

Lifting Scheme과 PVQ를 이용한 영상압축 기법

정 건 대, 김 학 렬, 신 계 호
동국대학교 전자공학과

An Image Compression Technique with Lifting Scheme and PVQ

Jeon-dae Cheong, Hak-ryul Kim, Jaeho Shin
Dongguk Univ. Dept. of Electronics

Email : jhshin@cakra.dongguk.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, a new image compression technique, which uses lifting scheme and pyramid vector quantization, is proposed. Lifting scheme is a new technique to generate wavelets and to perform wavelet transform, and pyramid vector quantization is a kind of vector quantization which does not have codebook neither codebook generation algorithm. For the purpose of realizing more compression rate, an arithmetic entropy coder is used. Proposed algorithm is compared with other wavelet based image coder and with JPEG which uses DCT and adaptive Huffman entropy coder. Simulation results showed that the performance of proposed algorithm is much better than that of others in point of PSNR and bpp.

1. 서 론

1988년에 Daubechies가 유한구간(compactly supported) 정규직교 웨이브렛^[1]에 대하여 발표한 이후, 웨이브렛 응용분야는 하루가 다르게 발전하고 있다. Mallat은 다중해상도분석(multi resolution analysis)^[2]을 이용하여 웨이브렛 변환을 수행하였고, 그 결과를 ECG(electronic cadio graphic)와 영상에 적용하는 방법을 제시하였으며, Vetteri

는 기존의 subband coding과 filter bank를 이용하여 웨이브렛 변환을 수행하는 방법을 제시하였다^[1]. Antonini는 웨이브렛 변환과 벡터양자화(vector quantization)를 영상에 적용하여^[3] 웨이브렛을 이용한 영상부호화기가 CCITT 표준안인 JPEG보다 성능이 우수함을 보였다.

현재 영상부호화기의 연구분야는 웨이브렛의 이용이 기본이 되고 있고, 압축효과를 더 높이기 위해 영상에 적합한 웨이브렛을 만들기 위하여 노력하는 분야, 웨이브렛 변환에 적합한 양자화의 선택 분야, 웨이브렛 변환 후 각 subband에 존재하는 상관관계(correlation)를 제거하기 위한 분야 등으로 발전하고 있다^[1].

본 논문에서는 웨이브렛 변환을 이용한 영상 부호화기를 설계함에 있어서, lifting scheme 이라는 새로운 알고리즘을 이용한다^[5,6]. Lifting scheme은 웨이브렛 생성과 웨이브렛 변환을 수행하기 위한 새로운 알고리즘으로써, 기존의 filter bank를 이용한 웨이브렛 변환보다 최대 1/2의 연산 절약효과를 얻을 수 있다. 또한 역변환 알고리즘이 단순하여 변환 알고리즘을 그대로 이용할 수 있는 장점이 있으며, 변환계수에 간단한 재배치 알고리즘을 수행함으로써 Mallat transform과 동일한 다해상도 영상으로 분해할 수 있다.

웨이브렛 변환후 더 높은 압축을 수행하기 위해 Pyramid Vector Quantization(PVQ)과 산술 엔트로피 부호화를 수행한다. PVQ는 lattice VQ의 일종으로써 Fischer에 의하여 제안 되었고^[4], Antonini는 이 알고리즘을 quincunx wavelet에 적용하여 우수한 성능을 얻었다^[6]. 또한, PVQ는 LBG 알고리즘을 이용한 벡터양자화의 약점인 codebook 생성시간이 긴 점, codebook searching 알고리즘이 필요한 점 등을 제거할 수 있으며, 영상과 같이 subband가 laplacian 분포를 가질 경우에 적합하도록 설계되었다^[2].

본 논문에서는 이러한 lifting scheme과 PVQ를 이용하여 영상의 빠른 부호화를 수행하고, 기존의 JPEG이나 웨이브

렛 변환을 이용한 영상부호화기보다 좋은 성능을 얻고자 한다

II. Lifting scheme과 PVQ

1. Lifting scheme

웨이브렛 변환은 mother 웨이브렛이라는 단일 함수를 압신(dilation)과 추이(translation) 연산을 이용하여 식(1)과 같은 웨이브렛의 집합을 만들고, 식 (2)와 같이 입력신호를 이 웨이브렛의 집합으로 분해한 것이다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

Ψ : mother 웨이브렛

a : scaling factor

b : shift factor

$$\begin{aligned} c_{m,n}(f) &= \langle \Psi_{m,n}, f \rangle \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_{m,n}(x) f(x) dx \end{aligned} \quad (2)$$

그러나, 식(2)를 이용하여 웨이브렛 계수를 얻는 것보다는, 다해상도분석을 이용하여 필터뱅크로 구현하는 것이 좀더 효율적이다. 그림 1은 필터뱅크를 이용하여 웨이브렛 계수를 얻는 방법을 나타내고 있다.

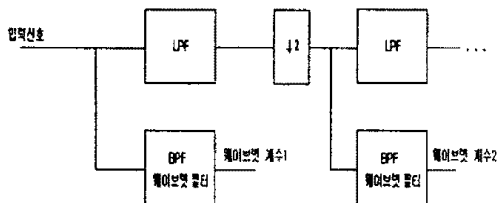


그림 1. Filter bank를 이용한 웨이브렛 계수 생성

Lifting scheme은 웨이브렛의 생성과 변환을 수행하기 위한 새로운 알고리즘으로써, 식(1)과 같이 단일 함수를 압신과 추이하여 웨이브렛 집합을 얻지 않고, Lazy 웨이브렛이라고 불리는 간단한 웨이브렛에서 시작하여, 점진적으로 그 속성을 개선시키면서 새로운 웨이브렛을 생성한다. Lifting scheme이라는 이름 역시 점진적으로 새로운 속성으로 상승(lifting)시킨다는 의미에서 유래하였다. Lifting scheme은 그림 2와 같이 크게 splits, predict, update의 세 단계로 나눌 수 있으며, 그림 1에서 각각 down-sampler, 웨이브렛 필터, LPF의 역할로 간주할 수 있다.

그림 (3)은 lifting scheme을 이용하여 Lenna 256x256 gray 영상을 웨이브렛 변환한 것과 Mallat 변환과 같이 다해상도로 재배치한 영상이다.

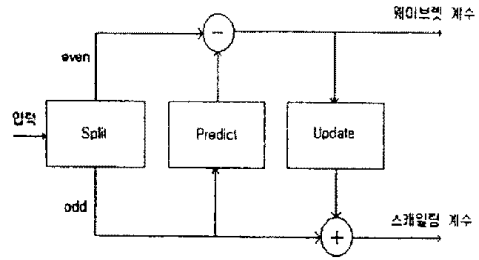


그림 2. Lifting scheme



그림 3.(a) Lifting scheme으로 웨이브렛 변환한 영상

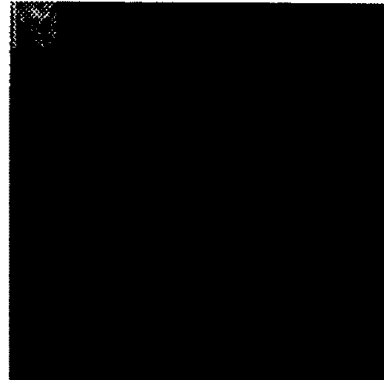


그림 3.(b) 다해상도로 재배치한 영상

2. Pyramid Vector Quantization

Lattice VQ는 코드북 생성이나 저장과정이 필요없는 벡터양자화의 일종으로써, laplacian source에 대한 것은 pyramid vector quantization이라 부르고 있다^[2].

Lattice Λ_n 은 공간 R_n 을 생성시키는 선형독립인 벡터들의 모든 정수조합으로 정의된다. 1차원인 경우, lattice VQ는 unbounded uniform quantizer와 동일하게 되며, 식

(3)와 같이 표현할 수 있다^[3].

$$\Lambda_n = \{x: x = \sum_{i=1}^n u_i a_i, u_i \in Z\} \quad (3)$$

a_i : 선형독립인 벡터 u_i : 정수

식 (3)에서 a_i 는 공간 R^n 을 생성시키는 기저벡터이며, cubic lattice Z_n 의 경우, a_i 는 단위행렬이 된다. Pyramid VQ는 Fischer^[4,5]에 의해 소개되었고, N차원 pyramid의 표면에서 lattice VQ를 수행하는 것이다. 여러 종류의 lattice를 사용할 수 있지만, 복잡성 때문에 cubic lattice Z_n 과 D_n 을 많이 사용한다^[7]. Pyramid의 표면 $S(N,K)$ 는 식(4)와 같이 정의된다.

$$S(N,K) = \sum_{i=1}^N |x_i| = K \quad (4)$$

N: 차원, K: pyramid radius

그림 4는 S(2,4)의 경우이며, voronoi cell안에 입력이 들어올 경우 point로 양자화 된다.

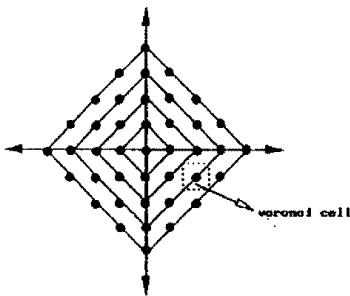


그림 4. S(2,4) pyramid

Z_n lattice를 이용할 경우 고속 양자화 방법^[10]은 다음과 같다.

Z_n lattice를 이용한 양자화 algorithm :

1) 주어진 입력 $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ 에 대하여 식 (5)에서 정의된 $f(x)$ 를 구한다.

$$f(x) = \text{closest integer to } x \quad (5)$$

2) Z_n 에 가장 가까운 점은 $f(x)$ 가 되며, 만약 2개 이상의 점이 Z_n 에 있을 경우 3) 단계를 수행한다.

3) Z_n 의 임의의 점 $u = \{u_1, \dots, u_n\}$ 에 대하여 식 (6)을 최소화 하도록 $u_i = f(x_i)$ 를 정한다.

$$\sum_{i=1}^n (u_i - x_i)^2 \quad (6)$$

III. 영상 압축 알고리즘

Lifting scheme을 이용하여 3 level로 웨이브렛 변환한 후, 에너지가 밀집된 저해상도 대역은 8bit 균일양자화를 수행하고, 나머지는 동일 해상도를 가지는 대역에 대하여 4차원으로 나누어 PVQ를 수행하였다. 사용된 양자화는 dead zone과 lattice의 step 크기를 인수로 가지도록 하였으며, 이것을 이용하여 bit-rate와 PSNR을 조절하였다. Dead zone과 step 크기의 상관관계는 영상의 통계적 특징에 따라 다르며, 실험적으로 설정하였다. 그림 5는 level 3에서 4개의 step 크기(5,10,15,20)에 대하여 dead zone의 크기 변화에 대한 PSNR의 변화이다. 다른 해상도의 계수는 완전 복원(perfect reconstruction)한다는 가정 하에, level 3에서는 step 크기가 20일 때는 800개의 계수만으로도 PSNR 35를 유지하는 것이 가능한데 step 크기가 5일 경우에는 950개의 계수가 필요하였다.

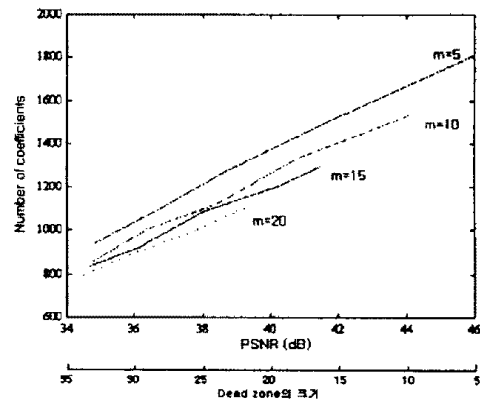


그림 5. Dead zone의 크기와 PSNR과의 관계

압축율을 더 높이기 위하여 양자화후 산술 엔트로피 부호화를 수행하였다. 그림 (5)는 제안한 영상부호화기의 전체 block diagram이다.

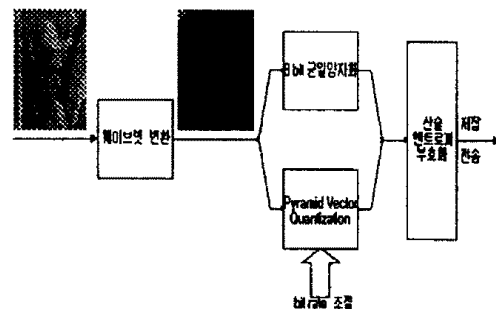


그림 6. 제안한 영상 부호화기 block diagram

IV. 모의실험 결과

Lenna 256x256 gray 영상을 제안한 부호화기로 실험하였으며, 각 레벨별로 dead zone의 크기(D)와 lattice step 크기(L), 그리고 파일의 전체크기를 표 1에 나타내었다.

표 1. 제안한 부호화기의 인수설정 및 성능

Bit rate	Level 1		Level 2		Level 3		total byte	PSNR
	L	D	L	D	L	D		
1.720	10	5	10	5	10	5	14097	38.1861
1.021	15	5	20	10	20	10	8366	34.4717
0.524	15	10	35	20	20	30	4444	30.6908
0.318	20	25	35	30	20	60	2607	27.6892
0.276	20	30	40	40	20	60	2266	26.9141
0.175	20	25	x	x	x	x	1452	25.2439

또한, 실험결과를 1) DCT와 적응 허프만 엔트로피 부호화기를 사용하는 JPEG, 2) 웨이브렛 변환과 이진 트리 예측 양자화기, 그리고 허프만 엔트로피 부호화기를 사용하는 부호화기, 3) Pyramid 분해와 허프만 엔트로피 부호화기를 사용하는 부호화기 등과 비교하였고, 그 결과를 그림 7에 나타내었다.

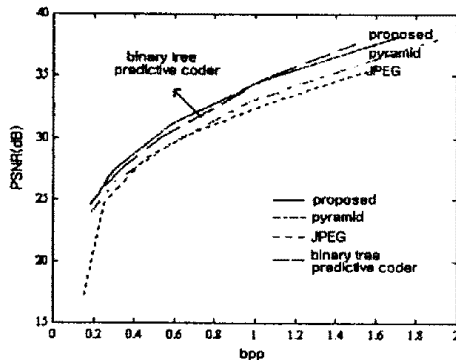


그림 7. 성능비교

제안한 부호화기의 성능을 0.5 bpp에서 비교해보면, JPEG의 PSNR이 29.215 dB (0.539bpp), 이진트리 예측부호화기는 30.029dB (0.534bpp), pyramid 부호화기는 29.47dB (0.573)인 반면에, 제안한 부호화기는 30.691dB (0.524bpp)로써, 각각 1.47dB, 0.66dB, 1.22dB씩 높은 결과가 나왔다.

또한, JPEG이 0.5 bpp이하에서 성능이 급격하게 감소하는데 비해서, 제안한 부호화기는. 완만한 감소가 일어났으며, JPEG과 같이 저전송률에서 blocking effect가 발생하지 않았다. 그러나 1.5 bpp이상에서는 이진트리 예측부호화기보다 성능이 떨어졌으며, 2 bpp이상에서는 JPEG보다 성능이 떨어졌다.

웨이브렛 변환 대신 lifting scheme을 사용한 결과, 변환 수행시간이 486 dx2 50 PC에서 0.52초, 역변환 수행이 0.58초 정도로써, 기존의 웨이브렛 변환보다 변환 수행시간이 최대 2배 단축되었으며, 저전송률에서도 고주파 성분이

많은 edge부분을 잘 포착하였다. 그러나, 기존의 웨이브렛 변환이 고해상도에서 열화가 발생되고, 저주파 성분을 잘 포착한 반면, lifting scheme은 그림 8과 같이 저전송률에서 저주파 성분에서 열화되는 현상이 발생하였다.

V. 결론

본 논문에서는 Lenna 256x256 gray 영상을 lifting scheme을 이용하여 3 level로 웨이브렛 변환한 후, 에너지가 밀집된 가장 저주파 영역은 8bit로 균일양자화하였고, 나머지 대역은 동일한 레벨별로 4차원 벡터를 생성한 후, dead zone을 가지는 pyramid 벡터양자화기로 양자화한 후, 산술 엔트로피 부호화를 수행하였다. Lifting scheme으로 빠른 웨이브렛 변환을 할 수 있었고, 적은 계수에 많은 에너지가 밀집함으로 압축에도 효과적이었다. 실험결과 제안한 부호화기가 JPEG이나 다른 wavelet-based 영상부호화보다 0.5bpp에서 0.66~1.47 dB 정도 좋은 성능을 나타냈으며, 저전송률에서 blocking effect가 나타내지 않았고, edge 부분의 검출이 뛰어난 반면, 저주파 부분에서 열화가 많이 발생하였다.

VI. 참고문헌

- [1] M.Vetterli, J.Kovatević "Wavelets and subband coding," Prentice Hall, 1995.
- [2] A.Gersho, RM.Gray "Vector quantization and signal compression," KAP, 1991.
- [3] JH.Conway, NJA.Sloane "A fast encoding method for lattice codes and quatizers," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol.IT-29:820-824, November 1983.
- [4] TR.Fischer "A pyramid vector quantizer," *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. IT-32:568-583, July 1986.
- [5] HC.Tseng, TR.Fischer "Transform and hybrid transform DPCM coding of images using pyramid vector quantizer," *IEEE Trans. on COMM*, Vol. COM-35 no 1, : 79-86 January 1987.
- [6] M.Antonini, M.Barlaud, P.Mathiea, "Image coding using lattice vector quantization of wavelet coefficient," in *Proc. ICASSP-91, Toronto, Canada*, pp.2273-2276.
- [7] EK.Tsern, THY.Meng "Image coding using pyramid vector quantization of subband coefficients," in *Proc. ICASSP-94, Adelaide, South Australia*, pp. 601-604.
- [8] A.Woolf, G.Rogers "Lattice vector quantization of image wavelet coefficient vectors using a simplified form of entropy coding," in *Proc. ICASSP-94, Adelaide, South Australia*, pp. V269-272.

- [9] M.Barlaud, P.Solé, M.Antonini, P.Gauthier, " Elliptical codebook for lattice vector quantization ," in *Proc. ICASSP-93, Minneapolis, USA*, pp.590-593.
- [10] JH.Conway, NJA.Sloane "Sphere packings, Lattices and Groups," Springer-Verlag, 1993
- [11] G.Beylkin, R.Coifman, V.Rokhlin, "Fast wavelettransforms and numerical algorithms I," *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 44:141-183, 1991.
- [12] Stephane G. Mallat "A Theory for Multiresolution Siganal Decomposition : The Wavelet Representation," *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.* Vol. II, NO.7, pp.674-693, July 1989.
- [13] M.Antonini, M.Barlaud, P.Mathieu, and I.Daubechies, "Image coding using vector quantization in the wavelet transform domain," in *Proc. IEEE ICASSP(Albuquerque,NM)*, Apr. 1990, pp.2297-2300.
- [14] I.Daubechies, " Orthonormal bases of compactly supported wavelets," *Comm. Pure Appl. Math.* Vol. 41, pp.909-996,1988.
- [15] W.Sweldens, "The lifting scheme: A construction of second generation wavelets," Tech. Rep. 1995:6, Industrial Mathematics Initiative, Department of Mathematics, University of South Carolina, 1995.
- [16] W.Swelden and P.Schröder, "Building your own wavelets at home," Tech. Rep. 1995:5, Industrial Mathematics Initiative, Department of Mathematics, University of South Carolina, 1995.



그림 8.(a) 원영상



그림 8.(c) a의 확대영상



그림 8.(b) 27.6892 dB (0.318 bpp)

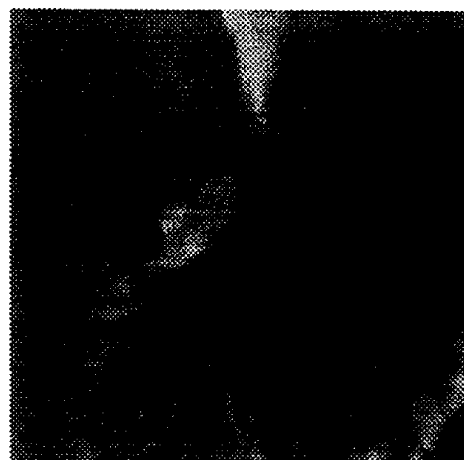


그림 8.(d) b의 확대영상