

무반복 프랙탈 영상 압축의 복호 특성 분석에 관한 연구

곽노윤*

요약

저비트율에서도 우수한 화질을 제공하는 프랙탈 영상 압축 기법들이 갖고 있는 하나의 문제점은 복호화가 반복 처리를 통해 구현되며 그 복잡도가 각각의 영상에 따라 상이하다는 것이다. 이러한 문제를 해소하기 위해 본 논문은 복호 시간을 단축시키기 위해 반복 변환이 필요 없는 프랙탈 영상 복호 알고리즘을 제안하고 그 성능을 분석함에 그 목적이 있다. 제안된 프랙탈 복호 알고리즘은 복호기에서 사용할 초기 영상과 동일한 코드북 영상을 부호기에 보유하고 있는 상태에서 부호화 과정에서는 이 코드북 영상과 부호화하려는 영상의 유사성을 찾아 프랙탈 계수를 구한다. 이후, 수신단의 복호화 과정에서는 수신된 프랙탈 계수와 기설정된 초기 영상을 이용하여 반복 변환 없이 한 번에 영상을 복호함으로써 반복 변환 횟수의 역수배만큼 복호 소요 시간을 현저하게 단축시킬 수 있었다. 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 분포 특성을 갖는 복수의 정지 영상과 동영상을 대상으로 복호 소요 시간과 화질 측면에서 그 성능을 평가·분석하였다.

A Study on Decoding Characteristic Analysis of Non-iterative Fractal Image Compression

No-Yoon Kwak*

Abstract

A problem of many fractal image compression algorithms providing good quality at low bit rate is that the decoding time rests on an iterative procedure whose complexity is image-dependent. This paper proposes an iterative-free fractal image decoding algorithm to reduce the decoding time. In the proposed method, under the encoder previously with the same codebook image as an initial image to be used at the decoder, the fractal coefficients are obtained through calculating the similarity between the codebook image and an input image to be encoded. As the decoding process can be completed with received fractal coefficients and predefined initial image without repeated iterations, the decoding time could be remarkably reduced. For verifying the validity and universality of proposed method, We evaluated and analyzed the performance of decoding time and image quality for a number of still images and a moving picture with different distributed characteristics.

Key words : Fractal Coding, Codebook Image, IFS, Fast Fractal Decoding, Image Compression

1. 서론

프랙탈 영상 압축은 자기 유사성(self-similarity)에 근거하여 간단한 규칙을 통해 복잡한 프랙탈 구조를 생성할 수 있는 데, 이것을 이용하여 공간 영역 상에 내포된 영상 데이터의 중복성을 제거함으로써 영상 데이터를 압축하는 영상 부호화 방법이다[1].

Barnsley[2-5]가 프랙탈의 자기 유사성을 이용한 반복 변환 시스템(IFS: Iterated Function System)을 기반으로 한 영상 압축 기법을 제안한 이후로 Jacquin,

Fisher, Morno, Novak 등과 같은 많은 연구자들이 이것에 바탕을 한 다수의 부호화 기법을 제안하였다 [6-12]. 이러한 기존의 프랙탈 영상 부호화 기법들은 부호기 부분의 성능 개선 및 계산량의 감소에만 주력함에 따라 상대적으로 복호기에 대한 연구가 소홀한 편이다. 하지만, 프랙탈 영상 부호기의 실시간 구현을 위해서는 복호 소요 시간의 감축 역시 간과할 수 없는 측면이다. 이에 따라, 앞에서 설명한 방법들과 달리 프랙탈 부호화 방법을 내적 공간에서 바라본 Oien과 Lepsoy는 고속 부호화 및 복호화에 대해 연구하게 되었다.

* 제일저자(First Author) : 곽노윤

접수일 : 2004년 7 월 24 일, 완료일 : 2004년 8 월 20 일

* 전남대학교 정보통신학부 교수

nykwak@cheonan.ac.kr

이들은 프랙탈에 사용된 변환의 각 항을 직교하는 기저로 구현하여 영상의 중복성을 제거함으로써 반복 적용이 필요 없는 복호기의 구현을 가능하게 하였다 [13][14]. 그러나, 이 방법은 기저의 수를 증가시킬 경우, 변환 부호화 방법에 가까워지고, 기저의 수를 줄일 경우에는 수렴 속도가 떨어지는 문제가 있다.

본 논문에서 제안된 복호화 알고리즘은 수렴 속도를 빠르게 하는 것이 아닌 한 번의 프랙탈 역변환의 적용으로 복호를 완료하는 알고리즘으로, 서로 다른 두 영상의 유사성을 찾아 그것을 이용하여 영상을 부호화한다. 이것은 프랙탈의 주요한 특성을 잃어버리는 것이지만 부호단과 복호단에서 동일한 코드북 영상을 가지고 프랙탈 계수를 산출하기 때문에 영상 복원 시, 프랙탈 역변환을 단 한 번 적용하는 것만으로 원 영상을 복원할 수 있는 이점이 있다. 본 논문에서는 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 본포 특성을 갖는 복수의 정지 영상과 동영상에 대상으로 복호 소요 시간과 화질 측면에서 그 성능을 분석·평가하고자 한다.

2. 기존의 프랙탈 영상 복호

기존의 프랙탈 영상 복호 과정은 블럭마다 정해진 프랙탈 역변환들을 초기 영상에 수렴할 때까지 여러 번 반복 적용함으로써 복호화가 이루어진다. 이때, 초기 영상은 임의로 선택할 수 있고 어떠한 선택을 하더라도 최종 복호 영상에 영향을 미치지 않는다. 그림 1은 SALESMAN 영상에 대해 프랙탈 역변환의 횟수를 반복함에 따라 원영상에 수렴해 가는 과정을 PSNR을 이용해 나타낸 것이다.

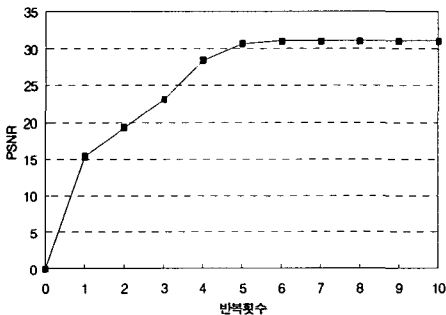


그림 1. SALESMAN 영상의 반복 횟수에 따른 PSNR

그림 2(a)~(d)는 각각 288화소×360화소 256 계조의 SALESMAN 영상을 Fisher[10]의 방법을 이용하여 부호화 한 뒤 이를 각각 1번, 2번, 3번, 그리고 10번 프랙탈 역변환을 반복한 영상들이다.

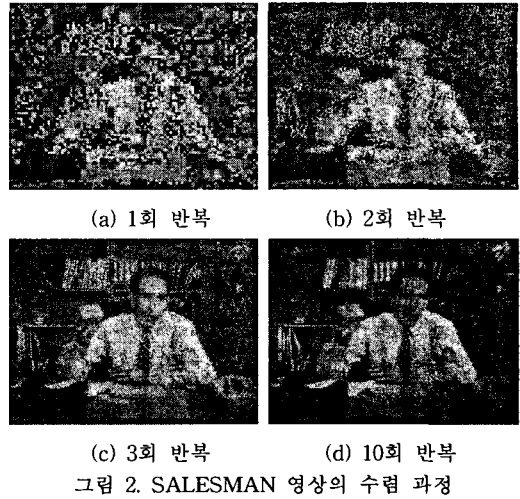


그림 2. SALESMAN 영상의 수렴 과정

Fisher[10]의 방법은 부호화하려는 입력 영상에서 지역 블럭과 정의역 블럭을 모두를 설정하여 프랙탈 계수 집합을 추출한다. 복호 시에는 임의의 초기 영상에 프랙탈 계수 집합을 대응시키는 프랙탈 역변환을 반복적으로 수행함으로써 부호화 대상 영상을 복원한다. 이는 영상 부호화에 프랙탈의 특성을 심분 반영하고 있는 것이지만, 통상 8~10회 정도를 반복하여 프랙탈 역변환을 수행하는 복호화 과정은 프랙탈 영상 복호기의 실시간 구현 측면에 또 하나의 심각한 장애가 되고 있다.

3. 제안된 프랙탈 영상 압축

기존의 방법의 과도한 복호 소요 시간을 단축하기 위해 제안된 방법은 복호기에서 사용할 초기 영상과 동일한 코드북 영상을 부호기에 보유하고 있는 상태에서 부호화 과정에서는 이 코드북 영상과 부호화하려는 영상의 유사성을 찾아 프랙탈 계수를 구한다. 이후, 복호화 과정에서는 수신된 프랙탈 계수와 기설정된 초기 영상을 이용하여 반복 변환 없이 한 번에 영상을 복호한다. 이것은 기존 방법의 과도한 복호 소요 시간을 반복 변환 횟수의 역수 배 만큼 단축할 수 있는, 반복 변환이 필요없는 고속 프랙탈 영상 복호화를 실현할 수 있음을 의미한다.

3.1 프랙탈 부호화 과정

제안된 방법의 프랙탈 부호화 과정은 Fisher가 제안한 부호화 방법[10]에 기반을 두고 있다. 다만, 부호단과 복호단이 동일한 코드북 영상을 사용한다는 것이 상이할 뿐이다. 이를 위해 제안된 방법의 부호기는 복호기에서 사용할 초기 영상과 동일한 코드북 영상을 미리 저장하고 있는 것이 필수적이다. 그림 3은 제안된 프랙탈 영상 부호기를 간략하게 나타낸 것이다.

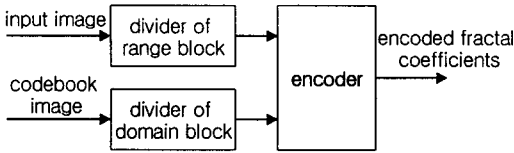


그림 3. 제안된 프랙탈 영상 부호기

1) 지역·정의역 블록 설정

우선, 부호화 하고자 하는 원영상인 부호화 대상 영상을 기설정된 크기로 분할하여 복수의 블록으로 구성된 블록군을 생성한다. 이때, 블록의 크기는 통상 32화소×32화소, 16화소×16화소, 8화소×8화소 중 어느 하나를 선택하여도 무방하나 블록의 크기와 비트율 및 화질 간에는 상호 타협 관계(trade-off)가 존재한다. 적절한 블록의 크기의 설정은 높은 압축 효율을 위한 선행 조건이 된다. 제안된 방법에서는 블록의 크기를 16화소×16화소로 정하고, 오차에 비례하는 비용 함수를 설정하여 블록의 크기를 가변하는 방법을 사용한다. 이후, 이 블록군에서 래스터 스캐닝 순서로 지역 블록을 선택하고, 기설정된 코드북 영상에서 지역 블록의 두배 크기로 하나 이상의 정의역 블록을 설정한 후, 정의역 블록을 지역 블록과 동일한 크기로 축소하여 축소 정의역 블록을 생성한다.

2) 프랙탈 계수 추출 과정

프랙탈 계수 추출 과정에서는 지역 블록과 각각의 축소 정의역 블록 간의 오차들이 최소가 되도록 프랙탈 변환을 수행한 후, 오차들중에서 최소 오차를 갖는 축소 정의역 블록의 프랙탈 계수를 최적 프랙탈 계수로 추출한다. 이러한 프랙탈 계수 추출 과정을 세분화하면 지역정의역 쌍 생성 단계, 비례·가감 인자 계산 단계, 최적 프랙탈 계수 추출 단계로 구분하여 살펴볼 수 있다.

○ 지역·정의역 쌍 생성: 지역 블록과 각각의 축소 정의역 블록과의 일대일 대응 관계를 형성하는 지역·정의역 쌍을 생성한다.

○ 비례·가감 인자 계산: 각각의 지역·정의역 쌍에서 지역 블록을 대상으로 회전과 대칭을 통한 공간 변환을 수행면서 축소 정의역 블록과의 오차가 최소 자승 오차가 되도록 하는 비례 인자 및 가감 인자를 검출한다. 이후, 각각의 최소 자승 오차 중에서 최소값을 갖는 최소 지역·정의역 쌍에 대한 회전·대칭 변환 계수, 비례 인자, 가감 인자, 정의역 블록의 위치를 산출함으로써 해당 블록의 프랙탈 계수를 구할 수 있다.

○ 최적 프랙탈 계수 산출: 최소 자승 오차가 기설정된 소정 임계치 보다 작은지 여부를 판단한다. 판단결과, 최소 자승 오차가 임계치 보다 작으면, 최적 프랙탈 계수를 프랙탈 계수 집합에 래스터 스캐닝 순서로 포함시켜 버퍼링한다. 그렇지 않으면, 지역 블록을 쿼드트리 분할하여 각각의 부분블럭에 대한 최적 프랙탈 계수를 가변 블록 기반으로 추출하는 과정을 수행하게 된다.

이후, 래스터 스캐닝 순서 상에서 마지막에 위치한 최종 지역 블록에 대한 최적 프랙탈 계수를 산출하였는지 여부를 판단한다. 최종 지역 블록에 대한 최적 프랙탈 계수가 산출됐으면, 프랙탈 계수 집합을 저장하거나 전송함으로써 최종적으로 프랙탈 부호화를 완료한다.

3.2 프랙탈 복호화 과정

제안된 프랙탈 복호화는 부호단에서 정의역 블록을 설정할 시에 사용된 코드북 영상과 동일한 초기 영상에 프랙탈 계수 집합을 블록 기반으로 대응시키는 단 한번의 프랙탈 역변환을 통해 반복 변환없이 영상을 복원한다. 그림 4는 제안된 프랙탈 영상 복호기를 간략하게 나타낸 것이다.

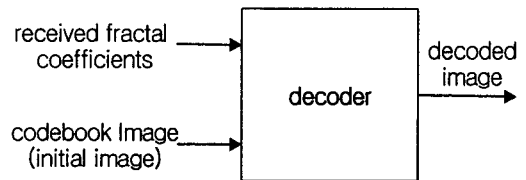


그림 4. 제안된 프랙탈 영상 복호기

기설정된 초기 영상과 프랙탈 계수 집합을 입력받으면, 래스터 스캐닝 순서에 입각하여 프랙탈 계수 집합에서 각각의 지역 블록에 대한 최적 프랙탈 계수를 블록 기반으로 읽는다. 이후, 프랙탈 역변환 단계에서는 최적 프랙탈 계수를 초기 영상에 적용시키는 한 번의 프랙탈 역변환을 수행한다.

최종 지역 블록의 최적 프랙탈 계수까지 모두 처리되었는지 여부를 판단한다. 판단 결과, 모두 처리되지 않았으면, 최적 프랙탈 계수를 읽는 단계로 되돌아가고, 그렇지 않으면, 프랙탈 복호를 종료함으로써 모든 블록에 대한 프랙탈 복호를 완료한다.

제안된 방법의 복호기는 부호기에서 사용한 코드북 영상을 초기 영상으로 삼은 것 이외에는 기존의 프랙탈 복호기와 완전히 똑같이 때문에 제안된 방법에서 프랙탈 역변환을 한 번 적용하는 복호 시간과 기존의 방법에서 프랙탈 역변환을 한번 적용하는 복호 시간은 동일하다. 따라서 기존의 방법에서 복호시 프랙탈 역변환의 반복 횟수를 n회 사용한다면 제안된 방법의 복호 소요 시간은 기존의 복호 시간의 1/n배로 단축되는 효과가 있다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 정지 영상을 대상으로 기존의 방법[10]과 제안된 방법을 적용하는 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시험 영상은 정지 영상의 경우, 256 계조 256×256 크기의 HUMBIRD, MANDRILL, PUPPY 영상을 사용하였고,

동영상은 256계조 360×288 크기의 SALESMAN(#103~#130)을 사용하였다.

컴퓨터 시뮬레이션을 수행함에 있어 제안된 방법은 Fisher가 제안한 블록 분류 방법과 쿼드트리 분할을 사용하여 최대 블록 크기가 16화소×16화소, 쿼드트리 분할에 의한 최소 블록 크기가 4화소×4화소가 되도록 하였다. 축소 정의역 블록과 치역블록을 정합 시, 최소 자승 오차의 임계값은 8로 하였으며, 스칼라 양자화기를 사용하여 비례 인자는 5비트를 가감 인자는 7비트를 할당하였다. 한편, 프랙탈 영상 부호화 방법은 블록 기반 방법이기에 때문에 복호 후, 블럭킹 효과(blocking effect)를 제거하기 위해 블록의 경계를 중심으로 평탄화 필터를 적용하였다. 기존의 방법[10]은 부호화 과정에서 프랙탈 역변환을 10회 반복 적용시킨 영상을 사용하였다. 표 1은 기존의 방법과 제안된 방법의 PSNR과 비트율을 비교한 것으로, 비트율의 경우, 엔트로피 부호화를 수행하지 않은 결과를 제시한 것이다.

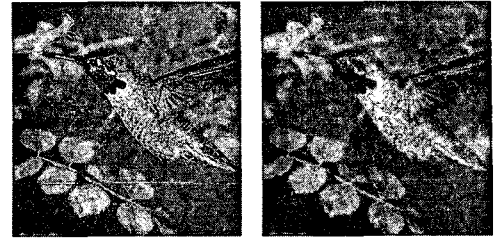
표 1. 각 방식의 PSNR과 비트율 비교

codebook image \ input image	기존의 방법	HUMBIRD	MANDRILL	PUPPY
HUMBIRD	30.545dB 0.921bpp	×	30.517dB 0.930bpp	30.543dB 0.905bpp
MANDRILL	28.584 dB 1.380bpp	28.685dB 1.371bpp	×	28.741dB 1.368bpp
PUPPY	26.630dB 0.977bpp	26.922dB 0.989bpp	26.767dB 0.997bpp	×

HUMBIRD 영상의 경우, 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 PSNR이 소폭 낮거나 거의 유사한 반면에 MANDRILL 영상과 PUPPY 영상의 경우, 오히려 다소 높은 것을 알 수 있다. 표 1을 통해 살펴 볼 수 있듯이, 제안된 방법은 반복 변환없이 한 번에 부호화 내면서도 부호화 성능이나 복호 영상의 화질은 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

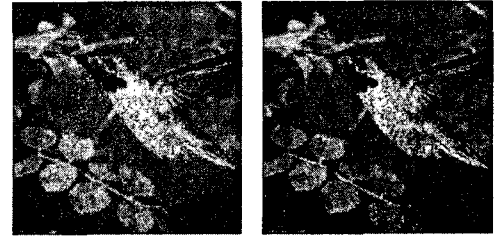
그림 5는 각 방법을 적용한 복호 영상을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 HUMBIRD의 원영상이고, 그림 5(b)는 HUMBIRD 영상에 기존의 방법[10]을 적용한 복호 영상이다. 그림 5(c)와 그림 5(d)는 각각 MANDRILL 영상과 PUPPY 영상을 코드북 영상으로 삼아 HUMBIRD 영상을 복호한 것이다. 또한, 그림 6(a)는 PUPPY의 원영상이고, 그림 6(b)는 PUPPY 영상에 기존의 방법[10]을 적용한 복호 영상이다. 그림 6(c)와 그림 6(d)는 각각 HUMBIRD 영상과 MANDRILL 영상을 코드북 영상으로 삼아 PUPPY 영상을 복호한 것이다.

제안된 방법과 기존의 방법 간에 육안으로 확인할 수 있는 정도의 주관적인 화질 차이가 없음을 알 수 있다.



(a)원영상

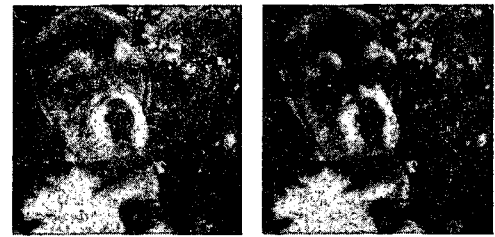
(b)기존의 방법



(c)코드북 영상(MANDRILL)

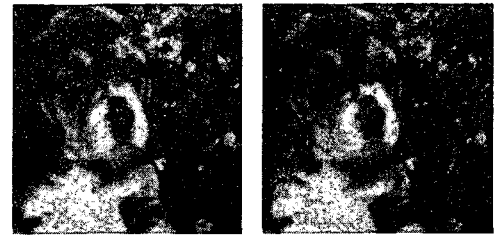
(d)코드북 영상(PUPPY)

그림 5. 각 방법을 적용한 BUMBIRD 영상의 복호 결과



(a)원영상

(b)기존의 방법



(c)코드북 영상(BUMBIRD)

(d)코드북 영상(MANDRILL)

그림 6. 각 방법을 적용한 PUPPY 영상의 복호 결과

앞서 언급한 바와 같이 프랙탈 영상 부호화는 영상의 자기 유사성을 찾아 그것을 부호화 하는 방법으로 자기 유사성이 높으면 높을수록 좋은 성능을 갖게 된다. 마찬가지로 제안된 방법에서도 부호하려고 하는 입력 영상과 코드북 영상의 자기 유사성이 높아야 효율적인 결과를 갖는다. 표 1과 같이 어떤 영상을 부호하는데 코드북 영상에 따라 비트율과 PSNR 값에 약간 차이가 발생한다. 이에 따라 제안된 방법은 동영상에 적용할 때에는 이전 영상을 코드북 영상으로 취한다. 만약 부호기의 코드북 영상을 이전 영상의 원 영상으로 직접 취하고 복호기에서는 이전 복호 영상을 초기 영상으로 취한다면 부호기와 복호기의 초기 영상에 차이가 있게

된다. 이러한 차이는 계속 다음 영상에 영향을 주게 되어 결국 제안된 방법의 성능을 저하시키게 된다.

따라서, 제안된 방법은 그림 7과 그림 8과 같이, 부호기의 정의역 블럭을 이전 영상에서 직접 생성하지 않고 복호기에서와 마찬가지로 한 번 복호해 낸 이전 복호 영상을 가지고 정의역 블럭을 생성한다. 이에 따라 부호단의 코드북 영상과 복호기의 초기 영상이 정확히 같게 됨으로써 초기 영상의 불일치에 따른 화질의 열화를 방지할 수 있다.

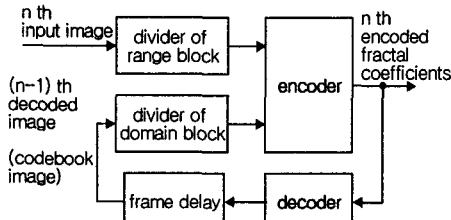


그림 7. 제안된 동영상 부호기

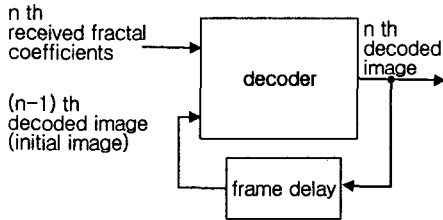
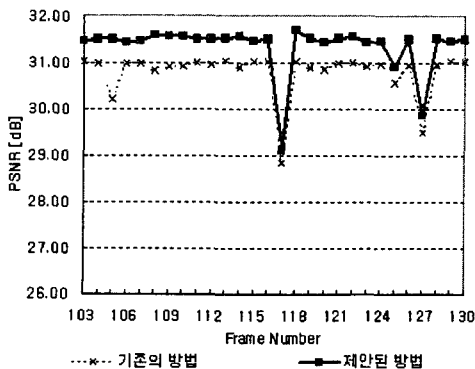
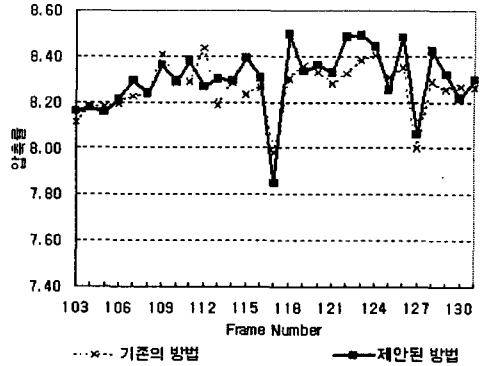


그림 8. 제안된 동영상 복호기

그림 9는 256계조 360×288 크기의 SALESMAN (#103~#130)에 각각 기존의 방법과 제안된 방법을 적용하여 산출한 PSNR 및 압축률을 나타낸 것이다. 그림 9(a)에서 각 프레임의 PSNR은 그림 9(b)의 압축률에서 측정된 것이다. 여기서, 기존의 방법의 결과는 동영상 시퀀스를 구성하는 각각의 영상을 정지 영상으로 간주하여 그림 9와 동일한 파라미터를 사용하여 부호화한 후 프랙탈 역변환을 10번 반복한 것이다.



(a) PSNR 비교 [dB]



(b) 압축률 비교

그림 9. 각 알고리즘의 PSNR 및 압축률 비교

제안된 방법의 첫 번째 영상(SALESMAN #103)의 초기 영상은 SALESMAN #102를 기존의 방법을 이용하여 부호화하였다. 다시 말해 동영상 시퀀스의 첫 번째 영상은 기존의 방법대로 부호화하고 두 번째 영상부터 제안된 방법을 적용한 결과이다. 그림 9의 결과에서 알 수 있듯이 제안된 방법에서는 기존의 방법에 비해 평균적으로 소폭 높은 성능을 제공할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 프랙탈 영상 압축 알고리즘의 문제점 중에서 영상을 복호할 때 프랙탈 역변환을 여러 번 반복 적용 해야하는 것을 개선하기 위하여 효율적인 복호화 과정이 가능한 알고리즘을 제안하였다. 더불어 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 분포 특성을 갖는 복수의 정지 영상과 동영상에 대상으로 복호 소요 시간과 화질 측면에서 그 성능을 분석·평가하였다.

본 논문에서 수행된 프랙탈 역변환 과정은 부호단과 복호단에서 공동의 코드북 영상을 사용하는 것을 제외하면, 일반적인 프랙탈 영상 코덱에서 수행하는 한 번의 프랙탈 역변환 과정과 동일한 과정을 따름에 따라 제안된 방법을 일반적인 프랙탈 영상 부호화 장치에 적용하면, 일반적인 프랙탈 역변환을 수행하는 횟수, 즉, 반복 변환 횟수(n)의 역수(즉, 1/n)배 만큼 복호 소요 시간을 단축시킬 수 있다. 또한, 제안된 방법은 한 번의 프랙탈 역변환만으로 영상을 복호해 내면서도 기존의 방법과 비교해 볼 때 성능이 저하되지 않음을 확인할 수 있었다.

한편 프랙탈 영상 압축 알고리즘의 성능을 높이기 위한 기존의 연구들이 블럭의 분류 방법이나 분할 방법을 새로 제안한 것과는 달리 본 논문에서는 정의역 블럭과 치역 블럭을 서로 다른 영상에서 생성하여 부호화할 뿐 블럭의 분할 방법 등은 어느 것이든지 상관없이 사용할 수 있다. Momo 등이 제안한 SAS 알고리즘을

제외한다면 제안된 방법에서 이용한 Fisher의 분류 방법이 외에도 대다수의 반복 변환 시스템을 이용하는 프랙탈 영상 코덱에 직접 응용할 수 있어 높은 활용도가 기대된다.

제안된 방법의 단점으로는 복호기에 코드북 영상을 사전에 저장하기 위한 한 장 분의 메모리가 필요하다는 점을 들 수 있다. 하지만 반도체 공정의 발달로 인한 메모리 가격의 하락으로 이 문제는 큰 비중을 차지하지 않으리라 생각된다. 제안한 알고리즘은 실험 결과 적절한 초기 영상의 선택이 부호기의 성능에 영향을 미치므로 대다수의 영상에 적절한 코드북 영상을 생성하는 알고리즘이 개발된다면 좀더 일반적인 시스템으로 구현할 수 있을 것이다.

한편 본 논문의 동영상 시뮬레이션 모델은 움직임 벡터에 기반한 프레임간 부호화 기법을 배제한 채 프레임 내 부호화 기법만을 사용한 것이기 때문에 실용성이 부족한 것임은 명백하다. 그러나 프레임간 부호화와 프레임내 부호화 모드를 모두 채택하고 있는 일반적인 동영상 코덱 모델을 가정할 때, 해당 코덱이 프레임내 부호화 기법으로 프랙탈 부호화를 사용한다면 제안된 복호 방법은 프레임내 부호화 모드에서 화질 열화를 초래하지 않으면서 복호 소요 시간을 반복 변환 횟수의 역수 배만큼 단축시킬 수 있는 하나의 대안이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] H. O. Peitgen, H. Jürgens, and D. Saupe, *Chaos and Fractals : New Frontiers of Science*, Springer-Verlag, New York, 1992.

[2] M. F. Barnsley, *Fractals Everywhere*, 2nd ed., Academic Press Professional, San Diego, 1993.

[3] M. F. Barnsley, *Fractal Image Compression*, AK Peters, Ltd., Wellesley, MA, 1993.

[4] M. F. Barnsley, V. Ervin, D. Hardin, and J. Lancaster, "Solution of an inverse problem for fractals and other sets", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 83, pp. 1975-1977, Apr. 1986.

[5] M. F. Barnsley and J. H. Elton, "A new class of markov processes for image encoding", *Advances in Applied Probability*, vol. 20, pp. 14-22, 1988.

[6] A. Gersho, "On the structure of vector quantization", *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. IT-28, pp. 157-166, Mar. 1982.

[7] A. E. Jacquin, *A Fractal Theory of Iterated Markov Operators with Applications to Digital Image Coding*, Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technology, Aug. 1989.

[8] A. E. Jacquin. "A novel fractal based block-coding technique for digital images", *Proceedings of the IEEE ICASSP'90*, vol. 4, pp. 2225-2228, 1990.

[9] D. M. Monro, F. Dudbridge, "Fractal approximation of image blocks", *Proceedings of the IEEE ICASSP'92*,

vol. 3, pp. 485-488, 1992.

[10] Y. Fisher(Eds.), *Fractal Image Compression : Theory and Application*, Springer-Verlag, 1995.

[11] 고성식, 김정화, "잡음의 정확한 추정 기반 프랙탈 차원 쿼드트리 영역분할과 응용", *전자공학회논문지(TE)*, 제 39권, 3호, pp. 35-41, 2002년 12월

[12] 정환익, 이광형, "고속 프랙탈 압축을 위해 탐색 중복성이 최소화된 신경회로망 기반의 블록분류기", *전자공학회논문지(TE)*, 제40권, 1호, pp. 42-49, 2003년 1월

[13] G. E. Oien, S. Lepsoy, "An inner product space approach to image coding by contractive transformations", *Proceedings of the IEEE ICASSP'93*, pp. 345-348, Apr. 1993.

[14] G. E. Oien, "Parameter quantization in fractal image coding", *Proceedings of the IEEE ICIP'94*, pp. 142-146, Nov. 1994.



곽 노 윤

1994년 한국항공대학교
항공전자공학과(공학사)
1996년 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과(공학석사)
2000년 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과(공학박사)

2000년 - 현재 천안대학교 정보통신학부 교수

2002년 - 현재 멀티미디어 기술사

관심분야 : 영상신호처리 및 압축, 멀티미디어 통신,
객체 기반 영상처리, 컴퓨터 비전 및
컴퓨터 그래픽스 응용, JPEG-2000,
MPEG-4/7/21, 영상 디스플레이 등