

# Daubechies Filtering을 이용한 EZW 영상 압축

김장원\*, 송대건\*\*

## Embedded Zerotree Wavelet Image Compression using Daubechies Filtering

Jang-Won Kim\*, Dae-Geon Song\*\*

### 요 약

본 연구에서는 웨이블릿 변환에 기반한 EZW 알고리즘을 적용하여 효율성 있는 영상 압축방법을 제시하였다. 이 방법은 영상을 Daubechies 필터에 의하여 웨이블릿 변환하고 대역간 웨이블릿 계수들의 상관관계를 이용하여 제로트리 부호화하는 EZW 알고리즘을 적용하여 웨이블릿 계수의 크기가 임계값이상이면 POS, NEG 심볼로 분류하고 임계값 이하이면 IZ, ZTR 심볼로 분류하여 주 부호화과정과 종속 부호화과정을 수행하며 임계값을 반으로 줄이면서 부호화과정을 반복하는 영상압축방법이다. 본 연구에서 제시한 방법을 수행하여 영상압축한 결과를 정지영상압축방법에 사용되는 JPEG 알고리즘에 의하여 수행한 영상압축결과와 비교한 결과 본 연구에서 제시한 영상압축결과가 부호화 복호화에서 원하는 비트율로 조절할 수 있고 낮은 비트에서 우수한 PSNR 값을 나타내며 블록현상이 발생하지 않아 JPEG의 영상압축방법보다 우수하다는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

This paper is a study on method that the EZW algorithm is proposed effective compression technique of wavelet transformed image. The EZW algorithm is encoded by zerotree coding technique using self-similarity of wavelet coefficients. If the coefficient is larger than the threshold a POS coded, if the coefficients is smaller than minus the threshold a NEG is coded. If the coefficient is the root of a zerotree than a ZTR is coded and finally, if the coefficient is smaller then the threshold but it is not the root of a zerotree, than an IZ is coded. This process is repeated until all the wavelet coefficients have been encoded completely. This paper was compared to EZW algorithm and a widely available version of JPEG. As the results of compare, it is shown that the PSNR of the EZW algorithm is better than JPEG.

### Key Word

Image Compression, EZW, Daubechies Filtering, Wavelet, Harr Wavelet

---

\* 경원대학교 IT대학 정보통신공학전공(jwkimm@kyungwon.ac.kr)

\*\* 경원대학교 IT대학 전자공학전공(dgsong@kyungwon.ac.kr)

#논문번호 : KIIECT2009-04-11

#접수일자 : 2009.10.29

#최종논문접수일자 : 2009.12.03

I. 서론

WT(Wavelet Transform)에 의해서 다해상도로 분해된 영상은 주파수 대역 별로 상관관계(similarity)를 갖으며, 이를 이용하여 Shapiro는 EZW(embedded zerotree wavelet) 알고리즘으로 정지영상을 압축부호화 하는 방법을 제안하였다.<sup>1,2)</sup> 이 방법은 임의의 임계값(threshold)에 대하여 상위대역의 계수가 중요하지 않다면, 이 대역에 상관관계를 갖는 하위대역의 계수 또한 중요하지 않음을 확률이 높다는 개념을 가지고 4개의 심벌을 사용하여 영상을 부호화한다.<sup>3,4)</sup>

EZW 알고리즘은 JPEG에 비해 PSNR(peak signal to noise ratio)측면에서 우수할 뿐만 아니라 비트단위 처리를 하므로 부호화 및 복호화에서 원하는 비트율에서 언제라도 멈출 수 있는 특징이 있어 정확한 압축률의 조정이 가능하다.<sup>5)</sup>

본 논문에서는 EZW알고리즘에 Harr, Daubechies, Antonini 웨이블릿을 사용하여 웨이블릿변환한 후 영상손실을 실험으로 비교 검증하였으며 그 결과 Daubechies 필터링 방법의 PSNR값이 가장 우수하며 EZW 알고리즘을 적용하기 위해 Daubechies 필터를 사용하는 것이 가장 적합하다는 것을 증명하고자 한다.<sup>6,7)</sup> 또한 정지영상 압축방법인 JPEG와 비교하였을 경우 EZW알고리즘을 이용한 압축방법이 블록화 현상이 발생하지 않으며 우수한 PSNR값을 보임을 확인하고자 한다.

II. Embedded Zerotree Wavelet

EZW란 웨이블릿 분해된 영상의 효율적인 압축방법으로 웨이블릿특성인 대역간 자기상관성에 기초한 연속적인 근사양자화(SAQ : successive approximation quantization)방법을 사용한 부호화 방법이다.<sup>8,9)</sup>

제로트리(zerotree) 부호화 방법은 자기상관성을 이용하여 부호화율을 줄일 수 있고, 웨이블릿 계수들간의 부모-자식(parent-child) 관계를 이용한다. 대역간 웨이블릿 계수들의 상관관계는 그림 1과 같다.<sup>10,11,12)</sup>

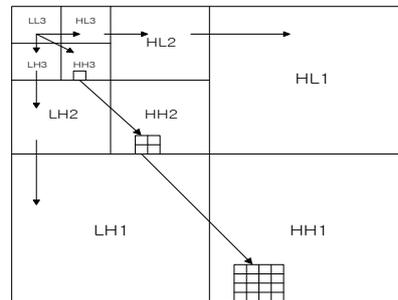


그림 1. 웨이블릿 계수의 상관관계

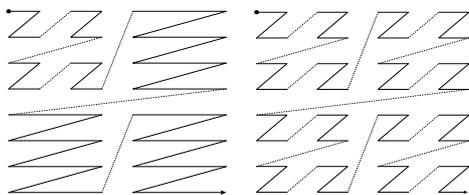
Fig 1. Parent-child dependencies of subbands

영상을 WT하면 부모계수의 값이 클 경우 후손계수들 역시 값이 클 확률이 높으며 이러한 웨이블릿 계수간의 자기상관성을 이용하여 부호화 하는 방법이 제로트리 부호화 방법이다.

### III. 전체 부호화과정

EZW의 주부호화과정에서는 계수의 중요성을 판별하기 위해 POS, NEG, IZ, ZTR 의 4가지 심볼을 사용하고, 종속 부호화과정은 (1, 0)의 2개의 심볼을 사용하며, 주 부호화과정에서 중요하다고 판단된 계수들을 세밀화시키는데 사용된다. 부호화 하려는 계수의 스캔순서는 그림 2와 같다.

주 부호화과정에서 사용된 4개의 심볼은 다음과 같이 가정한다. 주어진 임계값  $T_0$ 에 대하여 웨이블렛 계수의 절대값이  $T_0$ 보다 크고 계수의 부호가 양수이면 POS, 계수의 부호가 음수이면 NEG, 웨이블렛 계수의 절대값이  $T_0$ 보다 작지만 후손계수들 중에는  $T_0$ 보다 큰 값이 존재할 경우에는 IZ, 모든 후손 계수들이 임계값보다 작을 경우에는 ZTR 이라 가정한다. 따라서 현재 부호화 하려는 계수가 POS, NEG 같은 중요계수로 판단된 경우와 IZ로 판단될 경우에는 항상 후손계수들에 대해 4가지 심볼을 다시 적용하여 중요도를 판별한 후 부호화하고, ZTR로 판단될 경우 더 이상 후손계수를 부호화 하지 않는다.<sup>2)</sup>



(a) Raster scan (b) Morton scan

그림 2. 계수의 스캔순서

Fig 2. Scanning order of subbands.

중요계수를 결정하기 위한 최초의 임계값  $T_0$ 는 다음과 같은 조건이 만족되도록 결정한다.<sup>3)</sup>

$$T_0 = 2^{\lfloor \log_2(\max|x_i|) \rfloor} \quad (1)$$

여기서  $x_i$ 는 웨이블렛 계수의 최대값이다.

전체 계수에 대해 각각 4개의 심볼이 결정되면 임계값을 다음과 같이 반으로 낮추고 부호화 과정을 반복한다.

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

위와 같은 방법을 SAQ라고 한다. 즉, 최초의 주 부호화과정과 종속 부호화과정을 거친후 SAQ방법으로 임계값을 반으로 줄인후 주 부호화과정에서 중요계수(POS, NEG)로 판단된 모든 계수를 제외하고 원하는 비트율이 될 때까지 주 부호화과정과 종속 부호화과정을 반복한다.

그림 3은 3레벨 웨이블렛변환된 8×8 영상으로 계수의 스캔순서는 Morton scan을 사용하였다. 먼저 상관관계를 살펴보면 LL3의 계수 63은 HL2의 계수 49, LH2의 계수 15, HH2의 계수 3과 상관관계를 가지며, HL2의 계수 49는 HL1의 계수 7, 13, 3, 4와 상관관계를 가지며 모든 대역에서 위와 같은 상관관계를 갖는다.<sup>12)</sup>

63	-34	49	10	7	13	-12	7
-31	23	14	-13	3	4	6	-1
15	14	3	-12	5	-7	3	9
-9	-7	-14	8	4	-2	3	2
-5	9	-1	47	4	6	-2	2
3	0	-3	2	3	-2	0	4
2	-3	6	-4	3	6	3	6
5	11	5	6	0	3	-4	4

그림 3. 3레벨 웨이블릿 변환된 8×8 영상

Fig 3. Example of 3-scale wavelet transform of an 8×8 image.

Scan 1 :

**단계 1** : 최초임계값은 식 (1)에 의해  $T_0 = 32$ 가 되며 계수값과 비교하며 Morton scan 한다.

**단계 2** : P는 POS, N은 NEG, Z는 IZ을 나타내며, ZTR은 T로 나타낸다. 계수 63은 임계값 32보다 크고 양수이기 때문에 POS 심볼이 생성 고, -34는 절대값이 임계값 32보다 크지만 음수이기 때문에 NEG 심볼이 생성된다. -31은 절대값이 임계값보다 작고 후순계수 14, -9, -14도 임계값보다 작기 때문에 ZTR 이 생성된다. 이런방법으로 스캔을 하여 주 부호화과정을 거치면 그림 4와 같은 결과를 얻는다.

First dominant pass D1
PNTTPTTZTTTTTPTT

**단계 3** : 중요계수로 판단된 계수의 범위는 [32, 64]이고, 계수의 재생값 (reconstruction value)은 범위의 중간값인 48이 되고, 이 범위를 다시 나누어 [48, 64]일 경우는 1심볼이 생성되고, 계수의 세밀화된 재생값은 중간값인 56, [32, 48]일 경우는 0심볼이 생성되고, 세밀화된 재생값은 중간값인 40이 된다.

First subordinate pass S1
1010

**단계 4** : 종속 부호화를 거친 중요계수를 내림차순하면 (64-P, 34-N, 49-P, 47-P)가 (64-P, 49-P, 34-N, 47-P)가 된다.

P <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	P <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	×	×
T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	×	×	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	×	×
T <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	T <sub>15</sub>	P <sub>16</sub>	×	×	×	×
×	×	T <sub>17</sub>	T <sub>18</sub>	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×

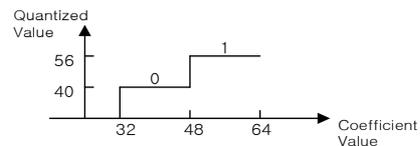


그림 4. Scan 1의 부호화 결과  
Fig 4. The output of the encoder after the Scan 1.

×	×	×	T <sub>3</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	×	×
N <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>16</sub>	T <sub>17</sub>	×	×
T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	×	×	×	×
T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×

그림 5. Scan 2의 부호화 결과  
Fig 5. The output of the encoder after the Scan 2.

Scan1의 방법과 동일하게  $T_1 = T_0/2 = 16$  일 때 scan2와  $T_2 = T_1/2 = 8$  일 때 scan3을 수행하면 그 부호화 결과는 다음 그림 5와 그림 6과 같으며 최종 부호화 결과는 표 1과 같다.

×	×	×	P <sub>1</sub>	T <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	N <sub>16</sub>	T <sub>17</sub>
×	×	P <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	T <sub>18</sub>	T <sub>19</sub>
P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	T <sub>8</sub>	N <sub>9</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>
N <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	N <sub>10</sub>	P <sub>11</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>23</sub>	T <sub>26</sub>	T <sub>27</sub>
T <sub>28</sub>	P <sub>29</sub>	T <sub>32</sub>	×	×	×	T <sub>39</sub>	T <sub>40</sub>
T <sub>30</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>33</sub>	T <sub>34</sub>	×	×	T <sub>41</sub>	T <sub>42</sub>
T <sub>35</sub>	T <sub>36</sub>	×	×	T <sub>43</sub>	T <sub>44</sub>	T <sub>47</sub>	T <sub>48</sub>
T <sub>37</sub>	P <sub>38</sub>	×	×	T <sub>45</sub>	T <sub>46</sub>	T <sub>49</sub>	T <sub>50</sub>

그림 6. Scan 3의 부호화 결과  
Fig 6. The output of the encoder after the Scan 3.

표 1. 부호화의 최종결과

Table 1. The Output of the Encoder after the third scan.

32	Header
PNTTPTTZTTTTTTTTPTT / 1010	D1/S1
NPTTTTTTTTTTTTTTTTT / 100110	D2/S2
PPNPPNTTNNPTPTTNTTTTTTTTTT TTTTTTTTTTTTTPTTTTTTTTTTTTT / 10101101111011011000	D3/S3

다음은 복호화하는 과정이다. 부호화된 최종정보를 통해 최초임계값이 32라는 것을 알 수 있고 주 부호화된 심볼, 중속 부호화된 심볼을 가지고 계수값을 세밀화 시켜나간다.

첫 번째 단계의 심볼정보를 일렬로 정렬하면 다음과 같다.

P	N	T	T	P	T	T	Z	T	T	T	T	T	T	P	T	T
1	0			1												0

P심볼은 POS이고 계수값이 양수임을 알 수 있고 계수의 범위는  $[T_0, 2 \times T_0)$ 이 기 때문에 [32, 64)가 되고 범위를 세밀화시켜 [32, 48)일 때는 0심볼이 되며 재생값은 40이 되고 [48, 64)일 때는 1심볼이 되며 재생값은 56이된다. 따라서 첫 번째 계수는 P와 1심볼에 의해 계수값은 양수이고 재생된값은 56이라는 것을 알 수 있으며 N과 0심볼은 계수값이 음수이고 재생된 값은 -40이라는 것을 알 수 있다. T는 재생값이 0이된다. 위와 같은 과정을 거치면 그림 7과 같은 결과를 얻는다.

56	-40	56	0	0	0	×	×
0	0	×	×	0	0	×	×
0	0	0	0	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	0	40	×	×	×	×
×	×	0	0	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×

그림 7. D1, S1의 복호화 결과

Fig 7. The output of the decoder after the D1, S1.

62	-34	50	10	0	10	-14	0
-30	22	14	-14	0	0	0	0
14	14	0	-10	0	0	0	10
-14	0	-14	14	0	0	0	0
0	10	0	46	×	×	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	×	×	0	0	0	0
0	10	×	×	0	0	0	0

그림 9. D3, S3의 복호화 결과

Fig 9. The output of the decoder after the D3, S3.

두 번째 정보를 이용한 복호화과정은 첫 번째 과정과 일하게 반복하면 그림 8과 같은 결과를 얻는다.

60	-36	52	0	0	0	×	×
-28	20	0	0	0	0	×	×
0	0	0	0	×	×	×	×
0	0	0	0	×	×	×	×
×	×	×	44	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×

그림 8. D2, S2의 복호화 결과

Fig 8. The output of the decoder after the D2, S2.

마지막으로 세번째 정보를 가지고 계수값을 세밀화 시키면 그림 9와 같은 최종 복호화된 계수값을 얻게 된다.

#### IV. 실험 및 고찰

본 연구에서는 EZW 알고리즘의 성능을 시험하기 위해 256그레이레벨 영상인 512×512 크기의 Lenna 영상을 사용하였으며, 이 영상을 5레벨 웨이블릿변환하여 16개의 대역으로 분할한 후 EZW알고리즘을 적용하였다. 그림 10은 5레벨 웨이블릿변환된 결과영상이다.

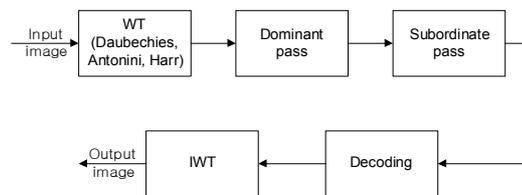


그림 10. EZW알고리즘 구성도  
Fig 10. Block diagram of EZW algorithm.

실험영상은 부호화과정후 복호화과정까지 수행하여 제시한 방법이 제대로 복호화가 가능한지 확인하였다. EZW를

적용한 영상의 손실을 측정하기 위해서 PSNR을 사용하였으며, 이때 PSNR은 식 (3)과 같다.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{255^2}{MSE}\right)[dB] \quad (3)$$

여기서 MSE는 원래의 영상과 복원된 영상의 화소값간의 평균자승오차이다.

본 연구에서는 웨이블릿 필터의 성능 비교를 위해 Daubechies, Antonini, Harr 웨이블릿을 이용하여 웨이블릿변환한 후 각각 Shapiro가 제시한 EZW알고리즘을 적용하여 PSNR값을 비교하였다. 그림 11은 5레벨 웨이블릿변환된 결과영상이며 표 2는 Lenna영상을 가지고 실험한 결과값을 나타내었다. 표 2에서 보듯이 Lenna영상을 1bpp(bits/pixel)로 압축한 경우 각각의 PSNR은 Daubechies 필터를 이용하여 웨이블릿변환한 경우 39.55dB을 얻었으며 Antonini 필터를 이용하여 웨이블릿변환한 경우는 34.17dB, Harr 웨이블릿변환한 경우는 32.25dB을 얻었다. 낮은 비트인 0.125bpp에서도 Daubechies 필터를 이용한 경우 30.23dB, Antonini 필터를 이용한 경우 26.63dB, Harr 웨이블릿을 이용한 경우 24.15dB을 얻었으며 실험 결과에서 보듯이 Daubechies필터를 이용한 경우에 가장 우수한 PSNR 값을 얻을 수 있었다.

표 2. Lenna 영상의 실험결과  
Table 2. Coding results of Lenna image.

byte	bpp	Compression	PSNR[dB]		
			Daubechies	Antonini	Harr
32768	1.0	8:1	39.55	34.17	32.25
16384	0.5	16:1	36.28	31.68	30.02
8192	0.25	32:1	33.17	29.17	28.09
4096	0.125	64:1	30.23	26.63	24.15



(a) Lenna 영상 (b) 5레벨 WT 영상

그림 11. 5레벨 웨이블릿 변환영상  
Fig 11. 5Level wavelet transform image.



(a) Lenna 영상 (b) Daubechies



(c)Antonini (d) Harr

그림 12. 1bpp일 때 결과 영상  
Fig 12. Results image of 1bpp.

그림 12는 1bpp에서의 실험결과 영상이다. 그림에서 보듯이 원영상과 비교하였을 경우 Daubechies 필터를 사용한 영상이 경계부분과 해상도면에서 원영상과 가장 일치함을 확인할 수 있었다.

또한 정지영상 압축방법인 JPEG알고리즘과 EZW알고리즘을 비교한 실험결과 값을 표 3에 나타내었다. 표 3에서 보듯이 PSNR 값이 1bpp일 때 1.23dB, 0.5bpp일 때 1.03dB, 0.25bpp일 때 1.49dB 차이를 나타내며 0.25bpp일 때 결과영상을 그림 13에 나타내었다. 그림에서 보듯이 EZW알고리즘을 사용한 압축방법이 JPEG방법보다 낮은 비트에서 블록화 현상이 생기지 않으며 PSNR면에서도 우수하다는것을 확인할 수 있었다.

표 3. EZW와 JPEG의 성능비교  
Table 3. Comparison of EZW and JPEG.

byte	bpp	Compression	PSNR[dB]	
			EZW	JPEG
32768	1.0	8:1	39.55	38.32
16384	0.5	16:1	36.28	35.25
8192	0.25	32:1	33.17	31.68



(a)Lenna 영상



(b) EZW

(c) JPEG

그림 13. 0.25bpp일 때 결과 영상  
Fig. 13. Results image of 0.25bpp.

## V. 결론

본 연구에서는 Daubechies 필터에 의해 웨이블릿변환한 후 EZW알고리즘을 적용한 효율성있는 영상압축방법을 제시하였다.

제시한 방법에 의하여 실험을 수행한 결과 Daubechies필터를 이용한 경우가 Antonini 및 Harr필터를 이용한 경우보다 영상압축의 PSNR값이 우수하다는 것을 확인하였다.

또한 본 연구에서 제시한 영상압축방법을 적용하여 수행한 실험결과를 JPEG영상압축방법을 적용하여 수행한 실험결과와 비교할 때 1bpp일 때 1.23dB, 0.5bpp일 때 1.03dB, 0.25bpp일 때 1.49dB의 차이를 나타내었으며 비트 단위처리에 의하여 부호화 및 복호화에

서 원하는 비트율을 조절할 수 있어 고 압축률과 고화질로 발전가능하기 때문에 기존 DCT를 기반으로 하는 영상압축방법을 대체할 수 있다. 또한 낮은 비트율에서 우수한 영상압축의 PSNR값을 얻었으며, 블록현상이 발생하지 않아 성능이 뛰어난 것을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [2] S. Dippel, M. stahl, R. Wiemker, and T. Blaffert, "Multiscale Contrast Enhancement for Radiographies: Laplacian Pyramid versus Fast Wavelet Transform", IEEE Transactions on medical imaging, vol. 21, no. 4, p.343-353, 2002.
- [3] C. S. Burrus, R .A. Gopinath, and H. Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Addison-Wesley, 1997.
- [4] 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.
- [5] C. Valens, *A Really Frinedly Guide to Wavelet*, Addison-Wesley, 1999.
- [6] J. C. Goswami and A. K. Chan, *Fundamentals of Wavelets : theory, algorithms, and applications*, John Wiley & Son's Inc., 1999.
- [7] G. Strang and T. Nguyen, *Wavelets and Filter Banks*, Wellesley Cambridge Press., 1999.
- [8] M. Antonini and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transform", IEEE Trans. on Image Process., vol. 1, no. 2, pp. 205-220, 1992.
- [9] T. L. Chew, R. Cao, and S. Peiyi, "Restoration of archival documents using a wavelet technique," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, no. 10, pp. 1399-1404 , Oct. 2002.
- [10] A. Averbuch, D. Lazar, and M. Israeli, "Image Compression using Wavelet Transform and multiresolution decomposition", IEEE Trans. on Image Process., vol. 5, no. 1, pp. 4-15, 1997.
- [11] R. D Nowak and R. G. Barabiuk, "Wavelet based transformations for nonlinear signal processing", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 47, no. 7, pp. 1852-1865, 1999.
- [12] D. Zheng, J. Wang and Z. Xiao, "Image enhancement based on local standard deviation," *Journal of Information & Computational Science*, Vol. 2, no. 2, pp. 429-437, 2005.

---

저자약력

---

김장원(Jang Won Kim)



1991년 명지대학교  
전자공학과 공학사  
1993년 명지대학교  
전자공학과 공학석사  
2001년 명지대학교  
전자공학과 공학박사  
현 재 경원대학교 IT대학  
정보통신공학전공교수

<관심분야> 영상 압축과 인식 및 이해,  
영상 통신, 임베디드 시스템

송대건(Dae Geon Song)



1981년 경희대학교  
전자공학과 공학사  
1988년 일본 와세다대학교  
정보공학과 공학석사  
1998년 경희대학교  
전자공학과 박사수료  
현 재 경원대학교 IT대학  
전자공학전공교수

<관심분야> 정보보안 신호처리, 영상처리,  
임베디드시스템 설계