

Zerotree 를 이용한 영상 압축 방법

최준영, 호요성
 광주과학기술원 정보통신공학과
 광주광역시 광산구 쌍암동 572 번지

An Image Compression Method using Zerotree

Joon-Young Choi and Yo-Sung Ho
 Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)
 572 Ssang-am Dong Kwang-san Gu, Kwang-ju, 506-712, Korea
 jychoi@gogh.kjist.ac.kr

ABSTRACT

Recently efficient image coding algorithms using zerotree have been proposed. In these methods, the locations of nonzero wavelet coefficients are encoded with a tree structure, called zerotree, which can exploit the self-similarity of the wavelet pyramid decomposition across different scales. These are very effective, especially in low bit rate image coding. In this paper, two zerotree image coding algorithms, EZW and SPIHT, are briefly introduced, and a new zerotree searching scheme is proposed to emphasize the significance of a wavelet coefficient by its orientation as well as its scale.

1. 서론

현재 많은 인기를 모으고 있는 멀티미디어 통신 환경에서 영상 신호의 효율적인 처리 및 전송은 중요한 현안중의 하나이다. 그러나 영상 데이터는 큰 저장 공간과 넓은 전송 대역폭을 필요로 하기 때문에, 영상 데이터들의 효율적인 압축은 멀티미디어 시스템을 구축하는데 매우 중요한 역할을 한다. 현재 ISO (International Standards Organization) 산하의 JPEG (Joint Photographic Experts Group)과 MPEG (Moving Picture Experts Group)에서는 정지 영상과 동영상의 압축 표준화가 진행되고 있다. JPEG 에서는 이미 정지영상 압축을 위한 표준 IS 109181 을 제정하였지만, 좀 더 향상된 성능과 부가 기능을 갖는 새로운 표준 JPEG 2000 을 마련하고 있는 중이다. 이러한 새로운 표준의 주요 목표 중의 하나는 낮은 비트율에서 현재의 표준보다 향상된 화질의 영상을 제공하는 것이다.

그러나 현재 JPEG 과 MPEG 표준에서 사용하고 있는 이산여현변환(DCT)을 기반으로 하는 블록 단위의 변환에서는 낮은 비트율에서 블록간의 경계가 현

저하게 나타나는 블록경계 현상(blocking effect)이 발생한다. 이에 비하여 웨이브렛 변환에서는 공간 및 주파수의 해상도를 가변적으로 나타낼 수 있으므로 평탄하게 변하는 부분과 윤곽선 정보와 같이 급격하게 변하는 부분을 동시에 효과적으로 다룰 수 있으므로 낮은 비트율 압축에서 블록경계 현상을 일으키지 않는다. 따라서 낮은 비트율 압축을 위해서는 웨이브렛 변환을 이용하는 것이 효과적이다.

웨이브렛을 기반으로 하는 초기의 영상압축 방법들은 각 대역내 계수들간의 상관 관계를 이용하였다 [2]. 대역 간의 의존성을 이용한 웨이브렛 계수의 압축 방법은 Lewis 와 Knowles 에 의해 제안되었으며 [3], Shapiro 의 EZW(embedded zerotree wavelet coder) 알고리즘은 이러한 대역간의 상관 관계를 zerotree 부호화 방식에 적용한 효율적이고 비교적 간단한 영상 압축 방식이다 [4]. A. Said 와 W. A. Pearlman 에 의한 SPIHT(set partitioning in hierarchical trees) 알고리즘은 EZW 의 부호화 방법을 개선하여 압축 효율을 향상시켰다 [5].

본 논문에서는 웨이브렛 필터를 이용한 영상의 부대역 변환과 zerotree 를 이용한 웨이브렛 계수의 부호화 과정을 소개하고, 낮은 비트율 전송을 위한 좀 더 효율적인 zerotree 부호화 방법을 제시하고자 한다.

2. 웨이브렛 변환

1 차원 웨이브렛 변환에서는 웨이브렛 ψ 과 계위 함수(scaling function) ϕ 가 정의되며, 웨이브렛 함수 $\{\psi^j(x)\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 와 계위 함수 $\{\phi^j(x)\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 들은 서로 직교한다. 여기서 $\psi^j(x) = \sqrt{2^j} \psi(2^j x)$ 이고, $\phi^j(x) = \sqrt{2^j} \phi(2^j x)$ 이다. 웨이브렛 변환은 QMF(quadrature mirror filter)를 통해 구현될 수 있으며, L 은 저대역 필터, H 는 고대역 필터를 각각 나타낸다. 영상의 변환을 위한 1 차원 웨이브렛을 2 차원으로 확장하는 다양한 방법들이 제시되었으나, 주로 Mallat 가 제안한 웨이브렛 분해 방법을 사용한다 [1]. 입력 영상에 대해 수직과 수평 방향으로 L 과 H 필터를 각각 한 번씩 적용하고, 필터를 통과한

본 연구는 광주과학기술원 초고속광대역연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

계수들은 2:1 로 부표분화(subsampling)된다. 그 결과 세 가지의 방향 선택적인 고주파 부대역 HH, HL, HH와 저주파 부대역 LL 을 얻는다. 이러한 과정은 LL 대역에 반복적으로 적용하여 다음 계위의 대역을 얻을 수 있다. 그림 1은 입력 영상이 웨이브렛 변환에 의한 분해 과정을 나타내고 있으며, 그림 2는 두 번에 걸친 웨이브렛 분해에 의해 얻어진 7개의 대역들을 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 고주파 대역의 계수들은 영상의 경계 값을 나타내고 있다. 본 논문에서는 9/7 bi-orthogonal 선형 위상 필터를 사용하였다 [1].

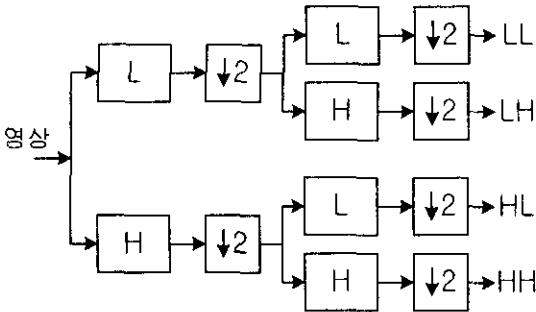


그림 1. 웨이브렛 변환에 의한 영상 분해 과정

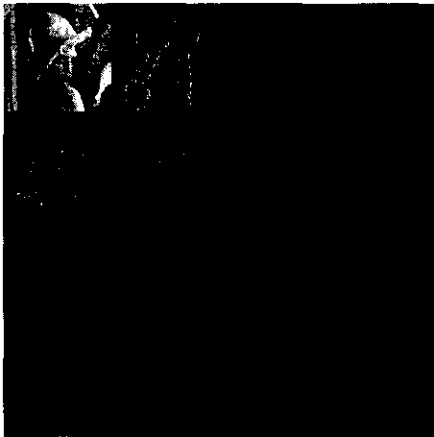


그림 2. 두 계층으로 분할된 영상

3. Zerotree 를 이용한 영상 압축

Zerotree 를 이용한 영상의 압축 방법은 웨이브렛 변환된 영상의 계수 값이 동일한 방향을 갖는 대역 사이에서 상관 관계를 갖는다는 점을 이용한다. EZW 는 이러한 zerotree 를 이용하여 웨이브렛 계수를 점진적으로 전송하는 방법이다 [4]. SPIHT 은 기본적인 접근 방법은 EZW 와 동일하나 zerotree 의 부호화 부분을 개선하였다 [5].

위의 두 알고리즘은 다음과 같은 세 가지의 기본

적인 아이디어를 가진다.

- (1) zerotree 구조를 이용하여 0이 아닌 계수의 위치를 효율적으로 부호화한다.
- (2) 계수를 절대 값의 크기에 따라 정렬한다.
- (3) 계수의 크기를 나타내는 비트는 MSB (most significant bit)

3.1 EZW (Embedded Zerotree Wavelet)

EZW 알고리즘에서는 웨이브렛 변환된 영상의 계수들을 대역 계위와 방향성에 따라 중요성 지도 (significance map)를 구성하고, 대역 간 계수들의 중요성 여부에 따라 zerotree 부호화를 실시한다. 대역간 웨이브렛 계수들의 상관 관계는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

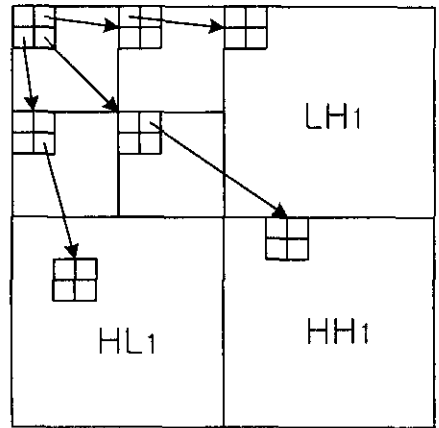


그림 3. 대역간 웨이브렛 계수들의 상관 관계

Zerotree 를 이루는 계수들의 관계를 표현하기 위한 용어들은 다음과 같다. 상위 계층에 위치한 계수를 parent 라 하고, 하위 계층에서 동일한 위치와 방향에 있는 계수를 children 이라 한다. 또한 동일한 위치와 방향에 있는 모든 하위 계층의 계수들을 descendants 라고 부른다. 최상위 계층의 최저주파수 대역과 최하위 계층을 제외한 모든 계수들은 네 개의 children 계수를 갖는다. 대역간의 상관 관계가 의미하는 바는 만약 한 계수가 주어진 문턱치보다 작다면, 그 계수의 모든 descendants 들 또한 작은 값을 가질 것이라 예측될 수 있음을 나타낸다. Zerotree 에는 4 가지의 기호가 사용된다. 만약 주어진 문턱치 T_j 에 대하여 웨이브렛 계수 x_i 의 절대값이 T_j 보다 크다면 이 계수는 중요하다고 판명되며, POS(positive) 또는 NEG(negative)로 부호화된다. 또한 만약 T_j 보다 작다면 ZTR(zerotree root) 또는 IZ(isolated zero)로 부호화된다. 여기서 계수 x_i 가 중요하다고 판명된 계수의 children 이면서 x_i 의 모든 descendants 가 중요하지 않다고 판명된다면, 이 x_i 는 zerotree root 라고 한다. 웨이브렛 변환의 특성에 의해 중요하지 않은 계수의 모든 descendants 는 중요하지 않은 확률이 매우 높으므로, 많은 수의 웨이브렛 계수

들을 하나의 ZTR 부호에 의해 부호화 할 수 있다.

EZW 알고리즘은 연속근사 양자화(Successive Approximation Quantization) 방법을 이용한다. SAQ에서는 계수의 중요성 판단하기 위해 일련의 문턱치 T_0, T_1, \dots, T_{N-1} 을 적용시킨다. 이러한 문턱치들은 $T_i = T_{i-1}/2$ 의 관계를 가지며, 초기 문턱치 T_0 는 모든 계수 x_i 에 대하여 $|x_i| < 2T_0$ 이다.

3.2. SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees)

SPIHT은 위에서 설명한 EZW와 동일하게 zerotree를 이용한 웨이브렛 계수의 점진적 전송을 방법이다. 그러나 EZW와의 주요한 차이점은 웨이브렛 계수를 계수의 중요도에 따라 부분 집합으로 분할해 가는 과정과 분할된 계수들을 부호화하는 과정이다.

전체 중요성 지도는 모든 문턱치에서 다음의 세 가지 리스트를 통하여 구하여진다: (1) LSP (List of Significant Pixels) (2) LIP (List of Insignificant Pixels) (3) LIS (List of Insignificant Sets). 전체 알고리즘은 네 가지 단계로 이루어진다: (1) 초기화 (2) Sorting Pass (3) Refinement Pass (4) 양자화 값 갱신.

다음과 같이 정의된 웨이브렛 계수들의 집합이 zerotree 부호화를 위해 사용된다.

- (1) $O(i, j)$: 계수 (i, j) 에 대한 모든 offspring 계수의 좌표로 이루어진 집합.
- (2) $D(i, j)$: 노드 (i, j) 에 대한 모든 descendants 노드의 좌표로 이루어진 집합.
- (3) $L(i, j) = D(i, j) - O(i, j)$
- (4) H : 가장 높은 피라미드 레벨, 즉 가장 낮은 해상도를 갖는 밴드에 있는 모든 계수들의 집합.

여기에서 offspring은 (i, j) 와 동일한 방향과 위치에 있는 하위 계위에 있는 모든 계수를 말하며, descendants는 offspring에서 (i, j) 의 바로 밑의 계위에 있는 4개의 계수를 제외한 모든 계수 집합을 뜻한다.

다음과 같은 세 가지의 규칙이 집합 분할 (set partitioning) 방식에 적용된다.

- (1) 초기 분할은 $(i, j) \in H$ 인 모든 (i, j) 와 $D(i, j)$ 로 이루어진다.
- (2) 만약 $D(i, j)$ 이 중요하다면, 즉 주어진 문턱치보다 큰 화소가 존재한다면, $D(i, j)$ 는 $L(i, j)$ 와 네 개의 단일 화소 집합들인 $(k, l) \in O(i, j)$ 로 나누어진다.
- (3) 만약 $L(i, j)$ 가 중요하다면, $L(i, j)$ 는 네 개의 집합 $D(k, l)$ 로 나누어진다. 여기서 $(k, l) \in O(i, j)$ 이다.

웨이브렛 계수들의 좌표로 이루어진 집합 Ω 의 중요성을 여부를 나타내는 함수 $S_n(\Omega)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S_n(\Omega) = \begin{cases} 1 & \text{if } \max_{(i,j) \in \Omega} |c_{i,j}| \geq 2^n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

4. 새로운 Zerotree 탐색 방법

EZW와 SPIHT의 특징은 각 웨이브렛 계수들을 균일 양자화한 후 bit-plane을 이용하여 전송하는 것이다. 즉 주어진 순서에 따라 각 계수들을 탐색하고, 중요하다고 판단된 계수의 비트를 MSB 순으로 전송한다. 이 과정에서 계수의 중요성을 판단하는데 사용되는 비트는 전체 출력 비트수에서 가장 큰 부분을 차지한다. 특히 아주 낮은 비트율에서는 적은 개수의 중요 계수만이 존재하므로 이 계수들의 위치를 부호화하는데 많은 수의 비트가 소모된다. 또한 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 최상위 계층의 최저주파수 대역(LL)은 다른 대역들보다 상대적으로 상당히 중요한 정보를 가지고 있으므로 복원된 영상의 화질에 중요한 역할을 미친다. 그러므로 이 대역의 계수들은 별도의 처리 과정을 통해 양자화 오류가 적도록 부호화하는 것이 유리하다.

계층	계층 3				계층 2		
생략대역	LL	LH	HL	HH	LH	HL	HH
PSNR	8.4	26.9	28.7	36.6	32.5	33.6	40.9

표 1. 생략된 대역을 제외한 나머지 대역의 계수들로 복원된 영상의 PSNR 값

이와 같은 점들을 고려하여 본 논문에서는 계수의 중요성 판단을 위한 탐색 과정을 줄이기 위해 한번의 탐색 과정 거친 후 각 중요 계수에 대하여 두 비트의 MSB를 부호화 하였다. 이것은 중요하다고 판단된 계수에 한 비트의 정밀도를 추가로 부여함으로써 중요 계수에 가중치를 부여하는 역할 또한 겸하고 있다. 또한 계수의 탐색 과정은 기존의 방식과는 달리 주어진 문턱치에 대하여 중요하다고 판단된 계수와 동일한 위치와 방향의 하위 계수들의 중요성을 먼저 판단하는 깊이 우선(depth first) 방식을 취함으로써 HL 및 LH 대역의 중요 계수가 HH 대역의 계수들보다 먼저 부호화 되도록 한다.

LL 대역의 부호화는 전처리 과정을 통해 계수의 분포 범위를 크게 축소시킨 후, zerotree 부호화를 시행하였다. 즉, LL 대역의 계수들을 선형 예측을 통한 예측 오차 값을 구한 후, 최대 오차 값을 초기 문턱치 T_0 에 맞추어 조정한다. 이 때 선형 예측을 위한보는 LL 대역 계수의 선형 예측 차이값을 d_i 라 할 때, d_i 의 최대 값을 $\max(|d_i|) < 2T_0 - 1$ 가 되도록 결정해 준다. 여기서 T_0 는 EZW와 달리 LL 대역의 계수를 제외한 나머지 계수들로부터 결정된다.

5. 실험 및 결과

모의 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 JPEG 및 EZW 방법과 비교하였다. 본 실험에서는 512x512 크기의 Lena 영상을 사용하였다. 그림 3의 그래프를 보면 알 수 있듯이, 낮은 비트율에서 JPEG 방법보다 상당히 우수한 결과를 보이며, EZW 방법보다 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4와 5는 0.2bpp에서 제

안된 방법과 JPEG 알고리즘을 Lenna 영상에 적용시켜 얻은 결과이다. JPEG에서는 블록경계 현상이 현저하게 나타나고 있지만, 제안된 방법은 PSNR 뿐만 아니라 시각적으로도 우수한 결과를 얻을 수 있다.

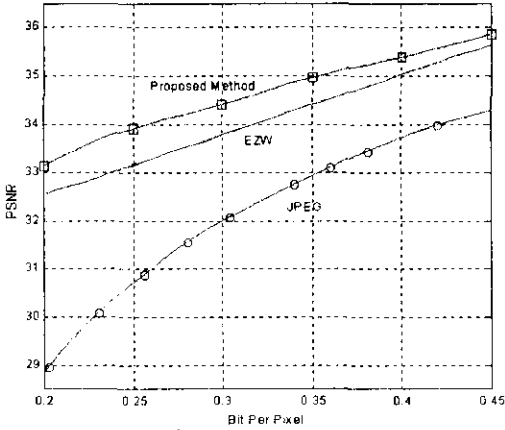


그림 3. Lenna 영상에 대한 압축 결과 비교

6. 결론

블록단위 변환을 이용한 영상압축 방법에서는 낮은 비트율에서 블록 경계 효과가 강하게 나타난다. 그러나 웨이블릿 변환을 이용한 영상 압축에서는 저 비트율에서도 우수한 품질의 영상을 복원할 수 있다. EZW와 SPIHT 알고리즘은 부호화는 웨이블릿 변환 후 대역 사이에 나타나는 상관 관계를 효과적으로 이용하여 영상을 압축하는 방법이다. 상관 관계를 나타내는 방법으로 zerotree를 사용하며, zerotree를 탐색해 나가는 과정에서 중요하다고 판단된 계수의 비트를 MSB 순서대로 부호화한다. 이 방법은 0.2 - 0.8bpp 정도의 낮은 비트율에서 높은 PSNR과 우수한 주관적 화질을 나타낸다. 그러나 이 방법들은 zerotree root를 부호화 하는데 많은 비트를 사용하게 되며, 또한 낮은 비트율에서 소수의 중요 비트를 찾아내기 위해 반복적인 zerotree 탐색과 많은 비트의 부호화가 필요하다. 본 논문에서는 주어진 문턱치에 대하여 깊이 우선 탐색 방법을 사용함으로써 zerotree의 부호화하는데 사용되는 비트를 크게 줄일 수 있도록 하였다. 동시에 가장 중요한 LL 대역에 대해서는 계수 간의 선형 예측 방법을 사용하여 부호화하였다. 낮은 비트율 JPEG 방식보다 상당히 우수한 결과를 나타냈으며, EZW 방법보다 전반적으로 우수한 PSNR 값을 보였다.

7. 참고문헌

[1] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 11, pp.674-693, 1989.
 [2] M. Antonini, M. Barlaud, P.Mathieu, and I. Daubechies. "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans.

Image. Proc. vol. 1, pp. 205-220, 1992.

[3] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transforms," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, no. 2, pp. 244-250, April, 1992.
 [4] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotree of wavelet coefficient," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3462, Dec. 1993.
 [5] A. Said, W. A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 6, no. 3, pp. 243-250, June 1996.



그림 4. JPEG을 이용하여 0.2bpp로 압축한 영상



그림 5. 제안된 방법에 의하여 0.2bpp로 압축한 영상