

인간의 시각 특성을 이용한 의학 영상에서의 블록 코딩 방법에 관한 연구

지 영 준, 김 영 훈, 박 광 석\*,  
서울 대학교 대학원 의용 생체 공학 협동 과정,  
\*서울 대학교 의과 대학 의공학 교실.

New Block Coding Method for the Medical Images  
based on Human Visual System Characteristics.

Young Joon Chee, Young Hoon Kim, Kwang Suk Park  
Dept. of Biomedical Eng. Seoul National University

< Abstract >

Recently, the image compression methods in cooperation with Human Visual System characteristics are being investigated lively. In this study, we propose a new block coding method using i) non-linearity of HVS in the noticeable differences, ii) spatial masking effects, and iii) HVS sensitivity curve according to spatial frequencies. For vector quantization, the third scheme was more effective than existing ones. We have applied this method on chest images and the results have shown better subjective qualities.

1. 서론.

의학 영상도 다른 영상과 마찬가지로 압축이 요구되며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 다른 영상과는 달리고 화질이 요구되며 경우에 따라서는 무손실 압축이 요구되기도 한다.

영상 압축은 주로 정보 이론에 입각하여 수학적인 의미에서의 최적화 코드를 구하는 쪽으로 연구되어 왔다[1]. 그러나 영상의 최종 이용자가 결국은 인간 시각 기관 ( Human Visual System : 이하 HVS) 이므로, HVS 특성에 의거한 영상 압축이 많이 연구되고 있다. 이는 화질의 측도(image quality measure)와 관련 있으며, 결국은 지능 오차보다 HVS 에 적합한 오류 측도 ( distortion measure ) 를 구하는 방향으로 연구가 진행되고 있다[2], [3], [6], [8].

본 연구에서는 인간 시각이 감지하지 못하는 영역에서의 손실을 허용하면서 블록 코딩을 이용하여 영상 압축 하는 것을 목표로 하고 있다. 일종의 변형된 분류화 벡터 양자화기(Modified Classified Vector Quantizer)라 할 수 있는데, 영상의 작은 블록을 분류하는 기준(2장)과 분류된 블록들을 코딩 하는 방법(3장)에서 HVS 특징들이 고려된다.

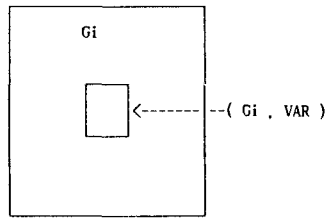
2 장에서는 여기서 제시된 방법에서 사용될 HVS 특징들과 블록 코딩의 대표적인 예인 벡터 양자화기에 대하여 간략히 기술하였다. 3장에서는 각각의 Class에 적용할 코딩 방법을 설명하였고, 4, 5 장에서는 실험 결과와 성능 평가, 그리고 향후 개선점에 대하여 기술하였다.

2. 코딩에 이용되는 인간 시각 기관(HVS)의 특성과 벡터 양자화기.

본 연구에서는 크게 세가지의 인간 시각 기관의 특성을 이용한다. 첫째는 주변 밝기에 따른 감지할 수 있는 명암차이의 비 선형성. 둘째는 강한 경계나 큰 경사각 주변에서는 인식도가 떨어진다는 masking 효과, 세번째는 각 공간 주파수에 따른 인간 시각 장치의 민감도 곡선이 그것이다.

2.1. 인간 시각 장치의 주변 밝기에 따른 비 선형성.

인간의 눈은 같은 정도의 밝기의 차이라면 밝은 곳에서 보다 어두운 곳에서 더욱 잘 인지할 수 있다. 이러한 성질을 감지 문턱 차(Just Noticeable Differences)로 측정할 실험이 있으나[7], 영상의 촬영 장치나 표시 장치(Imaging & Display Device)도 많은 비 선형성을 갖고 있으므로 이에 따른 전체적인 보정이 필요하다. 우리는 여기서 간단한 실험을 하였는데 < 그림 1 > 과 같이 gray level Gi 로 배경을 덮고 그 안의 작은 사각형에는 평균 Gi 이고 분산을 0 부터 점점 증가시켜 가면서 작은 사각형이 겨우 인지될 정도의 분산값을 측정한다. 여러가지 Gi 값으로 실험하여 선형 인터 플레이션을 하여 대강의 값을 < 그림 2 > 에 나타내었다. 결과에서 보듯이 역시 밝은 부분에서는 Gray Level의 차이가 커야 인지가 됨을 알 수 있다. 이렇게 측정된 곡선을 JNVAR ( Just Noticeable Variation)곡선이라 부르고 3 장의 균일하게 느껴지는 블록(BI) 코딩에 사용한다.



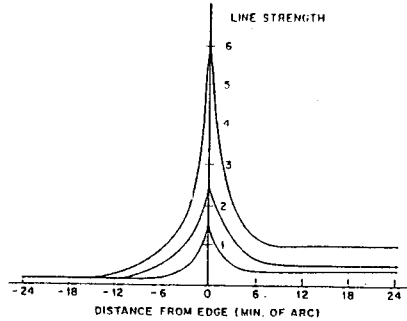
< 그림 1 > JNVAR 곡선을 구하기 위한 실험.



< 그림 2 > JNVAR 곡선

2.2. 공간 마스크링 효과.

소리에서 뿐 아니라 영상에서도 마스크링 효과를 생각할 수 있는데, 급격한 밝기의 변화가 있는 주변에서는 그 인식도가 떨어지는 현상을 말한다. <그림 3>은 Fiorentini 등이 1966년에 실험한 결과이고 1967년 Limb은 명암의 변화가 명암값의 10% 정도가 되면 약 1' 정도의 범위에서 그 자극의 인식도가 약 4배 정도 줄어들음을 확인하였다[9] 이를 DPCM에서 양자화기에 응용한 실험도 있다[9]. 본 연구에서는 명암값의 10% 이상 변화하여 공간 마스크링 효과를 낼 수 있는 불특을 분류하여 큰 변화가 있는 부위(Edge)에 많은 bit를 할당하는 방법을 사용하였다.



<그림 3> 공간 마스크링의 가시도 곡선

2.3. HVS의 공간 주파수별 인식 특성.

HVS는 공간 주파수별로 명암 인식의 감도가 달라지는데 Mannos와 Sakrison은 sine 파 grating을 사용하여 (식 1)과 같은 대역 필터식을 구하였는데 이 모델이 널리 받아들여지고 있다.

$$(식 1) A(f) = 2.6 [0.0192 + 0.114 f] \times \text{EXP}[-(0.114f)^{1.1}]$$

이 식은  $f = 8$  cycle/degree에서 최대값 1을 갖는 함수이고 30 cycle/degree가 넘어가면 인식도가 매우 떨어짐을 말해주고 있다.

N111은 영상의 cosine transform 영역에서 적용할 수 있는 식 (식 2)을 유도하였고 본 논문에서는 (식 2)를 벡터 양자화기에 응용하였다. 이 특성만의 성과를 보기 위해 256 x 256 영상을 그대로 벡터 양자화 방법으로 압축한 것과 HVS 민감도 비중치를 곱하여 벡터 양자화기로 압축한 실험 결과를 보면 결과적으로 Weighted Mean Square Error가 훨씬 작을 수 있다.

$$(식 2) W(v) = |H(v) \cdot x| \cdot A(v)$$

$$\text{where } H(v) = (0.2 + 0.45v) \times \text{EXP}(-0.18v)$$

$$|H(v)| = \left[ \frac{1}{4} + \frac{1}{\pi^2} \left[ \log_e \left( \frac{2\pi}{\alpha} \nu \sqrt{\frac{1+\nu^2}{\alpha^2 \nu^2 + 1}} \right) \right]^2 \right]^{1/2}$$

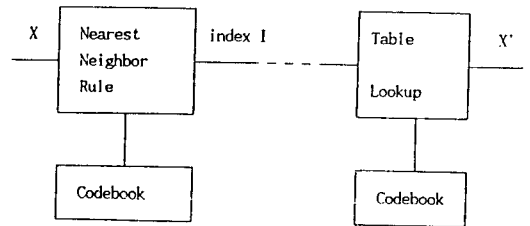
2.4. 벡터 양자화기.

벡터 양자화기(Vector Quantizer: 이하 VQ)는 수학적으로 그 성질이 매우 우수하여 많은 관심을 모으고 있는데 그 기본구조는 <그림 4>와 같다. 소스의 모델에 따라 잘 구해진 codebook을 송,수신단에서 가지고 있을 때 코딩 단계에서는 codebook에 있는 벡터중 입력 벡터에 가장 가까운 것의 index만 보내면 디코딩 단계에서는 index로 codebook을 찾아가 reconstruction하는 알고리즘이다. codebook을 만들 때와 벡터를 양자화 할 때, 가장 가까운 벡터를 찾을 때 square error를 사용하고 encoding region을 대표하는 codebook 값을 찾을 때 centroid를 사용하는 generalized Lloyd Max 알고리즘이 일반적이다. 여기서도 그 방법이 이용되나, 미리 입력 벡터에 HVS 주파수 민감도 곡선(2.3절)의 weighting을 주어 mean square error 의미에서의 가장 가까운 값보다는 사람 눈이 느끼기에 더 가까운 vector로 찾아 간다고 할 수 있다.

3. HVS 특성을 고려한 불려 코딩 방법.

입력 영상을 적당한 불려로 나누어 다음의 세가지 부류로 나눈다.

- i. HVS가 감지하지 못하는 변화를 갖는 균일하게 느껴지는 불려. (Perceptually Homogeneous Block: B1)
- ii. 공간 마스크링 효과를 낼 수 있는 큰 변화가 포함된 불려. (Large Gradient Block: B2)
- iii. 그 이외의 중간 주파수를 갖는 불려. (Etc.: B3)



<그림 4> 벡터 양자화기의 구조.

각 그룹을 판단하는 규칙은 2.1 절에서 구한 JNVAR 곡선을 이용하는데, 불려의 평균과 분산을 구해 JNVAR 곡선 아래에 위치하면 B1에 포함시키고, 변화폭의 최대값이 그 불려의 평균값에 대응하는 JNVAR 값의 1.5배 이상이면 공간 마스크링을 일으킬 수 있다고 보아 B2에 포함시키고 그 이외의 불려는 B3에 포함시킨다. 이 실험에서는 편의상 불려의 모양을 16 x 1의 1차원으로 하였다.

3.1. 균일하게 느껴지는 불려의 코딩.

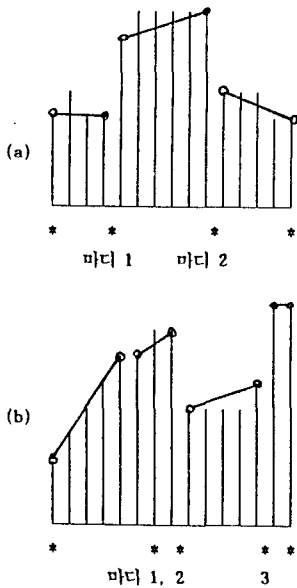
이러한 방법으로 B1으로 분류된 벡터들은 대평균값 하나로 그 차이를 잘 느낄 수 없다. 그러나 block artifact가 눈에 띄어 초기값과 끝 값을 기준으로 하여 중간은 linear interpolation 하였다.

3.2. 큰 변화가 포함된 불려의 코딩.

기본적으로 값의 변화가 큰 불려들이므로 주로 경계를 포함하고 있으며, 따라서 변화가 큰 곳을 중심으로 양 끝을 <그림 5>의 (a)와 같이 linear interpolation을 하는데 이부분에서는 bit rate를 손해 보더라도 충실히 재현하는데 중점을 두기 위해서 1차 미분값의 면적이 어느 임계치를 넘으면 <그림 5>의 (b)와 같이 또 한 마디로 잡았다.

3.3. HVS 특성을 이용한 벡터 양자화기.

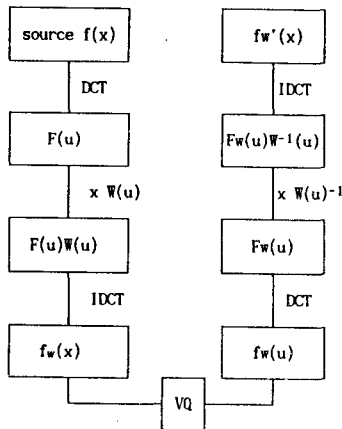
<그림 6>와 같은 구조를 갖는다. 입력 벡터를 DCT하여 weighting을 주고 inverse DCT를 하여 공간 영역으로 옮긴 후 보통의 VQ를 수행하고 decoding 단계에서 coding 시기에 준 weighting을 풀어준다. 이 부분만의 성능을 평가하기 위하여 1024 x 1024의 용부 사진에서 256 x 256으로 두 부분을 잘라내어 보통의 방법으로 VQ한 것과 weighting을 주고 VQ한 것의 비교를 <그림 7>에 보였다. Training Set은 4096개의 벡터를 사용하였고 codebook의 크기는 256으로 하였다. 초기 codebook은 split 방법을 사용하였다. 결과적으로 불려 square error 면에서는 전자가 우수했지만 error 영상의 모양이나 주관적인 화질은 후자가 우수함을 알 수 있다.



< 그림 5 > 경계를 보존하기 위한 블록 코딩 방법.

압축 효율을 살펴 보면 다음과 같다.

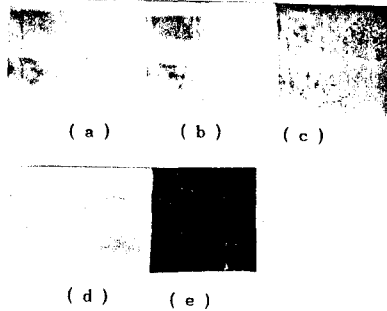
- i. B1 : 각 블록당 초기값과 끝값을 보내는데 끝 값은 초기값에 대한 차이로 나타내므로 4 bit 로 가능하다. 따라서 이 부류에서는 12bit/16pixel 로 0.75 bpp 로 코딩이 가능하다. 본 연구에서 사용된 영상은 44.3% 가 이 그룹으로 분류 되었다.
- ii. B2 : 이 그룹의 블록들은 상황에 따라 rate 가 달라지는데 초기값과 끝 값을 보내고 마디가 하나 생길 때 마다 위치와 양 경계값을 각각 4 bit 씩 차지하므로 블록 내에 마디가 두 개 있으면  $(8 + 4 + 12 \times 2)$ bit/16 pixel 로 2.25 bpp 로 코딩이 가능하다. < 그림 7 >에서 제시한 영상에서는 20.8 \* 가 이 그룹으로 분류되었고 < 그림 8 >의 (b)의 경우 3.84:1의 압축율을 보인다.
- iii. B3 : Codebook Size 에 따라 좌우되는데 여기서는 256 개로하였고, 4096 개의 벡터마다 codebook을 달리하여 이도 포함시키므로  $(\text{codebook} + \text{index}) / (4096 \times 16) \text{pixel} = (256 \times 16 \times 8 + 4096 \times 8) \text{bit} / 65536 \text{pixel} = 1.0 \text{bpp}$  로 계산된다. 여기서 Training Set 의 크기와 Codebook 크기를 키워서 정상적인 VQ 를 적용한다면 이 값은 크게 줄어들 것이다.



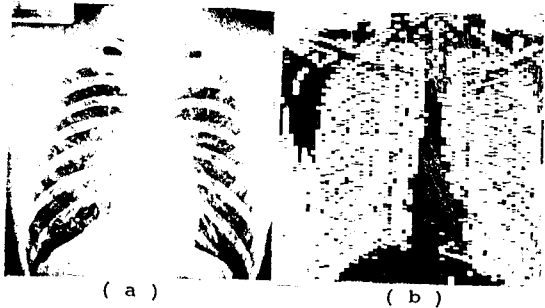
< 그림 6 > HVS Weighting block diagram

4. 실험 결과 및 성능 평가.

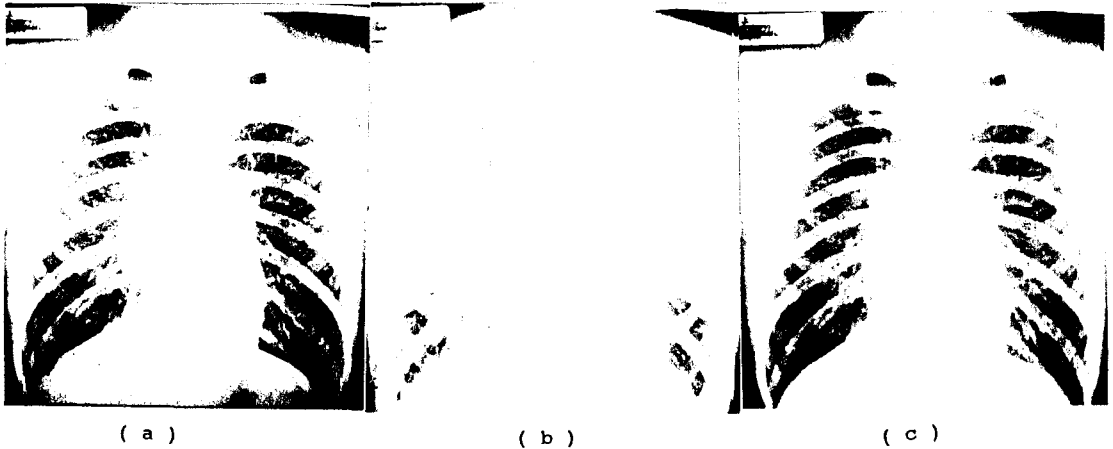
< 그림 8 >에서는 (a) 원래의 영상 (b) 위의 분류 법칙으로 분류된 영상을 보였다. < 그림 9 >에서 (a) B2, B3, 는 원래의 영상을 쓰고 B1 만큼 reconstruction 한 영상. (b) B2 만큼 reconstruction 한 영상 (c) B1, B2 만큼 적용하여 복원한 영상을 보였다. 그림에서 보듯이 B1 으로 분류된 블록에서는 거의 찌그러짐을 느낄 수 없었고 B2 에서도 영상 속의 글씨가 비교적 잘 유지되었다. B3 의 VQ 방법은 size 가 너무 커져서 아직 전체 영상의 코딩에 이용하지 못했고 3.3 절의 예를 보였다.



< 그림 7 > (a) : (b),(c) 간의 error image  
(b) : custom VQ -> Reconstruction  
(c) : Original Image  
(d) : HVS Weighted VQ -> Reconst.  
(e) : (c),(d) 간의 error image



< 그림 8 > (a) original image  
(b) classified image  
(black : B1 class, gray : B2 class, white : B3 class)



< 그림 9 > reconstructed images  
 (a) B1 only (b) B2 only  
 (c) B1 and B2

5. 결론 및 토의.

계산상의 편의와 공간 주파수의 적용의 편의를 위해서 1차원 블록으로 실험하였으나 2차원으로 확장한다면 새로운 방향의 redundancy도 줄일 수 있으므로 더 높은 효율을 낼 것으로 생각된다. 또한 VQ의 일반적인 문제점 중 out of training set source의 문제나 계산 시간의 문제는 시험하지 못했다.

이상에서 인간 시각 장치의 특성 중 배경의 밝기에 따른 명암 인식의 비선형성과 공간 주파수에 따른 명암의 인식도 곡선을 영상 압축에 응용한 예를 보였다. 특히 후자의 경우는 vector quantization에 더욱 HVS 위주의 치그러짐 측도를 가지고 응용하여 기존의 square error & centroid 방법보다 우수함을 보였다.

의학 영상은 영상의 종류에 따라서 전형적인 형태를 갖고 있고 해부학적인 구조물과 X선과의 반응 성질등이 비교적 일정할 것으로 생각되므로 VQ가 매우 유리한 특성을 띠고 있다. 또한 VQ는 encoding 시간은 많이 걸리지만 decoding 시간이 매우 짧으므로 전송이 아닌 보관의 목적에서의 영상 압축이 많은 의학 영상분야에서 더욱 유리할 것으로 생각된다.

\* 참고 문헌.

[1] A.K.Jain, "Image Data Compression : A Review", Proc. of the IEEE Vol.69, No.3, pp.349 - 389, March 1981.  
 [2] M.Kunt et. al. "Second Generation Image-Coding Technologies", Proc. of the IEEE Vol.73, No. 4, pp. 547 - 574, April 1985.  
 [3] M Kunt et. al., "Recent Results in High-Compression Image Coding", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol.CAS-34, No.11, pp.1306 - 1336, Nov. 1987.  
 [4] J.L.Mannos, D.J.Sakrison. "The Effects of a Visual Fidelity Criterion on the Encoding of Images", IEEE Trans. on Information Theory Vol.IT-20, No.4, pp.525 - 536, July 1974  
 [5] N.B.Nill, "A Visual Model Weighted Cosine Transform for Image Compression and Quality Assessment", IEEE Trans. on Communication, Vol.COM-33, No.6, pp.551 - 557, June 1985

[6] J.A.Saghri, et. al. "Image Quality Measure based on a human visual system Model", Optical Engineering, Vol.28, No.7, pp.813 - 818, July 1989  
 [7] S.M.Pizer, "Psychological Issues in the Display Monitor Images", NATO ASI Series "Pictorial Information Systems in Medicine", pp.221 - 233, Springer-Verlag, Berlin 1986  
 [8] Jongwhan Jang, S.A.Rajala, "Texture Segmentatoin-Based Image Coder In cooperating Properties of the Human Visual System", In Proc. ICASSP'91, Vol.4, pp2753 - 2756  
 [9] 안재형, "시 공간적 왜곡 인식의 감소효과를 이용한 영상 신호의 DPCM 양자화법", 한국 과학 기술 대학원, 박사학위 논문, 1990.