

論文96-33B-11-7

웨이브렛 변환 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법

(Fractal Image Compression Based on Wavelet Transform Domain Using Significant Coefficient Tree)

裴成鎬*, 朴吉欽*

(Sung-Ho Bae and Kil-Houm Park)

요 약

본 논문에서는 웨이브렛 변환 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법에서 낮은 비트율에서 PSNR을 개선하고 부호화시 계산의 복잡성을 감소하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 웨이브렛 계수들의 유효계수 트리를 이용하여, 치역 블록의 유효계수만을 정의역 블록과 정합함으로써 PSNR을 개선하고 부호화시 치역 블록과 정의역 블록의 정합 과정에서 발생하는 계산의 복잡성을 현저하게 감소하였다. 또한, 저해상도 부대역에서의 오차를 보정하여 저해상도 부대역에서의 오차가 고해상도 부대역으로 과급되는 현상을 감소하였다. 제안한 방법은 기존의 프랙탈 영상 압축 방법의 단점인 부호화 시간과 복호화 시간을 현저하게 줄였으며, 낮은 비트율에서도 블록화 현상이 제거되고 에지가 선명한 좋은 화질의 복원영상을 얻었다.

Abstract

In this paper we propose a method that improves PSNR at low bit rate and reduces computational complexity in fractal image coding based on discrete wavelet transform. The proposed method, which uses significant coefficient tree, improves PSNR of the reconstructed image and reduces computational complexity of mapping domain block onto range block by matching only the significant coefficients of range block to coefficients of domain block. Also, the proposed method reduces error propagation from lower resolution subbands to higher resolution subbands by correcting error of lower resolution subbands. Some experimental results confirm that the proposed method reduces encoding and decoding time significantly and has fine reconstructed images having no blocking effect and clear edges at low bit rate.

I. 서 론

프랙탈(Fractal)^[1]을 이용한 영상 압축 방법은 영상의 공간적 중복성을 제거하기 위해 영상 내에 존재하는 자기 유사성의 관계, 즉 영상 내의 밝기값의 형태

가 유사한 두 영역간의 상관 관계를 축소 변환(contractive transformation)^[1,2]의 계수로 기술함으로써 영상 압축을 수행하는 손실 부호화 방법이다. 일반적인 프랙탈 영상 압축 방법으로는 공간 영역에서 유사한 영역을 축소 변환 함수에 의하여 영상을 나타내는 Jacquin^[2]의 방법이 대표적이고, 이 방법을 개선하기 위하여 Monro^[3], Oien^[4], Fisher^[5], Baharav^[6] 등이 프랙탈 영상 압축 방법을 제안하였다. 이러한 프랙탈 영상 압축 방법들은 낮은 비트율에서 PSNR

* 正會員. 慶北大學校 電子工學科

(Department of Electronics Kyungpook National University)

接受日: 1996年6月1日, 수정완료일: 1996年10月25日

(peak signal to noise ratio)의 감소와 복원 영상에 블록화 현상이 두드러지는 단점이 있다.

웨이브렛 변환은 시간과 주파수에 대한 국부성을 가지고 신호를 표현할 수 있어서 비정상 과정(non-stationary process)을 가지는 영상 신호를 해석하는데 유리하고, 웨이브렛 변환 영역이 인간의 시각 특성과 비슷한 다중해상도(multi-resolution)로 표현되는 장점을 갖는다. 또한, 웨이브렛 변환에서는 낮은 비트율로 압축할 경우 DCT(Discrete Cosine Transform) 부호화에서와 같은 블록화 현상이 생기지 않고 신호의 점진적인 전송이 용이하다^[7]. 이러한 특성을 이용하여, 최근에 DWT(Discrete Wavelet Transform) 영역에서 다른 고주파와 부대역간의 유사성을 이용하여 프랙탈 부호화하는 새로운 방법이 제안되었다^[8,9]. 이러한 방법은 다중해상도 분할의 수가 많아지면 치역 블록(range block)^[12]의 차원(dimension)이 커지고, 하나의 치역 블록에 대하여 정합(matching)에 고려되는 전체 정의역 블록(domain block)^[12]의 개수가 감소하므로 복원영상의 PSNR이 감소되는 단점이 있다. 또한 PSNR에 미소한 영향을 미치는 웨이브렛 계수에 대해서도 부호화함으로써 비트율에 대한 PSNR과 부호화시 계산량에 대한 효율이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는, 일반적인 공간 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법과 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법의 주요 단점인 낮은 비트율에서 PSNR의 감소를 개선하는 방법과 부호화시 치역 블록과 정의역 블록의 정합 과정에서 발생하는 계산의 복잡성을 감소시키는 DWT 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법을 제안한다. 제안한 방법은 임계치(threshold value)보다 큰 절대치를 가지는 웨이브렛 계수를 유효계수(significant coefficient), 임계치보다 작은 절대치를 가지는 웨이브렛 계수를 무효계수(insignificant coefficient)로 정의한 유효계수 트리를 이용하여, 치역 블록의 유효계수에 대해서만 정의역 블록과 정합하여 프랙탈 근사화하고 저해상도 부대역의 유효계수에 대한 근사화 오차를 보정한다. 또한, 치역 블록의 유효계수의 개수에 따라 정의역 블록의 탐색 범위를 다르게 하여 프랙탈 부호화 하거나 정의역 블록의 탐색과정 없이 치역 블록의 유효계수를 스칼라 양자화(scalar quantization)하여, 낮은 비트율에서도 PSNR을 개선시키고 부호화시 계산량을 현저하게 감소시킨다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 일반적인 프랙탈 영상 압축 방법을 살펴보고, III장에서 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법을 설명한다. IV장에서는 제안한 DWT 영역에서 치역 블록의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법을, V장에서는 실험 결과를 통해 제안한 방법의 성능을 분석한다. 다음 결론을 맺는다.

II. 일반적인 프랙탈 영상 압축 방법

프랙탈 부호화에서 입력영상 I 는 중첩되지 않는 $B \times B$ 크기의 치역 블록들의 집합 $\{R_i, i=1, \dots, N_R\}$ 으로 분할된다.

$$\bigcup_{i=1}^{N_R} R_i = I, R_i \cap R_j = \emptyset \quad \text{for } i \neq j \quad (1)$$

여기서 N 은 분할된 블록들의 전체 개수를 나타낸다. 그리고 입력영상의 임의의 위치로부터 취하여진 $2B \times 2B$ 크기의 블록에서 네 개의 인접화소의 평균값을 한 개의 화소값으로 사상(mapping)하는 축소 연산자 S 를 적용하여 $B \times B$ 크기로 축소한 정의역 블록 D_j 와 치역 블록 R_i 와의 유사성이 탐색된다^[12]. 이러한 정의역 블록들의 집합 $\{D_j, j=1, \dots, N_D\}$ 은 벡터 양자화에서처럼 치역 블록들에 대한 부호책(codebook)의 역할을 한다. 치역 블록 R_i 가 정의역 블록의 인덱스 $j(i)$ 와 스케일 인자 s_i 및 offset o_i 의 매개변수들로 구성되어 있는 축소 변환 함수 W_j 에 의하여 정의역 블록에서 근사화되는 식은 아래와 같이 표현된다.

$$\hat{R}_i = W_j(D_j) = s_i D_j + o_i \quad (2)$$

여기서 \hat{R}_i 는 j 번째 정의역 블록 D_j 에서 근사화된 i 번째 치역 블록을 나타낸다. R_i 와 \hat{R}_i 의 평균지승오차인 E 를 최소화하는 축소 변환 함수 W_j 를 구하며, 이 때의 W_j 의 매개변수인 스케일 인자, offset, 정의역 블록의 인덱스를 IFS(iterated function system) code라 한다^[2,8].

$$E(R_i, \hat{R}_i) = \frac{1}{B^2} \left[\sum_{l=1}^B \sum_{m=1}^B (R_i(l, m) - \hat{R}_i(l, m))^2 \right] \quad (3)$$

여기서 l, m 은 치역 블록의 화소 위치이다. 축소 변환 함수를 부호화시 반복적으로 임의의 영상에 적용함으

로써 복원영상을 얻을 수 있다.

임의의 1차원 신호 I 에 대하여 축소 연산자 S 를 적용하면 치역 블록들의 집합 I 는 $1/2$ 의 크기로 축소되며, $I_{1/2} = S(I)$ 의 관계를 갖는다. 크기가 $1/2$ 로 축소된 신호 $I_{1/2}$ 은 축소되기 이전의 신호 I 의 정의역 블록들의 집합으로 간주되며, I 는 I_1 과 같다. I_1 에 대하여 반복적으로 축소 연산자 S 를 적용하면 식 (4)와 같이 표현된다.

$$I_{1/2^k} = S(I_{1/2^{k-1}}) \quad (4)$$

여기서 ($k=1, \dots, \text{Log}_2(B)$)이고 k 가 증가할수록 I 는 저해상도로 표현된다.

Baharav^[6]는 축소 변환 함수의 고정점인 I' 는 축소된 저해상도 신호의 고정점 $I'_{1/2^k}$ 로부터 축소 변환 함수를 계층적으로 적용함으로써 근사화될 수 있음을 보였다. 식 (5)는 동일한 축소 변환 함수 W 가 저해상도에서 고해상도로 계층적으로 적용되면, 보다 작은 $B/2^k$ 크기의 치역 블록에서 원래의 신호 I 의 고정점 I' 가 근사화 되는 방법을 나타낸다.

$$W_1 = W_{1/2} = W_{1/4} \dots = W_{1/2^{\text{Log}_2(B)}} \quad (5)$$

이러한 방법은 피라미드의 가장 상위 계층인 $I'_{1/B}$ 에서 시작하여 피라미드의 가장 하위 계층인 I' 로 확대 내삽(interpolation)함으로써 다중해상도에서 신호를 계층적으로 해석할 수 있다. 프랙탈 부호화에서의 계층적 해석은 $I'_{1/2^k}$ 로부터 $B/2^{(k-1)}$ 크기의 정의역 블록들에 대하여 $W_{1/2^{(k-1)}}$ 를 적용하여 다음 고해상도인 $I'_{1/2^{(k-1)}}$ 로 복사하는 방법을 나타낸다.

일반적인 치역 블록의 근사화 수식 (2)에 대한 수정은 블록들의 DC인 \overline{R}_i 와 정의역 블록의 DC인 \overline{D}_j 를 각 블록들의 AC와 직교화 하는 방법이며 식 (6)으로 표현된다^[4,8].

$$\widehat{R}_i = s_i \cdot (D_j - \overline{D}_j) + \overline{R}_i \quad (6)$$

식 (6)의 중요한 장점은 축소 변환 함수를 $\text{Log}_2(B)+1$ 반복 적용하면 고정점으로 거의 접근하는데 있다^[4]. 즉, 모든 m 에 대하여 $m \geq 0$ 이고 $l = \text{Log}_2(B)+1$ 일 때, $W^{(l+m)} = W^l$ 을 만족하는 콜라즈 오차^[5]의 한계에 도달한다. 그러므로 치역 블록과 정의역 블록의 DC와

AC의 직교화는 다른 해상도간의 고정점이 피라미드 관계에 영향을 끼치지 않으므로 영상의 피라미드 표현의 고정점인 AC와 DC를 결합하여 반복 축소 변환이 없는 계층적 복호화 과정이 수행 가능하다^[4].

전술한 공간 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법들에서는 일반적으로 압축율을 높이기 위하여 평균자승오차가 작은 치역 블록들에 대해서는 치역 블록의 크기를 크게하고 평균자승오차가 큰 치역 블록들에 대해서는 치역 블록의 크기를 작게하여 부호화 하였다. 그러나 이러한 방법은 낮은 비트율에서 PSNR의 감소와 복원영상에서 블록화 현상이 두드러지는 단점이 있다.

III. 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법

웨이브렛 변환시 임의의 영상 I 와 저역통과 필터를 컨볼루션하여 $2^2:1$ 축소(downsampling)한 결과는 일반적인 프랙탈 부호화 방법에서 축소 연산자 S 를 적용한 결과와 유사하다^[8]. 그러므로 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법^[8,9]은 정규직교(orthonormal) 웨이브렛 필터인 HARR QMF(quadrature mirror filter)를 사용하여 입력영상을 그림 1과 같이 $\text{Log}_2(B)+1$ 분할하여 영상의 다중해상도 표현인 DWT 영역으로 변환하였다. 그림 1에서 공간 영역의 동일한 블록에 대응되는 다른 부대역간의 웨이브렛 계수들을 묶은 블록을 치역 블록 R_i 와 정의역 블록 D_j 로 정의하고, R_i 의 DC를 제외한 R_i^H 는 흑색 블록으로 표시되며, D_j 의 DC를 제외한 D_j^H 는 R_i^H 보다 한 계층 높은 고주파 부대역의 백색 블록으로 표시된다. 이러한 정규직교 DWT는 $B \times B$ 크기의 unitary 행렬 U 로 표현될 수 있으며, II장에서 식 (6)에 대하여 unitary 행렬을 적용하면 DWT 영역에서의 정의역 블록에서 치역 블록으로의 근사화는 식 (7)과 같이 표현된다^[8].

$$U(\widehat{R}_i - \overline{R}_i) = s_i \cdot U(D_j - \overline{D}_j) \quad (7)$$

$$\widehat{R}_i^H = s_i \cdot D_j^H \Rightarrow \widehat{r}_i^H = s_i \cdot d_j^H, \quad 2 \leq p \leq B^2$$

여기서 \widehat{R}_i^H 는 R_i 의 DC인 r_i 를 제외한 R_i^H 의 근사화 값을 나타낸다. 그러므로 DWT 영역에서의 IFS code는 치역 블록들의 DC 집합("LL₃" 부대역)과 입력영상의 가장 저해상도 고주파 부대역("LH₄",

“ HL_4 ”, “ HH_4 ”)의 웨이브렛 계수들을 최초의 정의역 집합으로 하여 한 계층 낮은 고주파 부대역의 웨이브렛 계수를 계층적으로 근사화한 결과를 합성함으로써, 반복 축소 변환이 없는 계층적 복호화 과정을 수행한다. 이러한 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법은 모든 다른 직교 QMF에도 적용이 되며, 대부분의 직교 QMF는 HARR QMF 보다 개선된 PSNR을 나타낸다^[8,9]. 기존의 방법은 다중해상도 분할의 수 ($\log_2(B)+1$)가 작아질수록 R_H^H 의 차원(B^2-1)이 작아지고 정합에 고려되는 전체 D_H^H 의 개수가 많아지므로, R_H^H 와 \widehat{R}_H^H 의 평균자승오차가 작게되어 PSNR이 증가된다. 그러나 전체 R_H^H 와 D_H^H 의 개수의 증대로 인하여 비트율이 높아지며, 부호화시 계산의 복잡성이 증대된다. 반면에, 다중해상도 분할의 수가 많을수록 전체 R_H^H 와 D_H^H 의 개수가 감소하므로 비트율이 낮아지며, 부호화시 계산의 복잡성이 감소된다. 그러나 R_H^H 의 차원이 커지고, R_H^H 에 대하여 정합에 고려되는 전체 D_H^H 의 개수가 감소하므로 R_H^H 와 \widehat{R}_H^H 의 평균자승오차가 크게되어 PSNR이 감소된다.

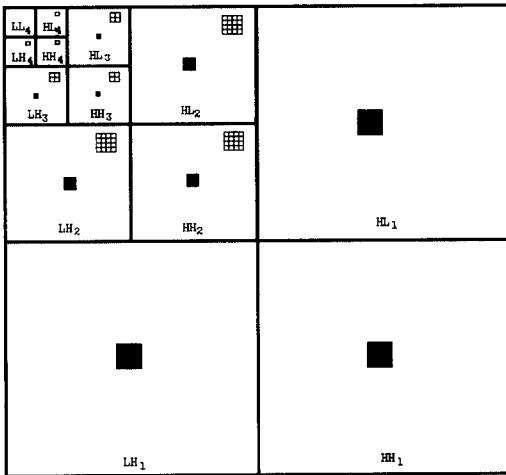


그림 1. 지역 블록과 정의역 블록의 2차원 이산 웨이브렛 변환 계수(B=8)

Fig. 1. The coefficients of 2D-DWT of a domain (white) and range(shaded) blocks.(B=8)

일반적으로 DWT 영역에서 가장 저해상도 저주파 부대역의 웨이브렛 계수를 제외하고는 모든 고주파 웨이브렛 계수들 중에 일부분만이 웨이브렛 계수의 절대치가 큰 값을 가지게 되며, 저해상도 부대역으로 갈수록

대부분의 웨이브렛 계수의 절대치는 증가된다. 그러나 기존의 부호화 방법은 그림 1에서 나타나듯이 고해상도 부대역으로 갈수록 R_H^H 를 구성하는 웨이브렛 계수의 개수가 많게되고, 저해상도 부대역으로 갈수록 R_H^H 를 구성하는 웨이브렛 계수의 개수가 작아지게 되어, R_H^H 와 \widehat{R}_H^H 의 평균자승오차를 최소로 하는 IFS code는 다수를 차지하는 절대치가 작은 웨이브렛 계수에 대하여 근사화 되므로 저해상도 고주파 부대역의 소수의 절대치가 큰 웨이브렛 계수에서 오차가 큰 IFS code를 구하게 된다. 이러한 특성은 절대치가 큰 웨이브렛 계수가 PSNR에 많은 영향을 미치는 DWT 영역의 특성과 상반되므로, 가장 저해상도의 고주파 부대역에서부터 한 계층 낮은 고주파 부대역의 웨이브렛 계수를 계층적으로 근사화하는 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 복호화 방법은 근사화 오차가 큰 저해상도 고주파 부대역의 웨이브렛 계수가 고해상도 고주파 부대역으로 오차를 계층적으로 과급시키므로 PSNR이 감소되는 단점이 있다. 또한 PSNR에 미소한 영향을 미치는 R_H^H 에 대해서도 전체 D_H^H 를 탐색하여 프랙탈 부호화함으로써, 비트율에 대한 PSNR과 부호화 속도에 대한 효율이 떨어지는 단점이 있다.

그러므로 낮은 비트율에서 PSNR의 개선과 실시간 부호화를 하기 위해서는 정합에 고려되는 전체 D_H^H 의 개수가 감소하여도 PSNR의 개선을 가져오는 방법과 R_H^H 와 D_H^H 를 미리 정해진 유형으로 분류한 후 R_H^H 와 동일한 유형에 속하는 D_H^H 만을 탐색하는 DWT 영역에서의 부호화 속도 개선 방법이 필요하다.

IV. 지역 블록의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법

일반적으로 DWT 영역에서의 영상 압축 방법은 PSNR에 미소한 영향을 미치는 절대값이 작은 웨이브렛 계수를 제거하고 PSNR에 많은 영향을 미치는 절대값이 큰 웨이브렛 계수를 효율적으로 부호화하는데 있다^[10]. 그러나 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법은 PSNR에 영향을 미치는 중요도에 상관없이 모든 웨이브렛 계수를 프랙탈 부호화함으로써, 효율적인 부호화기로는 부적합하다. 그러므로 본 논문에서는 PSNR에 영향을 미치는 중요도를 고려하여, 임계치 미만인 절대치가 작은 웨이브렛 계수를 “0”으로

하여 무효계수로 정의하고 임계치 이상인 웨이브렛 계수를 "1"로 하여 유효계수로 정의한 유효계수 트리를 이용하여, 낮은 비트율에서 PSNR과 부호화 속도를 개선 시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 R_i^H 의 유효계수의 개수에 따라 D_i^H 의 탐색 범위를 다르게 하여, R_i^H 의 유효계수만을 D_i^H 와 정합하여 프랙탈 부호화 하거나 D_i^H 의 탐색과정 없이 R_i^H 의 유효계수를 스칼라 양자화 부호화함으로써, 낮은 비트율에서 PSNR을 향상시키고 부호화시 R_i^H 와 D_i^H 의 정합 과정에서 발생하는 계산의 복잡성을 감소시켰다.

제안한 방법에서는 표 1과 같은 저역통과 필터 계수를 가지는 Adelson의 9 tab QMF^[11]를 사용하여 입력영상을 4 분할된 DWT 영역으로 변환하였다. "LL₃" 부대역을 제외한 나머지 부대역의 웨이브렛 계수들을 전체로 하였을 때, 절대치가 큰 순서대로 웨이브렛 계수들을 정렬하여 전체 웨이브렛 계수들 중에 부호화할 유효계수들의 백분율(percentage)을 상위 1 ~ 5.5 %로 하여, 그때의 웨이브렛 계수의 절대치를 유효계수와 무효계수를 구분하는 임계치로 설정하여 유효계수 트리 T를 구성하였다. 이러한 방법은 유효계수 트리에 대하여 엔트로피 부호화를 적용할 경우 각 실험영상들에 대해 유효계수 트리 전송에 필요한 비트량이 거의 일정하게 되므로 비트율을 쉽게 조절할 수 있으며 임계치의 변화에 따른 PSNR의 변화를 미소하게 한다.

본 논문에서는 "LH₁", "HL₁", "HH₁" 부대역들의 유효계수에 대해서는 스칼라 양자화 부호화하고, "LL₃", "LH₁", "HL₁", "HH₁" 부대역들을 제외한 나머지 고주파 부대역들에 대해서 R_i^H 를 구성하여 R_i^H 의 유효계수만을 D_i^H 와 정합하여 프랙탈 부호화함으로써 PSNR을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서의 "LH₁", "HL₁", "HH₁" 부대역을 제외한 D_i^H 에서 R_i^H 로의 근사화는 치역 블록의 유효계수 트리 $T_i^{R^H}$ 를 이용하여 식 (8)과 같이 표현되며, R_i^H 를 구성하는 웨이브렛 계수들 각각의 유효계수 정보 t_i^p 는 r_i^p 가 유효계수이면 "1"이 되며, r_i^p 가 무효계수이면 "0"이 된다. 그러므로 제안한 방법에서의 스케일 인자 s_i 는 식 (9)를 s_i 에 대해 편미분을 하여 식 (10)으로 나타낸다.

표 1. Adelson의 필터 계수

Table 1. Adelson's filter coefficients.

$h_0(0)$	0.7973934
$h_0(1), h_0(-1)$	0.41472545
$h_0(2), h_0(-2)$	-0.073386624
$h_0(3), h_0(-3)$	-0.060944743
$h_0(4), h_0(-4)$	0.02807382

$$\widehat{R}_i^H = s_i \cdot T_i^{R^H} \cdot D_i^H \Rightarrow \widehat{r}_i^p = s_i \cdot t_i^p \cdot d_i^p, \quad 2 \leq p \leq \frac{B^2}{4} \quad (8)$$

$$E(T_i^{R^H} \cdot R_i^H, T_i^{R^H} \cdot \widehat{R}_i^H) = \frac{1}{B^2/A-1} \sum_{p=2}^{\frac{B^2}{4}} (r_i^p \cdot t_i^p - s_i \cdot t_i^p \cdot d_i^p)^2 \quad (9)$$

$$s_i = \frac{\sum_{p=2}^{\frac{B^2}{4}} r_i^p \cdot t_i^p \cdot d_i^p}{\sum_{p=2}^{\frac{B^2}{4}} (t_i^p \cdot d_i^p)^2} \quad (10)$$

제안한 방법은 R_i^H 의 유효계수의 위치와 동일 위치에 존재하는 D_i^H 의 웨이브렛 계수에 대해서만 IFS code를 구함으로써, PSNR에 많은 영향을 미치는 R_i^H 의 유효계수에 대한 D_i^H 의 유사성을 높여 PSNR을 향상시키는 방법이다. 또한 PSNR에 미소한 영향을 미치는 "LH₁", "HL₁", "HH₁" 부대역들의 유효계수만을 스칼라 양자화하여 프랙탈 근사화에서 제외함으로써, R_i^H 와 D_i^H 의 차원 B^2-1 을 $B^2/4-1$ 으로 줄이고 저해상도 고역통과 부대역의 유효 계수에서 보다 오차가 작은 IFS code의 값을 구하여 PSNR을 향상시키고 부호화시 계산의 복잡성을 감소시킨다.

본 논문에서는 각각의 R_i^H 에 대해 가장 근사화가 잘 되는 D_i^H 를 탐색하는 과정이 부호화 시간의 대부분을 차지하는 기존의 방법의 단점을 보완하기 위하여 제안한 유효계수 트리를 이용한 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법에 대하여 부호화 속도 개선 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 비트율의 증가와 부호화시 계산의 복잡성을 8배나 증가시키면서도 PSNR의 개선이 미소한 D_i^H 의 isometry 변환을 적용하지 않았다. 그러므로 512 × 512 크기의 입력영상을 4 분할한 DWT 영역으로 변환하였을 때, R_i^H 와 D_i^H 의 차원은 15가 되고 전체 개수는 4096과 1024가 된다. 표 2는 "Lenna" 영상에 대하여 "LL₃" 부대역을 제외한 나머지 부대역의 웨이브렛 계수들 중에 상위 3%를 유효계

표 2. R_i^H 와 D_j^H 의 유효계수의 개수에 따른 분류

Table 2. Classification according to number of significant coefficients for R_i^H and D_j^H .

number of significant coefficients	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
number of R_i^H	2003	769	331	265	186	162	122	85	68	61	19	17	6	1	0	1
number of D_j^H	153	133	100	106	88	88	53	57	44	49	57	35	28	24	9	0

수로 정의하였을 때, R_i^H 와 D_j^H 를 구성하는 유효계수의 개수별로 분류하여 동일한 유효계수의 개수를 가지는 R_i^H 와 D_j^H 의 수를 나타내었다. 표 2의 실험 결과로부터 유효계수의 개수가 3개 이하인 R_i^H 의 수는 전체 R_i^H 의 76%를 차지하고, 유효계수의 개수가 많을수록 동일한 유효계수의 개수를 가지는 R_i^H 와 D_j^H 의 수는 작게됨을 알 수 있으며, 모든 다른 실험영상들도 제안한 임계치 설정 방법에 의해서 거의 유사한 결과를 나타낸다. 이러한 특성을 이용하여 R_i^H 에서 49%를 차지하는 유효계수의 개수가 0개인 R_i^H 는 부호화하지 않으며, 유효계수의 개수가 1개 또는 2개인 R_i^H 는 스칼라 양자화 부호화하여, PSNR에 영향을 미치지 않으면서도 프랙탈 부호화 방법보다 비트량을 감소시키며 D_j^H 의 탐색과정이 필요 없게 되어 부호화 시간을 단축시키는 방법을 제안한다. 그리고 R_i^H 의 유효계수의 개수가 3개에서 임계치(Th_{num}) 미만인 R_i^H 는 식 (11)과 같이 R_i^H 의 유효계수 위치와 동일 위치에 존재하는 D_j^H 의 웨이브렛 계수가 모두 유효계수인 D_j^H 만 탐색을 하고, 임계치 이상인 R_i^H 는 전체 D_j^H 에 대해 탐색을 하여 프랙탈 부호화하는 유효계수 트리를 이용한 방법과 식 (9)의 평균자승오차 E 가 허용오차(tol) 이하이면 D_j^H 의 탐색과정을 멈추는 방법을 결합하여, 부호화시 계산의 복잡성을 현저하게 감소시키는 방법을 제안한다.

$$\text{if } T^{R^H} \& T^{D^H} \text{ is } T^{R^H} \text{ then search} \quad (11)$$

여기서 &는 비트 연산자(bit AND)이다. 제안한 방법은 유효계수의 개수가 작은 R_i^H 들은 식 (11)의 조건을 만족하는 D_j^H 의 개수는 많고 근사화되는 유효계수의 개수는 작게되어, IFS code는 R_i^H 의 유효계수 위치와 동일 위치에 존재하는 D_j^H 의 유효계수에 의해서만 영향을 받게되므로 PSNR에는 거의 영향을 받지 않는다.

제안한 유효계수의 개수에 따른 R_i^H 의 부호화 방법의 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

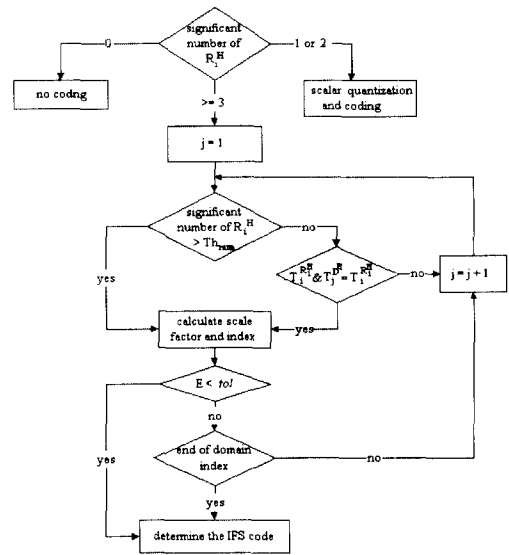


그림 2. 제안한 부호화 속도 개선 방법
Fig. 2. Proposed fast encoding method.

PSNR을 개선하기 위한 후처리 과정으로 미리 복호화 과정을 수행하여 프랙탈 근사화된 결과에서 부호(sign)가 반전된 유효계수는 무효계수로 정의하여 유효계수 트리를 갱신하여 부호화하고 복호화시 저해상도에서 고해상도로의 계층적 근사화 과정에서 발생하는 오차를 줄이기 위하여 “ LH_3 ”, “ HL_3 ”, “ HH_3 ” 부대역의 원래의 유효계수와 근사화된 유효계수와의 오차를 부호화하였다. 또한 제안한 방법의 복호화 과정에서 임계치 이하의 근사화된 유효계수들은 임계치로 복원하여 다음 고해상도 부대역으로의 오차 파급을 최소화하였다. 제안한 방법의 부호화와 복호화 과정은 다음과 같다.

부호화 과정

단계 1 : 직교 DWT를 적용하여 입력영상을 4 분할된 다중해상도로 나타낸다.

단계 2 : 절대치가 큰 순서대로 웨이브렛 계수들을 정렬하여 유효계수와 무효계수를 구분하는 임계치를 설정하여 부호화하고 유효계수 트리를 구성한다.

단계 3 : “ LL_3 ” 부대역의 웨이브렛 계수와 “ LH_1 ”, “ HL_1 ”, “ HH_1 ” 부대역의 유효계수를 스칼라 양자화 부호화하고, R_H^H 의 유효계수 개수에 따라 R_H^H 의 유효계수를 스칼라 양자화 부호화하거나 프랙탈 부호화를 한다.

단계 4 : 미리 복호화 과정을 수행하여 유효계수 트리를 갱신한 다음, 유효계수 트리를 부호화하고 “ LH_3 ”, “ HL_3 ”, “ HH_3 ” 부대역의 원래의 유효계수와 근사화된 유효계수와의 오차를 스칼라 양자화 부호화 한다.

복호화 과정

단계 1 : “ LL_3 ” 부대역의 스칼라 양자화된 값을 복구한다.

단계 2 : 유효계수 트리를 이용하여 스칼라 양자화된 값이나 프랙탈 근사화로 “ LH_3 ”, “ HL_3 ”, “ HH_3 ” 부대역의 유효계수를 근사화하고 오차를 보정한 다음 “ LH_2 ”, “ HL_2 ”, “ HH_2 ” 부대역의 유효계수를 근사화한다.

단계 3 : 근사화된 유효계수의 절대치가 임계치보다 작으면 임계치로 복원하고, “ LH_1 ”, “ HL_1 ”, “ HH_1 ” 부대역들의 유효계수를 복구한다.

단계 4 : IDWT(Inverse Discrete Wavelet Transform)를 한다.

제안한 방법에서는 DWT 영역에서 치역 블록과 정의역 블록의 DC와 AC를 직교화함으로써, 일반적인 블록 기반 부호화기의 대표적인 단점인 복원영상의 블록화 현상을 제거하고, 반복 축소 변환이 없는 계층적 복호화 과정이 수행되어 다중해상도 합성에 대한 계산량을 제외하면 복호화시 한 화소에 한 번의 곱셈만이 필요하므로 복호화 시간을 단축시킨다. 또한 유효계수 트리를 이용하여 절대치가 큰 웨이브렛 계수를 복구함으로써, DCT 부호화에서와 같이 높은 압축율로 부호화할 경우 영상의 에지 부분의 고립 화소가 제거되어 나타나는 에지의 평활화(smoothing) 현상을 없애므로 높은 압축율에서도 에지가 선명하게 복구된다.

그러나 제안한 방법은 임계치가 낮을수록 “ LH_1 ”,

“ HL_1 ”, “ HH_1 ” 부대역들의 유효계수의 개수가 증가하여 복원영상의 PSNR은 증가하나 유효계수 트리에 대한 부호화 비트량이 증가함으로써, 낮은 압축율에서의 PSNR의 개선 성능은 떨어진다.

V. 실험 결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 IBM PC 펜티엄-90에서 C-언어를 사용하여 구현하였고, 실험영상으로는 512x512 크기의 256 명암도 값으로 양자화된 표준 영상을 사용하였다. 실험에서는 “ LL_3 ” 부대역을 7 비트, 스케일 인자 5 비트, 정의역 블록의 인덱스 10 비트로 uniform 스칼라 양자화하여 기존의 방법과 제안한 방법의 양자화 레벨을 동일하게 하였으며, 제안한 방법에서 부가로 전송되어야 하는 정보에 대해서는 유효계수 트리와 “ LH_1 ”, “ HL_1 ”, “ HH_1 ” 부대역과 R_H^H 내의 유효 계수의 개수가 1개 또는 2개일 때의 유효계수들에 7 비트, “ LH_3 ”, “ HL_3 ”, “ HH_3 ” 부대역의 오차에 6 비트로 uniform 스칼라 양자화하였다. 그리고 양자화된 각 심볼 전송을 위한 엔트로피 부호화기는 각 심볼 정보에 대한 테이블이 필요없는 적응 산술 부호화기(adaptive arithmetic coding)^[12]를 사용하였으며, 제안한 부호화 속도 개선 방법에 사용되는 유효계수의 개수에 대한 임계치(Th_{num})와 유효계수의 평균 자승오차에 대한 허용오차(tol)는 각각 6과 3으로 하였다. 그림 3은 R_H^H 에 대해 수평, 수직, 대각 방향의 유효계수 트리를 부호화하는 예를 나타내었다. 그림 3에서는 R_H^H 를 구성하는 웨이브렛 계수가 무효계수이면 “0”으로 유효계수이면 “1”로하여 저해상도에서 고해상도로의 각 방향에 따라 계층적인 4진 트리 구조로 나타내었으며, 계층 2의 하나의 웨이브렛 계수에 대해 자식 트리인 1 계층(“ LH_1 ”, “ HL_1 ”, “ HH_1 ” 부대역)의 네 개의 웨이브렛 계수가 모두 무효계수이면 “0”으로 하고 유효계수가 하나 이상 존재하면 “1”로 유효계수 트리를 구성하여 9 비트의 이진수로 나타내어 적응 산술 부호화를 수행하였다.

실험영상들에 대하여 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법과 “ LL_3 ” 부대역을 제외한 나머지 부대역의 웨이브렛 계수들 중에 상위 2%를 유효계수로 정의하였을 때의 제안한 방법과의 PSNR, 비트율, 부호화 시간에 대한 결과를 표 3에서 비교하였다. 표 3의

결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법보다 전송되어야 하는 부가 정보가 많음에도 불구하고, 유효 계수의 개수가 2개 이하인 R^H 의 증가로 인하여 유효계수 트리의 엔트로피가 낮아지며 부호화할 IFS code가 감소함으로써, 비트율과 PSNR, 부호화 시간의 관점에서 모두 우수한 효율적인 부호화 방법을 알 수 있다.

표 4는 실험영상에 대하여 공간 영역에서 정의역 블록과 치역 블록의 형태를 72 가지로 분류하고, 치역 블록의 크기를 32x32 에서 4x4 까지 가변 블록을 적용하여 부호화하는 가장 대표적인

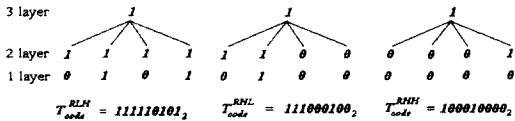


그림 3. 유효계수 트리
Fig. 3. Significant coefficient trees.

표 3. 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법과 제안한 방법의 성능 비교

Table 3. Comparison of PSNR/bpp/time for conventional method and proposed method.

IMAGE	conventional method			proposed method		
	PSNR [dB]	bit rate [bpp]	time [sec]	PSNR [dB]	bit rate [bpp]	time [sec]
Lenna	30.8	0.31	465	31.6	0.28	17
Pepper	30.6	0.32		31.3	0.29	14
Lady	31.6	0.31		32.9	0.26	15
Boat	27.4	0.31		28.4	0.29	13

표 4. Fisher의 방법과 제안한 방법의 성능 비교

Table 4. Comparison of PSNR/bpp/time for Fisher's method and proposed method.

IMAGE	Fisher's method			proposed method		
	PSNR [dB]	bit rate [bpp]	encoding time [sec]	PSNR [dB]	bit rate [bpp]	encoding time [sec]
Lenna	31.4	0.43	26	32.3	0.34	23
Pepper	31.4	0.43	32	32.0	0.35	19
Lady	32.4	0.35	24	33.6	0.26	21
Boat	31.5	0.67	48	29.3	0.35	18

고속 프랙탈 부호화 방법인 Fisher의 방법과 “ LL_3 ” 부대역을 제외한 나머지 부대역의 웨이블릿 계수들 중에 유효계수로 부호화할 백분율(percentage)을 상위 3%로 하였을 때의 제안한 방법과의 PSNR, 비트율, 부호화 시간을 비교한 결과이다. Fisher의 방법은 참고 문헌 [5]의 부록에 수록된 알고리즘에 대하여 “enc -t 10 -m 4 -M 7 -h 512 -w 512 INPUT.dat OUTPUT.trn”과 “dec OUTPUT.trn OUTPUT.out”를 수행한 결과를 나타내었다. 그림 4의 (a)와 (b)는 거의 동일한 PSNR에서 Fisher의 방법과 제안한 방법에 의하여 복원된 “Lenna” 영상의 일부분을 나타내었다. 표 4와 그림 4의 실험 결과에서 Fisher의 방법보다 제안한 방법이 “Boat” 영상에서의 PSNR을 제외하고는 비트율의 감소, PSNR의 개선, 부호화 시간의 감소, 동일한 PSNR에서도 블록화 현상이 없는 복원영상으로 인한 주관적 화질의 개선 모두 우수한 성능을 나타낸다.



그림 4. “Lenna” 복원영상의 일부분
(a) Fisher의 방법에 의한 복원영상(0.43 [bpp], PSNR = 31.4 [dB]) (b) 제안한 방법에 의한 복원영상(0.28 [bpp], PSNR = 31.6 [dB])

Fig. 4. Parts of Reconstructed images for “Lenna”.

(a) Reconstructed image using Fisher's method (0.43 [bpp], PSNR = 31.4 [dB]) (b) Reconstructed image using proposed method (0.28 [bpp], PSNR = 31.6 [dB])

실험영상들에 대해 “ LL_3 ” 부대역을 제외한 나머지 부대역의 웨이블릿 계수들 중에 유효계수로 부호화할 백분율(percentage)을 상위 1 ~ 5.5 %로 변경하였을 때의 PSNR의 변화를 그림 5에서 나타내었으며, 이에 따른 비트율대 PSNR의 변화를 그림 6에서 나타내었다. 그림 7에서는 0.29 [bpp]에서 “Pepper” 영상과 “Boat” 영상에 대해 제안한 방법에 의하여 복원된 영

상을 나타내었으며, 제안한 방법이 낮은 비트율에서도 블록화 현상이 없고 에지가 선명한 영상으로 복원됨을 알 수 있다. 실험을 통하여 제안한 방법이 공간 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법과 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법보다 부호화 시간, 비트율, 객관적 화질 개선 및 주관적 화질이 더 우수한 결과를 나타내었다.

향후 연구 과제로서는 낮은 압축율에서의 PSNR의 개선을 위하여 유효계수 트리의 효율적인 부호화 방법의 연구가 필요하다.

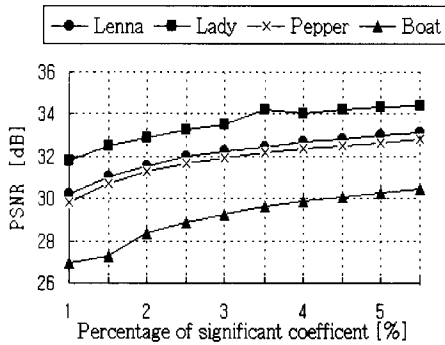


그림 5. 유효계수의 백분율에 따른 PSNR의 변화
Fig. 5. Variation of PSNR according to percentage of significant coefficients.

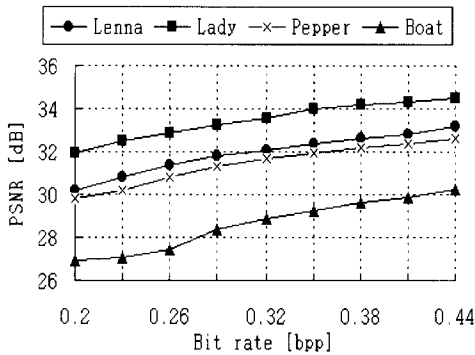


그림 6. 비트율에 따른 PSNR의 변화
Fig. 6. Variation of PSNR according to bit rates.

VI. 결 론

본 논문에서는, 일반적인 공간 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법과 기존의 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법의 주요 단점인 낮은 비트율에서 PSNR의 감소를 개선하는 방법과 부호화시 치역 블록과 정의역

블록의 정합 과정에서 발생하는 계산의 복잡성을 감소시키는 DWT 영역에서의 유효계수 트리를 이용한 프랙탈 영상 압축 방법을 제안하였다.

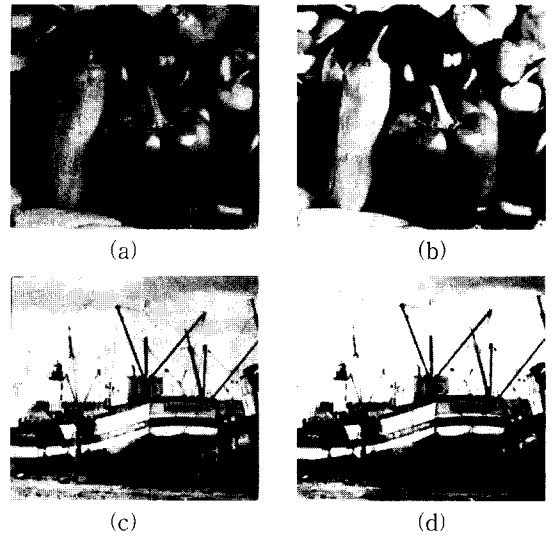


그림 7. 제안한 방법에 의한 복원영상
(a) "Pepper" 원영상 (b) "Pepper" 복원영상 (PSNR = 31.3 [dB]) (c) "Boat" 원영상 (d) "Boat" 복원영상(PSNR = 28.4 [dB])
Fig. 7. Reconstructed images of test images.
(a) "Pepper" original image (b) "Pepper" reconstructed image(PSNR = 31.3 [dB]) (c) "Boat" original image (d) "Boat" reconstructed image(PSNR = 28.4 [dB])

또한, 후처리 과정으로 저해상도 부대역에서의 오차 보정을 하여 저해상도 부대역에서 고해상도 부대역으로의 오차의 파급을 감소하였다. 제안한 방법은 DWT 영역에서 프랙탈 부호화 하여, 블록 기반 부호화기의 대표적인 단점인 복원영상에서 블록화 현상을 제거하였고, 에지가 선명하게 복구되며 반복 축소 변환이 없는 계층적 부호화 수행이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] M. F. Barnsley, *Fractals Everywhere*, Academic Press, 1988.
- [2] A. E. Jacquin, "Fractal Image Coding: A Review", *Proc. of the IEEE*, vol. 81, no 10, pp. 1451-1465, Oct. 1993.
- [3] D. M. Monro, "A hybrid fractal transform", *IEEE Proc. of Int'l Conf., Acoust., Speech,*

- Signal Processing*, pp. 169-172, 1993.
- [4] G. E. Oien, S. Lepsoy "Fractal Based Image Coding with fast Decoder Convergence", *Signal Processing*, no 40, pp. 105-117, 1994.
- [5] Y. Fisher, *Fractal Image Compression: Theory and Applications to Digital Images*, Springer Verlag, New York, 1994.
- [6] Z. Baharav, D. Malah, E. Karnin, "Hierarchical interpretation of fractal image coding and its application to fast decoding", *Proc. Digital Signal Processing Conference, Cyprus*, pp. 190-195, July 1993.
- [7] R. A. DeVore, B. Jawerth, and B. J. Lucier, "Image compression through wavelet transform coding," *IEEE Trans. Informat. Theory*, vol 38, pp. 719-746, Mar. 1992.
- [8] 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.
- [9] Gregory Caso and C.-C. Jay Kuo, "New Results for Fractal/Wavelet Image Compression", *SPIE Visual Communications and Image Processing '96* vol. 2727, pp. 536-547, 1996.
- [10] J. M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zero trees of Wavelet Coefficients", *IEEE Trans. on Sig. Proc.*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [11] Markus Grosß, *Visual Computing*, Springer-Verlag, New York, p.160, 1994.
- [12] Mark Nelson, *The Data Compression Book 2nd ed.*, M & T Books, 1996.

 저 자 소 개

斐城鎬(正會員) 第 30卷 B編 第 5號 參照

현재 경북대학교 대학원 전자공학과
박사과정

朴吉欽(正會員) 第 31卷 B編 第 10號 參照

현재 경북대학교 전자전기공학부 부
교수