

DCT 영역에서의 블록 분류를 이용한 프랙탈 영상 부호화

정희원 최진수*, 박영식**, 하영호**

Fractal Image Coding Using Block Classification in the DCT Domain

Jin Soo Choi*, Young Sik Park**, Yeong Ho Ha** *Regular Members*

요약

반복 축소변환 이론에 근거한 프랙탈 영상 부호화 기법은 부호화과정에서의 탐색 및 형태정합으로 인해 부호화 시 많은 시간을 필요로 한다. 이러한 부호화 시간을 줄이기 위해 본 논문에서는 DCT 영역의 특성에 근거한 효율적인 프랙탈 부호화 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 DCT의 에너지 집중효과와 에너지 분포 특성에 근거하여 블록의 특징을 나타내는 특징 벡터를 추출하고 블록을 분류하며, 이를 바탕으로 정의역 블록의 탐색 과정, isometry 유형 결정 과정, 대비조정인자를 계산하는 과정에서 연산 수를 줄임으로써 부호화 속도를 개선한다.

ABSTRACT

Fractal image coding based on iterated contractive transformation theory requires long encoding time due to searching step and pattern matching in the encoding procedure. In this paper, an efficient fractal coding scheme based on the DCT(Discrete Cosine Transform) characteristic to reduce the encoding time is proposed. In the proposed method, the feature vector extraction and the block classification by using energy compaction and distribution properties of DCT are performed. The above information is used to speed up the encoding procedure by reducing the amount of computation in each step of the domain block searching, the isometry decision, and the calculation of a contrast factor.

I. 서론

프랙탈 영상 부호화는 자연에 존재하는 복잡한 형상을 모델화하거나 해석하려는 시도로 생겨난 프랙탈 기하학을 기본 이론으로 하여 영상에 존재하는 프랙탈 특성인 자기 유사성을 이용하여 영상을 압축하는

기법이다.^(1,2) 프랙탈을 이용한 영상 부호화 방법은 영상내의 자기 유사성 관계를 표현하는 방법에 따라 복원 영상의 특성이 달라질 수 있으므로 이를 효과적으로 기술하기 위한 여러 방법들이 연구되어 왔다. Barnsley⁽²⁻⁴⁾는 자기 유사성의 관계를 이용하여 실제 영상을 결정론적 프랙탈로 모델화하는 프랙탈 영상 압축 방법을 처음으로 제안하였다. 이 방법은 반복 축소 변환으로 이루어진 반복함수계(iterated function system) 이론과 콜라주(collage) 이론에 근거한다. 그러나 영상의 부호화 과정이 자동적으로 이루어지지 않는 단점

* 한국전자통신연구원

** 경북대학교 전자공학과

論文番號 : 96106-0329

接受日字 : 1996年 3月 29日

을 지닌다. 이를 해결하기 위해 Jacquin⁽⁵⁾은 영상 내의 부분들간의 국부적인 자기 유사성 관계를 이용하여 부호화 과정을 자동화한 블록 기반 프랙탈 부호화 방법을 제안하였다. 하지만 부호화과정 중에 수반되는 많은 연산량으로 인해 부호화시간이 길어지는 단점이 있다. 부호화 속도를 개선하기 위한 기존의 기법들은 크게 정의역(domain) 블록을 미리 정해진 유형으로 분류한 후 각각의 치역(range) 블록에 대해 동일한 유형에 속하는 정의역 블록만을 탐색하도록 하는 블록 분류에 기반한 방법^(5,7,10)과 정의역 블록을 미리 고정한 후 치역 블록을 다항식으로 근사화하는 블록의 탐색이 없는 방법^(8,9) 등이 있다. 블록 분류에 기반한 방법은 부호화하려는 치역 블록에 대해 밝기 구조가 비슷한 정의역 블록이 선택될 가능성이 가장 크다는 사실에 근거한 방법으로 블록 유형의 수와 분류의 정확도에 따라 부호화 성능이 좌우되므로 효과적인 블록 분류 기법이 요구된다. 대표적인 방법으로 Fisher^(6,7)는 블록을 4개의 부분블록으로 나누어 각각의 평균과 분산을 이용하여 블록을 다양하게 분류한 후 같은 유형을 지니는 정의역 블록을 탐색하도록 함으로써 부호화 속도를 개선하였다. 그러나 쿼드트리 분할 기법을 사용하여 부호화하기 때문에 분할이 계속 이루어 질 경우에는 부가적인 분할 정보로 인해 압축율이 떨어지며 또한 치역 블록의 크기가 크게 결정되면 복원 영상에 구획화 현상이 유발된다. 정의역 블록을 탐색하지 않는 방법으로서 Monro 등^(8,9)은 고정된 정의역 블록을 이용하여 1차 이상의 다항식으로 치역 블록을 근사화하였다. 그러나 극도의 제한된 탐색으로 인하여 최적의 정의역 블록을 선택할 수 없기 때문에 복원 영상의 화질이 저하된다. 또한 이를 해결하기 위해 다항식의 차수를 높이면 압축율이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 프랙탈 부호화 과정에서 수반되는 연산량을 줄이기 위해 DCT의 특성을 효율적으로 이용하는 프랙탈 부호화 기법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 DCT의 에너지 집중 효과 및 에너지 분포 특성에 근거하여 블록의 특징을 나타내는 특징 벡터를 추출하고 블록을 분류한 후 이를 바탕으로 정의역 블록의 탐색 과정, isometry 변환 유형의 결정 과정 및 대비 조정 인자의 계산 과정에서 부호화 속도를 개선하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 프랙탈 부호화의 이론적 배경과 그 원리에 대해 설명하고 III

장에서는 DCT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법과 제안한 속도 개선방안에 대해 설명한다. 그리고 IV장과 V장에서는 모의 실험 결과를 통해 제안한 방법의 성능을 평가하고 결론을 맺는다.

II. 프랙탈 영상 부호화

1. 이론적 배경

프랙탈 영상 부호화는 영상내의 프랙탈 특성인 자기 유사성 관계를 축소변환의 계수로 표현함으로써 부호화하며, 기본적인 이론으로 축소변환이론과 콜라즈이론을 그 기반으로 한다. 축소변환(contractive transformation)은 완전 축소 공간 (X, d) 에서 정의되는 변환 $w: X \rightarrow X$ 가 축소 공간 내의 임의의 두 원소 x, y 에 대하여 다음 성질을 만족한다.

$$d(w(x), w(y)) \leq s \times d(x, y), \quad 0 \leq s < 1 \quad (1)$$

여기서 d 는 거리함수를 나타내고 s 는 변환 w 의 축소성(contractivity)을 나타낸다. 따라서 축소변환은 변환이 적용된 후의 두 점간의 거리가 변환되기 전의 두 점간의 거리보다 가까워진다는 사실을 말해 준다. 이와 같이 정의되는 축소 변환 w 는 다음 식과 같은 유일한 고정점(fixed point) $x^* \in X$ 을 가진다.

$$w(x^*) = x^* \quad (2)$$

그리고 축소변환 w 를 임의의 $x \in X$ 에 대하여 계속하여 반복적으로 적용할 경우 x 는 다음 식과 같이 고정점 x^* 로 수렴하게 된다.

$$x^* = \lim_{n \rightarrow \infty} w^{(n)}(x), \quad \text{for all } x \quad (3)$$

전형적인 프랙탈 물체 뿐만 아니라 여러 가지 프랙탈 물체가 공존하는 실제 영상은 하나의 축소변환에 의해 기술되는 것이 아니라 축소변환들의 모임인 반복함수계(iterated function system)에 의해 기술된다. 반복함수계는 공간상의 집합들에 대한 사상을 다음 식과 같이 축소 변환들의 합집합으로 정의한다.

$$W(B) = \bigcup_{n=1}^N w_n(B) \quad (4)$$

일반적으로 프랙탈 물체는 반복함수계 W 가 주어질 경우 이를 반복적용하여 얻게 되는 고정점으로 쉽게 구할 수 있다. 하지만 프랙탈 영상 부호화에서는 부호화하고자 하는 영상을 고정점으로 갖는 반복함수계를 찾아야 하므로 이를 해결하기란 매우 어렵다. 이와 같이 반복함수계를 찾는 것을 역변환 문제(inverse problem)라고 하며 이를 일반적으로 해결할 수 있는 방법은 알려져 있지 않으나, 콜라즈 이론은 수치적인 해를 구할 수 있는 근거를 마련해 준다. f 를 부호화하고자 하는 영상이라 할 때 변환 W 가 축소도 s 를 가지는 축소 변환이면 변환 W 는 임의의 f 에 대해 다음의 조건을 만족하며 이를 콜라즈 이론이라고 한다.

$$d(A, f) \leq \frac{1}{1-s} d(W(f), f) \quad (5)$$

콜라즈 이론은 원영상과 원영상을 한 번 변환한 콜라즈간의 거리를 충분히 가깝게 할 수 있는 변환 W 를 찾을 수 있다면 변환 W 의 고정점도 또한 원영상에 가깝게 된다는 사실을 보여준다. 따라서 콜라즈 이론을 이용하면 모든 가능한 변환의 고정점을 구해 최소의 거리가 되는 변환 W 를 찾는 과정이 원영상을 한 번 변환하는 콜라즈를 잘 생성하도록 하는 변환을 찾는 과정으로 줄어든다.

2. 프랙탈 영상 부호화의 원리

프랙탈 영상 부호화 방법은 영상에 존재하는 자기 유사성 관계를 축소 변환들의 모임인 반복함수계로 기술함으로써 부호화하고자 하는 영상을 고정점으로 표현하는 방법이다. 반복함수계로 영상을 표현함에 있어서 Sierpinski 삼각형과 같이 전체와 부분간의 자기 유사성이 강한 순수한 프랙탈 이진 영상일 경우에는 적은 수의 인자들을 사용하여 영상을 표현할 수 있다. 그러나 명암도를 가지는 실제 영상들의 경우에는 성질이 다른 여러 가지 형태의 프랙탈 물체들이 공존하므로 영상을 부분으로 분할하여 국부적인 자기 유사성 관계를 기술하는 분할된 반복함수계(partitioned iterated function system)를 적용함으로써 부호화하기 힘든 여러 형태의 영상을 부호화하도록 한다.

그림 1은 분할된 반복함수계에 근거하여 영상을 부호화하는 과정을 나타낸다. 그림의 두 영상은 동일 영상이며 아래 영상 내의 블록은 부호화하려는 치역 블록으로서 전체 영상내에서 겹치지 않게 구성된다. 위

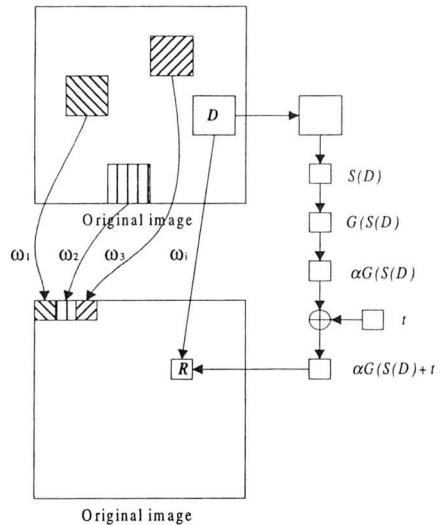


그림 1. 분할된 반복함수계를 이용한 부호화 과정
Fig. 1 Encoding procedure using partitioned iterated function system.

쪽 영상 내의 블록은 정의역 블록이라 불리며 보통 치역 블록의 두배크기를 지닌다. 그리고 정의역 블록은 영상 내에서 수평, 수직 방향으로 한 화소씩 옮겨 다니며 구성된다. 주어진 하나의 치역 블록을 부호화하는 과정은 모든 정의역 블록을 차례로 떼어 와서 국부적인 자기 유사성 관계를 가장 잘 표현할 수 있는 블록과 축소 변환을 찾는 과정을 말한다. 축소 변환은 정의역 블록을 치역 블록 크기로 줄이는 형태(geometric) 변환과 블록의 밝기값을 변화시키는 수치(massic) 변환으로 이루어진다. 수치변환은 블록의 화소값을 변형시키는 회전과 거울상 등으로 구성된 isometry 변환과 블록내 화소의 평균 밝기값을 변화시키는 밝기 조정 인자 그리고 블록내 화소 밝기값의 생동폭(dynamic range)을 축소시키는 대비 조정 인자로 이루어진다. 이 과정은 다음 식과 같은 변환 형태로 표현할 수 있다.

$$w_i(D) = \alpha \cdot G(S(D)) + t \quad (6)$$

여기서 $S(\cdot)$ 는 형태변환을 나타내고 $G(\cdot)$ 는 isometry 변환을 나타낸다. 그리고 α 와 t 는 대비 조정 인자와 밝기 조정 인자를 나타낸다. 따라서 부호화 과정은 주어진 치역 블록(R)에 대해 모든 정의역 블록(D)을

탐색하여 가능한 모든 축소 변환을 적용하였을 때 생성된 $w_i(D)$ 와의 거리 $d(R, w_i(D))$ 가 최소가 되는 변환 계수를 양자화하여 전송하는 것이다.

III. DCT 영역에서의 프랙탈 영상 부호화

반복 축소 변환 이론에 근거한 프랙탈 영상 부호화의 원리는 영상내의 밝기값의 형태가 유사한 두 영역 간의 상관 관계인 국부적인 자기 유사성 관계를 이용하여 부호화하려는 영상을 유일한 고정점으로 하는 축소 변환의 계수를 결정하는 것이다. 이때 축소 변환 계수는 각각의 지역 블록에 대해 대비 조정 인자, 밝기 조정 인자, isometry 변환 유형과 정의역 블록의 위치로 이루어진다. 그러나 이와 같은 축소변환 계수를 결정하는 부호화 과정은 모든 가능한 정의역 블록을 탐색하여 차례로 isometry 변환을 적용한 후 최소의 오차를 지니는 변환 계수들을 찾아야 하므로 부호화시간이 매우 길어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 DCT의 에너지 집중효과와 그에 따른 블록의 특징 정보를 이용함으로써 부호화를 신속히 수행하도록 하는 DCT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법을 제안하였다.

1. DCT 영역에서의 프랙탈 영상 부호화

하나의 지역 블록과 정의역 블록이 주어질 경우 DCT 영역에서 프랙탈 변환계수를 결정하는 과정은 다음 다섯 단계로 이루어진다.

- ① 정의역 블록을 지역 블록 크기로 축소한다.
- ② 지역 블록과 정의역 블록을 각각 DCT한다.
- ③ Isometry 변환 형태를 결정한다.
- ④ AC 계수로부터 대비 조정 인자를 계산한다.
- ⑤ 지역 블록으로부터 DC 값을 양자화하여 전송한다.

그리고 위의 과정을 모든 정의역 블록에 대해 반복 적용한 후 최소의 오차를 지니는 정의역 블록의 위치, 밝기조정인자에 해당하는 지역 블록의 DC 값, isometry 변환 형태와 대비 조정 인자가 최종적으로 프랙탈 코드로 결정한다.

1.1 형태 변환

$2B \times 2B$ 크기의 정의역 블록을 $B \times B$ 지역 블록 크

기로 축소하기 위해서는 네 화소 중 한 화소를 취하는 부표본화(subsampling) 하는 방법을 사용하거나 네 화소를

$$f_{D/2}(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 f_D(2 \times i + k, 2 \times j + l) \quad (7)$$

$0 \leq i, j \leq B$

에 의해 평균하는 방법을 사용할 수 있으며 본 논문에서는 후자의 방법을 사용하였다.

1.2 Isometry 변환

일반적으로 정의역 블록의 수가 많을수록 지역 블록을 잘 근사화할 수 있다. 따라서 더욱 다양한 밝기 구조를 가지는 정의역 블록을 구성하기 위해 회전 및 반사 등으로 구성된 isometry 변환을 행한다. 그러나 이와 같은 isometry 변환은 공간영역에서 적용되므로 모든 프랙탈 변환 계수들을 DCT 영역에서 구하기 위해서는 이를 DCT 영역에서의 변환으로 변경하여야 한다. DCT 영역에서의 isometry 변환식은 공간 영역의 isometry 변환식을 DCT 함으로써 간단히 결정될 수 있으며 이는 -1의 곱과 주파수 위치를 바꾸는 형태로 나타난다. 표 1은 isometry 변환 유형과 공간 영역과 DCT 영역에서의 isometry 변환식을 나타낸다.

표 1. Isometry 변환
Table 1. Isometry transformation.

Isometry type	Spatial domain	DCT domain
Identity	$t_0(f(i,j)) = f(i,j)$	$t_0(F(u,v)) = F(u,v)$
Rotate by 90°	$t_1(f(i,j)) = f(j,B-1-i)$	$t_1(F(u,v)) = (-1)uF(v,u)$
Rotate by 180°	$t_2(f(i,j)) = f(B-1-i,B-1-j)$	$t_2(F(u,v)) = (-1)u+vF(u,v)$
Rotate by 270°	$t_3(f(i,j)) = f(B-1-j,i)$	$t_3(F(u,v)) = (-1)vF(v,u)$
Horizontal flip	$t_4(f(i,j)) = f(B-1-i,j)$	$t_4(F(u,v)) = (-1)uF(u,v)$
Vertical flip	$t_5(f(i,j)) = f(i,B-1-j)$	$t_5(F(u,v)) = (-1)vF(u,v)$
Forward diagonal flip	$t_6(f(i,j)) = f(B-1-j,B-1-i)$	$t_6(F(u,v)) = (-1)u+vF(v,u)$
Reverse diagonal flip	$t_7(f(i,j)) = f(j,i)$	$t_7(F(u,v)) = F(v,u)$

1.3 대비 조정 인자

DCT 영역에서의 정의역 블록에 의한 지역 블록의 프랙탈 근사식은

$$\hat{F}_R(u, v) = \begin{cases} \alpha \cdot F_{D/2}(u, v), & 0 \leq u, v \leq B-1, (u, v) \neq (0, 0) \\ F_R(u, v), & (u, v) = (0, 0) \end{cases} \quad (8)$$

과 같이 표현할 수 있다. 여기서 $F_R(u, v)$ 와 $F_{D/2}(u, v)$ 는 각각 치역 블록과 정의역 블록의 DCT 변환 계수를 나타내고 α 는 DC 성분을 제외한 모든 DCT 변환 계수에 대해 동일하게 적용되는 대비 조정 인자를 나타낸다. 근사식에서 알 수 있듯이 블록의 밝기 성분인 DC 값과 복잡도를 나타내는 AC 성분값에 대해 독립적으로 근사화가 이루어진다. DC 값의 경우에는 밝기 조정 인자를 구하는 변환과정을 거치지 않고 치역 블록의 DC 값을 바로 전송한다. 이는 블록의 전체 밝기 값을 전송하게 되므로 복원시에 반복횟수를 줄일 수 있고, 동일한 비트를 할당하여 양자화할 경우에 DC 값의 차로 밝기 조정 인자를 구하는 방법에 비해서 양자화 오차를 더욱 줄일 수 있어 부호화 효율을 높일 수 있다. 그리고 대비 조정 인자를 구할 때는 AC 주파수 성분 전체에 대해 하나의 대비 조정 인자를 계산하도록 하여 영상을 복원할 때에는 공간영역에서 정의역 블록 화소값에 평균값을 뺀 후 바로 대비 조정 인자를 곱하여 블록을 근사화한다. 이는 DCT 영역에서 DC 값을 제외한 나머지 AC 주파수 성분들이 공간영역의 각 화소값에 평균값을 뺀 후 DCT 한 변환 계수와 동일하기 때문에 가능하다. 수식으로 살펴보면

$$\begin{aligned} \text{DCT}\{f_R(i, j) - m_R\} &= \alpha \cdot \text{DCT}\{f_{D/2}(i, j) - m_D\} \\ &= \text{DCT}\{\alpha \cdot (f_{D/2}(i, j) - m_D)\} \end{aligned} \quad (9)$$

과 같이 표현할 수 있다. 여기서 m_R 과 m_D 는 치역 및 정의역 블록의 평균값을 나타낸다. 따라서 이를 역 DCT 하면 공간 영역에서의 근사식

$$f_R(i, j) - m_R = \alpha \cdot (f_{D/2}(i, j) - m_D) \quad 0 \leq i, j \leq B-1 \quad (10)$$

을 얻을 수 있으므로 복호화 과정에서는 DCT 영역에서 구한 대비 조정 인자를 공간영역의 화소 블록에 바로 적용할 수 있다.

AC 성분들에 대한 대비 조정 인자는 다음 근사화 오차

$$E(F_R, u(F_{D/2})) = \sum_{\substack{u, v=0 \\ (u, v) \neq (0, 0)}}^{B-1} \{F_R(u, v) - \alpha F_{D/2}(u, v)\}^2 \quad (11)$$

를 최소로 하는 α 값을 구하면 된다. 따라서 근사화 오차 E를 α 에 대해 일차 미분한 후 영을 취하여 구하면 대비 조정 인자는

$$\alpha = \frac{\sum_{\substack{u, v=0 \\ (u, v) \neq (0, 0)}}^{B-1} F_{D/2}(u, v) \times F_R(u, v)}{\sum_{\substack{u, v=0 \\ (u, v) \neq (0, 0)}}^{B-1} F_{D/2}^2(u, v)} \quad (12)$$

이 되며 이때 축소 변환이 되도록 $|\alpha| < 1$ 로 제한시킨다. 한편 DC 값 및 대비 조정 인자는 양자화되어야 하므로 양자화 오차까지 포함한 최종 근사화 오차는

$$\begin{aligned} E(F_R, u(F_{D/2})) &= \sum_{\substack{u, v=0 \\ (u, v) \neq (0, 0)}}^{B-1} \{F_R^2(u, v) + \hat{\alpha}^2 F_{D/2}^2(u, v) \\ &\quad - 2 \hat{\alpha} F_R(u, v) F_{D/2}(u, v)\} + \Delta F_R^2(0, 0) \end{aligned} \quad (13)$$

이 된다. 여기서 첫 번째항은 AC 계수에 대비 조정 인자를 곱하여 근사화하였을 때 양자화 오차를 포함한 근사화 오차를 나타내고 두 번째항은 치역 블록의 DC 계수를 양자화하였을 때 발생하는 DC 양자화 오차를 나타낸다. 이때 $\hat{\alpha}$ 는 양자화된 대비 조정 인자이다.

2. 부호화 속도 개선 방안

본 논문에서는 DCT 영역의 정보를 이용하여 특징 벡터를 구하는 방법을 제안한 후 이를 이용하여 정의역 블록의 탐색과정, isometry 변환 유형의 결정과정, 그리고 대비 조정 인자의 계산과정에서 부호화 속도를 개선하는 방안을 제안하였다. 또한 블록의 에너지와 에지 방향으로 이루어지는 특징 벡터를 이용하여 블록을 크게 평단, 중간영역, 에지 유형으로 분류한 후 각 블록의 특성에 맞게 부호화 과정을 각각 다르게 수행함으로써 부호화속도 및 압축률 면에서도 효율을 기하도록 하였다.

2.1 특징 벡터의 추출과 블록의 분류

영상의 에지 성분은 인식 특성상 중요한 특징으로 널리 알려져 있으므로 영상 블록에 있어서 에지의 존재 유무, 크기, 위치, 명암도 변화 형태 등과 같은 특

정 정보를 추출하는 일은 매우 중요하다. 추출된 에지 정보는 부호화에 이용하거나 충실히 보존하기 위한 방법들에 널리 사용되고 있다. 이러한 특징값은 DCT 영역의 정보를 이용하게 되면 에너지 집중 효과로 인해 몇몇 계수 값만으로도 효과적으로 추출될 수 있다.

본 논문에서는 블록의 유형을 분류하고 특징벡터를 추출하기 위해 DCT 영역의 첫번째 수평 및 수직 위치를 따르는 주파수 계수들의 평균에너지와 첫번째 수평 및 수직 주파수 계수의 부호를 먼저 구한다. 수평(E_H) 및 수직 평균 에너지(E_V)의 크기는

$$E_H = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{u=1}^{B-1} F^2(u, 0)} \quad (14)$$

$$E_V = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{v=1}^{B-1} F^2(0, v)} \quad (15)$$

에 의해 각각 구할 수 있다. 여기서 B 는 블록의 크기를 나타내며 $F(u,v)$ 는 주파수 위치 (u,v) 에서의 DCT 계수를 나타낸다. 수평 및 수직 평균에너지는 공간영역에서의 블록의 복잡도와 에지가 놓이는 방향과 같은 특징을 구하기 위해 사용되며, 첫 번째 수직 및 수평 주파수 계수들의 부호는 공간영역에서 에지가 놓일 때 에지를 가로지르는 명암도의 변화 형태를 결정하기 위한 값이다.

블록의 복잡도를 나타내는 에너지 크기(amplitude)와 에지의 방향(angle)으로 이루어진 특징벡터는 앞서 구한 첫번째 수평, 수직주파수 위치의 계수부호를 수평 및 수직 평균에너지에 곱한 후 각각을 복소수의 실수부와 허수부

$$E = \text{sgn}(F(1,0)) \cdot E_H + j \text{sgn}(F(0,1)) \cdot E_V \quad (16)$$

$$\text{where } \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

로 취급하여 다음과 같이 복소수의 크기(ρ)와 각도(θ)를 계산하여 구한다.

$$\rho = \sqrt{E_H^2 + E_V^2} \quad (17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{sgn}(F(0,1)) \times E_V}{\text{sgn}(F(1,0)) \times E_H} \right) \quad (18)$$

특징 벡터를 구한 후에는 에너지 크기(ρ)를 이용하여 블록의 유형을 크게 평탄 블록, 중간 영역 블록, 에지 블록으로 구분하여 각 블록의 특성에 맞는 부호화 기법을 적용하도록 하였다. 평탄 블록의 경우에는 명암도 변화가 거의 없는 블록이므로 정의역 블록을 탐색할 필요없이 블록의 DC 값을 바로 8비트로 양자화한 후 전송한다. 중간 영역 블록과 에지 블록의 경우에는 정의역 블록을 차례로 탐색하여 최소의 근사화 오차를 가지는 정의역 블록의 위치, 대비 조정 인자와 치역 블록의 DC 값을 양자화하여 전송한다. 이때 중간 영역 블록은 강한 에지 성분을 가지지 않기 때문에 블록의 에지 방향은 크게 중요하지 않으므로 isometry 변환은 제외된다. 표 2는 블록의 유형에 따라 생성되는 프랙탈 코드와 할당된 비트수를 나타낸다. 그리고 모든 치역 블록에 대해 블록의 유형을 표시하기 위한 2비트를 추가한다.

표 2. 블록 유형에 따른 프랙탈 코드와 할당된 비트수
Table 2. Fractal code and the number of bits assigned according to the block type.

	Shade	Midrange	Edge
DC value	8 bits	8 bits	8 bits
Position of the domain block	×	10 bits	10 bits
Contrast factor	×	5 bits	5 bits
Isometry type	×	×	2 bits

그리고 에지 블록에 대해서는 에지 각도(θ)가 0° 와 180° 를 기준으로 $\pm 15^\circ$ 범위내에 드는 블록은 수평에지 블록으로 분류되고 90° 와 270° 를 기준으로 $\pm 15^\circ$ 범위내에 드는 블록은 수직 에지 블록으로 분류된다. 그리고 나머지 영역은 대각선 에지 블록으로 분류된다. 세분된 에지 블록은 대비조정인자를 계산할 때 사용된다. 그림 2는 DCT 영역의 특징값에 따라 분류된 블록의 유형을 나타낸다.

2.2 정의역 블록의 탐색 과정

특징벡터를 구한 후 치역 블록의 부호화는 치역 블록과 정의역 블록의 특징 벡터가 서로 유사한 경우에만 형태 정합 과정을 거치도록 함으로써 부호화 속도를 향상시킨다. 이는 블록간의 자기 유사성 관계를 축소 변환 계수로 기술할 때 치역 블록과 정의역 블록의

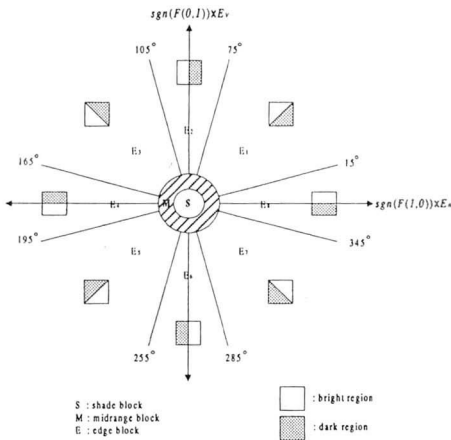


그림 2. DCT 영역의 특징값에 따른 블록 분류
 Fig. 2 Classification of blocks according to feature values in the DCT domain.

명암도 변화 형태가 비슷한 경우에 정확한 근사화를 얻을 가능성이 크다는 사실에 근거한다. 따라서 정의역 블록의 탐색 범위를 치역 블록의 특징벡터를 기준으로 그 주위에 존재하는 정의역 블록들로 제한한다. 이를 위해 치역 블록의 에너지(ρ_R)와 에지 방향(θ_R)을 기준으로 정의역 블록의 에너지(ρ_D)와 에지 방향(θ_D)이 동시에

$$(1 - \beta) \times \rho_R \leq \rho_D \leq (1 + \beta) \times \rho_R \quad (19)$$

$$\theta_R - \gamma \leq \theta_D \leq \theta_R + \gamma \quad (20)$$

를 만족하는 정의역 블록들로 탐색범위를 제한하였다. 여기서 β 는 에너지의 탐색 범위를 제한하기 위한 문턱값으로서 0에서 1까지의 값을 가질 수 있으며, 그 값이 0으로 접근함에 따라 탐색되는 정의역 블록의 수가 적어지며 반대로 1로 감에 따라 많아진다. 따라서 β 값을 작게 하면 부호화 시간은 빨라지는 반면 화질은 떨어지게 되고 β 값이 커지면 화질이 좋아지는 반면 부호화 시간은 느려진다. 이처럼 β 의 값에 따라 부호화 성능이 달라질 수 있으므로 화질의 열화가 심하지 않으면서 부호화 시간이 빠른 값을 선택하여야 한다.

탐색 범위를 결정하는 또 다른 중요한 특징값은 에

지의 방향을 나타내는 값이며 치역 블록의 에지 방향(θ_R)을 기준으로 $\pm \gamma$ 내에 들어가는 정의역 블록의 에지 방향(θ_D)으로 탐색 범위를 한정하는데 사용된다. 마찬가지로 γ 값의 크기에 따라 탐색되는 정의역 블록의 수가 달라지게 되며 γ 가 커지면 더 많은 정의역 블록을 탐색하게 되어 화질의 향상을 기대할 수 있다. 그러나 화질의 개선이 γ 값에 따라 선형적으로 이루어지지는 않는다. 왜냐하면 γ 값이 커짐에 따라 치역 블록과 정의역 블록의 에지 방향 차이가 커지게 되어 블록간의 유사성의 정도가 크게 떨어지기 때문이다. 그림 3은 치역 블록의 특징 벡터가 주어졌을 때 이를 기준으로 정의역 블록의 탐색 범위가 제한됨을 나타낸다. 따라서 형태 정합 과정은 정의역 블록의 특징벡터가 탐색 범위내에 속하는 경우에 대해서만 이루어지므로 부호화 속도를 개선할 수 있다.

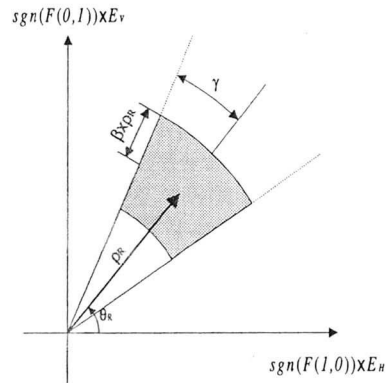


그림 3. 특징 공간에서 정의역 블록의 탐색 범위
 Fig. 3 Search area of domain blocks in feature space.

2.3 Isometry 변환의 결정 과정

부호화하고자 하는 치역 블록에 대해 정의역 블록의 수가 많을수록 최적의 근사화 블록을 얻을 수 있어 복원 영상의 화질이 좋게 된다. 따라서 다양한 밝기 구조를 지니는 정의역 블록을 구성하기 위해 회전과 반사 등으로 이루어진 여덟가지 isometry 변환을 적용하여 최적의 정의역 블록을 선택하도록 한다. 이때 isometry 변환의 유형을 결정하기 위한 기존의 방법은 여덟가지 isometry를 차례로 적용하여 형태 정합 과정을 거치도록 하였을 때 최소의 오차를 지니는

축소 변환 계수를 찾고 이때 적용된 isometry 유형으로 결정한다. 그러나 이 경우는 동일한 정의역 블록에 대해 여덟번의 형태 정합과정을 거치게 되므로 연산량이 여덟배나 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 치역 블록과 정의역 블록의 에지 방향에 관한 미리 추출된 정보를 이용하여 isometry 유형을 간단히 결정하는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 isometry 유형을 90° 간격의 4가지 회전 만으로 구성된 유형을 사용하며, 하나의 정의역 블록과 치역 블록이 주어졌을 경우 적용되는 isometry 유형은 정의역 블록의 에지 각도에 0°, 90°, 180°, 270°를 차례로 더하여 360°로 나눈 나머지와 치역 블록의 에지 각도와와의 차이가 $\pm \gamma$ 내에 들면 그때 합해진 각도로 결정한다. 예를 들면 γ 가 22.5°이고 치역 블록 및 정의역 블록의 에지 각도가 각각 45°, 145° 라고 할 때 정의역 블록을 270° 회전시키면 두 블록의 각도 차이는 10°가 되어 탐색 블록으로 선택되므로 회전된 각도가 isometry 유형으로 결정된다. 그리고 두 블록의 각도 차이가 22.5° 내에 들지 않으면 형태 정합과정에서 제외된다. 그림 4는 치역 및 정의역 블록의 특징 공간 상에서 isometry 유형을 결정하는 과정을 나타낸다. 그림과 같이 치역 블록의 특징 벡터가 (ρ_R, θ_R) 로 주어질 경우 4가지 회전 변환에 의해 결정되는 정의역 블록의 탐색 범위는 빗금친 네 영역으로 제한된다. 따라서 치역 블록의 특징 벡터를 기준으로 정의역 블록의 특징 벡터가 빗금친 네 영역 중에서 어느 위치에 속하는지를 확인함으로써 isometry 유형을 결정할 수 있고 이들 영역에 속하지 않을 경우에는 형태 정합과정에서 제외된다.

2.4 대비 조정 인자의 계산 과정
 대비조정인자는 최소 제곱 오차 방법에 따라 치역 블록과 정의역 블록간의 상호상관도(cross-correlation)를 정의역 블록의 에너지로 나누어 구한다. 이 과정에서 상호상관도와 정의역 블록의 에너지는 탐색되는 모든 블록에 대해서 DCT 계수 수만큼의 곱셈을 요하므로 연산량이 많아진다. 따라서 곱셈수를 줄이기 위해 본 논문에서는 DCT를 수행할 경우 얻을 수 있는 에너지 집중 효과를 이용하여 중요한 계수들만으로 대비 조정 인자를 계산하도록 함으로써 부호화 속도를 향상시킨다. 이때 대비 조정 인자를 계산하기 위해 사용되는 DCT 계수들의 위치와 개수는 블록의 유형에 따라 다르게 결정하였다. 이는 블록의 유형에 따라 에너지가 집중되는 분포가 다르기 때문이다. 중간 영역 블록의 경우에는 DC 값 주위로 대부분의 에너지가 집중되기 때문에 그림 5(a)와 같이 DC 주위의 AC 계수들만을 이용하여 대비 조정 인자를 계산한다. 그리고 에지 블록의 경우에는 에지의 방향을 수평, 수직, 대각선으로 나누어 계수들의 위치를 결정한다. 이때 수평 에지는 수직 주파수를 따라 에너지가 주로 집중되고 수직 에지는 수평 주파수를 따라 에너지가 집중된다. 그리고 대각선 에지는 수직 및 수평 주파수 모두에 대해 에너지가 분포한다. 따라서 수평, 수직, 대각선 블록에 대한 대비 조정 인자를 계산하기 위한 선택되는 계수는 각각 그림 5의 (b), (c), (d)와 같이 빗금친 부분에 속하는 위치로 결정된다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 8비트로 양자화된 512×512 크기의 “Lena” 영상에 대해 HYUNDAI Axil 220 워크스테이션에서 실험하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위한 기준으로 화소당 비트수[bit per pel], 부호화 시간[sec]과 객관적인 화질 평가 기준인 PSNR(peak-to-peak signal to noise ratio)[dB]을 사용하였다. 그리고 실험시 부호화 성능에 영향을 미치는 요소들로는 치역 블록 유형의 비율, 정의역 블록의 선택 범위, 정의역 블록 구성시 이동 변위, isometry 변환의 적용 여부, 불필요한 정의역 블록의 제거를 위한 블록의 에너지 및 에지 각도 문턱값 등이 있으며 이 값들에 따라 부호화 속도, 화질, 압축율이 크게 달라질 수 있으므로 여러 실험을

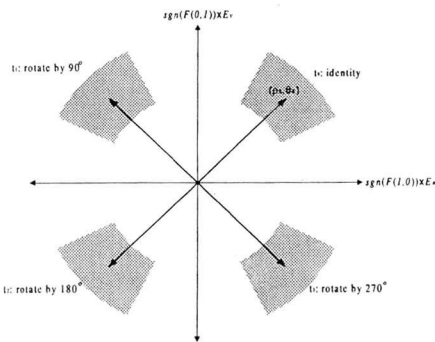


그림 4. Isometry 유형의 결정
 Fig. 4 Decision of the type of isometry.

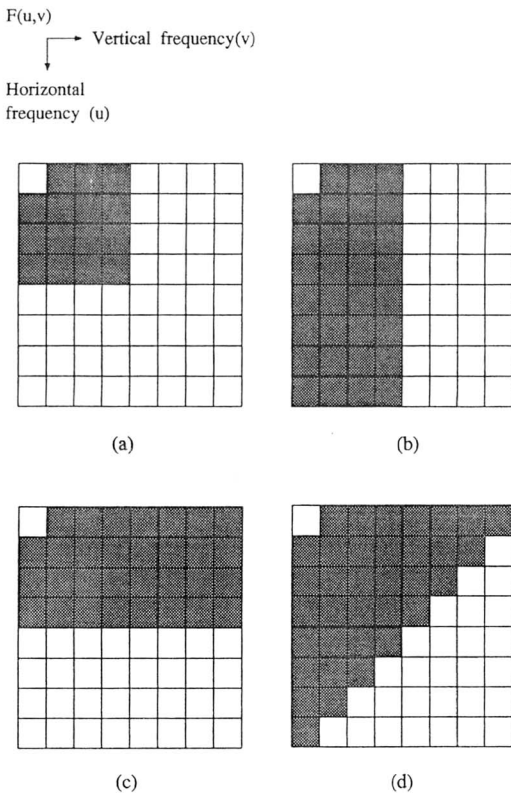


그림 5. 대비 조정 인자를 계산하기 위해 사용되는 DCT 계수의 위치 (a) 중간영역 블록 (b) 수평 에지 블록 (c) 수직 에지 블록 (d) 대각선 에지 블록
 Fig. 5 DCT coefficients used for calculating a contrast factor: (a) Midrange block; (b) horizontal edge block; (c) vertical edge block; (d) diagonal edge block.

통하여 결정하였다. 사용한 실험 조건은 치역 블록 및 정의역 블록의 크기를 각각 8×8 , 16×16 으로 하였고 정의역 블록 집합은 치역 블록의 위치를 기준으로 $-64 \sim 60$ 범위내에서 4 화소간격으로 이동시켜가며 구성하였다. 그리고 치역 블록 유형비는 평탄 : 중간영역 : 에지 블록에 대해 $0.4 : 0.3 : 0.3$ 으로 실험하였고 isometry 변환 유형은 90° 단위의 4가지 회전만으로 구성하였다.

표 3은 블록의 에너지 문턱값과 에지 방향의 문턱값에 의한 정의역 블록의 탐색 범위를 제한하는 과정, 에지 방향 정보를 이용하여 isometry의 유형을 결정하는 과정, 에너지 집중 유형에 따라 한정된 개수의 DCT 계수만을 사용하여 대비 조정 인자를 계산하는 과정

을 모두 적용하여 부호화 속도를 개선한 결과를 나타낸다. 여기서 실험 결과는 에지 방향 문턱값(γ)을 15° 와 20° 로 고정시킨 후 에너지 문턱값(β)을 가변시켜 가며 구하였다. 이때 에지 방향 문턱값을 20° 로 미리 고정 시킨 이유는 이 값을 넘어가게 되는 경우에는 블록의 에지 방향이 크게 어긋나게 되어 화질의 향상을 기대할 수 뿐만 아니라 부호화 시간은 더욱 길어지기 때문이다. 한편 에너지 문턱값이 커지게 되는 경우에는 탐색되는 정의역 블록의 수가 많아짐을 의미하며 이는 PSNR이 높아지는 동시에 부호화 시간이 많이 걸린다는 것을 알 수 있다. 실험 결과를 보면 에너지 문턱값과 에지 방향의 문턱값이 각각 0.4와 15° 인 경우는 전체 탐색 방법에 비해 부호화 시간이 21배 빨라진 반면 PSNR은 약 0.9 dB정도 떨어진다. 그리고 문턱값이 각각 0.8과 20° 인 경우에는 11배 정도 빨라지고 PSNR은 0.5 dB 정도가 떨어진다.

표 3. 제안한 부호화 속도 개선 방안의 부호화 결과
 Table 3. Coding results of the proposed method for improving the encoding speed.

β	γ	PSNR[dB]	Bit rate [bpp]	Encoding time[sec]
0.4	15°	29.25	0.288	79
0.4	20°	29.31	0.288	89
0.5	20°	29.38	0.288	101
0.6	20°	29.42	0.288	115
0.7	20°	29.46	0.288	129
0.8	20°	29.49	0.288	146
Full search		30.03	0.288	1,575

표 3의 실험은 주로 부호화 속도 개선 방안의 성능을 보기 위한 것으로 치역 블록의 크기를 8×8 으로 고정하여 얻은 결과를 나타낸 것이다. 이 실험에서는 복잡한 밝기구조를 지니는 에지 블록일 경우에는 큰 근사화 오차를 가지게 된다. 따라서 8×8 크기의 치역 블록(모블록)을 부호화 한 후 치역 블록의 근사화 오차가 큰 경우에 대해서는 블록을 분할하여 4×4 크기의 4개의 자블록에 대해 다시 부호화를 수행하여 화질을 개선하도록 하였다. 이때 자블록에 대한 부호화는 대비 조정 인자를 결정하는 부분을 제외하고는 모블록에 대한 부호화와 동일한 방법을 사용하였다. 자블록의 대비 조정 인자는 DC를 제외한 나머지 모

든 AC 변환 계수들을 사용하여 결정하였다. 이는 모 블록에 비해 DCT 변환 계수가 1/4이므로 연산량이 크게 증가하지 않기 때문이다.

표 4는 두 계층 분할 기법을 채용한 제안한 방법의 결과를 나타내며 또한 제안한 방법과의 성능 비교를 위해 기존의 Jacquin, Monro, Fisher의 방법에 의한 실험 결과를 나타내었다. 여기서 제안한 방법의 실험은 에너지 문턱값과 에지 각도 문턱값을 각각 0.5와 10°로 고정하는 경우(제안한 방법 I)와 0.5와 20°로 고정하는 경우(제안한 방법 II)로 이루어진다. Jacquin의 방법은 8×8 크기의 치역 블록을 3개의 유형으로 나누어 부호화한 후 네 개의 4×4 크기의 블록으로 분할하여 오차를 계산하였을 때 정해진 문턱값을 넘는 블록에 대해서는 다시 부호화하는 계층적 구조를 지니는 부호화 방법이다. Monro의 방법은 정의역 블록의 크기를 8×8으로 한 후 치역 블록은 정의역 블록을 분할하여 4×4 크기로 하였다. 부호화는 블록 탐색과정이 없이 상위 정의역 블록으로부터 1차 다항식의 4개의 계수로써 치역 블록을 근사화하도록 한 후 각 계수를 6 비트로 균일 양자화하였다. 그리고 Fisher의 방법은 블록을 4개의 부분블록으로 나누어 각각의 평균과 분산을 이용하여 블록을 72가지로 분류한 후 같은 유형을 지니는 정의역 블록을 탐색하여 부호화하는 방법(Fisher I)과 72가지 블록의 유형 중 24가지를 탐색하여 부호화하는 방법(Fisher II)으로 이루어진다. 또한 이 방법은 치역 블록의 크기가 32, 16, 8, 4 크기를 지니는 쿼드트리 분할 기법을 적용하였다. 그림 6은 표 4의 실험 결과에 따른 재생 영상을 나타낸다. 실험 결과를 살펴 보면 Jacquin 방법의 경우에는 화소당 비트수가 0.505 [bpp]에서 PSNR이 32.25 [dB]로서 재생 영상의 화질이 비교적 우수하지만 부호화 시간이 8,854 [sec]로 매우 오래 걸림을 확인할 수 있다. Monro 방법의 경우에는 탐색을 하지 않기 때문에 부호화 시간은 매우 빠른 반면에 최적의 정의역 블록을 선택할 수 없어 화질의 열화가 심하게 나타남을 확인할 수 있다. 그리고 치역 블록의 크기가 4×4로 부호화하기 때문에 압축율도 크게 떨어짐을 알 수 있다. Fisher 방법 I의 경우에는 블록의 유형 수가 많기 때문에 부호화 속도가 상당히 빠름을 확인할 수 있으며 복원 영상의 PSNR 값도 비교적 우수하다. Fisher 방법 II는 방법 I보다 정의역 블록 수가 많으므로 부호화 시간이 길어지지만 PSNR과 비트율 측면에서는 우

표 4. 각 방법들의 부호화 결과 비교

Table 4. Comparison of coding results by each method.

	PSNR[dB]	Bit rate[bpp]	Encoding time[sec]
Jacquin	32.25	0.505	8,854
Monro(4×4)	28.26	1.500	3
Fisher I	32.26	0.536	108
Fisher II	32.84	0.473	1,678
Proposed I	32.47	0.525	134
Proposed II	32.66	0.517	174



(a)



(b)



(c)



(f)



(d)



(g)



(e)

그림 6. 표 4의 부호화 결과에 대한 재생 영상 (a) 원영상 (b) Jacquin의 방법(32.25[dB], 0.505[bpp]) (c) Monro의 방법(28.26[dB], 1.5[bpp]) (d) Fisher의 방법 I (32.26[dB], 0.536[bpp]) (e) Fisher의 방법 II(32.84[dB], 0.473[bpp]) (f) 제안한 방법 I (32.47[dB], 0.525[bpp]) (g) 제안한 방법 II(32.66[dB], 0.517[bpp])

Fig. 6 Reconstructed images for coding results in Table 4 : (a) Original image; (b) Jacquin's method(32.25 [dB], 0.505[bpp]); (c) Monro's method(28.26[dB], 1.5[bpp]); (d) Fisher's method I (32.26[dB], 0.536 [bpp]); (e) Fisher's method II(32.84[dB], 0.473 [bpp]); (f) the proposed method I (32.47[dB], 0.525[bpp]); (g) the proposed method II(32.66[dB], 0.517[bpp]).

수하다. 그러나 Fisher의 두 방법은 복원 영상의 PSNR이 다른 방법들에 비해 우수하게 나오지만 실제 재생 영상을 살펴보면 밝기 변화가 심하지 않는 부분에서 영상의 구획화 현상이 심하게 나타나며 이로 인해 시각적으로 매우 거슬리게 된다. 이러한 구획화 현상은 블록의 분할시 인간 시각 특성과는 무관한 RMS 척도를 사용하기 때문에 치역 블록의 크기가 32×32 또는 16×16 과 같이 큰 경우에 수치적인 RMS 오차를 만족하게 되면 분할이 이루어지지 않아 발생하게 된다. 제안한 방법의 경우에는 Jacquin의 방법에 비해 부호화 속도의 경우에 약 50배 이상 빠르며 비트율과 PSNR의 경우는 거의 동일한 결과를 얻었다. 그리고 제안한 방법을 Fisher의 방법 I과 비교할 경우에는 부호화 시간이 약간 떨어지는 반면 비트율과 PSNR 값은 오히려 높았으며 Fisher의 방법 II의 경우에는 제안한 방법이 비트율 측면에서는 떨어지지만 부호화 속도면에서는 약 10배 이상 빠른 결과를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 반복 축소 변환 이론에 근거한 프랙탈 부호화 기법이 지니는 과도한 연산량을 줄이기 위해 블록의 특징을 쉽게 추출할 수 있도록 DCT 영역에서 프랙탈 부호화를 수행하였다. 제안한 방법에서는 DCT 계수로부터 블록의 복잡도를 나타내는 에너지와 블록의 에지 방향으로 이루어지는 특징 벡터를 추출한 후 부호화하려는 치역 블록에 대해 유사한 특징 벡터를 지니는 정의역 블록만을 탐색하도록 함으로써 부호화 속도를 향상시킬 수 있었고 치역 블록과 정의역 블록의 에지 방향으로부터 적용가능한 isometry 변환 유형을 신속히 결정할 수 있었다. 또한 프랙탈 변환 계수 중에서 연산량이 가장 많은 대비 조정 인자를 결정할 때 DCT의 에너지 집중 효과를 이용하여 적은 수의 샘플들만으로도 구할 수 있어 속도 향상에 기여할 수 있었다. 그리고 제안한 방법의 부호화 과정이 DCT 영역에서 이루어지는 데 반해 복호화 과정은 공간 영역에서 이루어지도록 하여 반복 IDCT가 요구되지 않는다.

제안한 DCT 영역에서의 프랙탈 부호화 방법을 기존의 Jacquin 방법과 비교한 결과 비슷한 비트율과 PSNR 값에서 아주 빠른 부호화 속도를 얻을 수 있었다. 그리고 기존의 Fisher의 방법과 비교한 결과는

제안한 방법이 PSNR 측면에서는 다소 떨어지지만 실제 재생 영상을 관찰할 경우에는 구획화현상이 거의 나타나지 않기 때문에 더욱 나은 시각적 복원화질을 얻을 수 있었다. 향후, 제안한 프랙탈 영상 부호화 기법을 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 초저속 전송을 위한 동영상 압축 기법에 적용하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman and Company, New York, 1977.
2. M. F. Barnsley, *Fractals Everywhere*, Academic Press, San Diego, 1988.
3. M. F. Barnsley and A. D. Sloan, "A better way to compress images," *BYTE Magazine*, pp.215-223, Jan. 1988.
4. M. F. Barnsley and L. P. Hurd, *Fractal Image Compression*, AK Peters, Wellesley, 1992.
5. A. E. Jacquin, "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.1, no.1, pp.18-30, Jan. 1992.
6. Y. Fisher, "Fractal image compression," *SIGGRAPH '92 Course Notes*, vol.12, pp.7.1-7.19, 1992.
7. Y. Fisher, "Fractal image compression with quadtrees," *Fractal Image Compression: Theory and Application*, pp.119-136, 1995.
8. D. M. Monro and F. Dudbridge, "Fractal block coding of images," *IEE Electronics Letters*, vol. 28, no.11, pp.1053-1055, May 1992.
9. D. M. Monro and F. Dudbridge, "Fractal approximation of image blocks," *IEEE Proc. of Int'l Conf., Acoust., Speech, Signal Processing*, pp.485-488, 1992.
10. 최진수, 하영호, "주파수영역에서의 블록 분류를 이용한 프랙탈 영상 압축," *한국통신학회논문지*, 제20권, 제4호, pp.1049-1061, 1995년.
11. K. R. Rao and P. Yip, *Discrete Cosine Transform - Algorithms, Advantages, Applications*, Academic Press, London, 1990.



최진수(Jin Soo Choi) 정회원
1968년 10월 15일생
1990년 2월:경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 2월:경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월:경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1996년 5월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술 연구소 선임연구원

※주관심분야: 영상처리, 멀티미디어 부호화 등

박영식(Young Sik Park) 정회원
1969년 4월 18일생
1992년 2월:경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
1994년 2월:경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1998년 2월:경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1998년 5월~현재:삼성전자 무선사업부 기술개발그룹 근무
※주관심분야: 영상부호화, 영상통신, 신호처리 등

하영호(Yeong Ho Ha) 정회원
한국통신학회 논문지 제22권 제9호 참조