

웨이브릿 변환 영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축

배 성 호[†] · 한 동 석[†] · 박 길 흠[†]

요 약

높은 압축율을 가지는 동영상 압축 방법에 있어, 공간영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축 방법은 복원 영상의 블록화 현상이 두드러지는 단점이 있고, 웨이브릿 변환 영역에서의 동영상 압축 방법은 에지의 열화가 생기는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 높은 압축율에서도 에지가 선명하고 블록화 현상이 없는 웨이브릿 변환 영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 서로 다른 부대역간의 상관성을 이용하여 가변 블록 크기의 움직임 추정하고, 움직임 추정에 의하여 효과적으로 부호화되지 않는 웨이브릿 계수들은 저해상도 부대역에서 고해상도 부대역을 계층적으로 추정하는 프레임간 프랙탈 부호화한다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 프랙탈과 웨이브릿을 이용한 동영상 부호화 방법보다 더 좋은 성능을 나타냄을 보였다.

Fractal Video Coding in Wavelet Transform Domain

Sung Ho Bae[†] · Dong Suk Han[†] · Kil Houm Park[†]

ABSTRACT

In video coding at high compression rate, fractal compression schemes in spatial domain have outstanding blocking artifacts and compression schemes in wavelet transform domain have ringing artifacts at edges. In order to compensate these disadvantages, we propose a fractal video coding in wavelet transform domain which leads to clear edges without blocking artifacts even at high compression rate. The proposed method performs variable block sized motion estimation by using correlation among different subbands. Then the wavelet coefficients which are not encoded effectively by the motion estimation are compressed by inter-frame fractal coding which predicts fine scale subbands hierarchically from the next coarser scale subbands. Computer simulations with several test images sequences show that the proposed method shows better performance than the conventional video coding methods using fractal and wavelet.

1. 서 론

최근에 기존의 협대역 채널인 64 [Kbps] 이하의 전송률 즉, 공중 전화 교환망 및 이동 통신망을 통한 음성이나 문자, 그래픽, 영상등 멀티미디어의 수요가 증

가하고 있으며, 이를 충족시키기 위하여 MPEG-4[1] 등에서는 저전송률 전송을 위하여 프랙탈(fractal)과 웨이브릿을 이용한 동영상 압축 방법이 각기 독립적으로 연구되고 있다. 시간에 따라 변하는 동영상은 공간 상관성과 시간 상관성을 갖고 있어 효율적으로 많은 양의 데이터를 압축할 수 있고, 시간 상관계수가 공간 상관계수보다 훨씬 크기 때문에 시간 상관성을 이용하는 프레임간(inter-frame) 부호화가 효율적

[†] 정 회 원: 경북대학교 공과대학 전자공학과
논문접수: 1996년 1월 8일, 심사완료: 1997년 3월 18일

이다. 프레임간 부호화 방법은 시간 상관성을 이용하여 서로 다른 프레임간의 움직임을 추정하는 움직임 추정, 추정된 움직임 정보를 이용하여 움직임 보상된 프레임과 원 프레임간의 오차를 보상하는 움직임 보상 오차 부호화의 두 부분으로 구성된다. 일반적인 동영상 부호화 방법에서 움직임을 추정하는 과정은 이전 프레임의 탐색 영역에서 평가 함수가 최적인 위치를 구하여 현재 프레임의 움직임을 결정하는 BMA [2](block matching algorithm)를 사용한다.

영상에 존재하는 자기 유사성의 관계를 이용하여 두 영역간의 상관 관계를 반복 축소 변환의 계수로 기술하는 프랙탈을 이용한 동영상 압축 방법은 서로 다른 해상도간의 세부상을 잘 복원하는 프랙탈 이론의 특성으로 인하여 인간 시각에 민감한 에지 부분을 잘 복원하는 특성이 있다[3-5]. 또한 반복 축소 변환 계수로 표현된 영상은 부호화시 사용된 원영상보다 더 큰 해상도로 복원 가능하므로, 높은 압축율을 요구하는 초저속 전송을 해야 할 경우에, 현재 여러 동영상 압축 방법에서 널리 사용중인 DCT 기반의 압축 방법보다 인간의 시각 특성에 적합한 것으로 알려져 있다[6]. 그러나 이러한 방법은 영상을 블록 단위로 분할하여 부호화를 수행하는 방법이므로 높은 압축율을 얻어야 할 경우, 부호화할 블록의 크기를 크게 하여야 하므로 높은 압축율에서 복원영상에 블록화 현상이 두드러진다. 또한 부호화시 지역 블록과 가장 유사한 정의역 블록의 탐색 과정과 복호화시 축소 변환의 반복적인 적용에 소요되는 시간으로 인하여 동영상의 실시간 전송이 어려운 단점이 있다.

DWT(Discrete Wavelet Transform)에 기반한 영상 압축은 인간의 시각 특성에 적합하게 공간-주파수 영역인 다중해상도(multi-resolution)로 영상을 분할하여 에너지의 집중도가 높은 저해상도 부대역을 세밀하게 부호화하고 에너지의 집중도가 낮은 고해상도 부대역을 간략하게 부호화하여 높은 압축율에서도 블록화 현상이 없는 복원영상을 가진다[7]. 이러한 특성을 이용하여 블록 분할에 기반한 공간영역에서의 영상 압축의 단점인 복원영상의 블록화 현상을 감소시키기 위한 DWT 영역에서의 동영상 압축 방법이 활발히 연구되어지고 있다[8-10]. DWT 영역에서의 계층적 움직임 추정은 상위계층의 움직임 벡터를 초기 움직임으로 하여 하위계층의 미소 움직임 변위를 계

층적으로 추정하여 블록 정합 과정에서 계산량의 감소를 가져오며, 높은 압축율에서도 블록화 현상(blocking effect)이 발생하지 않으므로, 고압축의 영상 부호화가 가능하고 영상 정보의 점진적인 전송을 가능하게 한다[11, 12]. 그러나 이러한 방법은 최상위계층의 저주파 부대역에서의 움직임이 부정확하게 추정될 경우, 상위계층에서의 움직임 추정 오차가 다음 하위계층으로 계층적으로 파급되어 복원영상에 에지의 열화(ringing artifacts at edges)를 가져오는 단점이 있다. 또한 기존의 움직임 보상 오차를 VQ[13](vector quantization) 부호화하는 방법은 각 부대역별로 움직임 보상 오차 벡터에 대응되는 부호책의 인덱스를 전송해야하므로 움직임 보상오차 전송을 위한 비트량이 많이 요구되는 단점이 있다.

최근에 정지영상 분야에 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축 방법이 Rinaldo[14]와 Krupnik[15]에 의해 연구 발표되었다. Rinaldo는 부호화하고자 하는 부대역과 동일한 방향의 한 계층 높은 저해상도의 부대역을 정의역으로 사용하여 동일한 방향의 인접 부대역간의 프랙탈 근사화를 하였고, 프랙탈 근사화할 때 에지가 많은 블록들은 PVQ(pyramid vector quantizer)를 이용하여 부호화하는 하이브리드(hybrid) 부호화 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 부호화 방법은 수직, 수평, 대각 부대역 각각에 대하여 동일한 방향 성분을 갖는 인접 부대역간의 프랙탈 근사화를 저해상도의 고주파 부대역에서 프랙탈 근사화된 결과를 가지고 다음 고해상도의 고주파 부대역에 대한 프랙탈 부호화를 수행하는 방법이므로 부호화기의 구조가 복잡해지는 단점이 있다. Krupnik는 공간 영역에서 동일 위치에 대응되는 서로 다른 부대역간의 웨이브렛 계수들을 묶어 지역 블록과 정의역 블록으로 정의하여 프랙탈 부호화 함으로써, 공간 영역에서의 블록간의 주파수 특성에 대한 자기 유사성을 웨이브렛 변환 영역에서 고려하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 부호화시 서로 다른 부대역간의 웨이브렛 계수를 모두 고려하여, Rinaldo의 동일한 방향의 인접 부대역간에 계층적 프랙탈 부호화 방법보다 부호화기의 구조가 간단한 장점이 있다.

본 논문에서는 DWT와 프랙탈을 이용한 동영상 압축의 단점을 개선하기 위하여 정지영상에 사용된 DWT 영역에서의 프랙탈 영상 압축을 동영상 압축에 효율

적으로 적용시키는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 DWT 영역에서 최저해상도의 저주파 부대역에서의 가변 블록 크기로 추정된 움직임 벡터를 나머지 고주파 부대역에서의 움직임으로 설정하고, 움직임 보상 오차가 큰 블록에 대해서는 동영상 압축 부호화에 요구되는 간단성을 만족하는 Krupnik의 방법에 기반하여 프레임간 프랙탈 부호화하였다. 이러한 방법은 최저해상도의 저주파 부대역을 제외한 고주파 부대역들에 대해서는 반복 축소 변환 계수만으로 전송하므로, 기존의 DWT 영역에서의 동영상 압축에서 각 고주파 부대역의 움직임 보상 오차 전송에 필요한 비트량을 감소시키며, 공간영역에서의 동영상 압축에서 나타나는 블록화 현상을 제거시킨다. 또한 부호화시 DWT 영역의 작은 부분을 차지하는 최저해상도의 저주파 부대역에서만 움직임을 추정하고, 복호화시 고해상도의 웨이브릿 계수를 저해상도에서 계층적으로 근사화하여 프랙탈 복호화에 요구되는 축소 변환 함수를 반복적으로 적용하는 과정을 제거함으로써, 부호화와 복호화시 계산의 복잡성을 감소시킨다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 기존의 프랙탈을 이용한 동영상 압축을 살펴보고, 3장에서는 기존의 DWT 영역에서의 동영상 압축을 설명한다. 4장에서는 제안한 DWT 영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축을, 5장에서는 실험 결과를 통해 제안한 방법의 성능을 분석한 다음 결론을 맺는다.

2. 프랙탈을 이용한 동영상 압축

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

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

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 지역 블록 R_i 와의 유사성이 탐색된다[16]. 지역 블록 R_j 가 정의역 블록의 인덱스 $j(i)$ 와 스케일 인자 s_i 및

지역 블록의 DC인 $\overline{R_i}$ 의 매개변수들로 구성되어 있는 축소 변환 함수 W_j 에 의하여 정의역 블록에서 근사화되는 식은 아래와 같이 표현된다[17-19].

$$\hat{R}_i = W_j(D_j) = s_i \cdot (D_j - \overline{D_j}) + \overline{R_i} \quad (2)$$

여기서 \hat{R}_i 는 j 번째 정의역 블록 D_j 에서 근사화된 i 번째 지역 블록을 나타내며, $\overline{D_j}$ 는 정의역 블록의 DC를 나타낸다. R_i 와 \hat{R}_i 의 평균자승오차인 식 (3)을 최소화하는 축소 변환 함수 W_j 를 구하고, 이 때의 W_j 의 매개변수인 스케일 인자, 지역 블록의 DC, 정의역 블록의 인덱스를 IFS(iterated function system) code라 하며, 이러한 IFS code의 전송을 프랙탈 영상 압축이라 한다[16, 17].

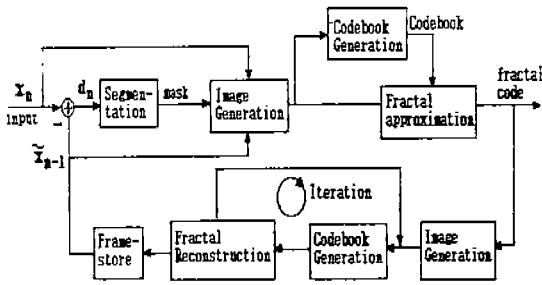
$$E(R_i, \hat{R}_i) = \frac{1}{B^2} \left[\sum_{l=1}^B \sum_{m=1}^B (R_i(l, m) - \hat{R}_i(l, m))^2 \right] \quad (3)$$

여기서 l, m 은 지역 블록의 화소 위치이다. 축소 변환 함수를 부호화시 반복적으로 임의의 영상에 적용함으로써 고정점인 복원영상을 얻을 수 있다.

최근에 정지영상에 사용되던 프랙탈 영상 압축을 동영상으로 확장시키기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있다[20, 21]. Hürtgen[21]은 (그림 1)에서와 같이 부호화할 현재 프레임 X_n 과 복원된 이전 프레임 \hat{X}_{n-1} 과의 오차 영상 d_n 을 블록 분할하여 오차가 크게 나타나는 블록을 프랙탈 부호화하는 방법을 제안하였다. Hürtgen의 방법은 움직임이 거의 없는 배경(background)과 움직임이 있는 전경(foreground)으로 구분하고, 전경에 대하여 쿼드트리에 기반한 가변 블록 크기의 지역 블록에 대해 정의역 블록을 현재 프레임에서 탐색하는 프레임내 프랙탈 부호화(intra-frame fractal encoding)를 수행한다. 이러한 방법은 높은 압축율에서도 인간 시각에 민감한 예지 부분을 잘 복원하는 프랙탈 영상 압축의 특성을 효율적으로 동영상에 확장하였으나, 블록 분할에 기반한 압축 방법의 대표적인 단점인 복원영상의 블록화 현상을 제거하지 못하였다. 또한 복호화시 고정점으로서의 수렴을 위한 축소 변환 함수의 반복적인 적용으로 복호화시 비교적 많은 계산량이 요구되는 단점이 있다. 그러므로 복원영상의 블록화 현상을 제거하고 복호화 시간을 단축시킬 수 있는 새로운 동영상 압축 방법이 필요하다.

3. 기존의 DWT 영역에서의 동영상 부호화

Zhang[8]은 DWT 영역으로 부대역 분할된 M 계층의 피라미드 영상에서 다른 부대역간의 움직임이 매우 높은 상관성을 가지게 되는 특성을 이용하여, 다중해상도 영상에서의 계층적 움직임 추정과 각 부대역에서의 움직임 보상 오차를 VQ 부호화하는 방법을 제안하였다. 최상위 계층인 M 계층의 저주파 부대역인 기저대역(base band)에서 BMA에 의해 추정된 움직임 벡터 D_{LLM} 을 초기 움직임으로 하여 나머지 고주파 부대역들의 미소 움직임 변위 ΔD_{ik} 를 계층적으로 추정하는 Zhang의 방법을 식 (4)에 나타내었으며, 영상을 2 계층의 DWT 영역으로 분할하였을 때의 계층적 움직임 추정을 (그림 2)에 나타내었다.



(그림 1) 프랙탈을 이용한 동영상 부호화기
(Fig. 1) Encoder of video sequence with fractal.

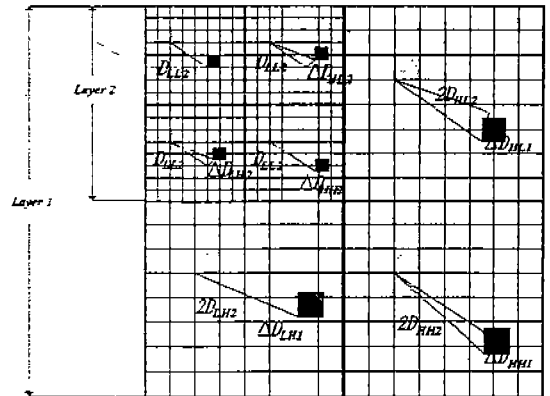
$$D_{iM} = D_{LLM} + \Delta D_{iM} \quad i = LH, HL, HH; k = M-1, \dots, 1$$

$$D_{ik} = 2 \cdot D_{i(k+1)} + \Delta D_{ik} \quad (4)$$

Zhang의 다중해상도 영상에서의 계층적 움직임 추정 방법은 기저대역에서 추정된 움직임을 기초로 하여, 하위계층에서의 미소 움직임 변위를 추정함으로써, 공간 영역에서의 전역 탐색 블록 정합에 필요한 계산의 복잡성을 감소시키는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 기저대역에서 초기 움직임의 추정이 잘못된 경우 하위계층에서의 작은 움직임 탐색 영역에 대한 미소 움직임 변위 보정이 초기 움직임의 추정 오차를 보상하지 못하여, 움직임 추정 오차가 상위계층에서 하위계층으로 파급되는 단점이 있다. 그러므로 현재

프레임과 이전 프레임에서 블록별로 움직임을 추정하여 보상된 프레임과의 차(difference)인 움직임 보상 오차의 전송이 필수적으로 요구된다.

그러므로 Zhang은 다중해상도 영상에서 각각의 부대역별로 움직임 보상 오차를 VQ하여 전송함으로써 복원영상의 화질을 개선시키는 방법을 제안하였다. Zhang의 방법에서 사용된 움직임 보상 오차의 VQ는 각 부대역마다 부호책의 크기인 k 개의 초기 양자화 벡터를 선택하여 원래의 벡터와의 왜곡이 최소가 되도록 양자화 벡터들을 개선시키는 반복 최적화 알고리즘인 LBG 알고리즘[13]을 사용하여 부호책을 설계하였다. 이러한 단일 부대역에서의 독립적인 부호책의 설계는 상위계층으로 갈수록 웨이브렛 계수 에너지의 집중으로 인한 상위계층의 움직임 보상 오차가 증가되는 특성을 이용하여, 상위계층으로 갈수록 부호책의 크기의 증가와 부호벡터의 차원을 작게 하고, 인간 시각에 민감한 수평, 수직 부대역에 부호책의 크기를 증가 시킴으로써, 비트량을 동적으로 할당할 수 있는 장점이 있다.



(그림 2) DWT 영역에서 다중해상도 움직임 추정 방법
(Fig. 2) Multi-resolution motion estimation in DWT domain.

그러나 Zhang의 움직임 보상 오차 부호화는 각 부대역에 대한 부호책의 저장공간이 필요하며, 부호화시 각 부대역의 부호책마다 가장 오차가 작은 부호벡터를 찾는 부호책 탐색의 계산량이 증대되는 단점이 있다. 또한 각 부대역의 부호책의 크기를 작게 하여 압축율을 높일 수 있는 반면에 복원영상에 에지의 열

화를 가져온다. 그러므로 높은 압축율과 예지가 선명한 복원영상을 가지면서도 부호화시 계산의 복잡성을 감소시킬 수 있는 새로운 동영상 압축 방법이 필요하다.

4. DWT 영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축

일반적으로 높은 압축율을 가지는 동영상 압축 방법에 있어, 공간영역에서의 프랙탈 동영상 압축 방법은 복원영상에 블록화 현상의 두드러지는 단점이 있고, DWT 영역에서의 동영상 압축 방법은 복원영상에서 예지의 열화가 생기는 단점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 높은 압축율에서도 예지의 열화와 블록화 현상이 없는 복원영상을 가지는 DWT 영역에서의 프랙탈 정지영상 압축을 동영상 압축으로 확장시키는 효율적인 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 DWT 영역의 기저대역에서 추정된 움직임은 나머지 고주파 부대역의 움직임으로 설정하여 부호화시 움직임 추정에 소요되는 계산의 복잡성과 비트량을 효율적으로 감소시킨다. 또한 기저대역에서 움직임 보상 오차가 큰 블록에 대해서는 상위계층의 고주파 부대역에서 하위계층의 고주파 부대역을 계층적으로 추정하는 프레임간 프랙탈 부호화를 적용하여 프랙탈 부호화시 필요한 축소 변환계수의 반복적인 적용이 없으므로 부호화시 계산의 복잡성을 감소시킨다. 이러한 방법은 복원영상의 블록화 현상을 제거하며, 기존의 DWT 영역에서의 동영상 압축에 요구되는 움직임 보상 오차 전송을 위해 각 부대역에서의 부호화의 인덱스를 전송하는 대신에 고휘상도의 고주파 부대역을 계층적으로 근사화하는 IFS code를 전송함으로써, 높은 압축율에서도 예지가 선명한 복원영상을 가져온다.

제안한 방법에서는 기저함수(basis function)를 중첩시킨 직교 웨이브릿 필터로 입력 동영상을 M 분할하여 영상의 다중해상도 표현인 DWT 영역으로 변환하고, 기저대역과 고주파 부대역을 각각 $R \times C$ 크기의 단위블록으로 분할한다. 그리고 k 계층의 고주파 부대역들은 $k+1$ 계층의 고주파 부대역보다 해상도가 가로, 세로 각각 2배씩 증가하므로 k 계층의 부대역들을 $2^{M-k} \cdot R \times 2^{M-k} \cdot C$ 크기의 블록으로 분할하여 모

든 부대역에서 분할된 블록의 개수를 동일하게 한다. 그러므로 DWT 영역의 k 계층에서 공간상에 j 번째 위치한 블록은 $k+1$ 계층의 동일한 방향성분을 가지는 부대역의 공간상의 $2 \cdot j$ 위치에 가로, 세로 2배 큰 블록과 동일한 공간영역을 가진다. 제안한 방법에서는 먼저 영상을 움직임이 있는 영역과 움직임이 없는 영역으로 나누기 위하여 현재 프레임의 기저대역의 부호화할 블록과 동일한 공간영역을 가지는 각 계층의 웨이브릿 계수와 이전 프레임의 같은 위치에 있는 웨이브릿 계수들간의 평균자승오차를 계산한다. 이 값이 정해진 임계치 이하인 블록들은 움직임이 없는 영역으로 분류하여, 이전 프레임의 동일 위치에 있는 블록을 복사하여 복원한다. 움직임 감지를 위해 계산된 평균자승오차가 임계치 이상인 움직임이 있는 영역에 대해서는 기저대역에서 부호화할 블록과 가장 평균자승오차가 작은 블록을 이전 프레임에서 찾는 BMA에 의해 기저대역에서의 움직임 벡터를 추정한다. 기저대역에서 추정된 움직임 벡터를 나머지 고주파 부대역들의 움직임으로 설정하여 나머지 고주파 부대역의 미소 움직임 변위의 추정은 식 (5)에서 나타낸 기저대역의 부호화할 블록에 대한 움직임 보상 오차 블록 에너지 E_{LLM} 이 크면, 나머지 고주파 부대역의 미소 움직임 변위의 움직임 보상 오차 에너지도 크게 되는 상관성을 이용한다.

$$E_{LLM} = \frac{\sum_{p=1}^R \sum_{q=1}^C (X(p, q, n) - \bar{X}(p, q, n-1))^2}{R \cdot C} \quad (5)$$

여기서 X 는 n 번째 프레임의 기저대역에서 원래의 단위블록을 나타내며, \bar{X} 는 $n-1$ 번째 프레임의 기저대역으로부터 움직임 보상된 후의 블록을 나타낸다. 제안한 방법에서는 E_{LLM} 이 임계치 미만인 기저대역의 부호화할 블록을 움직임 보상이 잘된 블록으로 분류하고 하위계층에서의 미소 움직임 변위 ΔD 를 "0"으로 설정하여 식 (6)과 같이 나머지 고주파 부대역에서의 움직임을 기저대역에서 추정된 움직임으로 사용한다.

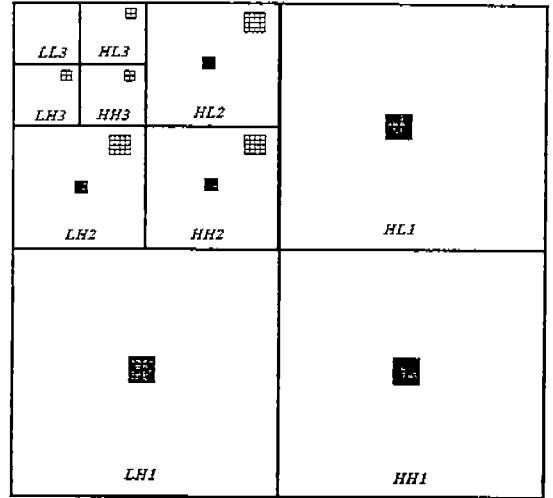
$$\begin{aligned} D_{iM} &= D_{LLM} \\ D_{ik} &= 2 \cdot D_{i(k+1)} \end{aligned} \quad i = LH, HL, HH; k = M-1, \dots, 1 \quad (6)$$

이러한 방법은 미소 움직임 변위의 전송에 필요한 비트량과 미소 움직임 변위의 추정에 소요되는 계산량을 감소시키며, 높은 압축율에서도 복원화질의 열화가 미소하다. 제안한 방법에서는 압축율에 따른 복원화질의 효율성을 높이기 위하여 E_{LLM} 이 큰 블록을 4등분하여 움직임 추정 블록의 크기를 작게하는 쿼드트리 분할 기법을 사용하고, 가변 블록 크기의 움직임 추정에 의한 움직임 보상으로도 E_{LLM} 이 정해진 임계치보다 큰 블록들은 프레임간 프랙탈 부호화를 수행한다. 이러한 방법은 비교적 움직임이 작은 블록은 가변 블록 크기의 움직임 추정으로 부호화하고 움직임이 큰 블록은 프랙탈 부호화함으로써 높은 압축율에서도 복원영상의 화질이 일정 수준을 나타낸다.

웨이브릿 변환시 임의의 영상에 저역통과 필터를 컨볼루션하여 2:1 축소(downsampling)한 결과는 공간영역의 프랙탈 부호화 방법에서 축소 연산자 S 를 적용한 결과와 유사하다[15]. 그러므로 DWT 영역에서 k 계층의 고주파 부대역을 치역 블록으로 하였을 때 $k+1$ 계층의 고주파 부대역은 정의역 블록이 된다. 이러한 관계는 다중해상도 영상에서 기저대역을 한번 더 분할하였을 때의 고주파 부대역의 웨이브릿 계수들을 최초의 정의역 집합으로 하여 상위계층의 고주파 부대역의 웨이브릿 계수를 근사화함으로써, 반복 축소 변환이 없는 계층적 부호화 과정을 수행할 수 있음을 나타낸다[22, 23]. DWT 영역에서의 치역 블록 R_i 와 정의역 블록 D_j 는 (그림 3)에서 공간영역의 동일한 블록에 대응되는 다른 부대역간의 웨이브릿 계수들을 묶은 블록이며, 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. DWT 영역에서 저주파와 고주파 부대역은 공간영역에서 각각 DC와 AC에 해당되므로, 2장의 식 (2)를 DWT 영역에 적용하면 가변 블록 크기의 움직임 추정에 두 단계의 쿼드트리 분할 기법을 사용하였을 때의 DWT 영역에서의 정의역 블록에서 치역 블록으로의 근사화는 식 (7)과 같이 표현되며 스케일 인자 s_i 는 식 (8)과 같다.

$$\hat{R}_i - \bar{R}_i = s_i \cdot (D_j - \bar{D}_j) \tag{7}$$

$$\hat{R}_i^H = s_i \cdot D_j^H \Rightarrow \hat{r}_i^p = s_i \cdot d_j^p, \quad \frac{R \cdot C}{4} + 1 \leq p \leq R \cdot C \cdot 2^M$$



(그림 3) DWT 영역에서의 정의역 블록과 치역 블록
(Fig. 3) Domain and range blocks in DWT domain.

$$s_i = \frac{\sum_p r_i^p \cdot d_j^p}{\sum_p (d_j^p)^2}, \quad \frac{R \cdot C}{4} + 1 \leq p \leq R \cdot C \cdot 2^M \tag{8}$$

여기서 \hat{R}_i^H 는 R_i 의 DC인 기저대역에서의 부호화할 블록의 웨이브릿 계수 $\{r_i^1, \dots, r_i^{\frac{R \cdot C}{4}}\}$ 를 제외한 R_i^H 의 근사화 값을 나타낸다. 그러므로 제안한 방법에서 프랙탈 부호화에 대한 IFS code는 R_i^H 와 \hat{R}_i^H 의 자승오차인 식 (9)를 최소화하는 스케일 인자, 정의역 블록의 인덱스, 기저대역의 웨이브릿 계수이다.

$$E(R_i^H, \hat{R}_i^H) = \sum_p (r_i^p - s_i \cdot d_j^p)^2, \quad \frac{R \cdot C}{4} + 1 \leq p \leq R \cdot C \cdot 2^M \tag{9}$$

제안한 방법에서 기저대역의 부호화 방법은 기저대역에서 추정된 움직임 벡터와 움직임 보상된 기저대역과 원래의 기저대역과의 움직임 보상 오차를 VQ하여 부호책의 인덱스를 전송한다. 기저대역에서의 움직임 보상 오차 벡터의 차원은 움직임 추정시의 블록 크기와 동일한 차원의 부호책으로 설계하였다. 제안한 DWT 영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 부호화 과정은 다음과 같다.

단계 1: 입력 동영상을 DWT를 이용하여 M 계층의 다중해상도 영상으로 분할한다. 그 결과, M 계층에서는 네 개의 부대역이 존재하고, $M-1$ 계층 이하에서는 각각 다른 방향성분을 갖는 세 개의 부대역이 존재하게 된다.

단계 2: 프랙탈 부호화할 블록을 위해 기저대역을 한 번 더 분할하여 $M+1$ 계층의 고주파 부대역의 웨이브릿 계수를 임시 버퍼(buffer)에 저장한다.

단계 3: M 계층의 부대역들을 $R \times C$ 크기의 일정 블록으로 분할하고 k 계층의 고주파 부대역들을 $2^{M-k} \cdot R \times 2^{M-k} \cdot C$ 크기의 블록으로 분할하여 모든 부대역에서 움직임 추정할 블록의 수를 동일하게 하여 움직임 유, 무를 판별한다.

단계 4: 움직임이 있는 영역에 대해서는 기저대역에서 가변 블록 크기의 움직임 추정을 수행하고, 기저대역에서 추정된 움직임을 나머지 고주파 부대역의 움직임으로 설정한다. 즉 k 계층에서의 움직임 변위는 $k+1$ 계층의 동일한 방향성분을 가지는 부대역에서 추정된 움직임을 2배한 벡터 공간으로 한다.

단계 5: 움직임 보상된 기저대역과 원래의 기저대역과의 움직임 보상 오차를 VQ하여 부호책의 인덱스를 전송한다.

단계 6: 기저대역에서의 움직임 보상 오차가 큰 블록과 동일한 공간영역을 가지는 웨이브릿 계수들에 대해서는 프레임간 프랙탈 부호화를 수행한다.

제안한 DWT 영역에서의 가변 블록 크기의 움직임 추정과 프랙탈 부호화는 부호화시 기저대역에서의 움직임을 나머지 고주파 부대역에서의 움직임으로 설정하고, 부호화시 축소 변환의 반복적인 적용을 제거하여 부호화와 복호화 시간을 감소시킨다. 제안한 방법은 기존의 DWT 영역에서의 동영상 압축 방법에서 각 고주파 부대역의 움직임 보상 오차 전송에 필요한 비트량, 부호책의 저장공간, 부호책의 탐색에 요구되는 계산량을 감소시킨다. 또한 각 고주파 부대역간의 상관성을 이용하여 저해상도에서 고해상도로의 계층적 프랙탈 근사화함으로써 블록화 현상이 없고

인간 시각에 민감한 에지를 잘 복원한다.

5. 실험 결과 및 고찰

제안된 방법의 성능 평가를 위하여, CIF(common intermediate format) 크기(352 pixels/line x 288 lines/frame)를 가지는 30 [Hz]의 256 명암도 값으로 양자화된 "Miss America"와 "Claire" 동영상을 실험에 사용하였다. 이때 동영상은 총 100 프레임 중에 0, 3, 6, ..., 99 프레임만으로 34 프레임을 이용하여 10 [Hz]의 실험 동영상이 되도록 하였다. 기저대역의 움직임 보상 오차 VQ에 사용된 훈련 동영상은 총 150 프레임의 "Miss America" 동영상에 대하여 0, 3, 6, ..., 147 프레임과 1, 4, 7, ..., 148 프레임 및 2, 5, 8, 149 프레임으로 3 분할하여 사용하였다. 제안한 방법에서는 영상의 다중해상도 표현을 위하여 Adelson의 9 tab QMF[24](quadrature mirror filter)를 사용하여 입력 동영상을 2 계층을 가지는 DWT 영역으로 변환하였으며, 기저대역의 가변 블록 크기의 움직임 추정에 대하여 4×4 와 2×2 , 두 단계의 쿼드트리 분할기법을 적용하였다. 그리고 기저대역의 움직임 보상 오차 전송에 대한 부호책의 크기는 4×4 블록에 대해서는 256으로 2×2 블록에 대해서는 128로 설계하고, 프레임간 프랙탈 부호화할 블록에 대해서는 정의역 블록을 치역 블록 부근의 16×16 으로 제한하여 탐색하였으며, 스케일 인자는 4 [bits]로 laplacian 스칼라 양자화하였다. 제안한 방법과 기존의 방법과의 성능 비교를 위하여 Zhang의 방법에 대하여 실험에 사용된 각 부대역에서의 움직임 탐색 영역, 부호책의 크기, 움직임 보상 오차에 대한 부호벡터의 차원을 <표 1>에 나타내었으며, Hürtgen의 방법은 가변 블록의 크기를 16×16 , 8×8 , 4×4 , 세 단계의 쿼드트리 분할기법을 적용하였다. 각각의 동영상 압축에 사용되는 임계치는 64 [Kbps]의 전송율을 가질 때의 값으로 설정하였다. 기존의 방법과 제안한 방법의 성능을 정량적으로 비교하기 위하여 원영상 X 와 복원영상 \hat{X} 사이의 객관적인 복원화질 비교로 사용되는 평균자승오차인 MSE를 이용한 식 (10)의 PSNR(peak-to-peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE(X, \hat{X})} \quad (10)$$

〈표 1〉 Zhang의 방법의 실험 환경

〈Table 1〉 Experimental environment of Zhang's method.

subband	LL2	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1
magnitude of codebook (conventional)	256	128	128	64	64	64	32
search region of motion vector	8×8	4×4			4×4		
dimension of codevector	4×4			8×8			

〈표 2〉 기존의 방법과 제안한 방법의 성능 비교.

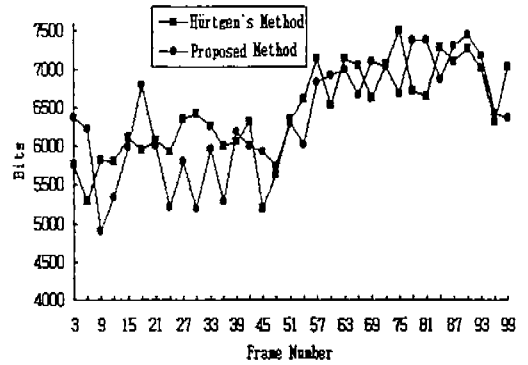
〈Table 2〉 Performance comparison of proposed method and conventional methods.

video image sequence		Miss America (inside)	Claire (outside)
proposed method	average PSNR [dB]	36.44	35.69
	average bits	6358	6359
Hürtgen's method	average PSNR [dB]	33.82	32.87
	average bits	6436	6452
Zhang's method	average PSNR [dB]	33.67	33.86
	average bits	6396	

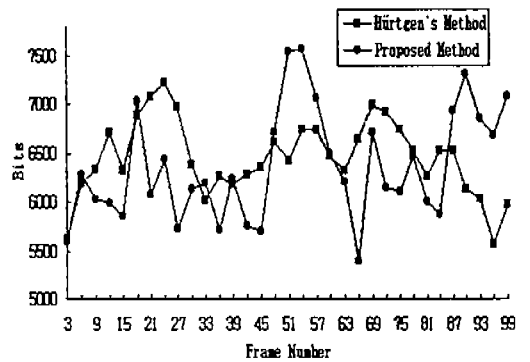
(그림 4 (a))와 (그림 5 (a))는 훈련 동영상인 "Miss America"와 (그림 4 (b))와 (그림 5 (b))는 비훈련 동영상인 "Claire"에 대해 제안한 방법과 기존의 방법에 대한 비트량과 PSNR의 실험 결과를 나타내었으며, 이에 따른 평균 비트량과 평균 PSNR을 〈표 2〉에 나타내었다. Zhang의 방법은 가변 블록 크기를 적용하지 않으므로 각 프레임당 전송 비트량이 6396 [bits]로 일정하다. (그림 4)와 (그림 5)의 결과로부터 움직임이 큰 "Miss America" 동영상상의 75~93번째 프레임과 "Claire" 동영상상의 48~63번째 프레임에 대해서 Zhang의 방법은 움직임 보상 오차의 파급을 보정하지 못하여 PSNR이 감소하는 반면에, 제안한 방법은 프레임 부호화할 블록을 증가시켜 일정한 PSNR을 유지한다. 또한 〈표 2〉의 결과로부터 제안한 방법이 에너지의 집중도가 높은 기저대역에 대해 움직임 보상 오차의 전송과 움직임 보상 오차가 큰 고주파 부대역에 대해서는 프레임간 프레임 부호화함으로써 기존의

방법보다 프레임당 평균 비트량은 작으면서도 높은 PSNR을 나타냄을 알 수 있다.

(그림 6)에서는 기존의 방법과 제안한 방법에 의하여 복원된 마지막 프레임의 결과영상을 나타내었다. (그림 6)의 결과영상에서 나타나듯이, Hürtgen의 방법은 복원영상에 블록화 현상이 나타나고 Zhang의 방법은 복원영상에 에지의 열화 현상을 가져오나, 제안한 방법에서는 인간 시각에 민감한 에지가 선명하게 복구되고 블록화 현상이 없는 복원영상을 나타냄을 알 수 있다. 실험을 통하여 제안한 방법이 압축율,



(a)



(b)

(그림 4) 제안한 방법과 기존의 방법의 프레임당 비트량
(a) "Miss America"의 프레임당 비트량
(b) "Claire"의 프레임당 비트량

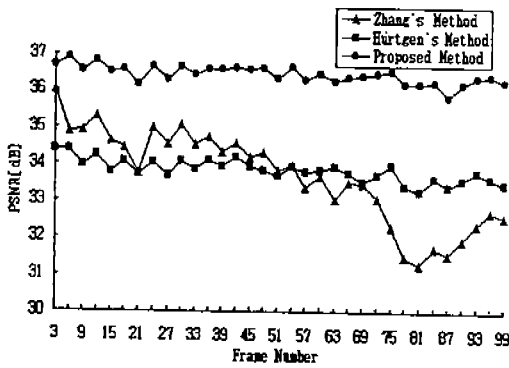
(Fig. 4) Bits per frame of proposed method and conventional methods.

(a) Bits per frame for "Miss America"

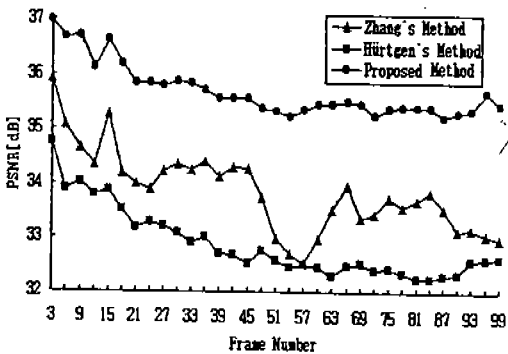
(b) Bits per frame for "Claire"

객관적 화질, 주관적 화질 모두 기존의 방법보다 우수한 결과를 나타내었다. 제안한 방법에서는 부호화할 인자들에 대해서 엔트로피 부호화를 하지 않았으므로, 이들에 대하여 엔트로피 부호화를 행하면 보다 나은 압축율을 얻을 수 있을 것이다.

그러나 제안한 방법은 움직임이 큰 동영상에 대해서는 프랙탈 부호화가 되는 블록들의 개수가 증가하여 프레임당 평균 비트량이 높아지므로, 이를 효율적으로 조정할 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다.



(a)

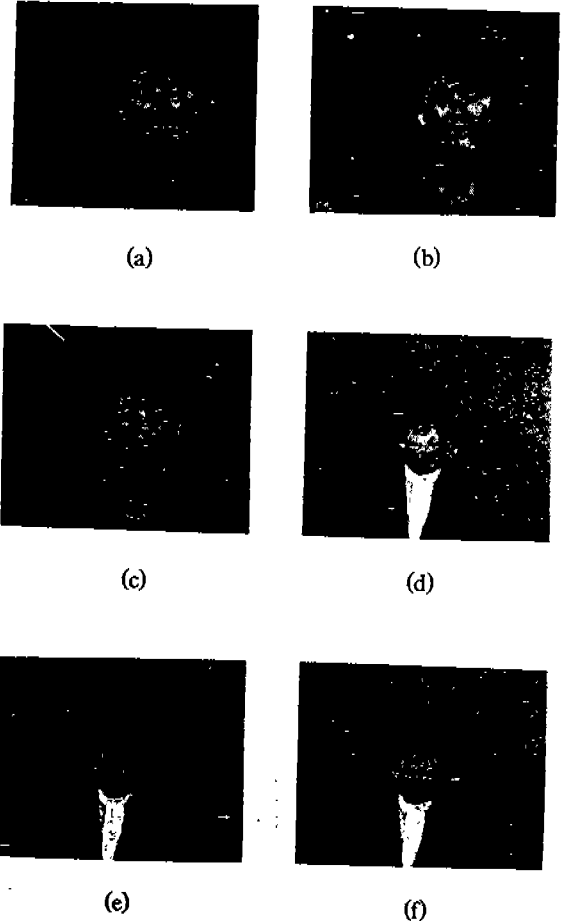


(b)

(그림 5) 제안한 방법과 기존의 방법의 프레임당 PSNR
(a) "Miss America"의 프레임당 PSNR
(b) "Claire"의 프레임당 PSNR

(Fig. 5) PSNR per frame of proposed method and conventional methods.

- (a) PSNR per frame for "Miss America"
- (b) PSNR per frame for "Claire"



(그림 6) 제안한 방법과 기존의 방법에 의한 99 번째 복원 영상 (a) 제안한 방법에 의한 "Miss America"의 복원영상 (b) Hürtgen의 방법에 의한 "Miss America"의 복원영상 (c) Zhang의 방법에 의한 "Miss America"의 복원영상 (d) 제안한 방법에 의한 "Claire"의 복원영상 (e) Hürtgen의 방법에 의한 "Claire"의 복원영상 (f) Zhang의 방법에 의한 "Claire"의 복원영상

(Fig. 6) 99th Reconstructed images by proposed method and conventional methods. (a) reconstructed image of "Miss America" by proposed method (b) reconstructed image of "Miss America" by Hürtgen's method (c) reconstructed image of "Miss America" by Zhang's method (d) reconstructed image of "Claire" by proposed method (e) reconstructed image of "Claire" by Hürtgen's method (f) reconstructed image of "Claire" by Zhang's method

6. 결 론

본 논문에서는 높은 압축율을 가지는 동영상 압축 방법에 있어 공간영역에서의 프랙탈을 이용한 동영상 압축 방법에서 나타나는 복원영상의 블록화 현상을 제거하고, DWT 영역에서의 동영상 압축 방법에서 나타나는 복원영상의 에지의 열화를 감소시키기 위하여 DWT 영역에서의 프랙탈 정지영상 압축을 동영상 압축으로 확장시키는 효율적인 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 DWT 영역에서 최저해상도의 저주파 부대역에서의 가변 블록 크기의 움직임 추정과, 움직임 보상 오차가 큰 블록에 대해서는 공간영역의 같은 위치에 있는 서로 다른 고주파 부대역간의 웨이브릿 계수들을 묶어 프레임간 프랙탈 부호화하였다. 이러한 방법은 높은 압축율에서 에지가 선명하고 블록화 현상이 없는 복원영상을 가지며, 기존의 방법보다 부호화와 복호화에 대한 계산의 복잡성을 감소시킨다.

참 고 문 헌

[1] 'Now Work Item Proposal(NP) for Very-Low Bit-rate Audio-Visual Coding', ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 DOC.92/700, Nov. 1992.

[2] M. Sezen and L. Lagendijk, 'Motion Analysis and Image Sequence Processing', Kluwer Academic Publishers, 1993.

[3] M. F. Barnsley, 'Fractals Everywhere', Academic Press, 1988.

[4] H. O. Peitgen and D. Saupe, 'The Science of Fractal Images', New York:Springer Verlag, 1988.

[5] H. O. Peitgen, H. Jürgen, and D. Saupe, 'Chaos and Fractals', New York:Springer Verlag, 1992.

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

[7] 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.

[8] Y. Zhang and S. Zafar, "Motion-compensated

wavelet transform coding for color video compression," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, no. 3, pp. 285-296, Sept. 1992.

[9] J. Katto, J. Ohki, S. Nogaki, and M. Ohta, "A wavelet codec with overlapped motion compensation for very low bit-rate environment," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 4, no. 3, pp. 328-338, June 1994.

[10] R. Dyck and S. Rajala, "Subband/VQ coding of color images with perceptually optimal bit allocation," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 4, no. 1, pp. 68-82, Feb. 1994.

[11] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. on PAMI, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.

[12] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. on Image Proc., vol. 1, no. 2, pp. 205-220, April 1992.

[13] Gersho and Gray, 'VECTOR QUANTIZATION AND SIGNAL COMPRESSION', Kluwer Academic Publishers, 1992.

[14] R. Rinaldo and G. Calvagno, "Image Coding by Block Prediction of Multiresolution Subimages," IEEE Trans. Image Process., vol. 4, No. 7, pp. 909-920, July 1995.

[15] 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.

[16] A. E. Jacquin, "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transforms," IEEE Trans. Image Process., vol. 1, No. 1, pp. 18-30, Jan. 1992.

[17] A. E. Jacquin, "Fractal Image Coding:A Review," Proc. of the IEEE, vol. 81, No. 10, pp. 1451-1464, 1993.

[18] S. Lepsoy, G. E. Oien, and A. Ramstad, "Attractor image compression with a fast noniterative decoding algorithm," in Proc. Int. Conf. Acoust.,

Speech, Signal Processing '93, vol. 5, pp. 337-340, Minneapolis, Minnesota, Apr. 1993.

[19] G. E. Oien, S. Lepsoy "Fractal Based Image Coding with fast Decoder Convergence," Signal Processing, No 40, pp. 105-117, 1994.

[20] M. S. Lazar and L. T. Bruton, "Faratal Block Coding of Digital Video," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 4, no. 3, pp. 297-308, June 1994.

[21] Bernd H rtgen and Peter B ttgen, "Fractal approach to low rate video coding," in Proceedings SPIE, vol. 2094, pp. 120-131, 1996.

[22] 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.

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

[24] Markus Grosß, 'Visual Computing', Springer-Verlag, New York, p. 160, 1994.



배 성 호

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(학사)
 1993년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
 1993년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전



한 동 석

1987년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1989년~1996년 삼성전자(주) 기술 총괄 신호처리연구소 선임연구원
 1996년~현재 경북대학교 전자 전기 공학부 전임강사
 관심분야: 디지털 통신 시스템, 디지털 신호처리, 컴퓨터 이론



박 길 흙

1982년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
 1984년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

공학박사
 1984년 3월~현재 경북대학교 전자전기 공학부 부교수
 관심분야: 영상신호처리, 컴퓨터 그래픽스