

벡터양자화를 이용한 웨이브렛 영상데이터 압축

최유일, 조창호, 이상효, 조도현*, 이종용
광운대학교 정보제어공학과 인하공업전문대학*
전화: 02-940-5153 / 팩스:02-909-3255

Wavelet Image Data Compression Using Vector Quantization

You-Il Choi, Chang-Ho Cho, Sang-Hyo Lee, Do-Hyeoun Cho*, Jong-Young Lee
Dep. of Information & Control Engineering, Kwangwoon University,
Inha Technical College.
E-mail : yichoi@gwu.ac.kr

Abstract

In this paper, an image vector quantization method is proposed not only to improve the compression ratio but also to reduce the computation cost. The proposed method could save the computation cost of codebook generation and encoding by using the modified LBG algorithm of Partial Search Partial Distortion(PSPD) in wavelet domain, by which the code book was constructed together with the partial codebook search, the partial code vector elements, and the interruption criterion. We have designed and implemented the vector quantizer to verify the improvement in reducing compression ratio in encoding processing and reducing the computation cost.

I. 서론

최근 멀티미디어에 대한 관심이 높아지면서 이에 대한 요구가 증가하게 되고 관련된 멀티 미디어 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.

영상 압축 방법은 크게 예측부호화 방식과 변환부호화 방식으로 대별되는데, 예측부호화 방식은 영상 샘플이 갖는 상관관계를 이용하는 방법으로서, 압축율이 낮을 때는 복원영상의 왜곡이 적고 시스템 구성이 간단하다는 장점을 갖지만, 압축율을 높이면 왜곡이 생기는 단점을 갖는다. 변환부호화 방식은 영상 화소간에 높은 상관도를 갖는 공간영역에서 주파수 영역으로의 변환을 통해 상관도를 낮추고 에너지를 집중시킨 후에 높은 에너지 분포를 갖는 변환계수만을 부호화하는 방식으로 영상처리에 널리 사용되고 있으며, 비교적 높은 압축율에서 좋은 성능을 나타내지만, 블럭코딩 방식인 벡터양자화에 적용하게 되면 메모리량과 계산량이 문제가 되고, 영상의 에지(Edge) 열화 현상이나 Blocking 현상이 생기는 문제점을 가지고 있다. 비교적 높은 압축율에서 좋은 성능을 나타내지만 시스템의 구성이 복잡해지게 된다.

본 논문에서는 웨이브렛 변환을 이용한 변환부호화 방식과 LBG 알고리즘[1]의 변형인 PSPD(Partial Search Partial Distortion) [5]을 적용한 벡터양자화를 설계하므로써 벡터양자화의 단점인 영상의 에지 열화 현상과 복원영상의 열화를 줄이고, 낮은 비트율로서 영상의 Blocking 현상을 감소시키고자 한다. 전체 개념도는 그림 1 과 같다.

II. 이산 웨이브렛

웨이브렛(Wavelet)은 수학적 기반을 가지고 1909

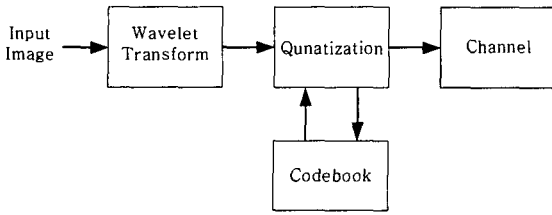


그림 1. 전체 개념도

년 Haar 에 의해 처음 언급된 이후, 수학 뿐만이 아닌, 양자역학, 전자동학 등 여러분야에 응용되고 있으며, 웨이브렛 이론[4]에 의하면 웨이브렛 변환에 의해서 얻어진 계층적 신호들은 영상의 통계적 특성을 이용하고, 인간의 시각적인 특성에 알맞은 양자화기를 설계하는데 편리한 구조를 지니며, 표현에 있어서도 유연성있게 처리할 수있어 영상 처리 응용분야에서도 널리 이용되고 있다. 웨이브렛 변환을 이용하여 영상을 다해상도 분해 후 영상을 압축하는 것은 기존의 방식인 Fourier 변환과 DCT(Discrete Cosine Transforms) 보다 영상의 압축율을 높일 수 있고, 공간 영역의 분할이 아닌 주파수 영역의 분할이기 때문에 블록화 현상이 일어나지 않아 인간의 시각에 보다 적절한 압축 방법이다. 웨이브렛 변환은 dyadic tree 분해를 갖는 다중 비트율 필터뱅크의 특별한 경우와 같이 언급될 수 있다. 이것은 웨이브렛 필터를 사용하여 분리된 QMF(Quadrature Mirror Filter)필터뱅크의 cascade 에 의해 구현될 수 있다. QMF 쌍은 저주파 대역 필터 G 와 그 임펄스 응답 $g(n)$ 및 고주파 대역 필터 H 와 그 임펄스 응답 $h(n)$ 으로 구성며, $n \in \mathbb{Z}$ 에 대해 $h(n), g(n)$ 은 웨이브렛 필터이다. 여기서 임펄스응답 $h(n), g(n)$ 는 거울 영상(mirror image)의 관계, 즉, 식(1)과 같다.

$$g(n) = (-1)^{l-n} h(l-n) \quad (1)$$

필터뱅크의 정변환(해석과정)과 역변환(합성과정)은 각기 다음과 같은 관계식을 갖으며, 2-채널 QMF 필터뱅크의 경우는 그림 2와 같다.

$$\begin{aligned} g(n) &= \hat{g}(-n) \\ h(n) &= \hat{h}(-n) \end{aligned} \quad (2)$$

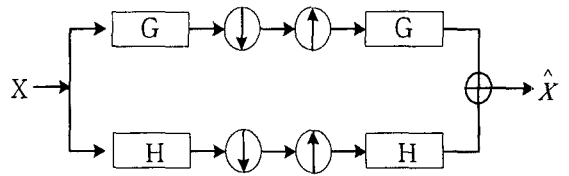


그림 2. 2 채널 QMF 필터뱅크

III. 벡터 양자화 이론

벡터양자화는 디지털 영상 압축에서 강력한 기능을 가진것으로 알려져 있다. 벡터양자화기(VQ)를 사영(mapping) Q 로 나타내면, Q 는 \mathbb{R}^k 를 \mathbb{R}^k 의 유한부분집합으로 사영하는 것으로 표현할 수 있다. 여기서,

$$Q = \mathbb{R}^k \rightarrow Y \subset \mathbb{R}^k \quad (3)$$

각각의 $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ 에 대해서 $Y = \{y_i; 1 \leq i \leq N\}$ 이고 $y_i \in \mathbb{R}^k$ 이다. Y 는 재생벡터(reconstruction vector)들의 집합이고, VQ 코드북(codebook) 또는 VQ 테이블 이라한다. N 은 Y 안의 벡터들의 수를 나타낸다.[3]

이때, 코드북의 코드벡터수(M), 벡터의 차원 k 에 대해 지표(index)을 전송하기 위해서는 $\log_2 N$ [bit/vector] 만큼의 비트율이 필요하게 되며 벡터양자화의 해상도 R [bit/vector]은 식(4)와 같다.

$$R = \frac{\log_2 N}{k} \quad (4)$$

여기서, 코드북이란 평균왜곡(mean distortion)이 최소가 되도록 설정된 코드의 집합이다. 벡터양자화의 검색시간은 N 값에 따라 $\log_2 N$ [bit/vector] 만큼 증가하게 된다. 실제로 어떤 벡터 x 와 재생된 벡터 \hat{x} 사이의 왜곡은 왜곡 측도(distortion measure) $d(x, \hat{x})$ 를 사용하게되며, 왜곡이 최소가 되는 \hat{x}_i 를 찾기 위해서는 $2^{Rk} - 1$ 회의 반복 비교가 필요하고, 코드북을 저장하기 위해서는 2^{Rk} 에 비례하여 메모리가 커지게 된다.

일반적으로, 왜곡측도는 확률 데이터에 대한 $d(x, \hat{x})$ 로 표현되며, 양자화 성능은 평균치의 개념으로 표현되므로, 입력벡터 $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_k]$ 를 양자화 할 때 평균왜곡은 식(5)와 같은 기대치로 표현될 수 있다.

$$D = E[d(X, \hat{X})]$$

$$= \frac{1}{n} \lim_{i \rightarrow n} \sum_{i=1}^n d(X_i, \hat{X}_i) \quad (5)$$

이때 왜곡측도는 또한 왜곡함수(distortion function)라고도 부르며, 일반적으로 평균자승오차(Mean Square Error)가 많이 사용된다. 복호기에서는 전송된 지표(index)에 해당하는 코드북(codebook)의 코드벡터(code vector)로 영상을 복원하게 된다.

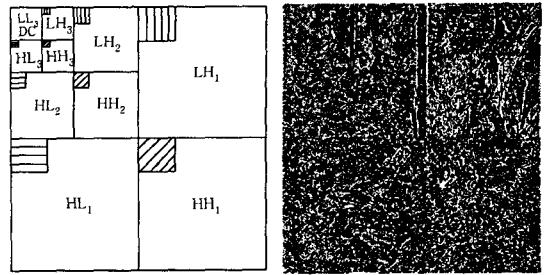
IV. 제안한 영상 부호화 기법

코드북 설계는 양자화에서 가장 기본이 되는 것이며, 코드북 설계시 중요한 것은 코드북 안에 어떠한 코드벡터들이 포함 되어야 하는가 하는 코드북 생성의 문제와 효율적인 탐색과 좋은 성능을 얻기 위해 어떤 코드북이 구성되어야 하는가 하는 것이다. VQ 코드북을 설계하기 위해 일반적으로 사용되는 방식은 LBG 알고리즘[1]이다. LBG 알고리즘의 경우 트레이닝 벡터 x를 군집화하기 위해서는 이전 반복으로 얻은 각 N 개의 코드벡터들로부터 왜곡(distortion)을 알아내야 하고, 코드북 설계와 인코딩 부분에서 최적의 코드벡터를 찾는 데 시간을 소비해야만 하는 단점을 가지고 있다. 기존의 알고리즘들 중에서는 입력 벡터들로부터 벡터들의 왜곡을 계산하지 않고 큰 값들을 제거하기도 했다. 또한 PSPD는 코드벡터들을 가능한한 코드북의 코드벡터와 일치시키려는 최적의 알고리즘이다. 하지만 코드북 설계에 있어서 여전히 하나의 문제를 가지고 있다. 그것은 벡터들의 초기코드화 알고리즘이 필요하다는 것이다.

초기코드화 알고리즘 Pruning Method[3]는 코드북에서 처음 코드벡터를 초기 트레이닝 벡터로 사용하여 다음 트레이닝 벡터와 그 다음 트레이닝 벡터와의 왜곡을 계산하여 정의된 임계값보다 크게되면 두 벡터의 평균치를 계산하고 트레이닝 벡터로 재배치 한 후 다음 벡터와 반복하게 되며 왜곡의 값이 작을 경우 코드북에 추가하게 된다.

Splitting Method[3]방식은 전체 트레이닝 벡터에 대한 중심을 찾아서 그 하나의 벡터를 N 개가 될 때까지 나누어 나가는 방법이다.

본 논문에서는 PSPD 방식을 도입하고, 웨이블릿 변환 영역에서 부분대역간의 스케일 및 주파수 상관도를 최대한 이용하는 초기코드화 알고리즘을 제안한다.



(a) 3 레벨 분해도 (b) 3 레벨 분해영상

그림 3. 영상에서의 웨이블릿 변환

제안한 초기코드화 방법은 3 단계 웨이블릿 변환하게 되면 그림 3 과 같이 서로 다른 주파수 성분을 갖는 10 개의 부분대역을 얻을 수 있는데 각 부분대역은 LH, HL, HH, LL 4 가지 성분을 갖는다. 이러한 웨이블릿 변환 특성을 이용하여 AC 영역에 해당하는 3 영역(HL₃, HL₂ and HL₁), (LH₃, LH₂ and LH₁) 그리고 (HH₃, HH₂ and HH₁)에 대해서 Splitting Method 방법을 이용하여 초기코드화 하고 PSPD 방법을 이용하여 3 개의 코드북을 생성하게 된다. 또한 저주파 성분인 LL 영역은 DPCM(differential pulse code modulation)방법을 이용하여 스칼라양자화 후 엔트로피 부호화를 적용한다.

V. 실험 및 결과

5.1. 제안방법에 따른 시스템 구성도는 그림 4 와 같다.

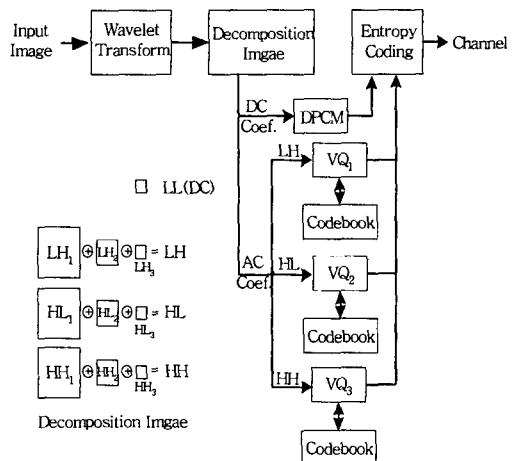


그림 4. 시스템 구성도

5.2. 실험 방법

5.2.1 256 × 256 화소의 표준 시험영상인 Lena 을 이용하여 실험을 실시하고 평가한다.

5.2.2 웨이블릿 변환된 영상을 각 부분대역별로 구분하여 나누고 초기코드북은 Splitting Method 방법을 이용하였으며 LBG 변형인 PSPD 를 이용하여 각 영역별로 차수가 16, 코드북의 크기가 256 인 코드북을 생성한다.

5.2.3 각각의 AC 부분대역에 대한 변환 계수들은 코드북의 지표(Index)으로 부호화시키고, DC 계수는 DPCM 을 이용하여 스칼라 양자화 후 엔트로피 코딩을 이용하여 부호화 시키고, 부호화된 지표들을 각각 복호화시켜서 IDWT 하여 영상을 재생한다.

5.3. 결과

실험을 통하여 얻어진 원 영상에대한 복원 영상의 실험결과를 객관적인 화질 평가의 척도로서 PSNR 과 BPP(Bit Per Pixel)을 이용하였으며, PSNR 은 식(6) 과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{\sigma_e^2} [dB] \quad (6)$$

여기서, σ_e^2 은 원 영상과 복원 영상의 평균 자승 오차이다. 본 논문에서 제안한 기법과 웨이블릿+VQ 기법에 의한 복원 영상의 비트율에 따른 PSNR 은 표 1 에서와 같고, 표에서와 같이 제안한 기법에 의한 복원 영상의 PSNR 이 웨이블릿+VQ 기법보다 2.41dB 에서 3.25dB 정도 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

압축율(bpp)	PSNR[dB]	
	웨이블릿+VQ	제안방식
0.2	26.15	28.94
0.346	27.47	30.12
0.4	28.15	30.56
0.45	28.30	31.25
0.5	29.12	32.38

표 1. 제안알고리즘과 기존방식과의 비교

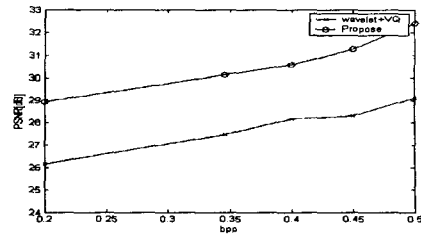


그림 5. Lena 영상에 대한 결과

VI. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환영역에서 부분대역간의 스케일 및 주파수 상관도를 이용한 벡터양자화기를 설계하여 영상압축에 관한 연구를 수행 하였다. 웨이블릿의 계층적 성질을 이용하여 각 영역별로 3 개의 코드북을 생성하여 영상을 압축하였으며, 제안한 방법을 이용한 벡터양자화기의 설계 및 실험 결과를 살펴보면 기존방법인 웨이블릿 벡터양자화기 보다 월등한 기능을 가짐을 알 수 있었으며, 벡터양자화기의 단점인 영상의 열화 및 Blocking 현상을 웨이블릿의 상관성을 이용하여 최소화 할 수 있었다. 복원 영상의 해상도는 제안한 방식과 기존의 방식이 2.41dB 에서 3.25dB 정도 향상 되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. Linde, A. Buzo, R. M. Gray, " An algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE Trans. On Communications, Vol. COM-28, No.1, pp.84-95, 1980
- [2] Ahmed A. Abdelwahab, E. M. Saad and Samir Gaber, "A New Wavelet-Based Image Coding Using Embedded Vector Quantizer", IEEE Canadian Conference, 2002.
- [3] A. Gersho and R. M. Gray, Vector Quantizaion and Signal Compression, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [4] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelet and signal Processing.", IEEE SP Magazine, October 1991 pp. 14-37
- [5] Othman Omran Khalifa and Satnam Singh Dlay, "Wavelet Image Data Compression," IEEE 1998