 있으나 비가시성에서 1.7dB~2.6dB 향상되었고, 워터마크 검출을 위한 유사도가 0.2~12.9 향상됨으로써 기존의 방법 보다 비가시성 및 견고성이 우수함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] I. J. Cox, I. Kilian, T. Leigh ton "Secure spread spectrum water marking for multi media," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673 ~ 1687, Dec. 1997.
- [2] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet based image watermarking scheme," Proc. of intl. Conf. on Information Technology: coding and Computing, pp. 122 ~ 127, 2000.
- [3] S. G. Kwon, S. W. Ban, I. S. Ha, K. R. Kwon, K. I. Lee, "Highly Reliable Digital Watermarking Using Successive Subband Quantization and Human Visual System," ISIE proceedings, vol. 1, pp. 205 ~ 209, June 2001.
- [4] 서용석, 주상현, 유원영, "웨이브릿 최저주파수대역에서의 양자화를 이용한 강인한 워터마킹," 한국통신학회논문지, vol. 28, no. 9C, pp. 898 ~ 907, 2003.
- [5] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," IEEE Trans. on Selected Areas of Communications, vol. 16, no. 4, pp. 525 ~ 539, May 1998.
- [6] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," Proc. of Third Information Hiding Workshop, pp. 211 ~ 236, Oct. 1999.
- [7] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual Thresholds for Wavelet Quantization error," SPIE Proceeding. vol. 2657, pp. 382 ~ 392, 1996.
- [8] I. Hontsch, L. J. Karam, R. J. Safranek, "A perceptually tuned embedded zerotree image coder," Proc. IEEE Intl. Conf. Image Processing, vol. 1, pp. 41-44, Oct. 1997.

### 저자소개

#### 류 권 열(Kwon-yeol Ryu)



1982년 경북대학교 전자공학과  
(공학사)

1990년 경북대학교 산업공학과  
(공학석사)

1998년 부경대학교 전자공학과(공학박사)

1986년 ~ 1995년 포항공과대학교 전자계산소

1998년 ~ 현재 위덕대학교 소프트웨어공학부 부교수

※관심분야 : 디지털영상처리, 멀티미디어저작권보호, 3D모델링.