

고립점 제거를 이용한 웨이브릿 변환 영상의 트리구조 부호화

正會員 鄭賢民*, 金容奎**, 尹鐸鉉***, 金成萬***, 朴圭泰***

Quadtree Image Compression Using Isolated Wavelet Coefficients Removal

Hyun Meen Jung*, Yongkyu Kim**, Taek Hyun Yun***,
Seong Man Kim***, Kyu Tae Park*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영상에 대해 고립점 제거와 4진 트리(quadtree) 구조를 사용하여 효율적으로 압축할 수 있는 영상 부호화 방법을 제안한다. 변환된 영상의 각 대역에 대해 균등 양자화를 적용하고 고립된 계수들이 갖는 에너지를 분석하여 낮은 에너지를 갖는 고립점들에 대한 선별적 제거를 통해 4진 트리 구조의 부호화 효율을 증대하였다. 또한 전송될 비트량을 조절하기 위해 균일한 크기의 블록으로 분할하여 각 블록이 갖고 있는 에너지와 4진 트리 부호화에 소요되는 비트량에 따른 비트당 평균 에너지 전송비에 따라 정렬하여 낮은 에너지 블록들을 제거하여, 원하는 압축율을 얻는 방법을 사용하였다. 마지막으로 전송될 유효 계수값들은 대역별로 양자화를 실시하면 확률 밀도가 편중되므로 엔트로피 부호화를 실시하여 높은 효율을 얻을 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, an image coding scheme using removal of isolated coefficients and quadtree structure in wavelet transformed domain, is suggested. The number of significant coefficients can be reduced by quantizing in different stages according to the weights of the each band. The quadtree structure preserves the location information while significantly reducing the number of bits required to represent the locality of an image. To increase the efficiency of the wavelet transformed images using quadtree, the energy of the isolated coefficients is analyzed and those with

*한국통신 연구개발본부
**성결대학교 전산정보학과
***연세대학교 전자공학과
論文番號:96032-0130
接受日字:1996年 1月 30日

low energy are eliminated. Furthermore, to control the bit rate the entropy of each block is sorted according to its energy concentration and the number of bits required for encoding, and the blocks with low energy are removed to achieve the desired compression rate.

I. 서 론

영상은 일반적으로 여러 형태의 중복성을 지니고 있으며, 이러한 중복성을 제거하여 보다 적은 정보량으로 영상을 표현하는 연구가 진행되고 있다. 자연 영상에 대한 압축 방법으로는 변환 부호화(transform coding)를 수행한 후 양자화를 통해 압축 효과를 얻는 방법과, 벡터 양자화(vector quantization), 그리고 새로운 형태로써 프랙탈(fractal)을 이용하는 방법이 연구되고 있다. 일반적으로 변환 부호화는 자연 영상에 대해 균일한 크기의 블록을 이용하여 변환 과정을 거치며, 이에 따라 에너지가 저주파 대역으로 집중하는 에너지 집중(energy compaction)과 상관성 제거가 이루어지며 양자화를 통해 고주파 성분을 희생하여 압축 효과를 얻는다. 그러나 변환 부호화는 블록 현상(blocking effect)이 발생하며 블록간의 경계에서 불일치가 나타난다. VQ 부호화는 부호책 생성에 많은 시간이 소요되며, 부호화 하는 블록의 크기가 작기 때문에 균일하고 구조적이지 못한 영역에 대해서는 장점이 적다는 문제점을 안고 있다. 프랙탈을 이용한 영상 부호화는 기존의 방법과는 달리 영상 내에서의 자기 유사성을 이용하여 압축을 할 수 있는 방법이나, 완전한 원영상 복원이 가능한 역변환 문제의 해결이 현재까지는 불가능하여 프랙탈 방법만을 사용하여 영상을 부호화 하기는 문제점을 내포하고 있다. 웨이브릿 변환은 시간과 주파수에 대해 지역성(locality)을 가지고 신호를 표현할 수 있어 비정상 과정(non-stationary)을 가지는 영상 신호를 해석함에 유리하고 이를 이용하여 표현된 영상은 인간의 시각 특성과 비슷하며 점진적 전송에 알맞은 구조로 되어 있어 영상 처리 분야에서 각광을 받고 있다. 따라서 영상이 갖고 있는 지역성을 각 대역별로 유지하며, 대역에 따라 계층적 구조를 갖는 특성을 이용하여 압축에 이용하려는 연구가 많이 진행되고 있다. 웨이브릿 변환을 거친 계수들에 대한 부호화 방법 연구중 Shapiro[1][2]는 넓게 간축된(low frequency) 계수가 양자

화 임계값 T_i 보다 작으면 그에 대응하는 위치의 높은 주파수 성분의 계수값도 작을 것이라는 가정을 일반화하여 영상을 부호화 하는 zerotree 부호화를 제안하였으며, 영상의 에너지 분포가 작은 부분은 거의 zero에 가까운 값을 갖는다는 특성을 이용하여 영상을 부호화 하려는 시도로 Markas[3], Kim[4]등은 트리 구조를 이용하여 계수들을 압축하였다. 4진 트리[5][6]는 일반적으로 이진 영상에 대한 위치 정보를 완전히 복원할 수 있으나, 소요되는 정보량이 비선형적으로 변한다. 따라서 위치 정보의 수를 가급적 적게 함으로써 효율적인 부호화를 실시할 수 있다.

본 논문에서는 4진 트리 부호화가 무손실 부호화인 반면, 이진 영상에서의 정보량이 적은 경우에 압축 효율이 높아지는 특성을 최대한 이용하기 위하여 단계별 양자화를 실시하여 기본적인 압축 효율을 얻었으며, 고립점을 찾을 수 있는 3×3 마스크를 이용하여 고립된 계수값을 찾고 낮은 에너지를 갖는 경우 이를 제거하였다. 또한 16×16 크기의 균등한 블록으로 나누어 4진 트리 부호화를 실시하여 비트당 평균 에너지 전송비가 작은 블록에 대해서는 허용된 비트량에 따라 제거함으로써 원하는 압축율을 얻는 방법을 사용하였다. 끝으로 전송되는 계수값들과 4진 트리 정보에 대한 엔트로피 부호화를 실시하여 부호화 잉여성분을 제거하였다.

II. 다해상도 신호 처리

다해상도 근사화의 개념은 Meyer[7][8]와 Mallat[9][10]등에 의해 도입된 것이며, 웨이브릿 분해를 이용할 수 있는 체계를 제시해 준다. Daubechies[11]는 이산 필터의 반복적인 연산에 근거한 직교 웨이브릿을 도입하였다. 신호 처리의 관점에서 보면 웨이브릿은 대역 통과 필터(bandpass filter)이다. 대역 분할 부호화는 입력 신호를 분해/합성(analysis/synthesis)하는 필터와 분할한 각 대역 신호를 독립적으로 부호화, 전송, 복원하는 부분으로 구성된다.

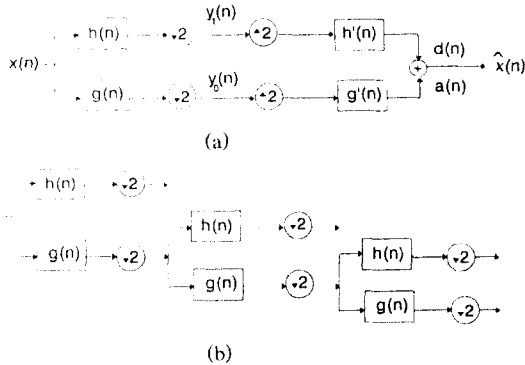


그림 1. 대역 분할 부호화 체계
 (a) 저주파와 고주파, 두부분으로 간축된 근사화
 (b) 이산 필터와 2의 간축으로 구현된 DWT의 필터
 뱅크 트리

Fig. 1 The structure of band decomposition
 (a) Low/high frequency subsampled approximation
 (b) Filter bank tree of DWT

그림 1(a)는 원신호 $x(n)$ 을 두개의 대역 성분 $y_0(n)$ 과 $y_1(n)$ 으로 나누고 다시 복원하는 과정이다. 필터 $g(n)$ 과 $h(n)$ 은 각각 저주파, 고주파 통과 필터에 해당하므로 이들을 통과한 신호는 정보의 손실 없이 간축되며, 결국 원신호와 동일한 개수의 샘플 수가 유지된다. Vetterli[12]에 따르면 고주파 통과 필터와 저주파 통과 필터의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$h(L-1-n) = (-1)^n g(n) \quad (1)$$

$$y_0(k) = \sum_n x(n) g(-n+2k) \quad (2)$$

$$y_1(n) = \sum_n x(n) h(-n+2k) \quad (3)$$

원신호 $x(n)$ 을 복원하기 위하여 $y_0(n)$ 과 $y_1(n)$ 을 보간한 후 각각 $g'(n)$ 과 $h'(n)$ 을 통과시킨다.

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} [y_0(k)g'(-n+2k) + y_1(k)h'(-n+2k)] \quad (4)$$

이때 원신호와 동일한 신호를 복원하기 위해서 각 필터들은 특정한 조건을 만족해야 하며, 이를 위해 다양한 방법들이 소개되고 있다.

이 과정들은 한쪽, 또는 양쪽 신호에 반복되어질

수 있다는 것이다. 특별히 낮은 주파수에서 세밀한 주파수 해상도를 얻기 위해서는 이 구조를 낮은 주파수에만 적용시킬 수 있다. 만약 $g(n)$ 이 좋은 저역 통과 필터라면, $h(n)$ 은 식 (1)에 의해 좋은 고역 통과 필터가 된다. 첫 번째 저주파대에 이 구조를 한번 적용시키면 주파수 스펙트럼 1/4 대역에 해당하는 저주파 성분들에 해당하는 새로운 저주파 대역이 생기게 된다. 각 반복이 진행됨에 따라 저주파 대역의 폭은 반감되고(주파수 해상도는 2배로 증가), 2에 의한 간축에 의해서 시간 영역 해상도는 반감된다. 매 반복마다 현재의 고주파 대역 성분들은 현재의 대역 통과 성분과 앞단의 저주파 대역 성분간의 차이에 해당된다. 구조적으로 이것은 그림 1(b)와 동일하다.

Ⅲ. 양자화 및 고립점 제거

1) 양자화

웨이브릿 변환을 거친 계수값들은 양자화를 통해 정보 손실이 발생하는 반면에 비트 할당을 줄이게 된다. 양자화를 실시한 정보에 대해 엔트로피 코딩을 고려하는 경우 균일한 양자화기를 사용하여도 확률 밀도 함수에 의해 정보를 압축할 수 있다. 일반적으로 양자화는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\hat{f} = Q(f) = r_i \quad d_{i-1} < f \leq d_i \quad (5)$$

여기서 Q 는 양자화 함수이며, r_i 는 복원된 양자화 레벨이다. 만일 f 가 d_{i-1} 와 d_i 사이의 값이라면 복원 레벨 r_i 로 대치되게 된다. 식 (5)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{f} = Q(f) = f + e_Q$$

$$e_Q = \hat{f} - f \quad (6)$$

여기서 e_Q 는 양자화 에러라 하며 e_Q^2 는 f 와 \hat{f} 의 비유사성 정도를 나타내는 왜곡도 $d(f, \hat{f})$ 의 특별한 경우가 된다. 평균 왜곡도를 D 라 하면

$$D = E[d(f, \hat{f})] = \int_{f_0=-\infty}^{\infty} d(f_0, \hat{f}) p_f(f_0) d(f_0) \quad (7)$$

과 같이 나타나며, 균등(uniform)한 양자화기에서는 각 단계의 크기 Δ 와 복원 레벨 r_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$d_i - d_{i-1} = \Delta, \quad 1 \leq i \leq L$$

$$r_i = \frac{d_i + d_{i-1}}{2} \quad 1 \leq i \leq L \quad (8)$$

웨이브릿 변환을 거친 영상에서 계수값이 분포되어 있는 위치 정보를 나타내는 4진 트리 부호화는 무손실(lossless) 부호화이다. 따라서 부호화의 효율성을 위해서는 일반적인 손실 부호화에서 사용하는 방법과 같이 양자화를 통하여 정보를 최대한 압축하게 된다. 그림 2는 계층적 대역 분할의 대역 성분을 나타낸다.

계층적 대역 분할은 원영상으로 부터 균등한 대역 성분으로 나누고 이로부터 얻어진 저주파 성분에 대해 다시 균등하게 나누는 과정을 반복하여 얻어지며 각 대역은 수평, 수직, 대각선 방향의 3 성분으로 나뉘어지게 된다.

웨이브릿 변환을 통과한 계수값 f 는 가장 저주파 대역인 H_0 를 제외하고는 $-128.0 \leq f \leq 127.0$ 구간의 부동 소수점 값으로 표현된다. 각 레벨에 대한 계수값들은 본 논문에서 적용한 Antonini 필터[13]를 통과

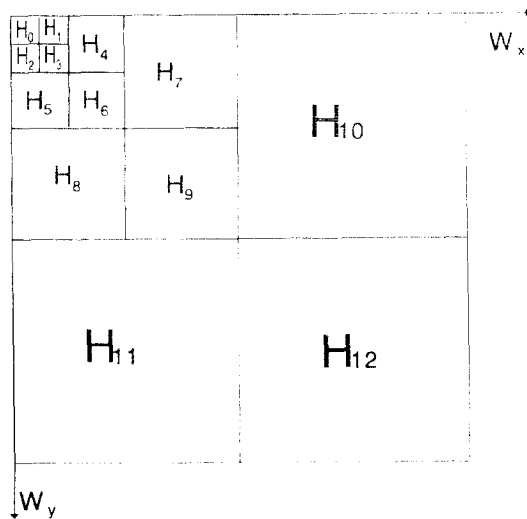


그림 2 계층적 대역 분할의 대역 성분
Fig. 2 Band components after wavelet decomposition

하면 원영상을 분해할 때 레벨별로 1/2씩 에너지의 기여도가 감소하는 특성을 이용하여 단계별 양자화를 실시하게 된다. 각 대역에 대한 양자화 단계의 크기를 δ_b 라 하면 다음과 같이 나타낸다.

$$\delta_b = \delta_0 \times 2^{level}, \quad Level = 0, 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

여기서 δ_0 는 H_0 에서의 초기 양자화 크기를 나타낸다. 따라서 각 레벨에 대한 양자화는 다음과 같이 2의 배수로 단계 L_i 를 표현하게 된다.

$$L_i = \delta_0 \times 2^{B_i}$$

$$B_i = \log_2 \left(\frac{L_i}{\delta_0} \right) \quad (10)$$

여기서 B_i 는 계수값에 대한 소요 비트량을 나타낸다. 따라서 소요되는 전체 비트는 각 대역별로 소요되는 비트의 합으로 표현되며

$$B = \sum_{i=0}^N B_i \quad (11)$$

가 된다.

2) 고립점 제거

웨이브릿 변환을 통하여 얻어진 계수값들을 분석하여 보면 원영상에서 계조도의 변위가 큰 영역에서는 계수값이 크며 또한 균질성을 갖고 있다. 균질에서 벗어난 계수값들은 대부분 양자화 과정에서 계수값이 사라지거나 낮은 값을 유지하게 된다. 4진 트리를 이

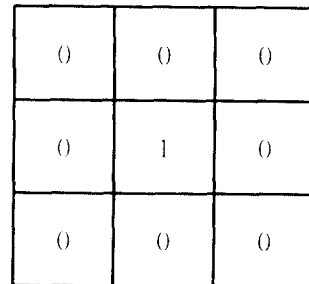


그림 3. 고립점의 형태
Fig. 3 The pattern of the isolated coefficient

용하여 이진 영상을 부호화 하는 과정에서 각 대역에 대한 계수값들을 분석하면 군집에서 벗어난 계수 혹은 군집 내의 계수값들 중에 그림 3과 같이 주변과 고립된 한 계수가 존재하고, 그 계수값이 작은 경우에는 비트당 평균 에너지 전송비가 아주 작게 된다.

이러한 고립된 계수값을 부호화하기 위해서는 인접한 3개의 계수값들과 상위 블록에 대해서도 부호화되어야 하므로 비트량이 많아진다. 따라서 고립된 한 점에 대해서는 고립점 제거가 가능한 3×3 마스크를 사용하여 제거하는 방법을 사용하여 부호화의 효율성을 제고하였다. 고립점의 존재는 넓은 공간을 차지하지만 왜곡에 대한 전파(propagation)는 적게 발생하는 높은 주파수 대역에서 많이 발생하기 때문에 높은 부호화 효율을 얻을 수 있는 반면에 화질의 감소는 적게 나타나는 장점이 있다.

IV. 4진 트리 부호화 구조

1) 4진 트리

4진 트리는 일반적으로 $2^n \times 2^n$ 크기의 이차원 이진 영상을 표현하는데 있어서 유력한 방법이 되며, 기본적으로 계층적 데이터 구조를 이루며 영상을 순환적(recursive)으로 분할하기 때문에 다해상도 표현에 유리하다. 이러한 순환적 분할은 $2^m \times 2^m$ 크기의 블록으로 영상의 기본 단위에 도달할 때까지 반복된다. 이때 부분블록의 값들이 모두 0 혹은 1이면 분할을 중지하게 된다. 순환적 분할 과정 중에 더이상 분할되지 않을 때 단말 노드가 생성된다. 영상을 4진 트리로 표현할 때, 일반적으로 $2^m \times 2^m$ 크기의 고정된 크기의 블록으로 만들며 각 블록은 다시 부분블록이라고 하는 4개의 균등한 작은 블록으로 나뉘어지게 된다. 각 분할 과정이 끝난 후에는 부분블록의 크기는 원래 블록 크기의 1/4이 된다. 일반적으로 4진 트리 부호화에 소요되는 비트량은 블록 내에 유효 계수가 적은(coarse) 경우에는 적은 비트량으로 효율적으로 위치 정보를 표현할 수 있지만, 유효 계수의 수가 많고 고루 분산된 경우에는 노드를 표현하기 위한 오버 헤드 비트량이 증가하게 되는 단점을 지니고 있다.

그림 4에 이진 영상에 대해 4진 트리로 표현하는 일반적인 형태를 나타내었다.

일반적으로 이진 영상에서 한 블록을 4진 트리

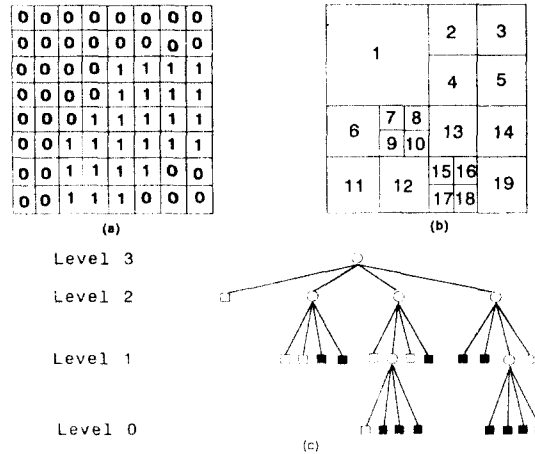


그림 4. 일반적인 4진 트리 표현
Fig. 4 Generalized quadtree representation

표현하는데 소요되는 노드의 양은 다음과 같다.

$$N_{total} = 4 \times (B + W) / 3 \tag{12}$$

여기서 B 와 W 는 각각 1과 0으로 구성된 최종 부분블록의 갯수이다. 그림 4를 예로 들면, 1로 구성된 부분블록의 갯수가 11, 0으로 구성된 부분블록의 갯수가 8이므로

$$N_{total} = 4 \times (11 + 8) / 3 = 25 \text{ bits}$$

이다.

실제로 이를 비트로 표시하기 위해서는 3가지 심볼을 이용하여 구성해야 한다.

2) 부호화 알고리즘

웨이브릿 변환을 거친 후 단계별 양자화를 실시한 계수값들은 중요한 정보를 갖는 계수가 지역성을 가지며 각 대역별로 유사하게 분포된다.

그림 5는 적용된 알고리즘에 대한 블록도를 나타낸다.

4진 트리가 정보량이 적은 블록에 대해 효율적으로 부호화 할 수 있는 특성을 이용하기 위해 각 단계에 대해 양자화를 실시하여 정보량의 손실을 줄이고 웨이브릿 계수들이 가급적 0 값이 많이 생성되도록 하였다.

이러한 양자화를 거친 영상에 대해 $2^m \times 2^m$ 크기의

균일한 블록으로 나누어 부호화를 실시하게 된다. 이렇게 블록으로 영상을 분할하여 부호화 하기 위해 블록내에 하나라도 계수값이 존재하면 활성 블록으로, 계수값이 존재하지 않으면 비활성 블록으로 간주하여 활성/비활성을 구별하는 코드로 1 비트를 추가하였다. 또한 이진 영상으로 표현한 블록에서 계수값들을 조사하여 0 혹은 1의 우세를 표현하는 코드로 1 비트를 추가하였다. 이러한 추가 비트들은 단순한 4진 트리 부호화에 비해 많은 비트를 줄일 수 있게 해준다.

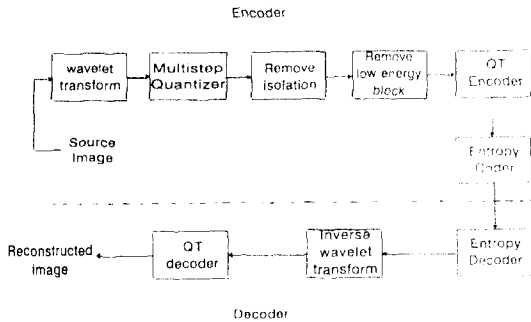


그림 5. 적용된 부호화/복호화기
Fig. 5 The proposed encoder/decoder

제한된 전송 비트량에 대해 최대한의 에너지를 전송하기 위해서는 에너지를 적게 포함하고 소모 비트량이 많은 블록부터 제거하여 부호화 하는 것이 효율적이 된다. 따라서 각 블록에 대해 부호화에 소요된 비트량에 대한 평균 에너지를 이용하여 블록을 에너지 크기로 정렬하여 전송 비트량에 따라 낮은 에너지 블록의 제거과정을 수행한다. 이를 통해 고정 비트율로 결정될 때, 전송 데이터량을 결정할 수 있다.

최종적으로 4진 트리 부호화에 소요된 비트들과 계

수값들은 엔트로피 코딩을 이용하여 중복성을 제거하였다.

V. 실험 및 고찰

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능을 시험하기 위해서 512×512 해상도 및 256 계조도를 갖는 Lena, Baboon, Pepper 영상을 사용하였다. 웨이브릿 변환은 9-7 tap을 갖는 Antonini[13]의 필터를 사용하여 5 레벨로 분할하였다. 4진 트리는 두개의 심플로만 구성되므로 계수들에 대한 부호화와 분리하여 각각, 산술 부호화기와 허프만 부호화기를 사용하였다.

표 1은 양자화를 거친 Lena 영상에서 3×3 마스크를 사용하여 계수값의 크기가 1인 고립점의 갯수를 나타낸다. 이때 4진 트리에 적용한 블록은 16×16 크기의 균등한 블록을 사용하였으며 양자화 단계에서 α 의 값은 0.25를 사용하였다.

표 1. 각 레벨에 존재하는 고립점의 수

Table 1. The No. of isolated coefficients in each level

level	수평 대역	수직 대역	대각선 대역
1	0	0	0
2	0	1	5
3	11	34	62
4	223	475	689
5	2,103	3,585	5,262

표 1에서 보는 바와 같이 제거될 수 있는 고립점은 대각선 방향의 대역과 고주파 성분을 갖는 대역에 많이 존재함을 알 수 있다. 이러한 특성은 고립점 제거의 전제조건으로써 낮은 에너지를 갖는 계수값들을 찾기 때문에 저주파 대역에서는 고립점이 존재하여

표 2. 양자화 및 고립점 제거후의 비트량/PSNR

Table 2. Bits and PSNR after quantization and removal of isolated coefficients

	원 영상		양 자 화 후			고 립 점 제 기 후		
	소요 비트량		소요 비트량		PSNR(dB)	소요 비트량		PSNR(dB)
	4진 트리	계 수	4진 트리	계 수		4진 트리	계 수	
Lena	461,288	546,173	319,975	131,999	40.92	277,348	126,737	40.62
Baboon	482,222	1,016,959	489,171	446,752	40.22	484,487	445,995	40.16
Pepper	498,923	618,377	408,549	155,737	40.47	382,481	152,054	40.25

도 대부분의 경우 계수값이 크기 때문에 고립점 제거에서 제외된다.

표 2는 단계별 양자화와 고립점 제거를 거친 후 엔트로피 부호화를 통해 얻어진 소요된 비트량과 PSNR (peak signal to noise ratio)을 나타낸다.

표 2에서 보는바와 같이 Lena의 경우 양자화를 실시한 후 복원된 영상은 계수에 대한 소요비트량이 546,173 비트에서 131,999 비트로 약 1/4 정도로 비트량을 감소시키는 효과를 나타내며, 고립점 제거를 실시하면 4진 트리에 소요되는 비트량이 단순히 양자화를 실시하였을 경우 319,975 비트가 소요되며 고립점 제거를 실시하면 277,348 비트로 42,627 비트가 줄어들게 된다. 그러나 이때 화질의 감소, 즉 PSNR은 40.92 dB에서 40.62 dB로 0.3 dB만 감소하는 효과를 얻게 되었다.

표 3은 제안한 부호화 방법과 JPEG과 3가지 실험 영상에 대한 부호화 성능을 비교하였다. 제안한 부호화 방법은 낮은 에너지 블록을 전송하지 않으므로써 고정 비트율을 쉽게 만족할 수 있는 반면, JPEG은 양자화 값을 반복적으로 수행하여 고정 비트율을 만족할 수 있다. 고압축인 경우 제안한 부호화 방법이 4진 트리 구성에 소요되는 비트량으로 인해 부호화 성능이 저하되지만 JPEG에서 치명적인 블록현상은 나타나지 않는다.

표 3. 제안한 부호화 방법과 JPEG의 성능 비교 (PSNR)
Table 3. Performance comparison of proposed method and JPEG (PSNR)

PSNR (dB)	Lena		Baboon		Pepper	
	제안방법	JPEG	제안방법	JPEG	제안방법	JPEG
0.25	29.32	30.76	19.66	21.50	28.40	30.44
0.5	33.67	34.75	21.79	23.79	32.35	33.94
0.75	36.64	36.60	23.06	25.28	34.64	35.33
1.0	38.63	37.90	24.85	26.53	36.23	36.25

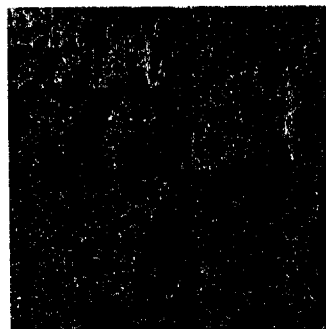
그림 6에 512×512 해상도의 256 계조도를 갖는 Lena 원영상을 나타내었다.

그림 7(a)는 웨이브릿 변환된 계수들에 대한 영상이며, (b)는 양자화를 실시한 후의 영상, (c)는 고립점 제거를 실시한 영상을 각각 나타낸다. 낮은 에너지를



그림 6. Lena 원영상
Fig. 6 Original Lena image

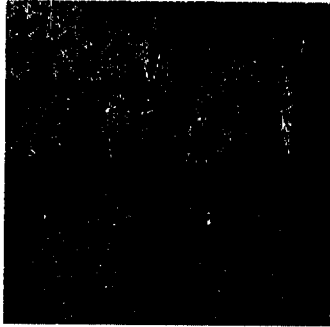
갖는 계수값들은 단계별 양자화를 통해 제거되어 4진 트리에 적합한 이진 영상의 형태를 유지하게 되며, 고립점 제거를 통하여 블록에서 부호화에 소요되는 비트량을 효율적으로 줄일 수 있게 된다.



(a) 웨이브릿 변환된 영상(Lena)
(a) Wavelet transformed image(Lena)



(b) 양자화된 영상(Lena)
(b) Quantized image(Lena)



(c) 고립점이 제거된 영상
(c) Image without isolated coefficients

그림 7. 처리된 영상
Fig. 7 Images after processing

그림 8~11에는 제안된 알고리즘을 적용하고 비트 당 평균 에너지 전송비에 따른 블록 제거를 실시하여 0.25, 0.5, 0.75 및 1.0 bpp(bit per pixel)의 압축율에 맞춘 복원된 Lena 영상을 나타내고 있다. 1.0 bpp에서는 38.63 dB의 부호화 성능을 얻을 수 있었으며 시각적으로 화질의 훼손을 거의 감지할 수 없는 상태를 나타내고 있다.

Lena와 Pepper의 경우는 JPEG과 유사한 부호화 성능을 발휘하며, Baboon의 경우는 고주파 성분이 많이 나타나는 영상이므로 압축율과 화질이 상당히 떨어짐을 알 수 있다. Shapiro[1][2]의 경우 Lena에 대해 0.5 bpp에서 36.28 dB, 1 bpp에서 39.55 dB로 제안된 방법보다 높은 부호화 성능을 나타내고 있다. 그러나



(a) 제안한 방법
(a) Proposed algorithm



(b) JPEG 부호화
(b) JPEG algorithm

그림 8. 제안한 방법과 JPEG의 복원 영상(0.25 bpp)
Fig. 8 Reconstructed Lena images(0.25 bpp)



(a) 제안한 방법
(a) Proposed algorithm



(b) JPEG 부호화
(b) JPEG algorithm

그림 9. 제안한 방법과 JPEG의 복원 영상(0.5 bpp)
Fig. 9 Reconstructed Lena images(0.5 bpp)



(a) 제안한 방법
(a) Proposed algorithm



(b) JPEG 부호화
(b) JPEG algorithm

그림 10. 제안한 방법과 JPEG의 복원 영상(0.75 bpp)

Fig. 10 Reconstructed Lena images(0.75 bpp)



(a) 제안한 방법
(a) Proposed algorithm



(b) JPEG 부호화
(b) JPEG algorithm

그림 11. 제안한 방법과 JPEG의 복원 영상(1.0 bpp)

Fig. 11 Reconstructed Lena images(1.0 bpp)

제안한 부호화 방법은 압축률은 떨어지지만 양자화와 고립점 제거를 통해 Shapiro의 방법에 비해 계산량을 감소시킬 수 있으며 전송에러에 대해 복원이 용이하며 고정 비트율 만족이 일반적인 변환 부호화 방법에 비해 간단하게 구현된다.

4진 트리를 이용하여 위치 정보와 계수값들을 전송하는 부호화 방법에서는 낮은 전송 비트율에서는 위치 정보를 표현하는데 소요되는 비트량의 비중이 높아지게 되며 계수값을 전송할 수 있는 비트 용량이 상대적으로 줄어들게 된다. 그림 8에서 보는 바와 같이 전송 비트율이 낮아 4진 트리에 소요되는 비트량의 비중이 높아져서 화질의 감소가 커지게 된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 거친 영상에 대해 4진 트리를 이용하여 영상을 효율적으로 부호화 하는 방법을 제시하였다. 단계별 양자화와 고립점 제거를 통하여 4진 트리 부호화에 소요되는 비트량을 감소시킨 후, 낮은 에너지 블록에 대한 블록 제거를 사용하여 정확한 목표 비트량을 생성할 수 있다. 제거할 블록을 판단하기 위한 비트당 평균 에너지는 16×16 크기의 균등한 블록으로 각 대역을 분할하여 4진 트리에 소요되는 평균 비트에 대한 에너지로 판단하였다. 4진 트리 부호화의 효율을 높이기 위해 블록내에 계

수값의 존재에 따라 활성/비활성 블록으로 구분하는 비트와, 0과 1의 우세를 판단하여 우세한 비트를 표현하는 비트를 추가하였다.

부호화는 각 블록에서 계수값의 위치를 나타낼 수 있도록 하기 위해 이진 영상을 이용하여 4진 트리 부호화를 실시하고 이진 영상 위치에 해당하는 계수값들을 전송한다. 전송 비트율을 고정하기 위해 블록 단위로 낮은 에너지를 갖는 블록을 제거하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 구현이 간단하며 전송 비트율을 비교적 정확하게 결정할 수 있는 장점이 있는 반면에 에너지 손실면에서는 블록 단위 제거보다는 낮은 에너지의 계수값들을 제거하는 방법이 보다 효율적일 수 있다. 이진 영상 정보와 계수값들은 각각 산술 부호화기와 허프만 부호화기를 사용하여 엔트로피 부호화를 실시하였다. 512×512 해상도의 256 계조도를 갖는 Lena 영상에 대해 1.00 bpp에서 38.63 dB의 부호화 성능을 구현하였다.

본 논문에서 제시한 방법은 웨이브릿 변환이 갖고 있는 계층적 특성을 충분히 활용할 수 있도록 피라미드 구조를 이용하는 연구를 진행하면, 보다 높은 부호화 효율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Jerome M. Shapiro, "An embedded hierarchical image coder using zerotrees of wavelet coefficients," Data Compression Conference pp.214-223, Mar. 1993.
2. Jerome M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp.3445-3462, Dec. 1993.
3. Tassos Markas and John Reif, "Multispectral image compression algorithms," Data Compression Conference pp.391-400, Mar. 1993.
4. Y. Kim, H. G. Kim, and K. T. Park, "New tree structure with conditional height difference for wavelet transform image coding," IEE Electronics Letters, vol. 31, No. 2, pp.90-91, Jan. 1995.
5. Hanan Samet, The design and analysis for spatial data structures. Addison-Wesley Publishing Com-

- pany Inc, 1990.
6. Peter Strobach, "Quadtree-structured recursive plane decomposition coding of images," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 39, no. 6, June 1991.
7. Y. Meyer, "Orthonormal wavelets," in Wavelets, Time-Frequency Methods and Phase Space, Springer-Verlag, N.Y., 1989.
8. Y. Meyer, "Wavelets: algorithms and applications," SIAM, 1993.
9. S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," IEEE Trans. PAMI, PAMI-11, No. 7, pp.674-693, 1989.
10. S. G. Mallat, "Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models," IEEE Trans. ASSP, vol. 37, no. 12, pp.2091-2110, Dec. 1989.
11. I. Daubechies, Ten lectures on wavelets, SIAM, 1992.
12. O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and signal processing," IEEE Signal Processing magazine, pp. 14-38, Oct. 1991.
13. M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. Image Proc., April 1992.



정 현 민(Hyun Meen Jung) 정회원

1960년 11월 5일생

1984년: 연세대학교 전자공학과
공학사

1986년: 연세대학교 전자공학과
공학석사

1996년: 연세대학교 전자공학과
공학박사

1986년~현재: 한국통신 연구개발본부 연구원

※주관심분야: 영상압축, 영상처리등



김 용 규(Yong Kyu Kim) 정회원

1962년 5월 5일생

1985년: 연세대학교 전자공학과
공학사

1987년: 연세대학교 전자공학과
공학석사

1987년~1995년: 삼성전자 연구원

1996년: 연세대학교 전자공학과
공학박사

1996년~현재: 성결대학교 전산정보학과 전임강사

※주관심분야: 영상압축, 영상처리등



윤 택 현(Taek Hyun Yun) 정회원

1963년 6월 3일생

1986년: 연세대학교 전자공학과
공학사

1993년: 연세대학교 전자공학과
공학석사

1985년~1991년: 금성사 비디오
연구소 연구원

1993년~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야: 영상압축, 영상통신등



김 성 만(Seong Man Kim) 정회원

1961년 10월 28일

1984년: 연세대학교 전자공학과
공학사

1986년: 연세대학교 전자공학과
공학석사

1986년~현재: 연세대학교 전자
공학과 박사과정
재학중

1987년~1990년: 디지콤 정보통신 연구소 근무

1990년~현재: 한국통신 전송기술연구소 근무

※주관심분야: 영상압축, 영상통신등

박 규 태(Kyu Tae Park)

정회원

현재: 연세대학교 전자공학과 교수

한국통신학회 논문지 제20권 4호 참조