

웨이브렛 변환 영역에서 쿼드트리 기반 영상압축

소이빈, 조창호, 이상효, 이상철*, 박종우*

광운대학교 정보제어공학과

*재능대학교 정보통신 계열

전화: 02-940-5153 / 핸드폰: 016-281-0657

Quadtree Based Image Compression

in Wavelet Transform Domain

Yi Bin So, Chang Ho Cho, Sang Hyo Lee, Sang Chuel Lee*, Jong Woo Park*

Information & Control Engineering Department, Kwangwoon University.

*Information & Communication Department, Jaeneung College.

E-mail : so2bin@hanmail.net

Abstract

The Wavelet Transform providing both of the frequency and time information of an image is proved to be very much effective for the compression of images, and recently lot of studies on coding algorithms for images decomposed by the wavelet transform together with the multiresolution theory are going on.

This paper proposes a Quadtree decomposition method of image compression applied to the images decomposed by wavelet transform by using the correlations between pixels. Since the coefficients obtained by the wavelet transform have high correlations between scales, the Quadtree method can reduce the data quantity effectively. The experimental image with 256 x 256 size was used to compare the performances of the existing and the proposed compression methods.

I. 서론

영상압축의 기본은, 영상에 존재하는 통계적 여분 (statistical redundancy)을 제거하는 것이다. 이와 같은 접근법의 하나로, DCT 변환을 통하여 영상의 에너지를 특정 계수에 집중시켜 통계적 여분을 늘리고, 이

를 제거하는 변환 부호화 방법이 많이 사용되고 있다. 또한, 여분을 제거하는 것 만으로는 압축할 수 있는 양이 제한되기 때문에, 높은 압축률을 필요로 하는 응용에서는, 정보의 일부분도 제거하는 손실 압축(lossy compression) 방법을 함께 사용하는 것이 일반적이다. 그러나, 이와 같은 방법은 모서리(edges) 정보와 같이 시각적으로 중요한 정보의 손실을 초래하여 화질 저하라는 바람직하지 못한 문제를 유발시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 인간의 시각 시스템과 유사한 영상 분해 방법인, 웨이브렛 변환 (Wavelet Transform, WT)을 이용하면, 원 영상을 몇 개의 부분대역 영상(subband image)으로 나눌 수 있고, 각 대역별 중요성을 고려한 손실 압축이 가능해진다. 즉, 인간의 시각에서 상대적으로 둔감한 부분대역 영상에 대한 제거를 통하여 고압축에서의 화질 저하 문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 이처럼 인간의 시각 시스템과 유사하며 영상의 주파수 정보와 공간정보를 동시에 제공하는 WT는 영상압축에 매우 효과적이다[1]. 최근 들어, WT로 다해상도 분해된 영상에 여러 가지 부호화 알고리즘을 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Antonini 등은 변환계수 부호화에 벡터 양자화를 적용하는 기법을 소개하였고[2], R. de Queiroz는 웨이브렛 변환 후, 계수들을 JPEG 포맷화 하여 스칼라 양자화를 적용하는 방법을 제안하였다[3]. 또한, Shapiro에 의해 제안된 EZW 방법[4]과 Said와 Pearlman에 의해 제안된 SPIHT 방법[5]은, 부호화 하기 위해 구조화된 계수 집합인 제

로트리(zerotree)를 사용하여 중요하지 않은 웨이블릿 계수들이 주파수 대역간에 갖고 있는 상관성을 이용하여 매우 우수한 압축성을 보였으나, 스캔(scan) 및 부호화 과정에서 연산량의 증가로 이를 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다[6].

쿼드트리(QuadTree, QT) 분해 알고리즘은 영상의 다해상도 표현을 얻기 위해 사용된 고전적 기법중의 하나이다. QT 분해는 변환코딩보다 상대적으로 간단하고, 분해된 결과가 다양한 해상도의 부대역 영상으로 표현되기 때문에 영상인식 및 압축과 같은 영상처리에 효과적으로 응용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, QT 기반 압축 알고리즘이 DCT 와 같은 변환기반 알고리즘보다 압출률이 낮기 때문에, 다양한 방법으로 QT의 성능 개선에 대한 연구가 진행 중이다[7].

본 논문에서는, WT 기법과 QT 기법을 함께 사용하여 압축 효율을 증가하는 방법을 제안한다. WT 변환으로 영상을 다해상도 분해한 후, 에너지가 집중되어 있는 저주파 부분대역은 DPCM 코딩 기법을 적용하고, 나머지 부분대역에는 쿼드트리 기반 블록 양자화(Quadtree-Based Block Quantization, QBBQ) 방법을 적용하여 엔트로피 부호화할 데이터량을 줄이는 방법을 사용한다. 특히, 웨이블릿 변환된 계수의 스케일 및 공간적 상관도를 이용하여 QBBQ 시 빈도수가 많은 블록일수록 짧은 심볼을 부여하면 보다 효과적으로 데이터량을 줄일 수 있다. 실험영상으로 256 x 256 크기의 8bit 흑백영상을 이용하고, DCT 압축기법 및 QBBQ 를 적용하지 않은 웨이블릿 압축기법등과 제안한 기법을 비교평가 한다.

II. Wavelet Transform

신호를 해석하는 일반적인 방법은 식(1)과 같이 기저함수(basis function, Ψ_i)를 이용하여 이들의 하중된 합(weighted sum)으로 신호를 표현하는 것이다.

$$f(x) = \sum_i c_i \Psi_i(x) \quad (1)$$

만약, 충격함수(impulse pulse) 또는 정현함수(sinu-soidal function)를 기저함수로 사용할 경우, 각각 주파수 정보와 시간 정보의 손실을 가져온다. 즉, 복잡한 신호가 효율적으로 표현되기 위해서는, 특정 시간에서 신호의 주파수 성분을 정확히 알 수 있는 기저함수가 필요하다. 이를 위해서, 기저함수는 시간과 주파수

영역 모두에서 국소화(localization)되어야 하지만, Heisenberg 의 불확정성 원리에 의하여 시간축 국소화와 주파수축 국소화를 동시에 만족 할 수 없다[1].

웨이블릿은 식(2)와 같이 “mother wavelet” 이라 불리는 함수의 확대/축소(scaling) 및 이동(translation)으로 얻어지는 집합이다.

$$\Psi^{a,b}(t) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

식(2)의 a 와 b 의 변화를 통해서, 축소된 웨이블릿은 시간상에서 빠른 간격으로 변하는 고주파 성분을 검출하는 역할을 하며, 확대된 웨이블릿은 시간상 천천히 변하는 저주파 성분을 검출하기에 알맞은 기저함수로 사용할 수 있다[1].

현재 많은 응용 분야에서, 신호해석에 보다 적합한 웨이블릿들이 제안되고 있다. 특히, 영상압축 분야에서는, 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 이진 트리(dyadic tree) 구조를 갖는 필터뱅크(filter bank)의 한 형태로 해석 가능하고, QMF(Quadrature Mirror Filter) 뱅크의 직렬(cascade) 구성으로 구현 하는 방법이 연구되었다[1].

그림 1 은 2 차원 DWT 를 이용한 영상 분해과정을 보여준다.

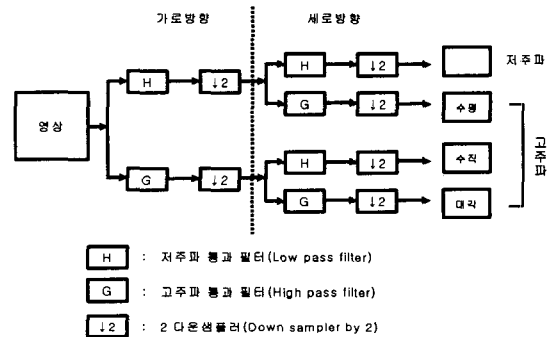


그림 1. Wavelet 변환을 이용한 영상 분해 단계

그림 1 과 같이 2 차원 DWT 는, H(저역 통과 필터)와 G(고역 통과 필터)를 이용하여 원 영상을 가로방향 변환 후, 이를 다시 세로방향 변환하여 구현된다. 한번의 분해과정으로 4 개의 부분대역 영상(subband image)이 생기고, 각 부분대역 영상은 원 영상의 1/4 크기를 가지며, 저주파 영상, 수평성분 고주파 영상, 수직성분 고주파 영상, 대각성분 고주파 영상으로 나뉘게 된다.

본 논문에서는 Daubechies-4 (DAUB-4) 웨이브

렛을 사용하여 영상압축을 수행하였고, H와 G의 관계식은 (3)과 같다.

$$H_n = (-1)^{l-n} G_{l-n} \quad (3)$$

III. 제안 알고리즘

제안하는 압축 시스템의 전체적인 구조를 그림 2에 나타냈다. 이 시스템은 DWT, QBBQ, 엔트로피 코딩의 세 단계로 구성된다.

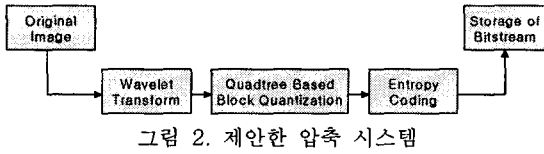


그림 2. 제안한 압축 시스템

DWT 단계에서는, Daubechies-4 (DAUB-4) 웨이브렛 필터와 피라미드 알고리즘 구조를 이용하여 3-레벨 분해를 수행한다. 효율적인 프로그램 구현을 위해 그림 3과 같은 QMF 변환 행렬과 역변환 행렬을 사용하고, 필터 계수는 식 (4), (5)와 같다.

$$\begin{aligned} c_0 &= (1 + \sqrt{3}) / 4\sqrt{2} \\ c_1 &= (3 + \sqrt{3}) / 4\sqrt{2} \\ c_2 &= (3 - \sqrt{3}) / 4\sqrt{2} \\ c_3 &= (1 - \sqrt{3}) / 4\sqrt{2} \end{aligned} \quad (4)$$

$$H = [c_0, c_1, c_2, c_3] \quad \text{and} \quad G = [c_3, -c_2, c_1, -c_0] \quad (5)$$

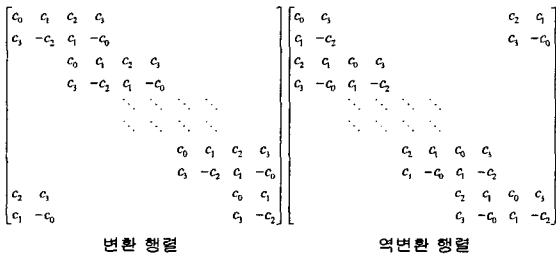
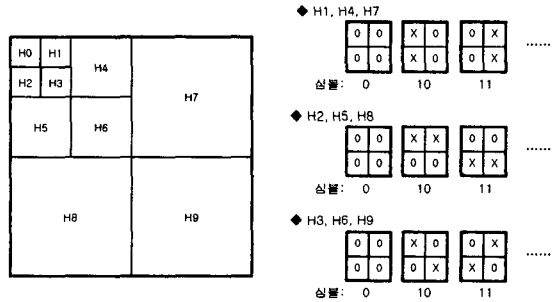


그림 3. QMF 변환 행렬과 역변환 행렬

원 영상은 이러한 DWT 단계를 거쳐 인간 시각 시스템 구조에 적합한 10개의 부분대역 이미지로 분해되고, 각 부분대역별 중요도와 상관관계를 이용하여 적응적 양자화(adaptive Quantization)를 수행할 수 있다.

QBBQ 단계에서는, 그림 4의 (a)와 같이 구성된 10개의 부분대역(H0~H9)에서 중요한 성분이 집중되어 있는 저주파 대역(H0)과 나머지 대역(H1~H9)으로 구분한 후, 저주파 대역은 DPCM 방법을 적용하여 부호화를 수행하고, 나머지 대역은 이웃한 4개의 픽셀들을

하나의 심볼로 대응하는 QBBQ 기법을 적용한다. 그림 4의 (b)와 같이 영상의 수직성분이 집중되는 H1, H4, H7 대역에는 수직성분 심벌에 적은 비트 수를 할당한다. 마찬가지로 방법으로 수평성분이 집중되는 H2, H5, H8 대역에는 수평성분 심벌에 적은 비트 수를, 대각성분이 집중되는 H3, H6, H9 대역에는 대각성분 심벌에 적은 비트 수를 할당한다.

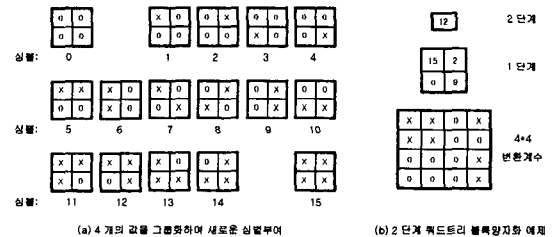


(a) 3 단계 웨이브렛 변환

(b) 대역별 심벌 할당

그림 4. 3-레벨 DWT와 대역별 가변 심볼 할당

그림 5는 이웃한 4 픽셀을 하나의 심볼로 대응시키는 QBBQ 기법과 4x4 변환계수에 대한 양자화 예제이다. 4개의 이웃한 픽셀로 구성된 블록에서 "X"로 표시된 부분은 변환계수가 영이 아닌 경우이고, "0"로 표시된 부분은 변환계수가 영인 경우를 나타낸다. 이와 같이 4개의 픽셀을 이용하여 블록을 구성하면, 16가지의 경우가 발생하고, 각 경우에 대해서 심벌을 부여하여 그림 5의 (a)와 같은 16개(0~15)의 심벌을 만들 수 있다. 그림 5의 (b)는 4x4 변환 계수에 대하여 2단계 QBBQ를 수행한 예제이다. 이 경우, 12, 15, 2, 0, 9의 심벌들과 영이 아닌 계수들(X)만을 추출하여 엔트로피 코딩을 수행한다.



(a) 4 개의 값을 그룹화하여 새로운 심벌부여

(b) 2 단계 웨이브렛 블록 양자화 예제

그림 5. QBBQ 기법과 2 단계 양자화 예제

이처럼 제안한 양자화 방법은 웨이브렛 변환된 계수에 0이 많을수록 엔트로피 부호화해야 할 데이터량이 감소하고, 빈도수가 많은 심벌에 낮은 비트할당을 할수록 압축효율이 높아진다.

마지막 단계인 엔트로피 코딩에서는, 제안한 QBBQ를 통해 얻어지는 심볼들과 0 이 아닌 변환 계수들에 대하여 대역별 줄길이 코딩(run length coding)과 허프만 코딩(Huffman coding)을 수행한다.

IV. 실험 및 평가

본 논문에서 제안한 방법의 검증을 위해 256*256 크기의 8bit 흑백 LENA 영상을 사용하였다.

표 1. LENA 영상에 대한 PSNR 결과 비교

압축률	PSNR [dB]		
	DCT	Wavelet	제안방법
8:1	36.43	36.61	36.74
16:1	34.92	35.27	36.02
32:1	31.03	31.97	32.67
61:1	25.21	29.65	30.21

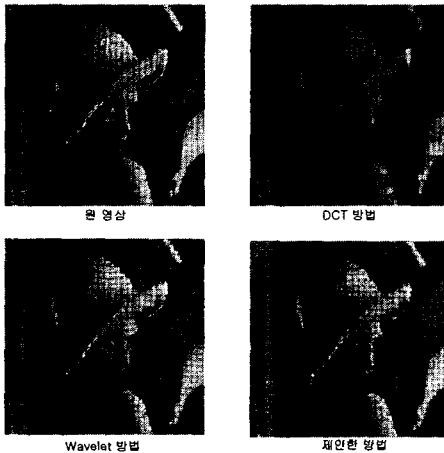


그림 6. LENA 영상의 압축률 비교(61:1)

표 1 은 여러가지 압축기법에 대한 PSNR 결과를 비교한 것이고, 그림 6 은 주관적인 평가를 위해서 고압축시의 결과를 나타낸 것이다. 표 1 의 결과에서 나타난 것과 같이 제안한 압축 기법이 모든 압축율에서 우수한 PSNR 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 그림 6 을 통해서 고압축시의 주관적인 평가 결과도 다른 압축방법에 비해 우수함을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 웨이브렛 변환으로 다해상도 분해된 영상에, 픽셀간의 상관도를 이용한 양자화 기법인 쿼드트리 기반 블록 양자화(Quadtree-Based Block

Quantization, QBBQ) 방법을 적용하여 영상을 압축하는 방법을 제안하였다. 실험결과에서 나타난 것과 같이, 제안한 기법은 기존의 방법보다 모든 비트율에서 PSNR 이 증가하였고, 이를 통해 웨이브렛 변환과 쿼드트리를 함께 사용시에 영상압축에서 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] S.G. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 11, July 1989
- [2] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding Using wavelet transform", IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, Apr. 1992
- [3] R. de Queiroz, C. Choi, Y. Huh, and K.R. Rao, "Wavelet Transform in a JPEG-like Image Coder", Proc. SPIE/VCIP' 94, vol. 2308, Sept. 1994
- [4] J.M Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotree of Wavelet Coefficients", IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, Dec 1993.
- [5] A. Said and W.A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees", IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology, vol. 6, June 1996
- [6] E. S. Kang, T. H. Tanaka, T. H. Lee, and s. J. Ko, "Improved embedded zerotree wavelet coder", IEE, vol. 35, April. 1999.
- [7] E. Shusterman and M. Feder, "Improved Algorithms for Image Compression via Quadtree Decomposition", IEEE Trans. On Image Processing, March 1994.
- [8] E.Yeung, "Image Compression using Wavelet", IEEE CCECE' 97, 1997.