

인간 시각 모델을 이용한 블럭 부호화에서의 경계 현상의 제거

(Reduction of the Blocking Effect in Block Coded Images Using Human Visual Model)

金 根 亨*, 朴 來 弘**

(Geun Hyung Kim and Rae Hong Park)

要 約

본 논문에서는 블럭 부호화된 화상의 경계 현상을 제거하기 위해서 Granrath의 인간 시각 모델의 두가지 성분(저주파 성분, 대역통과 성분)을 고려한 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 크게 두단계로 구성되어 있다. 첫째 단계에서는 경계 현상을 없애기 위해 저주파 필터링시키는 단계로 경계 영역이 아닌 곳에서는 에지의 방향을 고려한 일차원 필터링을 하였고 경계 영역에서는 이차원 필터를 사용하여 경계 현상을 제거하였으며 둘째 단계는 첫째 단계에서 저하된 contrast를 증가시키는 단계로 시각 모델의 저주파 성분과 대역 통과 성분을 이용하여 전체 화상의 contrast를 증가시켰다.

실험은 블럭 부호화한 화상에 대하여 제안한 방법과 기존의 방법을 컴퓨터로 시뮬레이션하였다. 실험 결과를 비교할 때 제안한 방법이 기존의 방법보다 PSNR 면에서는 월등히 좋은 결과를 얻을 수 없었으나 시각적인 판단에 의하면 경계 현상이 많이 제거된, 더 좋은 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, in order to reduce the blocking effect of block coded images, we propose the method considering the lowpass and bandpass components of Granrath's human visual model. This method consists of two-stage enhancement procedures. The first step is lowpass filtering which smooths out the blocking effect, and the second step is a high frequency enhancement procedure to increase the contrast decreased by the lowpass filtering in the first step. In the first step, the one-dimensional Gaussian filter which aligns parallel to the edge direction is considered to preserve the edge in the block and the two-dimensional Gaussian filter is used to smooth out the blocking effect near the block boundaries. In the second step, the lowpass and bandpass components of the Granrath's model are considered to increase contrast in a restored image.

The performance comparison of the proposed method and the existing methods is made by a computer simulation with several block coded images. We can see that the enhancement in the subjective quality of images of the proposed method is more significant than the existing methods, though the proposed method does not show better performance on the PSNR gain, the poor measure of picture quality for block coded images.

*準會員, 金星産電(株)研究所
(Gold Star Industrial System, R & D Lab.)

**正會員, 西江大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)
接受日字: 1988年 1月 19日

I. 서 론

1970년대 이후 반도체, 마이크로 프로세서, 컴퓨터 및 디지털 신호처리 기술등이 발전함에 따라 디지털 통신 기술이 급속도로 발전하였다. 이러한 통

신 기술의 발전으로 음성 신호(speech signal) 뿐 아니라 화상 신호(image signal) 등을 ISDN(integrated services digital network)을 이용하여 전송하는 방법에 대한 연구의 필요성이 부각되고 있다. 그러나 화상 신호의 전송을 위해서는 전송선로의 주파수 대역폭이 넓어야 하며, 빠른 전송 속도가 요구되나 한정된 전송속도를 갖는 전송선로를 통하여 전송하기 위하여는 화상 정보의 압축이 필수 불가결하다.¹⁾

화상 부호화는 주어진 화상의 화질을 손상시키지 않으면서 그 화상의 전송율(bit-rate)을 줄이기 위한 기법으로 부호화된 화상은 원래 화상과 양자화 오차의 합으로 생각할 수 있다.^{2,3)} 양자화 오차는 원 화상의 통계적 성질과 부호화 방법에 따라 많은 차이가 있다. 블럭 부호화의 대표적인 예로 변환 부호화(transform coding)⁴⁾, 블럭 절단 부호화(block truncation coding: BTC)⁵⁾, 벡터 양자화(vector quantization: VQ)^{6,7)} 등을 고려할 수 있다. 블럭 단위의 부호화 기법을 사용할 때 일반적으로 높은 전송율에서는 문제시 되지 않던 현상들이 전송율이 감소함에 따라 피할 수 없는 문제점으로 대두되어 복원된 화상의 화질에 크게 영향을 미치게 된다. 그 문제점들 중 하나가 경계 현상(blocking effect)이다. 이는 블럭 부호화가 블럭단위로 처리되기 때문에 어느 한 블럭의 경계 영역에 있는 화소와 경계영역에서 이웃한 다른 블럭의 화소와의 유사성이 원화상에 비하여 떨어져 블럭의 경계 부근에서 빛의 밝기의 연속성이 깨어지는 현상이다.

이와 함께 블럭 부호화에서 화질을 저하시키는 다른 요인중의 하나는 물체의 에지(edge)를 제대로 복원하지 못하는 것이다. 연속된 에지가 서로 다른 블럭에 속하게 되면 이 블럭들은 독립적으로 처리되기 때문에 에지의 연속성이 깨지는 경우가 자주 발생하며 이러한 결과로 물체의 에지 부근에서 계단형 잡음(staircase noise)이 발생한다. 블럭 부호화에서 볼 수 있는 또 다른 잡음은 contouring 잡음과 유사한 grid 잡음이다. 이것은 블럭내에서 밝기 변화의 연속성이 유지되다가 다른 블럭으로 넘어갈 때 갑자기 밝기 차이가 발생하기 때문에 나타나는 잡음의 형태이다.

이상에서 언급한 잡음들은 모두 외견상 블럭 형태의 왜곡을 나타낸다. 정신물리학(psychophysical)적 관점에서 볼 때, 블럭 모양의 왜곡은 불규칙한 잡음에 의한 왜곡보다 10배 이상 눈에 거슬리는 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 따라서 불규칙한 잡음보다는 블럭 형태의 잡음이 화질의 저하에 심각한 영향을 미치게 되므로 눈에 거슬리지 않는 좋은 화

상을 얻기 위해서는 블럭 형태의 잡음은 반드시 제거되어야 한다.

블럭 형태의 잡음을 제거하는 방법으로는 부호화하는 과정에서 블럭 형태의 잡음이 발생하지 않도록 하는 방법과 수신단에서 필터를 사용하여 블럭 형태의 잡음을 제거하는 방법이 있다. 전자의 방법은 대개 부수 정보가 필요하여 전송율이 증가하게 된다. 후자와 같은 후처리 과정에서는 부수정보가 필요없기 때문에 화상을 부호화하는데 전송율의 증가 없이도 수신단에서 좋은 화질의 화상을 얻을 수 있다.

본 논문은 블럭 형태의 잡음을 제거하기 위한 후처리 기법에 관한 연구로서 II장에서는 경계현상 제거를 위한 기존의 후처리 방법들에 대해서 고찰하고, III장에서는 시각 모델을 고려하여 제안한 후처리 기법에 대하여 설명하였고, IV장에서는 블럭 부호화된 화상을 입력으로 하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 정량적 및 시각적으로 비교 검토하였고, V장의 결론으로 본 논문을 맺는다.

II. 기존의 후처리 기법

지금까지의 화상의 화질을 높이기 위한 방법들이 화상복원(image restoration/enhancement) 분야에서 공간 필터를 중심으로 연구되어 왔다. 화상 복원 분야에서는 처음에는 공간 평균(spatial average) 필터, Wiener 필터, Kalman 필터등의 선형(linear) 필터를 주로 사용하였다. 이러한 선형 공간 필터들은 대부분 정재적인 화상 모델을 가정하기 때문에 화상에서 물체의 에지와 같은 비정재적인(nonstationary) 영역에서는 모롱화(blurring) 현상이 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 물체의 에지의 중요성을 고려한, 에지를 보존하는 비선형(nonlinear) 필터들에 관한 연구도 수행되어 왔다. 비선형 필터중 대표적인 것으로는 median 필터, Lee 필터등이 있다. 그러나 이러한 필터들은 블럭 부호화에서 발생하는 경계 현상을 고려하지 않았기 때문에 블럭 부호화에서 발생하는 경계 현상을 효과적으로 제거할 수 없다. 블럭 부호화된 화상의 복원을 위한 방법은 가우시안 필터(gaussian filter)를 사용한 Reeve와 Lim⁹⁾ 과, 공간 변 필터(spatial-variant filter)를 사용한 Ramamurthi와 Gersho¹⁰⁾ 에 의해 제안되었다.

1. Reeve와 Lim의 방법⁹⁾

이 방법은 식(1)과 같은 3×3 가우시안 필터를 사용하여 블럭의 경계 영역에만 필터링시키는 방법이다. 이 방법은 일반적으로 화상의 에지 영역에서의 급격한 변화가 있는 영역이 고주파 영역에 속하듯이

블럭의 경계에서 발생하는 불연속도 그주파 영역에 속하므로 일정한 블럭의 경계에만 저주파 필터를 취하여 블럭의 경계 현상을 줄이려 했다.

$$h(x, y) = 0.2042 \times \exp[-0.5 \times (x^2 + y^2)]$$

$$\sum_x \sum_y h(x, y) = 1, \quad x, y = -1, 0, 1 \quad (1)$$

이 방법은 계단형 잡음이 적은, 블럭의 크기가 8×8이나 16×16인 화상에서나 혹은 경계 현상이 급격히 일어나지 않는 화상에서는 좋은 결과를 얻으나 경계 현상이 급격히 일어나거나 계단형 잡음이 발생한 경우에는 좋은 결과를 얻을 수 없다. 또한 경계 현상이 급격히 발생한 영역에서 경계 현상을 제거하기 위하여 차단 주파수를 낮추면 경계 영역과 경계 영역이 아닌 곳에서의 불연속이 발생하는 단점이 있다. 그러므로 경계 현상이 급격히 일어난 화상이나 계단형 잡음이 많이 일어난 화상에서 경계 부분에만 필터링시킨다는 것은 간단하지만 경계 현상을 제거하는 효과적인 기법이 될 수 없다.

2. Ramamurthi와 Gersho의 방법¹⁰⁾

Ramamurthi와 Gersho는 물체의 에지 정보를 이용하여 에지가 있는 영역에서는 에지와 평행한 방향으로 일차원 필터를 이용하여 에지를 보존하면서 경계 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 그들은 물체의 에지 부근에서 나타나는 잡음은 masking 효과에 의하여 빛의 밝기(gray level)의 변화가 완만한 영역에서 발생하는 잡음에 비해서 크게 두드러지지 않는다는 특성을 이용하여 다음과 같은 방법으로 화소들이 속한 블럭을 분류하고 그것에 알맞는 필터를 사용하였다.

우선 국부경사도(local gradient)와 임계치(threshold)를 이용하여 화소가 에지 부근에 위치하는지 또는 균일한 영역에 속하는지를 결정하여 균일한 영역에서는 이차원 필터를 적용하고 에지 부근에서는 에지와 평행을 이루는 방향으로 일차원 필터를 적용한다. 필터링의 요소로는 균일한 영역과 에지의 판단에 이용되는 임계값 T와 에지의 접근 정도를 결정하는 m, 그리고 일차원 및 이차원 필터가 있다.

Ⅲ. 시각특성을 고려하여 제안한 경계현상 제거 방법

본 장에서는 시각 구조를 이용하여 제안한 후처리 기법에 대해 살펴 보기로 한다. 먼저 사람의 시각 구조에 대해서 살펴보고 이것을 고려하여 후처리 기법에 적용시킨 제안한 경계 현상 제거 방법에 대해 살펴 보기로 하겠다.

1. 사람의 시각 구조

사람의 시각 구조에 대하여 알 수 있다면 화상 처리를 할 때 이것을 고려하여 시각적으로 좋은 화질을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 블럭 부호화 과정에서 발생하는 경계 현상의 제거 방법 연구에 사람의 시각 구조를 이용하여 좋은 화질의 화상을 얻고자 하였다. 사람의 시각 구조를 고려한 화상 처리과정은 에지를 찾는 방법에 사용된 예¹¹⁾가 있지만 아직까지는 사람의 시각 구조와 화상 처리가 적극적으로 결합이 되어 연구된 예가 많지 않다. 그러나 화상 처리의 결과에 대한 평가가 최종적으로 사람의 눈에 의해 판단되어 진다고 볼 때 사람의 시각 구조와 화상 처리의 결합이 반드시 이루어져야 한다. 시각 구조에 대한 연구는 많이 되어 있으나 그 많은 연구가 화상 처리 과정에 직접 적용시키기에는 문제점이 많다. 그러나 그 중 화상 처리에 물체의 에지 영역에서 눈이 느끼는 민감도가 균일한 영역의 경우에 비해 높다는 것¹²⁾을 적용시킬 수 있다.

사람의 시각 구조에 대해서는 Stockham의 모델,¹³⁾ Hall의 모델,¹⁴⁾ Granrath의 모델,¹⁵⁾ Lukas 등의 모델¹⁶⁾ 등 여러사람에 의해 제시되었으나 이러한 모델들은 그림 1과 같이 크게 3 단계로 나눌 수 있다. 감지단계에서는 사람의 눈의 렌즈가 완벽하지 못하고 cones와 rods의 단위 면적당 수적인 제약때문에 해상도가 저하된다. 시각 구조를 모델링 할 때 감지 단계는 저주파 필터(lowpass filter)로 모델링된다. Transduction 단계는 눈에 들어온 빛의 밝기를 받아들이는 단계로, 받아들일 때 눈이 느끼는 빛의 민감도(sensitivity)는 들어온 빛에 대해 비선형적이다. 이는 logarithm 형태와 지수형으로 모델링된다. 세번째 단계는 시신경에서의 처리단계로 이 단계의 모델링은 고주파 필터(highpass filter)로 모델링된다. 즉 그림 1의 세 단계로부터 사람의 시각 구조가 대역통과(bandpass)의 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.¹⁷⁾

그림 1의 단계별 구분을 더욱 자세히 살펴보기 위해서 여러가지의 시각 모델중 가장 기본이라 할 수 있는 Granrath의 모델에 대해서 살펴 보기로 하겠다.

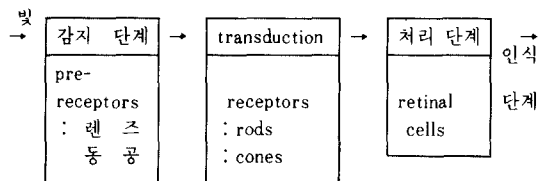


그림 1. 사람의 시각 구조
Fig. 1. Human visual structure.

다. 다른 모델들은 이 Granrath의 모델을 확장시킨 것이거나 Granrath 모델의 일부분에 해당하는 것이다. 그러므로 그림 2와 같은 Granrath의 모델에 대해 고려하는 것은 시각 구조를 이해하는데 도움이 될 것이며 이를 다른 연구에 응용할 수 있을 것이다. 여기서 inhibitory 필터는 저주파 통과 필터로, 필터링된 화상은 표본화되어 시신경으로 전송된다. Excitatory 필터는 inhibitory 필터보다 차단 주파수가 높은 필터로 inhibitory 필터의 출력을 빼낸 결과로부터 대역 통과된 결과를 얻게 된다. 그림 2와 같이 저주파 영역과 대역 통과 영역을 나누어 시신경으로 전송하는 사람의 시각 구조가 지금 활발하게 연구가 진행되고 있는 제 2세대 부호화 기법등에 응용되고 있다.¹¹⁸⁾ Granrath 모델의 inhibitory 필터와 excitatory 필터는 모두 가우시안 필터로 구성되어 있으며 이들은 각각 식(2)와 식(3)과 같이 주어진다.

$$h1(m, n) = \frac{C \exp \{ -(m^2+n^2)/p1^2 \}}{\sum_m \sum_n \exp \{ -(m^2+n^2)/p1^2 \}} \quad (2)$$

$$h2(m, n) = \frac{C \exp \{ -(m^2+n^2)/p2^2 \}}{\sum_m \sum_n \exp \{ -(m^2+n^2)/p2^2 \}} \quad (3)$$

Granrath는 그림 2의 모델에서 K1=1, K2=3, p1=5.0, p2=0.5 이고 필터의 크기는 15×15(-7≤m, n≤7)로 하였다.¹¹⁴⁾

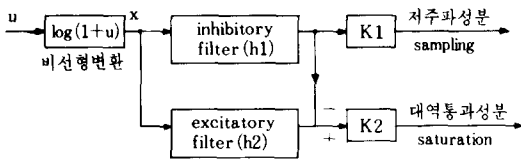


그림 2. Granrath의 시각 모델
Fig. 2. Granrath's human visual model.

2. 경계 현상 제거를 위한 제안한 후처리 방법
본 절에서는 1절에서 살펴본 인간의 시각 모델을 이용하여 블럭 부호화에서 발생하는 경계 현상을 제거하는 후처리 방법을 제안한다. 여기서는 그림 2에서 살펴본 시각 모델의 두개의 성분을(저주파, 대역 통과 성분) 모두 고려하였다. 경계 영역이 아닌 곳의 에지 부분에서 몽롱화 현상을 줄이기 위하여 에지의 방향에 따른 일차원 필터를 사용하는 방법을 고려하였으며 인간의 시각 모델의 두개의 성분을 모두 고려하여 전체 화상의 contrast를 증가시켰다.

그림 3의 블럭 다이어그램의 저주파 필터는 가우시안 필터를 사용하였다. 경계 영역에서는 σ=3이고 필터의 크기가 5×5인 이차원 저주파 필터를 사용하였으며 경계가 아닌 영역에서는 에지의 방향에 따라 σ=8 이고 창의 크기가 5인 일차원 저주파 필터를 사용하였다. 이 필터의 σ를 8로 사용한 이유는 경계 영역에서의 저주파 필터링으로 인한 경계 영역과 경계 영역이 아닌 곳의 불연속을 없애기 위한 것이다. 그림 4에는 시각 모델의 두개의 성분을 고려한 방법의 흐름도를 나타냈다.

경계가 아닌 영역에서 방향을 측정하는 방법은 Prewitt 연산자를 사용하여 4 방향(0°, 90°, 45°, 135°)

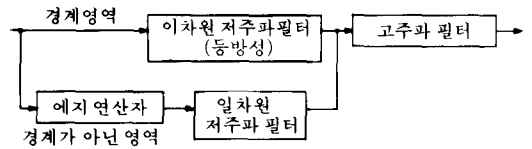


그림 3. 제안한 방법의 블럭 다이어그램
Fig. 3. Blockdiagram of the proposed method.

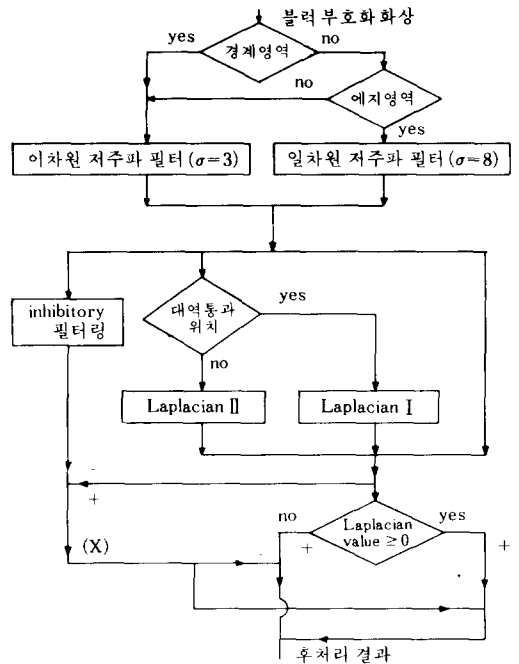


그림 4. 인간의 시각모델을 이용한 방법의 흐름도
Fig. 4. Flowchart of the proposed method using human visual model.

에 대한 연산값중 최대값을 갖는 방향과 평행한 방향으로 일차원 필터링을 취했다. 고주파 필터로는, 저주파 필터링된 화상에 몽롱화 현상이 발생하여, 저하된 contrast를 증가시키기 위하여 Laplacian을 사용하였다. Laplacian은 대역 통과된 성분을 나타내는 영역과 대역 통과된 성분이 아닌 영역에 취하는 Laplacian을 그림 5와 같이 달리 하였다. 그 이유는 대역 통과 영역에서는 contrast가 많이 증가하도록 하고 대역 통과 영역이 아닌 곳에서는 적게 증가하도록 하기 위한 것이다. 균일한 영역에서는 그림 5의 (a)의 결과나 (b)의 결과나 별 차이가 없으므로 계산량이 적은 (b)를 사용하였다. 그림 5의 (a)의 Laplacian이 그림 4의 Laplacian I에 해당하며 (b)는 그림 4의 Laplacian II에 해당한다.

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 8 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

(a)

| | | |
|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 |
| -1 | 4 | -1 |
| 0 | -1 | 0 |

(b)

그림 5. Contrast 증가를 위해 사용한 Laplacian 연산자
 (a) 대역 통과된 성분의 영역에서 사용한 Laplacian 연산자
 (b) 대역 통과된 성분이 아닌 곳에서 사용한 Laplacian 연산자

Fig. 5. Laplacian operators for contrast enhancement.

- (a) Laplacian operator on the bandpass region.
 (b) Laplacian operator on the lowpass region.

그러나 Laplacian만 이용한 경우에는 우리가 원하는 정도의 contrast의 증가를 얻지 못하였기 때문에 본 연구에서는 경계 현상을 제거한 후 인간의 시각 모델에서 inhibitory 필터링된 결과와 Laplacian을 사용하여 contrast를 증가시킨 화상의 차를 이용하는 방법을 고려했다. 실험에서 인간의 시각 모델을 이용하여 경계 현상을 제거하기 위해 저주파 필터링시킨 화상에 적용시킨 것이므로 여기서 얻은 대역통과 성분은 저주파 필터링을 시키지 않은, 경계 현상이 존재하는 화상의 대역통과 성분에 비해 고주파 성분을 많이 잃어버린 상태이다. 그리고 Laplacian을 사

용하여 contrast를 증가시킨 화상은 경계 현상을 제거하기 위해 사용한 필터의 차단 주파수보다 높은 주파수 성분을 포함하고 있다. 또한 경계 현상을 제거하기 위해 사용한 저주파 필터의 차단 주파수는 inhibitory 필터의 차단 주파수보다 크다.

우리의 눈은 inhibitory 필터링된 결과를 저주파 성분으로 시신경에 전송하고 있다. 본 논문에서는 이러한 저주파 성분을 기준으로하여 contrast를 증가시키는 방법을 고려했다. Inhibitory 필터링된 화상을 경계 현상을 제거하기 위해 사용한 저주파 필터링을 시키지 않은 화상의 평균이라고 볼 수 있으며 이렇게 필터링된 화상과 Laplacian을 이용하여 contrast를 증가시킨 화상과의 차(그림 4에서의 (X))가 작은 영역은 비교적 균일한 영역에 해당하며 차(X)가 큰 영역은 저주파 필터링된 화상에서 빛의 밝기의 차이가 발생하는 에지에 해당한다. 즉 차가 크면 클수록 화상에서 빛의 밝기의 차이가 더 많이 발생한 영역임을 뜻한다. Laplacian을 사용하여 contrast가 증가된 화상과 inhibitory 필터링된 화상의 차는 절대값을 취해 양수값을 갖도록 하여 차의 절대값이 큰 영역의 contrast는 많이 증가시키고 작은 영역의 contrast는 적게 증가시켰다. 저주파 필터링된 화상에 Laplacian을 취하여 음의 값을 갖는 곳에서는 Laplacian을 이용하여 contrast를 증가시킨 화상에서 위에서 구한 차(X)를 빼주고 Laplacian의 결과가 양의 값을 갖는 곳에서는 차(X)만큼을 더해주어 Laplacian을 이용하여 contrast를 증가시킨 경우에서의 빛의 밝기의 차이보다 더욱 차이가 크도록 하였다. 그 결과 Laplacian만을 사용하여 contrast를 증가시킨 화상보다 전체적으로 contrast가 증가한다.

IV. 실험 및 결과

실험에서 사용한 화상은 256개의 빛의 밝기를 가지며 256×256 화소들로 구성된 화상이다. 실험은 Girl 화상을 블럭의 크기가 4×4 , 8×8 , 16×16 으로 전송율은 0.32 bit/pixel로 DCT(discrete cosine transform)^[4] coding한 화상과 블럭의 크기가 4×4 로 2 bit/pixel로 BTC한^[5] 화상과 0.5 bit/pixel로^[6,7] VQ한 화상을 사용하였다.

실험 결과의 객관적인 평가기준은 다음과 같이 정의되는 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log \frac{(255)^2}{\frac{1}{M^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M [x(i,j) - y(i,j)]^2} \quad (4)$$

여기서 $x(i,j)$ 와 $y(i,j)$ 는 각각 원 화상과 처리된 화상의 (i,j) 번째 화소의 밝기를 나타낸다. 그리고 입력 화상의 크기는 $M \times M$ 으로 가정한다.

Ramamurthi와 Gersho의 방법에서 화소가 에지 부근에 위치하는지 또는 균일한 영역에 속하는지를 결정하는 블록의 크기(B)는 8×8 이고 필터링하는 블록의 크기(B)는 4×4 로 하여 실험을 하였다. 또한 T는 0.15, m은 3이고 필터는 일차원 필터는 5차이고 이차원 필터는 3차 필터를 사용하였다. 일차원 필터의 계수는 $h(0)=0.363, h(1)=h(-1)=0.282, h(2)=h(-2)=0.036$ 이며 이차원 필터는 수직, 수평 방향으로 동일한 응답을 갖는 분리가능 필터이며 그 계수는 $h(0)=0.547, h(1)=h(-1)=0.227$ 이다.

표 1에 위의 블록 부호화 화상에 대해 기존의 방법과 제안한 방법에 의해 후처리한 결과에 대한 PSNR(단위: db)을 구하였다. 표 1의 화상으로 표시된 칸에는 부호화한 방법 및 DCT 부호화시 블록 크기와 전송율(bit/pixel)을 나타내고 있다. 표 1을 살펴보면 제안한 방법이 Ramamurthi 등의 방법에 비해 약간 좋아짐을 볼 수 있으나 Reeve 등의 방법에 비하면 PSNR 면에서는 나쁘게 나타나지만 시각적인 측면에서 볼 때는 두 방법들에 비해 경계 현상이 많이 제거된, 좋은 결과를 볼 수 있다. 시각적인 판단 방법은 균일한 영역에서의 잡음의 양으로 판단할 수 있으며 화상의 중요한 특징중 하나인 에지 영역에서의 에지의 연속성으로 판단할 수 있다.

표 1. 후처리 결과의 PSNR

Table 1. PSNR of the Results.

(단위: db)

| 화 상 | 부호화 | Reeve | Ramamurthi | 제안한 방법 |
|-------------|-------|-------|------------|--------|
| DCT4 (0.32) | 22.41 | 22.70 | 22.48 | 22.55 |
| DCT8 (0.32) | 25.34 | 25.59 | 25.37 | 25.39 |
| DCT16(0.32) | 26.09 | 26.25 | 26.15 | 26.19 |
| BTC (2.00) | 29.53 | 29.73 | 29.62 | 29.60 |
| VQ (0.50) | 29.51 | 29.81 | 29.65 | 29.64 |

그림 6은 블록의 크기가 4×4 이며 0.32 bit/pixel로 DCT 부호화된 Girl 화상에 대해 Reeve와 Lim의 방법과 Ramamurthi와 Gersho의 방법에 대한 결과와 제안한 방법에 의한 결과를 나타냈다. 4×4 로 0.32 bit/pixel로 부호화된 화상은 계단형 잡음이 많이 나타나는 화상이다. Reeve 등의 방법이나 Ramamurthi 등의 방법은 계단형 잡음이 많이 발생하지 않는 영역에서는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

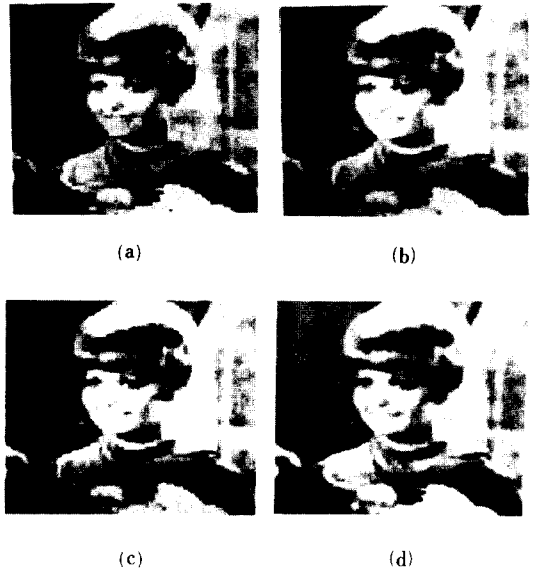


그림 6. DCT 부호화 화상의 후처리 결과

(a) DCT 부호화 입력화상($4 \times 4, 0.32$ bit/pixel)

(b) Reeve와 Lim의 방법

(c) Ramamurthi와 Gersho의 방법

(d) 제안한 방법

Fig. 6. DCT coded image and the restored images.

(a) DCT coded image($4 \times 4, 0.32$ bit/pixel).

(b) restored image of Reeve et al.

(c) restored image of Ramamurthi et al.

(d) restored image of the proposed method.

그러나 계단형 잡음이 뚜렷하게 발생하는 머리 부분과 얼굴의 에지 부분에서는 Reeve 등의 방법이 효과적으로 계단형 잡음을 제거시키지 못하였으며 Ramamurthi 등의 방법에서는 계단형 잡음이 존재하는 영역이 에지 영역인가, 균일한 영역인가의 판단과정에서 계단형 잡음이 존재하는 영역을 계단형 잡음의 방향을 에지의 방향으로 판단하여 그 방향으로 일차원 필터링함으로써 효과적으로 계단형 잡음을 제거하지 못하였다. 그러나 제안한 방법의 결과를 살펴보면 계단형 잡음은 기존의 두 방법에 비해 많이 제거됨을 볼 수 있다. 그림 7에는 기존의 방법과 제안한 방법의 결과를 확대한 화상을 나타냈다.

그림 8은 16×16 블록으로 0.32 bit/pixel로 DCT 부호화된 Girl 화상이다. 부호화 결과를 살펴보면 계단형 잡음은 거의 존재하지 않으나 grid 잡음이 존재함을 볼 수 있다. Ramamurthi 등의 방법이나 Reeve 등의 방법으로는 grid 잡음을 효과적으로 제거할 수

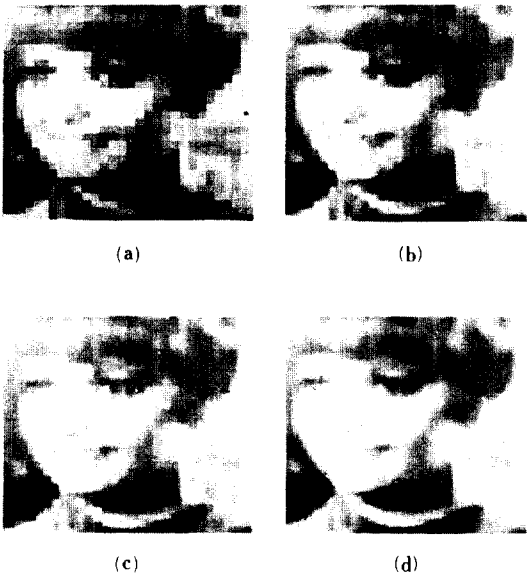


그림 7. DCT 부호화 화상의 확대한 후처리 결과
 (a) DCT 부호화 입력화상(4×4, 0.32 bit/pixel)
 (b) Reeve 와 Lim의 방법
 (c) Ramamurthi와 Gersho의 방법
 (d) 제안한 방법
Fig. 7. DCT coded image and the magnified restored images.
 (a) DCT coded image(4×4, 0.32 bit/pixel).
 (b) restored image of Reeve et al.
 (c) restored image of Ramamurthi et al.
 (d) restored image of the proposed method.

없음을 볼 수 있다. Ramamurthi 등의 방법은 에지 영역인가 균일한 영역인가의 판단과정에서 균일한 영역으로 판단되어야 할 영역이 에지 영역으로 잘못 판단되기 때문에 grid 잡음을 효과적으로 제거할 수 없었다. 구체적인 예를 보면 기존의 방법들에서는 얼굴과 꽃부분에서의 grid 잡음이 효과적으로 제거되지 못하였음을 볼 수 있다. 제안한 방법에서는 grid 잡음이 많이 제거됨을 볼 수 있다.

그림 9는 Girl 화상을 4×4의 블럭크기로 전송율이 2.0 bit/pixel인 BTC 부호화한 화상으로 grid 잡음이 많이 발생함을 볼 수 있다. 실험 결과를 살펴보면 Reeve 등의 방법과 Ramamurthi 등의 방법의 결과를 보면 Girl 잡음이 효과적으로 제거되지 못하였다. 그러나 제안한 방법은 grid 잡음을 효과적으로 제거할 수 있었다.

그림 10은 Girl 화상을 4×4의 블럭크기로 VQ한⁷⁾ 결과로 전송율이 0.5 bit/pixel이다. 이 화상에서는

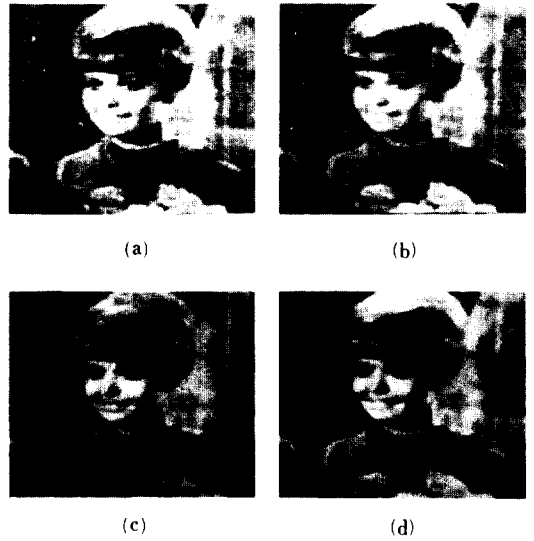


그림 8. DCT 부호화 화상의 후처리 결과
 (a) DCT 부호화 입력화상(16×16, 0.32 bit/pixel).
 (b) Reeve 와 Lim의 방법
 (c) Ramamurthi와 Gersho의 방법
 (d) 제안한 방법
Fig. 8. DCT coded image and the restored images.
 (a) DCT coded image(16×16, 0.32 bit/pixel).
 (b) restored image of Reeve et al.
 (c) restored image of Ramamurthi et al.
 (d) restored image of the proposed method.

grid 잡음만을 볼 수 있다. Grid 잡음은 Reeve 등의 방법이나 Ramamurthi 등의 방법으로도 다소 제거됨을 볼 수 있다. 그리고 제안한 방법도 기존의 방법에 비하여 에지 부분에서 매끄러운 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 실험결과를 볼 때 인간의 시각 모델에 입각하여 가우시안 필터를 사용한 결과 몽롱화 현상이 발생함을 볼 수 있다.

Girl 화상이외에 여러가지 화상에 대하여 실험한 결과도 위에서 언급한 것과 비슷한 실험결과를 얻었다. 여태까지 기존의 방법 및 제안한 방법등 경계 현상 제거를 위한 후처리 결과에 대해 객관적 및 주관적으로 평가해 보았다. 위의 평가로서 알 수 있는 것은 객관적인 평가 기준으로서 PSNR을 사용하였으나 주관적인 평가와 비교하여 볼 때 PSNR만으로는 화질을 평가하는, 특히 블럭 부호화된 화상에 대해서는, 좋은 기준이 될 수 없다는 것이다.¹⁰⁾

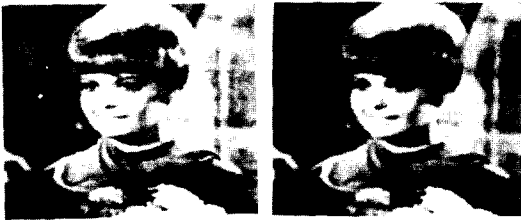
기존의 방법중 Reeve 등의 방법에서 경계 영역에



(a) (b)



(a) (b)



(c) (d)



(c) (d)

그림 9. BTC 부호화 화상의 후처리 결과
 (a) BTC 부호화 입력화상(4×4, 2.00 bit/pixel)
 (b) Reeve 와 Lim 의 방법
 (c) Ramamurthi 와 Gersho 의 방법
 (d) 제안한 방법

Fig. 9. BTC coded image and the restored images.
 (a) BTC coded image(4×4, 2.00 bit/pixel).
 (b) restored image of Reeve et al.
 (c) restored image of Ramamurthi et al.
 (d) restored image of the proposed method.

그림 10. VQ 부호화 화상의 후처리 결과
 (a) VQ 부호화 입력화상(4×4, 0.50 bit/pixel)
 (b) Reeve 와 Lim 의 방법
 (c) Ramamurthi 와 Gersho 의 방법
 (d) 제안한 방법

Fig. 10. VQ coded image and the restored images.
 (a) VQ coded image(4×4, 0.50 bit/pixel).
 (b) restored image of Reeve et al.
 (c) restored image of Ramamurthi et al.
 (d) restored image of the proposed method.

서만 저주파 필터를 사용하는 경우 차단 주파수를 작게 하면 필터링시키지 않는 영역과 필터링시킨 영역간의 불연속이 발생하기 때문에 경계 현상을 줄일 수 없다. 그리고 계단형 잡음은 제거하지 못함을 볼 수 있었다. Ramamurthi 등의 방법은 가장 큰 단점이 에지가 존재하는 영역인가 혹은 균일한 영역인가 하는 판단의 정확도에 따라 경계 현상이 제거될 수도 있고 경계 현상이 더욱 강조되어 나타날 수도 있는 것이다. 그러므로 에지인가, 균일한 영역인가의 판단의 기준이 되는 변수가 정확하게 설정되어야 한다. 제안한 방법은 인간의 시각 모델을 고려한 방법으로 변수를 전혀 사용하지 않았으며 기존의 두 방법에 비해 경계 현상을 많이 제거함을 볼 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 블록 부호화에서 발생하는 경계현상을 제거하기 위하여 인간의 시각 구조의 개념을 고려하였다. 인간의 시각 구조는 Granrath의 시각 모델로

가정하여 저주파 필터링된 화상의 contrast를 증가시키는 방법에 적용하였다. Granrath의 시각 모델은 두개의 성분(저주파 성분, 대역통과 성분)으로 분리하여 시신경에 전송하는 것이다. 본 논문에서는 시각 모델의 두가지 성분을 이용하여 효과적인 경계 현상 제거 방법을 제안하였다.

기존의 방법중 Reeve 등의 방법에서 경계 영역에서만 저주파 필터를 사용하는 경우 차단 주파수를 작게 하면 필터링시키지 않는 영역과 필터링시킨 영역간의 불연속이 발생하기 때문에 경계 현상을 줄일 수 없다. 그리고 계단형 잡음은 제거하지 못함을 볼 수 있었다. Ramamurthi 등의 방법은 가장 큰 단점이 에지가 존재하는 영역인가 혹은 균일한 영역인가 하는 판단의 정확도에 따라 경계 현상이 제거될 수도 있고 경계 현상이 더욱 강조되어 나타날 수도 있다는 것이다. 그러므로 에지인가, 균일한 영역인가의 판단의 기준이 되는 변수가 정확하게 설정되어야 한다.

이러한 기존의 방법들과 비교해 볼 때 인간의 시각 구조를 고려하여 제안한 방법은 변수를 하나도 사용하지 않는다는 장점이 있다. 계산시간면을 볼 때 인간의 시각모델을 적용시킨 제안한 방법이 기존의 방법중 Reeve 등의 방법에 비하면 8-9배 정도 많이 걸리며 Ramamurthi 등의 방법에 비하면 3배 정도 많이 걸린다. 객관적인 면에서 결과를 살펴보면 Reeve 등의 방법보다는 PSNR 면에서는 떨어지고 Ramamurthi 등의 방법보다는 좋아지는 경우도 있고 나빠지는 경우가 있다. 그러나 시각적인 면에서 결과를 비교해 볼 때 경계 현상과 계단형 잡음의 제거의 견지에서 기존의 방법들 보다 좋은 결과를 얻었다.

그러나 본 논문에서 사용한 인간의 시각 모델이 논문에서 고려하고 있는 경계 현상 제거를 위한 후처리 기법에 완벽하게 적용할 수 있는 것은 아니다. 남은 과제는 가우시안 필터를 사용하여 발생한 뭉뚱화 현상을 제거하는 방법이 계속 연구되어야 하며 후처리 기법에 적용될 수 있는 인간의 시각 모델의 정확한 모델링이 필요하며 저주파 필터링시킨 화상의 contrast를 증가시켜 주는 방법 및 여러가지 종류의 블럭 부호화된 화상에 대한 고려가 필요하다고 하겠다.

參 考 文 獻

- [1] N.S. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*. Prentice-Hall, pp. 1-25, 1984.
- [2] W.K. Pratt, *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, pp. 616-657, 1978.
- [3] R.C. Gonzales and P. Wintz, *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, pp. 228-253, 1979.
- [4] R.J. Clarke, *Transform Coding of Images*. London: Academic Press, 1985.
- [5] E.J. Delp and O.R. Mitchell, "Image compression using block truncation coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, no. 9, pp. 1335-1342, Sept. 1979.
- [6] R.M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Mag.*, vol. 1, pp. 4-29, Apr. 1984.
- [7] 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.
- [8] M. Miyahara and N. Kotani, "Block distortion in orthogonal transform coding-Analysis, minimization, and distortion measures," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 1, pp. 90-96, 1985.
- [9] H.C. Reeve, III and J.S. Lim, "Reduction of the blocking effects in image coding," *Optical Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 34-37, Jan. 1984.
- [10] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant processing of block coded images," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, no. 5, pp. 1258-1268, Oct. 1986.
- [11] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," *Proc. Royal Soc. Lond.*, B 297, pp. 187-217, 1980.
- [12] F.W. Campbell, J.J. Kulikowski, and J. Levinson, "The effect of orientation on the visual resolution of gratings," *J. Physiol.*, 187, pp. 427-436, 1966.
- [13] T.G. Stockham, Jr., "Image processing in the context of a visual model," *Proc. IEEE*, vol. 60, no. 7, pp. 828-842, July 1972.
- [14] C.F. Hall and E.L. Hall, "A nonlinear model for the spatial characteristics of the human visual system," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-7, no. 3, pp. 161-170, Mar. 1977.
- [15] J.D. Fahnstock and B.R. Hunt, "The maintenance of sharpness in magnified digital images," *Computer Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 27, pp. 32-45, 1984.
- [16] F.J. Lukas and Z.L. Budrikis, "Picture quality prediction based on a visual model," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, no. 7, pp. 1679-1692, July 1982.
- [17] J. Ameye, J. Bursens, S. Desmet, K. Vanhoof, G. Tu, J. Rommelaere, and A. Oosterlinck, "Image coding using the human visual system," *International Workshop on Image Coding, Korea Institute of Commun. Sci.*, pp. 239-308, Aug. 1987.
- [18] G.H. L.M. Heidman, H.E.P. Tattje, E.A.R. van der Linden, and D. Rijks, "Self similar hierarchical transform: A bridge between block-transform coding and coding with a model of the human visual system," *Proc. of SPIE*, vol. 594, Image Coding, pp. 306-311, 1985. *