

웨이브렛 영역에서 VQ 인덱스들의 상관도를 이용한 영상 압축 기법

정회원 황재호*, 홍충선**, 이대영**

An Image Coding Scheme Using The Correlation of VQ Indices In Wavelet Domain

Jae Ho Hwang*, Choong Seon Hong**, Dae Young Lee** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 웨이브렛 영역에서 인접한 VQ 인덱스들의 상관도를 이용하는 영상의 압축 기법을 제안한다. 벡터 인덱스들의 중복성을 증가시키기 위해 각 서브 코드북의 코드워드들은 에너지의 크기에 따라 오름차순으로 재정렬된다. 재정렬된 인덱스들의 상대 주소가 절대 주소 대신에 수신 측으로 보내지게 된다. LBG 알고리즘이 다중 해상도 코드북을 생성하기 위하여 사용되었고 코드북의 초기 값을 얻기 위해 k-d 트리를 이용한 PNN 기법을 사용한다. 실험 결과에서 제안한 코딩 기법이 저 비트율에서 JPEG과 일반적인 웨이브렛 벡터 양자화(W-VQ) 기법보다 우수함을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, an image coding scheme using the correlation of neighboring VQ indices in wavelet domain is proposed. The codewords in each sub-codebook are reordered in ascending order according to their energy in order to increase the dependency of the indices. And the relative addresses of the reordered indices are transmitted to a receiver instead of the absolute addresses. LBG algorithm is used for obtaining a multiresolution codebook and PNN using k-d tree used for generating its initial values. Our experimental results show that the proposed coding scheme outperforms JPEG and an ordinary wavelet-VQ method at low-bit rates in terms of PSNR.

I. 서론

벡터 양자화 (vector quantization)^[1]는 스칼라 양자화 (scalar quantization)에 비해 코딩 효율이 뛰어나기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있다. Shannon의 이론에 따르면 데이터 사이에 중복성이 존재하지 않더라도 벡터 양자화는 스칼라 양자화보다 더 우수하다고 알려져 있다.

벡터 양자화를 기반으로 하는 기법에서 부호화 시 각 입력 블록은 MSE (mean square error)를 기

준으로 코드북에 있는 가장 가까운 코드 워드로 매핑된다. 화소 값 자체 대신에 코드북의 주소, 즉 인덱스가 수신 측에 보내져 복호기가 송신 측과 동일한 코드북을 참조하여 영상을 복원하게 된다.

벡터 양자화는 메모리 없는 VQ (memoryless VQ)와 메모리 VQ (memory VQ)의 두 가지로 크게 분류할 수 있다^[1]. 전자의 경우에 해당하는 TSVQ (tree-structure VQ)와 CVQ (classified VQ)는 영상의 화질이 조금 떨어지더라도 탐색 시간을 줄이기 위해서 많이 사용된다. 다른 접근방법은 최

* 극동정보대학 멀티미디어과 전임강사

** 경희대학교

논문번호: 00120-0417, 접수일자: 2000년 4월 17일

소 왜곡 기준 (minimum distortion criterion)을 유지하면서 전역 탐색의 복잡도를 피하는 기법인데 향상된 최소 왜곡 부호화 알고리즘^[2], MPS (mean-distance-sorted partial codebook search)^[3], 그리고 빠른 최소 평균-지승 오차^[4] 등이 이 범주에 속한다.

이에 반하여 메모리 VQ는 동일 화질에 대해 비트율을 좀더 줄일 수 있는 반면에 일반적으로 많은 계산 시간과 메모리 양을 필요로 한다. PVQ (predictive VQ), MVQ (multistage VQ), 적응VQ (adaptive VQ), 그리고 FSVQ (finite-state VQ) 등이 이에 속한다^[1].

이산 웨이브렛 변환 (discrete wavelet transform)은 서브밴드 코딩 (subband coding)과 밀접한 관계가 있기 때문에 영상 압축 분야에 많이 이용되고 있다. 웨이브렛 변환을 이용하면 입력 영상은 분해 필터 (analysis filter)와 합성 필터 (synthesis filter)로 구성된 QMF (quadrature mirror filter) बैं크를 통하여 쉽게 다중 해상도의 영상으로 분해되고 합성될 수 있다^[5].

DWT에 기반한 압축 기법은 JPEG에서 사용하는 DCT (discrete cosine transform)를 기반으로 하는 방식에 비해 두 가지 측면에서 장점으로 작용한다. 첫째 JPEG에서는 블록 단위로 부호화 과정이 수행되기 때문에 수신측에서는 전체 블록이 입력되어야만 하나의 화면을 볼 수 있게 된다. 그러나, 웨이브렛을 이용할 경우에는 전체 영상에 대해 중요한 정보 순서로 부호화가 수행되어 수신측에 전송되기 때문에 수신측에서는 입력되는 비트 스트림 중에서 아주 적은 양만으로도 전체 영상을 흐릿하게 먼저 볼 수 있게 된다. 둘째 부호화 시 웨이브렛 서브 밴드들의 특성에 따라 적절한 비트를 할당함으로써 코딩 효율을 높일 수 있다.

최근에는 벡터 양자화와 웨이브렛을 동시에 이용하는 기법들이 연구가 많이 이루어지고 있다. 웨이브렛 VQ(W-VQ)^[6]에서는 2차원 쌍직교 (biorthonormal) 웨이브렛 변환을 이용하여 생성되는 계수들의 통계적 특성을 조사하고 각 서브 밴드의 특성에 맞게 비트를 할당하는 기법이 제안되었다. 그리고 영상 압축에 이용되는 여러 가지 웨이브렛 필터들의 성능을 균일성(regularity)과 영상 화질 측면에서 평가한 논문이 발표되었다^[7].

본 논문에서는 웨이브렛 영역에서 벡터 양자화된 코드북의 인덱스들의 중복성을 이용하여 저 비트율에서 압축율을 높이는 영상 압축 기법을 제안한다. 인접한 인덱스들의 중복성을 증가시키기 위하여 코

드북의 코드 워드들을 에너지의 크기 순으로 재정렬한다. 그리고 벡터 양자화 후에 생성되는 인덱스와 바로 이전 인덱스의 차, 즉, 상대적 주소를 이용하여 압축 효율을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 제II장에서 웨이브렛 변환과 벡터 양자화에 관하여 논의하고, 제 III 장에서는 제안된 코딩 기법을 설명하였다. 그리고 제 IV장에서는 실험 환경 및 실험 결과를 다루었으며 끝으로 제 V장에서 결론으로 끝을 맺는다.

II. 웨이브렛 변환과 벡터 양자화

영상은 작은 윤곽선 부분을 제외하고 대부분이 평평하기 때문에 완전한 복원 조건 (exact reconstruction condition)은 직교 (orthonormal) 웨이브렛 기저함수와 일치한다^[5]. 또한 선형 위상은 영상의 경계 왜곡을 피하기 위하여 필요하게 된다. 불문하게도 직교성과 선형 위상을 만족시키는 FIR 필터는 존재하지 않기 때문에 쌍직교 (biorthonormal) 웨이브렛 필터가 종종 QMF बैं크에 사용된다. QMF बैं크는 그림 1에 나타난 바와 같이 분해 필터와 합성 필터로써 구성된다.

그림 1 (가)에서 보여진 분해 필터에서 입력 영상은 수평 방향으로 저주파 필터와 고주파 필터를 통과하고 2:1메시메이션 필터를 거쳐 평탄 영상과 세부 영상으로 분할된다. 그리고 얻어진 두 영상은 수직 방향 필터를 거쳐 4개의 서브 밴드 영상 (DC 영상, 수평 윤곽 영상(H), 수직 윤곽 영상(V), 대각선 윤곽 영상(D))으로 분할 된다. 합성 필터는 그림 1 (나)에 나타난 바와 같이 분해 필터와 정확하게 반대의 과정이 수행되어 원 영상으로 복원할 수 있게 된다.

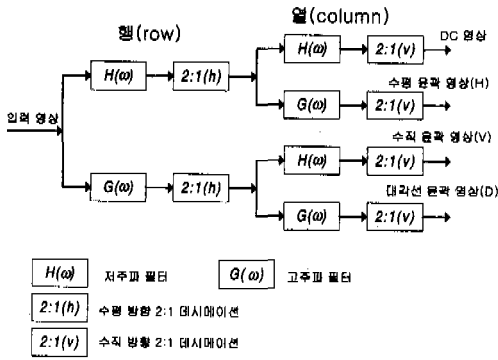
그림 1 (나)에서 사용된 $\tilde{H}(\omega)$ 와 $\tilde{G}(\omega)$, 그림 1 (가)의 $H(\omega)$ 와 $G(\omega)$ 는 서로 완전한 복원 (perfect reconstruction) 조건을 만족하기 위해서는 z-영역에서 다음과 같은 식이 성립하여야 한다^[5].

$$\tilde{H}(z)H(z) + \tilde{G}(z)G(z) = 2z^{-1} \quad (1)$$

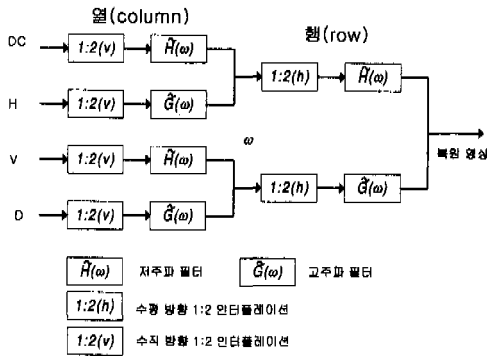
$$\tilde{H}(z)H(-z) + \tilde{G}(z)G(-z) = 0 \quad (2)$$

위와 식과 같은 조건이 만족되기 때문에 간단하게 영상을 여러 개의 서브 밴드로 분할할 수 있게 된다.

벡터 양자화는 k-차원 유클리디안 공간 R^k 에서



(가) 분해 필터



(나) 합성 필터

그림 1. 웨이브렛 필터를 이용한 영상의 분해 및 합성.

입력 벡터 $x = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_{k-1})$ 는 같은 공간 내에 있는 미리 결정된 벡터 집합의 원소들로의 매핑으로 볼 수 있다. 미리 결정된 벡터 집합은 코드북이라 불리며 $Y = (y_i : i = 0, \dots, N-1)$ 과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $y_i = (y_{i0}, \dots, y_{i(N-1)})$ 는 코드워드들을 나타내며, N 은 코드북의 크기를 나타낸다. 부호기는 각 입력 블록과 최소 왜곡(minimum distortion)을 가지는 코드워드, 즉 코드북의 인덱스로 매핑하게 된다. 최소 왜곡은 주로 MSE가 사용된다. 입력 블록 x 와 코드북의 코드워드 y_i 의 MSE는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$d(x, y_i) = \|x - y_i\| = \sum_{j=0}^{k-1} (x_j - y_{ij})^2 \quad (3)$$

III. 제안된 웨이브렛 벡터 양자화 기법

가. 다중 해상도(multiresolution) 코드북 설계
웨이브렛 벡터 양자화를 기반으로 하는 코덱(codec)에서는 각각의 웨이브렛 서브 밴드의 특성에 맞는 코드북이 설계되어야 하며 이를 다중해상도 코드북이라 부른다.

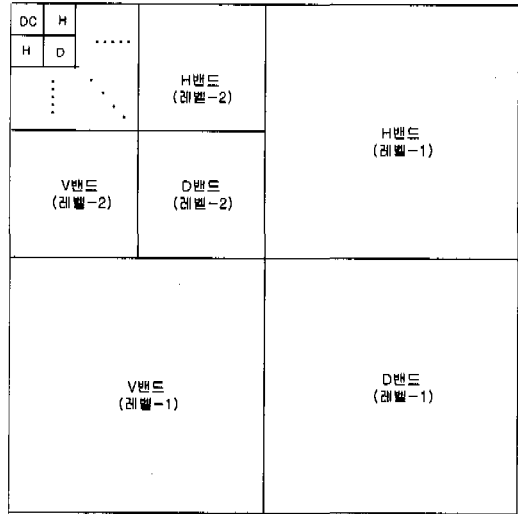


그림 2. 웨이브렛 변환을 이용하여 분할된 다중 해상도 영상.

그림 1의 웨이브렛 필터를 이용하면 그림 2에 나타난 바와 같이 하나의 입력 영상을 다중해상도의 영상으로 분할할 수 있다. 각 레벨은 3개의 서브밴드, 즉, H 밴드(수평 방향 에지 영상), V 밴드(수직 방향 에지 영상), 그리고 D 밴드(대각선 방향 에지 영상)로 구성되며 마지막 레벨에서는 DC 영상이 존재하게 된다. 본 논문에서는 5개의 레벨로 영상을 분할하기 때문에 DC영상의 크기(16 x 16)가 작고 또한 DC 성분은 중요하기 때문에 양자화 시 스칼라 양자화를 수행하여 화질의 손실을 줄였으며 나머지 서브밴드에 대해서는 벡터 양자화를 수행한다.

스칼라 양자화에 사용되는 스칼라 코드북은 성능이 우수하여 널리 사용되는 Lloyd와 Max 알고리즘을 사용한다^[1]. 그리고 벡터 양자화에 사용되는 벡터 코드북은 현재 가장 널리 사용되는 LBG(Linde-Buzo-Gray) 알고리즘^[9]을 사용하였으며 그 초기 코드북을 얻기 위해 k-d 트리를 이용한PNN 알고리즘^{[10][11]}을 이용한다.

LBG알고리즘과 Lloyd 와 Max 알고리즘은 기본적으로 두 가지 조건 가장 가까운 이웃 조건(nearest neighbor condition)과 중앙 조건(centroid condition) - 을 가진다. 가장 가까운 이웃조건은 북

호기가 주어졌을 때 최적의 부호기는 분할된 셀들이 만족해야 하는 조건으로써 다음의 식으로 나타낼 수 있다^[1].

$$R_i \subset \{x: d(x, y_i) \leq d(x, y_j); \text{all } j \neq i\} \quad (4)$$

여기서, R_i 는 분할 셀을 나타내며, $d(x, y_i)$ 는 식 (3)에서 정의되었다.

역으로 부호기가 주어졌을 때 최적의 복호기는 중앙 조건을 만족하게 된다. 이는 R_i 가 결정되었을 때 랜덤 변수 X 에 대한 최적의 코드북은 다음과 같다.

$$y_i = E[X | X \in R_i] \quad (5)$$

위의 코드북 설계 알고리즘은 두 가지 조건을 만족시키기 위해 부호기와 복호기 관점에서 번갈아가면서 수행되는 데 미리 정해진 평균 왜곡 오차 (average distortion error)에 도달할 때 까지 계속 반복된다.

나. 코드워드 재정렬

수평, 수직, 대각선 서브 밴드에서 웨이브렛 계수들의 실제 PDF는 일반화된 가우시안 법칙 (generalize Gaussian law)에 의해 근사화될 수 있다^[6]. 웨이브렛 계수 블록 간에 중복성이 존재하기 때문에 이를 이용하면 압축율을 높일 수 있다. 그러나 LBG 알고리즘에 의해 생성되는 임의의 순서로 된 코드북은 벡터 양자화 후 블록간 상관도를 낮추게 된다. 결과적으로 엔트로피가 증가하여 블록간의 중복성을 충분히 이용할 수 없게 된다.

Paliwal과 Ramasubramanian^[8]은 부호화의 계산 복잡도 측면에서 코드 워드들의 재정렬의 효과에 관하여 논의하였다. 코드 벡터들의 재정렬은 가능한 빨리 최소의 왜곡 오차를 찾을 수 있게 해주어 조속한 탈출 조건 (premature exit condition)을 만족하게 하여 계산 시간을 단축할 수 있다는 결론에 도달하였다.

본 논문에서는 각 서브 밴드 코드북에 있는 코드 워드들을 그들의 에너지 크기에 따라 오름차순으로 정렬하였다. 코드북의 i 번째에 있는 에너지 E_i 는 다음과 같이 정의 된다.

$$E_i = \sum_{j=1}^k c_{ij}^2 \quad (6)$$

여기서 c_i 는 i 번째 코드워드, 그리고 k 는 벡터 차

원 (vector dimension)을 나타낸다. 코드 워드들을 재정렬하는 것은 서브 밴드에 있는 인접한 인덱스들이 서로 유사한 에너지 값을 가질 것이라는 사실에 기인한다. 이것은 빠른 코드북 탐색 알고리즘이 사용 가능하여 지며 Huffman 방식과 같은 엔트로피 부호화 기법을 사용할 수 있다는 측면에서 장점으로 작용한다.

다. VQ 인덱스간의 상관도 이용

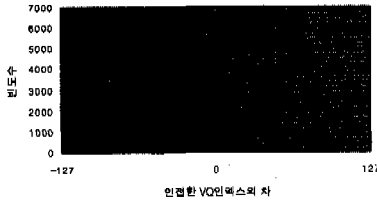
일반적인 웨이브렛 벡터 양자화(W-VQ) 기법에서는 코드북의 절대 주소, 즉 코드북의 인덱스 자체를 수신측으로 전송하게 된다. 본 논문에서는 코드북을 정렬함으로써 얻어지는 VQ 인덱스의 상관도를 이용하여 코드북의 상대 주소, 즉 바로 이전 인덱스와 현재 인덱스의 차를 다시 한번 허프만 부호화하여 코딩 효율을 높이게 된다.

그림 3, 4, 5는 각각 그림 2에 보여진 레벨-1 (벡터 차원 : 4 x 4, 코드북 크기 : 128)의 H 밴드, V 밴드, D밴드에 대해 정렬되지 않은 코드북을 이용했을 경우 (그림에서 (가))와 위에서 설명한 바와 같이 에너지 크기 순으로 정렬된 코드북을 이용하였을 경우 (그림에서 (나))에 대하여 벡터 양자화를 시행한 후 생성되는 인접한 인덱스의 차에 대한 빈도수를 나타낸다. 다양한 그레이 레벨 분포를 가진 10장의 영상(512 x 512, 256 그레이 레벨)을 대상으로 하였는데 그림 3, 4, 5에 존재하는 전체 인덱스의 수는 각각 40,960 (64 x 64 x 10)개가 된다.

그림 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 모든 서브밴드 (H, V, D 밴드)에서 (나)의 코드북을 정렬했을 경우의 인덱스 차 값이 대부분 0 또는 0에 가까운 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 인접한 인덱스가 같거나 유사한 값을 가짐을 의미하는데 다른 말로 하면 코드북이 에너지 순으로 정렬되었기 때문에 웨이브렛 영역에서 인접한 블록들이 서로 유사한 에너지를 가짐을 의미한다. 그러므로 이러한 인덱스 차에 허프만 부호화를 수행하여 압축율을 한층 더 높일 수 있게 된다.

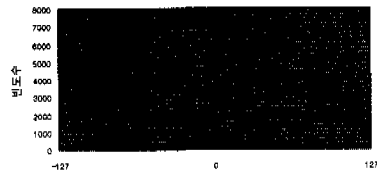


(가)

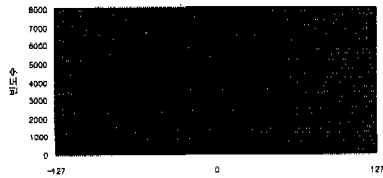


(나)

그림 3. H 밴드에서 인접한 VQ인덱스의 차에 대한 빈도수 : (가) 정렬되지 않은 코드북을 사용한 경우, (나) 정렬된 코드북을 사용한 경우.

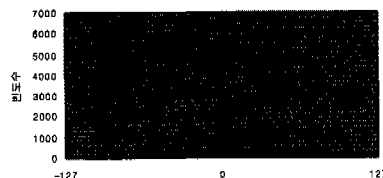


(가)

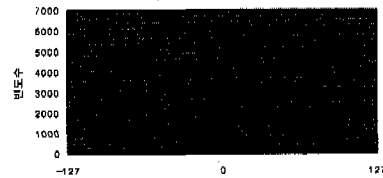


(나)

그림 4. V 밴드에서 인접한 VQ인덱스의 차에 대한 빈도수 : (가) 정렬되지 않은 코드북을 사용한 경우, (나) 정렬된 코드북을 사용한 경우.



(가)



(나)

그림 5. D 밴드에서 인접한 VQ인덱스의 차에 대한 빈도수 : (가) 정렬되지 않은 코드북을 사용한 경우, (나) 정렬된 코드북을 사용한 경우.

라. 부호기 및 복호기 설계

제안된 코딩 기법에서 부호기와 복호기는 동일한 재정렬된 다중해상도(multi-resolution)코드북을 가진다. 부호기의 기능 블록도가 그림 6에 나타나 있다. 입력 영상은 DWT, 즉 QMF뱅크를 이용하여 5-스케일(5-scale) 웨이브렛 서브 밴드로 분할된다.

벡터 양자화 후 생성되는 인덱스는 스캔 과정을 통하여 송신 순서가 정하여 진다. 스캔하는 방법은 그림 7에 나타난 바와 같이 웨이브렛 서브 밴드의 특성에 따라 달라지게 된다. H 밴드 (그림 2의 (가))는 수평 방향 에지 영상을 나타내기 때문에 수평 방향으로 스캔을 하고나서 허프만 부호화를 수행하면 비록 적은 양이지만 코딩 효율 약간 더 낮게 할 수 있다. 그리고, 같은 방식으로 V 밴드 (수직 방향 에지 영상)와 D밴드 (대각선 방향 에지 영상)도 그 자신의 특성에 맞게 스캔되게 된다. 제안된 복호기의 구조는 그림 8에 나타난 바와 같이 부호기와 대칭되는 기능 블록으로 나타낼 수 있다.

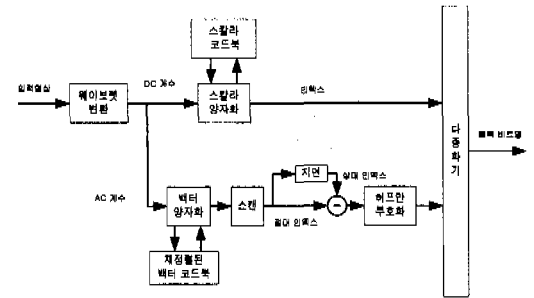


그림 6. 제안된 부호기의 기능 블록도

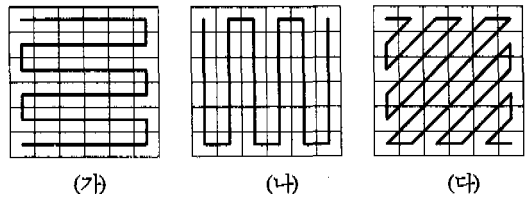


그림 7. 웨이브렛 부밴드에 따른 스캔 방식 : (가) H 밴드, (나) V 밴드, (다) D 밴드

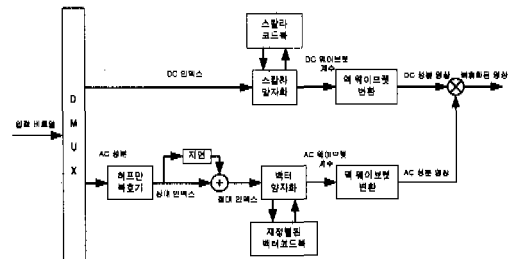


그림 8. 제안된 복호기의 구조

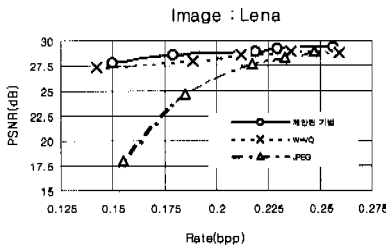
IV. 실험 환경 및 실험 결과

실험에는 Pentium III(450 MHz) 컴퓨터를 사용하였으며 제안된 부호기와 복호기의 성능을 검증하기 위하여 C++언어를 이용하여 윈도우즈 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다.

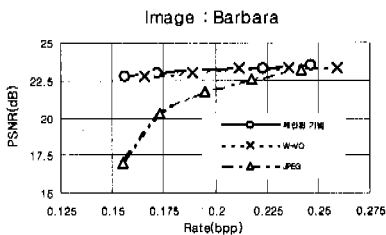
훈련 집합(training set)으로써 10장의 실험 영상(512x512, 256 그레이 레벨)을 이용하여 벡터 코드북과 스칼라 코드북을 생성하였다. 부호기와 복호기에서 사용한 웨이브렛 변환은 9/7 탭 쌍직교 웨이브렛 필터^[6]를 이용하였다. 그리고 영상의 경계에서 왜곡을 최소로 하기 위해 반사 확장(reflection extension) 방식을 사용하였다.

제안된 기법을 검증하기 위하여 실험 영상으로써 512x512, 256 그레이 레벨의 Lena 영상(훈련 집합 외부)과 Barbara(훈련집합 내부)영상이 사용되었다. 각 실험 영상에 대해 5-스케일의 웨이브렛 영상 분할을 수행하여 각 서브 밴드의 특성에 맞게 비트를 할당하였다.

그림 9 (가)와 (나)에서는 각각 Lena 영상과 Barbara 영상에 대해 원 영상과 복원된 영상의 화질을 비교하기 위해 주어진 비트율에서 PSNR을 기준으로 하여 JPEG과 W-VQ^[6]와 제안된 기법의 비교를 하였다.



(가) Lena 영상



(나) Barbara 영상

그림 9. JPEG과 W-VQ와 제안된 기법의 복원된 영상의 화질 비교(bpp 대 PSNR).

그림 10 과 그림 11에서는 각각 512 x 512 Lena 영상과 Barbara 영상에 대해 원 영상과 부호화 후 복원한 영상을 보여준다. 그림에서 나타난 바와 같이 JPEG 은 저 비트율에서 블록화 현상(blocking artifact)이 발생함을 알 수 있으며 제안된 알고리즘이 W-VQ 기법에 비해 동일 화질에서 더 적은 비트가 소모됨을 알 수 있다.

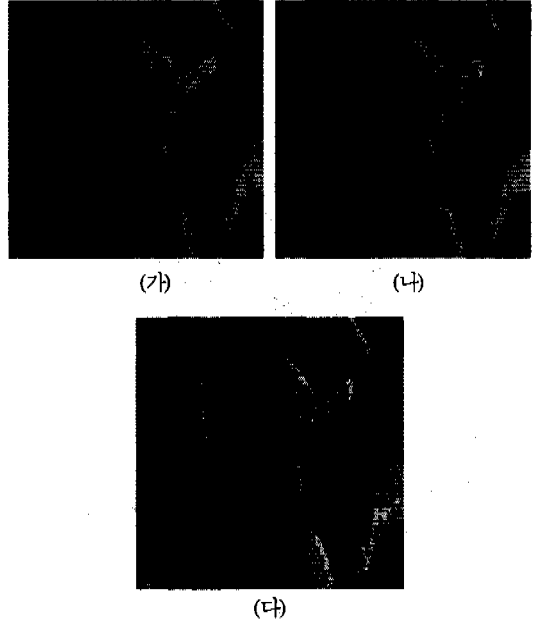


그림 10. 512 x 512 Lena 영상에 대해 실험 : (가) 원 영상, (나) 비트율 0.18 bpp에서 제안된 기법을 이용하여 복원 (PSNR 28.61 dB)된 영상, (다) 비트율 0.18 bpp에서 JPEG 압축 후 복원된 영상 (PSNR : 24.73 dB)

V. 결론

본 논문에서는 웨이브렛 변환과 벡터 양자화를 이용하여 영상을 압축하는 기법을 제안한다. 벡터 양자화 시 생성되는 인덱스들의 중복성을 높이기 위해 코드북의 코드워드들을 웨이브렛 계수들의 특성에 맞게 재정렬 한다. 재정렬된 코드북을 이용하여 인덱스들의 상관도를 높일 수 있으며 인덱스들의 절대 주소 대신에 상대 주소를 이용하여 코딩 효율을 높일 수 있다. 실험 결과를 통하여 제안된 코딩 기법은 저 비트율에서 JPEG보다 월등하게 그리고 W-VQ 기법에 비하여 0.2 ~ 1 dB 정도의 화질이 향상됨을 보여주었다.

웨이브렛 영역의 재정렬된 코드북에서 빠른 시간 내에 입력 벡터에 대해 최적의 코드워드를 탐색할

수 있는 기법에 대한 연구가 추후 과제로 남는다.

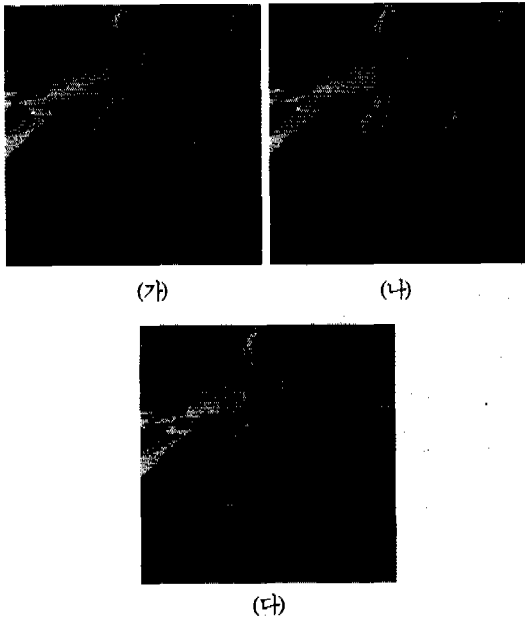


그림 11. 512 x 512 Barbara 영상에 대해 실험 : (가) 원 영상, (나) 비트율 0.19 bpp에서 제안된 기법을 이용하여 복원(PSNR : 23.28 dB)된 영상, (다) 비트율 0.19 bpp에서 JPEG 압축 후 복원된 영상 (PSNR : 21.72 dB)

참 고 문 헌

[1] A. Gersho, R. M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992.

[2] 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.

[3] S.W. Ra and J.K. Kim, "A Fast Mean-Distance-Ordered Partial Codebook Search Algorithm for Image Vector Quantization", IEEE Trans. Cir. & Sys.-II : Anal. & Dig. Sig. Process., vol. 40, no. 9, 576-579, Sep 1993

[4] M.R. Soleymani and S.D. Morgera, "A Fast MMSE Encoding Technique for Vector Quantization", IEEE Trans. On Comm., vol. 37, no. 6, pp. 656-659, June 1989.

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

365-370.

[6] 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.

[7] J. D. Villasenor, B. Belzer, and J Liao, "Wavelet Filter Evaluation for Image Compression", IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no. 8, 1053-1060, Aug. 1995.

[8] 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.

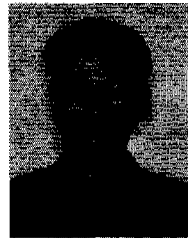
[9] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design", IEEE, Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 84-95. Jan 1980.

[10] J.L. Bentley, "Multidimensional Binary Search Trees Used for Associative Searching" Communications of the ACM, vol.18, no.9, pp.509-517, Sep 1975.

[11] W.H. Equitz, "A new Vector Quantization Clustering Algorithm", IEEE Trans. On Acoustics, Speech, and Sig., vol.37, no.10, Oct 1989.

황 재 호(Jae Ho Hwang)

정회원



1986년 : 경희대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1991년 : 경희대학교 전자공학과 (공학 석사)
 2000년 : 경희대학교 전자공학과 (박사수료)

1991년 : 1998년 한국통신 전송기술연구소 전임연구원
 1998년~현재 : 국동정보대학 멀티미디어과 전임강사
 <주관심 분야> 영상 및 비디오 압축, 인터넷 서비스, 객체 지향 시스템 등

