

제로 트리를 이용한 웨이블릿 영상 부호화

지연숙*, 정회원 변혜란*, 유지상**

Wavelet Based Image Coding Using Zerotree

YeonSook Chi*, Hyeran Byun*, Jisang Yoo** *Regular Members*

요약

새로운 변환 방식으로 최근 많이 사용하고 있는 웨이블릿 변환은 영상을 시간(위치 정보)과 주파수 공간(주파수 정보)에서 동시에 표현함으로써 다른 변환 방식과는 큰 차이를 보여준다. 이런 웨이블릿 변환의 통계적 특성을 이용한 제로트리 부호화 기법은 영상 전체에서 의미 있는 영상 계수를 선별하여 약속된 우선 순위대로 부호화 함으로써 매입 파일(embedded file)을 생성한다.

본 논문에서는 압축율이 큰 경우 제로 트리 부호화 과정 중 불확실 구간에서 발생하는 오차를 측정하여 최적의 오차 코드북을 생성한 후 복원시 참조함으로써 결과의 향상을 보이고자 하였다. 오차 교정은 제로트리 부호화 과정에서 손실되기 쉬운 고주파수 밴드에 적용하여 복원시 영상의 자세한 성분을 살리는데 효과적이었다. JPEG과 DCT기반 영상압축 결과에 비하여 화질에서 더 좋은 성분을 보일 뿐 아니라 고압축 복원시 발생하는 DCT 특유의 블록화 현상도 제거되었다.

ABSTRACT

Recently, wavelet transform can represent an image in the time and frequency domain at the same time unlikely any other transform method. The zero coding method we adopt in this paper use the statistical pattern of the wavelet transformed image. This method selects the significant coefficients of the transformed image and code in the priority order then produce an embedded file.

In this paper, the errors between the original and the reconstructed image are measured using the uncertainty interval during the coding process, and produce an optimal error codebook. The performance is improved when the codebook is referred to use in decompression. The error correction is very effective to recover high frequency of the image. The quality of image is improved compared to DCT based method and also the blocking effect is removed.

I. 서론

영상압축 기술은 고화질, 고압축으로 인한 빠른 전송을 가능하게 할 뿐 아니라 저장 미디어로서의 중요성도 동시에 지니고있다. 기존의 영상 압축 기법에서 주로 사용 되어온 DCT(discrete cosine transform) 변환은 영상을 일정한 크기의 블록으로 잘라 변환하기 때문에 압축 율이 높아지게 되면 블

록화 현상을 보이게 되고 영상의 질이 현저하게 저하되는 결과를 가져온다^[1]. DCT변환을 기반으로 사용하는 JPEG은 변환 자체가 가지는 결점을 극복하지 못하고 있다.

웨이블릿 변환을 기반으로 한 영상 압축 기법은 시간과 주파수 영역에서 동시에 정확한 위치 정보와 주파수 정보를 표현함으로써 영상압축을 위한 편리한 영상의 계층적 구조를 제공한다^[2,3,4].

* 연세대학교 기계전자공학부(hrbyun@aipiri.yonsei.ac.kr)

** 광운대학교 전자공학과 디지털미디어 연구실(jsyoo@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 00361-0915, 접수일자 : 2000년 9월 15일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(98-0701-02-01-3) 지원으로 수행되었음.

웨이블릿 변환은 이미 영상 분석을 위한 유용한 도구로 사용되고 있으며 JPEG-2000에서도 웨이블릿 변환을 기반으로 한 압축 기법이 새로운 국제표준으로 채택될 전망이다. 미국 NASA에서는 우주탐사 계획의 일환으로 위성으로부터 전송되는 영상을 보급, 관리하기 위하여 영상의 효율적인 전송과 복원 시간의 단축을 목표로 웨이블릿 기반의 영상압축 과제를 수행하였고, 미국 FBI(Federal Bureau of Investigation) 와 NIST(National Institute for Standards and Technology)와의 공동연구로 디지털화된 지문 영상을 웨이블릿을 사용하여 압축하기 위한 표준을 개발하기도 하였다.

웨이블릿 기반 영상압축 기법은 다양하고 복잡한 블록간의 연관성 모델에 기반하여 제시되어 왔다. 그 대표적인 방법중의 하나가 벡터 양자화 방법이다⁵⁾. 이러한 접근 방법들의 성능은 양자화 전략 즉, 밴드간의 최적 비트의 할당, 최적의 비희일 스킴과 양자화 등을 주의 깊게 고려하여 설계되었다. 최근 웨이블릿 영상 계수를 효과적으로 부호화 하기 위한 제로트리 기법은 매입 파일(embedded file)을 생성함으로써 향상된 결과를 보였다⁶⁾.

어떤 변환 기법을 사용하더라도 일반적인 영상 압축은 3단계를 거쳐 압축된 형태의 파일을 생성한다. 첫 단계로써, 웨이블릿 변환은 샘플간의 상관관계를 제거함으로써 영상 정보 압축을 위한 효과적인 구조를 제공한다. 변환후의 영상 정보는 무손실이며 양자화 과정에서 모든 중요하지 않은 영상 정보를 가능한 줄여 마지막 단계인 엔트로피 부호화 과정에서 무손실로 부호화 하는 과정으로 크게 분류된다. 엔트로피 과정은 전체 영상 압축율에 크게 기여하지 못하는 반면, 양자화 과정은 고 압축을 위한 중요한 과정이다. 본 논문은 변환후의 영상 계수에 대한 양자화 설계에 중점을 두었으며 제로트리, 벡터 양자화 기법을 도입하여 변환 영상의 통계적 특성에 따라 적용함으로써 고 압축에서 고품질의 영상을 복원하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 웨이블릿 변환 및 제로트리 알고리즘의 개요와 벡터 양자화에 대하여 설명하였으며 3장에서는 본 논문이 제안하는 부호화 방법의 전체적인 구성과 구체적인 방법을 설명하였고 4장에서는 실험 결과 및 이에 대한 분석을 기술하고 5장에서 본 연구에 대한 결론과 향후 연구계획 등에 대해 서술하고 있다.

II. 웨이블릿 기반 압축 기법

2.1 웨이블릿 변환

모든 임의의 신호는 다음과 같은 급수의 형태로 표현될 수 있다.

$$f(t) = \sum_i a_i \phi_i(t)$$

여기서 t 은 한계 혹은 무한계 합을 위한 정수 인덱스이고, a_i 은 실수 계수이며 $\phi_i(t)$ 은 실수 값을 갖는 함수의 집합이며 이 함수가 급수를 표현하는 특정한 함수이면 기저함수(basis function)라 한다. 만일 기저함수가 아래와 같은 조건을 만족시키면 정규직교기저라고 한다.

$$\langle \phi_k(t), \phi_l(t) \rangle = \int \phi_k(t) \phi_l(t) dt = 0 \quad k \neq l$$

기저가 정규직교기저이면 계수는 다음과 같이 내적에 의하여 쉽게 구할 수 있다.

$$a_k = \langle f(t), \phi_k(t) \rangle = \int f(t) \phi_k(t) dt$$

웨이블릿 전개에서는 다음과 같은 형태의 두개의 파라미터를 갖는다.

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k} \phi_{j,k}(t) \tag{1}$$

여기서 $\phi_{j,k}(t)$ 는 웨이블릿 전개함수이고, 계수들의 집합인 $a_{j,k}$ 를 이산 웨이블릿 변환이라 한다. 따라서 식 (1)의 $f(t)$ 는 역 변환이 된다. 웨이블릿 변환은 2-D 영상을 일련의 신호로 보고 영상 신호를 해석하는 유용한 도구로 사용되고있다. 그 중요한 이유 및 웨이블릿이 가지는 특성은 다음과 같다⁴⁾.

- 2차원 파라미터는 다음의 모웨이블릿(mother wavelet)에 의해서 얻어진다.

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \phi(2^j t - k) \quad j, k \in Z \tag{2}$$

시간 혹은 공간적 위치정보를 나타내는 k 와 주파수를 나타내는 j 는 영상을 두 가지 해석 기준으로 표현하는데 유용하다.

- 거의 모든 웨이블릿 전개는 다해상도(multiresolution) 조건을 만족시킨다. 어떤 신호들의 집합이 $\phi(t-k)$ 의 합으로 표현된다면 그 신호를 포함하는 집합은 $\phi(2t-k)$ 의 선형 결합으로 표현할 수 있다. 즉 기본 전개 신호는 더 큰 집

합의 신호들을 근사할 수 있다

- 저해상도의 계수는 고해상도의 계수들로부터 계산할 수 있다. 이는 전개한 신호들의 계수를 계산하는데 유용하다^[7].

2.2 제로트리 코딩

Shapiro가 제안한 제로 트리 부호화는 스케일에 따른 중요 계수(significant coefficient)의 부재를 예측할 수 있는 알고리즘이다^[6].

제로트리는 웨이블릿 변환된 2-D 영상 계수들의 통계적 특성을 고려하여 고안해낸 방법으로 기존의 다른 기법들에 비해서 좋은 수행 결과를 보였다. 제로 트리 기법의 특징은 예측 가능한 계수들을 한꺼번에 구조적 심볼로 부호화 함으로써 합축적 부호화가 가능하다는 것이다.

또한 매입 파일(embedded file)을 생성함으로써 압축 비율 조절이 용이하다는 큰 장점이 있다. 기존의 JPEG은 영상을 quality factor 로 전체 영상의 압축 비율을 조절하였다. 따라서 정확하게 원하는 압축율의 영상을 얻는데 어려움이 있었다. 벡터 양자화를 이용하는 압축 방법에서도 압축 비율을 조절하기 위한 비트 할당 모듈을 사용하여 목표 압축율에 맞추어 각 밴드에 적당한 비트를 할당한다. 이를 위한 최적의 비트 할당(optimal bit allocation) 알고리즘도 소개가 되었다^[8].

제로트리 부호화를 위한 가장 중요한 전제 조건은 웨이블릿 변환 영상 계수들의 통계적 패턴으로부터 비롯된다. 저주파수 부분으로 갈수록 웨이블릿 계수들의 크기는 커지고 계수들간의 변화폭도 크다. 반면, 수직 수평 고 주파수 부분으로 갈수록 웨이블릿 계수들의 크기가 작아지고 변화폭도 0을 중심으로 작아진다. 위에 해당하는 주파수 부분을 coarser 스케일이라 하고 아래의 경우를 finer 스케일이라 한다. 제로 트리 부호화를 위한 전제는 이런 통계적 특성을 기반으로 한다. 전제는 다음과 같다.

- Coarser 스케일에서 계수가 어떤 임계값에 대하여 중요한 의미를 갖지 않으면 finer 스케일의 같은 방향성, 같은 위치의 모든 계수들도 같은 임계값에 대하여 중요한 의미를 갖지 않는다.

제로트리는 Parent-Child 관계로 구성되어 있는데 정의는 다음과 같다

- Parent : Coarser 스케일의 계수
- Children : 다음 finer 스케일에서, 같은 방향, 같은 위치에 해당하는 모든 계수들

그림 1은 레벨 3으로 분할한 영상에서 Parent-

Children 관계를 나타내었다. 작은 박스가 픽셀값이라고 할 때 finer 스케일로 내려갈수록 데이터의 수가 정확히 4배씩 증가한다. 점선 안의 연결된 구조를 트리 구조라 하고 Parent 노드에서 트리 구조의 루트를 발견하게 되면 그에 해당하는 Children 노드들은 구조적으로 예측이 가능하게 된다.

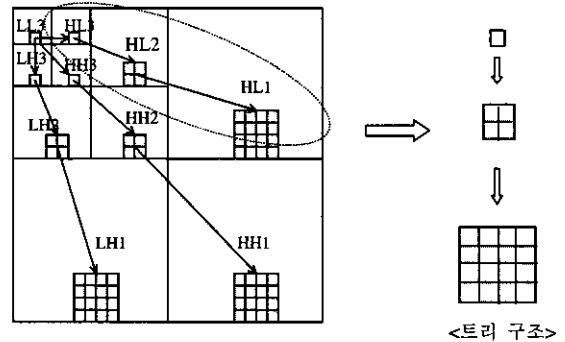


그림 1. 변환 영상에서의 트리구조

부호화는 크게 두 가지 단계를 거친다. 첫 단계는 임계값을 기준으로 중요한 계수(significant coefficient)를 가려내는 Dominant Pass 이고 두 번째 단계는 계수의 크기에 따른 중요도 순서로 정렬하는 Subordinates Pass 단계이다. 실제 부호화를 위해서는 미리 약속된 영상의 심볼들이 필요하다.

이 중에서 영상 전체에서 의미 있는 계수로서 인정하는 계수는 POS(Positive Coefficient) 와 NEG(Negative Coefficient)의 심볼을 가진 계수로서 부호화를 실시한다. 나머지 심볼들은 어떤 임계값에 대하여 영상전체에서 의미 없는 계수로 판정하여 '0'으로 양자화 한다. 다음 반복에서 임계값이 반으로 줄어들게 되면 의미 없던 계수들만을 후보로 중요 계수와 중요하지 않은 계수로 다시 선별을 한다. 따라서 처음 임계값에 대하여 의미 없던 계수들도 반복이 진행됨에 따라 의미 있는 계수로서 부호화 된다. 계수의 선별 작업은 Dominant Pass 에서 수행된다.

임의의 초기 임계값은 전체 웨이블릿 계수 및 가장 저 주파수 밴드의 계수만을 후보로 한다 모든 웨이블릿 변환 계수 x_i 에 대하여 $|X_i| < 2 T_0$ 으로 계산된다. 또한, 각 반복 마다 임계값은 $T_i = T_{i-1}/2$ 으로 정의한다.

부호화를 위하여 사용할 심볼들과 중요도를 판단할 임계값이 정의되었으면, 구체적으로 어떤 과정을 거쳐 영상 심볼을 결정하게 되는지 살펴 보자. 웨이

블릿 계수를 입력받게 되면 정의된 입력값을 기준으로 전체 영상에서 의미 있는 계수인지를 판정하게 된다. 이때 계수의 크기가 임계값인 T_i 보다 크면 계수의 +/- 부호에 관계없이 중요한 계수로서 부호화를 한다. 이때 계수가 양수이면 POS로 음수이면 NEG로 부호화 한다.

의미 없는 계수로 판정된 계수들은 제로 트리 루트(zerotree root)로부터 온 계수인지를 확인한다. 즉 계수가 제로 트리 구조에 속해있는 계수인지를 확인한다. 제로 트리 루트의 위치를 알게 되면 그에 해당하는 트리 구조 전체가 '0' 으로 쉽게 양자화 그리고 합축적 부호화가 가능함으로 이런 심볼을 가진 계수는 부호화하지 않는다. 이 부분이 압축율을 높일 수 있는 제로트리가 가진 특징이라 할 수 있다.

트리 구조에 속한 계수가 아니면서 임계 값보다 작은 계수 중에 따로 분류해야 하는 계수가 있다. IZT(Isolated Zerotree)는 다음 finer 스케일에서 같은 방향, 같은 위치에 해당하는 위치에 계수 중 하나가 현재의 임계값보다 큰 계수가 존재할 경우는 IZT로 부호화 한다. 이런 특성을 가진 계수를 따로 분류하는 이유로는 현재의 Parent 계수가 의미가 없다 할지라도 다음 반복에서 그 계수에 해당하는 Children이 중요한 의미를 가진 계수일 수 있다는 것이다. 이는 제로 트리 부호화의 전제 조건에 위배되는 경우이지만 부호화에서는 이런 점도 고려되었다는 사실에 주목할 필요가 있다.

전제는 웨이블릿 변환 계수들의 일반적인 통계적 패턴의 특징을 대변하고 있을 뿐 예외인 경우도 상당 존재한다는 의미이다. 실제 웨이블릿 영상 계수들은 이런 예외인 경우가 많은 것으로 실험적으로 알 수 있다. 위에서 이미 열거한 네 가지의 경우를 제외하면 나머지는 ZTR(Zerotree Root) 제로 트리 루트로 부호화 한다. ZTR 심볼은 각 해당 계수들의 위치 정보 없이도 합축적으로 트리구조 전체의 계수를 부호화 할 수 있다. 제로 트리 부호화의 결과로 얻어진 압축 파일은 매입 파일(embedded file)의 구조를 갖는다.

Dominant Pass에서 각 반복을 거쳐 선별된 의미 있는 계수들은 Subordinate Pass에서 다시 한번 정렬된다. 각 반복마다 Subordinate Pass에서 정렬되는 기준은 다음과 같다.

- Coarser 스케일 일수록 우선적으로 정렬한다.
- 같은 스케일이면 계수의 크기가 큰 것을 우선적으로 정렬한다

따라서 계수의 크기가 작은 경우라도 coarser 스케일에서 중요한 의미를 가진 계수로 매입 파일에 우선적으로 부호화될 수 있다.

2.3 벡터 양자화

최근까지 벡터 양자화는 영상 데이터를 양자화하는 기법으로 널리 사용되어져 왔으며 복원된 영상의 화질이 다른 양자화 방법에 비하여 비교적 우수한 것으로 알려져 있다^[5]. 벡터 양자화의 특징으로는 압축 파일 생성과는 별도로 코드북(codebook)이라는 다른 형태의 파일을 추가 생성한다는 것이다. 여러 범용 영상에 적용될 수 있는 공동 코드북(global codebook)은 오버헤드가 적지만 복원 영상의 질이 떨어지고 한 영상에 국한하여 사용되는 지역적 코드북(local codebook)은 영상의 종류마다 각기 다른 코드북을 생성해야 하는 단점이 있다. 일반적으로 벡터 양자화 과정은 다음과 같은 단계를 따른다.

1. 영상 벡터의 생성
2. 코드북의 벡터와 비교
3. Minimum Distortion Rule을 사용하여 벡터 선택
4. 선택된 벡터의 인덱스를 부호화

벡터 양자화에서 가장 일반적으로 사용하는 최소 왜곡법칙(minimum distortion rule)은 두 벡터간의 오차값을 최소화 하는 MSE(mean square error) 측정이다. MSE는 다음과 같이 정의된다.

$$d(X, \hat{X}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2$$

MSE를 사용하여 선택된 벡터의 인덱스(index) k 는 코드 벡터가 $\hat{X}_i, i=1, \dots, N_c$ 일 때, $\log_2 N_c$ 만큼의 비트를 사용하여 부호화 된다. 그림 2는 벡터 양자화의 시스템 흐름도이다.

코드북은 영상 벡터들의 학습된 집합을 말한다. 영상의 대표벡터들은 그에 해당하는 인덱스를 가지고 있으며 부호화를 위하여 해당 인덱스가 사용된다. 역 부호화 시에도 인덱스에 해당하는 대표 벡터를 참조하기 위하여 사용된다. 부호화를 위하여 생성되고 참조되는 파일을 코드북(codebook)이라 한다. 코드북의 크기는 영상벡터의 크기에 따라 각기 다른 길이를 가질 수 있다. 벡터의 크기가 작으면 영상 벡터의 수가 많아지고 또한 영상의 대표벡터도 보다 정확하게 찾을 수 있다.

작은 벡터 크기로는 주로 2x2 크기를 사용하는

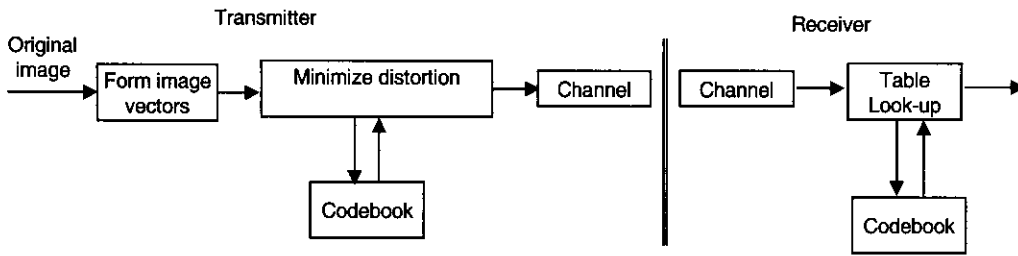


그림 2. 벡터 양자화 구성도

데 이런 경우 영상 복원시 화질이 상당히 좋다. 벡터의 크기가 커지면 어떤 영상의 대표 벡터를 계산하는 계산 량이 많아지게 된다.

다행히 가장 근사한 대표 벡터를 계산하는 경우에는 시간도 적게 걸릴 뿐 아니라 큰 크기의 영상 벡터를 하나의 인덱스로 표현해주기 때문에 압축효과는 있지만 근사한 대표 벡터를 찾는 시간도 비교적 길 뿐 아니라 근사값이 원래의 벡터값과는 많은 차이를 가지고 있음으로 복원 영상의 화질이 떨어지는 결과를 가져오게 된다.

다음 그림 3은 코드북 개념을 도식화한 것이다.

결국 벡터 양자화에서 최상의 영상을 목표 압축 비율로 복원하기 위한 관건은 최적의 코드북 생성에 달려 있다. 코드북의 대표 벡터들의 학습된 정도가 최적이면 주어진 코드북 크기와 벡터의 크기로 효과적인 양자화를 수행할 수 있다. 벡터 양자화에서 가장 널리 사용되어온 최적 코드북 생성 알고리즘으로는 LBG(Linde-Buzo-Gray)^[9]가 있다. LBG는 임의의 초기 코드북으로 시작하여 최소왜곡법칙을 사용하여 이미 정의된 허용 범위를 반복적으로 계산한다. 허용 범위 안에 있는 벡터를 발견하면 코드북을 갱신한다. 다음은 구체적인 LBG 알고리즘이다^[9].

1. 임의의 초기 복원값 $\{Y_i^{(0)}\}_{i=0}^M$ 와 학습된 벡터들의 집합 $\{X_n\}_{n=1}^M$ 로 시작한다. 이때 인덱스와 임의의 왜곡값을 $k=0$, $D^{(0)}=0$ 이고, 임계값 ϵ 를 설정한다.

2. 양자화 범위 $\{V_i^{(k)}\}_{i=1}^M$ 가 다음에 의하여 주어진다. 학습된 벡터와의 왜곡이 작은 것을 선택한다. $V_i^{(k)} = \{X_n : d(X_n, Y_i) < d(X_n, Y_j) \forall j \neq i\} \quad i=1, 2, \dots, M$
3. 학습된 벡터와 복원 값 사이의 평균 왜곡 $D^{(k)}$ 를 구한다.
4. 만약 $\frac{D^{(k)} - D^{(k-1)}}{D^{(k)}} < \epsilon$ (임계값) 이면 종료, 그렇지 않으면 반복한다.
5. 인덱스 $k=k+1$ 이고, 새로운 복원 값 즉, 각각의 양자화 범위 $\{Y_i^{(k)}\}_{i=1}^M$ 에 있는 원소 평균값을 구하고 2단계로 간다.

III. 제안 방법

본 논문에서 구현한 정지 영상 압축 시스템은 두 가지 서로 다른 양자화 기법을 도입하여 2-D 웨이블릿 변환 영상의 통계적 특성에 따라 두 가지 양자화를 적절히 적용하였다. 제로트리의 효과적인 한축 부호화를 통하여 영상의 중요 계수를 효과적으로 부호화하였을 뿐 아니라 제로트리에서 손실하기 쉬운 영상의 자세한 성분(에지 성분) 즉, 고 주파수 밴드에서 발생하는 오차만을 벡터 양자화 하여 오차를 교정하였다.

3.1 불확실 구간

제로트리의 부호화 과정은 각 반복마다 임계값을

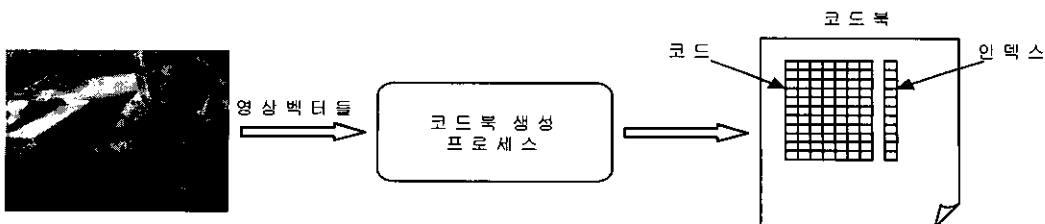


그림 3. 코드북 생성과정

반씩 줄여 나감으로써 불확실 구간을 임계값의 넓이 만큼 줄일 수 있다. 그러나 어느 정도로 임계값이 낮아지면 부호화 해야 하는 웨이블릿 계수가 갑자기 늘어난다. 제로 트리 적용 후 계산된 오차 값들은 일정 범위를 넘지 않거나 마지막 임계값 이하의 값들로만 구성되어 있기 때문에 작은 크기의 코드북 크기로도 오차 교정을 위하여 충분하다.

불확실 구간의 설정은 Subordinate Pass 에서 계수 정렬시에 복원 값을 계산해 주기위하여 불확실 구간이 계산된다. Dominant Pass에서 반복의 수가 적을 경우에는 불확실 구간이 넓으므로 원래의 계수값과 불확실 구간에서 얻어진 복원 값의 차이도 크다. 따라서 원 영상과 화질 차이가 많이 발생한다. 한편, 반복의 수가 많아지는 경우에는 불확실 구간이 줄어들고 복원 값의 정확도가 높아진다. 불확실구간이 어떻게 각 반복마다 계산되는지를 그림 4에서 보여준다.

영상 복원 값은 불확실 구간의 양끝 범위인 상위 범위와 하위범위에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$\text{복원 값} = \frac{\text{upperbound} + \text{lowerbound}}{2}$$

또한 웨이블릿 영상 계수와 복원 계수값의 차이를 오차라 규정하고 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{오차} = \text{원 영상의 웨이블릿 계수} - \text{복원 값}$$

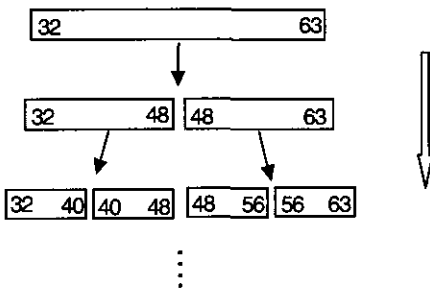


그림 4. 불확실 구간의 계산 (예제: 처음 임계값 32 임의의 최대값 63)

3.2 제안한 알고리즘

이때 분할 된 영상 중에서 저 주파수 성분은 복원 영상의 화질에 큰 영향을 미치기 때문에 웨이블릿 계수를 정수의 형태로 보존하기 위하여 양자화를 실시하지 않는다. 나머지 밴드에는 제로트리를 적용하였다. 이때 불확실 구간에서 발생하는 양자화 오차를 계산한 후 LBG를 도입하여 오차 교정을 수

행한다. 웨이블릿 변환 영상은 레벨이 높아질수록 계수의 크기가 커지므로 그 만큼 복원 영상에서 중요한 계수로 간주된다.

본 논문에서는 레벨 1에서 4 X 4의 크기로 오차를 벡터 양자화 하고, 레벨 2에서는 보다 중요한 의미를 갖는 오차이므로 2 X 2 의 작은 크기로 벡터 양자화를 실시한다. 여기서 레벨 1의 수직, 수평 고주파수 부분은 전체 영상의 1/4에 해당되나 0 을 중심으로 하는 중요한 의미를 갖지 않는 계수들로 구성되어 있다. 그러므로 부호화 하지 않는다. 이 부분은 복원할 때에 0 으로 복원 값을 사용한다. 그림 5에서 두 가지의 양자화 방법을 영상에서 어떤 형태로 적용하였는지를 보여준다.

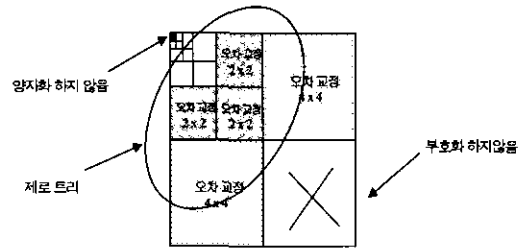
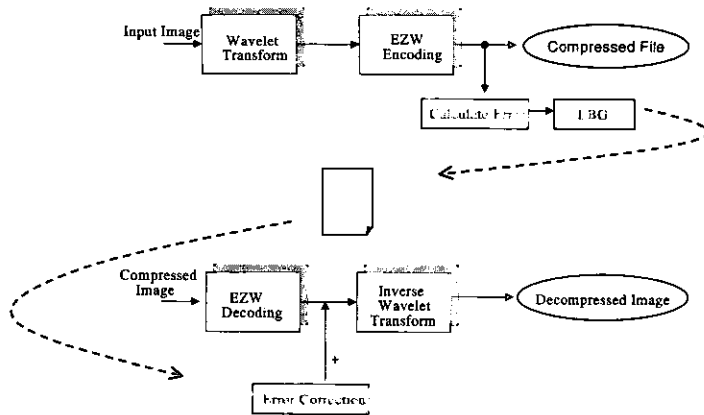


그림 5. 제안된 벡터 양자화 과정

변환 영상에서 레벨 1, 2에 해당하는 밴드만 오차 교정을 수행하는 이유로는 영상의 고 주파수 성분에 해당하는 오차를 교정함으로써 객관적인 영상의 화질 뿐 아니라 시각적 효과도 높이기 위함이다. 부호화 하지 않은 레벨 1의 수직, 수평 고 주파수 부분은 영상 전체에서 다른 계수와 비교하여 중요한 의미를 갖지 않으므로 압축율을 높이기 위한 전략으로 부호화하지 않는다. 구현한 정지 영상 압축 시스템의 전체 흐름도를 그림 6에보였다.

IV. 실험 결과

다양한 영상에 대하여 구현한 시스템의 성능을 실험하였다. 시스템은 150MHz 펜티엄 LINUX에서 C언어로 구현하였다. 실험에서는 512 X 512 크기의 Lenna 영상과 Goldhill 영상을 사용하여 영상 분할 레벨을 6 단계까지 하였다. 사용한 코드북의 크기는 2x2 벡터에 대해서는 16, 4x4 벡터에 대해서는 128을 각각 사용하였다. 또한 코드북은 각 레벨의 밴드별 오차를 가지고 앞에서 언급한 LBG 알고리즘^[9]을 적용하여 최적의 코드북을 생성하였으며 이때 공동 코드북이 아닌 적용될 영상을 가지고 코



확연한 개선의 정도는 알 수 없지만 영상의 세세한 부분을 보기 위해 Lenna 와 Goldhill 영상의 일부분을 확대하며 보면 그림 9 와 그림 10에서와 같이 상당한 개선이 있음을 눈으로 확인할 수 있었다. 특히 경계선이나 에지 부분의 선명도가 많이 개선되었음을 알 수 있다. 고주파 성분이 많은 Goldhill 영상의 경우 개선의 정도가 큰 것을 알 수 있다.

그림 6. 제안된 정지 영상 압축 시스템의 전체 흐름도

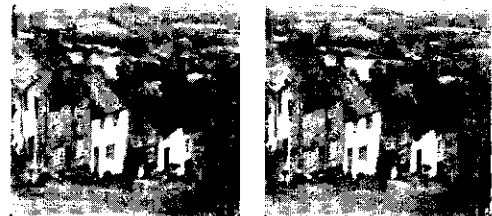
드북을 생성하였다. 즉 512 X 512 크기의 Lenna 영상과 Goldhill 영상을 사용하여 각각의 코드북을 생성하였다. 웨이블릿 필터 계수로는 Biorthogonal Wavelet Vellaseonor #6 9/3^[10]을 사용하였다.

표 1 를 보면 오차교정을 하였을 경우 모든 영상에서 약 0.5dB에서 1dB 가량의 PSNR이 개선됨을 알 수 있었다. 이것은 EZW로 부호화하였을 경우 무시되어야 할 오차에 관한 정보를 벡터 양자화를 통하여 역부호화시 이용하게 됨으로 얻어지는 당연한 결과라고 할 수 있다. 다만 압축율이 낮아질수록 각 밴드별로 오차의 크기가 작아짐으로 오차로 인한 정보의 손실이 상대적으로 작아지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 알고리즘은 압축율이 높은 경우 오차로 인한 정보의 손실을 벡터 양자화를 통하여 적은 양의 비트를 가지고 보상할 수 있는 특징을 가지게 되는 것이다.



(a)오차교정 전 (b)오차교정 후

그림 7. 오차교정 전과 후의 결과(Lenna 512 x 512 영상을 32:1로 압축한 경우)



(a)오차교정 전 (b) 오차교정 후

그림 8. 오차교정 전과 후의 결과(Goldhill 512 x 512 영상을 32:1로 압축한 경우)

표 1. 오차교정 전후의 PSNR 비교

| 압축율 | 오차교정 전후 | PSNR | |
|---------|---------|-------|----------|
| | | Lenna | Goldhill |
| 16 : 1 | 후 | 36.45 | 32.71 |
| | 전 | 36.28 | 32.24 |
| 32 : 1 | 후 | 33.92 | 30.37 |
| | 전 | 33.17 | 29.53 |
| 64 : 1 | 후 | 31.12 | 28.97 |
| | 전 | 30.07 | 27.86 |
| 128 : 1 | 후 | 28.92 | 27.36 |
| | 전 | 27.58 | 26.02 |

Lenna 와 Goldhill 영상에 대한 결과 영상을 각각 그림 7과 그림 8에 보였다. 그림에서 오차 교정 후의 PSNR의 개선 정도가 크지 않으므로 눈으로



(a) (c) (b)

그림 9. 제안된 알고리즘의 성능비교 (Lenna 512x512, 39:1로 압축한 경우, 괄호안은 PSNR))
 (a) JPEG (29.4dB)
 (b)제로 트리(32.85dB)
 (c) 제로트리+오차교정(33.61dB)

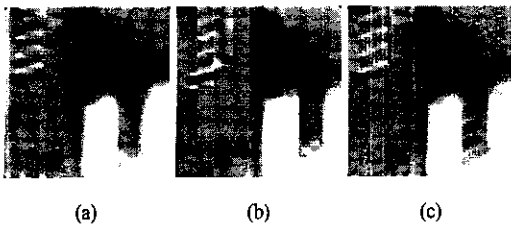


그림 10. 제안된 알고리즘의 성능비교 (Goldhill 512x512, 40:1로 압축한 경우, 괄호안은 PSNR)
 (a) JPEG(28.1dB)
 (b) 제로 트리(29.23dB)
 (c) 제로트리+오차교정(29.97dB)

V. 결론

본 논문에서는 2-D 정지 영상에서 웨이블릿 변환 후 영상 계수들을 효과적으로 양자화하기 위한 영상 압축 시스템을 구현하였다.

제안한 양자화 방법으로는 Shapiro가 제안한 웨이블릿 계수를 합축적으로 부호화할 수 있는 제로 트리 기법과 일반적인 벡터 양자화 기법으로 사용되는 LBG(Linde-Buzo-Gray)알고리즘을 도입하여 웨이블릿 계수의 통계적 특성에 맞게 각기 적용시켰다.

제로트리를 사용하여 영상 전체에서 의미 있는 계수만을 선별하여 매입 파일을 생성하도록 하였다. 또한 벡터 양자화는 변환 레벨 1, 2의 고 주파수 밴드의 오차 값에만 적용하여 최적의 오차 코드북을 생성하였다. 즉, 제로트리에서 부호화 하지 못했던 영상의 고 주파수 성분을 보완시켜 PSNR을 높였다. 오차 교정을 수행한 영상과 수행하지 않은 영상과 평균적인 PSNR 의 차이는 압축율에 따라 약 0.5dB에서 1dB가량이었다. 그러나 영상의 에지 성분과 같은 고 주파수 성분을 보완하였기 때문에 시각적 향상은 더 높다고 할 수 있다. 본 논문에서 측정된 PSNR은 양자화만을 수행하였을 때 영상의 PSNR을 구한 것이다.

향후 연구로는 오차 벡터의 크기 결정이나 코드북의 길이를 최적화하여 좋은 화질에서 최대한 작은 크기의 코드북을 찾을 수 있다면 더 좋은 결과를 가져올 수 있을 것이다. 제로트리가 정지 영상에서 양자화하는 기법으로 탁월한 성능을 보이는 것이 사실이지만 고압축율에서 고 주파수 성분을 손실함으로써 때로는 인간의 시각체계(HVS)에 민감하게 감지되는 에지(edge)부분을 손상하게 된다. 이런 에지(edge)부분을 적절히 강조할 수 있다면 객관적

인 PSNR뿐 아니라 시각적인 효과를 더욱 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital image processing*, Addison Wesley, 1992.
- [2] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu and I Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 1, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [3] Amir Averbuch, Danny Lazar, and Moshe Israeli, "Image compression using wavelet transform and multiresolution decomposition," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 5, pp. 4-15, Jan. 1996.
- [4] C. Sidney Burrus, R A. Gopinath and H. Guo, *Introduction to wavelets and wavelet transforms*, Simon & Schuster, NJ, Prentice Hall, 1998.
- [5] Parmela C. Cosman, Robert M, Gray, Martin Vetterli, "Vector quantization of image subbands: A Survey," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol 5, pp. 202-223, Feb. 1996.
- [6] J. Shapiro, "Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 4, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
- [7] M. Vetterli and J Kovacevic, *Wavelets and subband coding*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995.
- [8] Yair Shoham, Allen Gersho, "Efficient bit allocation for an arbitrary set of quantizers," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 36, pp. 1445-1453, Sep. 1988.
- [9] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Comm.*, COM-28:84-95, Jan. 1980.
- [10] 지연숙. "제로트리를 이용한 웨이블릿 영상부호화 설계," 연세대학교 컴퓨터 과학과, 석사학위논문, 1999.

지 연 숙(YeonSook Chi)

1996년 4월 : University of Wollongong,

Computer Science (이학사)

1999년 2월 : 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업
(석사)

1999년 4월~2000년 6월 한국통신 기술개발본부
멀티미디어 연구소

2000년 6월~현재 한국 NCR 솔루션 컨설턴트
<주관심 분야> CRM 솔루션, 마케팅 프로세스 개발

변 혜 란(Hyeran Byun)

한국통신학회논문지 제 25권, 제8B호,

2000년 8월 참조

유 지 상(Jisang Yoo)

정회원

한국통신학회논문지 제 25권, 제8B호,

2000년 8월 참조