

# 웨이블릿 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹

정희원 박영일\*, 김석태\*\*°

## Wavelet based Blind Watermarking using Self-reference Method

Yong-Ri Piao\*, Seok-Tae Kim\*\*° *Regular members*

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다. 먼저 원 영상을 웨이블릿 변환 한다. 다음 저주파 대역을 제외한 모든 부대역을 영(zero)으로 설정한 후 웨이블릿 역변환을 거쳐 자기참조 영상을 만든다. 그리고 원 영상과 자기참조 영상의 화소 값의 차이에 따른 특정 영역을 선택하여 랜덤 시퀀스를 만든 후 워터마크로 사용하여 삽입한다. 다양한 영상에 대해 워터마크의 삽입과 추출 실험한 결과 제안한 방법은 충실도가 높을 뿐만 아니라 JPEG 압축, 필터링, 샤프닝, 블러링 등의 영상처리, 그리고 노이즈에 안정성을 가지고 있다.

**Key Words** : Blind Watermarking, Wavelet transform, 자기참조 영상

### ABSTRACT

In this paper, wavelet based blind watermarking using self-reference method is proposed. First, we process wavelet transform of original image. Then, we set all domain except for the low-frequency domain to zero and make self-reference image after wavelet reverse transformation. By choosing specific domain according to the pixel value difference between original image and self-reference image, we make random sequence, use as watermark and embed. The experimental results of the watermark embedding and extraction on various images show that the proposed scheme not only has good image quality, but also has stability on JPEG lossy compression, filtering, sharpening, blurring and noise.

### I. 서 론

디지털 미디어 압축기술의 발달과 컴퓨터 네트워크의 급속한 보급으로 디지털 미디어의 사용이 급증하였다. 디지털 미디어는 컴퓨터 네트워크를 통한 배포가 용이한 장점을 가지고 있으나 디지털 데이터에 대한 저작권 보호라는 새로운 문제점이 나타나게 되었다. 이 문제를 해결하기 위해 디지털 워터

마킹 기술이 제안 되었다. 디지털 워터마킹은 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 기술이다.

워터마킹 기법은 블라인드(Blind) 워터마킹 기법과 넌 블라인드(Non-Blind) 워터마킹 기법 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 원본 데이터 없이 워터마크를

※ 본 연구는 2006년도 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 수행되었습니다. (PS-2006-02800)

\* 부경대학교 정보통신공학과 정보시스템 연구실

\*\* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수 (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2007-09-429, 접수일자 : 2007년 9월 28일, 최종논문접수일자 : 2007년 12월 24일

추출할 수 있는 기법을 블라인드 워터마킹이라고 하며, 원본이 필요한 기법을 닌 블라인드 워터마킹 기법이라고 한다[1-2]. 이러한 기법들은 주로 주파수[3] 영역을 기반으로 연구되고 있다.

Cox[4-6]의 방법은 DCT 변환 후 고주파 성분에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다. Cox의 방법은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 방법이 명확하지 않고 JPEG와 같은 압축에는 강인하지만 잡음, 영상처리 등 공격에는 견고하지 못한 단점이 있다. Dugad[7] 등은 원 영상에 DWT변환을 진행한 후 LL영역을 제외한 모든 부 대역에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다. Wang[8]과 Kim[9]등이 제안한 방법은 원 영상에 DWT변환을 한 후 각각의 부대역에 다중 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입하였다. 이러한 방법들은 부대역에 워터마크를 삽입하였기 때문에 저주파 대역을 워터마크의 삽입영역으로 한 방법보다 워터마크의 강인성을 감소시키는 단점이 있다.

본 논문은 이러한 문제점을 고려하여 디지털 영상에 대하여 화질변화가 없도록 하면서 영상처리에 강인한 웨이블릿 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다.

먼저 원 영상을 웨이블릿 변환을 한 후 저주파 대역을 제외한 모든 부대역의 계수들은 전부 영(Zero)으로 설정한 후에 웨이블릿 역변환 한다. 다음 원본 영상과 역변환 한 영상사이의 차이 값의 일부분 영역을 선택하여 랜덤 시퀀스를 워터마크로 삽입한다. 워터마크의 존재 여부를 확인하는 워터마크 검출과정에서는 원본 영상 없이 워터마크를 검출하는 블라인드 워터마킹 방법을 적용한다.

실험결과 제안방법은 워터마킹된 영상이 충실도가 높을 뿐만 아니라 압축, 필터링 등 여러 가지 공격에도 강인함을 확인할 수 있었다.

## II. 웨이블릿 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹

$X$ 를  $M \times M$  사이즈의 그레이 영상이라고 가정하고 블라인드 워터마킹 기법에 속하기 때문에  $W$ 를 랜덤 비트 시퀀스라고 하면  $X$ 와  $W$ 를 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$X = \{x(i,j) | 0 \leq i, j \leq M-1, 0 \leq x(i,j) \leq 255\} \quad (1)$$

$$W = \{w(k) | 0 \leq k \leq n, w(k) \in \{-1, 1\}\} \quad (2)$$

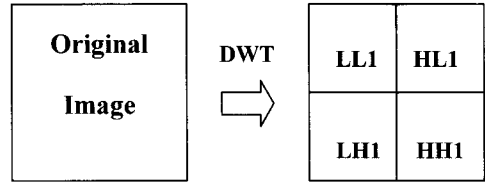


그림 1. 웨이블릿 변환 후의 부 영상  
Fig. 1 Subimages in a Wavelet transform

### 워터마크의 삽입과정

- (1) 원 영상에 웨이블릿 변환을 한다.  
원 영상에 웨이블릿 변환을 적용하여 대역을 나누면 그림 1과 같이 분할된 대역을 얻는다. 그림 1에서 LL1은 가장 낮은 주파수 대역이며, LL1을 제외한 나머지 대역들은 고대역 필터를 통과한 대역들로 적용된 필터의 특성에 따라 특정 방향성분을 많이 가지고 있다. 웨이블릿 변환을 통해 영상을 서로 다른 해상도를 갖는 레벨로 나누어 공간 국부화와 워터마크의 주파수 확산을 가능하게 하여 다양한 신호 왜곡에 더 강인할 수 있게 한다.
- (2) 저주파 대역을 제외한 나머지 부 대역을 전부 0으로 설정한다.
- (3) 저주파수 대역만 웨이블릿 역변환 하여 자기 참조 영상  $X'$ 을 얻는다. 참조 영상  $X'$ 은 원 영상의 저주파 성분과 상관성이 가장 높을 뿐만 아니라, 공격을 받을 경우에도 저주파 성분의 변화가 가장 적은 특성을 이용하여 참조영상과 원 영상 사이의 변화 값으로부터 워터마크의 삽입공간을 선택한다.
- (4) 원 영상  $X$ 와 자기 참조 영상  $X'$ 사이의 차를 구한다. 그리고 차이 값의 일정한 범위내의 영역을 선택하여 워터마크를 삽입할 공간  $idx(i,j)$ 을 얻는다. 즉

$$s < |x(i,j) - x'(i,j)| < t \quad (3)$$

여기서  $s$ 와  $t$ 는 워터마크의 삽입공간  $idx(i,j)$ 의 값에서 최소값과 최대값을 나타낸다. 식(3)을 만족하는 워터마크의 삽입공간  $idx(i,j)$ 는 원 영상의 고주파성분에 속하는 영역이다. 때문에 일정한 삽입강도  $\alpha$ 를 선택하여 워터마크를  $idx(i,j)$ 에 삽입하면 고주파 영역을 0으로 설정하여 나타나게 되는 화질 열화를 감소할 수 있다.

- (5) 본 논문에서 제안한 방법은 블라인드 워터마

킹 기법에 속하기 때문에 워터마크의 삽입공간  $idx(i, j)$ 에서 식(4)을 만족하는 구역을 선택하여 랜덤 비트 시퀀스를 워터마크로 사용하여 삽입한다. 즉

$$x_w(idx(i, j)) = \begin{cases} x(idx(i, j)) + \alpha \text{ if } w(k) = 1 \\ \text{if } s < x(idx(i, j)) - x'(idx(i, j)) < t \\ x(idx(i, j)) - \alpha \text{ if } w(k) = -1 \\ \text{if } s < x'(idx(i, j)) - x(idx(i, j)) < t \end{cases} \quad (4)$$

여기서 삽입강도  $\alpha$ 는 식(5)과 같다.

$$\alpha = \text{round}[(s+t)/2] \quad (5)$$

워터마크의 삽입과정을 그림2에 나타낸다.

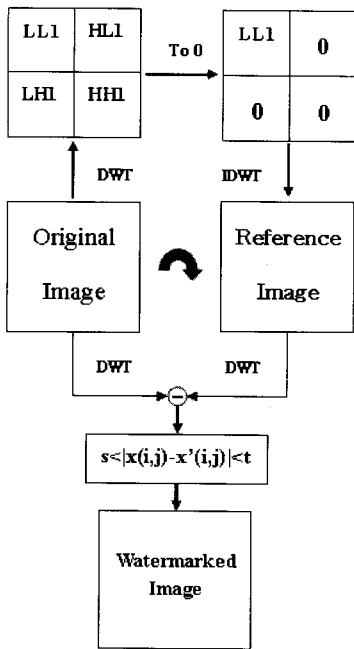


그림 2. 워터마크의 삽입과정  
Fig. 2 Watermark Embedding process

### III. 워터마크의 추출 및 검증

워터마크 추출 과정은 워터마크 삽입의 역과정이다. 워터마크가 삽입된 영상을 웨이블릿 변환 후 워터마크를 삽입하는 과정과 동일한 검색경로를 통해 워터마크 정보가 포함된 계수를 검출하여 워터마크를 추출한다. 본 방법은 블라인드 워터마킹에 속하

기에 워터마크의 추출 시에는 원 영상을 필요로 하지 않는다.

- (1) 워터마크가 삽입된 영상을 웨이블릿 변환을 한다.
- (2) 저주파 대역을 제외한 나머지 부 대역을 전부 0으로 설정한다.
- (3) 저주파수 대역만 웨이블릿 역변환 진행하여 참조 영상  $X'_w$ 을 얻는다.
- (4) 블라인드 워터마킹에 속하기 때문에 식 (6)에 의해 워터마크를 추출 한다.

$$W'(k) = \begin{cases} 1, x_w(idx(i, j)) \geq x'_w(idx(i, j)) \\ -1, x'_w(idx(i, j)) > x_w(idx(i, j)) \end{cases} \quad (6)$$

(5) 안정성을 확인하는 검출척도는 추출 전 워터마크 영상과 추출 후 워터마크 영상사이의 유사도 (SIM)를 이용하고 식(7)과 같다.

$$SIM(W, W') = \frac{W \cdot W'}{\sqrt{W' \cdot W'}} \quad (7)$$

여기에서  $W$ 는 워터마크 영상이고,  $W'$ 는 추출해낸 워터마크 영상이다.

본 논문에서는 또 워터마크를 삽입한 영상과 원 영상사이의 화질을 비교하기 위한 척도인 충실도 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 구하기 위하여 식(8)을 사용한다.

$$PSNR = 20 \log \left( \frac{255}{RMSE} \right) [dB] \quad (8)$$

여기서 RMSE(Root Mean Square Error)는 식(9)과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [F(i, j) - \hat{F}(i, j)]^2} \quad (9)$$

$F(i, j)$  및  $\hat{F}(i, j)$ 는 원 영상 및 워터마킹된 영상의 픽셀 값을 나타내고,  $N$ 은 영상의 크기를 나타낸다.  $PSNR$ 은 원 신호와 잡음신호의 비로서  $PSNR$ 이 클수록 신호의 왜곡이 작다는 것은 의미하는데  $PSNR > 35$  dB 이면 일반적으로 시각적인 화질 열화를 느낄 수가 없다.

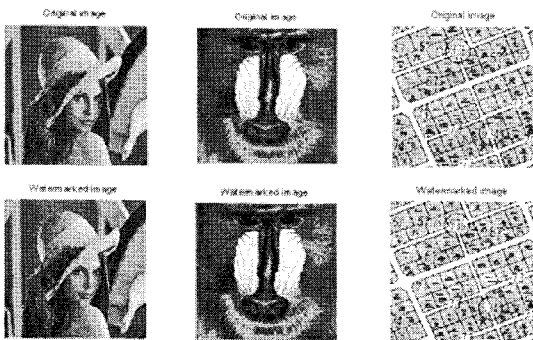
IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위해 256 그레이레벨을 갖는  $256 \times 256$  크기의 영상을 사용하여 실험하였다. 워터마크는 랜덤한 특성을 가지면서도 통계적인 측정에 의하여 삽입된 정보를 추출할 수 있는 랜덤 비트 시퀀스를 사용하여 워터마크를 구성하였다. 워터마크의 길이는 1000로 하였고 250번째로부터 발생시킨 워터마크 열을 삽입하였다. 본 논문에서는 100가지 영상들을 가지고 실험하였으며 그중 일부분 영상들을 그림3에 나타낸다.

그림 4는 여러 가지 영상들 중에서 저주파 성분과 고주파 성분이 균일하게 잘 분포된 Lena 영상, 고주파 성분이 많이 분포된 Baboon 영상 및 저주파 성분이 많이 분포된 문서영상을 가지고 실험한 워터마킹된 영상을 나타낸다. 그림 4에서 워터마킹된 영상의 PSNR은 모두가 43dB 이상으로 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다. Lena 영상에 대해 기존 방법과 제안한 방법과의 비교를 표1에 나타내고 있다. 제안 방법의 PSNR은 44.08dB로서 화질 열화에 대해 우수한 충실도를 가짐을 알 수 있다.



그림 3. 실험 영상  
Fig. 3 Experimental Images



(PSNR=44.08dB) (PSNR=43.15dB) (PSNR=44.84dB)

그림 4. 원 영상과 워터마킹된 영상  
Fig. 4 Original images and Watermarked images

표 1. Lena 영상에 대한 PSNR의 비교  
Table 1. The Comparison of PSNR for Lena Image

Lena 영상에 대한 PSNR의 비교				
Cox	Dugad	Wang	Kim	제안방법
39.76 dB	40.69 dB	36.09 dB	40.45 dB	<b>44.08 dB</b>

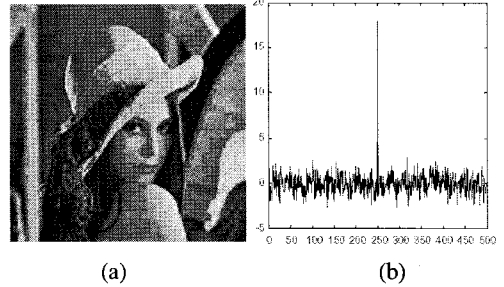


그림 5. (a) JPEG 품질 Q=10%(28.86dB) (b) 유사도 (17.81)  
Fig. 5 (a) JPEG quality factor Q=10%(28.86dB) (b) Similarity (17.81)

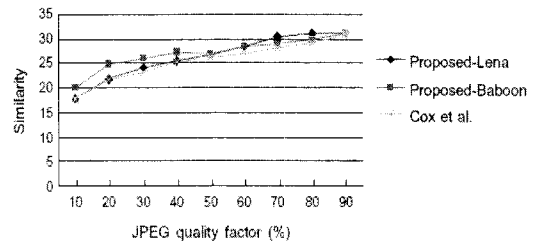


그림 6. Cox 등 기타 방법과의 유사도 결과 비교  
Fig. 6 The results of similarity comparison with other schemes

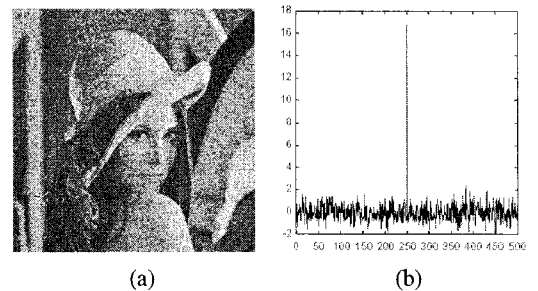


그림 7. (a) 가우시안 노이즈 15% (26.10dB) (b) 유사도 (16.86)  
Fig. 7 (a) Gaussian noise 15% (26.10dB) (b) Similarity 16.86

그림 5는 워터마킹 영상에 JPEG 품질벡터를 10%로 하여 압축한 영상과 유사도를 나타내고 있

다. 그림 6는 타 방법과 제안한 방법의 유사도와 Cox 방법과의 비교를 나타내고 있다. 제안방법은 Cox 방법보다 더 우수한 강인성을 가짐을 확인할 수 있다.

그림 7은 가우시안 노이즈를 15% 삽입하여 공격한 영상과 유사도를 나타내고 있다. 잡음 첨가 실험에서 가우시안 노이즈에 의한 유사도는 16.86로서 제안한 방법이 노이즈 공격에도 강인하다는 것을 알 수 있다.

그림 8, 그림 9와 그림 10은 블러링, 샤프닝, 미디언 필터 등 여러 가지 공격에 대한 워터마킹 영상과 그에 대응되는 유사도를 나타내고 있다. 블러링 영상처리 실험에서는 워터마킹 이미지에 5×5 사이즈의 필터를 적용 시켰고 미디언 필터 공격 실험에서는 3×3 사이즈의 필터를 적용하였다. 블러링, 샤프닝, 미디언 필터 등 공격을 가한 영상의 PSNR은 각각 31.67dB, 19.91dB과 34.17dB이고 워터마크 검출에서 유사도는 각각 19.87, 13.12와 22.56로 나타났다. 제안한 방법은 블러링, 샤프닝, 미디언 필터 등 영상처리 공격에 대해서도 강인성을 가짐을 나타낸다.

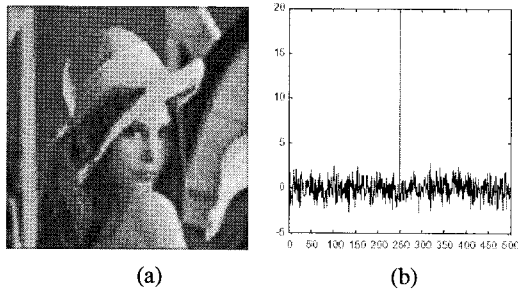


그림 8. (a) 블러링(31.67dB) (b) 유사도 (19.87)  
Fig. 8 (a) Blurring (31.67dB) (b) Similarity (19.87)

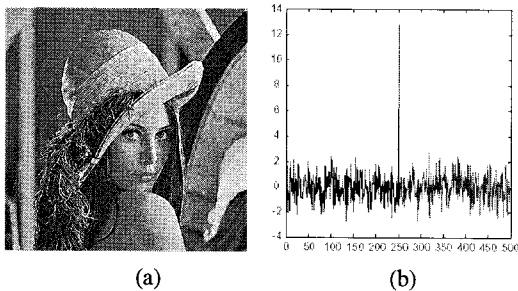


그림 9. (a) 샤프닝 (19.91dB) (b) 유사도 (13.12)  
Fig. 9 (a) Sharpening (19.91dB) (b) Similarity (13.12)

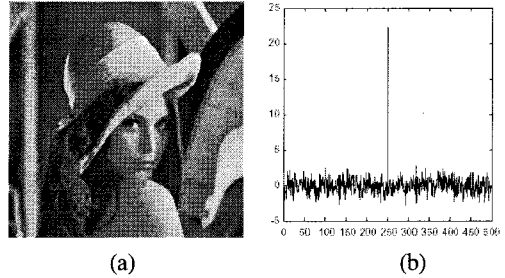


그림 10. (a) 미디언 필터링 (34.17dB) (b) 유사도 (22.56)  
Fig. 10 (a) Median Filtering (34.17dB) (b) Similarity (22.56)

표 2. 실험 결과  
Table 2. Experiment Results

실험영상 공격	실험 결과			
				평균값
워터마킹 된 영상	43.12dB (PSNR)	43.15dB (PSNR)	44.84dB (PSNR)	43.81dB (PSNR)
JPEG압축 Q=10	SIM=16.96	SIM=19.98	SIM=15.64	SIM=17.62
가우시안 노이즈15%	SIM=17.15	SIM=17.70	SIM=16.30	SIM=16.96
블러링	SIM=21.49	SIM=25.30	SIM=20.30	SIM=21.69
샤프닝	SIM=13.71	SIM=10.18	SIM=19.18	SIM=13.96
미디엄필터	SIM=22.82	SIM=25.48	SIM=23.10	SIM=23.40

표2는 256 그레이 레벨을 갖는 여러 가지 영상을 가지고 실험을 한 결과와 평균값을 나타내고 있다. 실험 결과 고주파 성분이 많은 Baboon 영상, 저주파 성분이 많은 문서영상, 그리고 고주파 성분과 저주파 성분이 균일하게 분포된 girl 영상에 대해서 제안방법은 강인성의 우수함 가짐을 나타내고 있다. 또한 그림3에서 나타낸 여러 가지 실험영상에 대한 평균값도 제안방법의 강인성을 나타내고 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 원본 영상이 없이 워터마크 검출이 가능한 방법을 제안하였다. 웨이블릿 변환을 진행하여 자기참조영상을 형성하여 원 영상과의 비교를 통하여 워터마크를 삽입할 공간을 만든 후, 원 영상과 시각적으로 차이가 없도

록 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 여러 가지 영상에 대하여 실험해 본 결과 제안한 워터마킹 방법이 JPEG 압축, 가우시안 잡음, 블러링, 샤프닝과 같은 다양한 신호왜곡에 다른 알고리즘보다 견고함을 보여주었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 시각적으로 차이가 적고 각종 잡음에도 견고할 뿐만 아니라 워터마크의 추출할 때에 원본 영상에 대한 정보가 필요하지 않는 블라인드 워터마킹 기법에 속하므로 거래 추적, 콘텐츠 인증 등 분야에 활용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

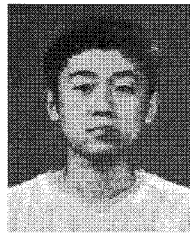
- [1] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishing, 2001.
- [2] J. S. Pan, H. C. Huang and L. C. Jain, Intelligent Watermarking Techniques, World Scientific Publishing, 2004.
- [3] 박영일, 김석태, "선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹" 한국통신학회 논문지, Vol. 32, No. 1C, January, 2007.
- [4] I. J. Cox, J. Kiilan, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, pp. 1673-1687, 1997.
- [5] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the importance of perceptual Modeling," Proc. SPIE Conf. on Human Vision Electronic Imaging II, Vol. 3-16, pp. 92-99, Mar. 2000.
- [6] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, "Watermarking Application and Their Properties," IEEE Proc. on Int. Conf. on Information Technology, pp 6-10, Mar. 2000.
- [7] Rakesh Dugad, Krishna Ratakonda and Narendra Ahuia, "A New Wavelet-based Scheme for Watermarking Images," IEEE Proc. on Int. Conf. on Image Processing, ICIP' 98, Chicago, IL, USA, Oct., 1998.
- [8] Houg-Jyh Wang, Po-Chyi Su and C. -C. Jay Kuo, "Wavelet-based Digital Image Watermarking," Optics Express, pp. 497-500, Dec., 1998.
- [9] 김재원, 남재열, "다중 임계치를 적용한 웨이블릿

디지털 워터마킹 기법" 정보처리학회 논문지, Vol. 10-B, No. 4, pp. 419-428, Aug., 2003.

- [10] Y. Wang, A. Pearmain, "Blind Image Data Hiding based on Self Reference," Pattern Recognition Letters, Vol. 25, pp.1681-1689, 2004.
- [11] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp and E. Saber, "Lossless Generalized LSB Data Embedding," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.14-2, pp. 253-266. 2005.

### 박 영 일 (Yong-Ri Piao)

정회원

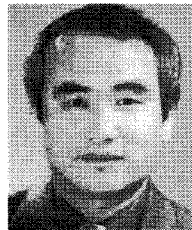


2003년 8월 JiLin University 통  
신공학과, 공학사  
2005년 8월 부경대학교 정보 통  
신공학과, 공학석사  
2006년 9월~현재 부경대학교 정  
보통신공학과, 박사과정  
<관심분야> 영상처리, 워터마킹,

Cellular automata.

### 김 석 태 (Seok-Tae Kim)

정회원



1983년 8월 광운대학교 통신공학  
과, 공학사  
1988년 8월 : Kyoto Institute of  
Technology, 전자공학과, 공학  
석사  
1991년 8월 Osaka대학교 통신공  
학과, 공학박사

1999년 Univ. of washington, USA, 방문교수  
2006년 Simon Fraser Univ., Canada, 방문교수  
1991년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부  
재직, 교수  
<관심분야> 영상처리, 패턴인식, 워터마킹, Cellular  
automata.