

## 확장 JPEG의 가변 양자화를 위한 시각적 비트율 제어

### A Perceptual Rate Control for Variable Quantizer of Extended JPEG

윤 석 진\*, 박 광 채\*\*

(Seok Jin Yun\*, Kwang Chae Park\*\*)

#### 요 약

본 논문에서는 ISO/IEC 10918-3(ITU-T REC. T84)로 표준화되어 새롭게 제안된 확장 JPEG의 가변 양자화를 이용한 영상 부호기를 구현하였다. 인간의 시각은 공간 주파수 감도에 매우 민감하므로 가변 양자화를 사용함으로써 블로킹 효과를 경감시킬 수 있다. 이 블로킹 효과는 높은 활동도 영역보다 낮은 활동도 영역에서 더 많이 발생된다.

따라서 가변 양자화의 8×8 기본 블록 단위의 특성을 파악하기 위한 활동도는 공간영역에서 수평 수직 방향 기울기를 이용하여 계산하였다. 구해진 활동도를 가변 양자화에 적용하기 위해 비선형 양자화 변수를 5단계로 분류하여 낮은 영역에서 좀더 세밀한 양자화가 이루어지도록 하였다. 다양한 영상을 적용하여 시뮬레이션 한 결과 주어진 비트율에서 주관적으로나 객관적으로 품질이 향상되었다.

#### ABSTRACT

In this paper, we present an image coder using variable quantizer for newly proposed JPEG extensions which has been standardized as ISO/IEC 10918-3(ITU-T Rec. T.84). It is necessary to alleviate the blocking artifact which is more sensitive to human eye in view of the spatial frequency sensitivity. The blocking artifact arises in the lower activity area rather than in the higher area. Therefore variable quantizer use the horizontal and vertical derivatives for calculating the 8×8 block activity. We classified nonlinear quantizer parameter into 5 categories in order to finely quantize in the lower active region. As a result of simulation for various images, the proposed coder increases subjective and objective quality at a given bit rate.

#### I. 서 론

1992년 ISO/IEC에서 정지 영상에 대한 부호화를 규정하는 JPEG(Joint Picture Experts Group)이 결성되었다. 이후 JPEG에서는 3 Part로 구성된 ISO/IEC 10918 표준을 제정하였다. Part 1은 영상 부호기의 기본적인 요구 조건과 기준(baseline system)을,<sup>[1]</sup> Part 2는 성능 시험(compliance testing)을, Part 3에서는 JPEG의 확장(extensions) 기술을 제시하고 있다.<sup>[2]</sup> 베이스라인 시스템의 양자화 기법을 정해진 양자화 행렬에 동일한 변환 계수를 택한다. 정해진 양자화 행렬은 다양한 영상을 시뮬레이션하여 얻고 있으며 영상의 첫 부분에서 가변시킬 수 있다. 대부분의 경우 일반적인 영상에 적합한 양자화기를 선택할 뿐만 아니라 영상 전체에 대하여 하나의 양자화 테이블을 이용하기 때문에 영상의 극부 특성을

고려하지 못하므로 양자화 오차가 불균형적으로 발생한다.<sup>[1]</sup> 이와같은 단점을 보완하여 영상의 극부 특성을 살려줄 뿐만 아니라 MPEG(Moving Picture Experts Group)과 JPEG 상호간의 양립성 문제를 해결하기 위하여 1994년 말 확장 JPEG이 만들어졌다. 이 확장 JPEG에서는 영상 내에서 양자화 테이블 값을 변화시킬 수 있는 가변 양자화(variable quantizer)를 이용하고 있다. MPEG에서는 16×16 매크로블록 단위로 양자화기를 변화시킨 반면<sup>[3]</sup> JPEG의 기본 단위는 8×8 블록이므로 확장 JPEG에서도 임의의 8×8 블록 단위로 양자화 테이블을 가변할 수 있도록 하였다. 그러므로 8×8 블록을 4×4 부 블록으로 나누어서 특성을 파악하고 부 블록의 상태에 따라 비트 할당량을 조절함으로써 시각적으로 화질을 향상시킬 수 있는 이점이 있다.

영상의 극부 특성을 측정하는 방법으로서 블록의 활동도(activity)를 계산하는 방법과,<sup>[4,5]</sup> 변환 블록의 분산량을 조사하는 방법이 있다.<sup>[6]</sup> 엔트로피 이론에 의한 변환 블록의 분산량을 조사하는 방법은 모든 부호화에서 기준이 되고 있으나 영상의 공간 주파수 개념이 결여되어 있

\*한영공업전문대학 전자통신과  
Dept. of Elec. Comm., Hanyung technical college

\*\*조선대학교 전자공학과  
Dept. of Elec. Eng., Chosun university

접수일자: 1996년 3월 15일

다. 그러므로 주파수 변화를 고려할 수 있는 활동도 이용 기법이 선호되고 있다. 인간의 시각 특성을 공간 주파수 성분이 비교적 낮은 주파수 영역에서 민감하므로 변환 부호화의 결과로 얻어지는 블록 효과는 시각적으로 저슬리므로 보다 많은 비트를 할당한다. 반면에 공간 주파수 성분이 높은 주파수 영역에서는 둔감하기 때문에 보다 작은 비트를 할당해도 만족스런 화질을 유지한다.<sup>[7]</sup> 따라서 영상의 국부 특성에 적합한 양자화기를 선택하고 적정량의 비트를 할당 하므로써 영상 전체적으로 비트 유효를 조절하는 연구가 권고되고 있다.<sup>[8]</sup> B. Liu, J. Ratto, L. Lin 등은 양자화와 비트 유효에 모델링을<sup>[9-11]</sup> 이용하는 부호기를 제안하였고, A. Puri, S. Ryoo 등은 부 블록의 특성을 분류 기법에 의해 적용하는 시스템도 연구하였다.<sup>[12, 13]</sup>

본 논문에서는 확장 JPEG의 가변양자화 기법을 도입하여 영상의 국부 특성에 따른 최적 비트 유효를 할당하므로써 만족스런 화질을 얻고자 한다. 이러한 가변 양자화기를 구현하기 위해 블록의 활동도를 계산하여, 공간 주파수 개념에 적합한 양자화 값을 결정한다. 연구 결과의 타당성을 제시하기 위하여 다양한 영상을 대상으로 시뮬레이션하여 각 영상에 있어서 시각적으로 우수함을 확인하고자 한다.

II. 확장 JPEG의 가변 양자화 기법

영상의 한 프레임을 처리하는 중에 계속해서 동일한 양자화기만을 사용하는 것은 효율성을 갖지 못한다. 즉, 에지 부분과 같은 AC 성분이 많은 영역과 배경 부분처럼 DC 성분이 강하게 나타나는 영역에 똑같은 양자화 테이블을 적용한다는 것은 부적절하다. 그러므로 각 단위 블록에 적합한 양자화 테이블을 이용하는 것이 이상적이다. 그러나 실제 구현하기가 어려우므로 하나의 양자화 테이블 값을 기본으로 하여 각 블록의 특성에 따른 비율 정수로 테이블 값을 변화시키는 방법을 사용한다. JPEG에서는 MPEG과 같은 매크로 블록을 사용하지 않고 8×8 기본 블록 단위로 처리하므로, 영상의 각 블록 특성에 적합한 비율 정수를 정하여 양자화 테이블 값을 변화시킬 수 있다. 그러나 MPEG에서는 하나의 매크로 블록에 양자화기가 설정되면 부 블록 모두에 동일하게 적용되므로 이러한 불일치는 문제되지 않는다. 이와 같은 개념에 입각하여 확장 JPEG에서는 양자화 테이블의 값을 변화시키는 양자화 방법을 가변 양자화기로 정의하고 있다. 확장 JPEG에서 규정하는 가변 양자화는 영상의 시작점에서 주어진 양자화 테이블 값을 임의의 영상 블록에 대해 변경하려면 양자화기를 의미하는 부가 정보가 필요하다. 그림 1과 같이 4-bit의 헤더(1111<sub>B</sub>)에 이어서 31종의 양자화기를 의미하는 비율 코드(scale code) 5-bit가 추가로 필요하다. 이와 같이 양자화기의 테이블이 변경되려면 하나의 블록당 9-bit의 부가 정보가 소요된다. 그러

므로 매 블록마다 양자화 테이블 값을 바꾸는 것은 비효율적이다. 실제 영상에 있어서 인접한 블록간에는 상관도가 높기 때문에 국부적으로 선택된 양자화기는 영상상의 좌상 단에서 우하단까지 블록 단위로 주사하는 중에 계속적으로 사용될 확률이 높다. 그러나 시각적인 특성이 크게 변화된 블록에 대해서는 부가 정보를 감수하면서 양자화기를 바꿀 필요가 있다.

header 4 bit	scale code 5 bit	DCT coefficients
-----------------	---------------------	------------------

그림 1. 가변 양자화된 블록의 데이터 구조  
Fig 1. Construction of data for variable quantized block

DC계수  $S_{q00}$ 은 가변 양자화 과정에서 영향을 받지 않으며 베이스라인 시스템과 동일한 식 (1)에 의해 양자화된다. AC계수  $S_{quv}$ 는 식 (2)와 같이 분모항의 비율 정수  $qs$ (quantization scalecode)가 분자항의 비율 정수 16보다 크거나 작을 때 따라  $S_{quv}$ 가 변화된다.

$$S_{q00} = \text{Nearest integer} \left\{ \frac{S_{00}}{Q_{00}} \right\} \tag{1}$$

$$S_{quv} = \text{Nearest integer} \left\{ \frac{S_{uv}}{Q_{uv}} \times \frac{16}{qs} \right\}$$

$$\text{단, } u, v = 1, 2, \dots, 7. \tag{2}$$

이 때 비율 정수는 1~31까지의 비율 코드에 따라 선형 또는 비선형적으로 결정되어 있다. 전자는 비율 코드 값에 2배수를 취하여 2~64까지 선형적인 비율 정수를 얻게 되며, 후자는 코드 값이 작은 부분에서는 완만한 증가, 큰 부분에서 급준한 증가 특성을 갖는 1~112까지의 비율 정수를 갖는다. 통상적으로 영상 시작점에서 분모항의 비율 정수 값은 16으로 정해지며, 이후 변경을 의미하는 부가 정보가 나타날 때까지 계속 유지된다.

III. 가변 양자화기의 설계

활동도는 8×8 블록 단위로 분할한 영상의 국부적 특성을 나타내며, 변환 영역 또는 공간 영역에서 구할 수 있다. 변환 영역에서의 DCT계수는 매우 다양하게 발생하므로 정확한 정량화가 어렵다. 그러므로 공간 영역에서 인접한 화소간의 변화량을 구하는 방법을 제시한다. 공간 주파수 개념에 의하면 시각적으로 민감한 영역은 3~8 cycles/degree이며 이보다 낮거나 높은 영역에서는 둔감한 특성을 보인다.<sup>[14]</sup> ITU-R 601 기준 영상의 8×8 블록은 화면 높이의 6배 거리에서 관측시 약 4 cycles/degree에 해당하므로<sup>[7]</sup> 블록효과는 시각적으로 매우 저슬리는 결과를 가져온다. 그러므로 블록의 활동도를 구

할 때에도 이점을 고려하여 그림 2와 같이  $I_0 \sim I_3$  까지 4개의 부분블록으로 나누어 각각 변화량을 구하고, 인접한 부분블록간에 발생 가능한 블록 경계 특성을  $I_4 \sim I_5$ ,  $I_6 \sim I_7$ 과 같은 부분블록으로 나누어 처리한다.

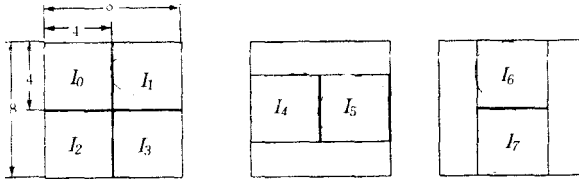


그림 2. 공간영역에서 블록활동도를 구하기 위한 부분블록.  
Fig 2. Sub-blocks for block activity calculation in the spatial domain.

$$\delta_v I = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} \sum_{j=0}^{n-1} |I_{ij} - I_{i+1,j}| \quad (3)$$

$$\delta_h I = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-2} |I_{ij} - I_{i,j+1}| \quad (4)$$

부 블록 내에서 수직적으로 인접한 화소간의 변화량은 식 (3)과 같이 수직적 공간 기울기를 구할 수 있고, 수평적으로 인접한 화소간의 수평적 공간 기울기는 식 (4)와 같이 구하는 것이 가능하다. 여기서 공간 기울기 성분  $\delta_v$ ,  $\delta_h$ 는 각 블록 내에서 수직, 수평적 변화의 평균값을 의미한다.

한편 각 부분블록에 대한 에지 활동도(edge activity)는 식 (5)와 같이 수직, 수평 성분을 고려하여 계산한다.  $I_0 \sim I_3$  블록에 대해서는 수직·수평 성분 모두를 고려하며,  $I_4 \sim I_5$ 에 대해서는 수직 성분을, 그리고  $I_6 \sim I_7$ 에 대해서는 수평 성분을 고려한다.

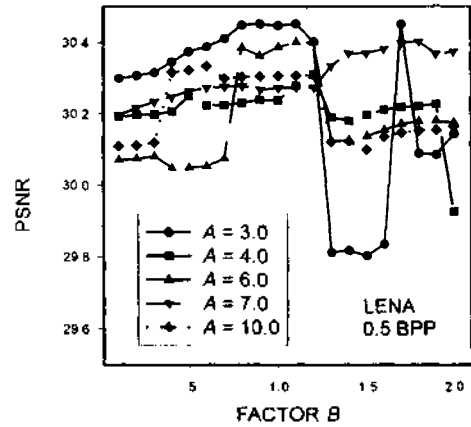
$$\lambda_m = \begin{cases} \frac{1}{2} [\ln(\delta_h I_m) + \ln(\delta_v I_m)], & m=0, 1, 2, 3 \\ \ln(\delta_v I_m), & m=4, 5 \\ \ln(\delta_h I_m), & m=6, 7 \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 구한 각 부분블록의 활동도  $\lambda_m$  중에서 마스크 에지 값이 가장 크게 나타나는 최소 에지 활동도(minimum edge activity)  $\lambda_{\min}$  값을 구한 후에, 이 값을 기준으로 에지 활동도가 높은 부분과 낮은 부분 사이 나타나는 블록의 평균 에지 활동도  $\lambda_{m,average}$ 를 구하여 보상시키는 블록 활동도는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며, 최소 에지 활동도에 근거하여 평균값과의 변화량으로 정의된다.

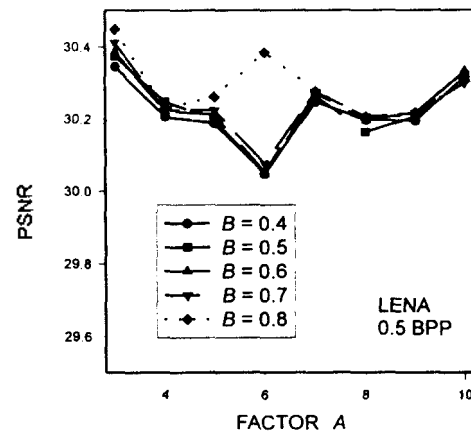
$$f_{activity} = |A \lambda_{\min} - B(\lambda_{m,average} - \lambda_{\min})| \quad (6)$$

여기에서  $\lambda_{m,average} = \frac{1}{8} \sum_{m=0}^7 \lambda_m$

식 (6)의 두 번째 항은 블록의 경계면에서 거친 양자화로 인한 에지를 경감시키기 위해 평균 에지 활동도로부터 최소 값을 빼는 과정이다. 여기서 상수 A, B는 영상에 따라 다양하게 적용할 수 있으며, 실험 결과 그림 3에 보이는 바와 같이  $A=3, B=1$ 에서 가장 좋은 결과를 보였다. 이 때  $\lambda_{\min}$  값이 평균에서 지나치게 벌어지면 활동도가 음의 값을 갖게 되는 문제가 발생 할 수 있으나 실험 결과 이러한 현상이 거의 나타나지 않을 만큼 영상의 국부적인 특성은  $8 \times 8$  블록 내에서 상관성을 보였다.



(a) PSNR vs. factor B at parameter A



(b) PSNR vs. factor A at parameter B

그림 3. 각 비트율에서의 계수 A와 B에 대한 PSNR.  
Fig 3. PSNR for parameter A and B at each bit rate

구해진 활동도에 따라 각 블록의 비트 할당량을 증가 또는 감소시키기 위해 양자화 테이블의 변경 여부 및 비율 코드를 결정해야 한다. 활동도를 5단계의 비선형 구간으로 분류하여 그림 4에 도시하였다. 활동도가 낮은 영역에서는  $8 \times 8$  블록 효과에 접근하므로 시각적으로 거슬린다. 이러한 현상을 보상하기 위해 보다 많은 비트를 할당시켜 주어야 한다. 즉 그림 4에서 첫 번째 구간의 가중치

가 크다는 것은 비율 코드를 적게 하여 식 (2)의 양자화 계수를 크게 하는 결과를 얻는다. 다양한 표본 영상에 대한 실험 결과 각 영역에 해당하는 분포도를 보면, 첫 번째 영역에서 약 55%의 분포를 가지며 두 번째 영역에서는 32%의 분포를 갖는 등 활동도가 클수록 분포율(activity probability)은 줄어든다. 매우 낮은 활동도를 갖는 블록과 그 반대의 매우 높은 활동도를 갖는 블록에서는 인간의 시각 특성이 둔감하므로 비선형 활동도 분포를 갖는 시스템을 제안하였다.

이와 같은 비선형 활동도 분포를 갖는 시스템에서 활동도가 낮은 영역을 보상하기 위해 비트량을 증가시킨 반면 상대적으로 높은 영역의 비트량을 줄이므로서 전체적인 비트율을 일정하게 한다. 더우기 비율 정수의 변경에 따른 부가 정보를 감안하여 비트의 증가량과 감소량이 같도록 시스템을 제어하였다.

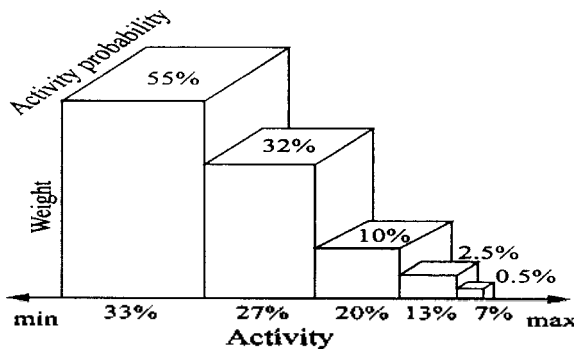


그림 4. 5단계의 블록 활동도에 있어서 가중치 및 분포율  
Fig 4. Activity probability and weighted value in the five steps block activity

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 베이스라인 시스템과 가변 양자화기를 이용한 확장 JPEG 시스템을 시뮬레이션을 수행하여 비교 분석하였다. 다양한 특성을 갖는 표본 영상으로써 256×256 화소를 갖는 lena 영상과 320×320 화소의 football과 flower garden 영상에 대하여 시뮬레이션 하였으며 이들 영상에 대한 블록 활동도는 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 lena 영상의 활동도는 낮은 영역과 중간 영역에 걸쳐서 비교적 완만한 특성으로 분포하지만, football 영상은 주로 중간 영역에 분포함을 알 수 있다. 또한 flower garden 영상은 활동도가 아주 낮은 영역과 높은 영역에 분포함을 알 수 있다.

이와 같은 특성의 표본 영상에 있어서 에지 부분은 다소 거칠어지더라도 낮은 비트율에서 나타나는 블록킹 현상을 감소시켜 시각적인 특성을 좋게 하기 위해서 공간 주파수가 매우 높은 에지 부분은 비트 할당량을 줄이고, 비교적 활동도가 낮은 배경 부분은 비트 할당량을 증

가시켰다. 그 결과 저 전송률에서도 블록킹 현상이 감소되면서 전반적으로 영상의 질이 개선되는 결과를 얻었다.

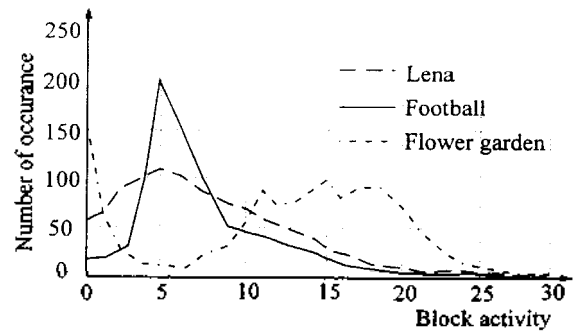
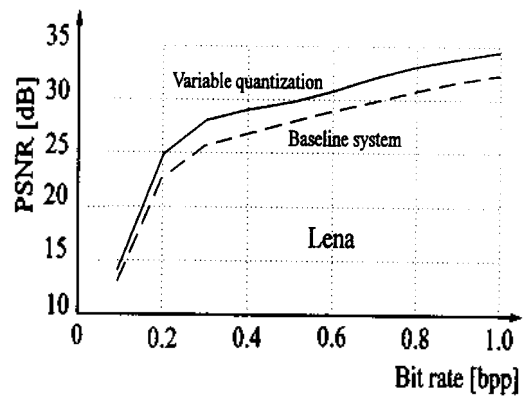
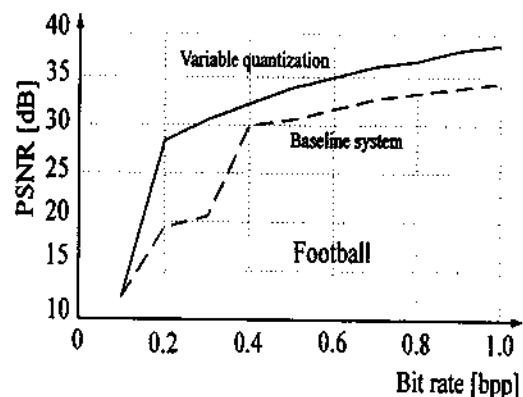


그림 5. 각 영상의 블록 활동도  
Fig 5. Block activities of each images

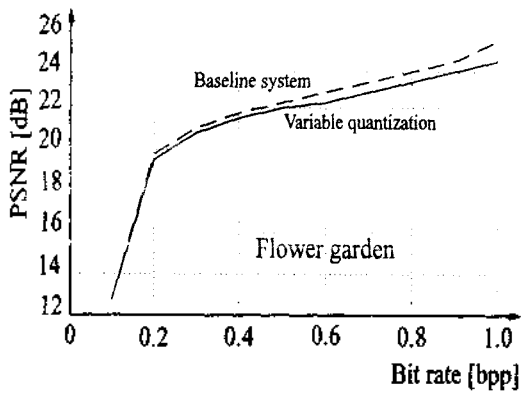
그림 6은 표본 영상에 대한 시뮬레이션 결과이다. lena와 football 영상은 0.25[bpp]에서도 블록킹 현상이 거의 나타나지 않으면서도 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)이 1~2[dB]이상 개선되었다. 그러나 배경 부분이 매우 많은 flower garden 영상은 활동도가 매우 낮은 부분에서 매우 높은 부분까지 광범위하게 분포하기 때문에 PSNR은 약간 감소하였지만 배경 부분의 블록킹 현상은



(a) Lena



(b) Football



(c) Flower garden

그림 6. 각 영상에 대한 시뮬레이션 결과(PSNR vs. Bit rate).  
Fig 6. Result of simulation for each image



(a) JPEG 베이스라인 시스템  
(a) JPEG baseline line system



(a) JPEG baseline system



(b) 가변 양자화 확장 JPEG 시스템  
(b) Variable quantization JPEG extension system



(b) Variable quantization JPEG extension systems

그림 7. JPEG 베이스라인 시스템 (a)와 가변 양자화 확장 JPEG (b)에 의한 복원 영상(0.25 bpp).

Fig 7. Reconstruct images from (a) JPEG baseline system and (b) variable quantization JPEG extention system(0.25 bpp).

그림 8. JPEG 베이스라인 시스템 (a)와 가변 양자화 확장 JPEG (b)에 의한 복원 영상(0.25 bpp).

Fig 8. Reconstructed images from (a) JPEG baseline system and (b) Variable quantization JPEG extension (0.25 bpp).

대폭 감소되었다. 특히 football 영상의 경우 낮은 비트율에서 매우 큰 대조를 보였다.

본 논문에서 목적으로 한 시각적 화질 증가를 보여주는 좋은 예는 flower garden 영상이다. 그림 6의 flower garden 영상의 PSNR은 근소하게 낮아졌지만 그림 7에 나타난 주관적 화질은 블록 효과의 제거와 함께 현저히 개선되었음을 알 수 있다. 또한 그림 8의 lena 영상은 주관적 화질 향상은 물론 블록 현상이 대폭 줄었음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 ISO/IEC 1091801-3의 확장 JPEG에서 권고하고 있는 가변 양자화를 설계하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 시각적 공간 주파수 개념에 적합한 블록의 활동도를 구하여 비트 율 조절에 응용하였다. 블록 현상은 낮은 공간 주파수 영역 즉 낮은 블록 활동도 영역에서 발생하기 때문에 이러한 부분에 보다 많은 비트를 할당하고, 반대로 높은 주파수 영역에 비트 량을 작게 할당하므로서 전체적으로 비트 율을 일정하게 하였다. 블록 활동도는 시각 특성의 비선형성에 적합하게 비선형적으로 분포하도록 분류하고 다양한 실험에 의해 최적 상수를 결정하였다. 시뮬레이션 결과 저 전송률에서 나타나는 블록킹 현상으로 인한 영상의 열화 현상을 현저하게 감소시킴으로써 주관적인 화질 개선뿐만 아니라, PSNR이 1~2 [dB] 이상 향상되었으므로 객관적으로도 우수한 성능 향상을 나타내었다.

본 연구의 응용 분야는 JPEG과 MPEG 같은 동영상 부호기와의 상호 변환, 그리고 멀티미디어 자료의 효율적 저장 및 복원 등에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. ISO/IEC 10918-1 - ITU-T Recomm. T.81, *Information technology-Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines*, Jan. 1992.
2. ISO/IEC 10918-3 - ITU-T Recomm. T.84, *Information technology-Digital compression and coding of continuous-tone still images: Extensions*, Nov. 1994.
3. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, *Coded representation of pictures and audio information, MPEG phase 2 Test Model 5*, MPEG 93/N0457, Apr. 1993.
4. M. R. Pickering and J. F. Arnold, "A perceptually efficient VBR rate control algorithm," *IEEE Trans. on image processing*, Vol. 3, pp. 527~532, Sept. 1994.
5. 윤석진 등, "가변 양자화기를 이용한 JPEG 영상 부호기," *신호 처리 합동학술대회 논문집*, 제 8 권, 1호, pp. 781~784, 1995. 9.
6. L. Wang, "Rate control for MPEG video coding," *SPIE, Visual Comm. and Image Proc.*, Vol. 2501, Taipei, Taiwan, pp. 53~64, May. 1995.
7. J. J. Hwang et. al., "Visual-weighted DCT coding for monochrome still images," *J. KITE*, Vol. 29-B, pp. 93~101, Nov. 1992.
8. K. R. Rao and J. J. Hwang, *Technique and Standards for digital image, video and audio coding*, Prentice Hall, 1996.
9. W. Ding and B. Liu, "Rate control of MPEG video coding and recording by rate-quantization modeling," *To be appeared in IEEE Trans. on CSVT*, Feb. 1996.
10. J. Katto and M. Ohta, "Mathematical analysis of MPEG compression capability and its application to

rate control," *IEEE Intl. Conf. on Image Processing*, Washington, D.C., Vol. II, pp. 555~558, Oct. 1995.

11. L. Lin et. al., "A gradient-based rate control algorithm with application to MPEG video," *IEEE Intl. Conf. on Image Processing*, D.C., Vol. III, pp. 392~395, Oct. 1995.
12. A. Puri and R. Aravind, "Motion-compensated video coding with adaptive perceptual quantization," *IEEE Trans. on CSVT*, Vol. 1, pp. 351~361, Dec. 1991.
13. S. Ryou et. al., *Rate control tool: Based on human visual sensitivity for low bitrate coding*, ISO/IEC MPEG96 Doc. M0566, Jan. 1996.
14. J. L. Mannos and D. J. Sakrison, "The effects of a fidelity criterion on the encoding of images," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol. 20, pp. 525~536, July. 1974.

▲윤 석 진(Sok-Jin Yun) 1949년 11월 20일생



1988년 2월 : 전북산업대학교 전자공학과(공학사)  
 1990년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1993년 10월 : 조선대학교 대학원 전기공학과 전자전공(박사과정수로)  
 1993년 3월~현재 : 한영공업전문대학 전자통신과

※주관심분야 : 통신 및 신호처리

▲박 광 채(Kwang-Chae Park) 1951년 2월 27일생



1975년 2월 : 조선대학교 전자공학과(공학사)  
 1980년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1994년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)  
 1975년 3월~현재 : 조선대학교 공과대학 전자공학과 교수

※주관심분야 : 데이터 통신과 프로토콜, 광대역 정보통신, ATM Network, 디지털 교환기