

---

# 웨이브렛 변환 영상에 대한 쿼드트리 기반 압축 방법

곽칠성\* · 김기문\*

## A Method of Quadtree-Based Compression for the Image by Wavelet Transform

Chil-seong Kwak\* · Ki-moon Kim\*

### 요 약

다양한 정보 중에서 인간에게 가장 큰 영향을 미치는 영상 정보를 디지털 형태로 전송하기 위해서는 압축이 필수적이다. 최근 들어 영상 압축을 위해, 웨이브렛 변환된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 것에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환된 디지털 영상에 픽셀간의 상관도와 '0' 정보를 모아 효과적으로 압축할 수 있는 양자화 기법인 쿼드트리 기반 블록 양자화를 적용하여 영상을 압축하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에 대하여, 실험영상으로  $256 \times 256$  크기의 8[bit] 흑백영상을 이용하고, DCT 압축기법과 비교하여 제안된 방법의 성능을 평가한다.

### ABSTRACT

Images play the most important role in human perception. In order to send the image information by the digital type, the compression is essential. Recently, a lot of studies on encoding algorithms for images by wavelet transform are going on. In this paper, a quadtree-based method of image compression applied to the images decomposed by wavelet transform by using the correlations between pixels and '0' data grouping is proposed. For the proposed method, the experimental gray image with  $256 \times 256$  size and 8[bit], is used. And, the performance of proposed method is evaluated to compare with DCT compression method.

### 키워드

digital image compression, wavelet transform, quantization, encoding

## I. 서 론

디지털 영상 신호처리는 런던과 뉴욕사이의 사진전송에 처음 사용된 이후로, 정보통신 분야에서 핵심적인 역할을 하는 것은 물론이며, 의료 및 우주항공에 이르기까지 다양한 분야에 이용되고 있다[1].

영상신호를 디지털 형태로 전송하거나 저장해야 하는 경우에 전송속도, 전송량 및 에너지 절감 등의 이유로

그 영상을 반드시 압축해야만 한다.

전통적인 영상압축(image compression) 기법은 영상 안에 존재하는 통계적인 여분(statistical redundancy)을 제거하여 수행된다. 이러한 통계적 접근법의 예로, DCT, DPCM, 그리고 부대역(subband) 영상의 엔트로피 부호화(entropy coding) 등이 있다. 여분을 제거하는 것만으로는 압축할 수 있는 양이 제한된다. 더 높은 압축율을 얻기 위해서는, 여분이 아닌 정보의 일부분도 제거되어야만 한다. 하지만, 통계적 부호기가 이러한 손실압축 모드

(loss compression mode)로 동작하면, 바람직하지 않은 시각상의 화질저하를 가져온다. 왜냐하면, 영상에서 시각적으로 중요한 특징 모서리(feature edges)와 같은 성분에 오차가 발생하기 때문이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 인간의 시각 시스템과 유사한 영상분해 방법인, 웨이브렛 변환(WT, Wavelet Transform)을 이용하면, 원 영상을 몇 개의 부대역 영상(subband image)으로 나눌 수 있고, 각 대역별 중요성을 고려한 손실 압축이 가능해진다. 즉, 인간의 시각에서 상대적으로 덜 민감한 부대역 영상을 제거하여 고압축에서의 화질 저하 문제를 어느 정도 해결할 수 있다.

인간의 시각 시스템에 관한 연구에 의하면, 인간의 눈은 영상 정보를 다수개의 대역으로 여파(filter)한다는 것이 알려져 있다[2]. 이 대역들 각각의 주파수 폭은 거의 한 옥타브(one octave)정도이다. 더욱이, 공간 영역(spatial domain)에서, 영상은 다수의 상이한 축척(scales)의 정보로 이루어진다고 간주된다. 이러한 사실을 근거로 하여, Marr는 영상 안에서의 명암도(intensity) 변화를 야기하는 물리현상은 공간적으로 지역화(localization)된다는 제약조건에 대한 공식(formula)을 유도하였다[2].

이처럼 인간의 시각시스템과 유사하며 영상의 주파수 정보와 공간 정보를 동시에 제공하는 웨이브렛 변환은 영상압축에 매우 효과적임이 잘 알려져 있고, 최근 들어 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[3]. Antonini 등은 변환계수 부호화에 벡터 양자화를 적용하는 기법을 소개하였고[4], R. de Queiroz는 웨이브렛 변환 후, 계수들을 JPEG 포맷으로 변환하고 스칼라 양자화를 적용하는 방법을 제안하였다[5]. 또한, Shapiro에 의해 제안된 EZW(Embedded Zerotree Wavelet transform)방법[6]과 Said와 Pearlman에 의해 제안된 SPIHT방법[7]은, 부호화하기 위해 구조화된 계수 집합인 제로트리(zerotree)를 사용하여 중요하지 않은 웨이브렛 계수들이 주파수 대역간에 갖고 있는 상관성을 이용하여 매우 우수한 압축성능을 보였으나, 스캔 및 부호화 과정에서 연산량의 증가로 이를 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다[8].

쿼드트리 분해(quadtree decomposition) 알고리즘은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법 중의 하나이다. 쿼드트리 분해는 변환코딩보다 상대적으로 간단하고, 분해된 결과가, 다양한 해상도의 부대역

영상으로 표현되기 때문에 영상인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 쿼드트리 기반 압축 알고리즘이 DCT와 같은 변환기반 알고리즘보다 압축률이 낮기 때문에, 다양한 방법으로 쿼드트리의 성능개선에 대한 연구가 진행 중이다[9].

본 논문에서는, 웨이브렛 변환된 계수는 스케일간 상관도가 높고, 집중도가 높기 때문에 쿼드트리를 적용할 경우 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있다는 점에 착안하였다. 따라서 웨이브렛 변환을 이용하여 디지털 영상을 분해하고, 쿼드트리 기법을 적용하여 압축효율을 증가하는 방법을 제안한다. 웨이브렛 변환으로 영상을 5레벨 분해한 후, 전체 대역에 쿼드트리 기반 블록양자화(quadtree-based block quantization) 방법을 적용하여 '0'의 위치를 나타내는 128[byte]의 위치정보를 생성하고, 나머지 영이 아닌 데이터들과 이 위치정보를 엔트로피 부호화하여 데이터량을 줄이는 방법을 사용한다. 특히, 대부분의 디지털 영상의 특성상 변환된 웨이브렛 계수는 '0'을 많이 포함하고 있어, 제안한 방법을 이용하면 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있다.

본 논문은 II장에서 제안한 알고리즘에 대하여 구체적으로 설명하고, III장에서는 제안한 알고리즘의 실험 결과를 나타내었고, IV장에서는 결론을 다룬다. 장의 실험영상으로 256 × 256 크기의 8[bit] 흑백 영상을 이용하였고, 동일한 영상에 대해 세 가지 압축기법(DCT 압축, 기존 웨이브렛 압축, 제안한 압축)을 비교 평가하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

## II. 웨이브렛 변환 영상에 대한 쿼드트리 기반 압축

### 2.1 웨이브렛 변환 단계

제안한 압축 시스템은 크게 '웨이브렛 변환', '쿼드트리 기반 블록양자화', '엔트로피 코딩'의 세 단계로 구성된다.

웨이브렛 변환 단계에서는 입력된 디지털 영상을 웨이브렛 변환을 통하여 여러 개의 부대역 영상으로 분해하고, 각 부대역에 대해 인간 시각시스템 특성을 이용한 임계값(threshold) 적용 및 양자화(quantization)를 수행하면 화질 저하 현상을 줄임과 동시에 압축 효율을 개선시

킬 수 있다. 또한, 고주파 잡음이 존재할 경우, 웨이브렛 변환을 통해 영상의 에너지를 저주파 대역에 집중시키고, 고주파 성분이 존재하는 부대역의 정보량을 낮추거나 제거하면 영상의 잡음 제거와 동시에 압축률 향상을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 'DAUB-4' 웨이브렛으로, Mallat의 피라미드 알고리즘[3]을 적용하여 입력된 영상의 5-레벨 웨이브렛 분해를 구현한다. 효율적인 구현을 위해 그림 1과 같은 QMF 변환 행렬과 역변환 행렬을 사용하고, 필터 계수는 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$H = [c_0, c_1, c_2, c_3], \quad (1)$$

$$G = [c_3, -c_2, c_1, -c_0]$$

여기서,  $c_0, c_1, c_2, c_3$  은 다음과 같다.

$$c_0 = (1 + \sqrt{3})/4\sqrt{2} \quad (2)$$

$$c_1 = (3 + \sqrt{3})/4\sqrt{2}$$

$$c_2 = (3 - \sqrt{3})/4\sqrt{2}$$

$$c_3 = (1 - \sqrt{3})/4\sqrt{2}$$

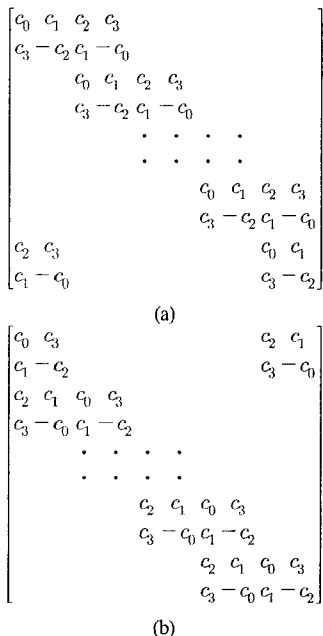


그림 1. QMF 변환 행렬과 역변환 행렬  
(a) 변환 행렬, (b) 역변환 행렬

Fig 1. Transform matrix & inverse transform matrix of QMF  
(a) Transform matrix, (b) Inverse transform matrix

2.2 쿼드트리 기반 블록양자화 단계

쿼드트리 기반 블록양자화 단계는, '임계값(threshold) 적용', '대역별 균일양자화(uniform quantization)', '3-레벨 쿼드트리(3-level quadtree) 구성', '영블록(zero block) 생성'의 4가지 세부단계로 구성된다.

임계값 적용 및 대역별 균일 양자화는 인간 시각시스템과 디지털 영상의 주파수 특성을 이용하여 결정한다. 인간 시각의 방향감응 특성은, 0혹은 90도방향을 가진 신호에 최대 감도를 가지며 그 사이의 감도는 점차 감소하여 45에서 최소가 된다. 즉, 영상의 수평이나 수직성분보다 대각선 성분에 둔감하기 때문에, 상대적으로 대각성분 부대역에 높은 임계값을 적용하거나 양자화 레벨을 낮추면 인간이 느끼는 화질 저하의 정도를 줄일 수 있다.

본 논문에서 사용한 대역별 임계값과 양자화 레벨은 그림 2와 같이 적용하였다.

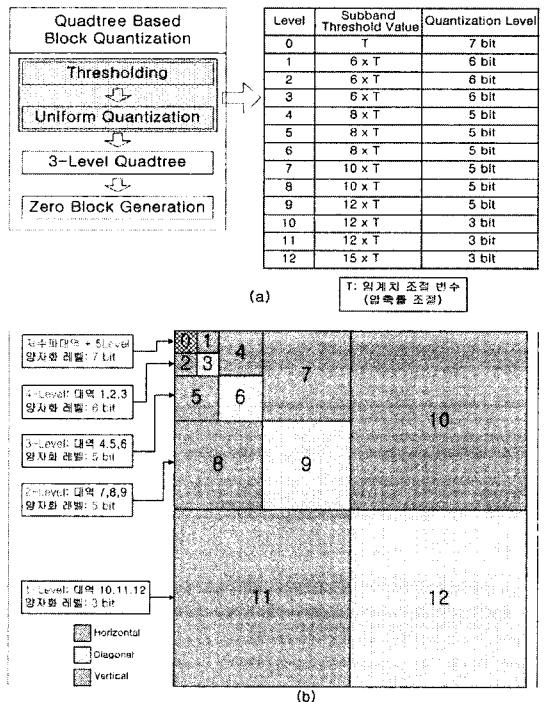


그림 2. 대역별 임계값 및 양자화 레벨 설정  
(a) 대역별 임계값과 양자화 레벨 표, (b) 5-레벨 웨이브렛 분해

Fig 2. Subband threshold value & Quantization level setting  
(a) Subband threshold value & Quantization level table, (b) 5-Level wavelet decomposition

여기서, 임계값 조절변수, 'T'값에 의하여 대역별 임계값이 결정되고, 이 변수를 영상의 압축률 조절에 사용하였다. 3-레벨 쿼드트리 구성에서는, 이웃한 변환계수 4개를 묶어서 1[bit]('0' or '1') 심볼로 표현하고 이 과정을 3번 반복하여 65536(256 × 256)개의 8비트 정보를 1024(32 × 32)개의 1[bit] 정보로 대응시킨다. 심볼할당 방법으로 하위 4개의 계수들이 모두 영이면 '0'을 할당하고 나머지 경우에는 '1'을 할당하는 방식을 사용한다.

영블록 생성 단계에서는, 3-레벨 쿼드트리 구성으로 만들어진 1024개의 1[bit] 심볼들을 그림 4와 같이 8개 단위로 블록을 만들어 1[byte]로 표현하면 128[byte]의 정보가 생성되고, 이 정보는 변환계수들의 영의 위치를 나타내는 영블록 위치정보이다. 영블록 위치정보를 참조하여 영이 아닌 블록들만을 엔트로피 코딩한다면 압축되는 데이터량을 줄일 수 있다. 이는 DCT 변환을 이용한 압축시에 지그재그 스캔(zig-zag scan)과 줄길이 코딩(run length coding)을 통한 '0'의 압축과 유사한 효과를 얻을 수 있다.

그림 3과 그림 4는 각각 2-레벨 쿼드트리 구성 개념도와 수치 예제를 나타낸다.

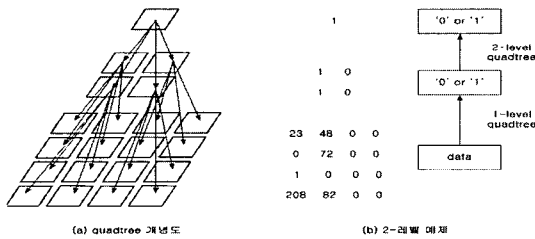


그림 3. 쿼드트리(QT) 개념과 예제

Fig 3. 2-Level quadtree conception and numerical example

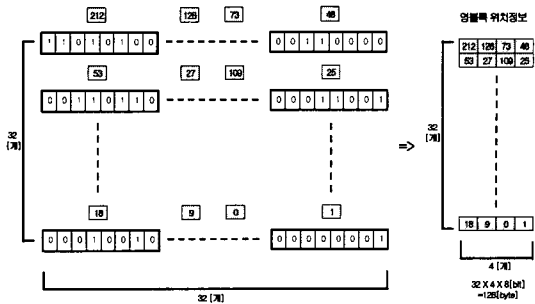


그림 4. '영블록 위치정보' 생성 방법 예제

Fig 4. Generation method example of Zero block position information

### 2.3 엔트로피 코딩(Entropy coding) 단계

마지막 단계인 엔트로피 코딩에서는, 쿼드트리 기반 블록양자화 단계에서 생성된 128[byte]의 영블록 위치정보와 영이 아닌 블록의 데이터 값을 스캔하여 줄길이 코딩과 허프만 코딩을 수행한다.

이처럼 제안한 양자화 방법은 웨이브렛 계수에 영이 많을수록 엔트로피 부호화해야 할 데이터량이 감소하고, 빈도수가 많은 심볼에 낮은 비트할당을 할수록 압축 효율이 높아진다.

## III. 실험 및 평가

본 논문에서 제안한 압축 방법의 평가를 위해 여러 분야에서 사용되는 디지털 카메라로부터 획득한 256 × 256 크기의 8[bit] 디지털 영상을 사용한다. 또한, 영상압축 시스템 성능 비교에 많이 사용되는 'Lena' 영상에 대해서도 함께 비교 평가한다. 복원 영상 성능의 객관적인 평가를 위해 화소당 비트율(bit per pixel, bpp)과 첨두신호 대 잡음비(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)를 사용하였다.

성능 평가에 이용한 3가지 비교 방법은, DCT를 이용한 baseline 압축, 웨이브렛 변환과 엔트로피 코딩을 사용한 압축, 그리고 제안한 압축 방법이다. 각 방법으로 입력 영상을 0.45[bpp] ~ 0.1[bpp]까지 압축한 후, 각 비트율에서의 PSNR를 그래프로 나타내었다. 이때, 사용된 PSNR 계산식[10]은 다음과 같다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{2^n - 1}{SE} \tag{3}$$

여기서, 원 이미지와 재구성된 이미지를  $f$  와  $g$ , 그리고 이미지의 폭(width)과 높이(height)를  $N$ ,  $M$  이라 하면, 식(3)에 사용된 RMSE(Root Mean-Squared Error) [10]는 다음과 같다.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i,j) - g(i,j)]^2} \tag{4}$$

3.1 실험결과의 정량적 평가

그림 5는 '01', '02', '03', 'Lena' 실험 영상의 압축률을 비교한 그래프이다. 각 영상에 대해 3가지 압축 기법을 적용하여 0.3[**bpp**] ~ 0.1[**bpp**]까지 압축한 후, 각 압축 결과를 **bpp vs. PSNR**을 기준으로 나타내었다.

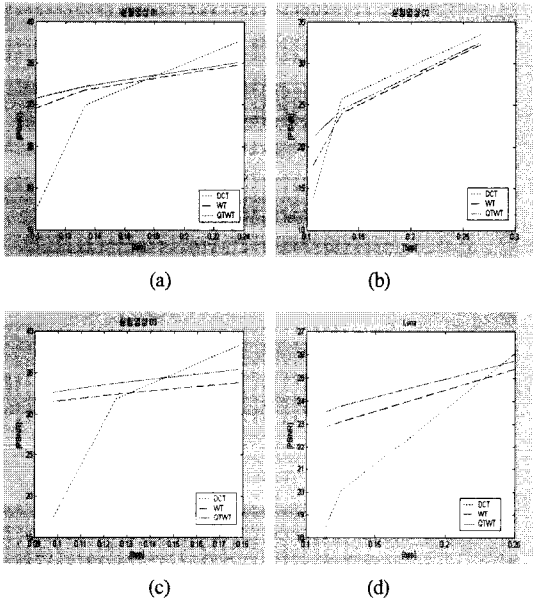


그림 5. 압축기법에 따른 디지털 영상의 압축률 비교  
(a)'01' **bpp vs. PSNR**, (b)'02' **bpp vs. PSNR**, (c)'03' **bpp vs. PSNR**, (d)'Lena' **bpp vs. PSNR**

Fig 5. Comparison of the compression ratio according to the compression method

(a)'01' **bpp vs. PSNR**, (b)'02' **bpp vs. PSNR**, (c)'03' **bpp vs. PSNR**, (d)'Lena' **bpp vs. PSNR**

웨이브렛 압축의 경우, QT를 적용한 방법이 적용하지 않은 방법에 비해 모든 비트율에서 약0.4[**dB**] ~ 3.4[**dB**]정도 높은 PSNR을 나타냈고, 비트율이 낮아질수록 PSNR의 차이가 점차 커졌다. DCT 압축과는 0.1[**bpp**]에서 최대 15[**dB**] 이상의 차이를 내기도 했다.

표 1은 각 기법에 대한 디지털 영상의 압축률 결과를 요약 정리한 것이다.

표 1. 실험 영상의 압축률 비교  
Table 1. Comparison of the compression ratio of the test images

영상	압축비	DCT	WT	제안방법
'01' 실험영상	34:1	37.55	34.80	35.09
	60:1	29.94	31.74	32.20
	80:1	17.36	29.59	30.73
'02' 실험영상	30:1	33.53	32.28	32.57
	60:1	25.73	24.03	24.42
	76:1	13.56	17.66	21.09
'03' 실험영상	45:1	38.25	33.84	35.42
	64:1	31.85	32.42	33.78
	82:1	17.16	31.55	32.65
'Lena' 영상	32:1	26.04	25.37	25.72
	64:1	20.03	23.09	23.77
	70:1	18.47	22.87	23.55

이 비교결과를 통해 알 수 있듯이, DCT 압축의 경우, 0.25[**bpp**] 이상의 비트율에서는 30[**dB**] 이상의 비교적 높은 PSNR을 보이고 있지만, 비트율이 낮아지면서 상대적으로 PSNR이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 전체적으로 DCT 기반 압축은 대략 0.15[**bpp**]를 기준으로 웨이브렛 기반 방법들보다 압축성능이 떨어짐을 확인할 수 있다.

3.2 실험결과의 정성적 평가

주관적인 평가를 위해, 표 1과 관련된 결과를 그림 6 부터 그림 9까지 나타내었다. DCT 압축의 경우, 비트율이 0.15[**bpp**]이하에서 모든 실험영상에서 블록킹(blocking) 현상이 두드러지게 나타났고, 비트율이 낮을수록 동일한 비트율에서도 웨이브렛 기반 압축방법들보다 더 큰 화질저하 문제가 발생하였다. 전체적으로 DCT 기반 압축은 대략 0.2[**bpp**]를 기준으로 웨이브렛 기반 방법들보다 압축성능이 크게 떨어짐을 확인할 수 있다.

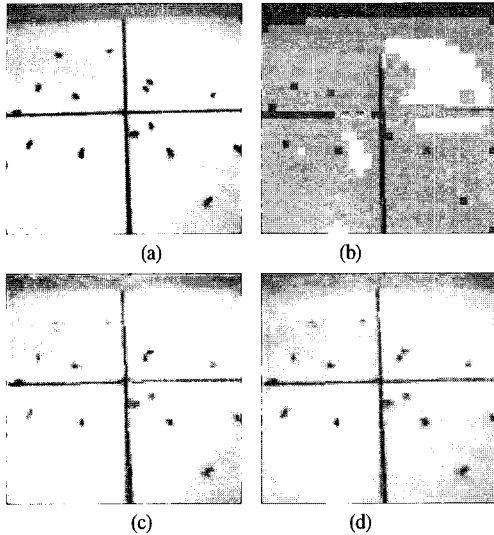


그림 6. '01' 실험 영상, 0.1 [bpp]

(a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=17.36[dB], (c) WT압축, PSNR=29.59[dB], (d) 제안방법, PSNR=30.73[dB]

Fig 6. '01' Test Image, 0.1 [bpp]

(a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR=17.36[dB], (c) WT Compression, PSNR=29.59[dB], (d) Proposed Method, PSNR=30.73[dB]

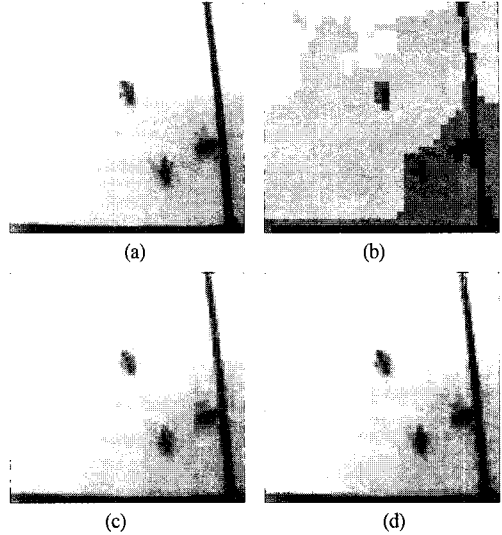


그림 8. '03' 실험 영상, 0.097 [bpp]

(a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=17.16[dB], (c) WT압축, PSNR=31.55[dB], (d) 제안방법, PSNR=32.65[dB]

Fig 8. '03' Test Image, 0.097 [bpp]

(a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR=17.16[dB], (c) WT Compression, PSNR=31.55[dB], (d) Proposed Method, PSNR=32.65[dB]

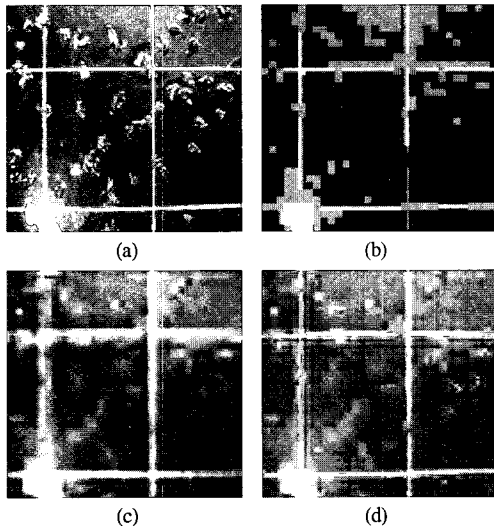


그림 7. '02' 실험 영상, 0.105 [bpp]

(a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=13.56[dB], (c) WT압축, PSNR=17.66[dB], (d) 제안방법, PSNR=21.09[dB]

Fig 7. '02' Test Image, 0.105 [bpp]

(a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR=13.56[dB], (c) WT Compression, PSNR=17.66[dB], (d) Proposed Method, PSNR=21.09[dB]

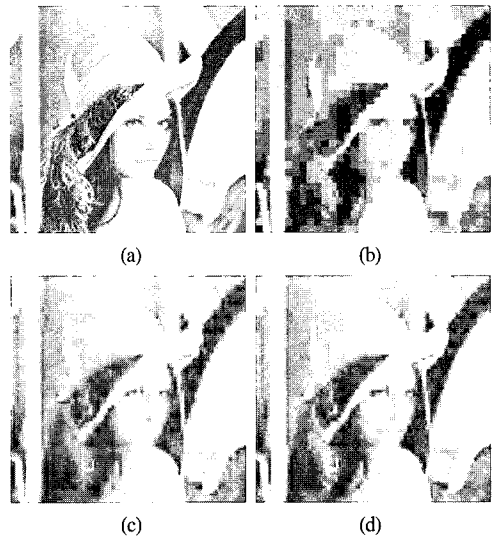


그림 9. 'Lena' 영상, 0.125 [bpp]

(a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=20.03[dB], (c) WT압축, PSNR=23.09[dB], (d) 제안방법, PSNR=23.77[dB]

Fig 9. 'Lena' Image, 0.125 [bpp]

(a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR=20.03[dB], (c) WT Compression, PSNR=23.09[dB], (d) Proposed Method, PSNR=23.77[dB]

#### IV. 결론

본 논문에서는 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에, 픽셀간의 상관도와 '0' 정보를 효과적으로 압축할 수 있는 양자화 기법인 쿼드트리 기반 블록 양자화 방법을 적용하여 영상을 압축하는 방법을 제안하였다. 웨이브렛 계수는 스케일간 상관도와, 에너지 집중도가 높기 때문에 쿼드트리와 블록양자화를 적용하면, 효과적으로 데이터량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

웨이브렛 변환은 인간의 시각 시스템과 유사한 영상 분해 방법으로, 각 대역별 중요성을 고려한 임계값 적용과 양자화 비트할당이 가능하고, 그 결과, 동일한 PSNR에 대해서도 DCT 기반 압축보다 정성적(Qualitative)으로 우수한 화질 성능을 보이고, 압축률 증가에 따른 화질 저하가 적으므로 영상압축 분야에 매우 효과적임을 알 수 있다. 특히, 웨이브렛 변환과 쿼드트리 기반 블록양자화를 함께 사용하면, 0.2[bpp]이상의 고압축 응용에 적합한 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

[ 1 ] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image Processing second edition", Prentice Hall, 2002.

[ 2 ] D. Marr, Vision, New York: Freeman, 1982.

[ 3 ] S.G. 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.

[ 4 ] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding Using wavelet transform", IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, pp. 205-220, Apr 1992.

[ 5 ] R. de Queiroz, C. Choi, Y. Huh, and K.R. Rao, "Wavelet Transforms in a JPEG-like Image Coder", IEEE Trans. on, Circuit and Systems for Video Technology, vol. 7, issue 2. pp. 419-424, Apr 1997.

[ 6 ] J.M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotree of Wavelet Coefficients", IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec 1993.

[ 7 ] A. Said and W.A. Pearlman, "A new, fast, and efficient

image codec based on set partitioning in hierarchical trees", IEEE Trans. on, Circuit and Systems for Video Technology, vol. 6, issue 3, pp. 243-250, June 1996.

[ 8 ] E.S. Kang, T. H. Tanaka, T. H. Lee, and s. J. Ko, "Improved embedded zerotree wavelet coder", IEE Electronics Letters, vol. 35, no. 9, pp. 705-706, Apr 1999.

[ 9 ] E. Shusterman and M. Feder, "Image Compression via Improved Quadtree Decomposition Algorithms", IEEE Trans. on, Image Processing, vol.3, no2, pp. 207-215, March 1994.

[10] E. Yeung, "Image Compression using Wavelets", IEEE CCECE 97, vol. 1, pp. 241-244, May 1997.

#### 저자소개



곽철성(Chil-seong Kwak)

1981.2 광운대학교 응용전자공학과 공학사  
 1986.2 광운대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사  
 2008. 현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정  
 2008. 현재 재능대학 디지털정보전자과 교수 재직  
 ※ 관심분야: 위성통신, 마이크로파 회로해석 및 설계, 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템 설계



김기문(Ki-Moon kim)

건국대학교 통신행정학 박사  
 한국해양정보통신학회 회장 역임  
 한국항만학회 이사 역임  
 한국항해학회 이사 역임  
 국가기술자격제도위원회 전문위원  
 한국해양대학교 공과대학 학장 역임  
 현재 한국해양대학교 공과대학 교수 재직  
 ※ 관심분야: 정보과학·통신행정·전파행정