

블록 경계 화소차값의 특성을 이용한 블록화 현상 제거 알고리즘

正會員 채 병 조*, 손 채 봉*, 오 승 준*

A Blocking Artifacts Reduction Algorithm Using Block Boundary Pixel Difference Characteristics

Byung-Jo Chae*, Chae-Bong Sohn*, Seung-Jun Oh* *Regular Members*

※본 연구는 한국과학재단 특정연구과제 지원으로 이루어진 것입니다.

요 약

본 논문에서는 블록 기반 DCT 변환을 이용하는 JPEG/MPEG과 같은 영상압축 방법에서 발생하는 블록화 현상을 줄이는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 에지 블록에서 발생하는 양자화 오류 예측 값에 대한 오류를 방지하여 순수한 양자화 오류만을 예측한다. 순수한 양자화 오류만을 판별하기 위하여 본 논문에서는 양자화되어 블록화 현상이 존재하는 영상의 블록 경계 화소차값의 특성을 이용한다. 이 특성은 입력 영상과 독립적으로 거의 일정한 형태를 가지며 양자화 계수 (QF)에 관련된다. 이러한 특성을 이용하여 부가적인 에지 검출과정 없이 블록의 에지 영역을 판별할 수 있으며, 블록 영역의 특성에 따라 양자화 오류와 그 보상치를 결정하여 블록화 현상을 제거한다. 손실된 양자화 오류를 구하고 블록 경계 화소차값 특성을 이용하여 각 영역별로 보상치를 결정함으로써 에지 성분을 보존하면서 블록화 현상을 줄인다. 대표적인 실험 영상을 사용하여 성능을 비교하였을 때 제안한 방법은 기존의 방법에서 요구하는 제약조건을 두지 않고도 블록화 현상을 줄일 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new approach for reducing the blocking artifact that is one of drawbacks of the block-based Discrete Cosine Transform (DCT) without introducing additional information or significant blurring. We modify the inter-block discontinuity minimization technique to preserve edges within a block as well as to reduce visible block boundaries. The homogeneity of each block is decided by the threshold value related to Q-factor, which is included in a JPEG as well as MPEG streams. The quantization error is estimated by minimizing the discontinuity, which is weighted in proportion to block discontinuity and added to each pixels in the block to compensate block artifacts. The proposed algorithm reconstructs images which have less noticeable block boundaries from a subjective viewpoint without any constraints.

*광운대학교 전자공학부
論文番號: 98038-0130
接受日字: 1998年 1月 30日

I. 서 론

현재 널리 사용되는 JPEG (Joint Photographic Expert Group)과 MPEG (Moving Picture Expert Group) 인트라 모드(Intra mode)와 같은 부호화 방식에서는 텍스처(texture) 부호화를 위하여 입력 영상을 8×8 블록(block)으로 나누고, 각 블록을 직교 변환(Orthogonal Transform)하여 화소간의 상관도를 최소화하는 블록 기반 DCT (Block-based Discrete Cosine Transform) 부호화 방식을 사용한다¹⁾.

그러나 블록 기반 DCT를 이용하면 블록 내부의 화소값 사이의 연관성은 제거되지만 블록간의 연관성은 제거되지 않는 문제가 있다. 그리고 주파수 영역에서 계수값들이 양자화 되는 과정에서 정보가 손실되기 때문에 영상을 복원하였을 때 시각적으로 왜곡되는 현상이 발생한다. 복원된 영상에 나타나는 왜곡 현상 중에서 대표적인 것이 블록과 블록 사이의 경계가 눈에 두드러지게 되는 블록화 현상(Blocking Artifacts)이다.

현재까지 블록화 현상을 줄이는 방법들이 많이 제안되었다. 대표적인 방법으로 블록 경계 화소에 대하여 필터링 하는 방법²⁾, DCT의 DC성분에 대해서 DPCM (Differential Pulse Code Modulation)을 적용하는 방법^{3, 4)}, 이웃 블록의 DC값들로부터 AC값을 예측하는 방법^{5, 6)}, 불연속성을 최소화하는 방법⁷⁾, 블록 경계의 기울기를 최소화 하는 방법⁸⁾, 에지맵을 추출하여 불연속성을 제거하는 방법⁹⁾, 국부적인 CLS (Constrained Least Squares)를 고려하는 방법¹⁰⁾ 등이 있다.

필터링 방법은 부가적인 정보 없이 블록 경계의 고주파 성분을 제거함으로써 블록화 현상을 효과적으로 제거할 수 있지만 복원된 영상을 흐리게 한다. DCT의 DC성분에 DPCM을 적용하는 방법은 실제로 JPEG에서 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 DC성분이 아닌 다른 성분으로 인한 블록화 현상을 제거하지 못하며, 부호기와 복호기 사이에 동기화가 이루어져야 하는 단점이 있다. 이웃 블록의 DC 값으로부터 AC 값을 예측하는 방법은 블록화 현상을 제거하기에는 그 효율이 매우 낮다. 블록 경계에서 불연속성을 정의하고 이를 최소화하는 방법은 균일 영역의 블록화 현상은 효과적으로 제거하지만 블록 내부의 새로

운 불연속성이 발생한다는 단점이 있다.

Zakhor가 제안한 MSDS (Mean Squared Difference of Slope) 방법¹¹⁾은 자연 현상에 대한 영상에서는 일반적으로 명암의 변화가 서서히 일어나기 때문에 에지가 블록 경계에서 나타나는 경우가 많지 않다는 영상 특성을 이용하였다. 이 방법에서는 DCT계수의 양자화에 의해 발생하는 경계에 있는 두 이웃 블록의 밝기의 변화, 즉 기울기의 변화를 원 영상의 기울기와 비교하여 그 기울기의 차를 최소화할 수 있는 방향으로 DCT계수를 보정하여 블록화 현상을 최소화시켰다. 그러나 이 방법은 예측된 DCT 계수에 대한 제한이 필요하고, “에지 영역”의 블록화 현상을 제거하기 위해서 저대역 통과 필터를 적용하였기 때문에 영상이 흐려진다.

입력 영상의 에지 영상을 구성하여 “균일 화소 집합”과 “에지 화소 집합”으로 구분하여 원 영상이 가지는 에지 성분을 찾아내어 블록화 현상을 최소화하는 방법은 에지 성분을 잘 보존하면서 블록화 현상을 효과적으로 제거하지만, 입력 영상의 에지맵 구성과 같은 부가적인 과정이 요구되는 단점이 있다. 국부적인 CLS를 고려하여 블록화 현상을 제거하는 방법은 블록 내부의 화소차까지 고려하여 블록화 현상을 최소화하여 영상의 에지 성분은 잘 보존하나 균일 영역의 블록화 현상을 제거하기에는 한계가 있으며, 블록 내부의 화소차를 구하여 블록화 현상을 최소화 하기 때문에 계산량이 증가하고, 부호화기가 복호기에 부가적인 요소를 전송해야 하므로 JPEG이나 MPEG과 같은 표준에 위배된다는 단점이 있다.

본 논문에서는 JPEG이나 MPEG과 같은 표준에 위배되지 않으면서 블록간 불연속 정도를 최소화하여 에지 성분을 보존할 수 있는 개선된 알고리즘을 제안한다. 블록화 현상에 대한 관측자로서 블록간의 차이값의 제곱으로 정량화하고, 입력 영상의 양자화 계수에 따른 블록 경계 화소차값 특성을 이용하여 임계값을 구하여 블록화 현상을 제거한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 대표적인 실험 영상에 적용하여 성능을 비교하였을 때, 제안한 방법은 기존의 방법에서 요구하는 어떠한 제약조건도 필요없이 블록화 현상을 줄일 수 있었다.

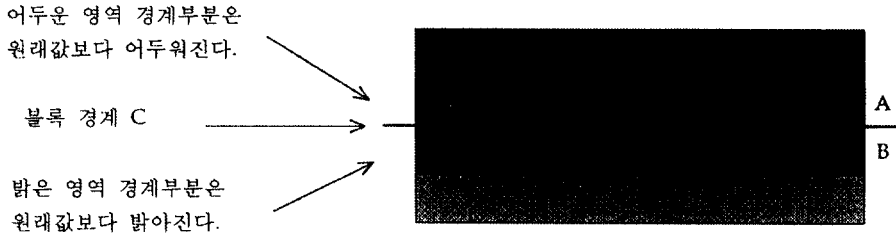


그림 1. 블록화 현상
Fig. 1 Blocking artifact

식 (5)에서 $f_{i+1,j}^0(x, y)$ 와 $f_{i,j+1}^0(x, y)$ 는 $B_{i,j}$ 에 이웃하는 네 개의 블록들이고, N 은 블록의 가로와 세로 방향의 화소수이며, JPEG이나 MPEG에서는 $N=8$ 이다. 식 (5)를 간략한 형태로 변형하면 식 (6)과 같다.

$$Qdiff_{i,j} = \sum_{k=0}^{N-1} \{ [A_{i,j-1}(k)]^2 + [A_{i,j+1}(k)]^2 + [A_{i-1,j}(k)]^2 + [A_{i+1,j}(k)]^2 \} \quad (6)$$

식 (6)에서 오른쪽 변의 각 항들은 식 (5)의 오른쪽 변의 각 항들에 해당하며, 블록 $B_{i,j}$ 가 주변 네 블록과 이루는 경계에서의 화소값의 차이이다.

원 영상에서 블록 $B_{i,j}$ 가 에지 성분이 없는 블록이면 $Qdiff_{i,j}$ 가 순수한 양자화 오류만을 나타낸다고 가정할 수 있지만, 블록 $B_{i,j}$ 가 에지 성분이 큰 블록인 경우에는 이웃 화소들 사이의 상관도가 매우 낮기 때문에 $Qdiff_{i,j}$ 는 양자화 오류보다는 원 영상이 가지는 화소간의 차이값으로 결정된다. 그러므로 블록기반 DCT 변환된 영상에서 블록화 현상을 일으키는 양자화 오류만을 포함한 블록으로부터 예측된 양자화 오류 정도는 가중치를 크게 주고 그렇지 않은 블록으로부터 얻은 예측치에는 가중치를 작게 주어서 보상하여야 한다. 왜냐하면, 원 영상 자체가 가지는 에지 경계들 식 (6)에서 규정한 불연속성에 포함시키면 원 영상의 화소간의 차이값도 최소화 과정에 포함되어 복원된 영상을 처리하였을 때, 에지 성분이 포함된 영역에서는 오히려 더 왜곡되는 현상이 발생하기 때문이다.

원 영상에서 균일한 영역에 이웃하는 블록들은 블록간의 차이값이 0에 가깝기 때문에 양자화한 후에 복원된 영상으로부터 측정된 블록간의 차이값은 순

수히 양자화 과정으로 인하여 발생한 오류라고 가정할 수 있다. 그러나 원 영상에서 불균일한 영역에 있는 블록들은 양자화 전에도 블록간의 차이값이 크게 존재하기 때문에 복원된 영상으로부터 측정된 블록간의 차이값은 양자화 오류보다는 원래의 차이값이 지배적이다. 그러므로 복원된 영상에서 양자화로 인한 블록간 불연속 정도를 측정할 때는 각 블록에서 양자화 오류 성분만을 예측할 수 있도록 하는 과정이 필요하다.

양자화 오류 정도를 판별하기 위하여 본 논문에서는 입력 영상의 블록 경계 화소차값의 분포를 이용한다. 그림 2는 MIT 영상과 Lena 영상의 블록 경계 화소차값에 대한 분포를 보여준다. 원 영상의 블록 경계 화소차값 분포는 라플라시안 (Laplacian) 분포를 가지지만, 양자화를 거쳐서 복원된 영상의 차이값 분포는 여러개의 대칭축을 갖는 라플라시안 분포들이 중첩된 형태로 나타난다. 이후 각각의 라플라시안 분포를 보조 라플라시안 분포 (SLD: Sub-Laplacian Distribution)라 하고 이러한 SLD가 여러 개가 중첩된 형태를 OSLD (Overlapped SLD)라 부르기로 한다. 복원된 영상의 차이값 분포가 OSLD 형태를 갖는다는 것은 양자화 오류에 의한 차이값과 원 영상이 가지고 있는 차이값이 함께 존재한다는 것을 의미한다. 또한 복원된 일반 영상들의 SLD 분포 형태가 유사한 것은 DCT 계수를 양자화한 후 영상을 복원하였기 때문이다. 그리고 SLD 분포의 각 대칭축이 입력 영상과 거의 독립적으로 JPEG이나 MPEG에서 사용하는 QF에 비례한다는 것은 매우 주목할 만하다. 이 성질을 이용하면 에지 맵을 구성하지 않고도 균일한 블록 경계와 에지 블록 경계를 구분할 수 있다.

II. 블록화 현상에 대한 고찰

JPEG과 MPEG과 같은 영상압축 방식에서는 영상을 부호화할 때 전체 영상을 8×8의 블록으로 나누어 각 블록을 DCT 변환 후 정해진 양자화 표를 사용하여 양자화 한다. (i, j)번째 블록의 (x, y)번째 화소의 휘도값을 $f_{i,j}(x, y)$ 라하고, (u, v)에 위치한 8×8 DCT 변환 계수를 $a_{i,j}(u, v)$ 라고 하면, $a_{i,j}(u, v)$ 는 식 (1)과 같다.

$$a_{i,j}(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f_{i,j}(x, y) \cdot \omega_{DCT}(u, x) \omega_{DCT}(v, y) \quad (1)$$

식 (1)에서 함수 C ()와 DCT 커널 함수 $\omega_{DCT}()$ 는 식 (2)와 같다.

$$C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{8}}, & k=0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}}, & k \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\omega_{DCT}(i, j) = \cos \frac{(2j+1)i\pi}{16}$$

식 (1)을 통해 DCT 변환 후, DCT 계수는 양자화 되어 정해진 양자화 표에서 해당되는 값으로 부호화 되고, 복호기에서는 수신된 값으로부터 역양자화 과정을 거쳐 DCT 계수를 복원한다. $a_{i,j}(u, v)$ 를 양자화한 값 $a_{i,j}^Q(u, v)$ 는 식 (3)과 같다.

$$a_{i,j}^Q(u, v) = \text{IntegerRound} \left\{ \frac{a_{i,j}(u, v)}{QF \cdot Q(u, v)} \right\} \quad (3)$$

식 (3)에서 QF (Quantization Factor)는 양자화 계수라고 하며, 압축율을 조정하는 요소이다. 이 값이 커지면 영상의 질은 저하되지만 비트율은 감소한다. Q(u, v)는 정해진 양자화 표의 값이고, IntegerRound{A}는 A를 반올림하여 정수값으로 바꾸는 함수이다. 양자화된 DCT 계수를 이용하여 복원된 화소값 $f_{i,j}^Q(x, y)$ 는 식 (4)와 같다.

$$f_{i,j}^Q(x, y) = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v) a_{i,j}^Q(u, v) \cdot \omega_{DCT}(u, x) \omega_{DCT}(v, y) \quad (4)$$

식 (4)에서 함수 C()와 역방향 DCT 커널 함수 $\omega_{DCT}()$

는 식 (2)와 같다.

DCT 계수는 영상 전체의 함축된 정보를 나타낸다. 이 값들의 조합으로써 블록 내의 특정 정보를 얻어낼 수 있다. DCT의 AC 계수 값은 블록 내의 국부적인 정보를 나타내고, DC 계수 값은 블록 전체의 유사성을 나타낸다. 일반적으로 영상데이터는 주위 화소들 사이에 상관성이 높기 때문에 높은 DC 값을 갖는다. 그러나 양자화 과정에서 블록과 블록간의 상관성이 전혀 고려되지 않으므로 블록 경계에서 블록 사이의 상관성이 줄어든다. 인간의 시각은 블록 경계에서의 화소값의 불일치에서 발생하는 블록화 현상에 민감하기 때문에 양자화 과정에서 발생하는 블록 사이의 상관도 손실은 복원된 영상의 화질을 크게 손상시킨다. 이러한 현상은 전송 비트율을 낮추기 위하여 QF 값을 높일수록 심화되며 화소값이 서서히 변하는 부분에서 특히 심하게 나타난다. 그림 1에서 위에서 아래 방향으로 점차 밝아지는 영역에서 C가 블록 경계라 하면, 양자화 과정후에는 블록 경계 C에서 블록화 현상이 발생한다. 즉 A영역에 있는 화소들은 복원하였을 때 더욱 어두워지고 B영역에 있는 화소들은 더욱 밝아진다. 이러한 현상은 변화가 완만할 경우 더욱 심하다. 빛의 변화가 불연속적인 에지 영역에서는 시각적으로 큰 차이를 느끼지 못한다.

III. 불연속성에 관한 관측자의 정의

블록화 현상을 제거하기 위하여 복원된 영상의 블록화 정도를 나타내는 관측자를 정의할 필요가 있다. 원 영상의 (i, j)번째 블록 화소의 휘도값과 양자화 과정으로 정보량이 손실된 휘도값을 각각 $f_{i,j}(x, y)$ 와 $f_{i,j}^Q(x, y)$ 로 표시하면, (i, j)번째 블록인 $B_{i,j}$ 의 불연속성 $Qdiff_{i,j}$ 는 식 (5)와 같이 정의된다⁶⁾.

$$Qdiff_{i,j} = \sum_{k=0}^{N-1} \{ [f_{i,j-1}^Q(k, N-1) - f_{i,j}^Q(k, 0)]^2 + [f_{i,j+1}^Q(k, 0) - f_{i,j}^Q(k, N-1)]^2 + [f_{i-1,j}^Q(N-1, k) - f_{i,j}^Q(0, k)]^2 + [f_{i+1,j}^Q(0, k) - f_{i,j}^Q(N-1, k)]^2 \} \quad (5)$$

그림 2에서 보여 주듯이 복원된 영상에서 SLD들 사이의 계곡을 경계로 영역을 분류하여 각 영역을 화소차가 유사한 것들로 구성된 집합과 대응시킬 수 있다. 그리고 계곡 경계값은 QF의 크기에 선형적으로 비례하게 설정될 수 있다는 것을 실험적으로 보였다. 그림 3은 QF=4인 Lena 영상의 각 영역에 대한 화소의 분포이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 영역 1과 영역 2에 해당하는 블록 경계 화소들은 대부분 균일 영역에 분포해 있다. 따라서 이 영역에서 원 영상과 복원된 영상의 차는 순수한 양자화 오류만을 포함하고 있다고 가정할 수 있으며, 영역 3과 영역 4에 해당하는 블록 경계 화소들은 대부분 영상의 에지 영역에 분포해 있으므로 이 영역에서의 예측된 오류 성분에는 원 영상이 가지는 에지 성분이 큰 비중을 차지하고 있다고 할 수 있다. SLD 사이의 경계는 실험적으로 QF에 비례하는 값으로 식 (7)과 같이 설정할 수 있다. 이 값은 영상의 종류와 무관하게 적용할 수 있다는 것을 그림 2에서 보여준다. 식 (7-b)에서 $pdiff_i$ 는 i 번째 경계 화소쌍 (pixel-pair)을 의미한다.

$$Th_k = QF \times (2k - 1), \quad k = 1, 2, 3 \quad (7-a)$$

$$\begin{aligned} pdiff_i \in R_1, & \quad \text{if } pdiff_i < Th_1 \\ pdiff_i \in R_2, & \quad \text{if } Th_1 \leq pdiff_i < Th_2 \\ pdiff_i \in R_3, & \quad \text{if } Th_2 \leq pdiff_i < Th_3 \\ pdiff_i \in R_4, & \quad \text{otherwise} \end{aligned} \quad , \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7-b)$$

그리고 QF값은 JPEG/MPEG과 같은 영상압축방식에서는 전송할 때 DCT 계수들과 함께 전송하므로 복호기 측에서 부가적으로 블록의 불균일성을 측정하여 판정할 필요가 없기 때문에 계산량을 줄일 수 있고, 표준 스트림에서 제공하는 정보이외의 부가적인 정보가 필요 없다는 장점이 있다. 세 개의 임계치에 따라 네 가지 영역으로 분류한다. 각 영역에 대한 임계치는 식 (7-a)와 같고, 각 영역인 R_i ($i=1, 2, 3, 4$)는 식 (7-b)에 의해서 결정된다.

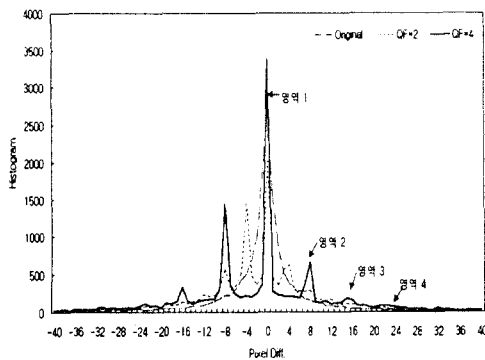
IV. 손실된 정보량의 예측 과정

양자화 과정으로 블록 $B_{i,j}$ 의 손실된 정보량 $\Delta f_{i,j}(x, y)$ 는 식 (8)처럼 정의된다. 이미 언급하였듯이 손실된 정보량인 $\Delta f_{i,j}(x, y)$ 때문에 시각적으로 왜곡된 복원 영상을 얻는다. 그러므로 이 값을 정확히 예측할 수 있다면 왜곡되지 않게 영상을 복원할 수 있다.

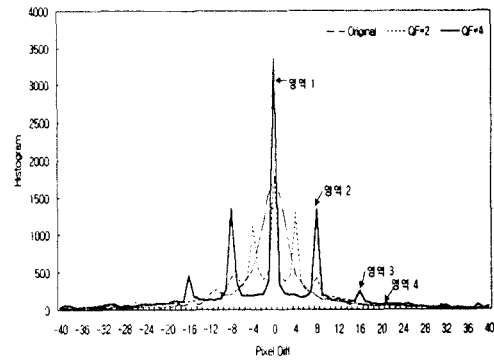
$$\Delta f_{i,j}(x, y) = f_{i,j}(x, y) - f_{i,j}^Q(x, y) \quad (8)$$

최소화 방법을 통하여 예측된 $\Delta f_{i,j}(x, y)$ 를 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 이라 하면, 복원된 영상의 화소값 $f'_{i,j}(x, y)$ 는 식 (9)로 정리된다.

$$f'_{i,j}(x, y) = f_{i,j}^Q(x, y) + \Delta f'_{i,j}(x, y) \quad (9)$$



(a)



(b)

그림 2. QF에 따른 화소차값 분포도 : (a) MIT 영상, (b)

Fig. 2 Distributions of pixel difference values in each QF: (a) MIT and (b) Lena



그림 3. Lena 영상의 각 영역별 블록 경계 화소
Fig. 3 Block boundary pixels in four regions

이웃하는 네 블록들이 원 영상의 화소값이라고 가정하면, 식 (6)과 식 (9)는 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 를 미지수로 갖는 함수가 된다. 이 식에서 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 를 역방향 DCT를 사용하여 행렬식으로 표시하면 식 (10)과 같다.

$$\Delta f'_{i,j}(x, y) = \Phi^T(x, y)X \quad (10)$$

$\Phi(x, y)$ 는 이차원 DCT 커널을 1차원으로 배열한 벡터이다. 그리고 X 는 2차원 DCT 계수를 1차원으로 배열한 벡터로써 식 (11)과 같이 주어진다.

$$X = [a_{i,j}(0, 0), \dots, a_{i,j}(N-1, 0), \dots, a_{i,j}(N-1, N-1)]^T \quad (11)$$

$Qdiff_{i,j}$ 의 $\Delta f'_{i,j}$ 들을 식 (9)로 대치하면 $Qdiff_{i,j}$ 는 주파수 영역에서 X 에 관한 2차 함수로 표현되며 이 함수를 X 에 관하여 편미분하여 $Qdiff_{i,j}$ 를 최소로 하는 X 를 얻을 수 있다. 그러나 본 논문에서는 X 전체, 즉 64개의 DCT 계수를 전부 예측하지 않고 X 중 DC 계수와 저주파 계수 3개만을 예측한다. 왜냐하면 일반 영상들을 DCT 부호화하면 저주파 영역에 대부분의 에너지가 분포하게 된다. 따라서 이 지역에서의 양자화 오류가 복원된 영상을 왜곡시키는 주요 원인이 되기 때문이다. 예측된 양자화 오류성분 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 는 식 (12)와 같이 정리된다.

$$\Delta f'_{i,j}(x, y) = \sum_{v=0}^1 \sum_{u=0}^1 a_{i,j}(u, v) \phi_u(x) \phi_v(y) \quad (12)$$

식 (12)에서 $a_{i,j}(u, v)$ 는 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} a_{i,j}(0, 0) &= \sqrt{N} \{G_{i,j-1}(0) + G_{i,j+1}(0) + G_{i-1,j}(0) + G_{i+1,j}(0)\} / 4 \\ a_{i,j}(0, 1) &= \sqrt{N} \{G_{i,j-1}(1) + G_{i,j+1}(1) + G_{i-1,j}(0) - G_{i+1,j}(0)\} \\ &\quad / (2 + 4\cos^2(\pi/2N)) \\ a_{i,j}(1, 0) &= \sqrt{N} \{G_{i,j-1}(0) - G_{i,j+1}(0) + G_{i-1,j}(1) + G_{i+1,j}(1)\} \\ &\quad / (2 + 4\cos^2(\pi/2N)) \\ a_{i,j}(1, 1) &= \sqrt{N} \{G_{i,j-1}(1) - G_{i,j+1}(1) + G_{i-1,j}(1) - G_{i+1,j}(1)\} \\ &\quad / (4\sqrt{2} \cos(\pi/2N)) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에서 $G_{i,j+1}(k)$ 와 $G_{i-1,j}(k)$ 는 $A_{i,j+1}(k)$ 와 $A_{i-1,j}(k)$ 의 DCT 변환 계수이다. 식 (12)에서 구한 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 를 식 (9)에 대입하면 블록화 현상이 제거된 화소값을 얻게 된다. 그러나 예측 과정에서 블록의 특성을 고려하지 않게 되면 복원된 영상에 왜곡이 발생하게 된다. 그러므로 식 (12)를 통해서 예측된 값을 해당 블록의 특성에 따라 예측된 정보량을 가중을 시켜서 보상하여야 보다 정확한 화소값을 구할 수 있다. 블록의 특성에 따라 가중치를 결정하는 과정은 5절에서 설명한다.

V. 가중치 결정 방법

균일한 영역의 블록 경계에서의 화소값의 차는 양자화 오류만으로 발생한 것으로 가정할 수 있으나, 불균일한 영역의 블록 경계의 화소값의 차는 양자화 오류보다는 원 영상의 화소차값에 의한 것이 더 크므로 모든 블록에서 식 (12)를 통하여 얻은 $\Delta f'_{i,j}(x, y)$ 값을 그대로 사용할 수 없고, 블록의 균일성 여부에 따라 가중치 λ 를 조정하여 보상하여야 한다. 블록 균일성에 대한 판별은 식 (7)을 따른다. 따라서 보상된

후의 화소값은 식 (14)와 같이 된다.

$$f'_{i,j}(x, y) = f_{i,j}^o(x, y) + \lambda_k \Delta f'_{i,j}(x, y) \quad (14)$$

$k=1, 2, 3, 4$ 는 식 (7)에 의해 나누어진 네 영역을 의미한다. R_k 에 속한 블록 경계 화소차를 하나 이상 갖고 R_{k+1} 에 속한 화소차가 없는 경우에는 가중치 λ_k 를 적용한다. 그리고 앞에서 설명한 영역의 성질에 의하여 $\lambda_k > \lambda_{k+1}$ 이며 $\lambda_1=1$ 이고 λ_4 는 0에 근사한 값을 적용한다. λ_k 는 다음과 같이 실험적으로 설정하였다.

표 1에 R_4 에서만 가중치를 적응적으로 적용한 결과에 대한 PSNR의 변화를 나타내었다. 실험에서는 시각적 효과를 위하여 R_4 의 가중치 λ_4 의 범위를 0.2에서 0.5로 한정하였다. 표 2에 R_4 의 가중치 λ_4 의 범위를 0.2에서 0.5로 한정하고 그 이외의 영역에는 영역별로 가중치를 달리한 결과에 대한 PSNR의 변화를 보였다. 실험 결과 R_1 에서 $\lambda_1=1.0$, R_2 에서 $\lambda_2=0.8$, R_3 에서 $\lambda_3=0.6$ 을 사용하는 것이 시각적인 면에서 제일 좋았고, PSNR도 높은 값을 얻었다.

VI. 실험 결과

제안한 알고리즘을 256×256 크기의 실험 영상과 512×512 크기의 MIT 영상과 Lena 영상에 적용하여 기존의 알고리즘들과 성능을 비교한다. 실험영상은 휘도값이 서서히 변하는 부분과 대각선, 수직, 수평 방향의 에지 성분을 포함한 영상이다. 그림 4 (a)와 그림 5 (a)는 실험 영상과 Lena 영상의 원 영상을 보여 준다. 이 영상들을 JPEG 표준으로 압축 복원하여, 복원된 영상에 각 알고리즘을 적용한다. 실험 결과에 대한 수치적 평가로 식 (15)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \times M} \sum_{B_{i,j} \in I} \sum_{(x,y) \in I} [f_{i,j}(x, y) - f'_{i,j}(x, y)]^2} \quad (15)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right)$$

식 (15)에서 $M \times M$ 은 실험 영상의 크기이고, $f'_{i,j}(x, y)$ 는 블록 $B_{i,j}$ 의 (x, y) 위치 화소에 각 알고리즘을 적용한 후 보상된 화소값이다.

그림 4(b)와 그림 5(b)는 양자화 계수 $QF=4$ 를 사용

표 1. R_4 영역에서의 가중치의 범위에 따른 복원영상의 화질
Table 1. The relationship between λ_4 and the quality of re-constructed images

λ_4	영상(dB)	Lena	MIT	실험 영상
1.0~0.0		26.31	25.57	22.53
0.9~0.2		26.58	25.76	22.93
0.8~0.2		26.86	26.09	23.31
0.7~0.2		27.12	26.40	23.67
0.6~0.2		27.36	26.69	24.01
0.5~0.2		27.56	26.95	24.32
0.4~0.2		27.71	27.16	24.58
0.3~0.2		27.82	27.33	27.77

표 2. 영역별 가중치에 따른 복원 영상의 PSNR 비교
Table 2. Quantitative evaluation of reconstructed images under several sets of λ values

λ_k	영상(dB)	Lena	MIT	실험 영상
λ_1	1.0	27.73	27.15	24.61
λ_2	0.9			
λ_3	0.7			
λ_1	1.0	27.79	27.21	24.71
λ_2	0.8			
λ_3	0.6			
λ_1	1.0	27.83	27.27	24.80
λ_2	0.7			
λ_3	0.5			

하여 JPEG으로 압축되어 복원된 영상으로 블록화 현상이 두드러지게 보이는 영상이다. 그림 4(c)와 그림 5(c)는 저대역 필터를 사용하여 복원한 영상이다. 블록화 현상은 효과적으로 제거되었지만 영상이 흐려지게 되어 시각적으로 좋지 못하며 실험 영상의 균일 영역과 Lena 영상의 어깨 영역과 같이 균일한 영역에서는 블록화 현상이 잘 제거되지 않음을 볼 수 있다. 그림 4(d)와 그림 5(d)는 그림 4(b)와 그림 5(b)에 대하여 MSDS 방법을 적용하여 처리된 영상이다. 이 방법은 실험 영상의 균일 영역과 Lena 영상의 어깨 영역과 같은 “균일 영역”에 대해서는 블록화 현상을 제거

하는데 좋은 효과를 보여주지만 실험 영상의 에지 영역과 얼굴의 윤곽선과 같은 “에지 영역”에 대해서는 블록화 현상이 그대로 존재함을 볼 수 있다. 또한 이 방법은 양자화된 DCT 계수값에 대한 임계치를 설정하여야 한다. 그러나 이 임계치는 실험적으로 설정된 값이어서 표준 압축 방식에 적용하기에는 무리가 있다. 국부적인 CLS를 고려하여 처리된 그림 4(c)와 그림 5(c)는 에지 영역은 잘 보존이 되었으나, 실험 영상과 Lena 영상의 “균일 영역”의 블록화 현상은 전혀 제거되지 않음을 볼 수 있다. 또한 이 방법은 “균일 영역”과 “에지 영역”중 어느 영역을 더 중요시 하느냐에 따라 블록화 현상의 제거 정도가 달라지게 된다. 그러나 블록 경계 화소차값 분포를 이용하여 각 영역별로 양

자와 오류정도를 판별하여 처리된 그림 4(f)와 그림 5(f)는 “균일 영역”뿐만 아니라 “에지 영역”에 대해서도 블록화 현상이 잘 제거되는 것을 볼 수 있다.

세 가지 영상들에 대하여 저대역 필터 방법을 사용한 경우보다 약 0.5 dB에서 5 dB 정도 향상되었고 MSDS 방법과 국부적인 CLS 방법보다는 PSNR값이 약간 떨어졌지만, 시각적인 측면에서는 제안된 방법이 블록화 현상을 제거하고 블록 내부의 에지 정보를 잘 보존하였다. 표 3에 제안한 방법과 기존의 방법에 대한 PSNR에 대한 비교를 나타내었다.

그림 6은 블록화 현상이 존재하는 MIT 영상과 Lena 영상에 대하여 각 알고리즘을 사용하여 처리한 후의 블록 경계 화소차값의 분포이다. 그림 6에서 보듯이

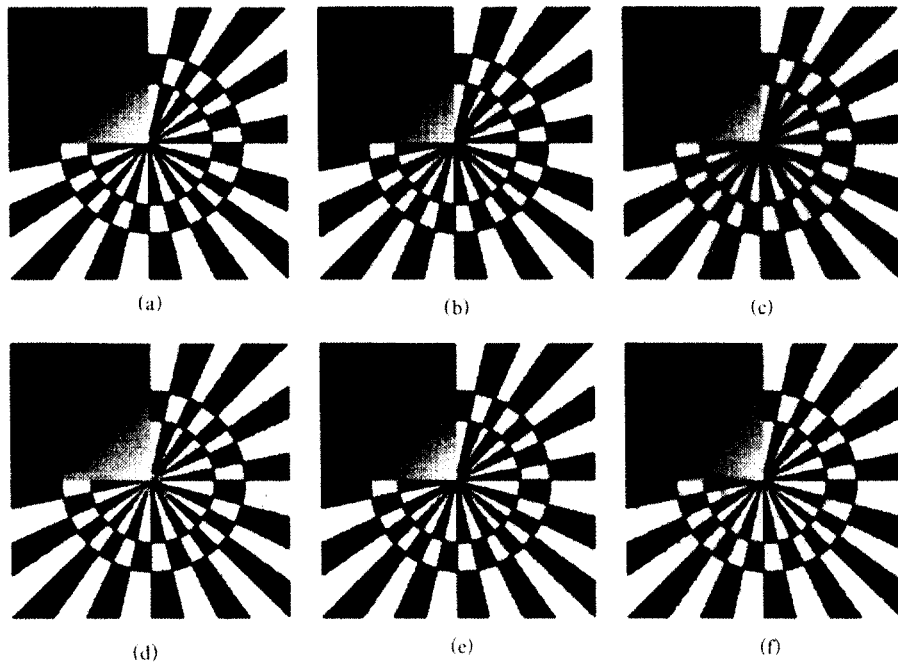


그림 4. 복원된 영상의 화질: (a) 실험 영상, (b) JPEG으로 압축 복원한 영상 (QF=4), (c) 저대역 통과 필터로 처리된 영상, (d) MSDS 방법으로 처리된 영상, (e) 국부적인 CLS 방법으로 처리된 영상, (f) 제안된 알고리즘으로 처리된 영상

Fig. 4 The visual quality of reconstructed images: (a) Test image, (b) JPEG coded image (QF = 4), (c) Low-pass filtered image, (d) MSDS method, (e) Local CLS method, and (f) proposed method

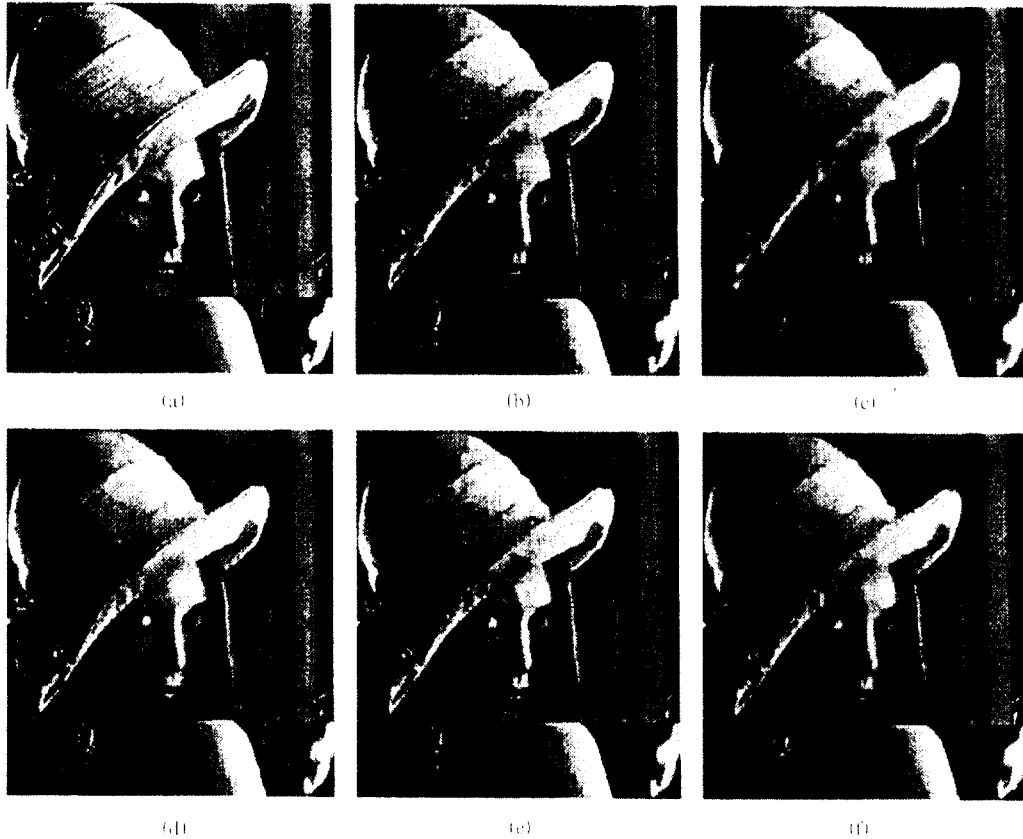


그림 5. 복원된 영상의 화질: (a) Lena 원 영상, (b) JPEG으로 압축 복원한 영상 (QF=4), (c) 저대역 통과 필터로 처리된 영상, (d) MSDS 방법으로 처리된 영상, (e) 국부적인 CLS 방법으로 처리된 영상, (f) 제안된 알고리즘으로 처리된 영상

Fig. 5 The visual quality of reconstructed images: (a) Lena original image, (b) JPEG coded image (QF = 4), (c) Low-pass filtered image, (d) MSDS method, (e) Local CLS method, and (f) proposed method

표 3. 각 방식에 대한 화질 비교

Table 3. A Quantitative evaluation of blocking artifact reduction schemes

방법	영상	Lena	MIT	실험 영상
양자화된 영상		28.34	28.17	26.16
저대역 통과필터		27.22	25.06	19.70
MSDS 방법		28.35	27.45	23.90
국부적인 CLS 방법		28.52	28.77	23.58
제안한 방법		27.79	27.21	24.71

블록 경계 화소차값을 이용하여 에지 영역을 판별하고 각 영역별로 가중치를 다르게 하여 블록화 현상을 최소화하였으므로 복원된 영상의 블록 경계 화소차값 분포는 원 영상과 같이 라플라시안 분포의 형태를 가지게 되며, 양자화된 영상의 블록 경계 화소차값의 분포인 그림 2에서 나타난 SLD 현상이 사라짐을 볼 수 있다.

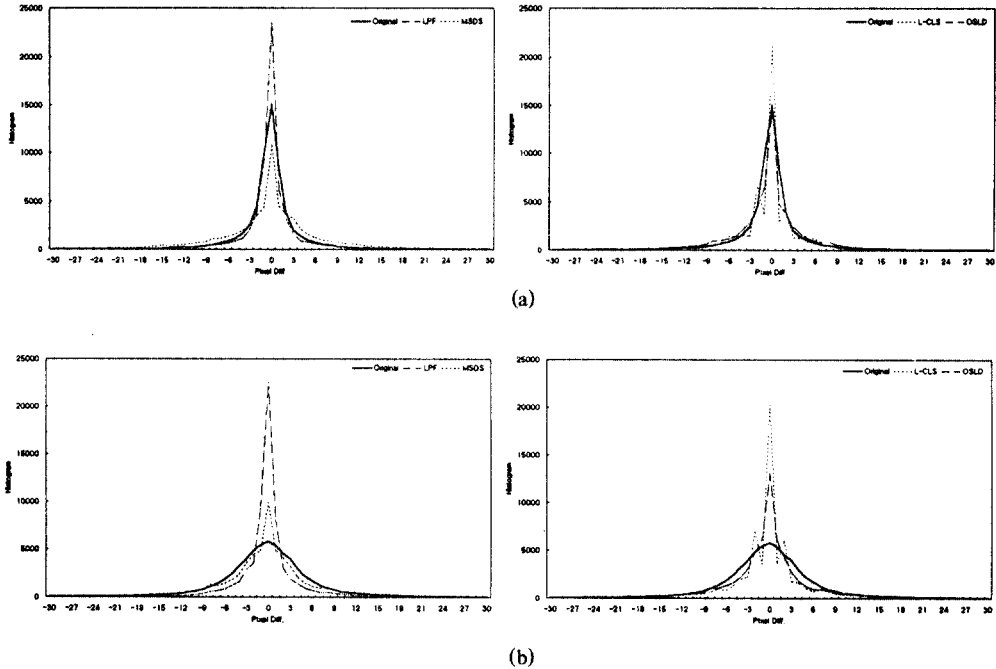


그림 6. 원 영상과 복원된 영상의 화소차값 분포도: (a) MIT 영상, (b) Lena 영상

Fig. 6 Distributions of the pixel differences in original and the reconstructed images: (a) MIT and (b) Lena

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 블록 기반 DCT 부호화 방식의 단점인 블록화 현상을 제거하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. DCT 부호화를 사용하면 구현이 용이하며, 압축율 또한 높아 여러 국제 표준에서 많이 사용되고 있으나 저 비트율에서는 블록과 블록사이에 블록화 현상이 발생하여 복원된 영상의 화질이 손상된다.

본 논문에서는 블록화 현상을 제거하기 위해 각 블록에서 불연속성 정도를 정의하였고, 양자화된 영상의 블록 경계 차이값의 특성을 이용하여 양자화 오류 정도를 판별하여 블록화 현상을 최소화하였다.

정의된 불연속성을 최소화시키는 방법으로 잃어버렸던 정보를 추측하여 각 DCT 계수 성분 특히 DC와 저주파 계수들을 보상하여 블록화 현상을 줄였다. 성능을 평가하기 위하여 실험 영상과 영상 압축 분야에

서 일반적으로 사용되는 Lena 영상과 MIT 영상을 사용하였다. 복원된 영상의 PSNR 측면과 시각적인 면에서 기존에 잘 알려진 알고리즘인 저대역 필터 방법, MSDS 방법, 국부적인 CLS를 고려하는 방법과 비교하였다. 세 가지 영상들에 대하여 저대역 필터 방법을 사용한 경우보다 약 0.5 dB에서 5 dB 정도 향상되었으며 MSDS 방법과 국부적인 CLS 방법보다는 PSNR 값이 약간 떨어졌지만, 시각적인 측면에서는 제안된 방법이 균일한 영역의 블록화 현상을 잘 제거하고 영상의 예지는 잘 보존하였다. 블록 경계 화소차값의 분포를 이용하여 각 영역별로 양자화 오류 정도를 판별하였으므로 MPEG과 JPEG과 같은 영상 압축 방식에 적용할 경우에도 부가적인 정보를 전송하지 않고도 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. ISO/IEC IS 13818 (MPEG-2), Generic coding of moving pictures and associated audio, ITU-T recommendation H.262, Technical report, Motion Picture Expert Group, Mar. 1994.
2. ISO/IEC IS 11172 (MPEG-1), Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media up to about 1.5 Mbit/s, Technical report, Motion Picture Expert Group, 1993.
3. ISO/IEC IS 10918-1 (JPEG), Digital Compression and coding of continuous-tone still images: requirements and guidelines, Technical report, ISO, 1994.
4. B. Pennebaker and J.L. Mitchel, JPEG Still Image Compression standard, New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
5. K.H. Tzou, "Post-filtering of transform-coded images", in Applications of Digital Image Process. XI Proc. SPIE, vol. 974, 1988, pp. 121-126.
6. B. Jeon, J. Jeong, and J.M. Jo, "Blocking Artifacts Reduction in Image Coding Based on Minimum Block Boundary Discontinuity", Proc. of SPIE VCIP'95, Taipei, Vol. 2501, 1995, pp. 198-209.
7. S. Minami and A. Zakhor, "An Optimization Approach for Removing Blocking Effects in Transform Coding", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 5, No. 2, Apr. 1995, pp. 74-82.
8. 김성훈, 오승준, 손승원, "블럭간 불연속성의 통계적 특성을 이용한 블록 현상 제거 알고리즘", 한국통신학회 하계종합학술발표회, 1996. 7, pp. 459-462.
9. 김성훈, 오승준, "DCT 부호화 영상의 블록화 현상 제거 알고리즘", 정보과학회 논문지(A), Vol. 24, No. 9, Sep. 1997, pp. 888-896.
10. J.Y. Yang, H. Choi, and T. Kim, "Blocky artefact reduction using an adaptive constrained least squares method", Electroins Letters, Vol. 33, No. 10, May 1997, pp. 854-855.



채 병 조(Byung-Jo Chae)정회원
 1997년 2월:광운대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1997년 2월~현재:광운대학교 전자공학과 대학원 석사과정
 ※주관심분야: 영상처리, 영상압축, 멀티미디어 시스템

e-mail: spider25@media.kwangwoon.ac.kr



손 채 봉(Chae-Bong Sohn)정회원
 1991년 7월~1993년 2월:삼성전자 SM연구실 학생연구원
 1993년 2월:광운대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1995년 2월:광운대학교 전자공학과 대학원 졸업(석사)

1995년 2월~현재:광운대학교 전자공학과 대학원 박사과정
 ※주관심분야: 영상 및 음성처리, 컴퓨터 네트워킹, 멀티미디어 시스템

e-mail: bongbong@media.kwangwoon.ac.kr



오 승 준(Seoung-Jun Oh)정회원
 1980년 2월:서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1982년 2월:서울대학교 전자공학과 대학원 졸업(석사)
 1988년 5월:미국 Syracuse University 졸업(박사)

1982년 3월~1992년 8월: 한국전자통신 연구원 근무 (멀티미디어연구실 실장)
 1986년 7월~1986년 8월: NSF Supercomputer Center 초빙학생연구원
 1987년 5월~1988년 5월: Northeast Parallel Architecture Center 학생연구원
 1992년 9월~현재: 광운대학교 전자공학부 신기술연구소 부교수(멀티미디어연구실)

※주관심분야: 영상처리, 영상압축, 멀티미디어 시스템
 e-mail: sjoh@media.kwangwoon.ac.kr