

# Wavelet coefficients의 quad-tree를 이용한 이미지 압축

## Image coding using quad-tree of wavelet coefficients

김성탁, 추형석, 이태호, 전희성, 안종구

Sung Tak Kim, Hyung Suk Chu, Tae Ho Lee, Hee Sung Jun, Chong Koo An

울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

School of Electrical, Electronics and Automation Engineering,

University of Ulsan

e-mail : ckan@uou.ulsan.ac.kr

### ABSTRACT

wavelet transform has specific properties for image coding. The property used at this paper is clustering of significant coefficients across subband. These coefficients are classified in significant coefficient and insignificant coefficient on a threshold value, and symbolized EZW decreases symbol-position information using zero-trees, but threshold value fall for raising resolution, then coding cost of significant coefficients is expensive. To avoid this fact, this paper uses quad-tree representing coefficient-position information. a magnitude of significant coefficient is represented on matrix used at EZW. the proposed algorithm is hoped for raising a coding cost.

### I. 서론

웨이블릿 변환(Wavelet Transform)은 기저함수의 스케일(scale)을 변화시켜 기저함수의 길이

가 가변적인 특성을 가지도록 함으로 시간영역 또는 주파수영역에서 함수의 분해능을 바꿀 수 있도록 하는 변환법을 일컫는다. 웨이블릿 변환은 시간-주파수 국소성(spatial-frequency localization), 에너지 집중성(energy compaction), 중요계수들의 군집성(clustering of significant coefficients), 그리고 서브밴드(subband)간의 계수크기의 쇠퇴성(decay of magnitude of wavelet coefficients across subbands) 등의 장점이 있기 때문에 이미지 압축에 많이 이용되고 있다. 위의 특징 중에서 서브밴드간의 계수의 쇠퇴성을 이용한 EZW의 경우는 POS(Positive Significant), NES(Negative Significant), IZ(Isolated Zero), ZTR(Zero-Tree Root), Z(Zero)의 symbol을 사용하여 중요계수들(significant coefficients)의 위치정보를 나타내었다. 그런데 EZW의 경우는 ZTR(Zero-tree Root)가 많이 나타나야 코딩효율이 좋은데 해상도를 높이기 위해 임계값(threshold value)을 낮게 하면, ZTR이 많이 나타나지 않아 코딩 효율이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 제안한 알고리즘에선 이런 중요계수의 위치정보를 이미지의 분할정보를 나타내는

† 이 논문은 1999년도 정보통신부 지원 정보통신분야 우수지원사업 지원금에 의하여 연구되었음.

quad-tree를 변형하여 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 웨이블릿을 이용한 영상의 분리 및 복원, 3절에선 제안한 알고리즘인 quad-tree를 이용한 이미지압축, 4절에서 실험 및 결과, 마지막으로 5절에서 결론과 앞으로 연구할 내용으로 끝을 맺었다.

## II. 웨이블릿을 이용한 영상의 분리 및 복원

이미지에 대해 웨이블릿변환을 수행하는 과정은 다운 샘플링(down-sampling)과 필터뱅크(filter bank)로 구성되어 있고, 복원하는 과정은 업 샘플링(up-sampling)과 필터뱅크로 구성되어 있다. 사용하는 직교 쌍교성 필터(biorthogonal filter)는 아래의 식을 만족해야 한다.  $H_0$ 는 신호의 분리를 위한 저역통과 필터,  $H_1$ 는 신호의 분리를 위한 대역통과 필터,  $G_0$ 는 신호의 합성을 위한 저역통과 필터, 그리고  $G_1$ 은 신호의 합성을 위한 대역통과 필터이다. 이런 직교 쌍교성 필터(biorthogonal filter)는 아래의 식(1)[3]을 만족해야 한다.

$$H_0(w)G_0(w) + H_1(w)G_0(w) = 1$$

$$h_1(n) = (-1)^{n-1}g_0(1-n) \tag{1}$$

$$g_1(n) = (-1)^{n-1}h_1(-1-n)$$

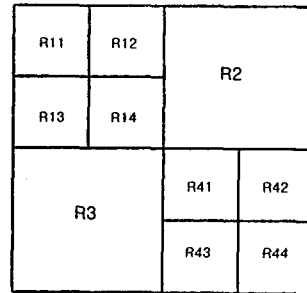
## III. quad-tree를 이용한 wavelet coefficients coding 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 quad-tree정보를 구하는 것을 변형하여 주어진 임계값(threshold value)에서 중요계수(significant coefficient)의 위치를 구하고, EZW[4]에서 제안한 방법으로 significant coefficient의 절대값을 결정, 그리고 부호를 결정하게 된다.

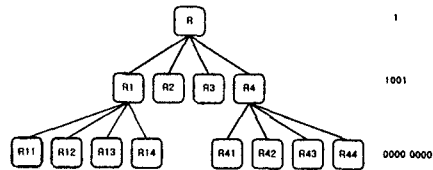
### III-1. significant coefficients의 위치정보 추출

제안한 알고리즘에서 중요계수들(significant coefficient)의 위치정보를 나타내기 위해 사용하

는 quad-tree[5]는 이미지 분석법의 하나인 영역방향성 세그먼트기법중에서 이미지를 분할(split)할 때, 분할 정보를 나타내는 것이라 볼 수 있다. 그림 1에 간단한 이미지분할에 대한 quad-tree를 나타내었다.



(a) 분할된 이미지



(b) 상응하는 quad-tree

### 그림 1. 분할 이미지와 quad-tree 표현

그림 1에서 quad-tree 정보를 bit-stream으로 나타내면 1 1001 0000 0000으로 나타낼 수 있다. 1은 분할이 가능함을 0은, 더 이상 분할이 불가능함을 나타낸다. 이와 같은 quad-tree를 사용하여 significant coefficient의 위치를 나타내는 정보로 바꿀 수 있다. 이미지를 분할하는 조건은 분할 시 significant coefficient가 있으면 분할하고 없으면 분할하지 않았다. 이런 사실을 이용하여 위치정보를 나타내기 위해 본 논문에선 S(split), N(non-split), 그리고 C(significant coefficient)라는 심벌(symbol)을 사용하였다.

### III-2. significant coefficients의 값 결정

여기서 설명할, 계수들의 값을 결정하는 방법은 EZW[4]에서 소개한 것과 같다. 간단히 설명

하면, 어떤 임계값(T)의 범위에 들어가는 계수의 값을 결정하는 것인데 이때 임계값을 T라고 하면 T와 2T사이에 있는 계수들을 significant coefficient라 두고, 이 계수가 2T와 (2T+T)/2 사이에 있으면 1, (2T+T)/2에서 T 사이에 있으면 0이라 둔다. 이렇게 구한 비트-스트림(bit-stream)을 가지고 decoder에선 매트릭스(matrix)를 구성하여 업데이트 된 인터벌(interval)과 비교해서 값을 결정하는 것이다. 이런 방법으로 계수의 값을 결정하게 되면 임계값을 낮출수록 복원값이 압축전의 값과 가까워져서 해상도가 높아진다. 그리고 마지막으로 부호비트(sign-bit)를 보내면 값을 결정할 수 있다. 결과를 보면 임계값 T를 낮출수록 압축전 값과 가까워짐을 알 수 있다. 앞의 예와 같이 이미지에 대해서도 같은 방법으로 수행 한다. 코딩은 adaptive arithmetic coding[6]을 하였다. 그리고 효율을 조사하기 위해 bit-rate와 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 조사하였다. PSNR은 왜곡의 정도를 표시하고 식(2)와 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{D} \quad (2)$$

여기서 D는 원래 영상과 압축 복원한 영상간의 MSE(Mean Squared Error)를 의미하며, 255는 화소의 최대값이다.

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서 수행한 실험의 목적은 웨이블릿 변환으로 얻어진 계수들을 보다 효율적으로 압축 하는데 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 EZW의 알고리즘과는 significant coefficients의 위치정보를 나타내는 방법만 다르고 나머지는 같다. EZW의 경우는 significant coefficients의 위치 정보를 Zero-tree라는 symbol을 이용하여 코딩효율을 높였지만, EZW의 경우는 해상도를 높이기 위해 threshold값을 내리면 Zero-tree구조가 효율이 떨어지는 현상이 있다. 그래서 본 논문에선 그런 현상을 피하기 위해서 quad-tree로 나타내었다. 실험에선 크기

가 512×512 크기의 gray level 이미자인 "LENA"이미지와 "BARBARA"이미지를 사용하여 실험을 하였다. 여기서 "LENA"이미지는 일반적으로 고주파성분이 적은 이미지에 속하고, "BARBARA"이미지는 고주파성분이 많은 이미지에 속한다. 이산 웨이블릿 변환에서 사용한 필터뱅크(h<sub>0</sub>, h<sub>1</sub>, g<sub>0</sub> 그리고 g<sub>1</sub>)는 정규 쌍직교 필터(biorthogonal filter)이다. 이러한 특징을 가지는 필터뱅크를 가지고 스케일 레벨 6의 이산 웨이블릿 변환을 수행하였다. 이렇게 구한 계수를 가지고 threshold값을 변화시키면서 압축을 수행한다. 압축 시 필요한 정보는 significant coefficient의 위치를 나타내는 quad-tree정보, significant coefficient의 크기를 나타내는 정보, 그리고 significant coefficient의 sign을 나타내는 정보가 필요하다. 그리고 코딩은 adaptive arithmetic coding으로 수행하였다.

실험은 threshold 값을 2<sup>13</sup>에서 2<sup>5</sup>까지 변화를 시키면서 각각의 threshold 값에서의 bit-rate 와 PSNR을 조사하였다.

표 1과 2에 "LENA", "BARBARA"이미지에 대한 실험결과를 나타내었다

bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR
0.00057	9.43	0.00401	17.92	0.0332	25.69
0.00125	14.71	0.00803	20.33	0.0686	28.79
0.00202	16.20	0.0164	22.82	0.1371	32.10

표 1. "LENA"이미지에 대한 bit-rate 와 PSNR

bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR
0.00052	8.99	0.00340	18.31	0.0290	22.90
0.00130	16.02	0.00630	19.87	0.0870	26.08
0.00200	16.64	0.0130	21.40	0.2120	30.04

표 2. "BARBARA"이미지에 대한 bit-rate 와 PSNR

위의 결과를 보면 제안한 알고리즘의 경우는 고주파 성분이 많은 "Barbara" image에 대해선 EZW에 비해 그 압축효율이 높으나, 고주파성분이 상대적으로 적은 "Lena" image에 대해선 그 효율이 떨어짐을 볼 수 있다. 이러한 결과가 나온 것은 고주파성분이 많은 "Barbara" image 같은 경우는 해상도를 높이기 위해 threshold값을 낮게 하면 subband에 significant coefficient들이 많이 생기게 되므로 zero-tree구조가 적게 나타나기 때문이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 수행한 계수를 코딩할 때 기존의 EZW가 가지고 있는 단점, 즉 해상도를 높이기 위해 threshold값을 낮게 할 경우 zero-tree구조가 잘 생기지 않아 significant coefficients의 위치를 나타내기 위해 필요 없는 zero를 많이 코딩해야 한다는 점을 보완하고자 실험을 수행하였다. EZW에선 Zero-tree를 본 논문에서는 quad-tree를 사용하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 subband에 계수가 많이 위치하고 있을 때 그 효과가 좋지만, 그렇지 않을 경우는 EZW에 비해 압축효율이 높을 때 그 효율이 떨어짐을 알 수 있다. 하지만 threshold값을 낮추어서 해상도를 높이면 압축효율이 좋아짐을 알 수 있었다. 여기서 더 좋은 효과를 얻으려면 계수의 크기를 결정하는 방법을 더 연구해서 나타내면 효율을 많이 높일 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로, 벡터양자화방법[7][8]으로 코딩 할 때와는 달리 코드북(code book)을 훈련(training)시킬 필요가 없고, 코드북(code book)을 훈련시킨 테스트 이미지와 성질이 다른 이미지를 압축 시 오차가 증가하는 것을 방지할 수 있다. 그리고 웨이블릿은 실시간 처리에 아주 좋은 특징이 있으므로 정지영상뿐만 아니라 동영상에도 적용하면 아주 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] Y. Meyer, "Wavelets: Algorithm and Applications," Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1993, pp. 13-31, 101-105.
- [2] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [3] Robin N. Strickland, Hee II Hahn, "Wavelet Transform Methods for Object Detection and Recovery," IEEE Trans. image processing, vol. 6, no. 5, pp. 725, May, 1997.
- [4] Jerome M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," IEEE trans. signal processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, December 1993.
- [5] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [6] I. H. Witten, R. Neal, and J. G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," Comm. ACM, vol. 30, pp. 520-540, June 1987.
- [7] R. Gray, "Vector Quantization," IEEE ASSP Mag., pp. 4-29, Apr. 1984.
- [8] P. Cosman, R. Gray and M. Vetterli, "Vector Quantization of Image Subbands: A Survey," Ieee Trans. image processing, vol. 5, no. 2, Feb. 1996.