論文2000-37TE-2-5

# 영상의 통계적 특성에 기반한 다해상도 디지털 워터마킹

# (A Multiresolution Digital Watermarking Based on Image Statistics)

韓 成 鉉 *

(Sung Hyun Han)

요 약

디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터의 저작권 보호 목적으로 최근에 제안되었다. 본 논문에서는 디지털 영상에 저작권 정보를 은닉하는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 2차원 이산 웨이브릿 변환과 영상의 통계적 특성에 기반한다. 가우시안이나 라플라시안 워터마크를 웨이브릿 영역에서 중간이나 고주파 대역의 큰 계수에 삽입한 결과 라플라시안 워터마크는 잡음, JPEG 압축, 가우시안 블러링 그리고 에지 강조와 같은 일반적인 영상 왜곡에 매우 강함이 입증되었다.

**Abstract**

Digital watermarking has been recently proposed as the means of intellectual property right protection of multimedia data. We present a novel watermarking scheme to hide a copyright information in a digital image. The method is based on the 2D DWT(Discrete Wavelet Transform) and image statistics. Gaussian and Laplacian noises as the watermarks are added to the large wavelet coefficients at the high and middle frequency bands in the wavelet domain. Experimental results show that the proposed Laplacian watermark is stronger to several common image distortions, such as noises, JPEG coding as different qualities, Gaussian blurring, and edge enhancement.

Keywords : digital watermarking, image statistics, wavelet transform, Laplacian watermark

## I. 서 론

최근 개인용 컴퓨터의 보급 확대와 인터넷의 발달로 인하여 영상, 음성, 비디오 등 멀티미디어 데이터가 급격히 증가하고 있다. 빠른 네트워크를 통해 각종 디지털 멀티미디어 데이터들이 분배, 불법 복제되고 있어 저작권을 보호할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 현재까지 디지털 영상에 대한 저작권 보호 기술로 가장 주목 받고 있는 것은 디지털 영상 내부에 시각적으로 볼 수 없는 원 저작자의 정보인 워터마크(watermark)를 은닉하는 디지털 워터마킹(watermarking) 기법이다[1-5]. 이러한 워터마킹 기법은 원영상에 부가적인 정보를 넣는 것이므로, 일종의 잡음이나 영상의 왜곡으로 볼 수 있다. 이런 잡음이나 영상의 왜곡은 시각적으로 인지할 수 없도록 원영상에 대한 변형을 최소화해야 하지만, 인위적인 제거작업에는 강해야하는 상반된 특성이 요구된다.

지금까지의 워터마킹 기법은 영상의 화소(pixel)값을 직접적으로 변화시키는 공간영역(spatial domain)에서의

* 正會員, 仁德大學 소프트웨어開發科

(Dept. of Software Development, Induk Institute of Technology)

接受日字:1999年10月29日, 수정완료일:2000年3月3日

방법과, 영상을 변환하여 변환영역(transform domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역에서의 워터마킹 방법으로 Pitas는 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소 값들을 상수 K만큼 일정하게 증가시키는 방법을 제안하였다[6]. 공간영역 상에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹할 수 있는 장점이 있으나 잡음과 JPEG(Joint Photographic Experts Group) 압축 등에 약하다는 단점을 가지고 있다.

변환 영역에서의 워터마킹 방법으로는 Koch 등은 영상을 분할하고 DCT(Discrete Cosine Transform) 한 후 저주파 부분에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안했다[7]. Cox 등이 DCT변환을 사용하여 원영상을 주파수 영역으로 변환시킨 후 중요한 계수 1000개를 선택하여 워터마킹하는 방법을 제안하였다[8]. Swanson 등은 콘트라스트 마스킹 모델을 사용하여 영상의 JND(Just Noticeable Difference) DCT값을 구한 후에 워터마킹하는 방법을 제안했다[9]. 또한 Xia 등은 웨이브릿 변환(wavelet transform)을 이용하여 원 영상을 변환한 후 가장 저주파 대역을 제외한 모든 부대역(subband)에 워터마크를 삽입하였다[10]. 주파수 영역 상의 워터마킹 방법들은 공간 영역에서의 워터마킹 방법보다 잡음이나 일반적인 영상처리와 압축 등에 견고하다는 장점을 가지고 있어, 최근에는 주로 변환영역에서의 워터마킹 기법 연구가 주종을 이루고 있다.

본 논문에서도 웨이브릿 변환을 이용하여 영상을 부대역으로 나눈 후 각 대역별로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 기존의 방법들은 대부분 워터마크로 가우시안(Gaussian) 랜덤 시퀀스나 의사(Pseudo) 랜덤 시퀀스를 사용하였으나 본 논문에서는 각 대역의 통계적 특성을 이용한 워터마크를 사용한다.

본 논문의 구성은 2장에서 제안하는 워터마킹 방법을 기술하고, 3장에서는 실험결과와 분석을 하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 방법

### 1. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성(localization)을 갖는 웨이브릿 기저함수(basis function)의 선형 결합으로 표현하는 것이다[11-13]. 웨이블릿 기저함수는 기본 웨이브릿(mother wavelet)과 스케일 함수(scaling function)의 스케일 파라미터(scaling parameter)를 가변시켜서 구할 수 있다. 신호 $f(t)$의 웨이브릿 변환은 다음과 같다.

$$(W_\psi f)(a,b)=\frac{1}{|a|^{1/2}}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\,\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \qquad (1)$$

여기서, $\Psi$는 기본 웨이브릿, a는 스케일 파라미터, b는 이동(translation) 파라미터이다.

a, b가 실수일 경우 연속(continuous) 웨이브릿 변환이고, 2의 지수승으로 이산화시킨 것이 이산 웨이브릿 변환(Discrete Wavelet Transform)이다.

2차원 영상에 대한 이산 웨이브릿 변환은 수평, 수직 방향으로 1차원 이산 웨이브릿 변환을 반복적으로 적용하여 얻어진다. 이를 통해 서로 다른 단계의 다해상도(multiresolution) 부대역(subband) 영상을 얻을 수 있다. 그림 1은 2차원 영상을 3단계 웨이블릿 변환하여 얻어진 다해상도 영상을 나타낸다. 여기서 LL3 부대역 영상은 원영상의 1/64 크기를 갖는 축소된 영상으로 원영상의 대략적인 특성을 가지는 저주파 성분이고, LH(1, 2, 3), HL(1, 2, 3), HH(1, 2, 3) 부대역은 각각 원영상의 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분이다.

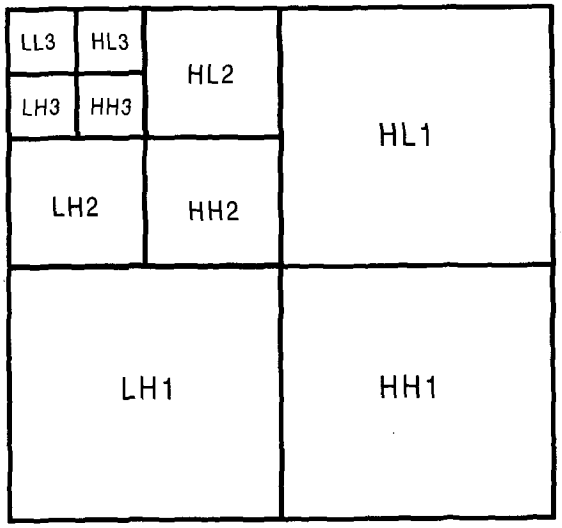



그림 1. 3단계 이차원 이산 웨이브릿 변환한 부대역
Fig. 1. DWT pyramid decomposition of an image in three resolution levels.

2. 워터마크 삽입 과정

본 논문에서는 2차원 이산 웨이브릿 변환을 이용하여 영상을 부대역으로 나눈 후 각 대역별로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 기존의 웨이브릿 변환영역에서의 대부분의 방법들은 워터마크로 가우시안 랜덤 시퀀스나 의사 랜덤 시퀀스를 사용하였으나 본 논문에서는 각 대역의 통계적 특성을 이용한 워터마크를 삽입한다.

웨이브릿 변환된 각 부대역은 가장 저주파(그림 1에서 LL3) 대역을 제외하고는 모두 라플라시안 확률 분포(Laplacian probability density function)를 갖는다[14]. 본 논문에서는 가장 저주파 대역에는 워터마크를 삽입하지 않으므로 고주파 대역의 특성과 유사한 라플라시안 분포를 갖는 랜덤 시퀀스를 워터마크로 선택하였다. 시각적으로 중요한 계수에 대해 워터마크를 삽입하는 과정은 식(2)와 같다.

$$V_i' = V_i(1 + wX_i) \tag{2}$$

여기서 $V_i'$는 워터마크가 삽입된 후 계수 값이고, $V_i$는 워터마크를 삽입하기 위해 선택된 웨이브릿 계수이고, $X_i$는 삽입할 워터마크, $w$는 대역별 가중치이다.

다해상도로 분해된 각 부대역에 대해 시각적으로 중요한 계수를 구하기 위해 해당 대역에서 최대치를 구한다. 이 최대치를 Xi라 하면 다음 식에 의해 각 대역의 임계치를 결정한다.

$$T_i = \frac{2^{Fix[\log_2 X_i]}}{2} \tag{3}$$

여기서 $Fix[\cdot]$는 그 수를 넘지 않는 가장 큰 정수이다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 과정이다. 여기에서 DWT(Discrete Wavelet Transform)는 이산 웨이브릿 변환, IDWT(Inverse Discrete Wavelet Transform)는 역 이산 웨이브릿 변환이다.

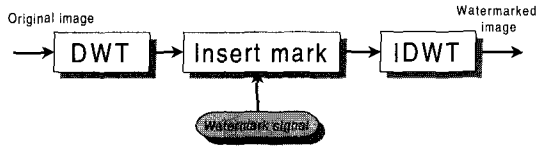



그림 2. 워터마크 삽입과정
Fig. 2. Watermarking embedding block diagram.

3. 워터마크 검출

본 논문에서 제안한 워터마크의 추출과정은 삽입과정과 유사하다. 먼저 각종 영상처리나, 압축, 잡음 등에 의해서 변형된 워터마크가 들어있는 영상을 삽입 과정에서와 동일한 3 레벨로 이산 웨이브릿 변환한다. 보관하고 있는 원영상에 대해서도 3 레벨로 이산 웨이브릿 변환하며 변환영역에서 두 영상의 차를 구한다. 이렇게 하면 변형된 워터마크를 구할 수 있고 원래의 워터마크와 유사도(similarity)를 계산하여 유사도가 높다면 자신의 저작권을 주장할 수 있다.

두 워터마크간의 유사도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있지만 본 논문에서는 다음과 같은 식을 사용한다.

$$S(W, W^*) = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \times w_i^*}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{w_i^* \times w_i^*}} \tag{4}$$

여기서 $W = w_1, w_2, \cdots, w_n$, $W^* = w_1^*, w_2^*, \cdots, w_n^*$ 이다. $W$는 원래의 워터마크, $W^*$는 추출된 워터마크, $n$은 워터마크 시퀀스의 수이다. Cox 등의 논문에서는 소유권을 주장할 수 있는 임계치로 6을 사용하였다. 그림 3은 워터마크 검출과 유사도 측정 과정이다.

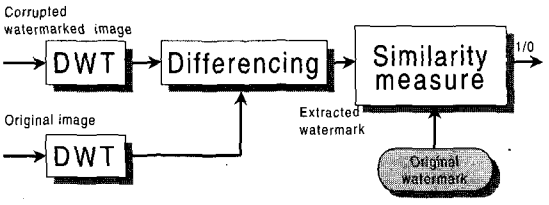


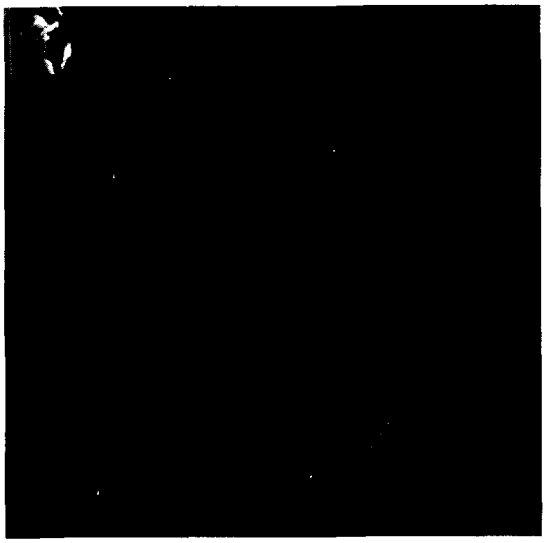

그림 3. 워터마크 검출과 유사도 측정
Fig. 3. Watermarking detection block diagram.

## Ⅲ. 실험결과 및 성능분석

1. 웨이브릿 변환과 부대역의 통계적 특성

그림 4(a)는 실험에 사용된 512×512, 256 계조도(gray level) Lena 영상이고, 그림 4(b)는 3레벨 이산 웨이브릿 변환된 영상이다. 사용된 웨이브릿은 Daubechies가 제안한 것이다[12].

(a) Lena 원영상
(a) Original Lena image.



(b) 3 레벨 이산 웨이브릿 변환된 영상
(b) Wavelet transformed Lena image in three resolution levels.

그림 4. 원영상과 웨이브릿 변환 결과
Fig. 4. Original and transformed Lena images.

이렇게 웨이브릿 변환된 영상의 부대역은 가장 저주파 대역을 제외하고는 모두 평균이 0인 라플라시안 분포를 나타낸다. 그림 5는 수평 방향(HL1, HL2, HL3) 계수들의 히스토그램(histogram)을 나타낸다. 모든 경우 라플라시안 분포를 갖는 것을 알 수 있다.

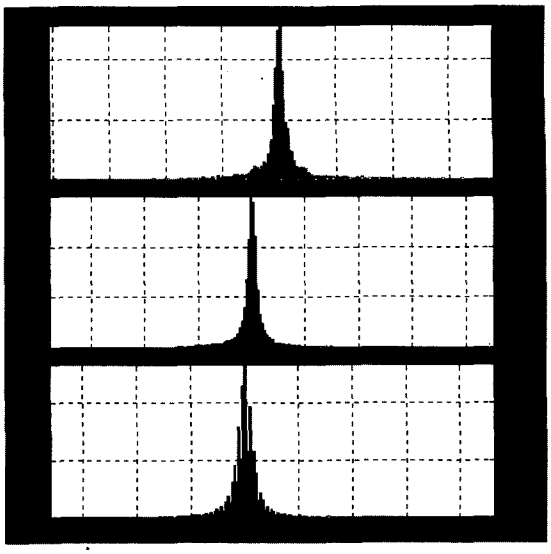


그림 5. 수평 방향(HL1, HL2, HL3) 계수의 히스토그램
Fig. 5. Histogram of horizontal details coefficients

2. 사용한 워터마크

본 논문에서 사용한 워터마크는 기존에 주로 사용하는 가우시안 시퀀스와 본 논문에서 제안한 라플라시안 분포의 시퀀스이다. 그림 6에 100 샘플의 두 시퀀스를 보인다. "+"로 표시된 것이 가우시안 워터마크, "o"로 표시된 것이 라플라시안 워터마크이다.

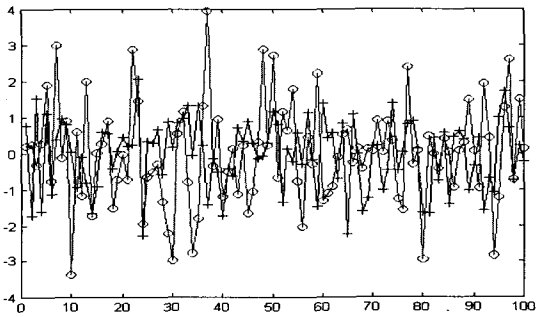
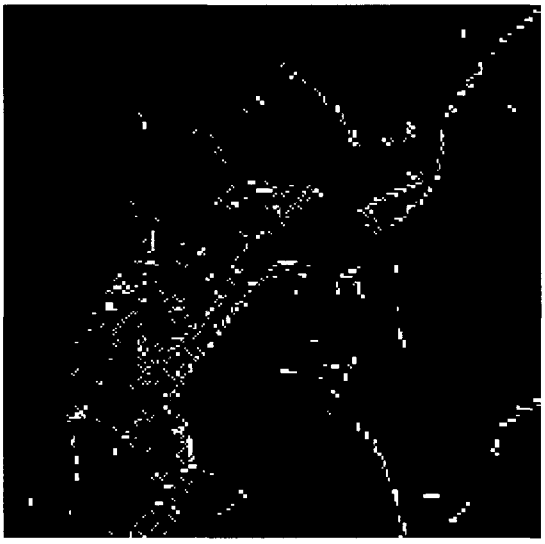



그림 6. 워터마크로 사용된 두 시퀀스
Fig. 6. Two watermark sequences.

워터마크가 삽입되는 계수는 식(3)의 임계치를 넘는 계수로 하였으며, 각 대역별 가중치 $w$는 3 레벨에서 0.1, 2 레벨에서 0.2로 하였다. 1 레벨에는 워터마크를 삽입하지 않았는데 이 레벨은 일반적인 영상처리, JPEG 압축 등에 의해 살아남을 확률이 거의 없기 때문이다. 즉 그림 1에서 HL3, LH3, HH3, HL2, LH2,

HH2 대역에만 워터마크를 삽입하였다. Lena 영상의 경우 840 샘플의 워터마크를 삽입하였다.

(a) 워터마킹된 영상
(a) Watermarked Lena image.



(b) 워터마킹된 위치
(b) Watermarked position.

그림 7. 워터마킹 결과
Fig. 7. Watermarking result.

그림 7(a)는 워터마크가 삽입된 영상으로 원영상과 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)은 47.38dB로 거의 원영상과 구분할 수 없다. 그러므로 본 논문에서 제안한 방법은 비가시성을 만족한다. 그림 7(b)는 워터마크가 내장된 위치를 나타낸다. 중요한 웨이브릿 계수에 워터마크를 삽입했으므로 주로 에지(edge) 근처에 분포함을 알 수 있다.

3. 기존의 방법과 비교

제안된 방법의 견고성을 평가하기 위해 워터마킹된 영상에 여러 가지 임의의 공격을 가하였다. 사용된 공격에는 JPEG 압축, 균일(uniform)분포 잡음, 가우시안 블러링(blurring), 에지 강조(edge enhance) 등이다. 그림 8은 가우시안 시퀀스를 사용하는 기존의 방법[10]과 본 논문에서 제안한 라플라시안 시퀀스를 사용한 방법의 JPEG 압축율에 따른 유사도이다. 제안한 방법은 가

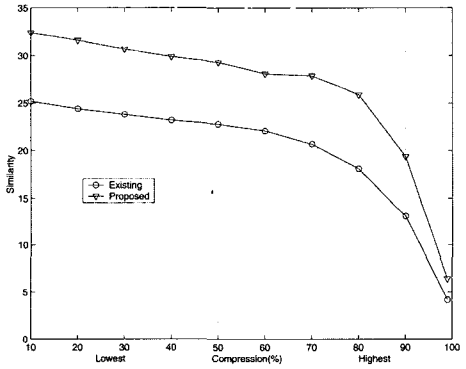



그림 8. JPEG 압축에 따른 성능 비교
Fig. 8. Watermark detection after JPEG coding at different qualities.

그림 9. 90% JPEG 압축된 영상
Fig. 9. Watermarked image with JPEG compression

of 90%.

우시안 워터마크를 사용했을 때 보다 PSNR은 0.2dB에서 0.01dB 정도로 더 좋지 않지만 시각적으로는 거의 그 차이를 느낄 수 없다. 그러나 유사도 측정 결과에서는 모든 압축율에서 기존의 방법보다 6.3에서 7.2 정도 더 높은 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 제안한 워터마크는 기존의 방법보다 JPEG 압축에 매우 강건함을 알 수 있다. 특히 높은 압축율에서는, 제안한 방법은 워터마크를 추출할 수 있지만 기존의 방법은 추출할 수 없음을 알 수 있다.

그림 9는 워터마킹된 영상을 90% JPEG 압축한 영상이다. 이렇게 많이 압축된 영상에서도 워터마크를 잘 검출할 수 있다. 그림 10은 워터마킹된 영상에 50%의 균일분포 잡음을 첨가한 경우이다. 첨가한 잡음을 가변시켜 기존의 방법과 비교한 결과는 그림 11과 같다.

그림 10. 워터마킹된 영상에 균일분포 잡음을 첨가한 영상

Fig. 10. Watermarked image with uniform noise.

제안한 방법은 기존의 방법에 비해 PSNR과 주관적인 화질은 거의 차이가 없지만 유사도 결과는 2.0에서 7.0 정도 더 높은 것을 알 수 있다.

그림 12는 radius 1로 가우시안 블러링시킨 영상이다. 기존의 방법은 PSNR이 33.1dB, 유사도가 5.98인데 비해, 제안한 방법은 PSNR이 33.3dB에서 10.3의 유사도를 갖는다. 즉, 기존의 방법으로는 워터마킹된 영상에 대하여 자신의 소유권을 주장할 수 없지만 제안한 방법에 의해서는 소유권을 주장할 수 있다.

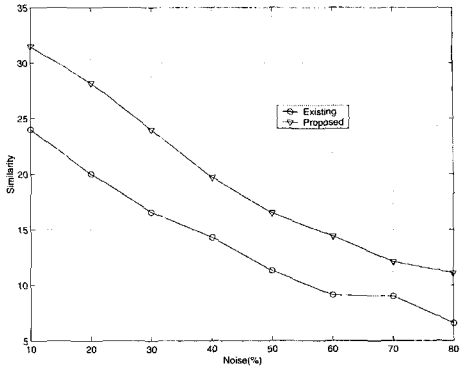



그림 11. 균일 분포 잡음에 대한 결과

Fig. 11. Watermark detection after adding uniform noise.

그림 12. 워터마킹된 영상을 가우시안 블러링시킨 영상

Fig. 12. Watermarked image with Gaussian blurring.

그림 13은 에지 강조한 영상이다. 기존의 방법은 PSNR이 22.6dB, 유사도가 15.1인데 비해, 제안한 방법은 PSNR이 22.6dB에서 22.0의 유사도를 갖는다. 이 경우에도 같은 화질에서 기존의 방법보다 훨씬 우수한 유사도를 갖는 것을 알 수 있다.

JPEG 압축과 가우시안 블러링, 균일분포 잡음 첨가, 에지 강조 등 여러 가지 영상 왜곡에 대해 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 모든 경우 더 강인한 결과를 갖는다. 이는 고주파 부대역의 특성과 같은 워터마크를

수 있다.

그림 13. 워터마킹된 영상을 에지 강조한 영상
Fig. 13. Watermarked image with edge enhancement.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 이용하여 원영상을 부대역으로 나눈 후 각 대역별로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 기존의 대부분의 방법들은 워터마크로 가우시안 랜덤 시퀀스를 사용하는데 반해 본 논문에서는 웨이브릿 변환한 영상의 고주파 대역의 통계적 특성에 기인한 라플라시안 워터마크를 사용하였다. JPEG 압축과 여러 가지 영상 왜곡에 대해 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 동일한 화질에서 모든 경우 더 강인한 결과를 갖는다. 이는 고주파 부대역의 특성과 같은 라플라시안 워터마크를 사용했기 때문이다. 그러므로 본 논문에서 제안한 워터마크를 웨이브릿 변환 영역에서 워터마킹하는 기존의 다른 방법들에 적용하면 더욱 강건한 디지털 워터마킹이 될 수 있다. 향후 연구과제로 제안한 워터마킹 방법을 동영상에 확장 적용하는 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, M. G. Kuhn, "Information hiding - A survey," Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1062-1078, July 1999.

[2] F. Hartung, M. Kutter, "Multimedia watermarking techniques," Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, July 1999.

[3] R. Wolfgang, C. I. Podilchuk, E. Delp, "Perceptual watermarks for digital images and video," Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1108-1126, July 1999.

[4] I. J. Cox, M. L. Miller, A. L. McKellips, "Watermarking as communications with side information," Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1127-1141, July 1999.

[5] G. Voyatzis, I. Pitas, "The use of watermarks in the protection of digital multimedia products," Proc. of the IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1197-1207, July 1999.

[6] I. Pitas, "A method for watermark casting in digital images," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 6, pp. 775-780, Oct. 1998.

[7] E. Koch, J. Zhao, "Toward robust and hidden image copyright labeling," IEEE Int. Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 452-455, Neos Marmaras, Greece, June 1995.

[8] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[9] M. D. Swanson, B. Zhu, "Transparent robust image watermarking," IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 3, pp. 211-214, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.

[10] X. G. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, pp. 548-551, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.

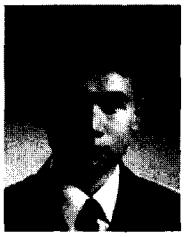
[11] C. K. Chui, An Introduction to Wavelets, Academic Press, Inc., 1992.

[12] I. Daubechies, Ten Lecture on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.

[13] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition : the wavelet representation," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.

[14] J. W. Woods, Subband Image Coding, Kluwer Academic Publishers, 1991.

## 저 자 소 개



**韓 成 鉉(正會員)**

1990년 2월 중앙대학교 전자공학과 학사, 1992년 2월 중앙대학교대학원 전자공학과 석사, 1998년 2월 중앙대학교대학원 전자공학과 박사, 1998년 3월~현재 인덕대학 소프트웨어개발과 전임강사. 주관심분야: 멀티미디어, 영상 및 신호처리, 네트웍 프로그래밍