

블록 경계 영역 분류를 이용한 블록화 현상 제거 기법의 성능 비교

준회원 소현주*, 정회원 장익훈**, 김남철***

Performance Comparison of Blocking Artifact Reduction Using a Block Boundary Region Classification

Hyun Joo So* *Associated Member*, Ick Hoon Jang**, Nam Chul Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 블록 기반 변환 부호화 영상에서 나타나는 블록화 현상을 분석하고 그 특성에 따라 각 블록 경계를 4개의 영역으로 분류하는 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 블록 경계 영역 분류 방법을 이용하여 성능이 우수한 몇 가지 블록화 현상 제거 기법들의 성능을 비교하였다. 제안된 블록 경계 영역 분류 방법에서는 각 수평, 수직 블록 경계를 EQ 영역, BA 영역, EE 영역, 그리고 AE 영역의 4개의 영역으로 분류한다. 블록화 현상 제거 기법으로는 LOT, Kim의 웨이블릿 영역에서의 필터링 방법, Yang의 POCS 방법, Paek의 POCS 방법, Jang의 CM 방법을 선택하였다. 실험결과, 제안된 블록 경계 영역 분류 방법으로 분류된 블록 경계의 영역들이 블록화 현상에 의한 불연속의 특성을 잘 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 그리고 웨이블릿 변환을 이용하는 블록화 현상 제거 기법들이 대체적으로 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we analyze the blocking artifact in block transform-coded images and propose a classification algorithm which classifies each horizontal and vertical block boundary into four regions of EQ, BA, EE, and AE according to the characteristics of the blocking artifact. We also compare the performance of several blocking artifact reduction methods which can reduce blocking artifact in block transform-coded images well. As the blocking artifact reduction methods, the LOT, Kim's wavelet transform-based method, Yang's POCS, Paek's POCS, and Jang's CM have been selected. Experimental results show that each horizontal and vertical block boundary classified by using the proposed classification algorithm yields different characteristics of discontinuities due to the blocking artifact according to the classified region. It is also shown that the blocking artifact reduction methods using wavelet transform yield better performance over the other methods.

I. 서론

정지 영상 압축의 표준인 JPEG^[1]에서는 영상을 일정한 크기의 겹치지 않는 블록으로 나눈 후, 각 블록을 이산 여현 변환(discrete cosine transform:

DCT)하여 그 계수들을 부호화 한다. 이러한 JPEG과 같은 블록기반 변환 부호화에서는 각 블록의 독립적인 부호화로 인하여 압축률이 높아짐에 따라 복호화된 영상의 각 블록 경계 부분에서 밝기의 불연속적인 블록화 현상(blocking artifact)이 발생한다. 블록화 현상은 높은 압축률에서 더욱 두드러지게

* 경북대학교 전자공학과 영상통신연구실(ufo24@palgong.kyungpook.ac.kr),

** 경운대학교 전자공학과(ihjang@kyungwoon.ac.kr),

*** 경북대학교 전자공학과 영상통신연구실(nckim@ee.kyungpook.ac.kr)

논문번호 : 99258-0628, 접수일자 : 1999년 6월 28일

나타나며 평탄 영역에서는 영상이 일정한 크기의 블록으로 구성된 것처럼 보이게 하고, 압축으로 인하여 손실된 영상의 상세한 부분보다 더욱 화질을 떨어뜨리는 요인이 된다. JPEG이 정지 영상 압축의 표준으로 채택되어 널리 보급됨에 따라, 최근까지 블록화 현상 제거에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔다.

블록기반 변환 부호화에서의 블록화 현상을 제거하기 위한 기존의 기법으로는 부호화 과정에서 DCT 대신에 다른 블록변환을 사용하는 방법과 부호화 과정과는 상관없이 후처리(postprocessing)하는 방법 등이 있다. DCT를 대신하여 사용하는 블록변환 방법으로는 각 블록을 인접한 블록과 겹쳐서 변환하는 LOT (lapped orthogonal transform)^[2]가 있다. LOT는 변환하고자 하는 블록의 모든 화소와 인접한 블록의 블록 경계 부분의 화소들을 함께 블록 변환한다. 이 방법은 블록변환 부호화에 사용할 때 비트율을 증가시키지 않으면서도 DCT 보다 블록화 현상이 줄어든 영상을 얻을 수 있도록 한다. 후처리 방법으로는 공간 영역, DCT 영역, 또는 웨이브렛 영역에서의 필터링에 의한 비 반복적 처리 방법^[3-7]과 양자화 제약(quantization constraint)을 이용한 제약 최소화(constrained minimization: CM) 또는 블록 집합으로의 투영(projections onto convex sets: POCS)에 근거한 반복적 처리 방법^[8-12] 등이 있다. 비 반복적 처리 방법에서는 블록화 현상을 수평, 수직 방향 블록 경계에서의 고주파 성분으로 간주하여 각 처리 영역에서의 1차원 또는 2차원 필터링으로 그 고주파 성분을 제거함으로써 블록화 현상을 제거한다. 이때 사용되는 필터로는 각 처리 영역에서의 공간 변 필터(space-variant filter) 또는 공간 불변 필터(space-invariant filter)가 사용된다.

이러한 비 반복적 처리 방법 중에서 공간 영역에서의 필터링 방법으로는 Reeve 등^[3]이 제안한 방법과 Ramamurthi 등^[4]이 제안한 방법이 있다. Reeve의 방법에서는 블록 경계 근처에서의 2차원 공간 불변 필터링으로 블록화 현상을 제거하고, Ramamurthi의 방법에서는 영상의 모든 화소를 평탄 영역과 에지 영역으로 분류한 다음 평탄 영역에서는 2차원 필터링하고 에지 영역에서는 에지 방향에 평행하게 1차원 필터링하는 공간 변 필터링으로써 블록화 현상을 제거한다. DCT 영역에서의 필터링을 이용한 방법으로는 양자화된 DCT 계수의 국부 통계와 사용된 양자화기에 대한 사전 지식을 이용하여 DCT 영역에서 공간 변 필터링하는 Choy

등^[5]의 방법이 있다. 한편 비 반복적 처리 방법 중에서 Kim 등^[6]이 제안한 웨이브렛 영역에서의 필터링을 이용한 방법에서는 블록화 현상이 있는 영상의 각 수평, 수직 방향 1차원 신호에 대하여 Mallat 등^[13]이 제안한 Gaussian 형태 함수의 1차 도함수를 모 웨이브렛(mother wavelet)으로 하는 웨이브렛 변환을 2번째 스케일까지 수행한다. 그런 다음 각 수평, 수직 방향 블록 경계를 3개의 영역으로 분류하여 첫 번째 스케일 웨이브렛 영역의 블록 경계 위치에서 임펄스 형태로 나타나는 블록화 현상에 의한 신호 성분을 웨이브렛 영역에서의 공간 변 필터를 이용하여 제거함으로써 블록화 현상을 제거한다.

반복적 처리 방법에서는 공간 영역, DCT 영역, 또는 웨이브렛 영역에서의 필터링과 양자화 제약 집합에 관한 블록 집합으로의 투영을 수렴조건이 만족할 때까지 반복적으로 수행하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다. Yang 등^[9]은 수평, 수직 방향 블록 경계에서 인접한 두 화소를 이들의 밝기 값의 가중 합(weighted sum)을 출력하는 공간 불변 필터를 사용하여 필터링하는 POCS 방법을 제안하였다. 이때의 필터링은 수평 방향으로 인접한 블록 경계에서 화소들의 밝기 차의 합과 수직 방향으로 인접한 블록 경계에서 화소들의 밝기 차의 합을 최소화시키는 두 블록 집합으로의 투영이 된다. Paek 등^[10]은 1차원 DCT 영역에서 차단대역(stopband)이 신호에 따라 변하는 공간 변 필터를 이용하여 블록화 현상을 제거하는 POCS 방법을 제안하였다. 이 필터는 $M \times M$ 크기의 블록으로 부호화된 영상에서 인접한 2개의 블록으로부터 얻어지는 수평 방향의 $1 \times M$ 또는 수직 방향의 $M \times 1$ 크기의 1차원 신호에 대한 DCT 계수와 이들 신호로써 이루어지는 $1 \times 2M$ 또는 $2M \times 1$ 크기 신호의 DCT 계수를 비교하여 블록화 현상에 의한 고주파 성분을 제거한다. 한편, Jang 등^[11]은 웨이브렛 변환을 이용한 반복적 처리 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 [6]에서와 같이 블록화 현상이 있는 영상의 수평, 수직 방향 1차원 신호에 대하여 Mallat가 제안한 1차원 웨이브렛 변환을 2번째 스케일까지 수행한다. 이때, 첫 번째 스케일 웨이브렛 영역의 블록 경계 위치에서의 분산이 다른 위치에서의 분산에 비하여 유달리 크게 나타나도록 하는 신호 성분을 이들 수직, 수평 방향 1차원 신호의 각 블록 경계에서 이 성분이 이상적으로 제거된 신호와 복원 신호 사이의 평균 자승 오차(mean square error: MSE)를 최소화시키는 필터로써 제거한다. 이 방법은 양자화기에 대한 사

전지식을 제약으로 하고 수평, 수직 방향 1차원 신호의 각 블록 경계에서 블록화 현상이 이상적으로 제거된 신호와 복원된 신호 사이의 평균 자승 오차를 최소화시키는 CM 방법이다.

이상에서 설명한 몇 가지 후처리 방법들은 반복의 유무를 떠나서 블록의 경계를 중심으로 하는 필터링으로 블록화 현상을 제거한다. 그러나, 각 기법들은 처리 특성과 성능 면에서는 각기 다른 모습을 나타내고 있다. 따라서, 블록화 현상을 제거할 때 이들의 특성과 성능을 면밀히 파악하여 적용할 필요가 있다.

본 논문에서는 영상의 수평, 수직 방향 블록 경계에서 나타나는 블록화 현상을 분석하고 그 특성에 따라 블록 경계를 4개의 영역으로 분류하는 방법을 제안한다. 그리고, 이를 기반으로 하여 비교적 우수한 성능을 나타내는 몇 가지 블록화 현상 제거 기법들의 성능을 다각도로 비교한다. 제안한 블록 경계 영역 분류 방법에서는 먼저 블록 경계에서 인접한 두 화소의 밝기 값이 같은 영역(equal: EQ)과 같지 않는 영역(unequal: NEQ)으로 분류한다. 그 다음 밝기 값이 같지 않는 영역은 다시 블록 내부 화소의 밝기 값 변화량과 블록 경계에서의 밝기 값 변화량을 비교하여 블록 경계에서 에지가 존재하는 영역(artifact and edge: AE), 블록 내부에서 에지가 존재하는 영역(edge: EE), 그리고 평탄 영역(blocking artifact: BA)으로 분류한다. 성능 비교를 위한 블록화 현상 제거 기법으로는 앞에서 설명한 DCT 대신에 LOT를 블록변환으로 사용하는 방법과 비 반복적 후처리 방법으로 Kim의 웨이브렛 영역에서의 필터링 방법을 선택하였다. 또한 반복적 후처리 방법으로 공간 영역에서의 필터링을 이용하는 Yang의 POCS 방법과 DCT 영역에서의 필터링을 이용하는 Paek의 POCS 방법, 그리고 웨이브렛 영역에서의 필터링을 이용하는 Jang의 CM 방법을 선택하였다. 먼저, 이들 방법 중에서 후처리 방법들이 블록화 현상을 제거할 때 영상을 수평, 수직 방향의 1차원 신호로 다루고 있는 점을 고려하여 이들 방법으로 처리한 영상에 대하여 1차원 신호 측면에서의 성능을 비교한다. 이를 위하여 본 논문에서 제안한 영역 분류 방법으로 분류한 각 블록 경계 영역별로 블록 경계 근처에서의 1차원 위치에 따른 밝기 변화 정도와 양자화 잡음의 전력을 비교한다. 그리고 분류된 블록 경계 영역별 PSNR을 비교한다. 그 다음에는 다양한 압축률로 JPEG 부호화한 여러 가지 영상에 대하여 객관적 화질 평가의 척도로서

가장 널리 사용되는 PSNR 성능을 비교한다. 그리고 주관적 화질도 함께 비교한다.

실험 결과, 단순히 블록화 성분을 블록 경계에서의 차이로만 보거나 고주파 성분으로만 보는 기법 보다는 블록 경계 주변의 전체적 밝기 변화 특성과 블록화 성분의 특성에 따라 처리하는 기법이 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

II. 기존의 블록화 현상 제거 기법

본 장에서는 성능 비교를 위하여 본 논문에서 선택한 기존의 블록화 현상 제거 기법들에 대하여 간략히 살펴보기로 한다.

1. LOT

LOT는 크기가 M 인 입력 블록을 블록 변환할 때 그 블록의 데이터와 인접한 블록의 일부 데이터로써 이루어진 L 개의 데이터를 변환하여 M 개의 변환 계수를 출력하는 변환 기법이다. 이때 L 은 $M < L \leq 2M$ 을 만족하도록 한다. 이 LOT가 데이터 압축에 사용될 때, 블록의 중첩 처리로 인하여 비트율이 증가되지는 않는다. Malvar가 제안한 DCT를 이용하는 LOT^[2]는 DCT에 비하여 약 20-30%의 계산량 증가를 가진다. 그러나 각 블록이 인접한 블록과 약간 겹쳐서 변환되기 때문에 LOT를 사용하는 블록 변환 부호화는 DCT를 사용하는 블록변환 부호화에 비하여 블록화 현상이 줄어든 재생 영상을 얻는다. LOT의 역변환은 IDCT를 이용하여 수행할 수 있고, 2차원 LOT는 1차원 LOT를 수평, 수직 방향으로 분리적으로 수행한다.

2. Kim의 웨이브렛 영역에서의 필터링 방법

Kim의 웨이브렛 영역에서의 필터링 방법에서는 $M \times M$ 크기의 블록으로 부호화된 $N \times N$ 크기 영상 y 를 m 번째 수평 (또는 수직) 신호 $y_m = [y_m(0), y_m(1), \dots, y_m(N-1)]^T$ 의 집합, 즉 $y = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]$ 으로 간주한다. 그리고 y_m 을 언고자하는 신호 $x_m = [x_m(0), x_m(1), \dots, x_m(N-1)]^T$ 과 블록화 성분 $b_m = [b_m(0), b_m(1), \dots, b_m(N-1)]^T$ 의 합으로 가정하고, y_m 에 대한 1차원 웨이브렛 변환^[13]을 2번째 스케일까지 수행하여 다음과 같은 신호를 얻는다.

$$W^j y_m = W^j x_m + W^j b_m, \quad j=1,2 \quad (1)$$

여기서 W^j 는 j 번째 스케일 웨이브렛 변환 연산자

를 나타낸다. 이때 웨이브렛 변환에 사용하는 필터가 신호를 미분하는 특성을 가지므로 블록 경계에서 계단형의 불연속성은 첫 번째 스케일 웨이브렛 영역에서 임펄스 형태로 나타난다. 이러한 임펄스는 다음과 같이 블록화 성분으로부터 발생한 것이라고 가정한다.

$$W^1 b_m(n) = \alpha(k)\delta(n - kM) \quad (2)$$

여기서 $\alpha(k)$ 는 각 블록 경계 $n=kM(k=1, 2, \dots, N/M-1)$ 에서 발생하는 임펄스의 크기를 나타낸다. Kim의 방법에서는 이러한 임펄스를 발생시킨 블록화 성분을 웨이브렛 영역에서의 공간 적응 필터링으로써 제거하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다. 이때 블록화 성분에 의한 임펄스는 블록 경계가 속해있는 영역에 따라 그 크기와 형태를 달리하면서 신호에 의한 임펄스와 섞여서 나타날 수도 있다. 그러므로 블록화 현상에 의한 임펄스만을 효과적으로 제거하기 위하여 다음과 같이 첫 번째 스케일 웨이브렛 변환 신호 $W^1 y_m = [W^1 y_m(0), W^1 y_m(1), \dots, W^1 y_m(N-1)]^T$ 를 이용하여 각 블록 경계를 다음과 같이 평탄 영역, 완만한 에지 영역, 그리고 스텝 에지 영역의 3개의 영역으로 분류¹⁶⁾하여 각 영역별로 다르게 필터링 한다.

먼저, 평탄 영역에서는 첫 번째 스케일과 2번째 스케일의 웨이브렛 변환 신호에 대하여 필터링을 수행한다. 첫 번째 스케일에서는 $W^1 y_m(n)$ 의 각 블록 경계 $n=kM$ 에서 다음과 같이 1×3 메디안 필터를 사용한다.

$$W^1 \hat{x}_m(kM) = \text{median} [W^1 y_m(kM-l)] \quad (3)$$

$$l \in [-1, 1]$$

여기서 $W^1 \hat{x}_m(kM)$ 은 $W^1 y_m(kM)$ 을 필터링한 신호이다. 2번째 스케일에서는 다음과 같이 블록화 현상이 있는 신호의 웨이브렛 변환 신호로부터 추정된 신호를 빼주는 필터링을 수행한다.

$$W^2 \hat{x}_m(n) = W^2 y_m(n) - \hat{\alpha} \cdot \gamma(n - kM) \quad (4)$$

여기서

$$\gamma(n) = 0.125\delta(n+1) + 0.5\delta(n) + 0.75\delta(n-1) + 0.5\delta(n-2) + 0.125\delta(n-3) \quad (5)$$

이다. 이때 $\alpha(k)$ 은 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{\alpha}(k) = W^1 y_m(kM) - W^1 \hat{y}_m(kM) \quad (6)$$

완만한 에지 영역에서는 첫 번째 스케일에서만 (3)식과 같은 필터링을 한다. 그리고 스텝 에지 영역에서는 필터링을 하지 않는다. 이러한 각 영역별 필터링을 수행한 다음 역 웨이브렛 변환을 수행하여 m 번째 수평 (또는 수직) 복원 신호 \hat{x}_m 을 얻는다. 이상과 같은 처리 과정을 각 수평 신호에 대하여 수행한 다음, 다시 각 수직 신호에 대하여 수행하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다.

3. Yang의 POCS 방법

Yang의 POCS 방법에서는 각 수평, 수직 방향 블록 경계에서 인접한 두 화소간의 급격한 밝기 변화를 공간 영역에서의 저역 통과 필터링으로써 부드럽게 평활화 한다. 이 필터링은 블록화 현상이 있는 부호화 영상 y 를 2절에서와 같이 m 번째 수평 (또는 수직) 신호 y_m 의 집합으로 간주할 때 다음과 같이 표현된다. $m=kM(k=1, 2, \dots, N/M-1)$ 인 경우에는

$$\hat{y}_{m-1} = \alpha y_{m-1} + (1-\alpha) y_m$$

$$\hat{y}_m = (1-\alpha) y_{m-1} + \alpha y_m \quad (7)$$

그렇지 않으면 $\hat{y}_m = y_m$ 이다. 여기서

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[\frac{E}{\|Qy\|} + 1 \right], \|Qy\| = \left[\sum_{k=1}^{N/M-1} \|y_{kM-1} - y_{kM}\|^2 \right]^{1/2}, E = \frac{1}{M-1} \sum_{l=1}^{M-1} S_l, \text{ 그리고}$$

$$S_l = \left[\sum_{k=1}^{N/M-1} \|y_{kM-1+l} - y_{kM+l}\|^2 \right]^{1/2}, l=1,$$

$2, \dots, M-1$ 이다. 이 필터링은 다음과 같이 수평 (또는 수직) 블록 경계에서의 전체 밝기 값의 변화 $\|Qy\|$ 가 어떤 상한치(upper bound) E 보다 작게 정의되는 평활화 제약 집합(smoothness constraint set: SCS)으로의 투영이다.

$$SCS = \{ y \mid \|Qy\| \leq E \} \quad (8)$$

이러한 수평, 수직 신호에 대한 필터링 과정과 양자화 제약 집합 Q 로의 투영 과정을 다음과 같이 반복적으로 수행하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다.

$$y^{(i+1)} = P_Q P_V P_H y^{(i)}, i=0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

여기서 $y^{(i)}$ 는 i 번째 반복 과정에서의 처리 영상을 나타내고, P_H 와 P_V 는 각각 수평 신호에 대한 필터링과 수직 신호에 대한 필터링을 나타낸다. 그리고 P_Q 는 부호화에서 사용한 양자화 제약 집합 Q 로의 투영을 나타낸다. 이 P_Q 는 영상을 부호화 과정에서와 같이 블록으로 나눈 다음 각 블록에 대한 블록 DCT를 수행하고, 각 블록의 DCT 계수가 부호화할 때의 해당 양자화 간격 밖으로 벗어난 변환 계수를 가장 가까운 양자화 간격의 경계 값으로 사상(mapping)하는 것이다. 이러한 양자화 제약 집합으로의 투영은 i 번째 반복 과정에서 처리된 영상의 각 블록 데이터의 DCT 계수가 부호화할 때의 해당 양자화 간격 내에 머물 수 있도록 한다.

4. Paek의 POCS 방법

Paek의 POCS 방법에서는 m 번째 수평 (또는 수직) 신호 y_m 의 k 번째와 $(k+1)$ 번째 블록 데이터로서 그 샘플의 수가 M 개인 두 신호 $u = [y_m(kM), y_m(kM+1), \dots, y_m(kM+M-1)]$ 와 $v = [y_m((k+1)M), y_m((k+1)M+1), \dots, y_m((k+1)M+M-1)]$ 에 대한 1차원 DCT를 수행한다. 그리고 이들 두 신호 u 와 v 로써 이루어진 샘플의 수가 $2M$ 인 신호 $w = [u, v]$ 에 대한 1차원 DCT를 수행한다. 그런다음 u 와 v 의 DCT 계수가 0이 아닌 마지막 위치들을 찾아서 차단대역이 이들 위치에 따라 변하는 1차원 DCT 영역에서의 공간 변 필터링을 $2M$ 샘플 신호 $W = \text{DCT}[w]$ 에 적용하여 블록화 현상에 의한 고주파 성분을 제거한다.

$$W'(l) = \begin{cases} W(l), & l \leq 2(\max\{\alpha, \beta\} + 1) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 α 와 β 는 각각 u 와 v 의 DCT 계수가 0이 아닌 마지막 위치를 나타내고, $l = 0, 1, \dots, 2M-1$ 이다. 이 필터링은 다음과 같이 각 수평 (또는 수직) 신호의 각 블록 경계에 인접한 $2M$ 샘플 신호의 DCT 계수가 0이 되는 위치가 어떤 상한치 K 보다 작게 정의되는 SCS으로의 투영 P_H (또는 P_V)가 된다.

$$\text{SCS} = \{y \mid w \subset y, \text{NZ}(W) \leq K\} \quad (11)$$

여기서 $\text{NZ}(\cdot)$ 는 DCT 계수가 0이 아닌 마지막

위치를 나타내고, $K = 2(\max\{\alpha, \beta\} + 1)$ 이다. 블록화 현상이 제거된 영상은 (9)식에서와 같이 이들 수평, 수직 방향 신호에 대한 필터링과 양자화 제약 집합 Q 로의 투영을 반복적으로 수행하여 얻어진다.

5. Jang의 CM 방법

Jang의 CM 방법에서는 m 번째 수평 (또는 수직) 신호 y_m 을 얻고자하는 신호 x_m 과 블록화 성분 b_m 의 합으로 가정하고, y_m 에 대한 1차원 웨이브렛 변환¹³⁾을 2번째 스케일까지 수행하여 다음과 같은 신호를 얻는다.

$$W^j y_m = W^j x_m + W^j b_m, \quad j=1,2 \quad (12)$$

이 신호로부터 $W^j x_m$ 과 $W^j b_m$ 이 서로 독립적이라고 가정하여 웨이브렛 영역에서의 복원(restoration)으로 블록화 성분 $W^j b_m$ 을 제거한다. 이는 다음과 같이 정의되는 웨이브렛 영역에서의 최소화 문제가 된다.

$$\text{Minimize } E[\|W^j x_m - W^j \hat{x}_m\|^2], \quad j=1,2 \quad (13)$$

여기서 $W^j \hat{x}_m$ 은 m 번째 수직 (또는 수평) 신호에 대한 복원 신호의 j 번째 스케일에서의 웨이브렛 변환을 나타내며 몇 가지 가정 하에서 다음과 같이 주어진다.

$$W^j \hat{x}_m = A_m^j \cdot W^j y_m \quad (14)$$

여기서 A_m^j 은 다음과 같이 정의되는 대각 행렬이다.

$$A_m^j = \text{Diag}\{a_m^j(n), n=0, 1, \dots, N-1\} \quad (15)$$

여기서 $a_m^j(n)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$a_m^1(n) = \begin{cases} \frac{\text{var}[W^1 x_m(n)]}{\text{var}[W^1 x_m(n)] + \text{var}[W^1 b_m(n)]}, & \text{if } n = kM \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

$$a_m^2(n) = \begin{cases} \frac{\text{var}[W^2 x_m(n)]}{\text{var}[W^2 x_m(n)] + \text{var}[W^2 b_m(n)]}, & \text{if } n = kM + l, \quad l = -1, 0, 1, 2, 3 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

이때 $k=1, \dots, N/M-1$ 이다. [11]에서는 (16)식과 (17)식의 얻고자하는 신호의 분산을 다음과 같이 각 블록 경계 근처에서 3×3 크기의 창을 이용하여 추정하였다. 이상과 같은 필터링을 수행한 다음 역 웨이브렛 변환을 수행하여 m 번째 수평 (또는 수직) 복원 신호 \hat{x}_m 을 얻는다. 이와 같은 처리 과정을 각 수평 신호에 대하여 수행한 다음, 다시 각 수직 신호에 대하여 수행하여 블록화 현상이 제거된 영상을 얻는다.

한편, 이상에서 설명한 필터링을 양자화 제약 하에서 수행하면 이는 CM 문제가 된다. [11]에서는 이러한 CM 문제를 다음과 같이 웨이브렛 영역에서의 필터링과 양자화 제약 집합으로의 투영을 수렴 조건이 만족할 때까지 반복적으로 수행하여 해결하였다.

$$y^{(i+1)} = P_Q L_W y^{(i)}, \quad i=0, 1, 2, \dots \quad (18)$$

여기서 $y^{(i)}$ 는 i 번째 반복 과정에서 처리한 영상, L_W 는 웨이브렛 영역에서의 공간 적응 필터링에 관한 연산자, 그리고 P_Q 는 부호화에서 사용한 양자화 제약 집합 Q 로의 투영을 각각 나타낸다. 그리고 수렴 조건은 다음과 같이 웨이브렛 영역에서의 복원 신호의 분산이 상위 제한치 보다 작도록 정의하였다.

$$\text{var}[W^1 \hat{x}(kM)] \leq E_1 \quad (19)$$

$$\text{var}[W^1 \hat{x}(kM+l)] \leq E_2, \quad l=-1, 0, 1, 2, 3$$

여기서 E_1 과 E_2 는 상위 제한치이다.

III. 성능 비교를 위한 영역 분류

II장에서 설명한 블록화 현상 제거 기법들은 블록화 현상이 있는 부호화 영상을 수평, 수직 방향의 1차원 신호로 간주하여 블록의 경계를 중심으로 하는 1차원 필터링으로 블록 경계에서의 밝기 값의 급격한 변화에 의한 불연속을 제거함으로써 블록화 현상을 제거한다. 그러므로 이들 기법으로 후처리한 영상에 대하여 1차원 신호 측면에서의 성능을 비교함으로써 각 기법의 특성을 파악할 수가 있다. 이때, 수평, 수직 방향 1차원 신호의 블록 경계에서의 불연속은 블록 경계가 평탄 영역, 텍스처 영역, 또는 에지 영역 등의 속한 영역에 따라 그 크기와 형

태를 달리하므로 각 블록 경계를 불연속의 특성에 따른 영역으로 분류하여 영역 별로 각 기법의 성능을 비교할 필요가 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 블록화 현상이 있는 부호화 영상의 수평, 수직 방향 1차원 신호에 대한 각 블록 경계를 4가지 영역으로 분류하는 방법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 블록 경계 영역의 분류를 편의상 $M \times M$ 크기의 블록으로 부호화된 $N \times N$ 크기 영상 y 의 m 번째 수평 (또는 수직) 신호 $y_m(n)$ 에 대하여 설명하기로 한다. m 번째 수평 (또는 수직) 신호 $y_m(n)$ 의 k 번째 블록 경계를 중심으로 하는 불연속의 크기를 $d_{m,k}(l)$ 이라고 하면 이는 다음과 같이 표현된다.

$$d_{m,k}(l) = |y_m(kM+l-1) - y_m(kM+l)|, \quad l = -M/2, \dots, M/2 \quad (20)$$

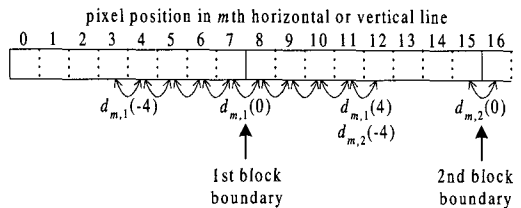


그림 1. $M=8$ 인 경우의 $d_{m,k}(l)$ 의 위치

여기서 $l=0$ 은 블록 경계의 위치를 나타낸다. 그림 1은 블록의 크기가 $M=8$ 인 경우에 m 번째 수평 신호에 대한 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 들의 위치를 나타낸다. k 번째 블록 경계에서 밝기 값의 변화가 없는 경우, 즉 $y_m(kM-1) = y_m(kM)$ 일 때에는 (20) 식으로부터 $d_{m,k}(0) = 0$ 이 된다. 이와 같이 블록 경계에서 불연속이 없으면 이러한 블록 경계는 EQ (equal) 영역으로 분류하고, 그 나머지 블록 경계는 NEQ (nonequal) 영역으로 분류하기로 한다.

블록 경계에서 불연속이 존재하는 NEQ 영역에 대해서는 블록 경계와 인접한 양 블록 내부에서의 불연속의 크기를 비교하기로 한다. 이를 위하여 m 번째 수평 (또는 수직) 신호의 k 번째 블록 경계와 인접한 양 블록 내부에서의 불연속의 크기를 비교하기 위한 척도 $\Delta_{m,k}$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta_{m,k} = \max \{ d_{m,k}(l) \} - d_{m,k}(0) \quad (21)$$

$$l \in \{-M/2, M/2\}$$

$$l \neq 0$$

이 식에서 $\Delta_{m,k}$ 가 음의 값을 가지면 블록 경계에서의 불연속이 인접한 블록 내부에서의 불연속보다 더 크고, 양의 값을 가지면 인접한 블록 내부의 불연속 중에서 크기가 가장 큰 불연속이 블록 경계에서의 불연속보다 더 크다는 것을 의미한다. 그림 2는 Lena 원 영상과 JPEG으로 부호화한 영상의 $\Delta_{m,k}$ 의 히스토그램을 나타낸다. 그림 2(a)는 먼저, 30:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상의 각 수평 블록 경계를 EQ 영역과 NEQ 영역으로 분류한 다음, NEQ 영역의 $\Delta_{m,k}$ 의 빈도수를 JPEG 부호화 영상과 원 영상의 수평 신호를 대상으로 조사하여 그 히스토그램을 나타낸 것이다. 그림 2(b)는 40:1의 압축률에 대한 히스토그램이다. 그림 2에서 보면 원 영상의 $\Delta_{m,k}$ 는 대체로 0보다 약간 큰 값에서 큰 빈도수의 분포를 보이지만, 부호화 영상의 $\Delta_{m,k}$ 는 블록화 현상으로 인하여 0보다 작은 일부

몇 개의 음의 값으로 집중된 분포를 보인다는 것을 알 수 있다. 또한, 압축률이 증가할수록 블록화 현상이 심화되어 최대 빈도수를 갖는 $\Delta_{m,k}$ 의 값이 더 큰 음의 값으로 이동한다는 것을 알 수 있다. 이러한 분포는 다른 영상의 다른 압축률에서도 유사한 분포를 보이는 것으로 나타났다. 한편, 그림 2의 분포도에서 $\Delta_{m,k}$ 가 큰 음의 값을 가질수록 블록 경계에서의 불연속이 상대적으로 크다는 것을 나타내므로, 이러한 영역은 블록 경계에서 블록화 현상이 심하게 나타나는 영역이거나 에지가 존재하는 영역이라고 할 수 있다. 그리고 $\Delta_{m,k}$ 가 큰 양의 값을 가질수록 인접한 블록 내부에서 불연속이 상대적으로 크다는 것을 나타내므로, 이 경우에는 블록 내부에 에지가 존재하는 것으로 볼 수 있다.

NEQ 영역에 대한 $\Delta_{m,k}$ 의 히스토그램 분포를 관찰한 결과, $\Delta_{m,k}$ 가 어떤 값을 갖느냐에 따라 불연

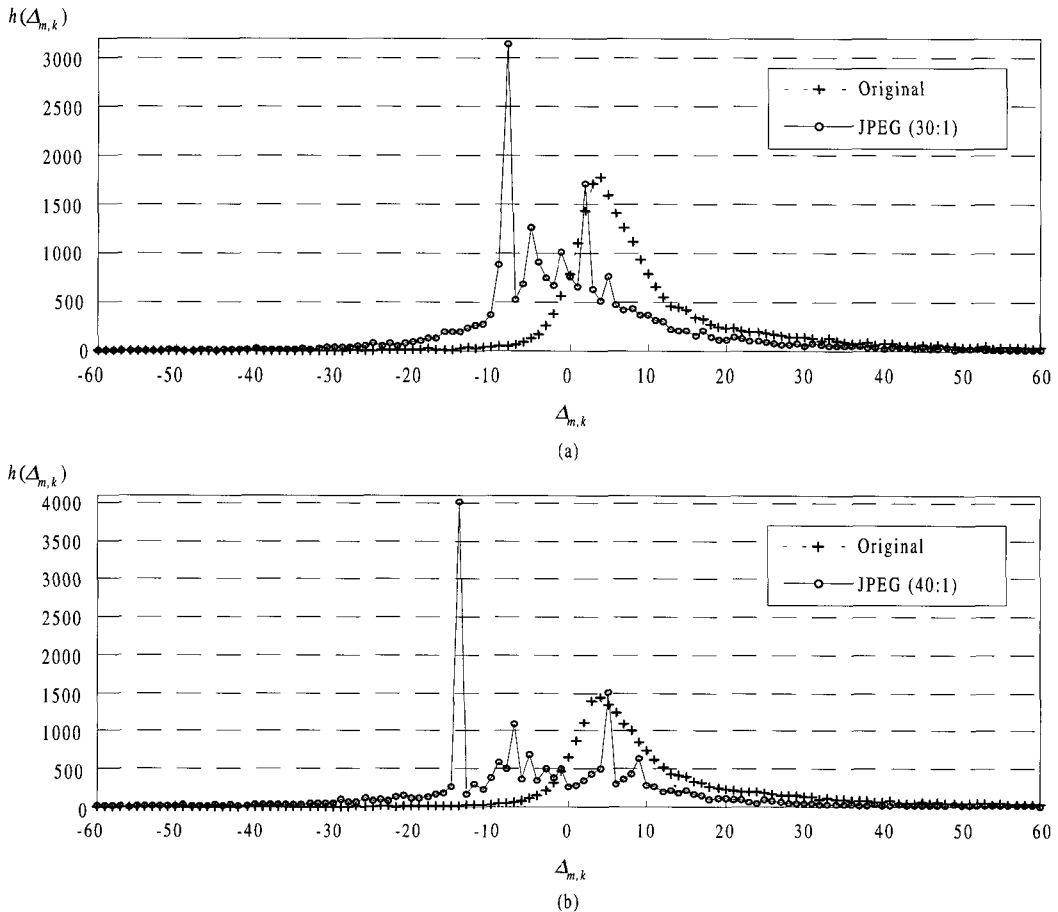


그림 2. Lena 원 영상과 JPEG 부호화 영상의 수평 신호에 대한 NEQ 영역에서의 $\Delta_{m,k}$ 의 히스토그램:(a) 30:1, (b) 40:1

속의 종류가 다른 것으로 판단되었다. 따라서 $\Delta_{m,k}$ 의 히스토그램에 근거하여 NEQ 영역을 3가지 영역으로 다시 세분하여 분류하기로 한다. 편의상 NEQ 영역에서 최대 빈도수를 갖는 $\Delta_{m,k}$ 를 다음과 같이 Δ_M 이라고 하자.

$$\Delta_M = \arg \max_{\Delta_{m,k}} h(\Delta_{m,k}) \quad (22)$$

여기서 $h(\Delta_{m,k})$ 는 $\Delta_{m,k}$ 의 빈도수를 나타낸다. 그림 2에서 보면 Δ_M 보다 작은 값을 갖는 $\Delta_{m,k}$ 의 빈도수는 급격히 감소한다. 이러한 경우는 블록 경계에 존재하는 에지에 블록화 성분에 섞여서 나타나는 영역으로 볼 수 있으므로 AE (artifact and edge) 영역으로 분류하기로 한다.

그리고 $\Delta_{m,k}$ 가 큰 양의 값을 가지는 영역은 블록 내부에 에지가 존재하고, $\Delta_{m,k}$ 가 0에 가까워질수록 블록 경계와 블록 내부에서의 불연속의 크기가 비슷해져 전반적으로 이들의 구분이 어려워진다. 이러한 사실에 근거하여 $\Delta_{m,k}$ 가 1보다 큰 영역을 EE (edge) 영역으로 분류하고, 그 외의 영역을 BA (blocking artifact) 영역으로 분류하기로 한다.

이상과 같이 분류한 각 영역별로 불연속의 특성을 살펴보기 위하여 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상의 수평 신호에 대하여 각 영역에 따른 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 의 평균 자승(mean square) $\sigma_d^2(l)$ 의 분포를 그림 3에 나타내었다. 이때 $\sigma_d^2(l)$ 은 다음과 같이 정의된다.

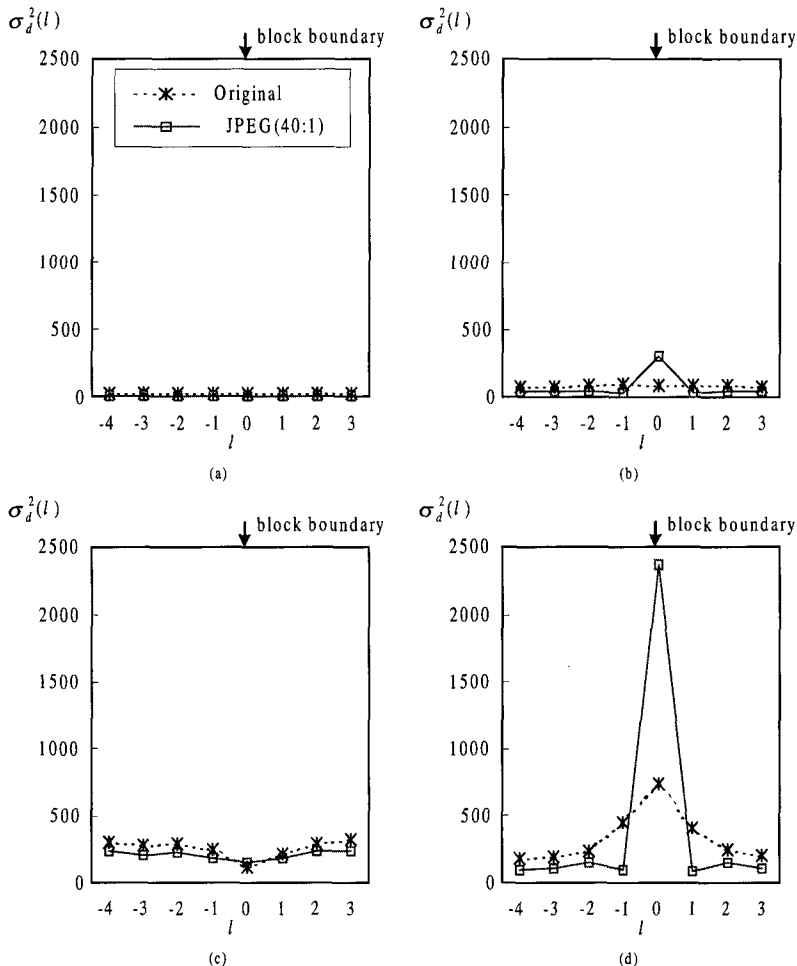


그림 3. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상의 수평 신호에 대한 각 영역별 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 의 평균 자승 $\sigma_d^2(l)$ 의 분포: (a) EQ 영역, (b) BA 영역, (c) EE 영역, (d) AE 영역

$$\sigma_a^2(l) = \langle (d_{m,k}(l))^2 \rangle \quad (23)$$

여기서 $\langle \cdot \rangle$ 은 \cdot 의 평균 자승을 나타내며, $\sigma_a^2(l)$ 의 값이 크면 그 위치에서 평균적으로 불연속이 크다는 것을 의미한다. 그림 3에서 보면 불연속의 평균 자승 $\sigma_a^2(l)$ 의 분포는 각 영역별로 그 크기와 형태가 다르게 나타남을 알 수 있다. 그리고 부호화 과정에서 주로 고주파 성분이 감소되어 부호화 영상의 블록 내부에서의 불연속이 원 영상의 그것보다 작게 나타나고, 블록화 성분에 의하여 BA 영역과 AE 영역에서 부호화 영상의 블록 경계에서의 불연속이 원 영상의 그것보다 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

그림 3에서 보여주는 영역별 불연속의 특성을 양자화 잡음과 관련하여 살펴보기 위하여 각 영역에 따른 양자화 잡음을 $q_{m,k}(l)$ 이라고 하면 이는 다음과 같이 표현된다.

$$q_{m,k}(l) = y_m(kM+l) - x_m(kM+l), \quad l = -M/2, \dots, M/2-1 \quad (24)$$

여기서 $x_m(\cdot)$ 은 원 영상의 m 번째 수평 (또는 수직) 신호를 나타낸다. 그리고 (20)식의 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 의 경우 l 은 두 화소 사이를 나타내지만, (24)식의 $q_{m,k}(l)$ 의 경우 l 은 블록 경계 주위의 각 화소 위치를 나타낸다. 따라서, $d_{m,k}(l)$ 의 경우 블록 경계의 위치는 $l=0$ 이지만, $q_{m,k}(l)$ 의 경우 블록 경계의 위치는 $l=0$ 과 $l=-1$ 사이가 된다. 그림 4는 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상의 수평 신호에 대하여 양자화 잡음 $q_{m,k}(l)$ 의 평균 자승 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포도를 나타낸다. 여기서 양자화 잡음의 평균 자승 $\sigma_q^2(l)$ 는 (23)식과 같은 방식으로 정의되는 양이며, 영상 전체에 대한 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포와 영역별 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포들을 함께 나타내었다.

그림 3(a)에서 보면 EQ 영역에서는 원 영상과 부호화 영상 모두 $\sigma_a^2(l)$ 이 위치에 관계없이 거의 균일한 분포를 보이면서 0에 가까운 값을 가진다. 그리고 그림 4에서의 $\sigma_q^2(l)$ 은 극히 작은 값을 가지면서 균일한 분포를 갖는다. 이로부터 EQ 영역은 원 영상에서 고주파 성분이 거의 없는 평탄한 영역이고 부호화로 인한 신호 성분의 상실이 적어 부호화 영상에서 불연속이 거의 없는 평탄한 영역이라는 것을 알 수 있다.

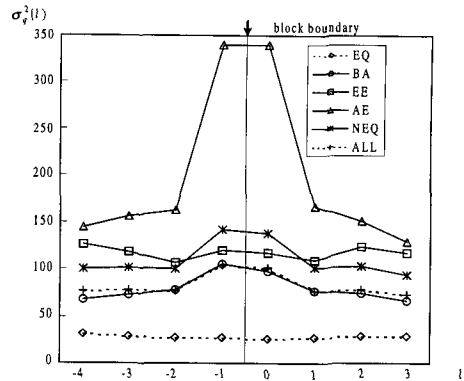


그림 4. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상의 수평 신호에 대하여 영상 전체와 각 영역별 양자화 잡음 $q_{m,k}(l)$ 의 평균 자승 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포, 여기서 ALL은 영상 전체를 나타낸다.

그림 3(b)에서 보면 BA 영역은 원 영상에서 $\sigma_a^2(l)$ 이 작은 값을 가지면서 균일한 분포를 보이나, 부호화 영상에서는 블록 경계에서 그 값이 다소 증가한다. 이와같은 부호화로 인한 블록 경계에서의 $\sigma_a^2(l)$ 의 증가는 그림 4에서 블록 경계에서의 $\sigma_q^2(l)$ 이 블록 내부에서의 $\sigma_q^2(l)$ 보다 큰 값을 가진다는 사실로부터 블록화 성분에 의한 불연속 때문이라는 것을 알 수 있다. 이로부터 BA 영역은 원 영상에서는 고주파 성분이 그리 많지 않은 영역, 즉 불연속이 약간 있는 텍스처 영역이고, 부호화 영상에서는 부호화로 인하여 상세한 부분은 사라진 평탄한 영역에 블록 경계에서 불연속이 존재하는 영역이라는 것을 알 수 있다.

그림 3(c)에서 보면 EE 영역에서는 원 영상의 블록 내부에서의 $\sigma_a^2(l)$ 이 블록 경계에서의 $\sigma_a^2(l)$ 보다 더 큰 값을 가지고, 부호화 영상에서는 부호화로 인하여 블록 내부에서는 그 값이 크게 줄어들지만 블록 경계에서는 조금 밖에 줄어들지 않는다. 이는 그림 4의 $\sigma_q^2(l)$ 도 블록 경계보다 블록 내부에서 더 큰 값을 가지므로 블록 내부에 존재하는 고주파 성분이 부호화로 인하여 많이 상실되었다고 볼 수 있다. 이로부터 EE 영역은 원 영상의 블록 내부에 존재하는 에지가 부호화로 인하여 고주파 성분이 많이 사라져 부호화 영상의 블록 내부에서 불연속의 크기가 크게 줄어들고 블록 경계에서는 불연속의 크기가 약간 밖에 줄어들지 않는 영역이라는 것을 알 수 있다. 이 EE 영역에서는 앞에서 설명한 바와 같이 블록 경계와 블록 내부에서의 불연속의 크기가 비슷하여 이들을 구분하기 어려운 영역이 된다.

그림 3(d)에서 보면 AE 영역은 원 영상의 블록 경계에서의 $\sigma_a^2(l)$ 이 블록 내부에서의 $\sigma_b^2(l)$ 보다 더 큰 값을 가지고 부호화로 인하여 블록 경계에서는 그 값이 매우 커지고 블록 내부에서는 작아진다. 그리고 그림 4에서 AE 영역의 $\sigma_a^2(l)$ 은 다른 영역에 비하여 큰 값을 가지고, 특히 블록 경계에서는 더욱 크게 나타난다. 이로부터 AE 영역은 원 영상에서 블록 경계에 에지가 존재하는 영역으로서 부호화 영상에서는 블록화 성분이 에지 성분에 추가되어 블록 경계에서의 불연속이 매우 커진다는 것을 알 수 있다. 그러므로 AE 영역은 원 신호를 잘 보존하면서 블록화 성분을 제거해야 하는 영역이 된다.

한편, 영역 분류 후 각 영역에 대한 $\sigma_a^2(l)$ 는 영역별로 블록 경계에서 큰 차이를 보이지만, 그림 4에서 ALL로 표시한 부호화 영상 전체에 대한 $\sigma_a^2(l)$ 는 블록 경계에서 큰 변화가 없다. 이상과 같은 경향은 수직 신호에 대해서도 거의 같은 경향을 보이는 것으로 나타났다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 선택한 블록화 현상 제거 기법들의 성능을 비교 분석하기 위하여 256가지의 밝기 값을 갖는 512×512 크기 영상을 JPEG으로 부호화한 영상들에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

이때 각 알고리즘의 객관적 성능 평가 척도로는 다음과 같은 영상 전체에 대한 PSNR과 본 논문에서 제안된 방법으로 분류된 각 영역별 PSNR을 사

용하였다.

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\text{MSE}} \text{ [dB]} \text{ with}$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} [x(m, n) - \hat{x}(m, n)]^2 \quad (25)$$

여기서 $x(m, n)$ 은 $N \times N$ 크기의 원 영상을 나타내고 $\hat{x}(m, n)$ 은 처리 영상을 나타낸다.

먼저, 각 실험 영상을 30:1과 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 영상에 대하여 PSNR 성능을 조사하면 표 1과 같다. 이때 반복적 처리 기법들은 그림 5에서 보여주는 바와 같이 거의 대부분이 20번 이내의 반복 과정에서 수렴하므로 20번 반복 수행하여 얻은 결과를 나타내었다. 표 1의 실험 영상들은 아래쪽에 열거된 영상일수록 원하는 압축률을 얻기 위하여 양자화 간격이 더 큰 양자화 매트릭스를 사용하여 부호화 하여야 한다. 표 1에서 보면 LOT는 JPEG보다 우수한 PSNR 성능을 보이나 후처리 알고리즘에 비해서는 다소 그 성능이 떨어진다. Kim의 웨이브렛 영역에서의 필터링 방법은 대부분의 영상에서 우수한 PSNR 성능을 보인다. 그리고, 표 1과 그림 5에서 보면 Yang의 POCS 방법은 수렴은 빠르나 후처리 알고리즘 중에서 가장 떨어지는 PSNR 성능을 보인다. Paek의 POCS 방법은 수렴도 빠르고 Lena 영상에 대해서는 가장 우수한 PSNR 성능을 보이는 반면 처리하는 영상에 따라 다소 기복이 심한 성능을 보이는데, 대체로 표 1에서 위쪽에 열거된 영상에서는 성능이 좋으나 아쪽으로 갈수록 성능이 떨어진다. 이때 Paek의 방법은

표 1. 각 기법의 JPEG 부호화 영상에 대한 PSNR 성능 비교

	CR	JPEG	LOT	Kim	Yang	Paek	Jang
Lena	30	31.21	31.81	31.93	31.86	32.09	31.96
	40	28.97	29.77	30.00	29.78	30.01	30.04
Boat	30	29.93	30.35	30.55	30.51	30.55	30.71
	40	27.77	28.29	28.66	28.47	28.52	28.76
Goldhill	30	28.74	29.18	29.29	29.22	29.19	29.30
	40	27.23	27.72	28.01	27.84	27.83	28.01
Bank	30	27.07	27.15	27.52	27.43	27.45	27.57
	40	25.04	25.36	25.73	25.54	25.61	25.88
Bird	30	26.85	27.59	27.57	27.52	27.55	27.62
	40	24.99	25.66	25.95	25.77	25.82	25.98
Crowd	30	26.68	27.43	27.56	27.49	27.49	27.65
	40	24.61	25.41	25.70	25.52	25.51	25.80
Bridge	30	23.64	23.97	24.13	24.10	24.00	24.10
	40	22.51	22.80	23.14	23.03	22.96	23.13

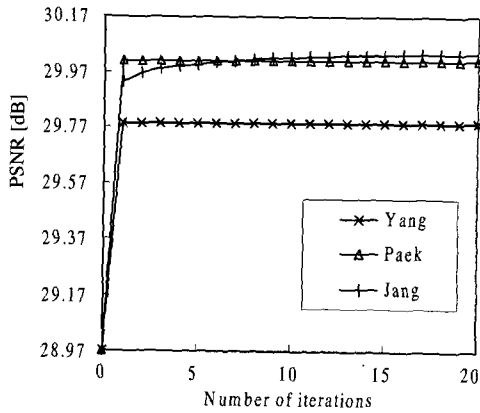


그림 5. 반복적 처리 기법의 40:1로 JPEG 부호화된 Lena 영상에 대한 각 반복 횟수에 따른 PSNR 성능

표 1의 아래 부분의 텍스처가 많은 영상에 대하여 PSNR 성능이 다소 떨어진다. 이는 처리 과정에서 블록화 성분을 블록 경계에서의 고주파 성분으로 간주하여 제거하므로 원 신호에 의한 고주파 성분이 제거되는 경우가 있기 때문이다. 그리고 Jang의 CM 방법은 대부분의 영상에 대해 가장 우수한

표 2. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화된 Lena 영상의 수평 신호에 대한 각 영역별 PSNR 성능

	JPEG	LOT	Kim	Yang	Paek	Jang
EQ	33.64	33.53	34.21	33.85	33.88	34.18
BA	29.10	30.05	30.54	29.98	30.46	30.48
EE	27.43	27.86	28.11	28.00	28.18	28.18
AE	25.15	26.98	26.48	26.69	26.72	26.62

PSNR 성능을 보인다.

다음으로, 40:1의 압축률로 JPEG 부호화된 Lena 영상의 수평 신호에 대하여 본 논문에서 제안한 영역 분류를 이용하여 각 블록 경계 영역을 분류한 다음 각 영역별 PSNR을 조사하면 표 2와 같다. 표 2에서 보면 LOT는 EQ 영역에서는 오히려 JPEG 보다도 떨어진 성능을 보이지만 AE 영역에서는 가장 우수한 성능을 보인다는 것을 알 수 있다. Kim의 방법은 모든 영역에서 우수한 성능을 보이지만 EE 영역에서 처리하지 않으므로 AE 영역에서는 가장 성능이 떨어진다. 그리고 Paek의 방법과 Jang의 방법은 EE 영역에서 가장 우수한 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 각 기법으로 처리한 결과 영상들의 수평 신호에 대하여 각 영역에 따른 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 의 평균 자승 $\sigma_d^2(l)$ 의 분포를 보여준다. 이

때 $\sigma_d^2(l)$ 의 분포는 그 형태와 값이 그림 3에 있는 원 영상의 $\sigma_d^2(l)$ 의 분포에 가까울수록 블록화 현상이 잘 제거된 것으로 볼 수 있다. 그림 6에서 LOT는 다른 후처리 기법과는 달리 영역의 종류에 관계 없이 블록 중앙에서 불연속 전력이 JPEG에 비해 크게 나타난다. 그리고 Paek의 방법은 EQ 영역의 경우 블록 경계의 불연속 전력이 JPEG보다 약간 더 커지고, BA 영역의 경우 블록 경계에서 불연속 전력이 다른 후처리 방법에 비해 약간 덜 줄어든다. 반면에 Kim의 방법과 Jang의 방법은 EQ 영역의 경우 블록 경계의 불연속 전력이 원 영상에 비해 거의 증가하지 않으면서 블록 내부의 불연속 전력은 원 영상의 것과 비슷한 분포를 보인다. 그리고 BA 영역의 경우 블록 경계에서 불연속 전력이 가장 많이 줄어들었으므로 이러한 영역에서 블록화 성분을 효과적으로 제거하는 것으로 볼 수 있다. Yang의 방법은 EE 영역과 AE 영역에서 블록 경계에서의 불연속 전력이 가장 많이 줄어든다.

그림 7은 각 방법으로 처리한 결과 영상의 수평 신호에 대하여 각 영역에 따른 양자화 잡음 $q_{m,k}(l)$ 의 평균 자승 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포를 나타낸다. 이 때 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포는 그 값이 0에 가까울수록 블록화 현상이 잘 제거된 것으로 볼 수 있다. 그림 7에서 보면 표 2의 각 영역별 PSNR 성능에서 나타났듯이 EQ 영역과 BA 영역에서는 Kim의 방법이 가장 우수한 성능을 보이고, EE 영역에서는 Paek의 방법과 Jang의 방법이, 그리고 AE 영역에서는 LOT가 각각 가장 우수한 성능을 보인다. 그리고 그림 7(c)에 나타난 EE 영역의 경우, JPEG 부호화 영상에서는 블록화 현상이 두드러지게 나타나지 않는 영역이라고 볼 수 있지만 블록 경계에서의 양자화 잡음 전력이 후처리 방법들을 통하여 많이 줄어든다는 것을 알 수 있다. 한편, LOT는 AE를 제외한 나머지 3영역에서 블록 경계에서의 양자화 잡음 전력은 적으나 블록의 중앙으로 갈수록 양자화 잡음 전력이 증가한다. Yang의 POCS 방법은 JPEG에 비하여 EQ 영역에서는 양자화 잡음 전력이 각 화소에서 거의 동일하게 감소하고, 나머지 영역에서는 블록 경계의 두 화소에서는 양자화 잡음 전력이 현저하게 감소하지만 이들 화소를 제외한 나머지 화소에서는 양자화 잡음 전력이 감소량이 같으면서 그 양은 블록 경계에서의 감소량보다 작다. Paek의 방법은 EQ 영역에서의 양자화 잡음 전력이 다른 후처리 방법들은 모든 화소에서 거의 동일하게 감소하

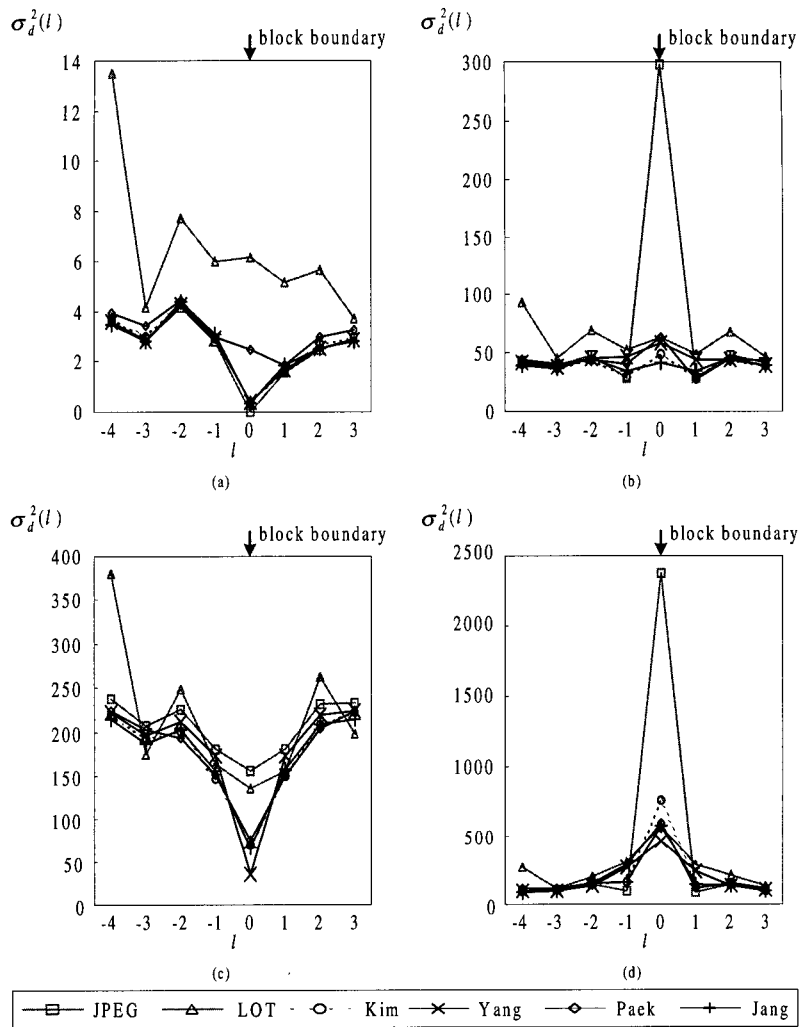


그림 6. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상을 각 방법으로 처리한 결과 영상의 수평 신호에 대한 각 영역별 불연속의 크기 $d_{m,k}(l)$ 의 평균 지승 $\sigma_d^2(l)$ 의 분포: (a) EQ 영역, (b) BA 영역, (c) EE 영역, (d) AE 영역

는데 비해서, 일부 화소에서는 감소하고 일부 화소에서는 증가한다. 그림 6과 그림 7에서 살펴본 각 방법의 성능은 수직 신호에 대해서도 거의 비슷한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

그림 8은 주관적 화질 평가를 위하여 Lena 영상을 40:1로 JPEG 부호화한 영상과 이를 각 후처리 기법으로 처리한 영상, 그리고 LOT를 이용하여 40:1로 부호화한 영상을 보여준다. 그림 8에서 보면 LOT를 이용하여 부호화한 영상인 그림 8(b)는 DCT를 이용하여 부호화하는 JPEG 부호화 영상인 그림 8(b) 보다 블록 경계에서의 블록화 현상은 많이 줄어들었으나, 블록 중앙에서 또다른 불연속이 발생하고 어깨선에서 지글거리는 현상이 나타난다는

것을 알 수 있다. Kim의 방법에 의한 결과 영상인 그림 8(c)는 그림 8(a)의 평탄한 영역에서의 블록화 현상을 가장 잘 제거함을 보인다. 이것은 Kim의 방법이 평탄한 영역에서의 블록화 성분을 다층 스케일 웨이브렛 영역에서의 처리로 잘 제거하기 때문이다. 그림 8(d)의 Yang의 방법으로 처리한 영상은 블록화 현상이 별로 제거되지 않았다. 이는 Yang의 방법이 블록 경계의 두 화소 사이의 불연속만 제거하기 때문이다. 반면에 Paek의 방법에 의한 결과 영상인 그림 8(e)는 실제 에지에 의한 경계를 잘 보존하면서 블록화 현상이 제거된 것을 알 수 있다. 이는 Paek의 방법이 DCT 영역에서 차단대역이 신호에 적응적으로 변하는 필터를 사용하여 블록화

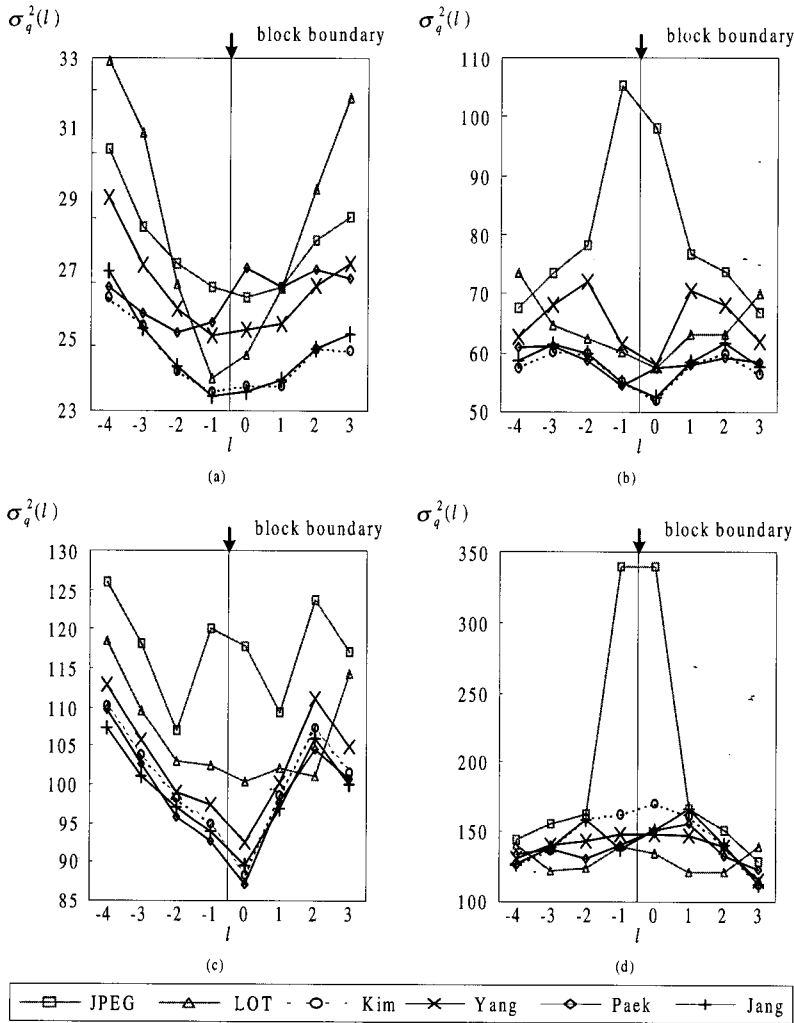


그림 7. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상을 각 기법으로 처리하여 얻어지는 결과 영상의 수평 신호에 대한 양자화 잡음 $q_{m,l}(l)$ 의 평균 차승 $\sigma_q^2(l)$ 의 분포: (a) EQ 영역, (b) BA 영역, (c) EE 영역, (d) AE 영역

현상에 의한 신호 성분을 잘 제거하기 때문이다. Jang의 방법에 의한 결과 영상인 그림 8(f)는 영상의 실제 에지에 의한 경계가 다른 방법들에 비해 잘 남아 있다. 이는 Jang의 방법이 웨이브렛 영역에서의 국부 적응 필터를 사용하여 에지 성분을 잘 보존하면서 블록화 성분을 제거하기 때문이다.

이상에서 비교하여 본 각 기법들의 특성이외에도 Paek의 POCS 방법은 한 번의 처리만 해도 거의 수렴을 하지만, Jang의 CM 방법은 몇 번의 반복과정을 거쳐야 한다. 그리고 이들 방법은 여러번 반복하지 않고 한 번만 처리해도 우수한 성능을 얻을 수는 있으나, 필터링을 위한 DCT 변환과 웨이브렛

변환을 하는데 많은 계산량을 필요로 하는 단점이 있다. 반면에 Kim의 웨이브렛 영역에서의 필터링 방법은 공간 영역에서의 고속 알고리즘^[14]을 사용하여 짧은 시간에 처리할 수 있는 장점이 있다.

V. 결론

본 논문에서는 JPEG과 같은 블록기반 변환 부호화 영상에서 나타나는 블록화 현상을 분석하고 이를 기반으로 하여 블록화 현상을 잘 제거하는 것으로 알려진 5가지 블록화 현상 제거 기법들의 성능을 다각도로 비교하였다. 블록화 현상 제거 기법으



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 8. 40:1의 압축률로 JPEG 부호화한 Lena 영상을 각 방법으로 처리한 결과 영상과 LOT 부호화 영상 (a) 40:1 JPEG 부호화 영상, (b) 40:1 LOT 부호화 영상, (c) Kim의 방법, (d) Yang의 방법, (e) Paek의 방법, (f) Jang의 방법