

# 웨이브렛 변환 영역에서 쿼드트리 기반 적외선 영상 압축

정회원 조창호\*, 이상효\*

## Quadtree Based Infrared Image Compression in Wavelet Transform Domain

Chang-Ho Cho\*, Sang-Hyo Lee\* *Regular Members*

### 요약

영상의 주파수 정보와 공간 정보를 동시에 제공하는 웨이브렛 변환(Wavelet transform)은 영상압축에 매우 효과적임이 밝혀졌고, 최근 들어 웨이브렛 변환 방법으로 다해상도 분해된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 것에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는, 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 적외선 영상에 픽셀간의 상관도와 '0' 정보를 모아 효과적으로 압축할 수 있는 양자화 기법인 쿼드트리 기반 블록 양자화(Quadtree based block quantization)를 적용하여 영상을 압축하는 방법을 제안한다. 웨이브렛 변환된 계수는 스케일간 상관도가 높고, 집중도가 높기 때문에 쿼드트리를 적용할 경우 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있다. 실험영상으로 256×256 크기의 8[bit] 적외선영상을 이용하고, DCT 압축기법과 제안한 기법을 비교 평가한다.

**Key Words :** wavelet transform, quadtree, image compression, infrared image.

### ABSTRACT

The wavelet transform providing both of the frequency and spatial information of an image is proved to be very much effective for the compression of images, and recently lot of studies on coding algorithms for images decomposed by the wavelet transform together with the multi-resolution theory are going on.

This paper proposes a quadtree decomposition method of image compression applied to the images decomposed by wavelet transform by using the correlations between pixels and '0' data grouping. Since the coefficients obtained by the wavelet transform have high correlations between scales and high concentrations, the quadtree method can reduce the data quantity effectively. the experimental infrared image with 256×256 size and 8[bit], was used to compare the performances of the existing and the proposed compression methods.

### 1. 서론

영상압축의 기본은, 영상에 존재하는 통계적 여분을 제거하여 데이터량을 줄이는 것이다. 이와 같은 접근법의 하나로, DCT(Discrete Cosine

Transform) 변환을 통하여 영상의 에너지를 특정 계수에 집중시켜 통계적 여분을 늘리고, 이를 제거하는 변환 부호화 방법이 많이 사용되고 있다. 또한, 여분을 제거하는 것만으로는 압축할 수 있는 양이 제한되기 때문에, 높은 압축을 필요로 하는 분야

\* 광운대학교 제어계측공학과 자동제어응용 연구실(cch486@yahoo.co.kr, sh41lee@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 030471-1027, 접수일자 : 2003년 10월 27일

※이 논문은 2003년 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

에서는, 정보의 일부도 제거하는 손실압축방법을 함께 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같은 방법은 영상의 모서리정보와 같이 시각적으로 중요한 정보의 손실을 초래하여 화질 저하라는 바람직하지 못한 현상을 유발시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 인간의 시각 시스템과 유사한 영상분해 방법인, 웨이브렛 변환(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 둔감한 부대역 영상을 제거하여 고압축에서의 화질 저하 문제를 어느 정도 해결할 수 있다.

이처럼 인간의 시각시스템과 유사하며 영상의 주파수 정보와 공간 정보를 동시에 제공하는 웨이브렛 변환은 영상압축에 매우 효과적임이 잘 알려져 있고<sup>[1]</sup>, 최근 들어 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Antonini 등은 변환계수 부호화에 벡터 양자화를 적용하는 기법을 소개하였고<sup>[2]</sup>, R. de Queiroz는 웨이브렛 변환 후, 계수들을 JPEG 포맷으로 변환하고 스칼라 양자화를 적용하는 방법을 제안하였다<sup>[3]</sup>. 또한, Shapiro에 의해 제안된 EZW(Embedded Zerotree Wavelet transform)방법<sup>[4]</sup>과 Said와 Pearlman에 의해 제안된 SPIHT방법<sup>[5]</sup>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<sup>[6]</sup>.

쿼드트리 분해(Quadtree decomposition) 알고리즘은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법중의 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<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는, 웨이브렛 변환을 이용하여 적외선 영상을 분해하고, 쿼드트리 기법을 적용하여 압축효율을 증가하는 방법을 제안한다. 웨이브렛 변환

으로 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, 적외선 영상의 특성상 변환된 웨이브렛 계수는 '0'을 많이 포함하고 있어, 제안한 방법을 이용하면 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있었다.

본 논문은 II장에서 DCT 변환, 웨이브렛 변환, 쿼드트리 분해의 기본적인 내용을 설명하고, III장에서는 제안한 알고리즘에 대하여 구체적으로 설명한다. IV장에 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 실험결과를 나타내었고, V장에서는 결론을 다룬다. IV장의 실험영상으로 256×256 크기의 8[bit] 적외선 영상을 이용하였고, 동일한 영상에 대해 세 가지 압축기법(DCT 압축, 기존 웨이브렛 압축, 제안한 압축)을 비교 평가하여 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

## II. 관련 이론

### 2.1 이산 코사인 변환

신호를 해석하는 일반적인 방법은 식(1)과 같이 직교 기저함수(Basis function,  $\Psi_i$ )를 이용하여 이들의 하중된 합(Weighted sum)으로 신호를 표현하는 직교변환을 이용하는 것이다.

$$f(x) = \sum_i c_i \Psi_i(x) \quad (1)$$

영상압축에 직교변환을 이용하면 변환에 의해 영상신호를 소수의 특정한 계수로 집중시킬 수 있기 때문에, 이는 예측 부호화에서 예측에 의해 데이터 발생을 한쪽으로 치우치게 하여 데이터의 압축을 쉽게 하는 것과 같은 원리이다. 일반적으로 입력 신호의 통계량을 기초로 하여 가장 적합한 직교변환을 찾을 수 있는데, 이를 통계 분야에서 주성분 분석 또는 KL(Karhunen-Loeve)변환이라 부른다. KL변환의 변환 행렬은 입력 신호의 통계적 특성에 따라 다르지만, 입력신호가 일반적인 영상신호인 경우 코사인 변환 행렬과 가장 비슷하다고 알려져 있다. 영상압축에서 KL 변환을 이용한 압축도 고려되고 있지만, 변환행렬이 미리 결정된 이산 코사인 변

환(Discrete Cosine Transform, DCT)을 이용하면 영상데이터 집중 효율과 계산이 아주 간단해지는 장점이 있다.

DCT 와 IDCT(Inverse DCT)는 각각 식(2), 식 (3)과 같다.  $f(x, y)$ 는 입력 영상이고,  $F(u, v)$ 는 변환 결과이다.

$$F(u) = \frac{2}{N} C(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \frac{\cos(2x+1)u\pi}{2N} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} C(u) F(u) \frac{\cos(2x+1)u\pi}{2N} \quad (3)$$

$$\text{if} \begin{cases} u = 0, & C(u) = 1/\sqrt{2} \\ u \neq 0, & C(u) = 1 \end{cases}$$

DCT는 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)의 기저함수,  $e^{-j\frac{2\pi}{N}xu}$  대신에 코사인 함수를 곱하고 실수부만의 연산을 수행하고 있고, 변환 후의  $F(u)$ 가 DFT 주파수 성분에 대응한다. DCT를 영상신호에 적용하는 경우에는, 식(4), (5)와 같은  $8 \times 8$  블록 2차원 DCT와 IDCT(Inverse DCT)를 사용한다.

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) LM \quad (4)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u) C(v) F(u, v) LM \quad (5)$$

여 기 서 ,  
 $L = \frac{\cos(2x+1)u\pi}{16}$ ,  $M = \frac{\cos(2y+1)v\pi}{16}$

이고,  $C(u)$ 와  $C(v)$ 는 다음과 같다.

$$\text{if} \begin{cases} u = 0, & C(u) = 1/\sqrt{2} \\ u \neq 0, & C(u) = 1 \\ v = 0, & C(v) = 1/\sqrt{2} \\ v \neq 0, & C(v) = 1 \end{cases}$$

식(4)의 2차원 DCT는 식(2)의 1차원 DCT를 가로방향과 세로방향으로 각각 수행하여 변환한다.  $x$  및  $u$ 가 가로방향을 나타내고  $y$  및  $v$ 가 세로방향을 나타내고 있다.  $u = 0, v = 0$ 인 경우 직류성분을 나타내고,  $u$ 가 클수록 높은 수평 주파수를 가지며,  $v$ 가 클수록 높은 수직 주파수를 가진다.

이처럼 DCT는 입력신호,  $f(x, y)$ 의 주파수에 대해서는 완전한 정보를 제공하지만, 입력신호의 시간(공간)적인 정보에 대해서는 아무런 정보를 제공하지 않는다. 즉, 푸리에 변환에 기반을 둔 DCT 변환은 시간과 주파수에 대해서 동시에 국소화(Localization)할 수 없다는 단점이 있다. 시간-주파수 국소화(Time-frequency localization)를 구현하기 위하여 기존의 푸리에 변환을 변형한 적분변환이 제안되었는데, 그 대표적인 것이 국소 푸리에 변환(Windowed Fourier Transform, WFT or Short-Time Fourier Transform, STFT)이다<sup>[8]</sup>. 국소 푸리에 변환은 주파수 영역과는 독립인 창 함수(Window function)를 기존의 푸리에 변환에 가중함수로 붙여 사용하므로, 분석 영역이 시간-주파수에 대해 항상 일정하다. 따라서 시간의 변화에 따라 확률적인 특성이 변하는 비정상 신호(Non stationary signals)를 효율적으로 분석할 수 없는 단점을 가지고 있다.

### 2.2 웨이브렛 변환

신호해석에 있어, 식(1)과 같이 직교변환을 이용할 경우 기저함수의 선정이 매우 중요하다. 만약, 충격함수(Impulse function) 또는 정현함수(Sinusoidal function)를 기저함수로 사용할 경우, 각각 주파수 정보와 시간 정보의 손실을 가져오기 때문에, 복잡한 신호가 효율적으로 표현되기 위해서는 특정 시간에서 신호의 주파수 성분을 정확히 알 수 있는 기저함수가 필요하다. 이를 위해서 기저함수는 시간과 주파수영역 모두에서 국소화되어야 하지만, Heisenberg의 불확정성 원리에 의하여 시간축 국소화와 주파수축 국소화를 동시에 만족할 수는 없다<sup>[1]</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위해 웨이브렛 변환

은 적절히 주어진 기본함수를 팽창 혹은 수축시켜 척도구성(Scaling)을하고 평행이동(Translation)한 결과로 생기는 함수들을 기저함수로 이용하여 시간-주파수축에 대해 유연한 분석이 가능하도록 한다.

웨이브렛(Wavelets)은 식(6)과 같이, 모 웨이브렛(Mother wavelet)이라 불리는 기본함수의 확대/축소 및 이동으로 얻어지는 기저함수들의 집합이다.

$$\Psi^{a,b}(t) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (6)$$

식(6)의  $a$ 와  $b$ 의 변화를 통해서, 축소된 웨이브렛은 시간상에서 빠른 간격으로 변하는 고주파 성분을 검출하는 역할을 하며, 확대된 웨이브렛은 시간상 천천히 변하는 저주파 성분을 검출하기에 알맞은 기저함수로 사용할 수 있다<sup>[1]</sup>.

현재, 많은 응용 분야에서 신호해석에 보다 적합한 웨이브렛들이 제안되고 있다. 특히, 영상압축 분야에서는 이산 웨이브렛 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)을 이진트리(Dyadic tree) 구조를 갖는 필터뱅크(Filter bank)의 한 형태로 해석가능하고, QMF(Quadrature Mirror Filter) बैं크의 직렬 구성으로 구현 하는 방법이 연구되었다<sup>[1]</sup>.

2.3 2차원 영상의 웨이브렛 변환

영상의 웨이브렛 변환은 QMF를 통해 얻을 수 있고, 그 결과 여러 개의 다중 해상도 부대역(Multi-resolution subband) 영상들로 나누어진다. 그림 1은 2차원 이산 웨이브렛 변환을 이용한 영상 분해과정을 보여준다.

이 2차원 이산 웨이브렛 변환의 영상 분해과정은 H(저역 통과 필터)와 G(고역 통과 필터)를 이용하여 원 영상을 가로방향 변환 후, 다운샘플링(↓2)을 수행하고, 이를 다시 세로방향 변환하여 다시 다운샘플링(↓2)을 수행하여 구현한다. 한번의 분해과정으로 4개의 부대역 영상이 생기고, 각 부대역 영상은 원 영상의 1/4크기를 가진다. 이 4개의 부대역은 대부분 에너지가 집중되어 있는 저주파 영상(LL)과 방향성을 가지는 수평성분 영상(HL), 수직 성분 영상(LH), 그리고 대각성분 영상(HH)으로 나뉘게 된다.

그림 2는 2차원 이산 웨이브렛 변환을 적용하여 Lena 영상의 3-레벨 분해한 것을 나타내고 있다.

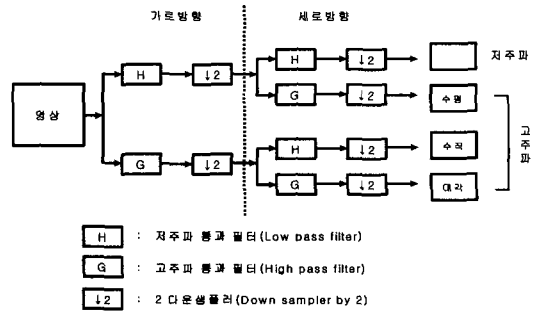


그림 1. 2차원 영상의 웨이브렛 변환  
Fig 1. Wavelet transform for 2-dimensional image

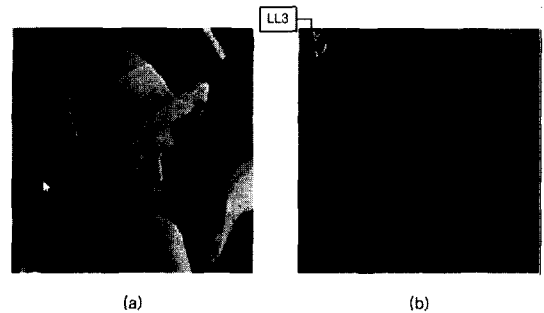


그림 2. 원 Lena 영상과 Lena 영상의 3-레벨 분해  
(a) Lena 원영상, (b) Lena 영상의 3-레벨 분해  
Fig 2. Original image and 3-level decomposition of 'Lena' image, (a) Original image of Lena, (b) 3-Level decomposition of Lena image

2.4 쿼드트리 분해

쿼드트리 분해(quadtrees decomposition) 방법은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법중의 하나로 DFT와 같은 변환코딩보다 상대적으로 간단하고, 분해된 결과가 다양한 해상도의 부대역 영상으로 표현되기 때문에 영상인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다.

이 쿼드트리 방법은 평면 영역 배열을 코딩하는데 있어서 좋은 압축방법이며, 이 방법은 2차원 영상이  $N \times N$  정방형이며,  $N$ 은  $2^n$ 으로 표시될 때 가장 잘 적용 될 수 있다.

그림 3은 쿼드트리 분해방법을 나타낸다. 주어진 2차원 영상을  $A$ 라 하면, 처음에는 이를 4등분하여 그 각각을  $A_1, A_2, A_3, A_4$  라 한다. 다음에는

$A_1, A_2, A_3, A_4$  각각을 다시 4등분한다. 이 과정을  $n$ 번 반복하여 개개의 픽셀 단위에 이를 때까지 한다. 이렇게 정방형 픽셀 영상을 4등분 할 때마다 그 레벨을 나타내는 수를 0 에서부터 1, 2, ..., 등으로 증가시킨다.

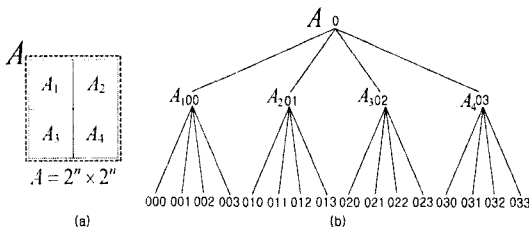


그림 3. 쿼드트리 분해법  
(a) 쿼드트리, (b) 쿼드트리 구조  
Fig 3. Quadtree decomposition method  
(a) Quadtree, (b) Quadtree structure

그림 3과 같이 트리구조의 루트를 '0 노드'라 부르고 그 다음에 4등분되는 노드에는 루트 노드의 '0'에 '0, 1, 2, 3'중 하나를 접속시켜 '00, 01, 02, 03' 등으로 만든다. 이와 같은 방법으로 상위 노드(부모 노드)를 계속해서 4등분하여 하위 노드(자식 노드)를 만들 수 있고, 이렇게 만들어진 트리 구조를 쿼드트리 구조(Quadtree structure)라 한다. 예를 들어 03 노드로 대표되는 정방형 평면 영역을 4등분하여 그 각각을 '030, 031, 032, 033'와 같이 이름을 붙여 나간다.

영상을 쿼드트리 기법으로 분해하면 각 레벨에서 분리되는 정보를 갖는 쿼드트리 구조와 영상의 픽셀 값들인 쿼드트리 데이터가 만들어진다. 쿼드트리 구조는 '0'과 '1'의 값들로 구성되며, '0'은 리프노드(Leaf node)이고, '1'은 내부노드(Internal node)를 나타낸다. 리프노드는 현재의 레벨에서 분해가 종료되며, 내부노드는 다음 레벨에서 4개의 사분면으로 분해가 이루어지는 것을 의미한다. 쿼드트리 데이터는 각 레벨의 리프노드에 대응되는 영상의 화소 값들이다.

### III. 제안 알고리즘

#### 3.1 제안 알고리즘 개요

제안한 압축 시스템은 크게 '웨이브렛 변환', '쿼드트리 기반 블록양자화', '엔트로피 코딩'의 세 단

계로 구성되고, 각 단계의 세부사항을 포함한 전체 시스템 블록도를 그림 4에 나타내었다.

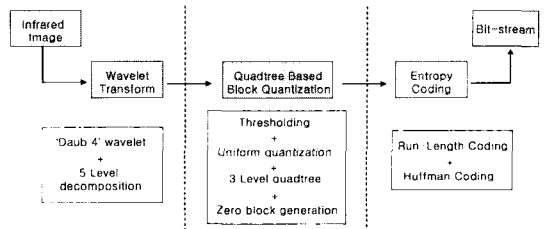


그림 4. 제안 압축 시스템 구조  
Fig 4. Proposed compression system structure

#### 3.2 웨이브렛 변환 단계

웨이브렛 변환 단계에서는 입력된 적외선 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 개선시킬 수 있다. 또한, 자연 영상과 달리 적외선 영상들은 보서리와 같은 고주파 성분이 적은 반면, 적외선 장비의 특성에 기인하는 고주파 잡음이 다소 존재한다. 그러므로 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<sup>11)</sup>을 적용하여 입력된 영상의 5-레벨 웨이브렛 분해를 구현한다. 효율적인 구현을 위해 그림 5와 같은 QMF 변환 행렬과 역변환 행렬을 사용하고, 필터 계수는 식 (7), (8)와 같다.

$$H = [c_0, c_1, c_2, c_3],$$

$$G = [c_3, -c_2, c_1, -c_0] \quad (7)$$

여기서,  $c_0, c_1, c_2, c_3$  은 다음과 같다.

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

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

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

$$c_3 = (1 - \sqrt{3})/4\sqrt{2} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix}
 C_0 & C_1 & C_2 & C_3 \\
 C_3 - C_2 & C_1 - C_0 & & \\
 & C_0 & C_1 & C_2 & C_3 \\
 & & C_3 - C_2 & C_1 - C_0 & \\
 & & & \cdot & \cdot \\
 & & & \cdot & \cdot \\
 & & & \cdot & \cdot \\
 & & & \cdot & \cdot \\
 & & & C_0 & C_1 & C_2 & C_3 \\
 & & & C_3 - C_2 & C_1 - C_0 & & \\
 C_2 & C_3 & & & & C_0 & C_1 \\
 C_1 - C_0 & & & & & C_3 - C_2 & 
 \end{bmatrix} \quad (a)$$

$$\begin{bmatrix}
 C_0 & C_3 & & & & C_2 & C_1 \\
 C_1 - C_2 & & & & & C_3 - C_0 & \\
 C_2 & C_1 & C_0 & C_3 & & & \\
 C_3 - C_0 & C_1 - C_2 & & & & & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & & & \\
 & C_2 & C_1 & C_0 & C_3 & & \\
 & C_3 - C_0 & C_1 - C_2 & & & & \\
 & & C_2 & C_1 & C_0 & C_3 & \\
 & & C_3 - C_0 & C_1 - C_2 & & & \\
 & & & C_2 & C_1 & C_0 & C_3 \\
 & & & C_3 - C_0 & C_1 - C_2 & & 
 \end{bmatrix} \quad (b)$$

그림 5. QMF 변환 행렬과 역변환 행렬  
 (a) 변환 행렬, (b) 역변환 행렬  
 Fig 5. Transform matrix & inverse transform matrix of QMF  
 (a) Transform matrix, (b) Inverse transform matrix

3.3 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 시각 시스템과 적외선 영상의 주파수 특성을 이용하여 결정한다. 인간 시각의 방향감응 특성은, 0° 혹은 90° 방향을 가진 신호에 최대 감도를 가지며 그 사이의 감도는 점차 감소하여 45°에서 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 6과 같이 적용하였다. 여기서, 임계값 조

절변수, 'T'값에 의하여 대역별 임계값이 결정되고 이 변수를 영상의 압축률 조절에 사용하였다.

Quadtree Based Block Quantization

Thresholding

Uniform Quantization

3-Level Quadtree

Zero Block Generation

Level	Subband Threshold Value	Quantization Level
0	T	7 bit
1	6 x T	6 bit
2	6 x T	6 bit
3	6 x T	6 bit
4	8 x T	5 bit
5	8 x T	5 bit
6	8 x T	5 bit
7	10 x T	5 bit
8	10 x T	5 bit
9	12 x T	5 bit
10	12 x T	3 bit
11	12 x T	3 bit
12	15 x T	3 bit

(a) T: 임계치 조절 변수 (압축률 조절)

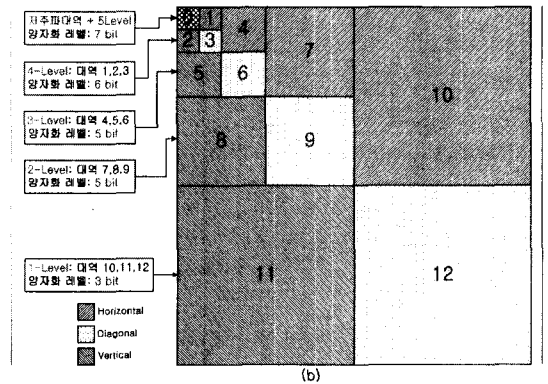


그림 6. 대역별 임계값 및 양자화 레벨 설정  
 (a) 대역별 임계값과 양자화 레벨 표, (b) 5-레벨 웨이블릿 분해  
 Fig 6. Subband threshold value & Quantization level setting  
 (a) Subband threshold value & Quantization level table, (b) 5-Level wavelet decomposition

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 8과 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 데이터 양을 줄일

수 있다. 이는 DCT 변환을 이용한 압축 시에 지그재그 스캔(Zig-zag scan)과 줄길이 코딩(Run length coding)을 통한 '0'의 압축과 유사한 효과를 얻을 수 있다.

그림 7과 그림 8은 각각 2-레벨 쿼드트리 구성 개념도와 수치 예제를 나타낸다.

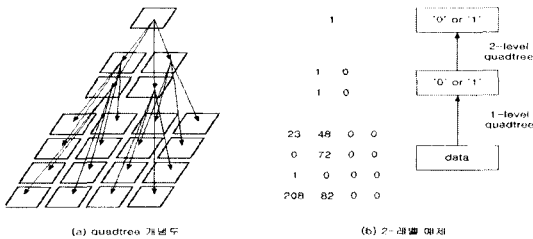


그림 7. QT 개념과 예제  
Fig 7. 2-Level quadtree conception and numerical example

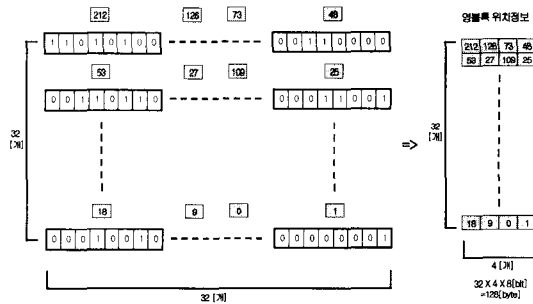


그림 8. '영블록 위치정보' 생성 방법 예제  
Fig 8. Generation method example of Zero block position information

### 3.4 엔트로피 코딩(Entropy coding) 단계

마지막 단계인 엔트로피 코딩에서는, 쿼드트리 기반 블록양자화 단계에서 생성된 128[byte]의 영블록 위치정보와 영이 아닌 블록의 데이터 값만을 스캔하여 줄길이 코딩과 허프만 코딩을 수행한다. 적외선 영상의 경우, 자연영상보다 영블록의 발생이 많고, 제안한 압축기법을 적용 시 압축률 향상을 기대할 수 있다.

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

## IV. 실험 및 평가

본 논문에서 제안한 압축 방법의 평가를 위해, 방법용, 군용, 산업용 등 여러 응용분야에서 사용되는 적외선 카메라로부터 획득한 256×256 크기의 8[bit] 적외선 영상을 사용한다. 또한, 영상압축 시스템 성능 비교에 많이 사용되는 'Lena' 영상에 대해 비교하여 자연영상의 압축성능도 함께 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<sup>[9]</sup>은 다음과 같다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{2^n - 1}{RMSE} \quad (9)$$

여기서, 원 이미지와 재구성된 이미지를  $f$  와  $g$ , 그리고 이미지의 폭(width)과 높이(height)를  $N$ ,  $M$  이라 하면, 식(10)에 사용된 RMSE(Root Mean-Squared Error)<sup>[9]</sup>는 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i, j) - g(i, j)]^2} \quad (10)$$

### 4.1 실험결과와 객관적 평가

그림 9는 '군함', '마을', '압축기', '사람'의 적외선 영상의 압축률을 비교한 그래프이다. 각 영상에 대해 3가지 압축 기법을 적용하여 0.45[bpp] ~ 0.1[bpp]까지 압축한 후, 각 압축 결과를 bpp vs. PSNR을 기준으로 나타내었다.

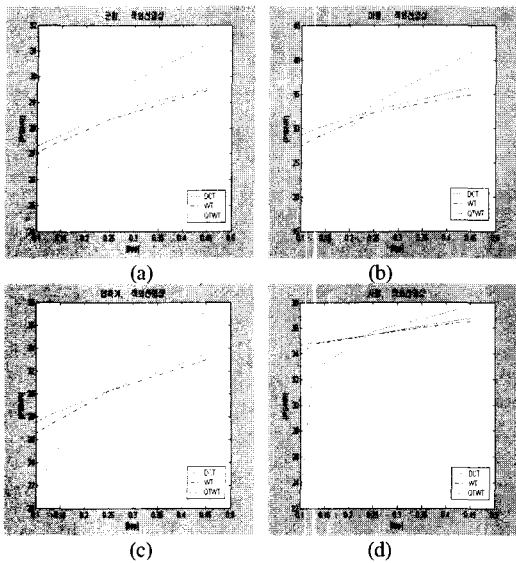


그림 9. 압축기법에 따른 적외선 영상의 압축률 비교  
 (a)'군함' bpp vs. PSNR, (b)'마을' bpp vs. PSNR, (c) '압축기' bpp vs. PSNR, (d)'사람' bpp vs. PSNR  
 Fig 9. Comparison of the compression ratio according to the compression method  
 (a)'Warship' bpp vs. PSNR, (b)'Village' bpp vs. PSNR, (c)'Compressor' bpp vs. PSNR, (d)'Person' bpp vs. PSNR

웨이브렛 압축의 경우, QT를 적용한 방법이 적용하지 않은 방법에 비해 모든 비트율에서 0.1[dB] ~ 1.5[dB]정도 높은 PSNR을 나타냈고 비트율이 낮아질수록 PSNR의 차이가 점차 커졌다. DCT 압축과는 0.1[bpp]에서 최대 10[dB] 이상의 차이를 내기도 했다.

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

이 비교결과를 통해 알 수 있듯이, DCT 압축의 경우, 0.3[bpp] 이상의 비트율에서는 30[dB] 이상의 높은 PSNR을 보이고 있지만, 비트율이 낮아지면서 상대적으로 PSNR이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 전체적으로 DCT 기반 압축은 대략 0.2[bpp]를 기준으로 웨이브렛 기반 방법들보다 압축성능이 떨어짐을 확인할 수 있다.

표 1. 적외선 영상의 압축률 비교

Table 1. Comparison of the compression ratio of the infrared images

영상	압축비	DCT	WT	제안방법
'군함' IR 영상	19:1	31.28	29.46	29.54
	32:1	29.39	28.34	28.64
	64:1	26.54	27.31	27.51
	76:1	24.88	27.03	27.32
'마을' IR 영상	14:1	41.00	34.88	35.82
	32:1	33.53	32.28	32.57
	64:1	24.33	28.43	29.79
	75:1	18.95	27.45	28.98
'압축기' IR 영상	16:1	37.21	33.00	33.43
	32:1	32.18	30.25	30.31
	64:1	23.88	27.24	28.12
	76:1	20.14	26.55	27.49
'사람' IR 영상	18:1	37.70	36.54	36.75
	32:1	35.71	35.48	35.50
	64:1	32.62	34.76	34.84
	80:1	23.29	33.96	34.72
'Lena' Real 영상	16:1	30.10	27.58	28.51
	32:1	26.04	25.37	25.72
	64:1	20.03	23.09	23.77
	70:1	18.47	22.87	23.55

#### 4.2 실험결과와 주관적 평가

주관적인 평가를 위해, 표 1과 관련된 결과를 그림 10부터 그림 14까지 나타내었다. DCT 압축의 경우, 비트율이 0.25[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.



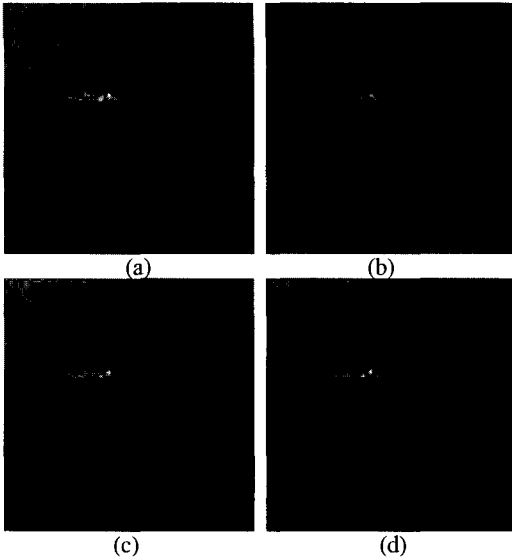


그림 10. '군함' 적외선 영상, 0.125 [bpp]  
 (a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=26.54[dB], (c) WT압축, PSNR=27.31[dB], (d) 제안방법, PSNR=27.51[dB]  
 Fig 10. 'Warship' Infrared Image, 0.125 [bpp]  
 (a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR =26.54[dB], (c) WT Compression, PSNR=27.31[dB], (d) Proposed Method, PSNR=27.51[dB]

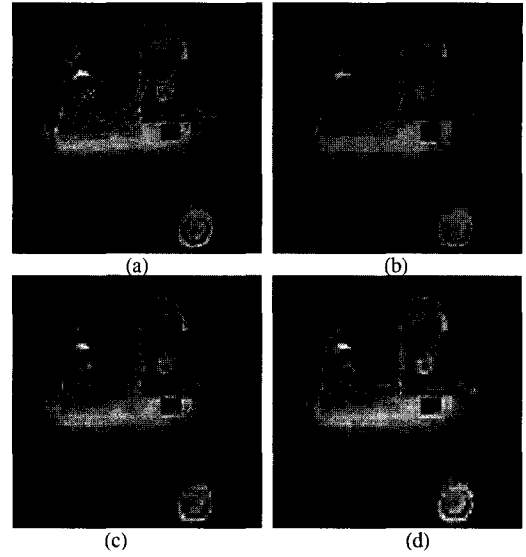


그림 12. '압축기' 적외선 영상, 0.125 [bpp]  
 (a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=23.88[dB], (c) WT압축, PSNR=27.24[dB], (d) 제안방법, PSNR=28.12[dB]  
 Fig 12. 'Compressor' Infrared Image, 0.125 [bpp]  
 (a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR =23.88[dB], (c) WT Compression, PSNR=27.24[dB], (d) Proposed Method, PSNR=28.12[dB]

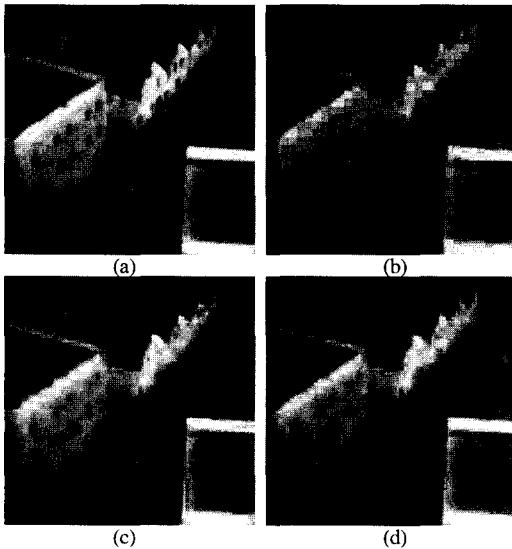


그림 11. '마을' 적외선 영상, 0.125 [bpp]  
 (a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=24.33[dB], (c) WT압축, PSNR=28.43[dB], (d) 제안방법, PSNR=29.79[dB]  
 Fig 11. 'Village' Infrared Image, 0.125 [bpp]  
 (a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR =24.33[dB], (c) WT Compression, PSNR=28.43[dB], (d) Proposed Method, PSNR=29.79[dB]

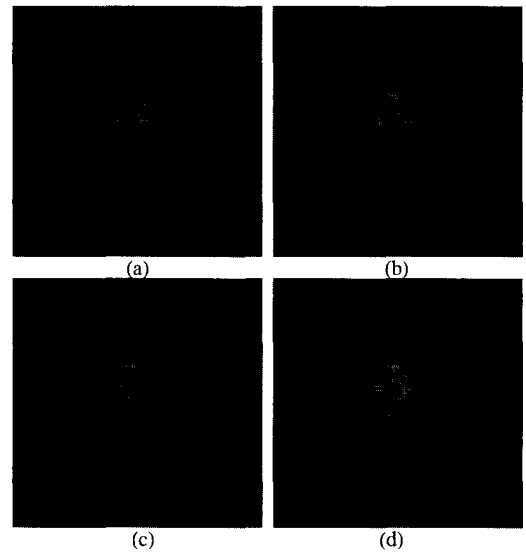


그림 13. '사람' 적외선영상, 0.125 [bpp]  
 (a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=32.62[dB], (c) WT압축, PSNR=34.76[dB], (d) 제안방법, PSNR=34.84[dB]  
 Fig 13. 'Person' Infrared Image, 0.125 [bpp]  
 (a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR =32.62[dB], (c) WT Compression, PSNR=34.76[dB], (d) Proposed Method, PSNR=34.84[dB]

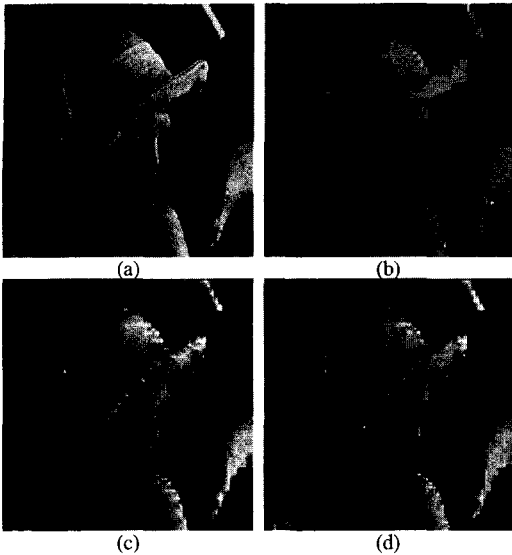


그림 14. 'Lena' 자연영상, 0.125 [bpp]  
 (a) 원영상, (b) DCT압축, PSNR=20.03[dB], (c) WT압축, PSNR=23.09[dB], (d) 제안방법, PSNR=23.77[dB]  
 Fig 14. 'Lena' Natural Image, 0.125 [bpp]  
 (a) Original Image, (b) DCT Compression, PSNR=20.03[dB], (c) WT Compression, PSNR=23.09[dB], (d) Proposed Method, PSNR=23.77[dB]

### V. 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. 또한, 적외선 영상의 특성상 변환된 웨이브렛 계수에 '0'을 많이 포함하고 있으므로, 제안한 쿼드트리 기반 블록양자화 방법을 이용하면 '0' 정보를 효과적으로 압축 할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 특히,

웨이브렛 변환과 쿼드트리 기반 블록양자화를 함께 사용하면, 0.25[bpp]이상의 고압축 응용에 적합하고, 이는 적외선 영상뿐만 아니라 자연영상의 고압축 응용에도 충분히 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

### 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] J.M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotree of Wavelet Coefficients", *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec 1993.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 강현배, 김대경, 서진근, "웨이브렛 이론과 응용", 아카넷, 2001.
- [9] E. Yeung, "Image Compression using Wavelets", *IEEE CCECE 97*, vol. 1, pp. 241-244, May 1997.

조 참 호(Chang-Ho Cho)

정회원

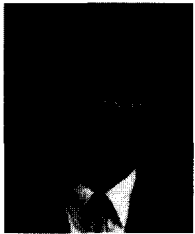


1998년 2월 : 광운대학교 제어  
계측공학과 졸업  
2000년 2월 : 광운대학교 제어  
계측공학과 석사  
2000년 3월~현재 : 광운대학교  
제어계측공학과 박사과정

<관심분야> 영상처리, 디지털제어, 강건제어

이 상 효(Sang-Hyo Lee)

종신회원



1980년 3월 : 광운대학교 전자  
공학과 교수  
1981년 2월 : 연세대학교 전기  
공학과 박사  
1989년 3월~현재 : 광운대학교  
제어계측공학과 교수

<관심분야> 강건제어, 신호처리, 전력전자