

---

# HWT에 기초한 EZW를 이용한 영상압축 개선

김장원\*

Improvement of Image Compression Using EZW Based in HWT

Jang Won Kim\*

---

이 논문은 2011년도 경원대학교 연구비를 지원받았음(과제번호 : KWU-2011-R325)

---

## 요 약

본 논문에서는 Haar Wavelet Transform(HWT)에 기반한 EZW 알고리즘을 적용하여 효율성 있는 영상 압축방법을 제시하였다. 제안된 Haar-EZW 알고리즘은 입력 영상을 자기유사성이 있는 상관관계를 사용한 HWT 계수를 이용하여 제로트리 부호화하는 코딩방법이다. HWT 계수가 임계값보다 크면 POS로 부호화되고, 임계값보다 작다면 NEG로 부호화된다. HWT 계수가 제로트리의 제곱근보다 크다면 ZTR로 부호화되고, HWT 계수가 임계값보다 적고 제로트리의 제곱근이 아니라면 IZ로 부호화된다. 모든 HWT 계수가 완전하게 부호화될 때까지 이 프로세스는 반복된다. 본 논문에서는 제안된 Haar-EZW 알고리즘을 Daubechies, Antonini와 비교하였다. 그 결과로 Haar-EZW 알고리즘의 PSNR이 Daubechies, Antonini보다 우수한 것으로 나타났다.

## ABSTRACT

In this paper, we studied that the EZW algorithm based in HWT was proposed effective compression technique of wavelet transformed image. The proposed Haar-EZW algorithm is that image was coding by zerotree coding technique using self-similarity of HWT coefficients. If the HWT coefficient is larger than the threshold, that is coding to POS. If the HWT coefficient is smaller than the threshold, that is coding to NEG. If the HWT coefficient is larger than the root of zerotree, that is coding to ZTR. If the HWT coefficient is smaller than the threshold, and if that is not the root of zerotree, that is coding to IZ. This process is repeated until all the HWT coefficients have been encoded completely. This paper is compared Haar-EZW algorithm with Daubechies and Antonini. As the results of compare, it is shown that the PSNR of the Haar-EZW algorithm is better than Daubechies's and Antonini's.

## 키워드

웨이브렛 변환, 제로 트리 부호화, 영상신호 압축, 이산 코사인 변환

## Key word

HWT, EZW, Image Compression, DCT

---

\* 정회원 : 경원대학교 에너지IT학과 (jwkimm@kyungwon.ac.kr)

접수일자 : 2011. 10. 10

심사완료일자 : 2011. 10. 25

I. 서 론

주파수 대역별로 상관관계를 갖는 영상의 다해상도 분해는 웨이블렛변환(WT)으로 가능하며, 정지영상을 압축하는 대표적인 방법으로 Embedded Zerotree Wavelet(EZW) 알고리즘이 제안되었다.<sup>1,2,3)</sup> EZW는 4개의 심벌로 영상을 부호화 하며, 상위 주파수대역의 계수가 Threshold Value(TV)을 기준으로 가중치가 적다면 하위 대역 또한 가중치가 높을 확률이 적다는 기본 개념을 담고 있다.<sup>4,5)</sup> 최초 TV는 변환된 WT 계수의 최대 TV의 중간값으로 결정하고, Morton 스캔방법을 이용하여 계수를 비교하여 Positive(POS), Negative(NEG), Isolated Zero(IZ), ZeroTreeRoot(ZTR)의 4개의 심벌을 생성하며 ZTR 심벌이 발생한 대역의 계수와 상관관계가 있는 하위대역의 계수들은 부호화 할 필요가 없으며 이러한 방법을 사용하여 부호화 효율을 증가 시켰다.

EZW 알고리즘은 비트단위로 부호화 및 복호화를 하므로 영상의 압축율 조절이 가능하고 블록화 현상에 대해 강한 특성을 가지고 있으며, 이산코사인변환(DCT)에 비해 시각적 특성이 우수하고, PSNR로 에러율을 비교해 보아도 뒤지지 않는다.<sup>6)</sup>

실험에 사용된 방법은 HWT을 사용하여 영상을 다해상도 분해하고, 이 계수를 이용하여 Haar 필터를 만들었으며, 이를 이용하여 EZW 알고리즘으로 영상을 압축하고 복원하였다. 복원과정에서 데이터의 손실의 보전을 확인하고 비교하기 위해 다우비치와 안토니니 필터로 압축후 복원한 영상의 PSNR 값을 비교하였으며, 기존의 방법보다 Haar 필터를 사용한 방법이 압축률에서는 큰 변화를 보이지 않았으나, 복원된 영상 내에서 블록화 현상이 일어나지 않았고, PSNR 값이 우수함을 보였다.

II. Haar Wavelet Transform

HWT는 Haar 함수를 웨이블렛함수로 하여 영상을 대역분할 할 수 있다. Harr 함수와 다중해상도 분석성질을 이용하여  $\phi_{j,k}(t)$ 를 Haar 스케일링 기저함수라 하고,  $\psi_{j,k}(t)$ 를 웨이블렛 기저함수라고 한다.<sup>7)</sup> Haar 스케일링 기저함수는 다음 식과 같이 정의한다.

$$\phi_{j,k}(t) = \phi(2^j t - k) \tag{1}$$

여기서  $k = 0, 1, 2, \dots, 2^j - 1, j \in \mathbb{Z}$ 이다. Haar 스케일링 기저함수의 부웨이블렛인 Haar 웨이블렛 스케일링함수  $\phi(t)$ 는 다음 식과 같이 정의한다.

$$\phi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

Haar 웨이블렛 기저함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\psi_{j,k}(t) = \psi(2^j t - k) \tag{3}$$

여기서  $k = 0, 1, 2, \dots, 2^j - 1, j \in \mathbb{Z}$ 이다. Haar 웨이블렛 기저함수의 모웨이블렛인 Haar 웨이블렛 함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

Haar 스케일링함수와 웨이블렛함수가 완전복원조건을 만족하는 분해필터는  $h(n)$ 과  $g(n)$ 를 이용하여 구성할 수 있고, 합성필터는  $\tilde{h}(n)$ 과  $\tilde{g}(n)$ 를 이용하여 구성할 수 있으며 이들의 관계는 다음 식과 같다.<sup>8)</sup>

$$g(n) \Leftrightarrow h(n) : \begin{cases} \tilde{h}(n) = h(n) \\ \tilde{g}(n) = g(n) \\ g(n) = (-1)^2 h(1-n) \end{cases} \tag{5}$$

이 필터를 이용하여 2차원 영상에 2 level HWT를 적용했을 때의 필터 뱅크 구조는 그림 1과 같다.

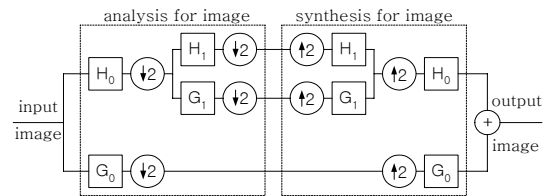


그림 1. 2-level HWT 필터뱅크 구조  
Fig. 1 Filter bank structure of 2-level HWT.

이 필터뱅크구조를 이용하여 영상에 적용하였을 때, 분해필터에 의하여 영상은 각각 업샘플링되어 저주파 영역과 고주파영역으로 분할되어진 영역으로 변환되어진다.

### III. 제안한 Haar-EZW 알고리즘

제안한 EZW는 Harr 웨이블릿 분해를 EZW에 적용한 방법으로 HWT 특성인 대역간 자기상관성에 기초한 연속적인 근사 양자화(SAQ)방법을 사용한 부호화 방법이다.

그림 2에서와 같이 제안된 Haar-EZW는 웨이블릿 변환, 양자화 및 무손실부호화의 세부분으로 구성되며, 입력영상은 다해상도의 HWT을 거쳐 여러개의 부대역에 의해 양자화 여부가 결정된다. 이때, 변환계수의 크기가 임계값 이상이면 유효계수, 임계값 이하이면 무효계수로 분류되며, 유효계수에 대해서만 양자화가 적용된다.

그리고 모든 계수에 대한 유무효의 여부를 나타내는 유효도맵과 양자화에서 발생된 심볼들은 엔트로피 부호화에 의해 무손실 부호화되고, SAQ에 의해 양자화값을 세밀화시키고 원하는 비트율에서 부호화를 멈출수 있다.

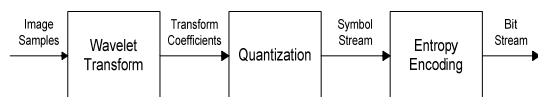


그림 2. EZW의 블록다이아그램  
Fig. 2 Block diagram of EZW.

#### 3.1 제안된 제로트리 부호화

Zero-Tree Coding(ZTC) 방법이 부호화율을 줄일 수 있는 이유는 자기상관성 때문이며, HWT 계수들간의 Parent-Child-Relation(PCR)을 이용한다. HWT 계수들의 상관관계는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보듯이 저주파대역 LL3의 계수는 하위 대역에 각각 1개씩 3개의 자식노드를 가지며, 이를 제외한 모든 대역의 계수는 하위대역에 4개의 자식노드를 갖는다.

즉, HH3대역에서 어떤 한 계수가 갖는 영상의 정보는

동일 위치의 HH2대역에서 4개가 존재하게 되며, HH2대역에서도 어떤 한 계수가 갖는 영상의 정보는 동일위치의 정보가 HH1대역에서 4개가 존재하므로, HH3대역에서 어떤 한 계수와 동일한 위치의 정보는 HH1대역에서 16개가 존재하게 된다. 이때 HH3대역에 있는 계수를 부모계수라 하고 동일 위치의 HH1, HH2대역의 계수들을 후손계수라 한다.

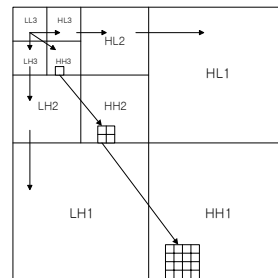


그림 3. HWT 계수의 PCR  
Fig. 3 PCR of HWT coefficients.

영상을 HWT하면 대부분의 정보가 저주파대역에 몰려있으며 그 외의 대역에서는 거의 0에 가까운 값을 가지고 있는데 이런 HWT의 특징으로 인해 부모계수의 값이 클 경우 후손계수들 역시 값이 클 확률이 높으며, 부모계수의 값이 작을 경우 후손계수의 값 역시 작을 확률이 높게 되는데 이를 HWT 계수간의 PCR이라고 한다. 제안된 제로트리 부호화는 이러한 HWT 계수간의 PCR을 이용하여 부호화하였다.

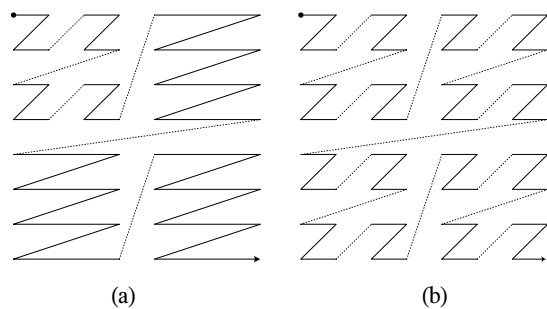


그림 4. 계수의 스캔순서  
(a) Raster scan (b) Morton scan  
Fig. 4 Scanning order of subbands.  
(a) Raster scan (b) Morton scan

### 3.2 Haar-EZW를 이용한 부호화 과정

Haar-EZW는 크게 주 부호화과정과 종속 부호화과정으로 분류되는데 임계값을 반으로 줄여가며 이 과정을 원하는 부호화율이 될 때까지 반복하게 된다.

주 부호화과정에서는 계수의 중요성을 판별하기 위해 POS, NEG, IZ, ZTR 의 4-심볼을 사용하고, 종속 부호화과정은 (1, 0)의 2-심볼을 사용한다. 부호화하려는 계수의 스캔순서는 그림 4와 같으며 주 부호화과정에서 중요하다고 판단된 계수들을 세밀화시키는데 사용된다.

4개의 심볼 즉, POS, NEG, IZ, ZTR은 주부호화과정 심볼이며 다음으로 가정한다. 모든 후손 계수들이 임계값  $TV$ 보다 작을 경우에는 ZTR이라 가정하고, 계수의 절대값이  $TV$ 보다 작지만 후손계수들 중에는  $TV$ 보다 큰 값이 존재할 경우에는 IZ, HWT 계수의 절대값이  $TV$ 보다 크고 계수의 부호가 양수이면 POS, 계수의 부호가 음수이면 NEG이라 한다.

여기서 부호화하려는 계수가 ZTR로 판단될 경우 더 이상 후손계수를 부호화 하지 않고, POS, NEG가 중요계수로 판단된 후, IZ로 판단될 경우에는 항상 후손계수들에 대해 4-심볼을 다시 적용하여 중요도를 판별한 후 부호화한다.  $TV$ 는 다음과 같은 조건이 만족되도록 결정하며, 중요계수를 결정하기 위한 최초의 임계값이다.

$$TV = 2^{kl}, \quad k = \log_2(\max|x_i|) \quad (5)$$

여기서  $x_i$ 는 HWT 계수가 최대값이 되는 값이며, 정보를 가장 많이 가지고 있다. 다음으로 HWT의 전체 계수에 대해 각각 POS, NEG, IZ, ZTR로 4-심볼이 결정되면 종속과정에서 동일한 방법으로 계수를 다시 나누기 위하여 임계값  $TV$ 를 다음 식과 같이 반으로 낮추고 부호화 과정을 반복한다.

$$T_i = T_{i-1} / 2, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

종속 부호화과정 후, SAQ방법으로 임계값을 반으로 줄이고 주 부호화과정에서 POS, NEG로 판단된 계수를 제외하고 원하는 비트율이 될 때까지 종속 부호화과정을 반복한다. 이는 정보율이 높지 않는 계수를 주-종속 부호화과정으로 처리하는 방법이다.

## IV. 실험 및 고찰

본 연구에서는 제안한 Haar 필터가 적용된 EZW의 성능을 시험하기 위해 256그레이레벨 영상인 256×256 크기의 pepper 영상을 사용하였다. 입력영상을 Haar 필터로 16개의 대역으로 분할한 후 EZW 알고리즘을 적용하였다. Haar-EZW 알고리즘의 부호화과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

- ① HWT를 수행.
- ② 모든 HWT 계수를 조사해서 최대값을 찾아내어 이 값을 기본으로 임계값을 결정.
- ③ 주 부호화과정을 거침.  
HWT 계수를 임계값과 비교하여 임계값 이상이면 유효계수로 분류되며 부호에 따라 POS나 NEG 심볼을 생성한다. 임계값 이하이면 후손 계수들 중에서 크기가 임계값 이상인 계수의 존재여부를 조사한다. 만약 존재하면 IZ 심볼 생성, 존재하지 않으면 ZTR 심볼을 생성한다.
- ④ 종속 부호화과정을 거쳐 계수값을 세밀화 함
- ⑤ 임계값을 반으로 줄임.
- ⑥ 주 부호화과정에서 유효계수로 판단된 모든 계수를 제외.
- ⑦ 주 부호화과정부터 반복 시행.

그림 5는 5-레벨 HWT된 결과영상이다.

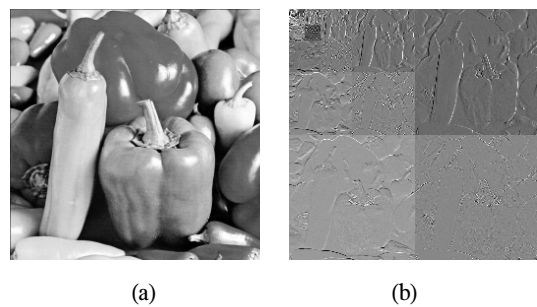


그림 5. 5-레벨 웨이블릿 변환영상  
(a) pepper 영상 (b) 5레벨 HWT 영상  
Fig. 5 5-Level wavelet transform image.  
(a) pepper image (b) 5Level HWT image

실험에 사용된 입력영상은 제안된 Haar-EZW 방법으로 부호화 하고 복호화를 수행하였으며, 제시한 방법으로 효과적인 결과를 얻었고, 식 (7)을 이용하여 PSNR로 원영상과 Harr-EZW를 적용해서 복호화된 영상과의 손실을 측정하였다.

$$PSNR = 10\log_{10}(255^2/MSE) \text{ [dB]} \quad (7)$$

MSE는 평균 자승 오차값이며, 원영상과 복원된 영상의 픽셀값간의 평균 오차를 알아보기 위한 인자이며, 인간의 시각으로 복원된 영상의 오차율을 확인할 수 없으나 이 방법으로 그 차이를 확인할 수 있다. 제안한 방법인 Haar 필터를 적용한 EZW의 성능을 확인하기 위해 실험에서는 다우비치와 안토니니 필터를 적용한 웨이블릿 변환을 하고 EZW 알고리즘을 적용하여 PSNR값을 비교하였다. 그림 6은 제안한 알고리즘에 대한 흐름도이다.

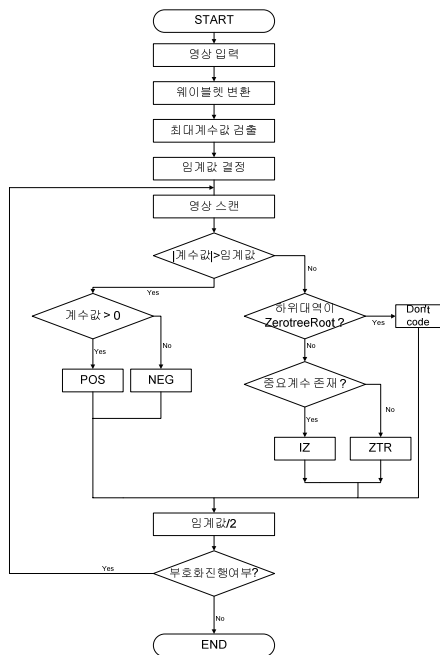


그림 6. Haar-EZW 알고리즘 흐름도  
Fig. 6 Flowchart of Haar-EZW algorithm.

표 1은 pepper영상을 가지고 실험한 결과값을 나타내었으며, pepper영상을 1bpp로 압축한 경우 각각의 PSNR은 Haar 필터를 이용하여 WT한 경우 71.022dB을 얻었

며 Daubechies 필터를 이용하여 WT한 경우는 51.179dB, Antonini WT한 경우는 27.789dB을 얻었다.

표 1. pepper 영상의 실험결과  
Table. 1 Coding results of pepper image.

bpp (ratio)	PSNR[dB]			
	Haar	Daube chies	Antonini	DCT
1.0(8:1)	71.022	51.179	27.789	42.624
0.5(16:1)	67.530	46.697	23.494	38.239
0.25(32:1)	65.074	43.394	20.514	35.231
0.125(64:1)	63.232	41.127	18.744	-

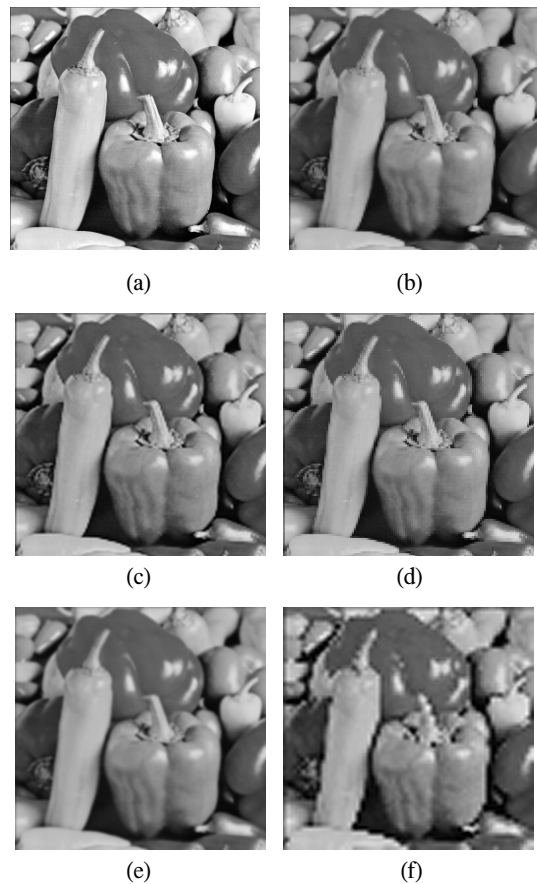


그림 7. 결과 영상. (a) pepper 영상  
(b) Haar(1bpp) (c) Daubechies(1bpp) (d) Antonini(1bpp)  
(e) Haar(0.25bpp) (f) DCT(0.25bpp)  
Fig. 7 Result images. (a) pepper image  
(b) Haar(1bpp) (c) Daubechies(1bpp) (d) Antonini(1bpp)  
(e) Haar(0.25bpp) (f) DCT(0.25bpp)

낮은 비트인 0.125bpp에서도 Haar 필터를 이용한 경우 63.232dB, Daubechies 필터를 이용한 경우 41.127dB, Antonini 웨이블릿을 이용한 경우 18.744dB을 얻었으며 실험 결과에서 보듯이 Haar 필터를 이용한 경우가 비교적 우수한 PSNR 값을 얻을 수 있었다. 실험결과 영상인 그림 7에서 보듯이 1bpp 결과영상과 원영상을 비교하였을 경우 Haar 필터를 사용한 영상이 경계부분과 해상도 면에서 원영상과 가장 일치함을 확인할 수 있었다. 또한 그림 7(e),(f)에서 보듯이 0.25bpp에서 Haar- EZW 방법이 DCT 방법보다 낮은 비트에서 블록화 현상이 생기지 않는 면에서 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

### V. 결 론

본 연구에서는 Haar 필터에 의해 WT한 후 EZW 알고리즘을 적용하여 블록화 현상이 생기지 않고, JPEG2000으로 사용하는 WT의 효율을 개선한 압축방법을 제시하였다. 제안한 방법에 의하여 실험을 수행한 결과 Haar 필터를 이용한 WT가 EZW를 수행할 때 계수 처리 시간이 짧았고, 복호화된 영상에서 원영상과의 PSNR을 비교하였을 때, 다우비치나 안토니니 필터를 사용한 방법보다 효과적으로 영상 압축이 됨을 확인하였다.

제안한 Haar-EZW 방법을 적용하여 실험을 수행하고, 정지영상의 압축방법이었던 DCT를 적용하여 수행한 실험결과와 비교한 결과, 압축률이 높지 않은 1bpp에서는 PSNR의 큰 차이를 나타내지 않았고 압축률 자체는 안토니니 방법보다 높았으나, 0.25bpp에서는 DCT의 복원 영상에서 블록화현상이 심하게 나타나기 시작했다는 것을 알 수 있었고, 그 이상의 압축에서는 제안한 방법이 블록화 현상이 생기지 않아 시각적인 측면에서 우수한 결과를 나타냄을 확인하였다.

### 참고문헌

[1] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol.41, pp.3445-3462, Dec. 1993.  
 [2] Kwak, Chil-Seong Kim, Ki-Moon, "A Method of Quadtree-Based Compression for the Image by Wavelet

Transform", *Journal of KIICE*, vol.12, no.10, pp.1773-1779, 2008.

[3] Piao, Yong-Ri Kim, Seok-Tae, "Multi quantized Image Compression using Wavelet Transform", *Journal of KIICE*, vol.10, no.3, pp.453-458, 2006.  
 [4] J. C. Goswami and A. K. Chan, *Fundamentals of Wavelets : theory, algorithms, and applications*, John Wiley & Son's Inc., 1999.  
 [5] J. W. Lee, Y. I. Kim, G. K. Lee, K. W. Ahn, "Performance Analysis for Compression of Satellite Image Data using the Wavelet Transform", *Journal of KIICE*, vol.6, no.6, pp.980-985, 2002.  
 [6] S. Liapis and G. Tziritas, "Color and texture image retrieval using chromaticity histograms and wavelet frames", *IEEE Trans. Multimedia*, vol.6, pp.676-686, Oct., 2004.  
 [7] D. H. Ju, D. Y. Kim, "Compression efficiency improvement on JPEG2000 still image coding using improved Set Partitioning Sorting Algorithm", *Journal of KIICE*, vol.9, no.5, pp.1025-1030, 2005.  
 [8] R. D Nowak and R. G. Barabiuk, "Wavelet based transformations for nonlinear signal processing", *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol.47, no.7, pp.1852-1865, 1999.

### 저자소개



김장원(Jang-Won Kim)

1992년 2월 명지대학교  
전자공학과 공학석사  
2001년 2월 명지대학교  
전자공학과 공학박사

1993년 3월 ~ 현재 경원대학교 에너지IT학과 교수  
 ※관심분야: 영상통신, 영상 이해 및 인식, 영상 추적, 임베디드 시스템