

VQ 인덱스의 엔트로피 부호화를 위한 코드북 재정렬 기법

황재호*, 홍충선**, 이대영**
*극동정보대학 멀티미디어과
**경희대학교 전자정보학부
e-mail : mjrin@unitel.co.kr

Codebook Reordering Technique for Entropy Coding of VQ Indexes

Jae-Ho Hwang*, Choong-Seon Hong**, Dae-Young Lee**
*Dept. of Multimedia, Keuk-Dong College
**Dept. of Electronic Engineering, Kyung-Hee University

요 약

웨이브렛 영역에서 벡터 양자화(vector quantization)를 수행하여 생성된 VQ 인덱스들을 엔트로피 부호화(entropy coding)하면 영상의 코딩 효율을 높일 수 있다. 본 논문에서는 벡터 양자화 이전에 VQ 인덱스들의 중복성을 높이기 위해 다중해상도 코드북의 코드 워드들을 에너지 크기 순으로 재정렬하는 기법을 제안한다. 코드 워드들의 평균과 편차를 이용한 재정렬 방법과 제안된 기법을 벡터 양자화 후 생성되는 VQ 인덱스에 DPCM/Huffman 기법을 적용하여 각각에 대한 코딩 효율을 비교한다.

I. 서론

벡터 양자화는 음성, 영상 및 비디오 압축, 그리고 음성 인식 등에서 널리 사용되고 있다. 벡터 양자화는 부호화 시 계산량이 많고 모든 입력 데이터에 맞는 코드북 생성이 어렵다는 단점에도 불구하고 두 가지 측면에서 장점으로 작용한다.

첫째, 복호기 측에서 수신된 인덱스를 통해 간단히 코드 테이블을 참조하여 원 영상이 복원 가능하여 복호기가 비교적 간단하게 구현될 수 있다. 둘째, 스칼라 양자화에 비해 소수점 이하의 비트할당이 가능하기 때문에 코딩 효율을 높일 수 있다.

여러 다양한 기법들이 벡터 양자화에 이용되는데 약간의 코딩 효율은 떨어지지만 부호화 시간을 단축하기 위해서 탐색할 코드북에 제한을 두는 TSVQ(tree-structured VQ)와 CVQ(classified VQ), 입력 영상이 달라짐에 따라 벡터의 변화를 줄이기 위한

MRVQ(mean-removed VQ), 다 단계의 벡터 양자화를 수행하는 MSVQ (multi-stage VQ), DCT와 같은 변환을 수행한 후 벡터 양자화를 실시하는 T-VQ(transform VQ), 그리고 입력 벡터의 상태에 따라 코드북을 달리 하는 FSVQ (finite-state VQ) 등이 있다[1].

최근에는 웨이브렛 변환 후 벡터 양자화를 수행하는 W-VQ(wavelet VQ)[2]와 FSVQ와 웨이브렛을 동시에 사용하는 서브밴드 FSVQ (subband FSVQ)[3][4] 등에서와 같이 코딩 효율을 높이기 위한 복잡한 기법들에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

기존의 푸리에 변환(fourier transform)에 기반한 FFT나 DCT는 주파수 영역으로 변환 후 시간 정보를 이용할 수 없다는 단점이 있다. 이와는 달리 웨이브렛 변환은 주파수와 시간 영역에서 신호를 표현하기 때문에 신호의 주파수 성분과 시간 정보를 둘 다 이용할 수 있다는 장점이 있다.

이산 웨이브렛 변환(discrete wavelet transform)은

서브밴드 코딩과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 QMF (quadrature mirror filter) बैं크를 통하여 간단하게 입력 영상을 다중 해상도(multi-resolution)의 영상으로 분할 할 수 있다[5]. 그리고 분할된 서브밴드의 특성에 맞게 비트량을 할당할 수 있기 때문에 코딩 효율을 높일 수 있게 된다.

한편, 벡터 양자화 후 생성되는 VQ 인덱스 간에 중복성이 존재하기 때문에 이를 이용하여 압축율을 높이는 기법에 관한 연구가 이루어지고 있다. AVQ(address VQ)[6]에서는 4 개의 이웃한 인덱스들의 주소 코드북을 이용하여 여분의 코딩 에러 없이 영상을 압축하는 기법을 제안하였다.

그리고 영상의 이웃한 블록의 대부분이 동일한 인덱스를 가진다는 사실에 착안하여 블록의 인덱스를 3 가지 그룹으로 분류하여 압축에 이용한 기법이 IC-VQ(index-compressed vector quantization)[7]에서 제안되었다.

위와 같은 기법을 사용 시 일반적으로 LBG(Linde-Buzo-Gray)[8]와 같은 알고리즘을 이용하여 얻은 코드북은 임의의 순서로 된 코드워드들을 가지기 때문에 부호화 시 인덱스 간의 상관도를 약화시키게 된다.

벡터 양자화 시 PDS[9] 코드북 탐색의 효과를 증진시키기 위해서 코드북의 정렬 효과에 대해 [10]에서 이에 관한 논의가 이루어졌다. 이 논문에서 저자들은 코드북 생성시 클러스터(cluster)들의 크기순으로 배열함으로써 압축 효율을 높이고 코드북 탐색시간을 줄일 수 있다는 결론에 도달하였다.

본 논문에서는 웨이브렛 영역에서 벡터 양자화를 기반으로 하는 인덱스 압축 기법들을 사용하기 위해서 코드북을 재정렬하는 기법을 제안한다. 다중해상도 코드북은 LBG 알고리즘을 이용하여 생성된다. 생성된 코드북의 코드워드들, 즉 웨이브렛 계수들의 에너지 크기 순으로 코드워드들을 재정렬 한다. 평균과 편차를 이용했을 경우와 성능을 비교하기 위하여 VQ 인덱스들을 DPCM/Huffman 기법을 이용하여 복원된 화질을 비교하였다.

본 논문의 구성은 제 II 장에서는 웨이브렛 영역에서 벡터 양자화에 관하여 논의하며 제 III 장에서 코드북의 재정렬 기법에 관하여 설명한다. 그리고 실험 및 고찰은 제 IV 장에서 결론은 제 V 장에서 맺는다.

II. 웨이브렛 영역에서 벡터 양자화

스칼라 양자화가 하나의 샘플에 대해 처리하는데 반하여 벡터 양자화는 여러 개의 샘플(벡터)에 대해 미리 정의된 벡터 패턴(코드북)으로 매핑해 나가는 과정이다. 코드북 생성을 위해 LBG 알고리즘이 많이 사용되는 데 이는 훈련 집합을 사용하여 집합 내에서 지역적으로 최적인 대표 패턴을 반복적인 수렴 과정을 통해 이루어진다.

웨이브렛 영역에서의 벡터 양자화는 웨이브렛 변환을 통해 얻어진 여러 개의 서브밴드에 맞는 서브-코드북들이 생성되어야 하는 데 이를 다중해상도

(multiresolution) 코드북이라 부른다.

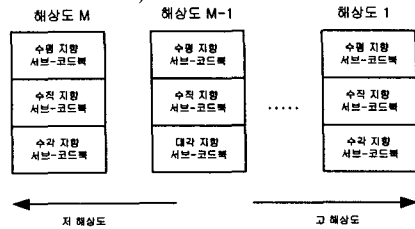


그림 1. 다중해상도 코드북

그림 1 에 보여진 다중해상도 코드북은 분할 수준(decomposition level)이 M 일 경우에 해상도 1 부터 해상도 M 까지 M 개의 코드북으로 구성된다. 그리고 각 코드북은 수평 지향(horizontal orientation), 수직 지향(vertical orientation), 그리고 대각 지향(diagonal orientation) 서브-코드북으로 구성되어 있다.

부호기에서의 벡터 양자화 과정은 그림 2 에서 보는 바와 같이 먼저 입력 영상을 웨이브렛 변환을 통하여 생성된 웨이브렛 계수들을 벡터로 분할하여 다중해상도 코드북을 참조하여 최소 왜곡을 갖는 코드워드의 인덱스를 전송하게 된다.

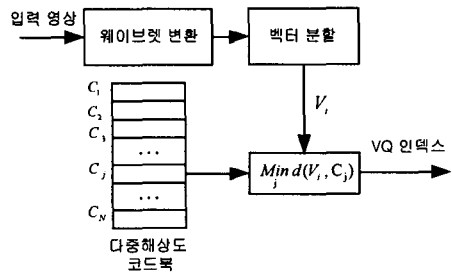


그림 2. 부호기에서 벡터 양자화 과정.

III. 코드북 재정렬

훈련 집합으로부터 LBG 알고리즘을 통하여 생성된 코드북은 코드워드들이 무작위로 정렬이 된다. 이는 벡터 양자화 후 생성되는 인덱스들의 중복성을 약화시켜 인덱스 압축을 효율적이지 못하게 한다. 특정한 규칙을 가지고 코드북을 정렬시킴으로써 그림 2 에서 생성되는 인덱스들을 엔트로피 부호화함으로써 압축 효율을 높일 수 있다.

본 논문에서 사용된 코드북의 i 번째 코드워드, 즉, 웨이브렛 계수들의 에너지는 다음과 같이 정의된다.

$$E_i = \sum_{j=1}^k C_{ij}^2 \quad (1)$$

여기서, k 는 벡터 차원, C_{ij} 는 i 번째 코드워드의 j 번째 웨이브렛 계수 값이다.

i 번째 코드워드의 평균은 다음 식에서 구할 수 있다.

$$M_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k C_{ij} \quad (2)$$

서브 코드북의 전체 평균은

$$M_T = \frac{1}{kN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k C_{ij} \quad (3)$$

위 식에서 N 은 코드북의 크기이다.

그리고 i 번째 코드워드의 편차는 같이 정의한다.

$$V_i = \sum_{j=1}^k (M_T - C_{ij})^2 \quad (4)$$

IV. 실험 및 고찰

실험에 쓰인 하드웨어는 Pentium III(600 MHz) PC 를 사용하였으며 C++ 언어를 이용하여 전체 시뮬레이션을 수행하였다. 웨이브렛 변환에 사용된 9/7 탭 쌍직교(biorthogonal) 웨이브렛 필터 계수[2]가 표 1 에 나타나 있다.

표 1. 9/7 탭 쌍직교 웨이브렛 필터 계수

n	0	±1	±2	±3	±4
$2^{-1/2} \tilde{h}_n$	0.602	0.266	-0.078	-0.016	0.026
$2^{-1/2} \tilde{h}'_n$	0.557	0.295	-0.028	-0.045	0

256 그레이 레벨과 512 x 512 해상도를 가지는 10 장의 영상을 훈련 집합(training set)으로 사용하여 LBG 알고리즘을 이용하여 다중해상도 코드북을 생성하였다. 제 III 장에서 언급한 코드워드의 평균, 편차, 에너지를 이용하여 코드북을 정렬한 방법들을 비교하기 위해 주어진 화질(PSNR)을 얻는 데 부호화 시 생성되는 비트량을 조사하였다.

비교에 사용된 영상은 256 그레이 레벨, 512 x 512 의 해상도를 가진 훈련 집합 외부의 Lena 와 Barbara 영상을 사용 하였으며, 훈련집합 내부의 Peppers 영상을 사용하였다. 표 2, 표 3, 표 4 은 각각 Lena, Peppers, Barbara 영상에 대하여 Huffman 기법을 적용하지 않았을 경우, 평균을 이용한 코드북 정렬, 편차를 이용한 경우, 그리고 본 논문에서 제안한 에너지 크기 순으로 코드북을 재정렬하였을 경우에 대하여 벡터 양자화 후 생성되는 VQ 인덱스들에 DPCM/Huffman 기법을 이용하여 부호화한 결과이다.

표 2. Lena(256 레벨, 512 x 512) 영상에 대한 주어진 화질(33.23 dB, 32.03 dB)를 얻기위해 사용된 비트와 비트율(bit per pixel)

	PSNR=33.23dB		PSNR=32.03dB	
	용량 (bits)	Bpp	용량 (bits)	bpp
No Huffman	317,440	1.21	194,560	0.74
평균	274,025	1.04	177,269	0.67
편차	272,488	1.03	176,502	0.67
제안된 기법	222,243	1.03	146,242	0.67

표 3. Peppers(256 레벨, 512 x 512) 영상에 대한 주어진 화질(30.94 dB, 29.62 dB)를 얻기위해 사용된 비트와 비트율(bit per pixel)

	PSNR=30.94dB		PSNR=29.62dB	
	사용비트	Bpp	사용비트	bpp
No Huffman	317,440	1.21	194,560	0.74
평균	290,097	1.10	180,359	0.68
편차	287,735	1.09	180,182	0.68
제안된 기법	247,489	1.09	159,984	0.68

그림 3, 4, 5 는 각각 표 2, 표 3, 표 4 에 대응하는 세 가지 영상의 원 영상(그림에서 (가))과 복원된 영상(그림에서 (나))을 보여준다.

그림 3 과 그림 5 에서 알 수 있듯이 Barbara 영상은 Lena 영상에 비해 세밀한 에지들이 존재하여 그레이 레벨이 급격하게 변환을 알 수 있다. 표 4 의 Barbara 영상에 대한 결과가 표 2 의 Lena 영상의 결과보다 엔트로피 부호화 효과가 작음을 알 수 있다. 이는 웨이브렛 영역에서 벡터 양자화 후 생성되는 인덱스의 상관도가 Lena 보다 Barbara 가 적기 때문에 생기는 당연한 결과이다. 그림 4 과 표 2 의 Peppers 영상은 Lena 와 Barbara 의 중간 정도의 압축 효과를 나타내게 된다.

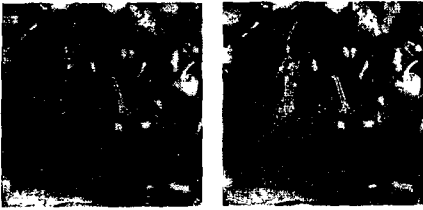
표 4. Barbara(256 레벨, 512 x 512) 영상에 대한 주어진 화질(27.70 dB, 24.87 dB)를 얻기위해 사용된 비트와 비트율(bit per pixel)

	PSNR=27.70dB		PSNR=24.87dB	
	사용비트	Bpp	사용비트	bpp
No Huffman	317,440	1.21	194,560	0.74
평균	300,003	1.14	192,928	0.73
편차	298,059	1.13	191,991	0.73
제안된 기법	267,902	1.13	171,819	0.73

▶ 표 2, 3, 4 에서 원 영상의 크기는 2,097,152 비트이다

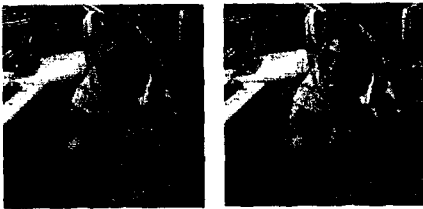


그림 3. Lena(256 레벨, 512x512) 영상 : (가) 원영상, (나) 표 2 의 PSNR 32.03 dB 로 복원된 영상.



(가) (나)

그림 4. Peppers(256 레벨, 512x512) 영상 : (가) 원영상, (나) 표 3의 PSNR 29.62 dB로 복원된 영상.



(가) (나)

그림 5. Barbara(256 레벨, 512x512) 영상 : (가) 원영상, (나) 표 3의 PSNR 24.87 dB로 복원된 영상.

V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 벡터 양자화 후 생성되는 VQ 인덱스들의 상관도를 이용하여 압축 효율을 높이기 위해서 다중해상도 코드북을 에너지 크기 순으로 재정렬하는 기법을 제안하였다. 평균과 편차를 기준으로 코드워드를 정렬하는 기법과 제안된 에너지 크기 순으로 재정렬 기법을 비교하기 위하여 VQ 인덱스들에 DPCM/Huffman의 엔트로피 부호화를 수행하여 각각의 방법들을 비트율(bpp)과 화질(PSNR) 측면에서 비교하였다.

실험 결과 제안된 기법, 즉 에너지 크기 순으로 코드북을 정렬한 것이 다른 두 가지 방법 보다 코딩 효율이 더 나음을 알 수 있다. 또한 원 영상에서의 그레이 레벨의 분포가 웨이블릿 영역에서도 VQ 인덱스 상관도와 밀접한 관계가 있으며 그레이 레벨이 크게 변화하지 않을수록 엔트로피 부호화 효율이 커진다.

제안된 기법을 이용하여 압축률을 높이는 방법과 빠른 부호화 알고리즘에 관한 연구가 추후의 과제로써 남는다.

참고문헌

- [1] A. Gersho, R. M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992.
- [2] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transform", IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, no 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [3] R.F. Chang and Y.L. Huang, " Subband Finite-State Vector Quantization for Still Image Coding", Journal of Visual Commun. & Image Represent., vol. 6, no. 4, pp.378-

386, Dec 1995.

[4] R.F. Chang and Y.L. Huang, " Finite-State Vector Quantization by Exploiting Interband and Inband Correlations for Subband Image Coding", IEEE Trans. Image Process., vol. 5, no. 2, pp.374-378, Feb 1996.

[5] G. Strang, T.Nguyen, "Wavelets and Filter Banks", Wellesley-Cambridge Press, 1997. pp. 365-370.

[6] N.M. Nasrabadi, Y. Feng, " Image Compression Using Address-Vector Quantization", IEEE Trans. Commun., vol. 38, no. 12, pp. 2166-2173, Dec 1990.

[7] J.Shanbehzadeh, P.O. Ogunbona, " Index-Compressed Vector Quantization based on Index Mapping", IEE Proc. Vis. Image Signal Process., vol. 144, no. 1, pp. 31-38, Feb 1997.

[8] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE, Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 84-95. Jan 1980.

[9] C.D. Bei and R.M. Gray, " An Improvement of the Minimum Distortion Encoding Algorithm for Vector Quantization", IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, no. 10, pp. 1132-1133, Oct 1985.

[10] K.K. Paliwal and V. Ramasubramanian, " Effect of Ordering the Codebook on the Efficiency of the Partial Distance Search Algorithm for Vector Quantization", IEEE Trans. Commun., vol. 37, no. 5, pp. 538-540, May 1989.

[11] C.S. Burrus, R.A. Gopinath, and H. Guo, " Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms", Prentice-Hall, 1998, pp. 10-19.