

論文2000-37SP-2-4

Fractal 압축방법을 위한 DCT 계수를 사용한 도메인 탐색 방법

(Domain Searching method using DCT-coefficient for Fractal Image Compression)

徐基範*, 鄭正和*

(Ki Bum Suh and Jong Wha Chong)

요 약

본 논문에서는 DCT 계수특성을 이용한 도메인 분류방법과 부분 탐색방법을 사용한 프랙탈 압축방법을 제안한다. 일반적으로 프랙탈 영상 부호화 방법은 레인지 블록과 매칭되는 도메인을 탐색하는데 많은 시간이 걸리는 문제점을 갖는다. 이를 해결하기 위해 DCT계수 특성을 이용하여 4가지 영역으로 분류하여 탐색을 함으로서 시간복잡도를 해결하고, 분류된 특성에 따라 적합한 부호화 과정을 수행한다.

프랙탈 영상의 압축율은 레인지 블록의 개수에 의해 결정되므로, 도메인 영역의 데이터와 레인지 영역의 데이터 매칭을 부분 탐색 과정을 통해 큰 레인지 영역에서 수행되게 유도함으로써 영상의 압축율을 높일 수 있었다. 이때 DCT계수의 특성을 이용해 부분 탐색의 방향과 거리를 결정하므로써 부분 탐색의 시간 복잡도를 줄였다. 제안한 알고리즘을 실제 영상에 적용하여 실험한 결과, 기존 알고리즘의 결과에 비하여 화질은 1 dB, 압축율은 0.806 이상의 향상된 결과를 얻었다.

Abstract

This paper proposes a fractal compression method using the domain classification and local searching, which utilize DCT coefficient characteristic. Generally, the fractal image encoding method has a time consuming process to search a domain to be matched with range block. In order to reduce computation complexity, the domain and range regions are respectively classified into 4 category by using the characteristics of DCT coefficients and each range region is encoded by a method suitable for the property of its category.

Since the bit amount of the compressed image depends on the number of range blocks, the matching of domain block and range block is induced on the large range block by using local search, so that compression ratio is increased by reducing the number of range block. In the local search, the searching complexity is reduced by determining the direction and distance of searching using the characteristics of DCT coefficients.

The experimental results shows that the proposed algorithm have 1 dB higher PSNR and 0.806 higher compression ratio than previous algorithm.

I. 서 론

영상 정보를 디지털 형태로 표현하기 위해서는 수

많은 양의 데이터가 필요하다. 그러므로 이러한 데이터를 저장하거나 전송하는 데에 있어서 보다 적은 비트로 정보를 나타내기 위한 압축 과정은 필수적이라 할 수 있다. 또한, 최근 국제 표준화 기구인 ISO산하 WG에서 정지 영상의 표준화(JPEG)와 영상 전파나 영상 회의의 표준화(H.261, H.263), 동영상의 표준화(MPEG)

* 正會員, 漢陽大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Hanyang University)

接受日字 : 1998年12月2日, 수정완료일 : 2000年3月2日

로 영상 압축 분야의 발달을 더욱 가속시키고 있다. 이러한 표준안에서 공통적으로 채택하고 있는 DCT(Discrete Cosine Transform)에 의한 변환 부호화 기법은 화면 내에 있는 영상의 중복성을 제거하는 방법으로, 어느 정도의 압축비 이상에서는 복원 영상의 왜곡 정도가 심해지며, 영상의 확대에 따른 블로킹 효과(Blocking Effect)가 두드러지게 나타나는 것으로 알려져 있다. 따라서, 최근에는 더욱 높은 압축율에서도 블로킹 효과가 없고 에지 부분이 부드럽게 복원되는 등, 높은 복원 영상의 화질을 유지할 수 있고, 해상도에 무관한 프랙탈(Fractal)을 이용한 영상 압축 방법이 제기되고 있다.

프랙탈이란 개념은 영상이 자기 유사성(Self-Similarity)을 갖는다는 것을 이용하여 1970년대에 Mandelbrot^[1]에 의해 도입되었고, Barnsley^[2,3]에 의해 영상 압축에 적용되기 시작하였다. 그 후, Jacquin^[4], Fisher^[5], Monro^[6], Oien^[7]에 의해 발전되어 왔다. 그런데, 프랙탈 압축은 부호화하는 시간이 매우 많이 걸리는 단점이 있다. 이는 치역 블록에 적합한 정의역 블록을 찾는 데 많은 탐색량이 요구되기 때문이다. 이를 해결하기 위하여, 영상을 비슷한 특성을 지닌 블록들끼리 분류하여 탐색량을 줄이는 방법이 제안되었다. 이러한 방법들은 영상압축의 벡터 양자화 기법에 사용되던 것들로서 공간영역에서 블록 분류를 하는 방법으로 Gorsho^[8]의 방법을 Fractal 압축방법에 적용한 Jacquin^[4]의 방법이 제안되었다. 이와 같은 탐색량을 줄이는 방법^[4,5]은 프랙탈 부호화 시간을 줄였으나 압축율과 화질이 저하되는 단점이 있다.

이와 마찬가지로 주파수영역에서의 영상을 분류하는 Kim^[9]의 방법이 제안되었는데 이 방법은 DCT의 계수 값을 가지고 부호화 영역을 크게 5가지로 분류하였으며, 벡터양자화(VQ)에 적용되었다. 이러한 DCT계수의 특성을 사용하여 프랙탈 부호화 방법에 적용한 방법이 시도되었는데 이것이 Zhao^[10]에 의한 방법이다. 이 방법은 주파수 영역에서의 도메인과 레인지의 Isometry 변환관계를 찾아내어 이 특징을 이용하여 탐색시간을 줄였으며, DCT 영역에서 Fractal 부호화를 수행하였다. 그리고 탐색시간을 줄이기 위하여, 영역을 DCT계수를 사용하여 12 가지로 분류하여 부호화한 방법^[11]이 제안되었다. 이 방법은 Zhao의 방법이 크게 5가지로 분류하여 부호화 한데 비하여, 더 세분화된 분류 방법^[11]을 사용하므로 탐색시간을 줄일 수 있었다. 또한

DCT계수로 분류를 하지 않는 추정 통계적모델과 모델 선택기준을 이용한 방법으로 프랙탈 부호화를 수행한 방법^[12]을 제안되었다. 이 방법은 영역을 기존의 방법과 유사하게 패턴별로 구분하여 프랙탈 부호화를 하였다.

위에서 언급한 방법들은 퀴드트리(Quadtree) 분할 방법을 모두 적용하여 Fractal 부호화를 하고 있다. 이러한 퀴드트리 분할방법을 이용한 부호화 방법은 전체 블록을 고정크기의 블록 코딩하는 방법에 비하여 상당히 좋은 결과를 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. 그러나 프랙탈 코딩방법에서는 도메인과 레인지 영역의 매칭을 탐색하는 과정에서 큰 블록에서 코딩이 되면, 프랙탈의 경우 한 블록에 대한 코딩 정보량은 정해져 있기 때문에, 퀴드트리 분할을 통하여 분할된 영역의 부호화를 재 수행 할 경우 부호화해야 할 비트량은 4배가 된다. 즉 주어지는 역치(Threshold)값 보다 찾아낸 도메인과 레인지 영역의 오차 값이 큰 경우, 정확한 matching을 찾기 위해 레인지 영역을 퀴드트리로 분할하기 때문에 부호화 하고자 하는 블록의 개수가 많아 지므로 압축률의 나빠지는 경향이 있다. 따라서 정확한 matching이 큰 블록에서 생기게 하려면, 오차를 크게 해주면 되지만 이 방법은 PSNR이 떨어지게 되게 된다. PSNR을 떨어뜨리지 않고 전역탐색을 수행하면, 레인지 영역을 코딩하는 도메인 영역의 위치를 코딩하는 비트수가 커지게 되므로 또한 압축률이 떨어지게 된다. 따라서 이 논문에서는 압축률을 높이기 위하여 퀴드트리로 분할하기 전에 주변의 블록에서 matching을 수행하는 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 영상을 DCT 영상에서의 분류하고 이를 이용하여 탐색의 방향과 거리를 예측 함으로서 탐색량을 줄이고, 부호화의 비트량을 감소 시키도록 설계되었다.

II. 프랙탈 압축

1. 프랙탈 영상 압축의 수학적 배경

프랙탈이란 모든 축척에서 자기 유사성을 가지는 기하학적인 형태를 말한다.^[1-2] 이러한 자기 유사성의 성질에 기인한, 즉 부분이 전체가 될 수 있는 간단한 규칙을 이용하여 영상을 압축하는 것이 프랙탈 영상 압축이다.

완전 측도 공간(complete metric space) (X, d) 에서

정의되는 변환(transformation) $f: X \rightarrow X$ 가 모든 $x, y \in X$ 와 $0 \leq s \leq 1$ 에 대하여 다음과 같은 성질을 만족할 때 변환 X 는 축소 변환(contractive transformation)이라 한다.

$$d(f(x), f(y)) \leq s \cdot d(x, y) \quad (1)$$

f 는 유일한 고정점(fixed point) $x_f \in X$ 를 갖게 되며, 임의의 $x \in X$ 에 대하여 반복적으로 축소 변환 f 를 적용할 경우 x 는 고정점 x_f 에 수렴하게 된다. 즉,

$$\lim_{n \rightarrow 0} f^n(x) = x_f, \quad \text{for each } x \in X \quad (2)$$

반복 함수계는 각각의 축소비 $s_n (n = 1, 2, \dots, N)$ 을 갖는 축소 변환 $w_n: X \rightarrow X$ 의 유한 집합체로 정의된다. 즉, w_1, w_2, \dots, w_n 이 각각 축소 변환이라 하면,

$$W(x) = w_1(x) \cup w_2(x) \cup \dots \cup w_N(x) \quad (3)$$

가 되며, 유일한 고정점 $|W|$ 는

$$|W| = \lim_{n \rightarrow 0} W^n(x), \quad \text{for any } x \in X \quad (4)$$

$$W(|W|) = |W|$$

가 된다. 이 고정점 $|W|$ 를 반복 함수계(IFS)의 끌개(attractor)라고 부른다. $\epsilon \geq 0$ 에 대하여 $d(x, W(x)) \leq \epsilon$ 이 되도록 하는 $0 \leq s \leq 1$ 를 갖는 반복 함수계 W 를 선택한다면,

$$d(x, |W|) \leq \epsilon/(1-s), |W|: \text{attractor of IFS} \quad (5)$$

$$d(x, |W|) \leq (1-s)^{-1} \cdot d(x, W(x))$$

가 된다. 이 이론을 콜라지 이론(collage theorem)이라 한다.

프랙탈 영상 압축은 자기 자신의 공간으로 사상(mapping)되는 변환을 사용한다. 그런 변환에는 여러 가지가 있으나 아래와 같은 어떤 변환이 주로 이용된다.

$$W \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \\ o \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 $z = f(x, y)$ 는 x, y 위치의 화소 밝기 값을 나타내고, s 는 명암(contrast), o 는 밝기(brightness)를

조절하는 값이다. 3×3 의 행렬은 확대, 축소, 회전, 대칭 변환을 하며, 뒤 행렬은 선형 이동을 수행하는 변환이다. 여기서 일반적인 프랙탈 부호화시에는 a, b, c, d 의 파라미터 값은 회전과 대칭을 나타내는 3 bit의 Isometry 변환 계수로 부호화를 해주며, e, f 값은 domain의 위치를 부호화 하게 해준다.

2. 일반적인 프랙탈 영상 압축기

프랙탈 부호화 방법은 크게 세가지로 Jacquin^[4], Fisher^[5], Monro^[6]의 방법으로 나눌 수 있다. Monro의 알고리즘은 지역 블록에 이웃한 네 개의 블록으로 이루어진 네 배 크기의 정의역 블록으로 탐색 영역을 제한하는 tiling구조를 사용하는, 블록 탐색이 없는 부호화 방법과 인접 부분에 대한 탐색 과정을 포함하는 방법을 제시하였다. 또한, 블록 탐색이 없는 대신 massic 변환의 차수를 높여 근사화식의 오차를 줄이는 방법을 사용하였다. 그러나, 이 방법은 속도면에서는 강점을 갖지만 충분한 블록 탐색 결여로 인한 큰 오차 발생으로 화질이 떨어지는 약점이 있다.

따라서 본 논문은 Jacquin^[4], Fisher^[5]의 방법에 근간을 둔 쿼드트리 분할 방법을 사용한 부호화기를 사용하기로 한다.

3. 부호화기

먼저, 부호화할 원영상을 I 라 놓아보자. 그리고, 원영상 I 를 N 개의 겹치지 않는 블록 R_i 로 분할한다. 여기서 분할된 블록들을 지역 블록 또는 레인지(Range) 블록이라 한다.

$$\sum_{i=0}^N \cup R_i = 1, \quad R_i \cap R_j = \emptyset, \quad i \neq j, \quad i, j \in \{1, \dots, N\} \quad (7)$$

또한, 영상을 M 개의 겹칠 수 있는 블록들 D_i 로 분할한다. 대신 지역 블록보다 크기가 큰 블록으로 분할한다. 이 블록들을 정의역 블록 또는 도메인(Domain) 블록이라 한다.

분할된 각 지역 블록에 대하여 가장 작은 근사화 오차를 갖는 정의역 블록을 찾을 수 있도록 여러 변환을 수행해 가며 부호화한다. 그림 2(a)에 보이는 것과 같이 정지영상의 프랙탈 부호화 과정은 도메인의 위치 및 축소에 관한 geometry 변환 G , 회전 및 반전과 관련된 Isometry변환 I , 명암변화 요소 s , 밝기 신호의 전이값 o 의 계산과정을 통하여 부호화 된다.

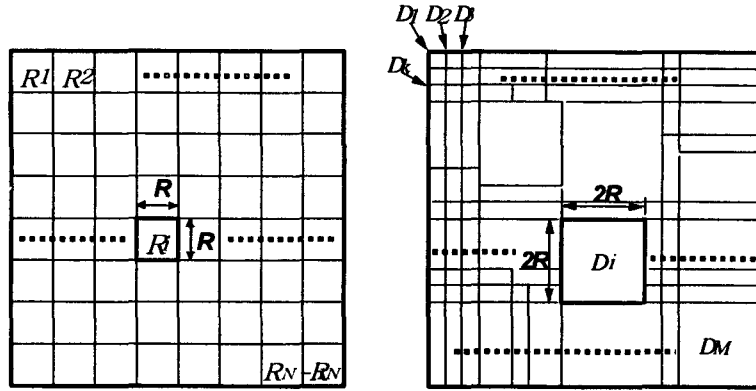
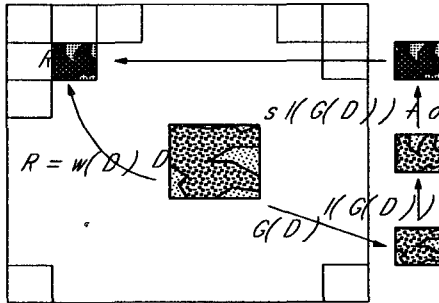
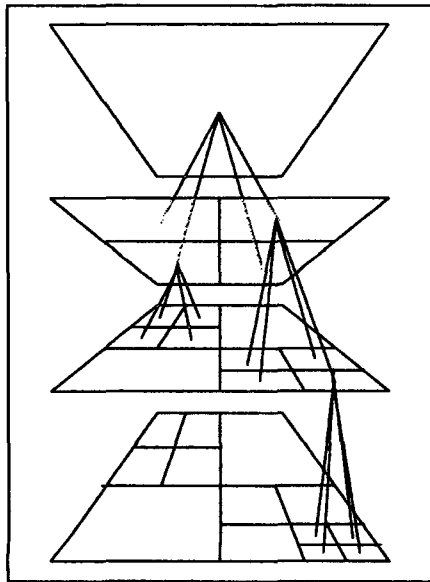


그림 1. 치역 블록과 정의역 블록의 분할
Fig. 1. The division of domain and range blocks.



(a)



(b)

그림 2. 프랙탈 부호화 과정 및 쿼드트리분할
Fig. 2. Fractal encoding process and Quadtree partition.

가장 작은 오차를 갖는 도메인 블록을 찾았을 때의 오차 값이 정해진 Threshold 값보다 클 때는 프랙탈 부호화 과정은 그림2(b)와 같이 레인지 블록을 쿼드트리 분할을 해나가게 된다. 쿼드트리 분할을 수행한 후 각 4개의 블록에 대하여 그림 (a)와 같은 프랙탈 부호화 과정을 수행하여 나가게 된다.

III. DCT계수를 이용한 에지 판별 및 프랙탈 부호화 과정

1. DCT계수와 에지 영상의 분류

영상의 에지 성분은 인간시각 특성상 매우 중요한 특징으로 널리 알려져 있으며, 이를 충실히 이용하기 위하여 부호화 기법이 많이 연구되어 왔다. Jacquin은 Ramamurthi와 Gorsho^[8]의 영상의 공간영역에서의 블록 분류방법을 사용하여 블록을 분류하였고, Zho는 Kim^[9]의 방법을 이용하여 영상의 공간 영역에서의 블록 분류방법을 적용하였다. 제안한 방법은 Zho의 방법과 유사하나 DCT의 계수를 분류하는 것 뿐 만 아니라 부분탐색에 이용하도록 계수이용의 확장을 수행하였다.

영상의 분류과정은 영상의 주파수 특성을 DCT계수로부터 알 수 있다는 점을 이용하여 영상의 특성을 분류하여 탐색 및 부호화 과정을 수행한다.

DCT는 직교변환이며, $N \times N$ 의 2D-DCT는 (8)식으로 정의 된다.

$$Y(u, v) = \frac{2}{N} C(u) \cdot C(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} x(i, j) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \quad (8)$$

여기서 $C(0) = 1/\sqrt{2}$, $C(u) = C(v) = 1$, if $u, v \neq 0$
여기서 $x(i, j)$ ($i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1$)은 픽셀데이터이며, $y(u, v)$ ($u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$)는 변환계수 값이다.

(8)의 식을 행렬에 관한 식으로 나타내기 위해 변환계수 행렬을 Y , Spatial Domain의 블록 행렬을 X , 1차원 DCT변환 행렬을 T 라고 나타내면, 2차원 DCT를 통과한 행렬은 다음의 식 (9)와 나타낼 수 있다.

$$Y = TXT^t \quad (9)$$

여기서 T^t 는 T 의 전치행렬이다. $N \times NDCT$ 의 경우 식 (9)을 각 원소의 식으로 표현하면

$$Y_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} t_{ik} x_{jl} x_{kl} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} t_{ik} x_{jl} x_{kl} \quad (10)$$

와 같이 되고, 각 DCT변환 계수의 특성을 쉽게 알기 위하여 A, B 를 각각 $N \times N$ 행렬이라 하고, 그 원소를 각각 a_{kl}, b_{kl} 이라고 할 때, 다음과 같은 행렬 연산 $*$ 를 식 (11)과 같이 정의한다.

$$A * B = \sum_{k=0}^{N-1} a_{kl} b_{kl} \quad (11)$$

여기에서 t_i 를 T 의 i 번째 행 vector라 하면 $T = [t'_0, t'_1, \dots, t'_{N-1}]^t$ 이고, 식 (10)을 식 (11)의 연산을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$y_{ij} = (t'_i t_j) * X \quad (12)$$

이 식은 $Z^j = t'_i t_j$ 인 $N \times N$ 행렬 Z^j 를 정의하여

다시 쓰면

$$Y_{ij} = Z^j * X \quad (13)$$

와 같다.

이와 같이 정의된 Z^j 는 DCT변환 계수를 구하기 위하여 영상 블록 내의 각 원소에 곱해지는 상수의 행렬을 나타내며, 이와 같은 Z^j 행렬에 의하여 행렬 X 에 나타난 에지 형태와 변환계수 y_{ij} 와의 관계를 쉽게 파악할 수 있다. 예로 4×4 DCT의 경우를 1차원 DCT 변환 행렬은 식 (14)와 같다.

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \\ c_3 & -c_1 & c_1 & -c_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서

$$c_1 = \cos(\pi/8), c_2 = \cos(2\pi/8), c_3 = \cos(3\pi/8)$$

이다. 이에 따라 Z^0 과 Z^{10} 을 각각 구해보면,

$$Z^0 = \frac{1}{4} \sqrt{2} \begin{bmatrix} c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Z^{10} = \frac{1}{4} \sqrt{2} \begin{bmatrix} c_1 & c_1 & c_1 & c_1 \\ c_3 & c_3 & c_3 & c_3 \\ -c_3 & -c_3 & -c_3 & -c_3 \\ -c_1 & -c_1 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix}$$

과 같이 되는 것을 알 수 있다. Z^0 을 살펴보면 왼쪽 부분의 값들은 양의 상수이고, 오른쪽 부분의 값들은 음의 상수이므로 영상에 수직 에지가 있는 경우에는 y_{0i} 의 절대값이 커진다는 것을 알 수 있다.

구체적으로 수직 에지와 y_{0i}, y_{10} 의 관계를 알아보기 위하여 4×4 영상 블록 내에는 다음 그림 3과 같은 3가

$g+\Delta$	g	g	g
$g+\Delta$	g	g	g
$g+\Delta$	g	g	g
$g+\Delta$	g	g	g

$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g

$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g
$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g

그림 3. 수직 에지의 형태

Fig. 3. Three cases of vertical edge.

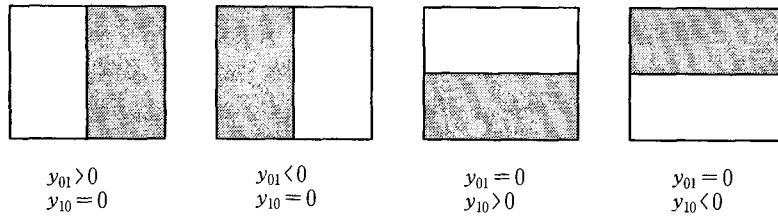


그림 4. 수직, 수평 에지와 y_{01}, y_{10} 의 관계

Fig. 4. The relationship between a vertical/horizontal edge and y_{01}, y_{10} .

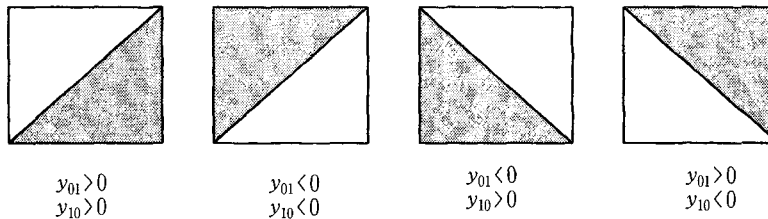


그림 5. y_{01}, y_{10} 과 대각 에지의 관계

Fig. 5. The relationship between diagonal edge and y_{01}, y_{10} .

지 경우가 있다고 가정한다.

그림 3에서 g 는 일정한 밝기(gray level)를 나타내며, Δ 는 에지의 구별 정도, 그 부호는 에지의 극성, 즉 블록 내에서의 밝기의 변화 방향을 나타낸다. 위의 그림에서 각 경우에 y_{01}, y_{10} 을 구해보면,

$$\begin{aligned}
 (a) & y_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}} c_1 \Delta, \quad y_{10} = 0 \\
 (b) & y_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}} (c_1 + c_2 \Delta), \quad y_{10} = 0 \\
 (c) & y_{01} = \frac{1}{\sqrt{2}} c_1 \Delta, \quad y_{10} = 0
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

이고, c_1, c_2 는 모두 양의 값이므로, y_{01} 값은 Δ 의 크기와 부호에 의존한다. 즉, 영상 블록 내의 수직 에지 성분의 변화량에 비례하여 y_{01} 의 절대값이 커지며, y_{01} 의 극성은 수직 에지의 극성을 나타낸다. 이렇게 같은 방법을 이용하여 y_{10} 과 수평 에지의 관계도 같음을 알 수 있다. 이상을 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

대각 에지는 수직과 수평 에지 성분을 동시에 가지고 있는 경우라고 할 수 있다. 따라서 대각 에지가 있는 경우에는 y_{01} 과 y_{10} 의 절대값이 모두 커지게 되며, 그 극성도 수직, 수평 에지의 극성 형태를 그대로 유지한다. 대각 에지의 경우 y_{01}, y_{10} 와 에지의 관계는 그림 5와 같다.

이상의 관계는 위의 그림 5와 같이 이상적인 경우 이외에 에지의 구분이 명확하지 않은 실제 영상 블록에서도 성립한다. 즉, 수직 성분 혹은 수평 성분의 에지에 비례하여 y_{01} 혹은 y_{10} 의 절대값이 커지며 그 극성에 의하여 에지의 극성도 알 수 있다. 이러한 DCT계수의 특성(y_{01}, y_{10} 의 크기와 극성)을 이용하면 영상을 보다 빠르고 합리적으로 분류하는 것이 가능해진다. 본 논문에서는 영상을 균일 영역과 중간 영역, 그리고 8개의 에지 영역으로 분류하고 있다.

2. DCT계수를 이용한 search range의 확장

복원된 영상의 화질을 어느 수준이상으로 유지하기 위하여 Fisher^[6]는 쿼드트리의 방법을 사용하였다. 이 방법은 큰 레인지(range) 블록 matching에서 주어진 근사화 오차를 만족시키는 도메인(Domain) 블록을 찾지 못하였을 경우에, 큰 레인지 블록을 보다 작은 네 개의 블록으로 나누어서 각각의 블록을 부호화하는 방법이다. 이렇게 할 경우에 부호화된 비트량은 약 4배로 증가하게 됨을 쉽게 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 영상의 압축율을 높이기 위해서 보다 큰 레인지 블록에서의 matching을 유도한다. 즉, 에지 영상에 대하여 큰 영역에서의 matching이 실패한 경우에, 같은 특성을 지닌 에지 영상에 대하여 다시 한번 국부적으로 search range를 이동하면서 match-

ing을 시도한다. 이 때, search range의 이동 방향은 영상의 DCT계수를 이용하여 예측하게 된다. 이 탐색영역의 방향을 결정하기 위하여, MATLAB로의 실험을 이용하여 DCT계수의 특징을 얻었다. 표 1에서는 에지를 포함하는 영상에서의 에지 위치와 DCT계수의 극성과의 관계를 나타내고 있다.

표 1. 에지의 위치와 DCT계수의 극성과의 관계

Table 1. Edge position and its DCT coefficient.

에지의 위치	Y_{01}	Y_{10}	Y_{02}	Y_{20}	Y_{11}
Left	+	0	+	0	·
	-	0	-	0	·
Right	+	0	-	0	·
	-	0	+	0	·
Up	0	+	0	+	·
	0	-	0	-	·
Down	0	+	0	-	·
	0	-	0	+	·
Upleft	+	+	·	·	+
	-	-	·	·	-
Downright	+	+	·	·	-
	-	-	·	·	+
Upright	+	-	·	·	+
	-	+	·	·	-
Downleft	+	-	·	·	-
	-	+	·	·	+

수직 에지의 경우, DCT계수 값은 $y_{01} > 0$ 이거나 $y_{01} < 0$ 이고 $y_{10} \approx 0$ 일 때이다. 표 1에서 y_{02} 계수를 살펴보면 에지가 가운데에 위치하는 경우에는 그 절댓값이 0에 가깝고, 오른쪽이나 왼쪽으로 이동한 경우에는 절댓값이 커지는 것을 알 수 있다. 즉, 영상의 y_{02} 계수의 극성과 절댓값을 이용하여 에지의 방향을 예측할 수 있게 된다. 또한, y_{01} 의 절댓값이 크면 중심에서 가깝다는 의미가 되므로 이것으로부터 레인지 블록을 찾기 위한 도메인 블록의 위치값을 계산할 수 있다. 이러한 방법을 이용하여 매칭(matching)에 실패한 영역에 대하여 도메인의 탐색영역(domain pool)을 확장할 수 있으며, 적은 시간안에 레인지 영역과 같은 프랙탈 영역을 찾아낼 수 있다. 그림 6은 도메인 블록 D 의 에지의 위치가 해당 치역 블록의 에지의 위치가 다른 경우

를 보여주고 있다.

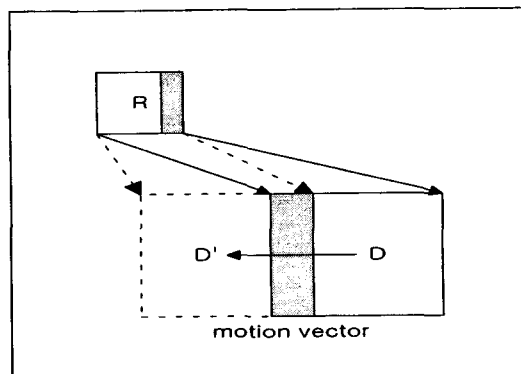


그림 6. 에지의 특성에 따른 도메인 영역의 확장

Fig. 6. Expansion of a domain range by the characteristics of an edge.

그림 6에서 알 수 있듯이 같은 수직 에지를 나타내는 블록들 중에서 레인지 블록 R 에 대한 도메인 블록 D 의 에지의 위치가 다를 경우, 더욱 정합(matching)이 잘 되는 D 블록으로 탐색영역을 확장 시킬 수 있다. 이러한 블록의 부분 탐색(local searching)이 성공하는 경우, 그때의 움직임 벡터값을 같이 부호화함으로써 영상을 더 작게 나눌 때 생기는 비트 증가를 막아줄 수 있다.

이렇게 DCT계수를 이용하면 실제 영상에서 에지의 위치를 예측할 수 있고, 이에 따라 좀더 정합이 될 확률이 높은 방향으로 도메인 영역을 확장할 수 있게 된다. 만약 도메인 블록의 DCT계수가 $y_{01} > 0$, $y_{10} = 0$ 이고 $y_{02} > 0$ 으로 에지가 왼쪽에 위치하는데 반해, 레인지 블록의 DCT계수는 $y_{01} > 0$, $y_{10} = 0$ 이고 $y_{02} < 0$ 으로 오른쪽으로 이동해 있다면, 도메인 블록을 왼쪽으로 이동함으로써 좀더 정확한 matching을 유도할 수 있다. 아래의 표 2에서는 수평, 수직, 대각 에지 별로 확장된 탐색 방향을 각 계수의 상태에 따라 정리하였다.

3. 제안된 프랙탈 부호화 알고리즘

본 논문에서 제안된 알고리즘의 목적 함수는 큰 레인지 블록에서의 matching을 유도함으로써 영상의 압축율을 높이고, DCT계수를 사용하여 주파수 영역에서 합리적인 분류작업을 수행하여, 화질의 개선을 가져 오게 하는 것이다. 이 목적 함수를 만족시킬 수 있도록 제안된 부호화 알고리즘은 앞에서 언급한 방법을 수용하고 있다. 그림 7에서는 이에 따라 제안된 알고리즘을

표 2. 에지의 종류와 탐색 방향

Table 2. Classes of edges and search direction.

Domain의 DCT계수	Range의 DCT계수	Maximum Search point	Direction
Y01>0 Y10=0, Y02>0	Y01>0 Y10=0, Y02<0	Range size/2	Left
Y01>0 Y10=0, Y02<0	Y01>0 Y10=0, Y02>0	Range size/2	Right
Y01=0 Y10>0, Y20>0	Y01=0 Y10>0, Y02<0	Range size/2	Up
Y01=0 Y10>0, Y02<0	Y01=0 Y10>0, Y02>0	Range size/2	Down
Y01>0 Y10>0, Y11>0	Y01>0 Y10>0, Y11<0	Range size/2	Upleft
Y01>0 Y10>0, Y11<0	Y01>0 Y10>0, Y11>0	Range size/2	Downright
Y01<0 Y10>0, Y11<0	Y01<0 Y10>0, Y11>0	Range size/2	Upright
Y01<0 Y10>0, Y11>0	Y01<0 Y10>0, Y11<0	Range size/2	Downleft

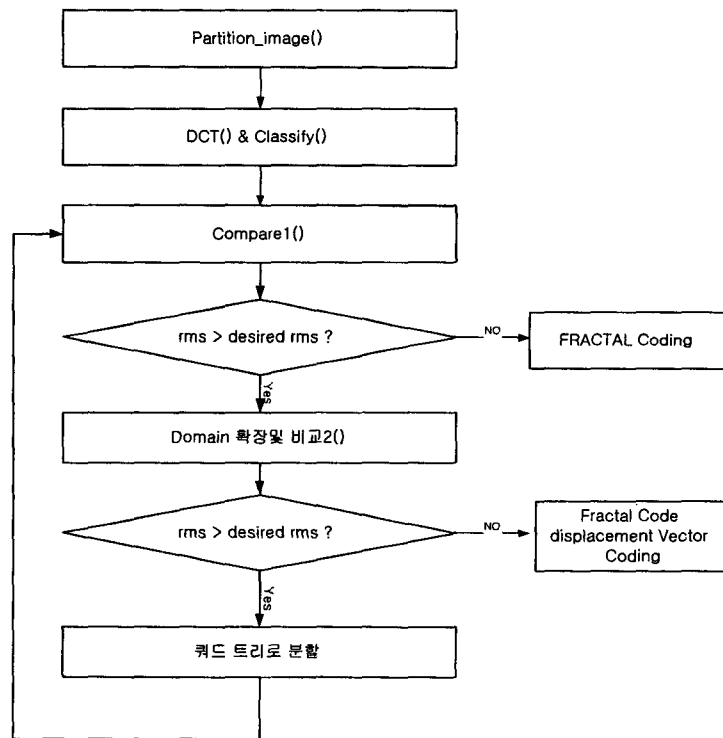


그림 7. 제안한 알고리즘의 흐름도

Fig. 7. The flow of the proposed algorithm.

설명하고 있다.

단계 1 : 전체 영상을 도메인 블록과 레인지 블록으로 분할한다. 도메인 블록은 tree 구조에 따라 각각 64×64 , 32×32 , 16×16 의 크기를 가지며, 레인지 블록은 32×32 , 16×16 , 8×8 , 4×4 이다.

단계 2 : 각 도메인 블록과 레인지 블록에 대하여 분

류를 수행한다. 이때 분류는 각 도메인과 레인지 블록의 DCT를 수행한 후, 그 계수를 이용한다. 각 블록은 그림 8에 보이는 것과 같이, 평탄영역, 중간영역,수평수직 에지 영역, 대각 에지 영역으로 분류된다. 여기서 구한 threshold t_1, t_2, t_3 값은 실험에 의하여 최적의 결과를 얻었다.

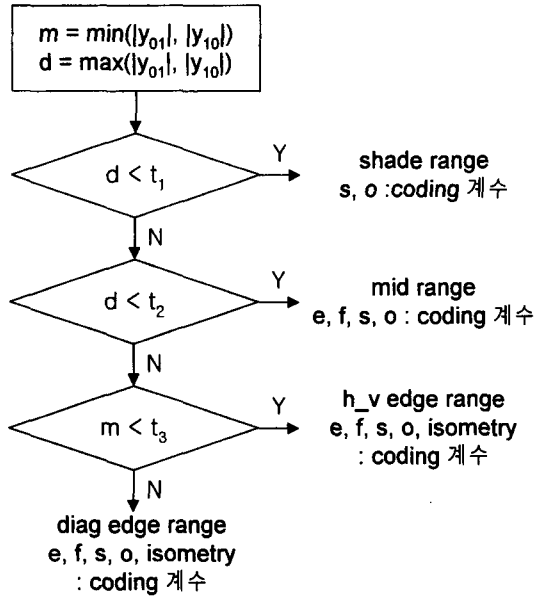


그림 8. 영상의 분류

Fig. 8. Classification of an image.

단계 3 : 각 레인지 블록별로 근사화 오차가 가장 작은 도메인 블록 영역을 찾는다. 정해진 RMS(root mean square) 에러값 보다 작은 레인지 블록의 경우, 매칭되는 블록은 부호화를 수행한다. 부호화 방법은 아핀(Affine) 변환을 사용하며, 그림 8과 같이 각 분류된 특성에 따른 다른 부호화 방법을 사용한다. 여기서 s, o, e, f 는 식 (6)에서 설명한 것이며, 즉 edge 성분의 경우에만 사용되는 Isometry 정보는 3 bit로 표현된 회전, 반전 등의 정보를 나타낸다.

정해진 rms 오차를 만족하는 도메인 블록이 없는 경우, DCT 계수를 이용하여 탐색 방향을 정한 후, 도메인 영역을 이동하면서 각 에지 별로 매칭을 새롭게 시도한다. 부분 탐색 과정은 쿼드트리의 깊이가 커지면 움직임 벡터를 코딩하는 부가량에 비해 크게 효과가 없기 때문에 여기서는 트리의 깊이가 4인 경우로 제한하였다. 트리의 깊이를 제한한 이유는 실험결과에서 설명한다.

단계 4 : 단계 3의 과정을 수행하여 오차의 값이 정해진 오차 값보다 작은 경우에는 프랙탈 계수와 움직임 벡터 값이 부호화되며, threshold 값보다 크면 쿼드트리 분할을 수행한다.

단계 5 : 쿼드트리 분할을 수행한 후 그 블록의 부호

화 과정을 재귀적으로 수행한다.

IV. 실험 결과

제안된 알고리즘을 이용하여 프랙탈 부호화기 및 복호화기를 C-언어로 구현한 후에 다양한 패턴의 256×256 gray level 영상을 사용하여 그 효율성을 실험하였다. 우선 실험을 크게 2 단계에 나누어 수행하였다. 먼저, 정의역 블록과 치역 블록의 특성에 따라 주파수 영역에서 미리 분류한 후의 부호화 결과를 비교 하였다. 두번째로 앞의 결과에 비트 발생량을 줄이기 위한 국부적인 탐색을 행한 결과를 첨가하여 부호화 했을때의 결과를 비교하였다. 마지막으로 실험 결과의 향상을 위하여 국부적인 탐색을 행하는 경우를 쿼드트리의 깊이에 따라 제한을 두는 방법을 적용하여 실험하였다. 우선 첫번째의 실험을 수행한 것이 표 3에 보여준다. 이것은 영상을 주파수 영역에서 분류하여 부호화 할 경우에 Fisher의 결과와 비교한 값이다. 이 결과는 DCT 영역에서 분류를 수행한 하였기 때문에 기본적으로 $Zho^{[10]}$ 의 결과와 같다.

표 3. DCT 계수 분류만을 적용한 실험 결과
Table 3. Experimental results using only DCT coefficient classification.

영 상	Fisher		Proposed (DCT classification)	
	압축율	PSNR	압축율	PSNR
Lenna	9.508966	29.228676	9.953827	30.030249
Girl	10.532948	31.659927	11.305158	31.930363
Couple	12.603077	31.447231	13.306802	32.102924
Usa	26.673179	35.615788	26.522056	35.656269
Woman	13.647647	30.884880	13.943830	32.198215
Camera	10.532948	27.214142	11.342333	28.483152

이 때의 경우 Fisher의 방법보다 약 0.73 dB 정도 화질이 향상되는 것을 알수 있다. 이는 보다 정확한 영상 분류가 가능해 지기 때문이다. 또한 DCT 계수의 단순 비교를 통해 영상의 분류를 행하기 때문에, 더욱 빠른 분류가 가능하다. 물론, 각 블록에 대항 DCT 를 수행하는 시간이 별도로 소요되지만, 부호화기를 구현할 경우 DCT 모듈을 별도의 하드웨어로 구현한다면, 이시간은 무시될수 있다. 따라서 각 블록에 대하여 미리 단

한번의 DCT를 수행하면, 영상을 분류하는 시간을 포함하여, 전체 영상을 탐색하여 부호화 하는 시간보다 합리적인 시간안에 부호화하여 향상된 화질의 복원 영상을 얻을수 있다. 또한 압축률이 있어서도 주파수 영역에서 영상을 분류하여 부호화 하는 경우에, 0.615bit/pixel 의 결과를 얻어서 약 0.479 정도(256 bytes)의 향상을 얻었다.

표 4는 매칭에 실패한 정의역 블록에 대하여 국부적인 탐색을 시도한 결과이다. 영상의 압축률을 높이고 쿼드트리 분할을 방지하기 위하여 각 쿼드트리의 깊이 별로 정의역 블록의 위치를 바뀌면서 매칭을 새롭게 시도 하였다.

표 4. 국부적인 탐색을 같이 수행한 실험 결과
Table 4. Comparison of the Fisher's algorithm and the proposed algorithm.

영 상	Fisher		Proposed (Table3+Local Search)	
	압축율	PSNR	압축율	PSNR
Lenna	9.508966	29.228676	9.722000	30.430401
Girl	10.532948	31.659927	10.988598	32.247204
Couple	12.603077	31.447231	12.792504	32.288799
Usa	26.673179	35.615788	26.694908	35.895546
Woman	13.647647	30.884880	14.157701	32.360825
Camera	10.532948	27.214142	10.754184	28.758896

표 5. 제안된 알고리즘과 Fisher의 방법과의 비교

Table 5. Comparison of the Fusger's algorithm and the proposed algorithm.

영 상	Fisher		Proposed (Table4+Limit depth)	
	압축율	PSNR	압축율	PSNR
Lenna	9.508966	29.228676	10.105783	30.430401
Girl	10.532948	31.659927	11.413445	32.247204
Couple	12.603077	31.447231	13.287916	32.288799
Usa	26.673179	35.615788	27.605729	35.895546
Woman	13.647647	30.884880	14.747055	32.360825
Camera	10.532948	27.214142	11.174084	28.758896

이 실험을 한 결과, 국부적인 탐색을 하여 화질은 1 dB정도 향상되어 더욱 좋아졌지만 압축률은 약 0.269 (132bytes) 정도 커져 오히려 앞의 실험 결과보다 떨어

지는 것을 알수 있었다. 그 원인을 분석한 결과 쿼드트리 의 depth가 커질수록 블록의 크기가 작아지기 때문에 모든 depth에 대하여 국부적인 탐색을 수행할 경우, 탐색을 수행하여 절약되는 비트량보다 탐색된 정의역 블록의 위치 정보량이 많아져서 오히려 압축률이 좋지 않을 것을 알수 있었다. 따라서 세번째 실험에서는 국부적인 탐색을 수행할 때, 쿼드트리의 depth에 따라 제한을 주었다. 이결과는 아래의 표 5와 같다.

위의 결과를 보면 압축률이 평균적으로 약 0.806 (326bytes)정도 향상되어 화소당 비트량이 0.607 bit/pixel이 되는 것을 알 수 있다. 이는 이전에 쿼드트리의 depth를 제한 하지 않은 결과보다 좋아진 결과이다. 이때 화질의 변화는 없는 것으로 나타났다.

그림 9에서는 제안된 방법을 이용하여 복원된 Lenna 영상과 Camera man영상을 보여 주고 있다.



그림 9. 복원된 영상
Fig. 9. Decoded images.

V. 결 론

본 논문에서는 프랙탈을 이용한 새로운 영상 압축 방법에 대하여 제안하였다. 제안된 방법은 주파수 영역에서 DCT계수를 이용한 이미지 분류법을 적용하였으며, 좀더 자세한 영상 표현이 가능하고, 보다 빠르고 간단하며 공간영역에서의 분류법보다 더욱 합리적이고 정확하다. 부호화 시간을 생각해보면, 전체 영상을 탐색하여 부호화 하는 것 보다 합리적인 시간에 그와 비슷한 화질을 가진 영상으로 부호화가 가능하다.

또한 쿼드트리 분할을 방지하여 프랙탈 코드의 발생량을 줄이도록 하였다. 즉, 영상의 에지 성분을 미리 검출하여 국부적인 탐색의 방향을 예측함으로써 보다 큰 영역에서의 매칭이 이루어지도록 유도하였다. 실험 결과 기존의 방법보다 더 높은 압축율을 보이면서도 약

1dB정도 화질이 향상됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Mandelbrot, B. *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, CA : W. H. Freeman and Co., 1982.
- [2] M. F. Barnsley, *Fractal Everywhere*, New York : Academic, 1988.
- [3] M. F. Barnsley and A. D. Sloan, "A Better Way to Compress Images", *Byte 13(1)*, pp. 215-224, 1988.
- [4] A. E. Jacquine, "Image Coding Based on a fractal theory of Iterative Contractive Image Transformation", *IEEE Trans. on Image Processing*. Vol. 1. Jan, 1992.
- [5] Y. Fisher, "Fractal Image Compression", *Siggraph*, 1992 Course Notes.
- [6] D. M. Monro and F. Dudbridge, "Fractal Approximation of Image Blocks", *IEEE ICASSP.*, pp. III : 485-288, 1992.
- [7] S. Lepsoy, G. E. Oien, A. Ramstad, "Attractor Image Compression with a Fast Non-iterative Decoding Algorithm", *ICASSP-93*, vol. 5, pp. 337-340, Apr. 1993.
- [8] Ramanuthi, B.Gersho,A. "Classified vector quantization of images", *IEEE Trans. on Communications*, vol. 34. No. 11.Nov. 1988.
- [9] J. W. Kim and S.U.Lee, "A transform domain classified vector qauntizer for image coding", *IEEE transaction on video technology*, vol. 2, pp. 79-90, 1992.
- [10] Y.Zhao and B.Yuan, "Image compression using fractals and discrete cosine transform", *Electronic Letters*, vol.30, pp. 474-475, 1994.
- [11] 최진수, 하영호, "주파수 영역에서의 블록 분류를 이용한 프랙탈 영상압축", *한국통신학회 논문지*, vol 20, No. 4. pp.1049~1060, 1995
- [12] 박동권, 임재혁, 황정수, 원치선, "사용자 정의 블록 분류를 이용한 프랙탈 영상압축", '97 정보통신의 날 기념 학술 발표회 논문집(정보기술분야), pp.574~580, 1997

저 자 소 개



徐 基 範(正會員)

1989년 한양대학교 전자공학과(학사). 1991년 한양대학교 전자공학과(석사). 1995년 한양대학교 전자공학과 박사과정 수료 관심분야는 영상압축 알고리즘 개발및 아키텍처 설계, VLSI 설계

鄭 正 和(正會員) 第 36卷 C編 第 10號 參照