

다중 임계치를 이용한 대역 선택적 임베디드 웨이블릿 부호화

정회원 강의 성*, 이태형*, 다나카 도시히사**, 고성제*

Band-Selective Embedded Wavelet Coding Using Multi-threshold

Eui-Sung Kang*, Tea-Hyung Lee*, Toshihisa Tanaka**, Sung-Jea Ko* *Regular Members*

요약

본 논문은 웨이블릿 변환된 영상을 다중 임계치(multi-threshold)를 이용하여 중요한 웨이블릿 계수가 존재하는 대역만을 선택적으로 스캐닝하면서 부호화함으로써, 기존의 임베디드 제로트리 웨이블릿(embedded zerotree wavelet: EZW) 부호화 방법의 압축률을 효과적으로 높일 수 있는 영상 부호화 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 각 부대역의 계수들 중에서 가장 크기가 큰 계수들의 절대치를 가지고 다중 임계치를 구성하는데, 이를 이용하면 연속 근사 양자화(successive approximation quantization) 과정에서 각 대역 내의 모든 계수를 스캐닝하지 않고도 대역 내에 중요한 계수가 존재하는지를 판단할 수 있다. 기존의 EZW 부호화 방법은 연속 근사 양자화 과정에서 전 대역을 반복적으로 스캐닝하면서 부호화하기 때문에 많은 중복성이 존재하는 반면, 제안한 방법은 다중 임계치에 의해서 중요한 웨이블릿 계수를 포함하고 있다고 판단된 대역만을 선택적으로 부호화하기 때문에 향상된 부호화 성능을 얻을 수 있다. 실험결과, 제안한 방법은 기존의 JPEG 뿐만 아니라, EZW 부호화기에 비해 나은 성능을 보임을 실험을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, an embedded wavelet coder, called a band-selective embedded wavelet coder, is proposed. The well-known embedded zerotree wavelet (EZW) coder uses the successive approximation quantization (SAQ) process and zerotree structures of wavelet coefficients. The EZW coder scans iteratively all the wavelet coefficients during the SAQ process, which decreases the coding efficiency considerably. In the proposed scheme, we scan only significant subbands using the significance test with the multi-threshold. The multi-threshold obtained from the coefficient with the maximum magnitude in each subband is used to determine whether a subband has significant coefficients or not. Since it is not necessary to encode the insignificant subbands having no significant coefficients during the SAQ process, the redundancy generated by scanning higher subbands can be significantly reduced. Experimental results show that the proposed method outperforms popular image coders such as JPEG and EZW.

I. 서론

웨이블릿을 이용한 부호화 방법은 JPEG과 같은 블록 기반 부호화기에서 발생하는 블록 현상(blocking effect)이 나타나지 않을 뿐만 아니라, 서로 다른 해상도를 갖는 단말기들 사이에서 통신이

가능하도록 하는 공간적인 스케일리빌리티(spatial scalability)를 제공하기가 용이하다는 특징으로 인해서 웨이블릿 기반 부호화 기법에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다^[1-3].

Shapiro는 웨이블릿 변환 영상이 가지고 있는 제로트리 구조(zerotree structure)와 연속 근사 양자

* 고려대학교 전자공학과,
논문번호: 98342-0804, 접수일자: 1998년 8월 4일

** 동경공업대학교 전기전자공학과

화를 이용하여 비트스트림이 어떠한 위치에서 끊기더라도 복원할 수 있는 EZW 부호화 방법을 제안하였다^[4]. EZW 부호화 방법은 원하는 비트율로 영상을 정확히 전송할 수 있는 비트율 제어(rate control)가 가능하기 때문에 통신 채널의 대역폭에 따라서 비트율을 조절할 수 있을 뿐만 아니라, 연속 근사 양자화를 이용하여 크기가 큰 웨이블릿 계수들을 먼저 전송하기 때문에 주어진 비트율에서 우수한 화질을 제공한다는 장점이 있다. 이와 같은 장점으로 인해서 MPEG-4 표준화에서는 DCT에 비해서 스케일러빌리티 기능과 비트율 제어가 용이한 웨이블릿 기반 부호화 방법을 정지 영상을 위한 부호화 기법으로 채택하였다. MPEG-4의 정지 영상 부호화 기법으로 채택된 제로트리 엔트로피(zerotree entropy : ZTE) 부호화 방법^[5-6]은 비트율 제어가 가능하고, 웨이블릿 변환 영상을 스캐닝하는 방법에 따라서 공간적인 스케일러빌리티 (spatial scalability)와 SNR 스케일러빌리티 (signal-to-noise scalability) 기능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, EZW 부호화 방법에 비해서 향상된 부호화 성능을 보인다. EZW 부호화 방법은 연속 근사 양자화 과정에서 각 웨이블릿 계수들을 계수의 중요도와 제로트리 구조에 따라서 POS, NEG, ZTR, IZ 등과 같은 네 심볼 중의 하나에 할당하고, 이 심볼들을 적응적 산술 부호화 (adaptive arithmetic coding)^[7] 방법을 이용하여 무손실 부호화한다. 이러한 연속 근사 양자화 과정은 임계치를 감소시키면서 원하는 비트율이 만족될 때까지 수행된다. 그러나, 이러한 과정에서 상대적으로 덜 중요한 정보를 포함하고 있는 고주파 대역 내의 웨이블릿 계수들이 부호화 되기 때문에 중복성 (redundancy)이 발생하게 된다.

본 논문에서는 연속 근사 양자화 과정에서 중요한 웨이블릿 계수를 포함하고 있는 대역만을 스캐닝하면서 부호화함으로써, 고주파 대역을 반복적으로 스캐닝함으로써 인해서 발생하는 중복성을 효율적으로 줄일 수 있는 부호화 방법^[8]인 BSEW (band-selective embedded wavelet) 부호화기를 제안한다. 제안한 방법은 웨이블릿 변환에 의해서 얻은 각 대역들 중에서 중요한 웨이블릿 계수들을 포함하고 있다고 판단된 대역만을 부호화한다. 각 대역이 중요한 웨이블릿 계수들을 포함하고 있는지는 다중 임계치에 의해서 판단되는데, 다중 임계치는 각 대역 내의 웨이블릿 계수들 중에서 가장 크기가 큰 계수들의 절댓치들로 구성된다. 제안한 방법은 각 대역의 중요도를 판단하는데 있어서 단순히 다

중 임계치만을 이용하기 때문에 부가적인 계산 없이도 부호화 효율을 향상시킬 수 있다. 실험을 통해 제안한 방법은 기존의 EZW 뿐만 아니라, MPEG-4의 ZTE 부호화 방법보다도 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 또한, 제안한 방법은 기존의 EZW 부호화기와 마찬가지로, 임베디드 비트스트림 (embedded bitstream)을 생성하기 때문에 정확한 비트율 제어가 가능할 뿐만 아니라, 중요한 정보를 갖는 웨이블릿 계수들을 우선적으로 전송하기 때문에 점진적 영상 전송 (progressive image transmission) 등과 같은 응용에도 용이하게 적용할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 EZW에 대해서 간략히 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안한 다중 임계치를 이용한 BSEW 부호화기에 대해서 설명한다. 그리고, IV장에서는 제안한 방법에 대한 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. EZW 부호화 방법

제안하는 BSEW 부호화기를 설명하기에 앞서서 웨이블릿 변환 영상에서의 제로트리 구조와 연속 근사 양자화를 이용한 기존의 EZW 방법에 대해서 기술한다. EZW는 부호화 방법에서는 웨이블릿 변환 계수들의 대역간 자기 유사성 (self-similarity)을 고려한 트리 구조를 이용하여 영상을 압축한다. 그림 1에서 주파수가 낮은 대역에 있는 웨이블릿 계수를 parent라 하고, 이 대역보다 높은 주파수 대역 내의 계수들을 descendant라고 한다. 그림에서 원으로 그려져 있는 웨이블릿 계수가 parent가 되고, 타원으로 둘러싸인 계수들이 descendant에 해당된다. 이러한 웨이블릿 트리 구조는 parent에 해당하는 계수가 작은 값을 가지면, 이 계수의 descendant들이 대부분 작은 값을 갖는 특징이 있다.

EZW 부호화 방법에서는 이러한 트리 구조와 연속 근사 양자화 방법을 이용하여 영상을 부호화한다. 연속 근사 양자화는 $T_i = T_{i-1}/2$ 인 관계를 만족하는 일련의 임계치 T_1, \dots, T_N 들을 각 웨이블릿 계수들에 반복적으로 적용하면서 웨이블릿 계수의 중요도를 판단한다. 현재 임계치 T_i 보다 크기가 큰 계수를 significant하다고 하고, 작은 계수를 insignificant하다고 한다. 여기서, 초기 임계치 T_1 은 모든 웨이블릿 계수 x_j 에 대해 $|x_j| < 2T_1$ 의 조

진을 만족하는 값이다. 이러한 연속 근사 양자화 과정에서 웨이블릿 계수들을 저주파 대역에서부터 고주파 대역으로 계층적 순서 (hierarchical order)에 따라 스캔하면서, 각 계수의 크기가 임계치 T_i 보다 큰지, 작은지를 결정한다. 만약, 계수가 significant 라면 계수의 부호에 따라 POS (positive significant) 또는 NEG (negative significant) 심볼로 나타내고, 반대로 계수가 insignificant이면 이 계수에 대한 descendant들 중에 significant 계수가 있는지를 조사한 후, significant 계수가 하나도 없으면 ZTR (zerotree root) 심볼을 할당하고, significant 계수가 하나라도 존재하면 IZ (isolated zero) 심볼을 할당한다. 이와 같이 생성된 심볼들은 적응적 산술 부호화기를 이용하여 무손실 부호화한다. 이러한 일련의 과정은 주어진 비트율을 만족할 때까지 임계치를 반으로 낮추어 가면서 반복적으로 수행된다.

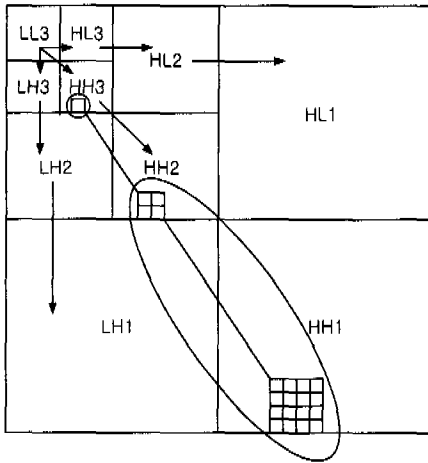


그림 1. 웨이블릿 트리 구조

III. 다중 임계치를 이용한 대역 선택적 임베디드 웨이블릿 부호화

EZW 부호화기는 앞서서 언급한 바와 같이 현재 임계치에 대해서 모든 대역 내의 웨이블릿 계수를 스캐닝하면서 부호화하기 때문에 고주파 대역을 스캐닝할 때 중복성이 발생한다. 그러나, 제안한 방법은 중요한 계수를 포함하고 있는 대역만을 스캐닝하기 때문에 고주파 대역을 반복적으로 스캐닝함으로써 발생하는 중복성을 줄일 수 있다. 본 절에서는 다중 임계치를 이용하여 중요한 계수를 포함하고 있는 대역을 선택적으로 스캐닝하면서 연속 근사

양자화하는 방법과, 압축 효율을 효과적으로 높이기 위해서 본 논문에서 채택한 대역 선택적 비트 할당 기법에 대해서 언급하고, 연속 근사 양자화 과정에서 생성된 심볼을 엔트로피 부호화하는 방법에 대해서 설명하기로 한다.

1. 다중 임계치를 이용한 연속 근사 양자화

입력 영상을 N 번 분해할 경우, $HL_1, LH_1, HH_1, \dots, HL_N, LH_N, HH_N, LL_N$ 과 같은 $3N+1$ 개의 대역을 얻을 수 있다. HL_i, LH_i, HH_i , 대역에 존재하는 웨이블릿 계수들 중에서 크기가 가장 큰 계수의 절대치를 $t_{3i-2}, t_{3i-1}, t_{3i}$ 라고 하자. 이 때, $1 \leq i \leq N$ 이다. 그리고, 가장 낮은 주파수 대역인 LL_N 내의 계수 중에서 가장 큰 계수값을 t_{3N+1} 라고 하면, 다중 임계치 M 은 다음과 같은 식으로 구성된다.

$$M = \{t_k; k = 1, 2, \dots, 3N+1\} \quad (1)$$

그림 2는 입력 영상을 3번 웨이블릿 변환했을 경우의 다중 임계치에 대한 예로서, 각 대역에 대한 계수들의 최대치가 그림과 같을 때, 다중 임계치 $M = (10, 15, \dots, 50, 70)$ 와 같이 구성된다. 그리고, 연속 근사 양자화를 위한 초기 임계치는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$T_1 = 2^{\lfloor \log_2 L \rfloor} \quad (2)$$

여기서, L 은 모든 웨이블릿 계수 중에서 가장 큰 값을 나타내며, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 넘지 않는 최대의 정수를 의미한다. EZW 부호화 방법에서는 연속 근사 양자화 과정에서 모든 웨이블릿 계수를 스캐닝해야 하지만, 제안한 방법에서는 위와 같은 다중 임계치를 이용하여 중요한 웨이블릿 계수를 포함하고 있는 대역만을 선택적으로 스캐닝하면서 부호화할 수 있다. i 번 째 연속 근사 양자화 과정에서 $t_k \geq T_i$ 를 만족하는 대역을 significant subband(SS), $t_k < T_i$ 를 만족하는 대역을 insignificant subband (IS)라고 하면, SS는 대역 내의 계수들 중에서 연속 근사 양자화를 위한 임계치 T_i 보다 큰 값을 갖는 웨이블릿 계수를 포함하고 있는 대역을 의미하며, IS는 대역 내의 모든 계수들이 임계치 T_i 보다 작은 값을 갖는다는 것을 의미한다. 기존의 EZW에서는 IS에 속해 있는 계수들도 스캐닝하면서 부호화해야 하지만, 제안한 방법에서는 연속 근사 양자

화를 위한 임계치 T_i 보다 IS에 속해 있는 계수들은 모두 작다는 것을 알고 있으므로 부호화할 필요가 없다. 그림 2는 연속 근사 양자화에 따른 SS와 IS를 나타내고 있다. 그림에서 음영 있게 표시된 대역들이 SS를 나타내며, 그 이외의 대역들이 IS에 해당한다. 연속 근사 양자화 과정에서 각 대역이 중요한 계수를 포함하고 있는지, 없는지는 다중 임계치를 구성하는 t_k 가 T_i 보다 크지, 작은지를 확인함으로써 판단할 수 있다. 그리고 그림에서 굵은 실선으로 표시되어 있는 부대역을 marginal subband (MS)라고 하는데, 이와 같은 MS에 대해서는 다음 절에서 언급하기로 한다.

| | | | |
|-----------------|--------------|----------|----------|
| t_{10} =70 | t_9 =50 | $t_6=30$ | $t_3=18$ |
| t_8 =47 | t_7 =43 | | |
| $t_5=33$ | | $t_4=23$ | |
| $t_2=15$ | | $t_1=10$ | |

(a) $T_1 = 2^6$

| | | | |
|-----------------|--------------|----------|----------|
| t_{10} =70 | t_9 =50 | $t_6=30$ | $t_3=18$ |
| t_8 =47 | t_7 =43 | | |
| $t_5=33$ | | $t_4=23$ | |
| $t_2=15$ | | $t_1=10$ | |

(b) $T_1 = 2^5$

그림 2. 다중 임계치와 significant subbands (SS), insignificant subbands (IS), marginal subbands (MS)의 예

2. 대역 선택적 스캐닝 및 비트 할당 기법

EZW에서는 연속 근사 양자화 과정에서 각 웨이블릿 계수에 대해서 POS, NEG, IZ, ZTR 중의 하나의 심볼이 할당되는데, 제안한 방법에서는 0과 1의 이진 심볼을 사용한다. 연속 근사 양자화 과정에서 현재 픽셀이 significant이면, 1을 할당하고 insignificant이면 0을 할당한다. 웨이블릿 계수가 significant인 경우는, 계수의 부호를 나타내기 위해서 1비트가 부가적으로 요구되며, insignificant인 경우에는 significant한 descendant가 존재하는지를 나타내기 위해서 1비트가 부가적으로 필요하게 된다. 결국, EZW 부호화기에서의 POS, NEG, IZ, ZTR을 11, 10, 01, 00으로 나타낼 수 있다. 그림 3에서 음영 있게 표시된 대역들은 SS, 그 이외의 대역들은 IS에 해당한다. 이 그림에서 연속 근사 양자화를 위한 임계치 T_i 는 32인 경우를 가정한 것이다. SS에는 임계치 T_i 보다 큰 significant 계수가 존재하므로, 연속 근사 양자화 과정에서 부호화해야 하지만, IS의 계수들은 T_i 보다 작은 값을 가지므로 부호화할 필요가 없다. EZW 부호화 방법에서는 연속 근사 양자화 과정에서 모든 대역을 스캐닝하면서 부호화해야 하지만, 제안하는 방법에서는 각 대역에서 최대값을 갖는 계수들로 구성된 다중 임계치를 T_i 와 비교하여 significant 계수가 존재하는 대역을 선택적으로 부호화할 수 있다.

SS 중에서 IS와 인접해 있는 대역들이 MS에 해당되는데, 이 대역은 그림 3에서 굵은 실선으로 표시되어 있다. 그림에서 살펴보면 MS 내의 모든 계수들에 대한 descendant들은 모두 IS에 속해 있음을 알 수 있다. IS에 속해 있는 모든 계수들은 T_i 에 대해서 insignificant하므로, MS 내의 계수들에 대한 descendant들은 모두 insignificant하다. 본 논문에서는 이러한 MS 내의 계수들의 특징을 이용하여 심볼에 할당되는 비트를 줄임으로써 부호화 효율을 높일 수 있도록 하였다. 앞서서 언급한 바와 같이 EZW 부호화 방법에서는 모든 대역 내의 insignificant 계수 (IZ, ZTR)들은 연속 근사 양자화 과정에서 descendant에 significant가 존재하는지를 나타내기 위해서 IZ에는 01, ZTR에는 00을 할당한다. 제안하는 방법에서는 MS 내의 계수들은 descendant가 모두 insignificant하다는 것을 알고 있다. 다시 말하면, MS 내의 insignificant 계수들은 IZ인 경우는 없고, 항상 ZTR 만이 존재한다. 따라

서, ZTR에 00 대신에 0을 할당함으로써 심볼에 할당되는 비트수를 줄일 수 있다. 그림 3에서 MS 대역 내의 S라고 표시되어 있는 계수들은 significant한 계수들(EZW에서의 POS, NEG)을 의미하는데, 이 계수들을 제외한 나머지 계수들은 모두 ZTR 심볼에 해당된다.

또한, POS 또는 NEG일 때, EZW 부호화기의 경우에는 MS 내의 계수들이 이 계수들의 descendant 중에 significant한 계수가 존재하는지를 확인하기 위해서 IS에 속해 있는 계수들도 스캔하면서 부호화해야 한다. 그러나, 제안한 방법에서는 그림에서 C라고 표시되어 있는 S의 descendant들이 모두 insignificant하다는 것을 알 수 있으므로, 이러한 descendant들을 부호화 할 필요가 없다. 이와 같이 본 논문에서 제안하는 방법은 부가적인 계산이나 엔트로피 부호화기와는 관계없이 다중 임계치에 의한 대역 선택적 스캐닝 및 비트 할당 방법만으로 심볼에 할당되는 비트량을 줄임으로써 EZW에 존재하는 중복성을 효과적으로 줄일 수 있다.

3. 컨텍스트를 고려한 적응 산술부호화 방법

연속 근사 양자화 과정에서 생성된 이진 심볼들은 EZW에서 사용한 산술 부호화기보다 우수한 성능을 보이는 QM-부호화기를 이용하여 부호화한다. QM-부호화기는 이진 영상 압축 표준인 JBIG에서 사용되는 부호화 기법으로서 적응적 산술 부호화의 일종이다⁹⁾.

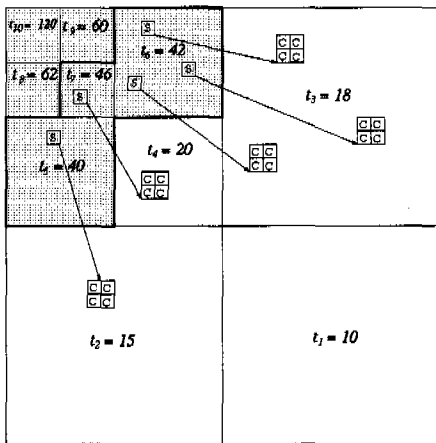


그림 3. 다중 임계치를 이용한 대역 선택적 스캐닝 및 비트 할당

QM-부호화기에서는 현재 심볼에 대한 확률을 추

정하는데 있어서 인접한 픽셀들의 패턴을 사용하는 데, 이를 컨텍스트 모델링(context modeling)이라고 한다. 컨텍스트 모델링을 어떻게 하느냐에 따라서 QM-부호화기의 성능을 향상시킬 수 있는데, 최근에 이에 관한 연구에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다^{10),11)}. x_1, x_2, \dots, x_n 들로 이루어진 심볼들을 부호화하는데 필요한 최소 코드길이(minimum code length) l 은 아래와 같은 식으로 주어진다.

$$l = -\log_2 \prod_{i=1}^n p(x_i | x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_1) \quad (3)$$

QM-부호화기에서는 심볼의 분포를 추정하기 위해서 x_1, x_2, \dots, x_n 에 대한 서브시퀀스 S 를 사용하는 데, 제안한 방법에서 사용한 컨텍스트 모델은 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 연속 근사 양자화 과정에서 계수가 임계치에 대해서 significant인지, insignificant인지를 나타내는 significance 비트에 대한 컨텍스트 모델이고, 그림 4(b)는 계수의 부호에 대한 컨텍스트 모델을 나타낸다. 즉, significant를 나타내는 비트에 대한 확률 분포는 $S = \{x_P, x_N, x_W, x_E, x_S\}$ 를 사용하고, 계수의 부호에 대한 분포는 $S = \{x_N, x_W, x_E, x_S\}$ 를 사용하여 추정한다. 여기에서 x_N 와 x_W 는 현재 임계치 T_i 일 때에 연속 근사 양자화에 의해서 생성된 값이고, x_E 와 x_S 는 바로 이전 임계치인 T_{i-1} 일 때에 연속 근사 양자화에 의해서 생성된 값을 사용한다.

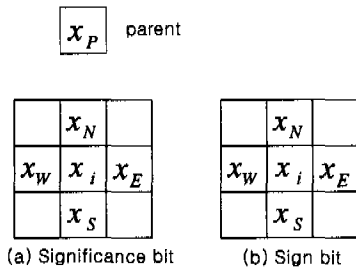


그림 4. 제안한 방법에서 사용한 컨텍스트 모델링

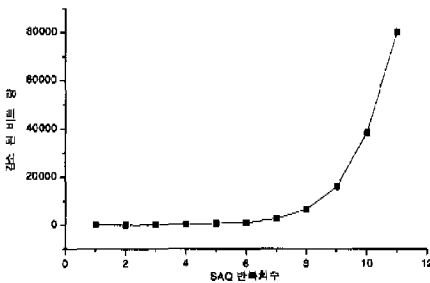
IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 부호화 성능을 평가하기 위해서 512x512 크기의 Lena 영상을 이용하였으며, 쌍직교 웨이블릿 필터 (biorthogonal wavelet filter) 인 Daubechies 9/7 필터를 이용하여 6번 웨이블릿

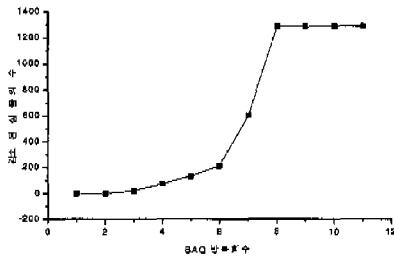
변환하였다. 그리고, 앞절에서 언급한 바와 같이 다중 임계치를 이용한 연속 근사 양자화에 의해서 생성된 심볼들은 QM-부호화기를 이용하여 부호화하였다.

그림 5(a)는 제안하는 방법에 의해서 MS 내의 insignificant 계수들 (ZTR)에 1 bit만을 할당함으로써 EZW 방법에 비해서 줄일 수 있는 비트량을 나타낸 것이고, 그림 5(b)는 MS 내의 significant 계수들(POS, NEG)에 대한 descendant의 수를 나타내는데, III장에서 언급한 바와 같이 제안한 방법에서는 EZW 방법과는 달리 이러한 descendant들은 부호화할 필요가 없다. 이와 같은 부호화 이득은 QM-coder와 같은 산술 부호화기와 관계없이 다중 임계치를 이용한 대역 선택적 스캐닝 및 비트 할당 방법에 의해서 얻을 수 있다.

제안한 부호화 방법에 대한 성능은 EZW 부호화 방법^[4], ZTE^[6], DCT에 기반한 임베디드 부호화기^[12], arithmetic and entropy constrained trellis quantization (ACTCQ) 부호화기^[13], 그리고 JPEG^{[14], [15]}과 비교 평가하였다. 여기서, [4], [12] 등은 제안한 방법과 같은 임베딩 특성 (embedding property)을 가지고 있으며, 그 이외의 부호화 방법들 [6], [13], [14]은 임베딩 특성을 갖지 않는다.



(a)



(b)

그림 5. 제안한 방법에 의해서 줄어든 비트량과 심볼의 수: (a) 비트수, (b) 심볼수

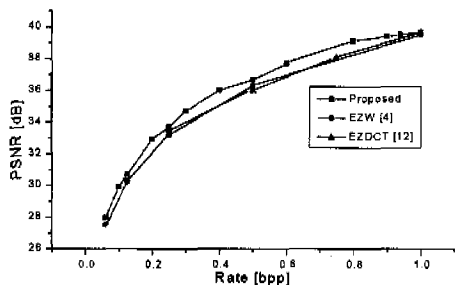
그림 6과 표 1은 비트율에 대한 PSNR 성능을 나타낸다. 약 0.95 bpp이하의 낮은 비트율에서는 제안한 방법은 다른 방법들에 비해 좋은 성능을 나타내었고, 1bpp 이상의 높은 비트율에서는 ACTCQ에 대해서 성능이 약간 떨어졌다. 복호기로 미리 전송해야 하는 다중 임계치는 실제의 값을 전송하지 않고, 식 (4)로 주어지는 n_k 를 전송함으로써 오버헤드를 줄일 수 있다.

$$n_k = \lfloor \log_2 t_k \rfloor \quad (4)$$

그림에서 볼 때, 0.1 bpp 이하의 저전송률에서도 오버헤드에 영향을 크게 받지 않고, 제안한 방법이 기존의 방법들보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 7은 제안한 방법에 의한 복원영상과 원영상을 나타내는데, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 복원된 영상은 불룩한 왜곡이 없는 좋은 화질을 보였다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 제안한 방법은 기존의 EZW, ZTE, ACTCQ, JPEG 등과 같은 압축 방법에 비해서 성능이 우수함을 알 수 있다.

표 1. 비트율에 따른 PSNR 결과

| 압축률 압축 방법 | 8:1 | 16:1 | 32:1 | 64:1 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Proposed | 39.66 | 36.65 | 33.68 | 30.70 |
| EZW | 39.55 | 36.28 | 33.17 | 30.23 |
| JPEG | 37.95 | 34.84 | 31.42 | 28.24 |
| ZTE | 38.01 | 35.32 | 32.51 | 30.00 |
| EZDCT | 39.62 | 36.00 | 32.25 | - |
| ACTCQ | 39.63 | 36.20 | 33.11 | - |



(a) embedded coders

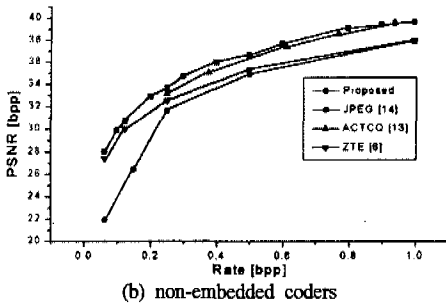


그림 6. 비트율에 따른 PSNR 그래프

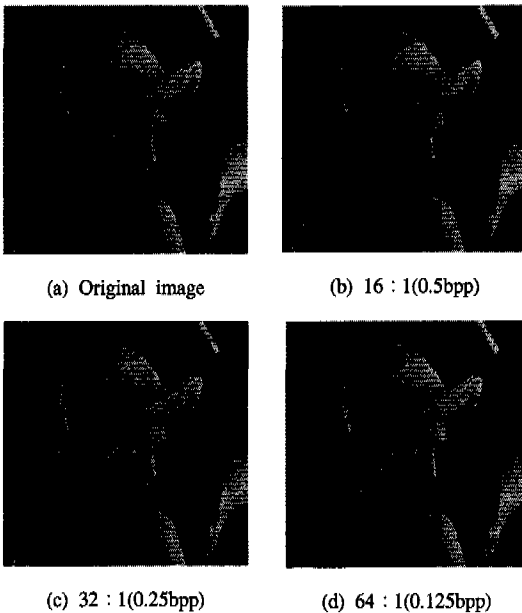


그림 7. 제안한 부호화 방법에 의한 복원 영상

V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환에 의해서 얻은 부대역들 중에서 다중 임계치를 이용하여 중요한 계수를 갖는 대역만을 선택적으로 스캐닝하면서 부호화함으로써 연속 근사 양자화 과정에서 발생하는 중복성을 효율적으로 줄일 수 있는 부호화 방법을 제안하였다. 그리고 연속 근사 양자화 과정에서 이진 심볼을 사용함으로써 심볼에 할당되는 비트량을 중복성을 줄일 수 있도록 하였으며, 이진 심볼을 엔트로피 부호화하는데 있어서 JBIG 압축 방법에서 사용되고 있는 QM-부호화기를 사용하였다. 제안한 방법은 추가적인 계산 없이 다중 임계치에 의해서 각 대역을 효율적으로 스캐닝함으로써 부호화 성능

을 높이도록 하였다. 제안한 방법을 기존의 EZW 부호화기, JPEG, ACTCO, 그리고 ZTE 등과 비교한 결과, 우수한 성능을 보임을 실험을 통해서 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. Y. Tham, S. Ranganath, and A. A. Kassim, "Highly scalable wavelet-based video codec for very low bit-rate environment," *IEEE Trans. Selected Areas in Comm.* vol. 16, no. 1, pp.12-27, Jan. 1998.
- [2] S. N. Efstratiadis, D. Tzovaras, and M. G. Strintzis, "Hierarchical partition priority wavelet image compression," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, no. 7, pp. 1111-1123, Jul. 1996.
- [3] Z. Xiong, K. Ramchandran, and M. T. Orchard, "Space-frequency quantization for wavelet image coding," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 677-693, May 1997.
- [4] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [5] Document ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG-4 Video Verification Model Version 8.0," Stockholm MPEG meeting, July 1997.
- [6] S. A. Martucci, I. Sodagar, and T. Chiang, "A zeretree wavelet video coder," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 109-118, Feb. 1997.
- [7] I. H. Witten, R. Neal, and J. G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," *Comm. ACM*, vol. 30, pp. 520-540, June 1987.
- [8] E. -S. Kang, T. Tanaka, T. -H. Lee, and S. -J. Ko, "A multi-threshold embedded zeretree wavelet coder," in *Proc. ITC-CSCC '98*, pp. 117-120, 1998.
- [9] CITT Draft Recommendation T.82 ISO/IEC Draft International 11544 Coded Representation of Picture and Audio Information-Progressive Bi-Level Image Compression,

