

유효계수 트리의 절대치를 이용한 웨이브릿 변환 영역에서의 프랙탈 영상 압축

배 성 호[†] · 김 현 순^{††}

요 약

본 논문에서는 낮은 비트율에서 PSNR을 향상시키고 부호화 과정에서의 계산의 복잡성을 감소시키기 위한 이산 웨이브릿 변환 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 이산 웨이브릿 변환 계수에 절대치를 취한 다음 유효계수의 위치와 부호를 나타내는 유효계수 트리를 구성한다. 제안한 방법은 치역 블록의 유효계수에 대해서만 축소된 정의역 블록의 계수와 정합함으로써 PSNR을 향상시키고 정의역 블록의 집합에서 치역 블록으로의 정합에 필요한 계산의 복잡성을 감소시킨다. 또한 본 논문에서는 치역 블록과 정합되는 축소된 정의역 블록의 수를 최소화하는 분류 방법을 제안한다. 제안한 방법은 치역 블록과 축소된 정의역 블록의 비교 회수를 현저하게 감소시킨다.

Fractal Image Coding in Wavelet Transform Domain Using Absolute Values of Significant Coefficient Trees

Sung-Ho Bae[†] · Hyun-Soon Kim^{††}

ABSTRACT

In this paper, a fractal image coding based on discrete wavelet transform is proposed to improve PSNR at low bit rates and reduce computational complexity of encoding process. The proposed method takes the absolute value of discrete wavelet transform coefficients, and then constructs significant coefficients trees, which indicate the positions and signs of the significant coefficients. This method improves PSNR and reduces computational complexity of mapping contracted domain pool onto range block, by matching only the significant coefficients of range block to coefficients of contracted domain block. Also, this paper proposes a classification scheme which minimizes the number of contracted domain blocks compared with range block. This scheme significantly reduces the number of range and contracted domain block comparison.

1. 서 론

인간 시각에 민감한 예지가 선명하게 복구되고 구획

화 현상이 없는 복원 영상을 나타내기 위하여, 웨이브릿과 프랙탈의 장점을 결합한 새로운 방법들이 연구되었다[5,6,7,8,9]. 이의 대표적인 방법으로는 Rinaldo 등[5,6]의 방법과 Krupnik 등[7]의 방법을 들 수 있다.

Rinaldo 등의 방법에서는 부호화 이전에 벡터 양자화를 위한 부호표(code book)를 설계해야 하고, 저해

† 정 회 원 : 경북대학교 전자공학과

†† 준 회 원 : 경북대학교 대학원 전자공학과

논문접수 : 1997년 7월 23일, 심사완료 : 1997년 11월 4일

상도 부대역의 프랙탈 근사화 결과를 가지고 다음 고해상도 부대역에 대해 프랙탈 부호화를 수행하므로 부호화기의 구조가 복잡해지는 등의 단점이 있다.

Krupnik 등의 방법에서는 부호화 시 서로 다른 부대역간의 DWT 계수를 모두 고려하여, Rinaldo 등의 방법보다 부호화기의 구조가 간단하여 실시간 부호화가 용이하다. 그러나 이들의 방법에서는 다해상도 영상을 위한 부대역 분할의 수가 많아지면 치역 블록의 크기가 증가하고, 치역 블록에 대하여 탐색에 고려되는 축소된 정의역 블록의 전체 개수가 감소하여 PSNR이 감소된다[8,9].

DWT 영역에서 웨이브릿 계수들에 절대값을 취하여 치역 블록과 정의역 블록의 유사성을 증가시켜 화질을 개선시키는 방법[8]과 유효계수 트리를 이용하여 효율적으로 비트를 할당하는 압축 방법[9]이 최근 제안되었다. 본 논문에서는 이들의 장점을 효율적으로 결합하여 높은 압축율에서 PSNR을 향상시키고 부호화 과정에서의 연산량을 감소시키는 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법을 제안한다.

제안한 방법에서는 DWT 영역의 모든 DWT 계수들에 대하여 절대치를 취하고, 임계치 이상의 절대치를 가지는 계수를 유효계수(significant coefficient)로 정의하여 유효계수 트리를 구성하고, 에너지 집중도가 높은 유효계수에 대해서만 프랙탈 부호화한다. 여기서 치역 블록의 유효계수 위치와 동일 위치에 있는 축소된 정의역 블록의 DWT 계수의 절대치만을 정합시킴으로써 치역 블록의 유효계수에 대한 축소된 정의역 블록의 유사성을 높여 PSNR을 향상시킨다. 그리고 다른 고주파 부대역과 상관성이 없는 최고주파 부대역을 프랙탈 근사화에서 제외시키고, 최고주파 부대역의 유효계수를 스칼라 양자화하여 PSNR을 더욱 향상시킨다. 이는 유효계수가 많이 존재하는 저해상도 부대역에서 근사화 오차를 줄여 고주파 부대역으로의 오차 파급을 감소시키기 때문이다.

본 논문에서는 유효계수와 무효계수의 상관성을 이용하여 저해상도의 유효계수 트리로부터 고해상도의 유효계수 트리를 예측하여 유효계수 트리 부호화에 필요한 비트량을 효율적으로 감소시켜 더욱 압축율을 높인다. 또한 부호화 과정에서의 과도한 연산량을 감소시키고 속도를 개선하기 위하여 제안한 압축 방법에 적합한 부호화 속도 개선 방법을 제안한다.

제안한 방법을 여러 가지 정지영상에 적용하여 성능

을 평가한 결과 0.4 [bpp] 이하의 낮은 비트율에서 기존의 공간 영역과 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법보다 부호화와 복호화 속도 및 압축율에 대한 복원 화질이 모두 우수한 성능을 나타내었다.

2. 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축

임의의 일차원 신호 I 와 저주파 대역 통과 필터 h_L 을 컨볼루션하여 $2 : 1$ 축소한 결과 $I_{1/2}$ 은 공간 영역의 프랙탈 부호화 방법에서 형태 변환 S 를 적용한 결과와 유사하다. 그러므로 다해상 신호에서 프랙탈 코드가 주어졌을 때, 고해상도 부대역의 DWT 계수는 저해상도의 부대역으로 근사화될 수 있음을 나타낸다.

DWT 영역에서의 정의역 블록에서 치역 블록으로의 근사화는 (식 1)과 같이 표현된다[7].

$$\begin{aligned}
 U(\widehat{R}_i - \overline{R}_i) &= \alpha_i \cdot U(C_j - \overline{C}_j) \\
 \widehat{R}_i^H &= \alpha_i \cdot C_j^H \Rightarrow \widehat{r}_i^p = \alpha_i \cdot c_j^p \quad (1) \\
 &\quad , \quad 2 \leq p \leq B
 \end{aligned}$$

여기서 \widehat{R}_i^H 는 i 번째 치역 블록 R_i 의 DC 성분인 $r_i^1(\overline{R}_i)$ 을 제외한 R_i^H 의 근사화 값이고, $\overline{R}_i, \overline{C}_j$ 는 각각 i 번째 치역 블록 R_i 의 DC 성분과 j 번째 정의역 블록 C_j 의 DC 성분을 나타낸다.

DWT 영역에서 고주파 부대역의 계수들에 대한 프랙탈 코드는 원래의 신호 R_i^H 와 근사화 신호 \widehat{R}_i^H 간의 자승 오차인 (식 2)를 최소화시키는 축적 인자 α_i 와 축소된 정의역 블록의 위치 정보이다.

$$d^2(\widehat{R}_i^H, R_i^H) = \sum_{p=2}^B (r_i^p - \alpha_i \cdot c_j^p)^2 \quad (2)$$

이차원 영상의 DWT는 웨이브릿의 분리성을 이용하여 수직 방향으로 저주파 대역 필터링과 고주파 대역 필터링을 수행하여 이차원으로 확장할 수 있다.

DWT 계수들의 확률밀도함수가 일반적으로 0을 평균으로 하는 라플라스산 분포에 가까운 통계적 성질을 가지는 것을 이용하여 DWT 계수들의 절대치에 대해

프랙탈 부호화하여 PSNR을 향상시키는 방법이 제안되었다[8]. 이러한 방법은 절대치를 취한 DWT 계수의 생동폭이 원래의 DWT 계수의 생동폭보다 1/2로 줄게 되므로 R_i^H 와 C_j^H 의 유사성을 높여 PSNR을 향상시킨다.

Shapiro[10]는 다해상도 영상에서 최고주파 부대역을 제외하고는 주어진 고주파 부대역에 속한 DWT 계수들의 절대치와 동일한 방향을 가지고 해상도가 한 단계 높은 고주파 부대역의 DWT 계수들간에 상관성이 존재한다고 기술하였다. 그러므로 DWT 계수의 절대치가 작고 계층간에 상관성이 없는 최고주파 부대역들(LH1, HL1, HH1)의 DWT 계수에 대해서는 스칼라 양자화하고 나머지 고주파 부대역들에 대해서만 DWT 계수들의 절대치에 대하여 프랙탈 부호화한다. 이러한 방법은 $|R_j|^H$ 의 차원 $B^2 - 1$ 을 $B^2/4 - 1$ 으로 줄여 $|R_j|^H$ 와 $|C_j|^H$ 의 정합에 필요한 연산량을 약 1/4로 감소시킨다. 또한 저주파 부대역에서 DWT 계수의 근사화 오차를 줄이는 프랙탈 코드를 구하여 저주파 부대역에서 고주파 부대역으로의 계층적인 오차 파급을 줄이고, 고주파 부대역간에 상관성이 없는 최고주파 부대역을 스칼라 양자화하여 PSNR을 향상시킨다.

그러므로 절대치를 이용한 방법에서의 축척 인자 α_i 는 $|R_j|^H$ 와 $|\widehat{R}_j|^H$ 의 차승오차인 (식 3)을 최소화 하는 값이며 (식 4)와 같이 표현된다.

$$d(|R_j|^H, |\widehat{R}_j|^H) = \sum_{n=2}^{B/4} (\alpha_i \cdot |c_j^n| - |r_j^n|)^2 \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{\sum_{n=2}^{B/4} |r_j^n| \cdot |c_j^n|}{\sum_{n=2}^{B/4} (|c_j^n|)^2} \quad (4)$$

이러한 방법에서는 DWT 계수의 절대치를 프랙탈 부호화하므로, 여덟 개의 등장 변환의 유형은 두 개의 유형 (LH, HL, HH)와 (HL, LH, HH)로 대표된다. 이는 정합할 전체 $|C_j|^H$ 의 개수를 1/4로 줄이며, 등장 변환의 유형의 부호화에 필요한 비트량을 3 비트에서 1 비트로 감소시킨다.

그러나 DWT 계수의 절대치에 대해 프랙탈 근사화 하는 방법은 PSNR이 향상되는 반면에 DWT 계수의 부호 정보를 부호화하는 데 필요한 비트량이 증대므로, PSNR에 미소한 영향을 미치면서도 높은 압축율을 가

지는 부호화 방법이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 유효계수 트리를 이용한 압축 방법(9)과 기존의 DWT 계수의 절대치에 대한 프랙탈 근사화 방법을 효율적으로 결합하여 부호 정보와 유효계수 정보를 통합함으로써 부호 정보에 대한 비트를 효율적으로 감소시키는 압축 방법을 제안한다.

3. 유효계수 트리의 절대치를 이용한 웨이블릿 변환 영역에서의 프랙탈 영상 압축

3.1 DWT 계수의 절대치와 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 부호화

일반적으로 DWT 영역에서 높은 압축율로 부호화할 경우에 DWT 계수의 절대치가 임계치 미만인 계수를 무효계수로 구분하여 0으로 양자화하고, 0으로 양자화되지 않는 계수를 유효계수로 구분하여 유효계수의 위치 정보와 스칼라 양자화된 값을 엔트로피 부호화한다. 이러한 방법은 높은 압축율에서 대부분의 DWT 계수가 무효계수로 분류되어 유효계수에 비해 무효계수의 확률 분포가 매우 높아지는 특성을 이용하여 높은 압축율에서도 좋은 복원 화질의 영상을 가진다.

높은 압축율에서 무효계수의 확률 분포가 매우 높아지는 특성은 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법에서 R_j^H 차원의 증가로 인한 근사화 오차를 줄일 수 있는 방법을 제시하고, DWT 계수의 절대치에 대한 프랙탈 부호화와 최고주파 부대역의 스칼라 양자화 방법에서 스칼라 양자화된 값과 부호 정보의 부호화에 필요한 비트량을 효과적으로 줄일 수 있는 방안을 제시해준다.

본 절에서는 최고주파 부대역의 유효계수는 스칼라 양자화 부호화하고, 나머지 고주파 부대역들의 DWT 계수에 대해서는 유효계수의 절대치에 대해서만 프랙탈 부호화하여 높은 압축율에서도 PSNR이 높은 DWT 영역에서 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법을 제안한다.

제안한 방법은 $|R_j|^H$ 의 유효계수 위치와 동일 위치에 있는 $|C_j|^H$ 의 DWT 계수에 대해서만 정합하여 프랙탈 코드를 구함으로써 정합에 이용되는 실제 $|R_j|^H$ 의 차원을 감소시킨다. 이는 $|R_j|^H$ 의 유효계수에 대한 $|C_j|^H$ 의 유사성을 높여 PSNR에 많은 영향을 미치는

유효계수의 근사화 오차를 감소시키는 프랙탈 코드를 구한다. 그러므로 복호화 과정에서 유효계수가 많은 저해상도 부대역에서의 근사화 오차를 줄임으로써 고해상도 부대역으로의 오차 파급을 감소시켜 PSNR을 향상시킨다.

제한한 유효계수 트리를 이용한 $|C_j|^H$ 에서 $|R_i|^H$ 로의 근사화는 $|R_i|^H$ 의 유효계수 트리 $T_i^{|R_i|^H}$ 를 이용하여 (식 5)로 표현된다. (식 5)에서 $|R_i|^H$ 를 구성하는 DWT 계수들 각각의

$$\begin{aligned} |\widehat{R}_i^p|^H &= \alpha_i \cdot T_i^{|R_i|^H} \cdot |C_j|^H \\ |\widehat{r}_i^p| &= \alpha_i \cdot t_i^p \cdot |c_j^p|, \quad 2 \leq p \leq \frac{B^2}{4} \end{aligned} \quad (5)$$

유효계수 트리 정보 t_i^p 는 $|r_i^p|$ 가 유효계수이면 1이 되며, $|r_i^p|$ 가 무효계수이면 0이 된다. 또한 기존의 절대치를 이용한 부호화 방법과 마찬가지로 $|R_i|^H$ 의 차원 $B^2 - 1$ 을 $B^2/4 - 1$ 으로 줄여 $|R_i|^H$ 와 $|C_j|^H$ 의 정합에 필요한 연산량을 약 1/4로 감소시킨다. 이는 높은 압축율에서는 최고주파 부대역의 DWT 계수 대부분이 무효계수로 분류되고 유효계수의 절대치도 작은 값을 가지므로 최고주파 부대역의 유효계수에 대한 비트 할당을 작게 하여 스칼라 양자화한 값을 엔트로피 부호화함으로써 최고주파 부대역의 부호화에 필요한 비트량을 최소화하기 위한 것이다.

제한한 DWT 계수의 절대치와 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 근사화 방법에서 축적 인자 α_i 는 (식 6)을 최소화하는 값으로, (식 6)을 α_i 에 대해 편미분하여 구하면 (식 7)과 같이 표현된다.

$$\alpha(T_i^{|R_i|^H}, |R_i|^H, T_i^{|C_j|^H}, |C_j|^H) = \frac{1}{B^2/4 - 1} \sum_{p=2}^{B^2/4} (|r_i^p| t_i^p - \alpha_i t_i^p |c_j^p|)^2 \quad (6)$$

$$\alpha_i = \frac{\sum_{p=2}^{B^2/4} |r_i^p| \cdot t_i^p \cdot |c_j^p|}{\sum_{p=2}^{B^2/4} (t_i^p \cdot |c_j^p|)^2} \quad (7)$$

제한한 방법은 웨이블릿 변환 계수의 절대치를 이용하여 유효계수 트리를 구성하여 무효계수에 대해서는 부호 정보를 부호화하지 않고 소수의 유효계수에 대해

서만 부호 정보를 부호화하므로 부호 정보의 부호화에 요구되는 비트량을 현저하게 감소시킨다. PSNR을 개선하기 위한 후처리 과정으로는 복호화 과정에서 임계치 이하의 근사화된 유효계수들은 임계치로 복원하여 다음 고주파 부대역으로의 오차 파급을 최소화하였다.

3.2 유효계수 트리의 부호화

높은 압축율을 요구하는 부호화 시스템에서는 유효계수의 위치 정보 부호화에 전체 비트량의 상당 부분이 할당된다. 이를 해결하기 위해 Shapiro[10]는 다해상도 영상에서 서로 다른 부대역간의 상관성을 이용하여 저주파 부대역의 DWT 계수의 위치 정보로부터 고주파 부대역의 DWT 계수의 위치 정보를 예측하였다. 이는 임의의 임계치에 대하여 어떤 고주파 부대역의 DWT 계수가 무효계수이면 동일한 방향과 공간 영역이고 한 단계 높은 주파수를 가지는 고주파 부대역에 속한 DWT 계수들 또한 무효계수일 확률이 높다는 가정에 기초를 두고 있으며, 이 가정은 여러 영상들의 실험 결과로 옳음이 확인되었다.

본 논문에서는 고주파 부대역간의 유효계수와 무효계수의 상관성을 이용하여 효율적으로 유효계수 트리를 구성하였다. 제한한 방법에서는 임의의 저해상도에서 어떤 DWT 계수를 부모(parent)라고 할 때 이에 대응되는 동일한 방향과 공간 영역인 그 다음 하위 계층의 해상도에 있는 DWT 계수들은 자식(children)이라 정의한다. 그리고 임의의 부모가 주어졌을 때, 동일한 방향과 공간 영역인 하위 계층에서의 모든 DWT 계수들은 후손(descendants)이라 정의된다. 이와 유사하게 임의의 자식이 주어졌을 때, 동일한 방향과 공간을 가지는 상위 계층에서의 모든 DWT 계수들은 조상(ancestors)이라 정의된다.

이를 이용하여 아래와 같이 여섯 개의 심벌로 구성된 유효계수 트리를 수직, 수평, 대각 방향 각각에 대해 구성하고, 이 문자열들을 엔트로피 부호화하여 유효계수 트리 부호화에 필요한 비트량을 효과적으로 감소시켰다.

- ① ZTR(zero tree root) : 자신과 후손이 모두 무효계수인 경우
- ② PSUBZ(positive significant and subtree is insignificant) : 자신은 양의 유효계수이지만 후손이 모두 무효계수일 경우

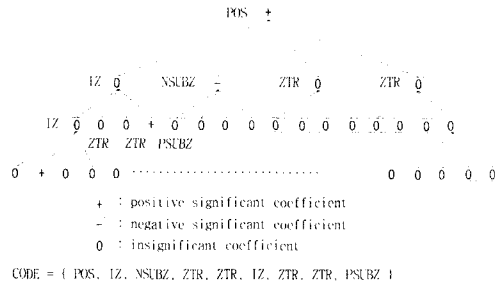
- ③ NSUBZ(negative significant and subtree is insignificant) : 자신은 음의 유효계수이지만 후손이 모두 무효계수일 경우
- ④ POS(positive significant) : 자신은 양의 유효계수이며 후손 중에 유효계수가 있는 경우
- ⑤ NEG(negative significant) : 자신은 음의 유효계수이며 후손 중에 유효계수가 있는 경우
- ⑥ IZ(isolated zero) : 자신은 무효계수이지만 후손 중에 유효계수가 있는 경우

높은 압축율에서 최고주파 부대역의 DWT 계수는 대부분이 무효계수로 분류되고 소수를 차지하는 유효계수의 절대치는 대부분이 작은 값을 가지므로, 작은 비트를 할당하여 양자화하여도 PSNR의 감소는 미소하다. 그리고 LH2, HL2, HH2 부대역의 어떤 DWT 계수에서 LH1, HL1, HH1 부대역에 있는 네 개의 자식 중 유효계수가 있는 경우인 POS, NEG 및 IZ로 구분될 경우, 네 개의 자식 중 유효계수의 개수는 대부분이 한 개 또는 두 개이다. 이러한 특성은 최고주파 부대역에 대해서 유효계수 트리 정보와 유효계수 각각에 대해 스칼라 양자화 값을 부호화하는 것 보다, LH2, HL2, HH2 부대역에서 어떤 위치의 유효계수 트리 심벌이 POS, NEG 및 IZ인 네 개의 자식 각각에 대해 작은 비트를 할당하여 스칼라 양자화하는 것이 압축 효율이 더 나은 결과를 가진다. 이는 LH1, HL1, HH1 부대역의 DWT 계수들 대부분이 무효계수이고 작은 절대치를 가지므로 엔트로피 부호화를 사용할 경우 압축율이 높기 때문이다.

제안한 방법에서의 유효 계수 트리의 부호화 순서는 최고주파 부대역을 제외하고 최저해상도의 고주파 부대역에서 다음 고해상도의 고주파 부대역을 계층적으로 부호화하고, 동일 해상도에서는 수직 → 수평 → 대각 부대역의 순으로 한다. 이러한 방법은 DWT 계수의 절대치가 큰 저해상도에서부터 고해상도로 순차적으로 부호화함으로써 점진적 전송에 매우 유리하다. 또한 이전의 심벌을 고려한 엔트로피 부호화기를 사용할 경우, 유사한 확률 분포 순으로 부호화하여 압축율을 높게 한다.

최저해상도의 고주파 부대역의 DWT 계수를 초기 노드로 설정하여 고주파 부대역을 계층적으로 표현한 유효계수 트리 부호화의 예를 (그림 1)에 나타내었다. (그림 1)에서 85 개의 노드에 대한 정보의 부호화 대

신 단지 9 개의 노드에 대한 정보만을 부호화함으로써 최고주파 부대역의 유효계수에 대한 위치와 부호 정보를 제외하고는 모두 표현할 수 있음을 나타내었다.



(그림 1) 유효계수 트리 부호화에 대한 예
(Fig. 1) The example of a significant tree encoding

3.3 부호화 속도 개선 방안

본 논문에서는 각각의 R_i^H 에 대해 가장 근사화가 잘되는 C_j^H 의 탐색 과정에서의 부호화 시간을 단축하기 위하여 웨이브릿 변환 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법(9)의 부호화 속도 개선 방법을 제안한 방법에 적합하게 개선하여 적용하였다.

제안한 방법에서는 전체 $|R_i^H|$ 들 중에서 42.26 [%]를 차지하는 유효계수가 없는 $|R_i^H|$ 는 부호화하지 않으며, 유효계수의 개수가 한 개 또는 두 개인 $|R_i^H|$ 는 스칼라 양자화 부호화한다. 이는 PSNR에 영향을 미치지 않으면서도 프랙탈 코드의 부호화에 할당되는 비트량보다 작은 비트량이 할당되고 축소된 정의역 블록의 집합의 탐색과정이 필요 없게 되어 부호화 과정에서의 연산량을 감소시킨다.

또한 $|R_i^H|$ 내의 유효계수의 개수가 세 개에서 임계치 (Th_{NUM}) 미만인 $|R_i^H|$ 는 (식 8)과

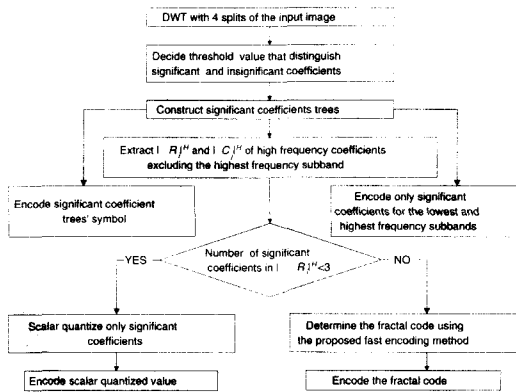
$$\text{if } T^{|R_i^H|} \ \& \ T^{|C_j^H|} \text{ is } T^{|R_i^H|} \text{ then search} \quad (8)$$

같이 $|R_i^H|$ 내의 유효계수 위치와 동일 위치에 있는 $|C_j^H|$ 의 DWT 계수가 모두 유효계수인 $|C_j^H|$ 만 탐색을 하고, 유효계수의 개수가 임계치 이상인 $|R_i^H|$ 는 전체 $|C_j^H|$ 에 대해 탐색하는 방법을 제안한다. 여기서

&는 비트 연산자(bit AND)이다. 그리고 (식 6)의 평균자승오차가 허용오차 이하이면 $|C_j|^H$ 의 탐색 과정을 멈추는 일반적인 부호화 속도 개선 방법을 결합하여, 부호화 시 연산량을 현저하게 감소시킨다.

제안한 $|R_i|^H$ 내의 유효계수의 개수에 따른 부호화 속도 개선 방법은 유효계수의 개수가 많은 $|R_i|^H$ 들에 대해서는 전체 $|C_j|^H$ 와 정합하여 PSNR의 감소를 미소하게 하였다. 그리고 유효계수의 개수가 작은 $|R_i|^H$ 들은 (식 8)의 조건을 만족하는 $|C_j|^H$ 의 개수는 많고 근사화되는 유효계수의 개수는 작으므로, 프랙탈 코드는 $|R_i|^H$ 의 유효계수 위치와 동일 위치에 있는 $|C_j|^H$ 의 유효계수에 의해서만 대부분 영향을 받게되어 PSNR의 감소는 미소하면서도 부호화 속도를 현저하게 감소시킨다.

제안한 프랙탈 영상 압축 방법의 개략적인 부호화기를 (그림 2)에서 나타내었다.



(그림 2) 제안한 부호화기의 처리 흐름도
(Fig. 2) The flow chart of the proposed encoder

4. 실험 결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 IBM 호환 PC 펜티엄-90에서 C-언어를 사용하여 구현하였으며, 실험 영상으로는 512 × 512 크기의 256 명암도 값으로 양자화된 LENA, PEPPER 영상을 사용하였다. 실험에서는 정지영상에 대해 산업 표준인 JPEG 방법

(11), 기존의 공간 영역에서의 프랙탈 영상 압축에서 가장 부호화 효율이 뛰어나고 고속인 Fisher의 방법(12), Krupnik의 방법, 웨이브릿 계수의 절대치를 이용한 프랙탈 압축 방법(8) 및 웨이브릿 변환 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법(9)과 제안한 방법과의 성능을 비교하였다.

제안한 방법에서는 기저 벡터가 중첩된 Adelson의 9 랩 QMF(14)를 사용하여 실험 영상을 4 분할한 다해상도 영상에서 부호화기를 구현하였다. 제안한 방법에 사용된 양자화기는 균일 양자화기를 사용하였으며, 이 양자화된 심벌 부호화를 위한 엔트로피 부호화기는 1차 적응 산술 부호화기(15)를 사용하였다. 부호화 시간에 대한 실험 결과는 원 영상을 읽어 들였을 때부터 압축된 파일이 보조기억장치에 저장될 때까지의 CPU 시간을 나타내었다.

최저해상도의 서주와 부대역(LL4)은 7 비트, 고주파 부대역(LH4, HL4, HH4)은 각각 5 비트로 양자화하고 스케일 인자(scale factor)는 4 비트로 양자화하였다. 축척 인자, 축소된 정의역 블록의 위치 정보 및 등장 변환에는 각각 10 비트, 1 비트, 1 비트를 할당하였다. 일반적인 부호화 속도 개선에 사용되는 원래의 R_i^H 와 프랙탈 근사화된 \hat{R}_i^H 와의 평균자승오차에 대한 허용오차는 Krupnik와 제안한 방법에 대하여 동일하게 9로 하였다.

(표 1)은 공간 영역에서 가장 대표적인 고속 프랙탈 부호화인 Fisher의 방법과 Th_{NUM} 을 10으로 하였을 때의 제안한 방법과의 PSNR, 비트율 및 부호화 시간을 비교한 것이다.

〈표 1〉 Fisher의 방법과 제안한 방법의 성능 비교
(Table 1) Performance comparison between Fisher's method and the proposed method

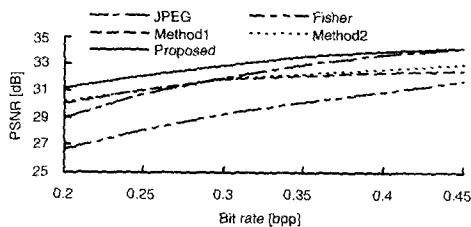
Image	Method	Encoding time (sec)						
		7	9	11	13	15	17	
LENA	Fisher	PSNR [dB]	25.80	26.73	28.16	28.86	30.40	30.80
		Bit rate [bpp]	0.15	0.20	0.25	0.29	0.36	0.38
	Proposed	PSNR [dB]	29.88	31.12	32.79	33.24	33.56	33.82
		Bit rate [bpp]	0.15	0.20	0.29	0.33	0.36	0.40
PEPPER	Fisher	PSNR [dB]	25.54	26.70	27.87	29.25	29.84	30.12
		Bit rate [bpp]	0.14	0.18	0.22	0.27	0.30	0.33
	Proposed	PSNR [dB]	29.52	30.35	32.5	33.10	33.20	33.42
		Bit rate [bpp]	0.11	0.17	0.30	0.38	0.41	0.47

〈표 1〉에서 Fisher의 부호화 결과는 참고 문헌

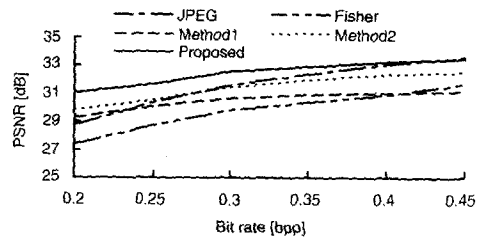
[12]의 부록에 수록된 C-언어로 구성된 프로그램에 대하여 "enc -t XX -m 4 -M 7 -h 512 -w 512 -d 1 -D 0 input.dat code.dat"와 "dec code.dat output.dat"의 명령을 수행한 결과를 나타내었다. Fisher에 대한 실험 결과는 RMSE를 나타내는 XX를 8 ~ 28까지 가변하여 얻은 결과이다.

(표 1)의 실험 결과로부터 제안한 방법이 부호화 시간의 변화에 따른 PSNR이 Fisher의 방법보다 현저하게 높으며, 동일한 PSNR에 대해서는 부호화 시간과 비트율이 더 우수함을 알 수 있다. Krupnik의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법은 PSNR, 화소당 비트수, 부호화 시간이 LENA 영상에 대하여 각각 31.04 [dB], 0.30 [bpp], 595 [sec]이고 PEPPER 영상에 대하여 31.04 [dB], 0.30 [bpp], 595 [sec]이다. 또한 기존의 이산 웨이브릿 변환 영역에 기반한 프랙탈 압축 방법[8,9]과 동일한 비트율에서 비교할 때 제안한 방법이 PSNR과 부호화 속도 측면에서 우수함을 알 수 있다.

전체 DWT 계수들 중에 유효계수로 부호화할 백분율을 상위 2~7 [%]로 변경하였을 때의 비트율 대 PSNR의 변화를 0.45 [bpp] 이하의 비트율에서 기존의 방법들과 비교하여 (그림 3)에서 나타내었다. (그림 3)에서 Method1, Method2는 각각 웨이브릿 변환 계수의 절대치를 이용한 프랙탈 압축 방법[8]에 의한 결과와 기존의 웨이브릿 변환 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법[9]에 의한 결과를 나타낸다. (그림 3)의 결과로부터 제안한 방법이 0.4 [bpp] 이하의 비트율에서 기존의 여러 압축 방법보다 비트율 대 PSNR이 뛰어난 것을 알 수 있다. 그러나 0.4 [bpp] 초과인 높은 비트율에서는 부호화할 유효계수의 개수의 증가로 인하여 유효계수 트리와 최고주파 부대역의 스칼라 양자화된 값 부호화에 필요한 비트량이 증가하게 되어 JPEG 방법보다 비트율에 대한 PSNR의 성능이 떨어지게 된다.



(a)



(b)

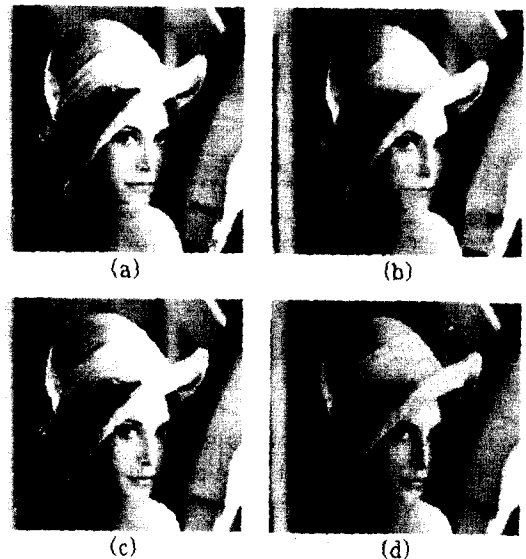
(그림 3) 영상의 비트율 대 PSNR

(a) LENA (b) PEPPER

(Fig. 3) PSNR versus bit rate for images

(a) LENA (b) PEPPER

(그림 4, 5)의 복원 영상으로부터 제안한 방법이 동일한 비트율에서 가장 좋은 복원 화질을 나타내는 것을 볼 수 있으며, Fisher와 JPEG의 방법에 나타나는 복원 영상 내의 블록간 구획화 현상을 제거하고 에지를 선명하게 복구하여 주관적 화질이 뛰어난 것을 알 수 있다.

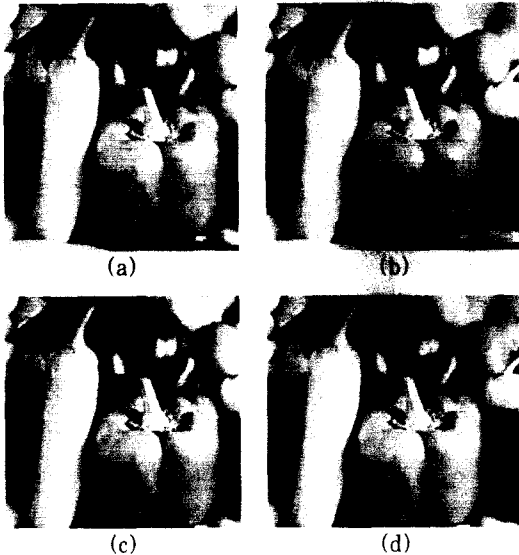


(그림 4) 0.30 [bpp]에서 LENA 영상에 대한 복원 영상

- (a) JPEG 방법에 의한 복원 영상 (32.00 [dB])
- (b) Fisher의 방법에 의한 복원 영상 (29.20 [dB])
- (c) Krupnik의 방법에 의한 복원 영상 (31.04 [dB])
- (d) 제안한 방법에 의한 복원 영상 (33.01 [dB])

(Fig. 4) Reconstructed images for LENA image at 0.30 [bpp]

- (a) Reconstructed image for JPEG (32.00 [dB])
- (b) reconstructed image for Fisher (29.20 [dB])
- (c) reconstructed image for Krupnik (31.04 [dB])
- (d) reconstructed image for the proposed (33.01 [dB])



(그림 5) 0.34 [bpp]에서 PEPPER 영상에 대한 복원 영상

- (a) JPEG 방법에 의한 복원 영상 (32.26 [dB])
- (b) Fisher의 방법에 의한 복원 영상 (29.80 [dB])
- (c) Krupnik의 방법에 의한 복원 영상 (30.78 [dB])
- (d) 제안한 방법에 의한 복원 영상 (32.50 [dB])

(Fig. 5) Reconstructed images for PEPPER image at 0.34 [bpp]

- (a) Reconstructed image for JPEG (32.26 [dB])
- (b) reconstructed image for Fisher (29.80 [dB])
- (c) reconstructed image for Krupnik (30.78 [dB])
- (d) reconstructed image for the proposed (32.50 [dB])

5. 결 론

본 논문에서는 높은 압축율에서 PSNR을 향상시키고 부호화 과정에서의 연산량을 감소시키는 DWT 영역에서 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 복원 화질에 많은 영향을 미치는 유효계수의 절대치에 대해서만 프랙탈 부호화하여 지역 블록의 유효계수에 대한 축소된 정의역 블록의 유사성을 높여 PSNR을 향상시켰다. 그리고 서로 다른 해상도를 가지는 고주파 부대역간의 유효계수와 무효계수의

상관성을 이용한 유효계수 트리 압축을 사용하여 높은 압축율에서 좋은 복원 화질을 얻었다.

또한 부호화 시간을 단축시키기 위하여 프랙탈 부호화할 지역 블록과 스칼라 양자화할 지역 블록으로 구분하여 지역블록의 유효계수 위치와 동일 위치에 있는 축소된 정의역 블록의 DWT 계수가 모두 유효계수인 블록에 대해서만 탐색하였다. 제안한 방법을 여러 가지 실험영상에 적용하여 성능을 평가한 결과 기존의 공간영역과 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법보다 부호화 속도 및 압축율에 대한 복원 화질이 모두 우수한 성능을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] K. R. Rao and P. Yip, 'Discrete Cosine Transform - Algorithms', Advantages, Applications, Academic Press, London, 1990, p. 10.
- [2] M. Antonini, M. Barlaud, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [3] M. F. Barnsley, 'Fractals Everywhere', Academic Press, 1988.
- [4] A. E. Jacquin, "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transforms," IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, no. 1, pp. 18-30, Jan. 1992.
- [5] R. Rinaldo and G. Calvagno, "An image coding scheme using block prediction of the pyramid subband decomposition," Proc. of ICIP Conf., pp. 878-882, 1994.
- [6] R. Rinaldo and G. Calvagno, "Image coding by block prediction of multiresolution subimages," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 7, pp. 909-920, July 1995.
- [7] H. Krupnik, D. Mallah and E. Karnin, "Fractal representation of images via the discrete wavelet transform," in IEEE 18th Conv. of EE in Israel, Tel-Aviv, March 1995.

[8] 배성호, 박길흠, "이산 웨이브렛 변환 영역에 기반한 프랙탈 영상 압축." 한국통신학회 논문지, vol. 21, no. 7, pp. 1654-1667, July 1996.

[9] 배성호, 박길흠, "웨이브렛 변환 영역에서의 유효 계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법." 대한전자공학회 논문지, 제 33권 B편 제 11호 pp. 62-71, Nov. 1996.

[10] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients." IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.

[11] W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell, 'JPEG Still Image Data Compression Standard', Van Nostrand Reinhold, New York, 1993. p. 337.

[12] Y. Fisher, 'Fractal Image Compression: Theory and Applications to Digital Images', Springer Verlag, New York, 1994.

[13] P. C. Cosman, R. M. Gray, and M. Vetterli, "Vector quantization of image subbands: a survey." IEEE Trans. on Image Processing, vol. 5, no. 2, pp. 202-225, Feb. 1996.

[14] Markus Brosß, 'Visual Computing', Stringer-Veering, New York, 1994. p. 160.

[15] Mark Nelson, The Data Compression Book 2ad ed., M & T Books, New York, 1996. pp. 153-200.



배 성 호

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(학사)
 1993년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
 1993년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정

관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전



김 현 순

1995년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터 비전