

웨이블렛 변환 계수의 비트 플레인을 이용한 영상부호화

正會員 김 영 로*, 홍 원 기*, 고 성 제*

Image Coding Using Bit-planes of Wavelet Coefficients

Young-Ro Kim*, Won-Gi Hong*, Sung-Jea Ko* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 웨이블렛 변환된 영상을 비트 플레인으로 분해하여 효과적으로 영상을 부호화 하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 원영상을 웨이블렛 변환하여 저대역 부분은 그대로 무손실 전송하고 고대역 부분은 비트 플레인(bit-plane)으로 분해한 다음, 각 비트 플레인에 나타나는 이진 영상들을 각각의 특성에 따라 부호화한다.

부호화 방법은 먼저 원영상을 웨이블렛 변환한 후, 부동소수점 값을 가지는 웨이블렛 변환 계수를 정수화하고 이 값을 N비트 데이터와 부호 비트로 나눈다. 이러한 이진값으로 표현된 그레이 원영상을 비트 플레인으로 분할하여 N개의 이진 영상과 부호 비트에 대응하는 1개의 부호 비트 플레인을 생성시킨다. N개의 비트 플레인에 존재하는 이진 영상은 상대적으로 화질에 미치는 중요도가 적은 하위 비트 플레인의 고대역 부분을 제거한 후, 2차원 이진 블록 부호화 방법을 사용하여 부호화한다. 부호 비트 플레인은 N비트로 구성된 데이터의 값이 0이 아닐 경우 그에 해당하는 부호값 만을 부호화하여 압축 효과를 높일 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방법은 웨이블렛 변환 계수로부터 추출된 비트 플레인 중에서 화질에 크게 영향을 주는 중상위 비트 플레인의 이진영상들이 원영상의 에지(edge) 정보와 함께 지역적으로 모여 있는 특성을 보임에 따라 효과적인 부호화가 가능하다. 또한 비트 플레인 부호화 방식은 상대적으로 영상의 화질에 중요도가 적은 하위 비트 플레인을 쉽게 분리하여 제거함으로써 적절한 영상화질을 유지하면서 비트율(bit rate)을 조정할 수 있는 장점이 있다. 제안한 방법은 실험을 통하여 기존의 벡터 양자화 기법에 의한 부호화 방법보다 압축율이나 PSNR 측면에서 성능이 좋음을 입증하였다.

ABSTRACT

This paper proposes an image compression method using the wavelet transform and bit-plane coding of wavelet coefficients. The hierarchical application of wavelet transform to an image produces one low resolution(the

*고려대학교 전자공학과
論文番號:97091-0307
接受日字:1997年 3月 7日

subband with lowest frequency) image and several high frequency subbands. In the proposed method, the low resolution image is compressed by a lossless method at 8 bits per each coefficient. However, the high frequency subbands are decomposed into 8 bit planes. With an adaptive block coding method, the decomposed bit planes are effectively compressed using localized edge information in each bit plane. In addition, the proposed method can control bit rates by selectively eliminating less important subbands of low significant bit planes.

Experimental results show that the proposed scheme has better performance in the peak signal to noise ratio (PSNR) and compression rate than conventional image coding methods using the wavelet transform and vector quantization.

I. 서 론

최근 들어 응용 수학, 신호처리, 컴퓨터 비전 등의 영역에서 독립적으로 발전되어 온 웨이블렛, 필터뱅크, 다해상도 분석등이 이산 웨이블렛(discrete wavelet transform: DWT)을 통하여 하나로 통합되었다[1]-[4]. DWT는 정규직교기저(orthonormal basis)의 저역통과필터와 고역통과필터를 이용한 피라미드 구조 필터 뱅크로서 구현될 수 있는데, 기저의 직교성으로 인하여 영상을 다해상도로 분해하고 다시 완전 복원할 수 있다[1], [2].

최근 웨이블렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에 대하여 여러 가지 부호화 알고리즘이 활발히 연구되어지고 있다. 예를 들어 다해상도로 분해된 영상의 자기 유사성(self-similarity)을 이용하여 변환된 각 대역에서 중요한 정보의 존재성을 예측하여 부호화하는 EZW(embedded zerotree wavelet) 알고리즘이 제안되었다[5]. 이 알고리즘은 웨이블렛 변환된 영상의 특징을 효과적으로 이용하여 원하는 비트율에 정확히 맞추어 부호화할 수 있는 장점이 있으며, 부호화 결과 및 복원 영상의 질도 매우 우수함을 보이고 있다. ECTCQ(entropy-constrained trellis-coded quantization) 알고리즘에서는 흑백과 컬러 영상에 대한 웨이블렛 계수의 부호화 방법을 제안하였다[6]. 이 방법은 큰 복잡성 없이 비메모리성(memoryless) 영상을 효과적으로 양자화할 수 있는 알고리즘으로 알려지고 있다. 또한 가장 폭넓은 접근 방법으로 웨이블렛 변환 계수를 이용한 벡터 양자화 및 프랙탈 기반의 부호화 방법도 활발히 연구되고 있다[7]-[11]. 그러나 대부분의 연구는 알고리즘의 복잡성으로 인하여 상대적으로 부호화에 많은 계산량이 요구되는 단점이 있다.

본 논문에서는 웨이블렛 변환된 영상을 비트 플레

인으로 분해하여 적은 계산량으로 간단하면서도, 효과적인 영상 부호화 방법을 제안한다. 제시하는 알고리즘은 먼저 입력 영상을 웨이블렛 변환을 이용하여 다해상도로 분해한다. 분해된 영상 중에서 가장 낮은 주파수 대역은 원영상의 전역적인 정보를 포함하고 있으므로 손실없이 그대로 무손실 전송한다. 나머지 주파수 대역의 웨이블렛 계수는 비트 플레인들로 분해하여 N개의 이진 영상과 1개의 부호 비트 플레인을 만든 후, 각 이진 영상의 특성에 따라 부호화를 한다. 이때 중상위 비트 플레인에 나타나는 이진 영상은 영상의 화질에 미치는 영향이 매우 크므로 손실없이 부호화한다. 이 비트 플레인에 나타나는 이진 영상들은 원영상의 에지정보를 포함하면서 표현되는 화소의 형태가 지역적으로 모여있는 분포를 보임에 따라 이진 블록 부호화 방법을 이용하여 부호화하였다. 하위 비트 플레인에 나타나는 이진 영상은 상대적으로 화질에 미치는 영향에 적으므로 최하위 비트 플레인(least significant bit-plane)부터 적절히 대역을 제거함으로써 비트율을 조절하면서 부호화한다. 부호 비트 플레인(sign bit-plane)에서는 모든 N개의 비트 플레인 중에서 최소 1개 이상의 영상 정보가 나타나는 화소에 해당하는 부호값 만을 부호화하여 압축 효과를 높일 수 있다.

제안한 방법은 중상위 비트 플레인에서의 이진 영상값들이 원영상의 에지(edge)정보를 잘 보존하면서 지역적으로 모여있는 분포를 보임에 따라 효과적인 부호화가 가능하다. 또한 비트 플레인 부호화는 이진 영상을 대상으로 간단하고 빠르게 부호화할 수 있는 장점과 함께, 화질에 미치는 영상 정보의 우선 순위를 쉽게 결정하여 부호화할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 내용은 다음과 같다. II장에서는 웨이블렛 변환을 설명하고, III장에서는 비트 플레인 분해

방법과 비트 플레인별 부호화에 대해서 기술한다. 그리고, 제안한 방법을 여러 가지 실험 영상에 적용한 결과를 IV장에 제시하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 웨이블릿 변환

웨이블릿이란 $\psi(x)$ 로 정의되는 원형 웨이블릿을 변이시키고 신축 팽창, 그리고 이동시킴으로써 얻어진 함수들의 집합을 말하며, 웨이블릿 변환의 기본 개념은 임의의 함수 $f(x)$ 를 시간·주파수 공간에서 동시에 지역성을 갖는 다음과 같은 웨이블릿 기저함수의 선형결합으로 표현하는 것이다. 원형웨이블릿 $\Psi(x)$ 를 이용하여

$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a, b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

와 같은 웨이블릿 변환식을 얻을 수 있다[2], [3]. 여기서 a 는 스케일 변수이고, b 는 이동 변수이다. DWT는 식 (1)에서 $a=2^m, b=n2^m$ 으로 이산화시킨 것으로, DWT 및 역변환(inverse DWT: IDWT)은 식(2-1)과 식(2-2)와 같이 주어진다.

$$DWT: F(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\Psi_{m,n}(x) dx \quad (2-1)$$

$$IDWT: f(x) = \sum_m \sum_n F(m, n)\Psi_{m,n}(x) \quad (2-2)$$

DWT를 이용하여 신호를 다해상도로 분해하기 위해서는 스케일링 함수, $\phi(x)$ 가 필요하다. $\phi(x)$ 는 원신호를 다해상도로 근사화하는 함수로 다음 식을 만족한다[12], [13].

$$\phi(x) = \sum_n c_n \phi(2x-n) \quad (3)$$

이산 신호에 대한 DWT는 필터 뱅크를 이용한 반복 피라미드를 이용하여 구현하며, 웨이블릿과 필터와의 관계를 살펴보면 $\phi(x)$ 가 정수배 이동에 대해 직교하므로 식 (3)에 의하여

$$\left\langle \sum_n c_n \phi(2x-2l-n), \sum_m c_m \phi(2x+2k-m) \right\rangle = \delta_{kl} \quad (4)$$

가 성립된다. 위 식으로부터 $\|c_m\| = \sqrt{2}$ 이므로 임펄스 응답 $h_n = c_n/\sqrt{2}$ 인 저역 통과 필터와 $g_n = (-1)^n h(L-n-1)$ 인 고역통과 필터로 완전 복원하는 FIR 필터를 구성할 수 있다. 다해상도 분해식은,

$$c_{m,n}(f) = \sum_k g_{2n-k} a_{m-1,k}(f) \quad (5-1)$$

$$a_{m,n}(f) = \sum_h g_{2n-k} a_{m-1,k}(f) \quad (5-2)$$

이며, 복원식은 다음과 같다.

$$a_{m,n}(f) = \sum_n [\tilde{h}_{2n-1} a_{m,n}(f) + \tilde{g}_{2n-1} c_{m,n}(f)] \quad (6)$$

여기서 \tilde{h}, \tilde{g} 는 tilde연산을 의미한다.

III. 비트 플레인을 이용한 부호화

본 장에서는 웨이블릿 변환으로 다해상도로 분해된 영역에서 저주파 영역을 제외한 영상을 N개의 비트 플레인과 한개의 부호 비트 플레인으로 변환하는 과정과 각 비트 플레인에 나타나는 이진 영상의 특성에 따른 비트 플레인별 부호화 방법을 설명하고자 한다.

1. 비트 플레인의 구성

영상을 비트 플레인으로 분해하는 방법은 영상을 구성하는 각 화소값을 비트 단위로 분해하여 정보를 각각 해당하는 비트 플레인으로 저장하는 방식을 사용한다. 먼저 본 논문에서는 그림 1에서와 같이 2차원 영상을 3번 웨이블릿 변환하여 영상을 다해상도로 분해한다.

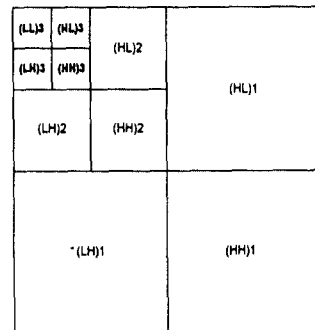


그림 1. 3번의 웨이블릿 변환을 통한 영상 분해
Fig 1. A three-scale wavelet decomposition

그림 1에서 표시된 LL, LH, HL, HH는 각각 다해상도로 분해된 영역을 나타낸다. 첫번째 영문자는 수평 방향으로 필터링하는 방법을 두번째 영문자는 수직 방향으로 필터링하는 방법을 의미한다. 예를 들어 (LL)3은 3번 웨이블렛 변환된 영상으로 수평 방향으로 저역 통과(low pass) 필터링되고 수직방향으로도 저역 통과 필터링된 것을 의미한다. 이때 생성되는 웨이블렛 변환 영상의 화소값은 부동소수(floating-point) 값을 가지므로 압축의 효율을 높이기 위해 그림 2와 같이 정수화하고 정수화된 영상을 다시 부호 비트(sign bit)와 N개의 비트 데이터로 나눈다.

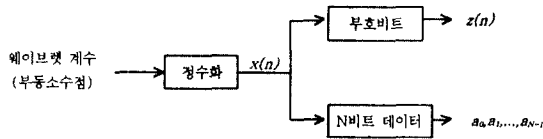


그림 2 웨이블렛 변환 영상의 화소 분해 방법
Fig. 2. Binary representation of wavelet coefficients

부호 비트는 웨이블렛 부호 계수가 0 이상인 값을 가지면 0이고 음수이면 1이 되며 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$z(n) = \begin{cases} 0 & \text{if } x(n) \geq 0, \\ 1 & \text{if } x(n) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $x(n)$ 은 웨이블렛 변환된 영상의 정수화된 화소값이고 $z(n)$ 은 변환된 영역에서 생성된 부호비트 값이다.

N개의 비트 플레인으로 분해하는 방법을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$|x(n)| = a_{N-1} 2^{N-1} + a_{N-2} 2^{N-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0 \quad (8)$$

여기서 a_{N-1} 은 N-1번째 비트 플레인의 화소값을 나타낸다.

그림 3은 N=8인 영상을 3번 웨이블렛 변환하여 저주파 영역을 제외한 영역을 8개의 비트 플레인과 1개의 부호 비트 플레인으로 분해하는 것을 보여준다. 여기서, bit 7은 최상위 비트 플레인(most significant

bit plane)을 의미한다.

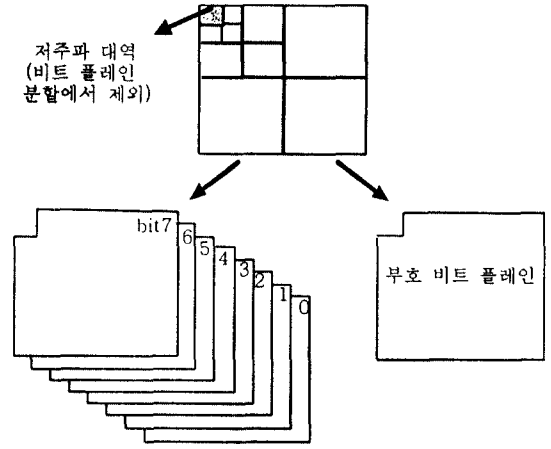


그림 3. 웨이블렛 변환 영상의 비트 플레인 분할
Fig. 3. Bit-plane representation of a wavelet transformed image

실제적인 웨이블렛 변환 영상의 예로, 그림 4는 256 그레이 값을 갖는 512 × 512 크기의 Lena영상을 3번 웨이블렛 변환하여 얻은 영상을 보여주고 있다.

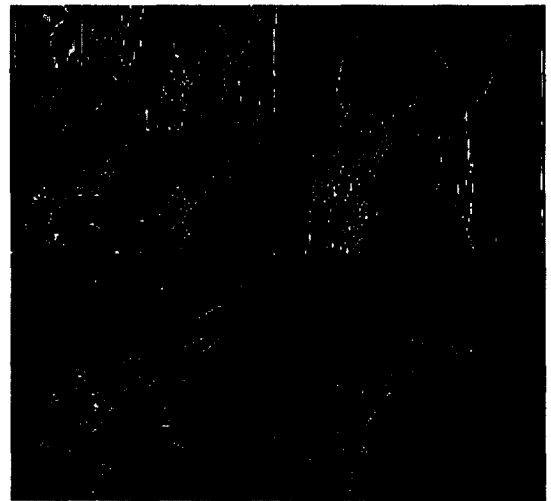


그림 4. Lena(512 × 512) 영상의 다해상도 분해영상
Fig. 4. A multiresolution decomposition of the Lena(512 × 512)

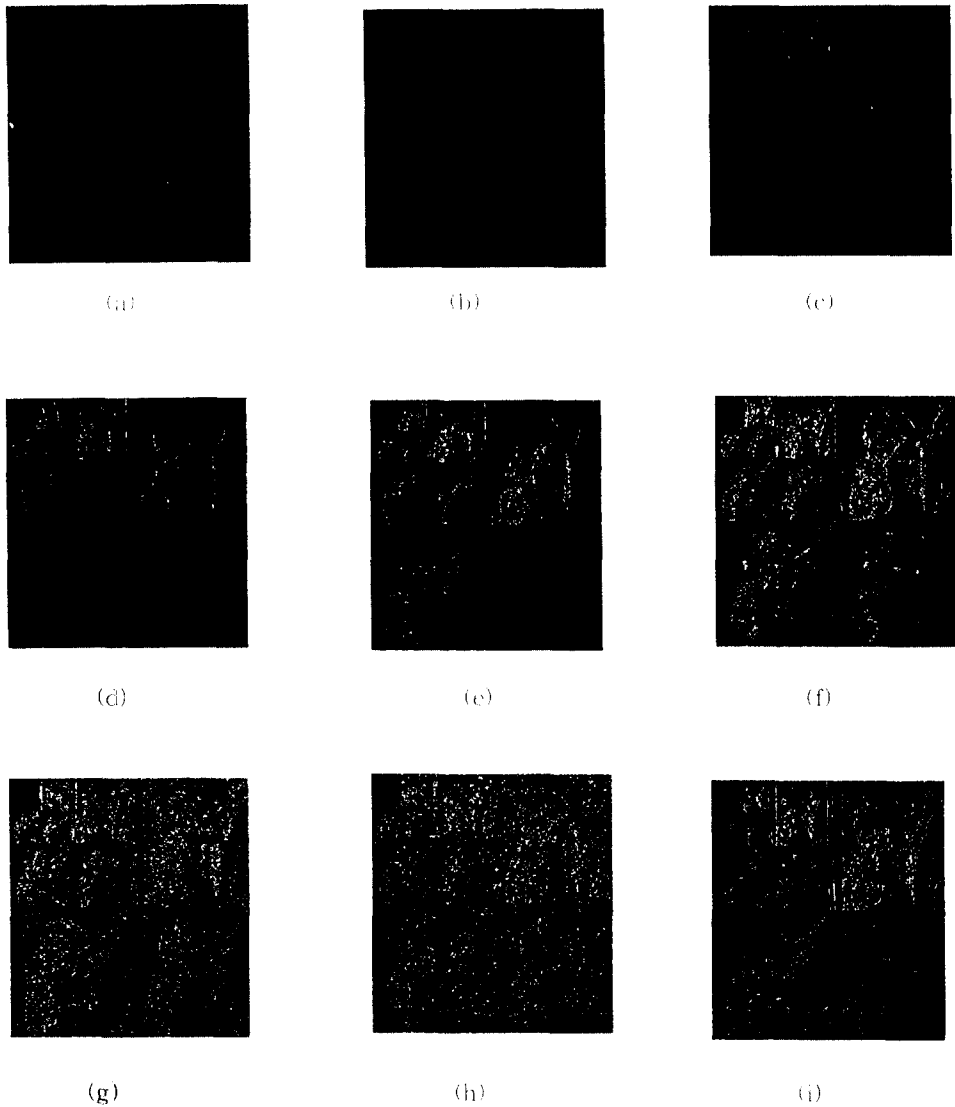


그림 5. Lena 웨이블릿 변환 영상의 비트 플레인
Fig. 5. Bit-plane images of wavelet transformed "Lena"

- (a) 7번째 비트 플레인 (b) 6번째 비트 플레인
- (c) 5번째 비트 플레인 (d) 4번째 비트 플레인
- (e) 3번째 비트 플레인 (f) 2번째 비트 플레인
- (g) 1번째 비트 플레인 (h) 0번째 비트 플레인
- (i) 부호 비트 플레인
- (a) 7th bit-plane (b) 6th bit-plane
- (c) 5th bit-plane (d) 4th bit-plane
- (e) 3rd bit-plane (f) 2nd bit-plane
- (g) 1st bit-plane (h) 0th bit-plane
- (i) Sign bit-plane

그림 5는 그림 4의 변환 영상에서 저주파 대역을 제외하고 8개의 비트 플레인으로 분해한 이진 영상의 예를 보여주고 있다.

일반적으로 웨이블렛 변환된 영상을 비트 플레인으로 분해하면 그림 5의 (a)~(c)에서 보여주는 것과 같이, 상위 비트 플레인에서는 영상 정보가 거의 없어 부호화에 필요한 정보의 양이 매우 적다는 특성을 보여준다. 또한 그림 5의 (d)~(e)에 표시된 중위 비트 플레인은 상위 비트 플레인 보다 상대적으로 많은 영상 정보를 갖고 있으나 원영상의 에지 정보와 함께 일정한 규칙성을 갖고 있으며 영상 정보의 위치가 지역적으로 모여있어 이러한 특성을 이용하면 높은 부호화 효율을 기대할 수 있다. 하위 비트 플레인으로 갈수록 규칙성은 사라지고 영상 정보의 양도 급격히 증가하는 특성을 보여준다. 따라서 이 부분의 부호화 양이 전체 부호화 양의 대부분을 차지하게 된다. 그러나 하위 비트 플레인의 정보는 상대적으로 중상위 비트 플레인보다 복원 영상에 미치는 영향이 적으므로 필요한 경우, 비트 플레인별로 적절히 대역을 제거하여 부호화 함으로서 원하는 비트율로 조정할 수 있다.

2. 각 비트 플레인별 부호화 방법

여기서는 256 그레이 값(N=8)을 갖는 $2^k \times 2^k$ 크기의 원영상을 그림 5와 같이 3번 웨이블렛 변환한 후 생성된 8개의 비트 플레인을 각각의 특성에 따라 부호화 하는 방법을 제시하고자 한다.

1) 저주파 대역

그림 4에서와 같이 3번 웨이블렛 변환된 저주파 영역, (LL)3은 원영상의 전역적인 정보를 포함하고 있으므로 비트 플레인 분할을 하지 않고 그대로 무손실 전송한다. 저주파 영역을 부호화하는데 8비트를 할당하여 부호화 함으로서 이 대역에 필요한 총 부호화 비트, B_0 는 다음과 같이 계산된다.

$$B_0 = 2^{k-3} \times 2^{k-3} \times 8 \tag{9}$$

2)상위 비트 플레인(bit7~bit5)

상위 비트 플레인에서는 그림 5의 (a)~(c)에서와 같이 영상 정보를 갖는 화소의 수가 매우 적다는 특징이 존재한다. 따라서 이 비트 플레인에 나타나는

화소는 그 위치의 좌표로 부호화하는 것이 효과적이다. 좌표 부호화에 요구되는 비트, B_1 은 다음과 같이 표현된다.

$$B_1 = 2 \times m \times k \tag{10}$$

여기서 m은 상위 비트 플레인에 존재하는 0이 아닌 총 영상 화소의 개수이다.

3)중간 및 하위 비트 플레인(bit4~bit0)

중간 비트 플레인(bit4~bit3)은 그림 5의 (d)~(e)에서와 같이 상위 비트 플레인에 비하여 비교적 많은 위치에 정보를 포함하고 있으며 그 특징은 원영상의 에지 정보를 포함하고 있다. 또한 영상 정보를 갖는 화소들의 위치가 비교적 지역적으로 모여 있는 특징도 보여주고 있다. 따라서 이 비트 플레인들은 이러한 특성에 효과적인 후술할 2차원 블록 부호화(2-dimensional adaptive block coding) 방법을 이용하여 손실 없이 부호화 한다.

하위 비트 플레인(bit2~bit0)은 그림 5의 (f)~(h)에서 나타나듯이 중상위 비트 플레인 보다 상당히 많은 위치에 정보가 흩어져 나타난다. 그러나 하위 비트 플레인에 나타나는 이진 영상은 비트 플레인으로 분해하기 전의 영상을 구성하는 각 화소값의 하위 비트의 모임으로 중상위 비트 플레인에 비하여 상대적으로 영상 화질에 미치는 중요도가 떨어진다. 따라서 최하위 비트 플레인, bit0부터 대역을 선택적으로 제거함으로써 부호 비트율을 감쇄시킬 수 있다. 하위 비트 플레인도 2차원 블록 부호화 방법을 사용한다.

4)부호 비트 플레인

부호 비트 플레인은 8개의 비트 플레인으로 구성되는 각 화소값에 대한 부호 정보를 가지고 있다. 따라서 이 부분의 정보는 손실없이 부호화 되어야 한다.

부호 비트의 부호화 방법은 다음과 같은 특성에 바탕을 두고 이루어진다. 8개의 비트로 구성되는 특정 화소의 값이 0이라면 그 화소에 대응하는 부호 비트는 당연히 0이므로 화소값이 0인 위치에 해당하는 부호 비트는 부호화할 필요가 없다. 즉, 8개의 모든 비트 플레인에서 값이 0인 화소에 대한 정보를 알고 있다면 최소한 1이 한개 이상 존재하는 화소에 대응하는 부호 비트만을 저장하면 된다. 그런데 이미 8개의 비트 플레인을 부호화했으므로, 복원시 8개의 비트

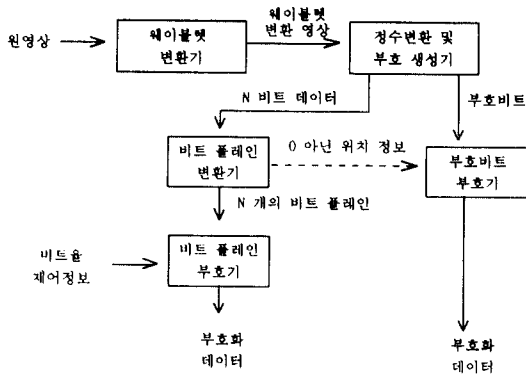


그림 6. 웨이블렛 변환과 비트 플레인을 이용한 부호기의 블록도

Fig. 6. The block diagram of the proposed encoder

플레인에서 최소한 1이 한 개 이상 존재하는 화소들에 대한 위치 정보를 알 수 있다. 실제로 그림 4에서와 같이 웨이블렛 변환된 영상에서 값이 0인 화소가 매우 많이 존재하므로 이러한 부호화 방법은 매우 효과적이다.

본 논문에서 제안한 비트 플레인 부호기의 전체 블록도는 그림 6과 같다.

3.2차원 블록 부호화 방법

중간 비트 플레인에 나타나는 이진 영상의 특징은 원영상의 에지 정보와 함께 영상정보가 듬성하게 모여 있으며 에지 이외의 부분은 모두 0인 데이터를 가지고 있다. 이러한 비트 플레인의 부호화를 위해서 본 논문에서는 이러한 특징에 효과적인 2차원 블록 부호화 방법을 채택하였다[14].

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

(a)

0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0
0	0	0	0

(b)

그림 7. 4×4 블록 부호화

Fig. 7. The 4x4 block coding method

- (a) 모두 0인 블록
- (b) 1이 존재하는 블록
- (a) A block with all zero values
- (b) A block with one values

4×4 크기의 블록을 사용한 2차원 블록 부호화 방법의 예는 다음과 같다. 먼저 각 비트 플레인을 4×4의 블록으로 나누고 이 영역에 1이 존재하는 위치의 특징을 이용하여 부호화한다. 그림 7(a)와 같이 4×4 영역에 1이 존재하지 않으면 0으로 부호화하며 그림 7(b)와 같이 1이 존재하면 4×4 블록을 4개의 2×2의 블록으로 다시 분할한다.

먼저 4×4 블록내에 1이 존재하므로 prefix "1"을 먼저 부호화하고 4개의 2×2 블록중 왼쪽 상단에 있는 블록부터 부호화를 시작한다. 이 블록에 1이 존재하므로 다시 prefix "1"을 부호화하고 4개의 위치에 존재하는 데이터 즉, "0110"을 부호화 한다. 오른쪽 상단에 있는 블록은 1이 없으므로 "0"으로 부호화하고 왼쪽 하단에 있는 블록은 prefix를 포함하여 "11100", 오른쪽 하단에는 1이 없으므로 "0"으로 부호화 한다. 결과적으로, 그림 7(b)는 1101100111000으로 부호화된다. 이 부호화 방법은 영상정보가 지역적으로 모여 있고 영상정보를 포함하는 화소수가 많지 않은 이진 영상 부호화에 효과적이다.

IV. 실험결과

본 장에서는 제안된 부호화 방법을 실제 정지영상에 적용하여 실험한 결과에 대해서 설명하고, 성능을 평가한다. 실험에 사용된 정지영상은 256 그레이 값을 갖는 512×512 영상 Lena, Pepper, Plane, Tiffany를 사용하였다. Lena, Plane 영상은 에지영역이 많은 특징을 가진 반면에 Tiffany, Pepper 영상은 평탄영역이 많은 특징이 있다. 복원 영상의 정량적인 평가를 위하여 본 논문에서는 원영상과 복원 영상과의 PSNR (peak signal to noise ratio)을 사용하였으며, 이에 대한 식은 다음과 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE(f, \hat{f})} \quad (11)$$

위 수식에서 f 는 원영상의 그레이 값을 의미하고 \hat{f} 는 복원 영상의 그레이 값을 의미한다.

본 실험에서는 2차원 영상을 3번의 웨이블렛 변환 후, 변환된 영상을 비트 플레인별로 분해하여 III장에서 제시하였듯이 비트 플레인별로 부호화 방법을 달리 하였다. 즉, 상위 비트 플레인은 영상 정보를

나타내는 화소의 위치를 부호화 하였고 나머지 비트 플레인은 2차원 블록 부호화 방법을 사용하였다. 실험적으로 영상 정보의 조밀도에 따라 블록 크기의 가변적 사용이 높은 부호화 효율을 보임에 따라 중위 비트 플레인은 8×8 블록으로, 하위 비트 플레인은 4×4, 또는 2×2 크기의 블록으로 2차원 블록 부호화 방법을 사용하였다. 웨이블릿 변환을 많이 할수록 압축에는 좋으나 양자화할 때 손실되는 양이 많으므로 실험적으로 3번을 채택하였다.

표 1은 웨이블릿 변환된 Lena 영상을 8개의 비트 플레인으로 분해하였을 때 각 비트 플레인에 존재하는 영상 화소의 수를 정량적으로 보여주고 있다. 표에서 보여지는 것과 같이 상위 비트 플레인에서는 화소수가 매우 희박하지만 하위 비트 플레인으로 갈수록 화소수가 급격히 증가하고 있다.

웨이블릿 변환된 Lena 영상을 비트 플레인으로 분해한 후, 중하위 비트 플레인의 대역을 선택적으로 제거한 다음, 부호화 한 결과를 표 2에 제시하였다. 실험 결과, 최하위 비트 플레인(bit0)의 고주파 대역부터 제거한 후 부호화 하는 것이 압축을 대비 복원 영상의 화질이 가장 우수함을 보여주었다. 표 3은 4개의 실험 영상에 대하여 부호화한 다음 복원된 영상을 원영상과 PSNR으로 비교한 결과이다. 그림 8, 9, 10, 11은 실험에 사용된 원영상과 부호화한 후 복원된 영상을 비교하여 보여주고 있다.

최근에 발표된 웨이블릿 계수를 이용한 논문의 부호화 결과는 그 방식에 따라 매우 다양하게 나타나고 있지만 가장 일반적으로 인용되는 웨이블릿 계수에 대한 벡터 양자화를 적용한 방법[7]과 본 실험 결과를 정량적으로 비교하였다. 벡터 양자화를 적용한 방법에서는 압축율 1.12bpp에서 PSNR이 34.2dB의 결과를 보인 반면, 본 논문에서 제안한 방법은 0.53bpp에서 PSNR이 34.49dB라는 보다 향상된 결과를 보였다.

표 1. 각 비트 플레인에 존재하는 영상 화소의 개수(Lena 512×512 영상)

Table 1. Number of image pixels in the bit-planes(the 512×512 Lena image)

비트플레인	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
영상 화소수	0	0	260	2,690	9,189	24,211	67,514	78,041

표 2. 중하위 비트 플레인에서 대역 제거한 후 부호화 결과
Table 2. Coding results after eliminating subbands(Lena 512×512 영상)

bit0	제거된 대역			압축율 [bpp]	PSNR [dB]
	bit1	bit2	bit3		
HL1, LH1, HH1	HL1, LH1, HH1	HL1, LH1, HH1	HH1	0.81	36.57
HL1, LH1, HH1, HL2, LH2, HH2	HL1, LH1, HH1	HL1, LH1, HH1	HH1	0.71	36.38
모든 대역	HL1, LH1, HH1	HL1, LH1, HH1	HH1	0.68	36.12
모든 대역	모든 대역	HL1, LH1, HH1	HH1	0.53	34.49

표 3. 여러 영상에 대한 부호화 결과
Table 3. Coding results for various test images

영상	압축율 [bpp]	PSNR [dB]
Lena (512×512)	0.71	36.38
Pepper (512×512)	0.59	35.40
Plane (512×512)	0.83	36.85
Tiffany (512×512)	0.53	36.26

V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 계수를 비트 플레인으로 분해한 후, 간단한 이진 부호화를 통하여 효율적으로 정지영상을 부호화 하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 웨이블릿 변환에 의해서 얻어진 대역에서 저주파 대역은 손실없이 그대로 전송하고, 고주파 대역에 대해서는 N비트 데이터와 부호 비트로 분해한 후, N개의 비트 플레인과 1개의 부호 비트 플레인으로 저장한다. 분해된 비트 플레인은 이진 블록 부호화 이용하여 부호화한다. 이때, 상위 비트 플레인보다 하위 비트 플레인이, 저대역 보다 고대역 부분



(a)



(b)

그림 8. Lena

Fig. 8. Lena

(a) 원영상

(b) 복원된 영상(0.71 bpp, PSNR = 36.38 dB)

(a) An original image

(b) Reconstructed image(0.71 bpp, PSNR = 36.38 dB)



(a)



(b)

그림 9. Pepper

Fig. 9. Pepper

(a) 원영상

(b) 복원된 영상(0.59 bpp, PSNR = 35.40 dB)

(a) An original image

(b) Reconstructed image(0.59 bpp, PSNR = 35.40 dB)



(a)



(b)

그림 10. Plane

Fig. 10. Plane

(a) 원영상

(b) 복원된 영상(0.83 bpp, PSNR = 36.85 dB)

(a) An original image

(b) Reconstructed image(0.83 bpp, PSNR = 36.85 dB)



(a)



(b)

그림 11. Tiffany

Fig. 11. Tiffany

(a) 원영상

(b) 복원된 영상(0.53 bpp, PSNR = 36.26 dB)

(a) An original image

(b) Reconstructed image(0.53 bpp, PSNR = 36.26 dB)

이 전체 영상의 화질에 미치는 중요도가 낮다는 특성을 이용하여 하위 비트 플레인의 고대역 부분부터 제거한 후, 부호화 함으로서 비트율을 감소시킨다.

본 논문에서 제안한 방법은 웨이블릿 변환된 영상의 비트 플레인이 원영상의 비트 플레인에 비해서 에지정보를 잘 보존하고 있으며 각 비트 플레인에 나타나는 이진 영상의 화소가 지역적으로 모여있다는 특성을 이용하여 부호화 함으로써 압축효과를 높일 수 있다는 점과, 영상정보의 중요도에 따라 하위 비트 플레인의 고대역을 적절히 제거하고 부호화하여 적정 수준의 영상 화질을 유지시키면서 비트율을 조절할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서 제안한 부호화 방법은 기존의 벡터 양자화를 이용한 우수한 성능을 갖는 것을 실험을 통하여 제시하였다. 앞으로 웨이블릿 변환된 저대역에 대해서 보다 효율적인 부호화 방법을 적용하고, 고대역의 중하위 비트 플레인에 대한 부호화 방법이 개선된다면 더욱 좋은 결과를 얻으리라고 기대된다.

참 고 문 헌

1. S. G. Mallat, "Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models," *IEEE Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, no. 12, pp. 2091-2110, Dec. 1989.
2. S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition the wavelet representation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 11, pp. 674-693, July 1989.
3. S. G. Mallat, "Multiresolution approximation and wavelet orthonormal bases of $L^2(R)$," *Trans. amer. Math. Soc.*, vol. 315, no. 1, pp. 69-87, Jun. 1989.
4. O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelet and signal processing," *IEEE Signal Proces. Mag.*, pp. 14-38, Oct. 1991.
5. J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
6. P. Sriram, M. W. Marcellin, "Image coding using wavelet transform and entropy-constrained trellis-

coded quantization," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, no. 6, pp. 725-733, Jun. 1995.

7. M. Antonini, "M. Barlaud, P. Mathieu and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
8. Y. Huh, J. J. Hwang, C. K. Choi, R. de Queiroz, K. R. Rao, "Classified wavelet transform coding of images using vector quantization," *Proc. Visual Communication and Image Processing, SPIE*, vol. 2308, pp. 207-217, Chicago, 1994.
9. Y. Tang, W. G. Wee, "Fractal-based image compression-a fast algorithm using wavelet transform," *Proc. Visual Communication and Image Processing, SPIE*, vol. 2308, pp. 1674-1682, Chicago, 1994.
10. G. Caso, C.-C. J. Kuo, "New results for fractal/wavelet image compression," *Proc. Visual Communication and Image Processing, SPIE*, vol. 2727, pp. 536-547, Orlando, 1996.
11. I. K. C.-C. J. Kuo, "Hierarchical weighted vector quantization(HWVQ) for embedded wavelet coding," *Proc. Visual Communication and Image Processing, SPIE*, vol. 2727, pp. 548-559, Orlando, 1996.
12. I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets," *Comm. Pure Appl. Math.*, vol. XLT, no. 7, pp. 909-996, 1988.
13. I. Daubechies, "The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 36, no. 5, pp. 961-1005, Sep. 1990.
14. M. Kunt, O. Johnsen, "Block coding of graphics: A Tutorial Review," *IEEE Proceeding*, vol. 68, pp. 770-786, Jul. 1980.



김 영 로(Young-Ro Kim) 정회원
 1993년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)
 1996년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1996년 3월~현재: 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 영상 압축 및 통신, 영상 및 신호처리



홍 원 기(Won-Gi Hong) 정회원

1985년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)

1987년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1987년 1월~1993년 1월: 삼성전자 컴퓨터 본부 S/W 개발팀 연구원

1993년 1월~1996년 8월: 경인여자전문대학 전임강사

1995년 8월~현재: 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신



고 성 제(Sung-Jea Ko) 정회원

1980년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)

1986년 5월: 미국 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터 공학(공학석사)

1988년 8월: 미국 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터 공학(공학박사)

1981년 8월~1983년 12월: 대한전선 중앙연구소 연구원

1988년 8월~1992년 5월: 미국 The Univ. of Michigan-

Dearborn, 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1992년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 부교수

1996년 11월: IEEE APCCAS Best Paper Award 수상

※주관심분야: 신호처리 및 영상처리, 영상 압축 및 통신, 멀티미디어 통신