

# 웨이블릿 변환 영역에서의 가변블록을 이용한 영상압축

## Image Compression Technique using Variable Blocks in the Wavelet Transform Domain

권 세 안, 장 우 영, 송 환 종, 손 광 훈  
연세대학교 전파공학과

Se An Kwon, Woo Young Jang, Hwan Jong Song, and Kwang Hoon Sohn  
Dept. of Radio Communication Engineering, Yonsei University  
e-mail : ksa@netian.com

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환[1]을 기반으로 하여 가변블록을 이용하는 영상압축방식을 제안하였다.

영상을 웨이블릿 변환한 후의 계수들은 각 부밴드별로 그 통계적 특성, 에너지 특성 그리고 방향 특성 등이 각각 다르기 때문에 이를 이용하여 각 부밴드별로 가변블록을 이용하여 비트할당을 통한 영상압축을 수행한다. 제안 알고리즘에서는 손실 압축방식으로서 양자화를 거친 후에 부가적인 무손실 압축방식으로서 엔트로피를 이용하는 arithmetic 부호화기[2]를 거쳐 최종적으로 압축된 데이터를 얻어낸다.

시물레이션 결과 제안알고리즘은 기존 압축알고리즘에 비해 객관적으로 향상된 압축률과 PSNR면에서 향상된 성능을 보였고, 주관적으로는 낮은 BPP를 갖는 압축에서 나타나는 블록화 현상이 나타나지 않음을 확인하였다.

### I. 서 론

최근 멀티 미디어에 대한 관심이 높아지면서 이에 대한 요구가 증가하게 되고 관련된 멀티미디어 통신 서비스 등이 국내외에서 활발히 연구되고 있다. 그러나 영상정보의 대용량은 이러한 시스템의 효율을 저해하는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 제한된 대역폭에 실시간으로 전송을 하기 위해서는 효과적인 영상데이터의 압축이 필수적이며 이러한 영상 정보의 압축에 관한 연구가 다방면으로 이루어지고 있다. 기존의 영상 압축 기법으로는 DCT (Discrete Cosine Transform) 기반의 JPEG(Joint Photograph Expert Group), 블록 기반의 VQ(Vector Quantization), 화소간의 연관성을 이용한 DPCM (Differential Pulse Code Modulation)등 다양한 압축 기법이 있다.

최근에 신호의 다해상도 분해 해석방식인 웨이블릿이 소개된 이후로 이를 이용하여 영상데이터를 처리하는 여러 가지 응용분야들이 활발히 연구되고 있으며, 특히 웨이블릿 변환으로 얻어진 영상 데이터들의 통계적인 성질을

이용하여 효과적으로 압축을 수행하는 기법들이 소개되고 있다.

본 논문에서는 웨이블릿의 여러 가지 특성을 이용하여 각 부밴드별로 인간의 시각특성을 반영하는 압축 알고리즘을 제안하고 기존의 압축방법들과 객관적, 주관적인 측면에서 성능을 비교한다. 제안 알고리즘은 8-tap Daubechies 필터[3]를 이용하여 웨이블릿을 수행하며, 각 부밴드별로 스칼라 양자화와 가변블록을 이용한 벡터양자화를 이용하여 손실압축을 수행한 후 arithmetic 부호화를 이용한 무손실 압축을 적용한다. 본 논문에서는 수행 결과를 기존의 다른 압축기법들과 객관적, 주관적인 측면에서 비교, 분석하였다.

### II. 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 STFT(Short Time Fourier Transform)와 같이 시간에 관한 함수를  $a$ 와  $\tau$ 의 2-차원 함수로 대응시킨다. 여기서  $a$ 는 스케일축,  $\tau$ 는 시간축이다. 여기서 신호는 적분 가능해야 하는데, 즉  $s(t) \in L^2(R)$ 인 신호에 대하여 식(1)을 만족하여야 한다.

$$\int s^2(t) dt < \infty \quad (1)$$

함수  $s(t)$ 의 연속 웨이블릿 변환은 식(2)이다.

$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (2)$$

식(2)에서  $\Psi(t)$ 는 기본(또는 어미) 웨이블릿이고,  $\Psi((t-\tau)/a)/\sqrt{a}$ 는 웨이블릿 기저함수이다. 또는 자식 웨이블릿이라 한다.  $at' = t$ 라 하면 식(2)는 식(3)과 같이 되며, 역 웨이블릿 변환은 식(4)이다.

$$CWT(a, \tau) = \sqrt{a} \int s(at') \Psi\left(t' - \frac{\tau}{a}\right) dt' \quad (3)$$

$$s(t) = \frac{1}{c_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{a>0}^{\infty} CWT(a, \tau) \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(t - \frac{\tau}{a}\right) \frac{1}{a^2} dt \quad (4)$$

식(4)에서  $c_\psi$ 는  $\Psi(t)$ 와  $a$ 에 의한 변환 상수이다. 그리고 이 상수는 식(5)로 표시할 수 있다.

$$c_\psi = \int_0^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (5)$$

주파수 다해상도는 STFT와 웨이블릿 모두 윈도우 크기에 직접적으로 관련된다. 그러나, 웨이블릿에서는 중심 주파수의 이동은 윈도우 크기의 변화가 필요하다. 일반적으로 높은 주파수를 갖는 신호들은 짧은 공간(시간)영역에서 존재하고, 계조도가 평탄한 영역으로 이루어진 낮은 주파수를 갖는 신호들은 넓은 공간에 분포한다.

기본 웨이블릿  $\Psi(t)$ 은 실수이거나 복소수 모두 가능하기 때문에 웨이블릿 변환도 역시 실수나 복소수 모두 가능하다. 만약  $\Psi(t)$ 가 복소수이면 웨이블릿 변환에 공액 복소수가 이용된다. 어떤 응용에서는 웨이블릿 변환의 위상이 가지는 정보 때문에, 복소수 웨이블릿 변환이 더 유용하다.

반면, 이산 웨이블릿 변환은 식(6)과 같다.

$$DWT(m, n) = 2^{-\frac{m}{2}} \sum_k s(k) \Psi(2^{-m}k - n) \quad (6)$$

여기서  $\Psi(k)$ 는  $\Psi(t)$ 의 샘플된 신호들일 필요는 없다.

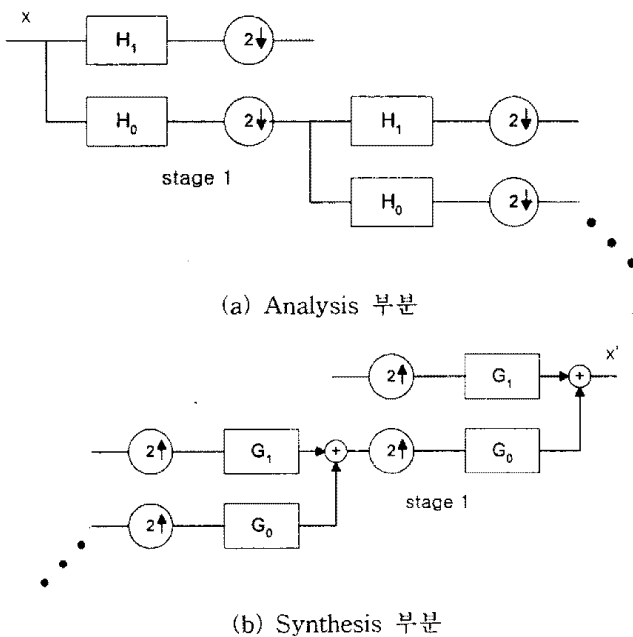


그림1. 옥타브 밴드 필터 뱅크

영상 데이터는 이산 신호이기 때문에 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 옥타브 밴드 필터 구조를 통하여 분해하게 된다. 그림1은 옥타브 밴드 필터 구조를 나타내고 있다. 그림1에서 필터 H와 G는  $g[n] = h[-n]$ 의 관계를 갖는다.

### III. 웨이블릿 변환 가변블록기반 압축기법

영상데이터는 2차원적인 공간 데이터를 갖기 때문에 웨이블릿 변환하면 각 4개의 부밴드로 나뉘어진다. 만약 영상 데이터를 3-level 까지 웨이블릿 분해를 통해 분리해 나간다면 그림2와 같은 구조를 갖는 데이터로 변환된다.

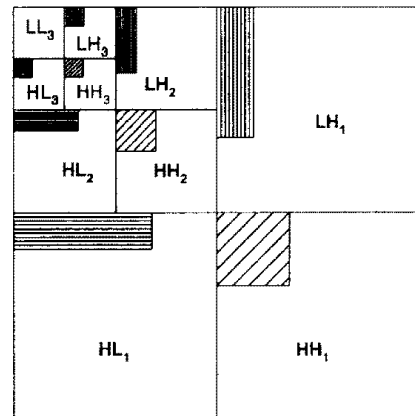


그림2. 웨이블릿 변환 후의 데이터

그림2에서 볼 수 있듯이 웨이블릿 변환된 영상 데이터는 각 밴드의 특성을 갖는 데이터들로 구성되어 있다. 각 부밴드가 가지는 방향특성을 이용하여 제안 알고리즘에서는 각 부밴드의 방향과 같은 방향성을 갖는 가변블록들로 각 부밴드를 분해한다. 그림2에서처럼 수직방향을 갖는 부밴드는 수직방향의 블록들로 수평방향을 갖는 부밴드들은 수평방향의 블록들로, 대각방향을 갖는 블록들은 정사각형의 블록으로 겹쳐지지 않도록 분해한다. 이러한 제안 알고리즘의 데이터 구조는 EZW[4] 알고리즘처럼 모든 계수를 검색해야 하는 복잡도를 덜어주게 된다.

가장 높은 level의 가장 낮은 주파수를 갖는  $LL_3$ 부밴드는 통계적으로 원영상과 같은 분포를 보이고 있고 다해상도 압축에서 상대적으로 중요한 정보를 갖고 있기 때문에 압축할 때 많은 비트를 할당하여야 한다. 그리고 level-3의 부밴드들도 공간적으로 작은 영역을 차지하고 있고 상대적으로 중요한 정보를 많이 가지고 있기 때문에 블록으로 분해하지 않는다.

반면에 level-2의 부밴드들과 level-1의 부밴드들은 상대적으로 중요한 정보가 적고 공간적으로도 각 부밴드의 방향성을 나타내기 충분하므로 각 부밴드의 방향성을 가지는 가변블록으로 분해한다. 분해된 가변블록은 벡터양

사화기[5]를 통하여 양자화를 수행한다.

기본적으로 영상을 웨이블릿 분해한 후 살펴보면 많은 공간에 작은 에너지를 가지고 있는 데이터들이 존재하며 이러한 데이터들은 원영상의 값에 커다란 영향을 미치지 않으므로 어떠한 임계값을 부여하여 임계값보다 작은 값들은 0으로 보낸다. 다음으로 level-2에 있는 부밴드들은 각각  $1 \times 4$ ,  $4 \times 1$ ,  $2 \times 2$ 의 크기를 갖는 각 부밴드특성에 맞는 블록들로 분해한 후 블록안에 있는 0이 아닌 값들의 개수가 임계값이상일 경우 부호화를 하고 그렇지 않으면 0으로 보내게 된다. level-1에 있는 부밴드들은 각각  $2 \times 8$ ,  $8 \times 2$ ,  $4 \times 4$ 의 크기를 갖는 블록들로 분해한 후 역시 블록안에 있는 0이 아닌 값들의 개수가 임계값이상일 경우 부호화를 하고 그렇지 않으면 0으로 보내게 된다. 0값들에 대한 위치 정보를 보내야 하기 때문에 0을 갖는 값들의 위치정보는 0과 1로 구성된 1bit의 지도로 구성한다. 그림3은 제안 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

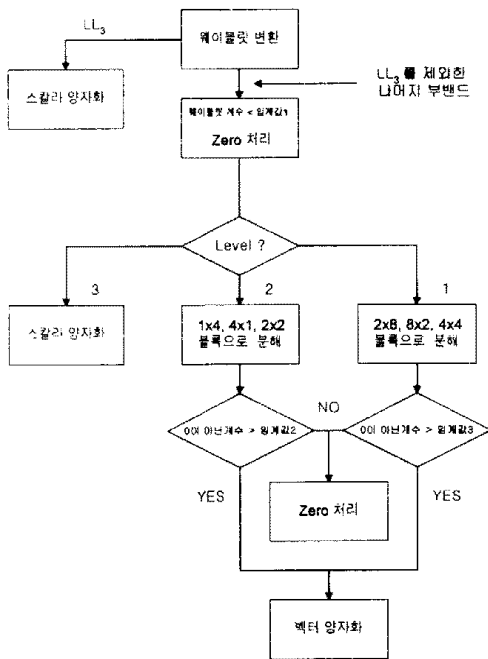


그림3. 제안 알고리즘 흐름도

전체적인 양자화를 거친 후에 압축률보다 영상의 질을 더 높이고 싶을 경우에는 추가적으로 양자화를 더 수행해야 한다. 이 때에는 원영상의 웨이블릿 변환된 계수들과 양자화를 거친 웨이블릿 계수들의 차를 양자화하게 된다. 이러한 계수들의 차는 상대적으로 0에 가까운 작은 값들을 가지고 있고 Laplacian분포를 가지고 있기 때문에 상대적으로 작은 비트를 가지고 양자화를 수행하게 된다.

최종적으로 양자화를 거친 데이터들과 0지도정보는 arithmetic 부호화를 통해 무손실 압축을 수행한다.

#### IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

실험에 사용한 영상 데이터로는 8비트 해상도를 갖는  $512 \times 512$ 의 화소로 구성된 영상을 이용하였다. 영상데이터의 객관적인 성능평가로는 RMSE(Root Mean Square Error), PSNR(Peak Signal to Noise Ratio), 그리고 BPP(Bit Per Pixel)을 이용하였으며, RMSE, PSNR은 식(7), 식(8)과 같이 정의된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [Y(i, j) - X(i, j)]^2} \quad (7)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{255}{RMSE} \right) \quad (8)$$

여기서  $X(i, j)$ ,  $Y(i, j)$ 는 각각 원영상, 압축 후 재생된 영상을 나타내고, N과 M은 영상데이터의 x축, y축 크기를 나타낸다.

제안 알고리즘은 이러한 웨이블릿 변환을 3단계까지 수행하며 이때에는 모두 10개의 부밴드를 갖는다. 그림4는 제안 알고리즘과 기존의 웨이블릿+VQ[4] 알고리즘과의 Lena영상에 대한 비교이다. 제안방식1은 가변블록을 이용하여 데이터를 처리한 것이고 제안방식2는 정사각 블록을 이용하여 데이터를 처리한 것이다. 제안방식1과 제안방식2의 전체적인 알고리즘은 같다. 그림4의 결과에서 알 수 있듯이 모든 BPP에서 제안방식이 기존의 방식에 비해 우수함을 보이고 있다. 가변블록과 정사각블록을 적용했을 경우에는 가변블록을 적용하는 방식이 더 좋은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이것은 블록을 설정하는데 있어서 웨이블릿 계수의 방향성을 고려하여 블록을 만드는 것이 더 효과적임을 보여준다. 그림5는 Lena영상에 대한 0.53 BPP 일때의 결과이다.

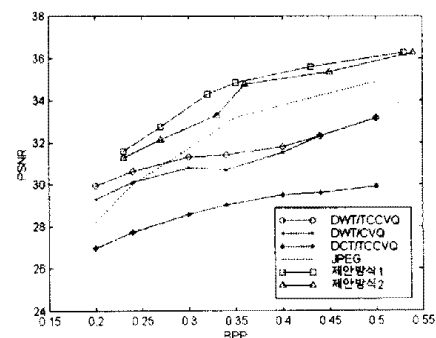


그림4. Lena영상에 대한 결과

## V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 기반의 가변블록을 이용한 새로운 영상 압축 알고리즘을 제안하였다. 객관적인 성능면에서 기존의 필터들과 RMSE, PSNR을 비교하여 우수함을 보였고, 블록기반의 압축 알고리즘을 적용하였지만 기존의 블록기반 알고리즘에서 나타나는 블록화 현상이 나타나지 않는 주관적인 특성을 나타낸다. 또한 웨이블릿을 이용한 기존의 논문들에 나타나는 지도정보를 블록 기반의 구조를 가짐으로써 간단한 구조로 구현하였다.

향후 연구에는 연속적으로 오류를 정정해 나갈 때 낮은 비트를 할당하여 효과적으로 수행할 수 있도록 서로의 상관관계와 그에 알맞는 양자화기를 설계하는 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 또한, 웨이블릿 계수를 정규화하여 좀더 효율적인 코드북을 만드는 연구가 수행되어야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] Ali N. Akansu and Richard A. Haddad, *Multiresolution Signal Decomposition*, Academic Press, Inc., 1992.
- [2] Ian H. Witten, Radford M. Neal, and John G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression," *Comm. ACM*, vol. 30, pp. 520-540, June 1987
- [3] P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*, Prentice Hall, 1993
- [4] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, pp.3445-3463, Dec. 1993.
- [5] M. A. Cay, W. Li and Y. Zhang, "On the optimal transform for vector quantization of images," *1993 International Symposium on Circuits and Systems*, vol.1, Chicago, IL, pp.687-690, May 1993.
- [6] Y. Huh, J. J. Hwang, and K. R. Rao, "Block wavelet transform coding of images using classified vector quantization," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 5, pp. 63-67, Feb. 1995.



(a) 원영상



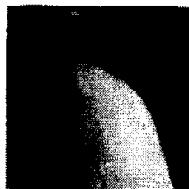
(b) 재생영상



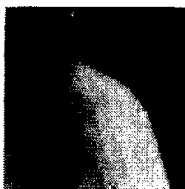
(c) 차영상

그림5. 시뮬레이션 결과 영상 Lena  
(0.53 BPP, PSNR 36.26)

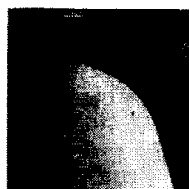
그림6은 주관적으로 성능 비교를 하기 위하여 Lena 영상을 0.3 BPP로 압축한 JPEG의 결과와 제안 알고리즘 결과의 일부분을 나타내고 있다. 그림6에서 JPEG방식은 블록화 현상이 나타나고 있는 반면에 제안방식은 블록기반 압축방식임에도 불구하고 블록화 현상이 없음을 알 수 있다. 이는 제안방식이 웨이블릿 변환 계수의 특성을 잘 살리고 있음을 나타내고 있는 결과이다.



(a) 원영상



(b) 제안방식  
(0.3 BPP)



(c) JPEG 결과  
(0.3 BPP)

그림6. 주관적 성능비교 - 블록화 현상