

블록 분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리에서의 블록화 현상 제거 방법

정회원 이 석 환*, 권 기 구*, 김 병 주*, 이승진*, 권성근*, 이 건 일*

Postprocessing Method for Blocking Artifact Reduction Using Block Classification and Adaptive Filtering

Suk-Hwan Lee*, Kee-Koo Kwon*, Byung-Ju Kim*, Seung-Jin Lee*, Seong-Geun Kwon*,
and Kuhn-Il Lee *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 블록 분류와 적응적 필터링을 이용하여 블록 기반 부호화에서의 블록화 현상을 제거하는 후처리 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 블록 분류, 적응적인 블록 간 필터링, 및 블록 내 필터링의 단계로 이루어진다. 먼저, 각 블록을 8×8 DCT 계수 분포에 따라 7개의 클래스로 분류하고, 인접한 두 블록의 클래스 정보에 따라 적응적인 블록 간 필터링을 수행한다. 그리고 복잡한 클래스로 분류된 블록에 대하여 에지맵을 이용한 블록 내 필터링을 수행한다. 실험결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 객관적 화질 및 주관적 화질 측면에서 보다 우수함을 확인하였다.

ABSTRACT

A postprocessing method for blocking artifact reduction in block coded images is presented. The proposed method consists of classification, adaptive inter-block filtering, and intra-block filtering. First, each block is classified as one of seven classes according to the characteristics of 8×8 DCT coefficients. Then each block boundary is filtered by adaptive inter-block filters, which use the block classes. Finally to the blocks which are classified as edge block classes, intra-block filtering is performed. Experimental tests produced that the proposed method gives better results than the conventional methods from both a subjective and an objective viewpoint.

1. 서 론

JPEG,^[1] H.263,^[2] 및 MPEG^[3] 등과 같은 블록 기반 부호화에서는 영상을 8×8 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 블록 내 및 블록 간에서 화질의 열화가 발생할 수 있고, 특히 저비트율에서는 심각한 화질의 열화가 발생된다. DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 발생하는 대표적인 화질의 열화에는 블록화 현상 (blocking artifact)과 링잉 현

상 (ringing artifact)이 있다. 블록화 현상에는 평탄한 블록들간의 경계에서 미소한 밝기 차이로 나타나는 격자 잡음 (grid noise)과 서로 다른 블록에 속한 연속된 에지들이 불연속하게 나타나는 계단형 잡음 (staircase noise)이 있다. 그리고 링잉 현상은 고주파 성분이 양자화에 의하여 부적절하게 절단됨에 따라 원래의 에지들 주위에 주기적인 유사 에지들이 나타나는 현상이다.

수신기 (receiver)에서 이러한 블록화 현상을 제거하기 위한 후처리 (post processing) 방법으로는, 공간 영역^{[4]-[6]} 및 주파수 영역에서의 필터링 방법,^[7]

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 오디오 및 비디오 시스템 공학 연구실(skylee@palgong.knu.ac.kr)
논문번호 : 020052-0130, 접수일자 : 2002년 1월 30일

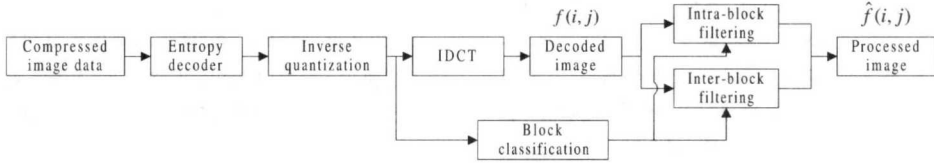


그림 1. 제안한 블록화 현상 제거 방법의 블록도

Projection of Convex Set (POCS) 방법,^[8] DCT 계수의 추정 방법,^[9] 및 웨이브릿 (wavelet) 영역에서의 필터링 방법^{[10],[11]} 등이 있다. 이 중에서 POCS에 의한 방법^[8]은 블록화 현상을 정의된 convex 집합으로 반복적 투영시켜서 제거한다. 그러나 좋은 화질을 얻기 위하여 5차례 이상의 반복이 필요하므로, 계산량이 많아진다. 웨이브릿 영역에서의 필터링 방법^{[10],[11]}은 웨이브릿 스케일 변화에 따라 블록화 현상에 의한 잡음 신호를 추출하여 제거한다. 그러나 이 방법은 실제 에지 신호와 블록화 현상에 의한 잡음 신호를 정확하게 구분하지 못하므로, 실제 에지가 몽롱해진다. 공간 영역에서의 필터링 방법은 알고리즘이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하며, 우수한 주관적 화질을 나타낸다.

대표적인 공간 영역에서의 필터링 방법 중 하나는 1986년 Ramamurthi 등^[1]이 제안한 방법이다. 이 방법에서는 영상의 각 블록을 평탄 블록과 에지 블록으로 분류한 후, 평탄 블록에는 이차원 필터를 적용하고, 에지 블록에는 에지의 방향성에 따라 일차원 필터를 적용하였다. 그러나 이 방법은 에지 블록과 평탄 블록을 분류하는 방법이 정확하지 못하다. 1998년 Lee 등^[2]이 제안한 방법에서는 전역 (global) 에지맵 (edge map), 국부 (local) 에지맵, 및 윤곽선 (contour) 에지맵을 이용하여 블록화 현상을 제거하였다. 그러나 이 방법은 Ramamurthi 등이 제안한 방법보다 화질면에서는 우수하나 계단형 잡음을 제거하지 못한다. 1999년 Kim 등^[3]이 제안한 방법에서는 MPEG 부호화된 동영상에 대하여 블록 경계에 수평 및 수직 방향으로 일차원 필터를 적용하였다. 즉, 평탄한 영역내의 블록 경계에는 강한 평탄화 필터링을 수행하고, 그 외의 영역에서는 블록 경계 주변의 주파수 정보에 따라 적응적으로 필터링을 수행한다. 그러나 이 방법은 강한 평탄화 필터링으로 인하여 영상이 심하게 몽롱해지고 계단형 잡음을 제거하지 못한다. 그러므로 영상 특성에 따른 정확한 블록 분류와 블록 내의 특성을 보존하면서 블록화 현상 및 링잉 현상을 제거할 수 있는 필터링 방법이 필요하다.

본 논문에서는 블록 분류와 적응적 필터링을 이용하여 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 각 블록이 가지고 있는 패턴을 유지하면서 블록 경계면에 발생하는 블록화 현상을 제거하기 위하여 공간상에서의 패턴 및 DCT 계수 분포를 이용하여 각 블록을 7개의 클래스로 분류한다. 그리고, 현재 블록의 클래스 정보와 수평 및 수직 방향의 인접 블록에 대한 클래스 정보에 따라 수평 및 수직 블록 간 필터링을 행하여 블록화 현상을 제거한다. 여기서, 블록 내 DCT 계수 분포에 근사화된 필터들이 블록 내 패턴과 필터링 수행 방향에 따라 블록 경계면에 수행된다. 그러므로 블록 내 패턴을 유지하면서, 블록화 현상을 제거한다. 그리고 복잡한 클래스로 분류된 블록에 대하여 블록 내 필터링을 행하여 에지를 유지하면서 링잉 현상을 제거한다. 블록 내 필터링에서는 Lee 등^[5]이 제안한 Signal Adaptive Filter (SAF) 방법이 이용된다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 Baseline JPEG^[1]과 MPEG TMS^[2]을 기반으로 부호화된 영상에 대하여 모의 실험을 행하였으며, 이 결과로부터, 제안한 방법이 주관적 화질 및 객관적 화질면에서 기존의 방법들에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

II. 제안한 공간영역 상에서의 후처리 방법

본 논문에서는 블록 분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리 방법을 제안하였다. 인간 시각 특성은 복잡한 영역에서보다 평탄한 영역에서의 블록화 현상에 더욱 민감하다. 기존의 방법^{[4],[6]}에서는 이러한 특성을 이용하여 각 영역을 평탄한 영역과 복잡한 영역으로 분류하여 평탄한 영역에서는 강한 평탄화 필터링을 수행하므로써 블록화 현상을 제거한다. 그러나, 제안한 방법에서는 패턴에 따라 평탄한 영역 및 복잡한 영역을 다시 분류하여, 각 영역에 따라 블록화 현상을 제거한다.

제안한 방법의 블록도는 그림 1에서와 같다. 수

신기에서 8×8 화소 크기의 블록 단위로 전송되는 DCT 계수 분포에 따라 블록을 7개의 클래스로 분류한다. 각 블록에 대한 클래스 정보에서는 블록의 DCT 계수 분포 및 공간상에서의 변화 패턴을 알 수 있다. 이러한 클래스 정보를 이용하여 복호화된 영상에서 블록 간 및 블록 내 필터링을 수행한다. 먼저, 블록 간의 격자 잡음 및 계단형 잡음을 제거하기 위하여 인접한 두 블록의 클래스 정보에 따라 적응적으로 블록 간 필터링을 수행한다. 인접한 두 블록의 클래스 정보 중 높은 주파수 성분에 대한 클래스를 기준으로 하여 이 클래스의 주파수 분포에 따라 근사화된 필터를 두 블록의 경계면에 적용한다. 이렇게 함으로써 두 블록 간의 주파수 분포가 블록 내의 주파수 분포와 유사하게 되므로 블록 내의 패턴을 보존하면서 블록 간의 격자 잡음 및 계단형 잡음을 효과적으로 제거할 수 있다. 링잉 현상을 제거하기 위하여 복잡한 클래스로 분류된 블록에 대하여 SAF^[5]를 이용하여 블록 내 필터링을 수행한다.

1. 블록 분류

신기에서 8×8 화소 크기의 블록 단위로 전송되는 DCT 계수들의 크기 분포에 따라 각 블록을 7개의 클래스로 분류한다. 여기서 클래스 C는

$$C = \{ LL, LV, LH, LVH, CV, CH, CVH \}$$

와 같이 나타낸다. NH×NV 화소 크기의 영상에서는 (NH×NV)/64 개의 블록 B가 있다. 이 블록들 중 m, n 번째 블록 B_{m,n}의 클래스 C_{m,n}은 이 블록의 DCT 계수, f(u, v) 분포에 따라 결정되고, C_{m,n} ∈ C 이다. 여기서 u, v는 주파수 영역의 수평 및 수직 좌표축을 나타내며, 0 ≤ u, v < 8의 범위를 갖는다. 먼저, 그림 2에서와 같이 주파수 영역 중 u ≤ 1, v ≤ 1 영역을 저주파 영역으로, 그 이외에

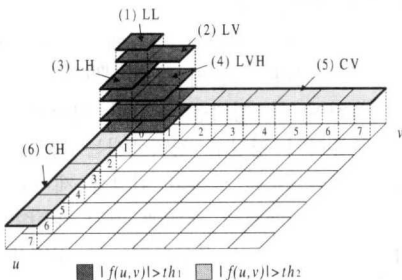


그림 2. 8×8 DCT 계수, f(u, v) 분포를 이용한 블록 분류

고주파 영역으로 구분한다. 그리고, 방향 성분에 따라 저주파 영역에 속하는 블록들은 4개의 클래스로 분류하고, 고주파 영역에 속하는 블록들은 3개의 클래스로 다음과 같은 조건에 따라 분류한다.

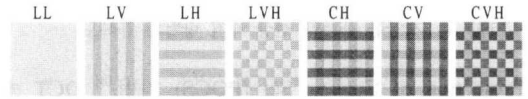


그림 3. 공간상에서 7가지 클래스들의 패턴들

먼저 평탄한 블록 B_{mt}은

$$B_{mt} = \{ B \mid \forall u > 1 \text{ and } l > 1, |f(u, v)| < th2 \} \quad (1)$$

이다. 이러한 블록들을 수평 및 수직 패턴에 따라 4개의 클래스로 분류한다. 즉, 매우 평탄한 블록인 LL, 평탄하면서 수직성분이 강한 블록인 LV, 평탄하면서 수평성분이 강한 블록인 LH, 그리고 평탄하면서 대각선 성분을 가지는 블록인 LVH는 각각

$$LL = \{ B_{mt} \mid \forall u > 0 \text{ or } v > 0, |f(u, v)| < th1 \} \quad (2)$$

$$LH = \{ B_{mt} \mid \forall u = 1 \text{ and } v < 1, |f(u, v)| < th1, \\ u = 0 \text{ and } v = 1, |f(u, v)| > th1 \} \quad (3)$$

$$LV = \{ B_{mt} \mid \forall u < 1 \text{ and } v = 1, |f(u, v)| < th1, \\ u = 1 \text{ and } v = 0, |f(u, v)| > th1 \} \quad (4)$$

$$LVH = B_{mt} - \{ LL, LV, LH \} \quad (5)$$

와 같다. 복잡한 블록 B_{cp}은

$$B_{cp} = B - B_{mt} = \{ B \mid \exists u > 1 \text{ or } v > 1, |f(u, v)| > th2 \} \quad (6)$$

이다. 이러한 블록들도 수평 및 수직 패턴에 따라 3개의 클래스로 분류한다. 즉, 복잡하면서 수직성분이 강한 블록인 CV, 복잡하면서 수평성분이 강한 블록인 CH, 그리고 매우 복잡한 블록인 CVH는 각각

$$CV = \{ B_{cp} \mid \exists u > 1 \text{ and } v = 0, |f(u, v)| > th2, \\ \forall \text{ other region}, |f(u, v)| < th2 \} \quad (7)$$

$$CH = \{ B_{cp} \mid \exists u = 0 \text{ and } v > 1, |f(u, v)| > th2, \\ \forall \text{ other region}, |f(u, v)| < th2 \} \quad (8)$$

$$CVH = B_{cp} - \{ CV, CH \} \quad (9)$$

와 같다. 이를 그림으로 나타내면 그림 2에서와 같

다. 이러한 방법에 의하여 분류된 7개의 클래스들은 공간 영역상에서 그림 3에서와 같은 패턴을 갖는다. 그러므로 제안한 방법에서는 이러한 패턴에 따라 적응적으로 블록간 필터링을 수행한다.

MPEG 부호화된 동영상에서는 프레임의 종류에 따라 다르게 블록을 분류 방법이 다르다. I 프레임에서는 8×8 화소 크기의 블록 단위로 DCT 계수가 전송되므로, 위와 같은 방법으로 블록을 분류한다. 그러나, P 및 B 프레임에서는 16×16 화소 크기의 매크로 블록 단위로 전송되는 MV (motion vector)의 값을 이용하여, 이전 예측 프레임의 매크로 블록에 포함되는 블록의 클래스 정보를 이용한다. 즉, MV가 0의 값을 가지는 매크로 블록은 이전 예측 프레임에 해당하는 매크로 블록에 포함되는 각 블록의 클래스 정보를 그대로 가진다. 그러나 MV가 0이 아닌 값을 가지는 매크로 블록에 포함되는 각 블록은 8×8 DCT를 수행하여 7개의 클래스로 분류한다.

블록 기반 부호화된 영상들은 압축 정도에 따라 화질의 열화가 다르게 발생되므로, 압축의 정도에 따라 필터링을 다르게 수행되어야 한다. 제안한 블록 분류 방법에서는 압축 정도를 나타내는 양자화 스케일 인자 qf 을 블록 분류의 문턱값 결정에 이용하였다. qf 가 큰 값을 가지는 영상에서는 화질의 열화가 매우 두드러지므로, 문턱값을 크게 설정하여 강한 필터링이 수행되는 평탄한 클래스로 분류되는 블록들이 많이 발생하게 한다. 그리고, qf 가 작은 값을 가지는 영상에서는 화질이 좋으므로 문턱값을 낮게 설정한다. 그리고, 저주파 영역 및 고주파 영역에서 동일한 DCT 계수값을 가지더라도, 고주파 영역에서의 계수값의 효과를 더 크게 주어 약간의 고주파 성분이 존재하더라도, 복잡한 패턴으로 블록

을 분류하였다. 즉, 저주파 영역 $u, v=1$ 에서의 문턱값 $th1$ 과 고주파 영역 $u, v>1$ 에서의 $th2$ 을 각각 $0.5 \times qf$ 및 $0.25 \times qf$ 으로 사용하였다.

512×512 크기의 LENA 및 BOAT 영상에서 qf 가 각각 32 및 48일 때, LL, LH, LV, LVH, 및 CH 클래스들의 대표적인 최대 ID 수평 주파수 분포는 그림 4에서와 같다. 이 그림에서 살펴보면, 각 클래스들의 최대 ID 수평 주파수 분포는 LL와 LH의 두 클래스 및 LV, LVH, 및 CH의 세 클래스로 두 가지 동일한 주파수 분포를 가지고, 나머지 클래스인 CV와 CVH는 그 이외의 분포를 가진다.

2. 블록 간 필터링

제안한 방법에서는 블록의 패턴 및 주파수 특성과 필터링 수행 방향을 고려하여 수평 및 수직 블록 간 필터링을 행한다. 수평 블록 간 비교의 경우에는 수평 방향으로 필터링을 수행하므로, 수평 주파수 특성이 유사한 클래스들을 다시 구분하면, LL와 LH, LV와 LVH, CH, 그리고 CV와 CVH의 네 가지로 구분되어진다. 마찬가지로 수직 블록 간 비교의 경우에는 수직 주파수 특성이 유사한 클래스들을 구분하면, LL와 LV, LH와 LVH, CV, 그리고 CH와 CVH의 네 가지로 구분되어진다.

2.1 필터 계수 근사화

블록 간의 격자잡음은 매우 평탄한 영역과 약간의 변화 패턴이 있는 영역에서 나타난다. 매우 평탄한 영역에서의 격자잡음은 약간의 변화 패턴이 있는 영역에서보다 시각적으로 잘 보이므로, 두 영역에 따라 필터링이 다르게 수행된다. 그리고 복잡한 패턴이 있는 영역에서 블록 간 경계면의 두 화소값이 조정되어 불연속적인 에지의 연속성이 향상된다.

제안한 방법에서는 필터링 수행방향과 각 클래스들의 주파수 특성 즉, 블록 패턴에 따라 필터링을 수행한다. 필터링 수행 방향과 동일한 패턴을 가지는 클래스 중, 평탄한 패턴들 사이에는 강한 평탄화 필터링이 수행되고, 복잡한 패턴 사이에는 블록 경계면에 약한 평탄화 필터링이 수행된다. 그리고 필터링 수행 방향과 다른 패턴의 클래스 중 평탄한 패턴 사이에도 약한 평탄화 필터링이 수행된다. 그리고 인접한 두 블록의 클래스 정보 중, 높은 주파수 분포를 가지는 클래스를 기준으로 하여 이 주파수 분포에 근사화된 필터를 블록 경계면에 수행한다. 따라서, 두 블록 간의 블록화 현상은 블록 내의 주파수 분포에 유사하게 제거된다. 여기에 사용되는

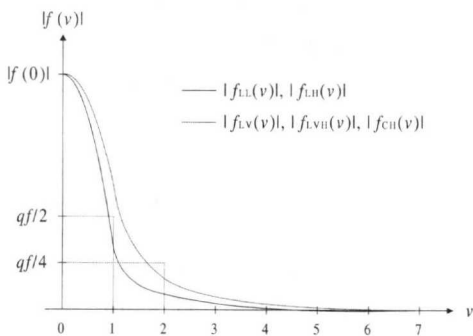


그림 4. qf 가 32와 48로 JPEG 부호화된 LENA 및 BOAT 영상에 대한 LL, LV, LH, LVH, 및 CH 클래스들의 대표적인 ID 최대 수평 주파수 분포

필터들은 강한 평탄화 필터로 7탭을, 약한 평탄화 필터로 3탭을 각 클래스의 패턴에 유사한 전달함수로 근사화 되었다. 강한 평탄화 필터로 7탭 이상일 경우, 영상이 뭉뚱해지고, 그 이하의 탭일 경우 격자잡음이 효과적으로 제거되지 못한다. 그리고 약한 평탄화 필터는 블록 내 약간의 변화패턴이 있는 경우에 수행된다. 이 경우, 변화패턴을 보존하면서 블록화 현상을 제거되어야 하므로, 블록 간 경계면에 3탭 필터가 사용되었다. 각 필터들은 그림 4에서 보는 바와 같이, LL, LH, LV, LVH, 및 CH 클래스들의 최대 1D 수평 주파수 분포를 이용하여 근사화 된다.

N 차 필터 전달함수 H 및 N 차 필터 공간 마스크 h 의 1D DCT 및 IDCT 변환 식은

$$H(u) = \alpha(u) \sum_{x=0}^{N-1} h(x) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \quad (10)$$

for $u=0,1,2, \dots, N-1$

$$h(x) = \sum_{u=0}^{N-1} \alpha(u) H(u) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \quad (11)$$

for $x=0,1,2, \dots, N-1$

$$\text{where } \alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{1/N}, & u=0 \\ \sqrt{2/N}, & u \neq 0 \end{cases}$$

$0 \leq u < N, \quad 0 \leq x < n$

이다. 근사되는 n 차 ($n \leq M$)의 필터 공간 마스크 \hat{h} 의 N 차 전달함수 \hat{H} 은

$$\hat{H} = C\hat{h} \quad (12)$$

이다. 여기서 $N \times n$ 코사인 (cosine) 행렬 C 은

$$C(u, x) = \alpha(u) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \quad (13)$$

와 같다. \hat{h} 은 LSE (Least square error) e^2

$$e^2 = \| \hat{H} - H \|^2 = \| C\hat{h} - H \|^2 \quad (14)$$

가 최소가 되도록 구하면

$$\frac{\partial e^2}{\partial \hat{h}} = 2C^T(C\hat{h} - H) = 0 \quad (15)$$

또는

$$\hat{h} = (C^T C)^{-1} C^T H = C^T H \quad (16)$$

와 같다. 위 식을 Moore-Penrose^[11]의 일반화된 역

행렬이라 하고, C^T 는 C 의 전치행렬 (transpose matrix)이다. N 차의 필터 전달함수를 블록 간 필터링에 수행되는 각각의 n 차 필터로 근사되기 위하여 식 (16)의 Moore-Penrose^[11]의 일반화된 역행렬이 사용된다.

각 클래스들의 수평 주파수 대역은 그림 4에서 보는 바와 같이, 유한한 최대 1D 수평 주파수 분포 $f(v)$ 이 동일한 $f_{LL}(v)$ 와 $f_{LH}(v)$ 및 $f_{LV}(v)$, $f_{LVH}(v)$ 와 $f_{CH}(v)$ 으로 나누어진다. 필터 계수 근사화에 이용되는 전달함수 $H(v)$ 는 위의 두 가지 주파수 분포의 특성에 맞게 구하여졌다. 즉, $H(v)$ 는 그림 5에서와 같이 문턱값보다 큰 계수값은 그대로 통과시키고, 문턱값보다 작은 계수값 중 $th1$ 은 $th2$ 보다 2배 크므로, $th1$ 이 적용되는 저주파 영역은 $th2$ 가 적용되는 고주파 영역보다 2배의 통과 특성을 가진다. 그리고 통과대역과 차단대역 사이에 급격한 3dB 차단 주파수를 가진다. 이 두 가지 N 차 전달함수를 제한한 방법에서 사용되는 1D 7탭 필터 \hat{h}_7 , 1D 3탭 필터 \hat{h}_3 , 및 2D 3탭 분리 필터 $\hat{h}_{3 \times 3}$ 으로 근사되기 위하여 Moore-Penrose^[10]의 일반화된 역행렬을 이용하였다.

1D 7탭 필터 \hat{h}_7 는 필터링 방향과 같은 방향 패턴을 갖는 평탄한 블록에 대하여 행하여지고, 1D 3탭 필터 \hat{h}_3 는 필터링 방향과 같은 방향 패턴을 갖는 복잡한 블록에 대하여 행하여지며, 또한 2D 3탭 분리 필터 $\hat{h}_{3 \times 3}$ 는 필터링 방향과 다른 방향 패턴을 가지는 평탄한 블록에 대하여 행하여진다. 여기서 1D 7탭 필터 계수는 LL과 LH로 판별된 블록의 수평 주파수 성분이 $H_{LL}(v)$, $H_{LH}(v)$ 와 같으므로 식 (11)에서 $N=8$, $n=4$, 및 H 는 $H_{LL}(v)$, $H_{LH}(v)$ 를 이용하여 구하여진다. 그리고 1D 3탭 필터 계수는 CH 블록의 수평 주파수 특성이 $H_{CH}(v)$ 와 같으므로 식 (11)에서 $N=8$, $n=2$, 및 H 는 $H_{CH}(v)$ 를 이용하여 구하여진다. 또한 2D 3탭 분리 필터 계수는, 블록 특성이 다를 경우 인접한 두 블록 혹은 하나의 블록에 대하여 수평 및 수직 주파수 성분이 있으므로 이 두 가지 성분을 갖는 주파수 특성에 따라 근사화되고, 이러한 2D 3탭 필터가 적용되는 블록들의 수평 주파수 특성이 CH와 같기 때문에 1D 3탭 필터 계수를 2D 3탭 분리 필터로 확장하여 사용한다. 마찬가지로 수직 블록 간의 필터링에 사용되는 필터계수도 위와 같은 방

법으로 결정되며, 이 필터계수는 위에서 근사화된 필터계수와 동일하다. 그러므로, 수평 및 수직 블록 간 필터링에 세 가지 필터계수들이 적용된다. 근사화된 필터계수 \hat{h}_7 , \hat{h}_3 , 및 $\hat{h}_{3 \times 3}$ 는 각각

$$\begin{aligned} \hat{h}_7 &= [0.090 \ 0.132 \ 0.172 \ 0.212 \ 0.172 \ 0.132 \ 0.090] \\ \hat{h}_3 &= [0.296 \ 0.408 \ 0.296] \\ \hat{h}_{3 \times 3} &= \begin{bmatrix} 0.088 & 0.126 & 0.088 \\ 0.126 & 0.144 & 0.126 \\ 0.088 & 0.126 & 0.088 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

와 같다.

2.2 수평 및 수직 블록 간 필터링

블록 간 필터링은 인접한 두 블록의 주파수 특성 중 높은 주파수 특성을 가지는 블록을 기준으로 하여 이 블록의 특성에 따라 구한 필터를 이용하여 표 I 및 그림 6에서와 같이 두 블록 간의 블록화 현상을 제거한다. 즉, m, n 번째 블록 $B_{m,n}$ 과 수평으로 인접한 $m, n+1$ 번째 블록 $B_{m,n+1}$ 간에는 두 클래스 $C_{m,n}$ 및 $C_{m,n+1}$ 에 따른 필터 계수 \hat{h} 를 이용하여

$$\begin{aligned} \hat{f}(8 \times m + y, 8 \times n + x) &= \\ \hat{f}(8 \times m + y, 8 \times n + x) * \hat{h} & \quad (17) \\ \text{where } 0 \leq y < 8, \ 7 - \alpha \leq x \leq 8 + \alpha & \end{aligned}$$

와 같이 수평 블록 간 필터링을 수행한다. 여기서, α 는 \hat{h} 에 의하여 결정되는 필터링 영역을 나타낸다.

필터링을 수행하기 전 그림 6에서와 같이 블록 경계 부분에 간단한 블록화 판별을 한다.

즉, 블록 $B_{m,n}$ 와 인접 블록 $B_{m,n+1}$ 들의 필터링 영역에 있는 화소들의 평균 밝기값, m_1 및 m_2

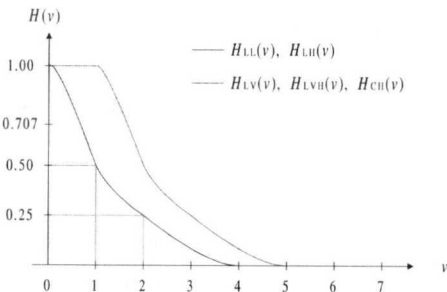


그림 5. LL와 LH 및 LV, LVH와 CH 클래스의 수평 전달함수

$$m_1 = \frac{1}{\alpha+1} \sum_{x=7-\alpha}^7 f(8m+y, 8n+x) \quad (18)$$

$$m_2 = \frac{1}{\alpha+1} \sum_{x=8}^{8+\alpha} f(8m+y, 8n+x) \quad (19)$$

이 $|m_1 - m_2| > 1$ 일 경우에만 필터링을 수행한다. 여기서 두 블록 간의 일차원 필터링 영역에는 화소값의 차이가 거의 없고 같은 패턴을 가지므로, 평균값만 이용하여 블록화 판별을 한다.

블록 분류 방법에서 각 블록을 7개의 클래스로 분류함으로써 인접한 두 블록의 클래스에 따라 필터링에 대한 경우의 수가 많아지지만, 필터링 수행 방향과 블록 내 주파수 특성에 따라 4가지 경우로 다시 분류되고, 인접한 두 블록의 클래스 정보가 서로 바뀌어도 필터링이 되는 영역과 필터 계수를 동일하게 적용함으로써 필터링 수행 방법의 수를 줄일 수 있다. 블록 간 필터링 방법은 표 I에서와 같다. 여기서, 괄호 안에 있는 클래스들은 수직 블록 간 필터링에 이용된다. ID 7탭 필터 \hat{h}_7 이 수행되는 클래스에서는 매우 평탄한 영역에 발생하는 격자 잡음이 생기므로, 필터링 영역이 크게 설정된다.

표 I. 수평 및 수직 클래스 정보를 이용한 블록간 필터

$C_{m,n}$ / $C_{m,n+1}$ ($C_{m+1,n}$)	LL, LH (LL, LV)	LV, LVH (LH, LVH)	CH (CV)	CV, CVH (CH, CVH)
LL, LH (LL, LV)	\hat{h}_7	$\hat{h}_{3 \times 3}$	\hat{h}_3	S
LV, LVH (LH, LVH)	$\hat{h}_{3 \times 3}$	$\hat{h}_{3 \times 3}$	\hat{h}_3	S
CH (CV)	\hat{h}_3	\hat{h}_3	\hat{h}_3	S
CV, CVH (CH, CVH)	S	S	S	S

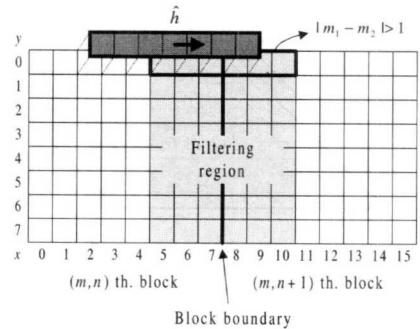


그림 6. 매우 평탄한 블록들간의 \hat{h}_7 을 이용한 블록간 필터링 ($\alpha = 2$).

그러나, 이 클래스에서는 필터링 영역이 매우 크게 설정되면 영상이 몽롱화되고, 필터링 영역이 작게 설정되면 격자 잡음이 제거되지 못하므로, 그림 6에서와 같이 블록 간 6개 화소의 위치에 \hat{h}_7 이 수행되며, α 의 값은 2이다. 2D 3탭 필터 $\hat{h}_{3 \times 3}$ 이 수행되는 클래스에서는 평탄한 영역에서 필터링 수행 방향과 다른 적은 변화 패턴을 가지므로, 블록 간 2개 화소의 위치에 $\hat{h}_{3 \times 3}$ 이 수행되며, α 의 값은 0이다. 1D 3탭 필터 \hat{h}_3 이 수행되는 클래스에서는 복잡한 영역이지만, 필터링 수행 방향과 같은 방향의 변화 패턴은 작으므로, 블록 간 4개 화소의 위치에 \hat{h}_3 이 수행되고, α 의 값은 1이다. 표 1에서의 S는 불연속적인 에지의 계단형 잡음을 없애기 위하여 복잡한 블록 경계상 두 화소값을

$$\begin{cases} p_7 = p_7 - m, p_8 = p_8 + m, & \text{if } p_7 > p_8 \\ p_7 = p_7 + m, p_8 = p_8 - m, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

$$m = \frac{|p_7 - p_8|}{4} \quad (21)$$

으로 조정함으로써 블록 간 에지를 연속적으로 만들어 준다. 여기에 p_7 및 p_8 은 표 1에서 S가 적용되는 m, n 번째 블록과 $m, n+1$ 번째 블록간의 각각 7번째와 8번째 화소의 밝기값, $f(8m+y, 8n+7)$ 및 $f(8m+y, 8n+8)$ 이다. 그리고 표 1에서 살펴보면, 인접한 클래스들 중 주파수 특성이 큰 클래스에 적용되는 필터와 필터링 영역으로 두 블록 간 필터링이 수행된다. 그러므로, 블록 간의 블록화 현상이 각 블록의 패턴을 보존하면서 블록 내 주파수 분포에 유사하게 제거된다.

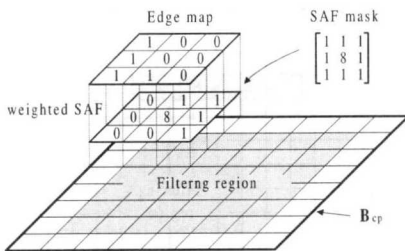


그림 7. SAF를 이용한 블록 내 필터링

3. 블록 내 필터링

에지 블록 내에서 생길 수 있는 링잉 현상을 제거하기 위하여 복잡한 블록 B_{cp} 로 분류된 블록에

대한 에지맵을 구한 후, 에지맵에 근거하여 3×3 SAF을 수행한다. SAF 마스크로는 현재 화소의 가중치를 8로 두고, 나머지 화소들의 가중치를 모두 1로 둔다. 먼저 B_{cp} 로 분류된 블록 내에 Sobel 연산자를 적용하여 각 화소의 경사도를 구한다. 그리고 이 값을 양자화 스케일 인자를 이용하여 실험적으로 구한 문턱값 th 과 비교하여

$$IF (Gradient[k][l] > th) \quad Edgemap[k][l] = 1$$

$$ELSE \quad Edgemap[k][l] = 0$$

$$where \quad th = 8 \times \alpha f$$

와 같이 실제 에지와 링잉 현상으로 발생된 에지를 구분하여 에지맵을 만든다. 여기서 $Edgemap$ 와 $Gradient$ 은 각각 에지맵과 경사도를 나타내고, 변수 k, l 는 CH, CV, 및 CVH의 클래스로 분류된 블록 내에 화소의 위치를 나타내며, $1 \leq k, l \leq 6$ 의 범위를 갖는다. αf 가 큰 영상에서는 양자화에 의한 고주파 성분이 부적절하게 많이 절단되어 Gibbs 현상과 같은 링잉현상이 크게 나타난다. 즉, 실제 에지가 아닌 유사 에지가 크게 나타나므로, 에지를 판별하는 문턱값은 αf 에 따라 크게 설정된다. 에지맵을 이용한 SAF는 그림 7에서와 같다. CH, CV, 및 CVH 클래스들에서는 블록 경계면의 화소들이 블록 간 필터링에서 수행되므로, 블록 내 전체 화소들에 대한 에지맵을 구한 후, 블록 경계면의 화소들을 제외한 6×6 화소에 SAF이 수행된다. 현재 위치의 에지맵이 1이면 SAF을 수행하지 않는다. 그러나 현재 위치의 에지맵이 0인 화소들 중, 주위 여덟 개의 화소에 대한 에지맵이 1인 위치의 SAF 마스크의 가중치를 0으로 하여 실제 에지의 형태는 그대로 유지하면서 링잉 현상을 제거한다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안한 후처리 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 객관적 화질 척도로 많이 이용되는 PSNR은 원 영상과 복호화된 영상에 대한 화소와 화소간의 차이를 측정하는 것이므로, 화질 척도로 최적이지는 못하다. 그러나, 이온화된 최적의 화질 척도에 대한 연구가 진행 중이므로, 본 실험에서는 객관적 화질 척도인 PSNR과 주관적 화질로 성능을 평가하였다.

정지영상에 대한 실험에서는 512×512 화소 크기의 LENA 영상, BOAT 영상 및 BANK 영상에

표 II. JPEG 부호화된 영상에 대한 후처리 실험의 PSNR

Test image	qscale (scale code) / quantization scale factor	bpp	PSNR [dB]						
			JPEG	Rama- murthi	Y.Yang	S.Kim	Lee	N.Kim	proposed method
Lena	1(8) / 16	0.71	35.88	35.59	35.85	35.37	35.56	35.78	35.76
	2(16) / 32	0.50	33.90	34.00	34.16	33.65	34.12	34.13	34.21
	3(24) / 48	0.42	32.67	32.92	33.07	32.56	33.10	33.08	33.19
	4(31) / 62	0.38	31.76	32.10	32.27	31.73	32.29	32.31	32.44
Boat	1(8) / 16	0.89	33.53	32.87	33.50	33.32	33.08	33.46	33.32
	2(16) / 32	0.61	31.34	31.23	31.54	31.28	31.39	31.51	31.57
	3(24) / 48	0.50	30.08	30.14	30.37	30.07	30.34	30.36	30.47
	4(31) / 62	0.43	29.20	29.35	29.55	29.23	29.54	29.57	29.66
Bank	1(8) / 16	0.88	32.95	32.18	32.57	32.76	32.65	32.83	32.50
	2(16) / 32	0.61	30.62	30.38	30.50	30.56	30.75	30.72	30.69
	3(24) / 48	0.50	29.37	29.32	29.35	29.39	29.67	29.57	29.62
	4(31) / 62	0.43	28.54	28.58	28.56	28.52	28.86	28.81	28.87

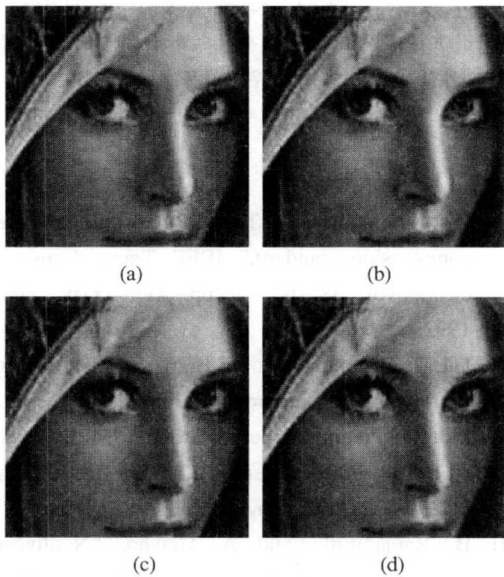


그림 8. (a) JPEG 부호화된 영상과 (b) Ramamurthi의 방법, (c) Lee의 방법, 및 (d) 제안한 방법에 의하여 후처리된 결과 영상 (qf=48)

대하여 Baseline JPEG^[11] 기반으로 부호화된 영상을 사용하였다. 정지 영상에 대한 실험 결과에서는 표 II에서와 같이 압축률이 높을수록 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 0.05~0.3 dB 정도 향상됨을 알 수 있다. 그리고 0.42 bpp로 JPEG 부호화된 LENA 영상은 그림 8에서처럼 높은 압축률로 인하여 격자 잡음 및 에지 영역 부근에서 계단형 잡음이 눈에 띄게 보이며, 눈 주위에 유사 에지 형태의 링잉 현상을 볼 수 있다. Ramamurthi 등^[4]의 방법

에 의한 결과 영상에서는 블록화 현상이 여전히 눈에 보이고, Y. Lee 등^[5]의 방법에 의한 결과 영상에서는 격자 잡음 및 링잉 현상이 제거되었지만, 계단형 잡음은 여전히 눈에 보임을 알 수 있다. 그러나 제안한 방법의 결과 영상에서는 블록화 현상 및 링잉 현상이 제거됨을 알 수 있다.

동영상에 대한 실험에서는 MPEG TM5^[3] 기반으로 GOP는 12, I/P 프레임 거리는 3, 초당 25 프레임, 그리고 순차 주사 방식으로 SIF의 FOOTBALL 영상 및 CIF의 FOREMAN 영상의 30 프레임을 다른 비트율로 부호화하였다. 제안한 방법에서는 각 프레임별로 매크로 블록 단위의 양자화 변수값을 이용하여 블록 분류의 문턱값을 결정하였다. 동영상에 대한 실험 결과에서는 표 III에서와 같이 평균 PSNR이 기존의 방법보다 0.05~0.1 dB 향상됨을 알 수 있다. 제안한 방법이 기존의 방법들보다 I 및 P 프레임에서의 PSNR은 유사하지만, B 프레임에서의 PSNR은 0.1~0.2 dB 향상됨을 알 수 있다. 그리고 1.5 Mbps로 MPEG 부호화된 FOOTBALL 영상의 17번째 프레임과 후처리 결과 프레임은 그림 9와 같다. 이 그림을 살펴 보면, MPEG 부호화된 프레임에서는 고주파 성분이 많은 배경 영역에 대하여 블록화 현상이 보이지 않은 반면, 평탄한 영역 및 움직임이 큰 영역에 대하여 블록화 현상이 나타남을 볼 수 있다. 그리고 에지 영역 부근에 대하여 링잉 현상 및 계단형 잡음을 볼 수 있다. S. Kim 등^[6]의 방법에 의한 결과 프레임에서는 움직임이 크고 평탄한 영역에 대하여 블록화 현상이 잘 제거되었지만, 복잡한 영역에서 에지의 불연속성이

제거되지 못함을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법의 결과 프레임에서는 전체 영역에 대하여 블록화 현상이 제거되었고 에지의 불연속성이 개선되었음을 볼 수 있다. 다른 영상에 대한 실험 결과에서도 제안한 방법이 기존의 방법들보다 성능이 우수함을 확인하였다.

표 III. 동영상에 대한 후처리 실험의 평균 PSNR

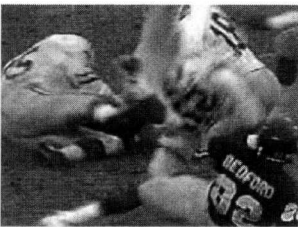
Test sequences	Average PSNR [dB]		
	MPEG	S. Kim	Proposed
FOOTBALL 1 Mbps (SIF)	28.23	28.28	28.30
FOOTBALL 1.5 Mbps (SIF)	30.16	30.17	30.20
FOREMAN 0.8 Mbps (CIF)	35.22	35.30	35.45
FOREMAN 1 Mbps (CIF)	36.10	36.15	36.23



(a)



(b)



(c)

그림 9. (a) MPEG 부호화된 17번째 프레임과 (b) S. Kim의 방법 및 (c) 제안한 방법에 의한 결과 프레임 (1.5 Mbps)

IV. 결론

본 논문에서는 낮은 비트율에서 발생하는 블록화

현상과 링잉 현상을 제거하기 위하여 블록 분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리 기법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 DCT 계수의 분포를 이용하여 블록을 7개의 클래스로 분류한 후, 인접한 블록들 간의 특성에 따라 적응적인 필터링을 블록 경계면에 수행하여 블록화 현상을 제거하였고, 복잡한 특성의 블록 내에서는 에지맵을 이용한 SAF을 수행하여 링잉현상을 제거하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법은 기존의 방법들에 비하여 PSNR이 0.05 ~ 0.3 dB 정도 향상되었고, 블록 경계 부분에서 왜곡의 감소와 에지의 연속성을 나타내므로 객관적 화질 및 주관적 화질면에서 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 동영상에 대한 실험 결과로부터, 제안한 방법은 기존의 방법들에 비하여 I 및 P 프레임에서의 PSNR이 유사하나, B 프레임에서는 0.2 dB 정도 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 움직임이 크고 평탄한 영역에 대하여 블록화 현상이 잘 제거되고, 복잡한 영역에서 에지의 불연속성이 제거되므로 주관적 화질면에서 성능이 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," IEEE Trans. Consum. elect., vol. 38, no. 1, pp. xviii-xxxiv, Feb. 1992.
- [2] ITU-T Recommendation H.263, Video coding for low bit rate communication.
- [3] Motion Picture Experts Group, "MPEG test model 5 draft revision 2," ISO-IEC JTC1/SC29/WG11/602, Nov. 1993.
- [4] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 34, no. 5, pp. 1258 ~ 1268, Oct. 1986.
- [5] Y. L. Lee, H. C. Kim, and H. W. Park, "Blocking Effect Reduction of JPEG Images by Signal Adaptive Filtering," IEEE Trans. Image Processing, vol. 7, no. 2, pp. 229 ~ 234, Feb. 1998.
- [6] S. D. Kim, J. Y. Yi, H. M. Kim, and J. B. Ra. "A deblocking filter with two separate modes in block-based video coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 9,

no. 7, pp. 156~160, Feb. 1999.	이 석 환(Suk-Hwan Lee)	정회원
[7] T. Kasezawa, "Blocking artifacts reduction using discrete cosine transforms," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 43, no. 1, pp. 48~55, Feb. 1997.	통신학회논문지 제27권 제5A호 참조	
[8] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images," IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, no. 7, pp. 896~908, July 1995.	권 기 구(Kee-Koo Kwon)	정회원
[9] S. S. O. Choy, Y. H. Chan, and W. C. Siu, "Reduction of block-transform image coding artifacts by using local statistics of transform coefficients," IEEE Signal Processing Letters, vol. 4, no. 1, pp 5~7, Jan. 1997.	통신학회논문지 제26권 제9B호 참조	
[10] N. C. Kim, I. H. Jang, D. H. Kim, and W. H. Hong, "Reduction of blocking artifact in block-coded images using wavelet transform," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol 8. no. 3, pp. 253~257, June 1998.	김 병 주(Byung-Ju Kim)	정회원
[11] Z. Xiong, M. T. Orchard, and Y. Q. Zhang, "A deblocking algorithm for JPEG compressed images using overcomplete wavelet representations," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 7. no. 2, pp. 433~437, Apr. 1997.	통신학회논문지 제27권 제5A호 참조	
[12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley publishing Company, Inc., 1992.	이 승 진(Seung-Jin Lee)	정회원
	통신학회논문지 제25권 제10B호 참조	
	권 성 근(Seong-Geun Kwon)	정회원
	통신학회논문지 제25권 제1B호 참조	
	이 건 일(Kuhn-Il Lee)	정회원
	통신학회논문지 제25권 제1B호 참조	