

論文97-34S-10-12

국부 적응 문턱값을 가지는 제로트리 부호화

(Zerotree Coding With Local Adaptive Threshold)

嚴日奎*, 金有信**, 金在浩**

(Il Kyu Eom, Yoo Shin Kim, and Jae Ho Kim)

요 약

제로트리 영상 부호화 방법은 간단하고, 효과적인 영상 압축 기법으로 알려져 있다. 이 방법은 압축이 중요도의 순서대로 발생하는 특징을 가지고 있다. 기존의 제로트리 부호화 방법은 영상의 주파수 및 국부적인 특성에 관계없이 전 웨이블릿 계수에 대하여 고정된 하나의 문턱값을 사용하고 있다. 본 논문에서는 적응적인 문턱값을 가지는 제로트리 부호화 방법을 제안한다. 적응적인 문턱값은 인간 시각 특성에 의해서 결정된다. 제안 방법이 기존의 방법에 비하여 우수한 화질을 보임을 알 수 있다.

Abstract

Zerotree image coding is known as a simple and effective image compression algorithm. It has the property that the compression is generated in order of importance. Conventionally, a fixed threshold is applied to the entire wavelet coefficients regardless of frequency and local features of an image. In this paper, we propose a new zerotree coding scheme with adaptive threshold. The adaptive threshold is determined by human visual characteristics. It is shown that the image quality of the proposed method is better than that of the conventional method.

I. 서 론

웨이블릿 변환에 의해서 다해상도로 분해된 영상은 주파수 대역별로 밀접한 상관성을 가진다. 1993년 Shapiro는 웨이블릿 변환 영역의 대역간 상관 관계를 이용하여 전송하는 위치 정보의 수를 효과적으로 줄일 수 있는 제로트리를 이용한 영상 압축 방법^[1]을 제안하였다. 이 방법은 임의의 문턱값에 대하여 어떤 주파수 대역의 계수가 중요하지 않다면, 이 대역에 대응 관계를 가지는 보다 높은 주파수 대역의 계수 또한 중

요하지 않을 확률이 아주 높다는 개념에서 출발한다. 즉, 낮은 주파수 대역으로부터 높은 주파수 대역까지 문턱값보다 낮은 계수를 제로트리라는 하나의 표본치로 구성할 수 있기 때문에 전송해야 하는 위치 정보의 수를 효과적으로 줄일 수 있다. 또한 제로트리 부호화 방법은 원하는 비트수를 만족시킬 수 있고 에너지가 높은 정보부터 순차적으로 전송을 하기 때문에 점진적 전송에 매우 유리한 방법이다.

제로트리 부호화의 방법은 웨이블릿 변환 영역이 낮은 주파수 대역으로 갈수록 에너지가 2의 비율로 높아지는 특성을 이용하여 전체 웨이블릿 계수에 대하여 하나의 문턱값을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 영상의 국부적인 특성을 반영하지 못한다. 영상의 국부적인 특성은 영상 압축에 있어서 압축 효율을 높일 수 있는 유용한 정보로 사용되고 있다.^[2-4] 그러므로 영상의 국부적 특성을 반영하여 문턱값이 영상의 특성에 따라 적응적으로 변하게 하는 압축 방법이 유용하다고

* 正會員, 密陽産業大學校 情報通信工學科

(Dept. of Inform. & Communication Engineering, Miryang National Univ.)

** 正會員, 釜山大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Pusan National Univ.)

接受日字: 1997年7月1日, 수정완료일: 1997年8月21日

볼 수 있다.

본 논문에서는 제로트리 부호화에 사용되는 문턱값을 각 주파수 대역 및 공간 영역별로 적응적으로 결정하여, 제로트리 부호화의 성능을 개선하는 방법을 제안한다. 원 영상의 대부분의 정보를 가지고 있는 저주파 계수를 이용하여 배경의 밝기 및 대비도에 대한 시각 특성을 계산하고, 이를 이용하여 저주파 대역과 같은 공간적 특성을 가지는 고주파 대역에 대한 문턱값을 결정한다. 배경의 밝기는 저주파 계수 영역의 네 화소의 평균으로 계산하고, 대비도는 네 화소의 차이로 계산한다. 또한 각 대역에 대한 주파수 특성을 실험적으로 결정하여 적응 문턱값의 계산에 적용한다. 위와 같은 방법을 사용하여, 각 웨이블릿 계수에 대하여 공간 영역 및 주파수 영역별로 자기 다른 문턱값을 가지도록 한다.

제안 방법을 사용하여 문턱값을 계산할 경우 적지 않은 계산량을 필요로 한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 웨이블릿 계수를 제로 트리 부호화를 하기 전에 계산된 시각 특성의 수치로 미리 정규화한다. 정규화 과정을 거친 계수들에 대하여 기존의 제로트리 부호화를 적용하면, 적응 문턱값을 사용하는 것과 동일한 효과를 가진다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제로트리 부호화 방법에 대하여 설명하고, 3장에서는 인간 시각 특성을 이용하여 적응 문턱값을 결정하는 방법을 서술한다. 4장에서는 모의 실험의 결과를 검토한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 앞으로의 할 일을 논의한다.

II. 제로트리 부호화

제로트리 부호화 방법은 임의의 문턱값에 대하여 어떤 주파수 대역의 웨이블릿 계수가 중요하지 않다면, 이 대역에 대응 관계를 가지는 보다 높은 주파수 대역의 계수 또한 중요하지 않을 확률이 아주 높다는 개념에서 출발한다.^[1] 즉, 저주파 대역으로부터 고주파 대역까지 문턱값보다 낮은 계수를 제로트리라는 하나의 표본치로 구성할 수 있기 때문에 전송해야 하는 위치 정보의 수를 효과적으로 줄일 수 있다. 또한 제로트리 부호화 방법은 원하는 비트수를 만족시킬 수 있고, 에너지가 높은 정보부터 순차적으로 전송을 하기 때문에 점진적 전송에 매우 유리한 방법이다.

제로트리 부호화 방법은 웨이블릿 계수들 간의 부모-자식 관계를 이용한다. 웨이블릿 변환된 영상은 그림 1과 같이 각 대역별로 부모-자식 관계로 나타낼 수 있다. $S(S=1,2,3,\dots)$ 은 웨이블릿 변환 단계를 나타내고, $O(O=LL, LH, HL, HH)$ 는 부 대역의 방향성을 표현한다. 임의의 위치 (i, j) 에서의 웨이블릿 계수는 $W_{s,o}(i, j)$ 로 표현된다. 저주파 대역(LL)의 계수는 하위 대역에 3개의 자식 노드를 가지고, 이를 제외한 모든 대역의 계수는 하위 대역에 4개의 자식 노드를 가진다. 각 웨이블릿 계수는 문턱값과 비교하여 POS(positive significance), NEG(negative significance), IZ(isolated zero), ZTR(zerotree root)라는 네 가지의 표본치를 생성한다. POS는 웨이블릿 계수 값이 문턱값보다 크고 양수인 경우에 할당하고, NEG는 음수인 경우에 할당하는 표본치이다. ZTR은 웨이블릿 계수가 문턱값보다 작고, 이 계수에 자식 관계를 가지는 모든 계수들 또한 문턱값보다 작을 경우 할당하는 표본치이다. 이 ZTR로 인하여 많은 압축 효과를 얻을 수 있다. 계수가 문턱값보다 작지만, 자식 관계를 가지는 계수중 하나라도 문턱값보다 크면 IZ를 할당한다.

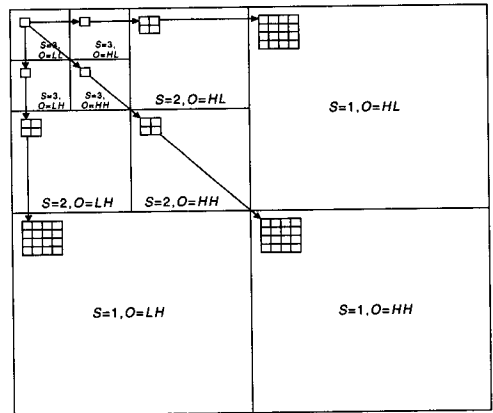


그림 1. 웨이블릿 계수의 부모-자식 대응관계
Fig. 1. The parent-child relationship of wavelet coefficients.

표본치를 생성하기 위해서는 문턱값의 결정이 필요하다. 최초의 문턱값 T_0 는 다음과 같은 조건이 만족 되도록 결정한다.

$$|W_{s,o}(i, j)| < 2T_0 \quad (1)$$

즉, 웨이블릿 계수의 최대값의 1/2보다 작지 않은 값이 최초의 문턱값이 된다. 일반적으로 최초의 문턱값은 2의 승수배가 되도록 결정한다. 전체 계수에 대한 표본치의 생성이 끝나면 문턱값을 다음과 같이 반으로 낮추고 같은 방법을 계속한다.

$$T_i = T_{i-1}/2 (i=1, 2, \dots) \quad (2)$$

위와 같은 방법을 SAQ(Successive-approximation Quantization)^[11]이라고 한다. 이러한 과정을 정해진 비트수를 만족시킬 때까지 계속한다.

제로트리 부호화의 전체 과정은 주 과정(dominant pass)와 부 과정(subordinate pass)의 2 단계로 나누어진다. 주 과정에서는 위에서 언급한 네 개의 표본치를 만들어내고, 부 과정에서는 POS 및 NEG 표본치에 대하여 값의 정밀도를 한 번 더 높인다. 이와 같이 만들어진 모든 표본치는 산술 부호화되고 정해진 비트수가 만족될 때까지 부호화 과정을 반복한다.

III. 제안 방법 - 적응 문턱값의 결정

영상 압축은 영상 정보의 일부분을 효율적으로 제거하는 것을 목적으로 한다. 정보의 제거는 양자화의 형태로 표현된다. 양자화의 크기는 인간 시각이 민감한 부분은 작게, 둔감한 부분에 대하여는 크게 설정하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 인간 시각 특성 중에서 널리 사용되고 있는 세 가지의 요소를 하드웨어 구현이 쉽도록 단순화시켜 사용하고자 한다. 세 가지 인간 시각 특성은 다음과 같다. 첫째, 주파수 특성으로 높은 주파수에 비하여 낮은 주파수를 가지는 영상 정보는 인간 시각에 민감한 성질을 가진다.^[25] 웨이블릿 변환은 영상을 인간 시각과 유사한 주파수 특성을 가지는 부분 영상으로 분해하는 특성을 가지므로 주파수 특성을 쉽게 영상 압축에 적용할 수 있다. 둘째, 배경의 밝기에 따라서 화질의 판단이 달라진다.^[3] 중간 밝기의 배경이 밝거나 어두운 배경보다 인간 시각에 보다 민감하다. 셋째, 영상에서 대비도가 낮은 부분이 대비도가 높은 부분보다 인간 시각에 더 민감한 특성이 있다.^[4] 위와 같은 특성을 이용하여 제로트리 부호화를 위한 문턱값을 결정하였다.

1. 주파수 대역에 의한 문턱값

웨이블릿 변환은 영상을 로그 크기를 가지는 주파수

대역으로 분할한다. 웨이블릿 변환의 이러한 특성을 이용하여, 각 대역별로 감도를 결정하는 방법이 사용되고 있다.^[25] 본 논문에서도 다음과 같이 웨이블릿 변환 영역에서 대역별로 주파수 특성을 반영한 대역 감도, $BS_{s,o}$ 를 사용한다.

$$BS_{s,o} = \begin{cases} K_s, & \text{if } O=LH, HL \\ \frac{K_s}{\sqrt{2}}, & \text{if } O=HH \end{cases} \quad (3)$$

웨이블릿 영역에서 방향 성분 $O=HH$ 일 때, 즉 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분에 대하여는 $\sqrt{2}$ 의 가중치를 부여한다. 수평, 수직 성분보다 대각 성분이 대략적으로 $\sqrt{2}$ 의 크기만큼 인간 시각에 둔감하게 반응한다는 것으로 실험적으로 밝혀져 있다.^[6]

주파수 대역에 대한 문턱값의 크기는 다음과 같이 대역 감도를 결정하는 K_s 를 실험적으로 다음과 같이 결정하였다.

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1.00}{7.20} \\ K_2 &= \frac{1.00}{3.00} \\ K_3 &= \frac{1.00}{1.40} \\ K_4 &= \frac{1.00}{1.00} \end{aligned} \quad (4)$$

K_s 에 의하여 주파수 대역에 의한 문턱값, $T_{s,o}^{BS}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$T_{s,o}^{BS} = \begin{cases} \frac{1}{K_s}, & \text{if } O=LH, HL, (S=1, 2, 3, 4) \\ \frac{\sqrt{2}}{K_s}, & \text{if } O=HH, (S=1, 2, 3, 4) \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 보는 바와 같이 주파수가 높은 대역일수록 인간 시각의 오차 인지도가 떨어지기 때문에 높은 문턱값을 사용하고, 주파수가 낮아질수록 낮은 문턱값을 사용한다.

2. 배경의 밝기에 의한 문턱값

인간 시각은 주위 배경의 밝기가 어떤가에 따라서 오차의 인지 정도가 달라진다. 일반적으로 중간 밝기 근처에서 오차를 잘 인지하며, 밝거나 어두운 부분에서는 오차 인지도가 떨어진다고 알려져 있다.^[7] 본 논문에서는 웨이블릿 변환의 저주파 계수 ($W_{S_{max}, LL}(i, j)$)을 이용하여 배경의 밝기를 구한다. 각

고주파 대역의 계수에 대한 배경의 밝기는 웨이블릿 계수의 부모-자식 대응 관계에 의하여 계산될 수 있다. 즉, 고주파 대역의 계수, $W_{S,0}(i, j)$ 에 대한 배경의 밝기를 구하기 위하여 그림 1과 같이 이 계수와 대응되는 저주파 대역의 계수, $W_{S_{max},LL}(\frac{i}{2^{S_{max}-S}}, \frac{i}{2^{S_{max}-S}})$ 와 그 주위의 세 개의 계수를 평균하여 배경의 밝기로 사용한다. 즉, 배경의 밝기 $BL_{S,L}(i, j)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$BL_{S,L}(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 W_{S_{max},LL}(\frac{i}{2^{S_{max}-S}} + m, \frac{i}{2^{S_{max}-S}} + n) \quad (6)$$

웨이블릿 변환에서 저주파 계수는 저 대역 통과 필터링으로 구해진다. 그러므로 저주파 대역의 웨이블릿 계수는 원 영상의 최소 값의 평균으로 구성된다. 웨이블릿 변환 단계가 S_{max} 라면, 저주파 대역의 한 계수는 $2^{S_{max}-1} \times 2^{S_{max}-1}$ 크기의 화소를 평균한 값으로 볼 수 있다. 그러므로 배경의 밝기 $BL_{S,L}(i, j)$ 은 주위의 세 계수를 함께 이용하므로 $2^{S_{max}} \times 2^{S_{max}}$ 크기의 화소를 평균한 값이다.

배경의 밝기에 의한 문턱값, $T_{S,0}^{BL}(i, j)$ 은 배경의 밝기가 중간 값을 가질 경우 가장 작게, 밝거나 어두운 정도가 많아질수록 커지도록 다음과 같이 결정한다.

$$T_{S,0}^{BL}(i, j) = \begin{cases} Q_{min} + \frac{Q_{max} - Q_{min}}{127 - G_1} |127 - BL_{S,0}(i, j)|, & G_1 < BL_{S,0}(i, j) \leq 127 \\ Q_{min} + \frac{Q_{max} - Q_{min}}{G_2 - 127} |127 - BL_{S,0}(i, j)|, & 127 < BL_{S,0}(i, j) < G_2 \\ Q_{max}, & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

여기서 Q_{min} 및 Q_{max} 는 각각 최소 문턱값 및 최대 문턱값을 나타내고, G_1, G_2 는 최대 문턱값을 가지는 평균 밝기 값이다. 본 논문에서는 $Q_{max} = 3, Q_{min} = 2$ 로 결정하였다. 이 값은 실험적으로 결정된 값이다. 일반적으로 $G_1 = 0, G_2 = 255$ 의 값을 가질 수 있다. 그러나 인간 시각은 아주 어둡거나 아주 밝은 부분에서 포화되는 특징을 가지기 때문에 로그 함수의 형태로 필터링된다고 보고 있다. 본 논문에서는 계산의 복잡성을 피하기 위하여 256 계조의 10%에 해당하는 부분은 동일한 밝기를 가진다고 생각하여 $G_1 = 25, G_2 = 230$ 으로 결정하였다. 식 (7)에서 알 수 있는 바와 같이 평균 밝기 $BL_{S,0}(i, j)$ 이 127 이면 중간 값을 가지므로 문턱값이 최소화된다. 반면에 $BL_{S,0}(i, j)$ 이 0 또

는 255의 값을 가지면, 문턱값이 최대가 된다.

3. 대비도에 의한 문턱값

인간 시각은 밝기의 변화가 급격한 근처에서는 오차의 인지도가 떨어지고, 밝기의 변화가 완만한 곳에서는 오차의 인지도가 높다. 밝기의 변화는 보통 대비도라고 불리는 데, 영상 압축에서 중요한 요소로 작용한다. 본 논문에서는 배경의 밝기를 구할 때와 마찬가지로 대비도를 구할 때에도 저주파 대역의 계수의 차이를 이용한다. 인간 시각이 인지하는 밝기의 변화는 선형적이지 않다. 그러므로 저주파 계수를 이용하여 대비도를 구하고자 할 때, 인간 시각에 평탄한 영역으로 밝기의 값을 변환해 주는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 저주파 대역의 계수에 대하여 다음과 같은 변환을 사용한다. 즉,

$$W_{S_{max},LL}^C(i, j) = k \cdot W_{S_{max},LL}(i, j)^{1/2.2} \quad (8)$$

여기서 $k = 772.4105847$ 이다. 식 (8)은 인간 시각에 평탄한 인지 크기를 부여하는 Weber-Fechner의 법칙과 거의 같다. 식 (8)은 인간 시각이 밝은 영역에서 느끼는 밝기의 차이보다 어두운 영역에서 느끼는 밝기의 차이가 더 크지는 것을 반영하고 있다.

식 (8)과 같이 저주파 대역의 웨이블릿 계수를 변환하고 나서, 수평, 수직 및 대각 방향에 대하여 각각 2개, 2개 및 4개의 이웃 계수를 이용하여 대비도를 구한다. 각 고주파 대역의 계수에 대한 대비도는 배경의 밝기를 계산할 때와 마찬가지로 웨이블릿 계수의 부모-자식 대응 관계에 의하여 계산된다. 수평, 수직, 대각 방향의 밝기 변화 $CS_{S,HL}^H(i, j), CS_{S,HL}^V(i, j), CS_{S,HL}^D(i, j)$ 는 각각 다음과 같다.

$$CS_{S,HL}^H(i, j) = \frac{1}{2} [|W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d} - 1)| + |W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d} + 1)|] \quad (9a)$$

$$CS_{S,HL}^V(i, j) = \frac{1}{2} [|W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} - 1, \frac{j}{2^d})| + |W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} + 1, \frac{j}{2^d})|] \quad (9b)$$

$$CS_{S,HL}^D(i, j) = \frac{1}{4} [|W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} - 1, \frac{j}{2^d} - 1)| + |W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} - 1, \frac{j}{2^d} + 1)| + |W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} + 1, \frac{j}{2^d} - 1)| + |W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d}, \frac{j}{2^d}) - W_{S_{max},LL}^C(\frac{i}{2^d} + 1, \frac{j}{2^d} + 1)|] \quad (9c)$$

식 (9)에서 $\Delta = S_{\max} - S$ 이다. 수평 방향의 대비도를 구하기 위해서 좌우의 이웃 계수를 이용하고 수직 방향의 대비도를 구하기 위해서는 위아래의 이웃 계수를 이용한다. 대각 방향의 대비도는 좌상, 우상, 좌하, 우하의 이웃을 이용한다.

대비도에 의한 문턱값, $T_{S,o}^{CS}(i,j)$ 는 대비도가 클수록 큰 값을 가지고, 대비도가 작을수록 작은 값을 가지도록 다음과 같이 결정한다.

$$T_{S,o}^{CS}(i,j) = \begin{cases} Q_{\min}, & CS_{S,o}(i,j) < G_3 \\ Q_{\max}, & CS_{S,o}(i,j) > G_4 \\ Q_{\min} + \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{G_4 - G_3}, & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

여기서 Q_{\min} 및 Q_{\max} 는 각각 최소 문턱값 및 최대 문턱값을 나타내고, G_3 및 G_4 는 최소 및 최대 문턱값을 가지는 대비도의 값이다. G_3 및 G_4 도 G_1 및 G_2 를 결정할 때와 마찬가지로 이유로 $G_3 = 25, G_4 = 230$ 으로 결정하였다. 식 (10)에서 보듯이 대비도 $CS_{S,o}(i,j)$ 가 0에 근접하면 양자화의 효과가 최소화된다. 반면에 $CS_{S,o}(i,j)$ 가 255에 가까우면 양자화의 크기가 최대가 된다. O 가 각각 LH, HL, HH 일 때, 각각 $CS_{S,LH}^H(i,j), CS_{S,HL}^V(i,j), CS_{S,HH}^D(i,j)$ 를 사용한다.

4. 시각 가중 문턱값에 의한 웨이블릿 계수의 정규화
인간 시각 특성에 의해 결정된 세 가지의 문턱값을 조합하여 전체 영상에 대한 적응적인 문턱값, $T_{i,s,o}(i,j)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$T_{i,s,o}(i,j) = T_i \times T_{S,o}^{BS} \times T_{S,o}^{BL}(i,j) \times T_{S,o}^{CS}(i,j), (i=0,1,2, \dots) \quad (11)$$

식 (11)에서 T_i 는 기존의 제로트리 부호화 방법에서 쓰이는 고정된 문턱값이다. $T_{i,s,o}(i,j)$ 는 고정된 문턱값 T_i 에 대하여 시각 인지도가 낮은 부분에 대해서는 가중치를 많이 부여하여 문턱값이 커지도록 하고, 인지도가 높은 부분에 대해서는 가중치를 낮게 하여 문턱값이 상대적으로 작아지도록 하는 적응적인 특성을 가지고 있다.

본 논문에서 제안한 적응적 문턱값을 사용하면, SAQ 단계마다 문턱값을 계산해야 하는 단점이 있다.

이러한 단점은 웨이블릿 계수를 세 가지 적응적 문턱값을 구성하는 요소로 미리 정규화 시킴으로서 극복될 수 있다. 즉,

$$NW_{S,o}(i,j) = \frac{W_{S,o}(i,j)}{T_{S,o}^{BS} \times T_{S,o}^{BL}(i,j) \times T_{S,o}^{CS}(i,j)} \quad (12)$$

여기서 $NW_{S,o}(i,j)$ 는 인간 시각 특성이 반영된 문턱값에 의해서 정규화된 웨이블릿 계수이다. 정규화된 계수 $NW_{S,o}(i,j)$ 를 이용하여 식 (1)과 같은 방식으로 고정된 문턱값, T_0^N 을 결정하고, SAQ 단계마다 다음과 같이 문턱값을 낮춘다.

$$T_i^N = T_{i-1}^N / 2 (i=1,2, \dots) \quad (13)$$

위와 같이 웨이블릿 계수를 정규화시킨 후 제로트리 부호화를 하는 것은 기존의 방법과 완전히 동일하다. 이렇게 함으로써 SAQ 단계마다 문턱값을 계산해야 하는 것을 한 번의 정규화로 대체할 수 있다.

부호화된 웨이블릿 계수를 $\widehat{NW}_{S,o}(i,j)$ 라 하면, 원래의 웨이블릿 계수를 얻기 위해서는 다음과 같은 재정규화 과정이 필요하다. 즉, 복원된 웨이블릿 계수, $\widehat{W}_{S,o}(i,j)$ 는 다음과 같다.

$$\widehat{W}_{S,o}(i,j) = \widehat{NW}_{S,o}(i,j) \times T_{S,o}^{BS} \times T_{S,o}^{BL}(i,j) \times T_{S,o}^{CS}(i,j) \quad (14)$$

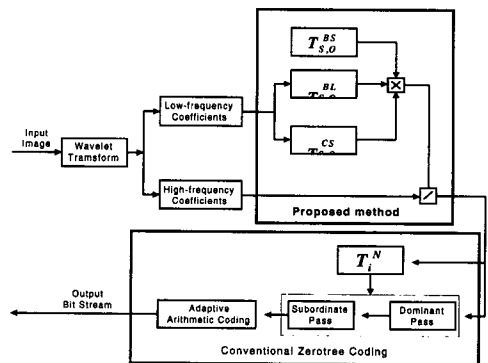


그림 2. 국부 적응 문턱값을 가지는 제로트리 부호화기의 구조
Fig. 2. The structure of zerotree encoder with local adaptive threshold.

본 논문의 방법은 저주파 대역의 웨이블릿 계수만으로 배경의 밝기 및 대비도를 계산하였다. 저주파 대역

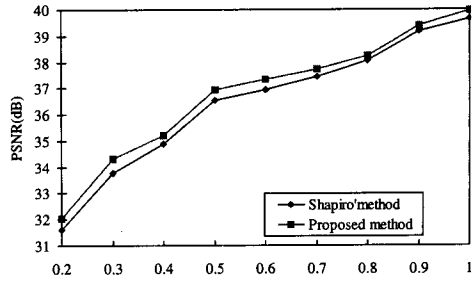
의 계수는 손실 없이 부호화되므로, 시각 특성이 반영된 문턱값은 손실 없이 전송된 저주파 대역의 계수로 부터 계산될 수 있다.

그림 2는 적응적 문턱값을 가지는 제로트리 부호화의 구조이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 제로트리 부호화의 구조를 완전히 보존하고 있으며, 단지 정규화를 위한 전 처리가 포함되어 있음을 알 수 있다. 제로트리 복호화의 경우도 부호화와 유사하게 기존의 방법을 보존하고 있으며, 재정규화를 위한 후 처리가 포함되어 있다.

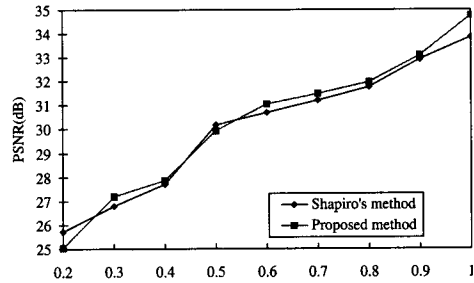
IV. 모의 실험 및 결과

제안한 적응 문턱값을 가지는 제로트리 부호화 방법을 이용하여 네 가지의 512×512 흑백 영상(Lena, Barbara, Pepper, Boat)에 대하여 모의 실험을 하였다. 웨이블릿 계수는 길이가 8인 Daubechies 직교 웨이블릿 필터를 사용하여^[8] 네 번의 웨이블릿 변환 ($S_{max}=4$)을 수행하였다. 제안된 방법을 같은 압축률에서 Shapiro의 방법^[1]과 비교하기 위해서 네 가지의 영상에 대하여 각각 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 및 PQS(Picture Quality Scale)^[7]를 측정하였다. 그림 3은 제안 방법과 Shapiro 방법의 PSNR을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 거의 모든 영상에 대하여 제안 방법이 Shapiro의 방법보다 PSNR이 높게 나타남을 알 수 있다. PSNR은 밝기 변화가 크지 않은 영역의 무작위 오차에 대하여는 좋은 화질 평가 척도가 된다. 즉, 제안 방법은 무작위 오차에 대해서 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다. PSNR은 밝기 변화의 크기가 큰 영역, 결, 밝기 변화의 빈도가 큰 영역 등의 오차에 대해서는 좋은 판단 기준이 되지 못한다. 그러므로 인간 시각 특성이 반영된 화질 평가 척도를 사용하는 것이 바람직하다. 그림 4는 제안 방법과 Shapiro 방법의 PQS를 비교한 것이다. 그림에서 제안 방법이 PQS가 Shapiro의 방법보다 모두 높게 나타남을 알 수 있다.

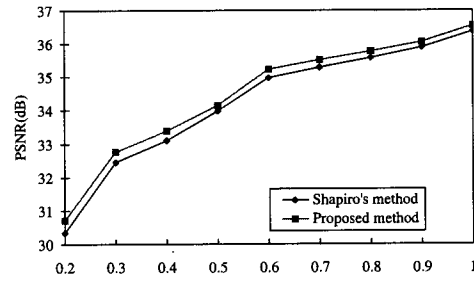
그림 5는 0.25bpp에서의 Barbara 영상의 압축 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 에지 부분을 제안 방법이 기존의 방법보다 훨씬 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.



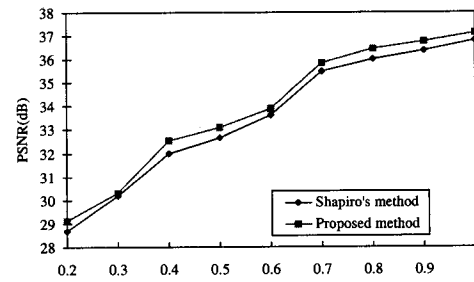
(a)



(b)

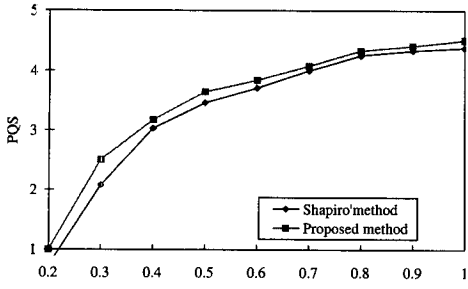


(c)

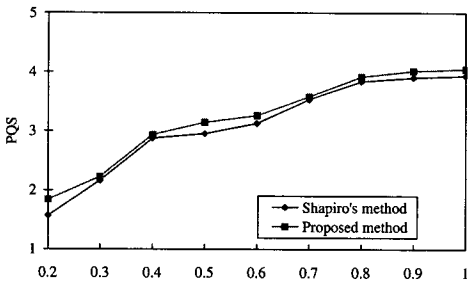


(d)

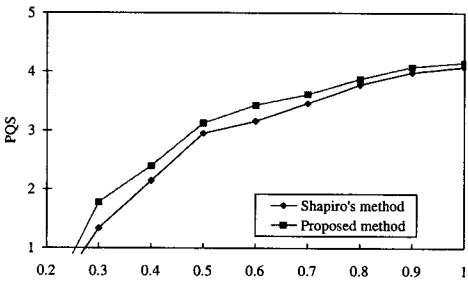
그림 3. 제안 방법과 Shapiro 방법의 PSNR 비교.
(a) Lena, (b) Barbara, (c) Pepper, (d) Boat.
Fig. 3. The PSNR comparison of Shapiro's method and the proposed method.
(a) Lena, (b) Barbara, (c) Pepper, (d) Boat.



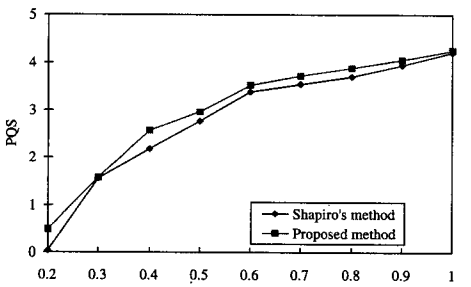
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. 제안 방법과 Shapiro 방법의 PQS 비교. (a) Lena (b) Barbara (c) Pepper (d) Boat

Fig. 4. The PQS comparison of Shapiro's method and the proposed method.

(a) Lena (b) Barbara (c) Pepper (d) Boat



(a)



(b)

그림 5. 0.25bpp에서의 Barbara 영상 (a) Shapiro의 방법 (b) 제안 방법

Fig. 5. The compressed Barbara image at 0.25bpp (a) Shapiro's method, (b) the proposed method.

V. 결론

본 논문에서는 인간 시각 특성이 반영된 적응적 문턱값을 제안하여 제로트리 부호화에 적용하였다. 적응적 문턱값은 주파수 대역, 배경의 밝기 및 대비도에 의해서 결정되었다. 적응적 문턱값은 저주파 대역의

웨이블릿 계수만을 이용하여 결정되기 때문에 복원할 경우, 손실 없이 전송된 저주파 대역의 계수로부터 계산될 수 있다. 제안 방법은 고정된 하나의 문턱값을 사용하는 Shapiro의 방법에 비하여, 영상의 지역적 특성에 의해 문턱값이 조정되기 때문에 영상의 지역적 특성에 따라 적절한 양자화가 이루어질 수 있다. 또한 적응적 문턱값에 인간 시각 특성이 반영되어 있기 때문에 인간 시각 특성을 압축에 반영할 수 있다. 적응적 문턱값을 사용하여 문턱값을 영상의 지역적 특성에 맞게 조절함으로써 기존의 방법보다 우수한 화질을 얻을 수 있었다. 또한 웨이블릿 계수를 문턱값으로 정규화하여 기존 방법의 구조를 그대로 유지하면서 전 처리기의 형태로 구성될 수 있다. 모의 실험 결과 기존 방법에 비하여 높은 PSNR 및 PQS를 얻을 수 있었다.

저주파 대역의 웨이블릿 계수와 고주파 대역의 웨이블릿 계수의 상관 관계에 대한 통계적 특성을 적절히 모델링하여 보다 정밀한 문턱값을 찾아내는 것이 앞으로의 과제이다.

참 고 문 헌

[1] J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients,"

IEEE Trans. on Signal Processing, vol.41, no.12, pp.3445-3462, 1993.

[2] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol.1, no.2, pp.244-250, April, 1992.

[3] N. Jayant, J. Johnston, and R. Safranek, "Perceptual Coding of Images," *Proc. of SPIE*, vol.1913, pp.168-178, 1993.

[4] R. J. Safranek, "A Comparison of the Coding Efficiency of Perceptual Models," *Proc. of SPIE*, vol.2411, pp.83-91, 1995.

[5] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon and J. Villasenor, "Visual Thresholds for Wavelet Quantization Error," *Proc. of SPIE*, vol.2657, 1996.

[6] A. B. Watson, *Digital Images and Human Vision*, MIT Press, 1993.

[7] J. Lu, V. R. Algazi, and R. R. Estes, "Comparison of Wavelet Image Coders Using the Picture Quality Scale(PQS)," *Proc. of SPIE*, vol.2491, pp.1119-1130, 1995.

[8] I. Daubechies, "Orthogonal Bases for Compactly Supported Wavelets," *Comm. Pure App. Math*, vol.41, pp.909-996, 1988.

저 자 소 개

嚴 日 奎(正會員)

1966년 10월 16일생. 1990년 부산대학교 전자공학과 졸업(학사). 1992년 부산대학교 전자공학과 졸업(학사). 1995년 부산대학교 전자공학과 박사수료. 1997년 3월 ~ 현재 밀양산업대학교 정보통신공학과 전임강사. 주관심분야는 영상신호처리, 영상압축, 웨이브릿 변환 등

金 有 信(正會員) 第 31卷 B編 第 5號 參照



金 在 浩(正會員) 第 32卷 B編 第 2號 參照