

블록 분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리에서의 양자화 잡음 제거 기법

°이 석 환*, 권 성 근*, 이 중 원*, 이 승 진*, 이 건 일*

*경북대학교 전자전기공학부
대구광역시 북구 산격동 1370번지

Postprocessing Method for Quantization Noise Reduction Using Block Classification and Adaptive Filtering

°Suk-Hwan Lee*, Seoug-Geun Kwon*, Jong-Won Lee*, Seung-Jin Lee*, Kuhn-Il Lee*

*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University
1370 Sankyudong Bukgu, Taegu, Korea

Abstract

In this paper, we proposed a postprocessing algorithm for quantization effects reduction in block coded images using the block classification and adaptive filtering. The proposed method consists of classification, adaptive inter-block filtering, and intra-block filtering. First, each block is classified into one of seven classes based on the characteristics of 8×8 DCT coefficients. Then each block boundary is filtered by adaptive inter-block filters according to the block classification. Finally for blocks which are classified into edge block, intra-block filtering is performed. Experimental results show that the proposed method gives better results than the conventional methods from both a subjective and an objective viewpoint.

I. 서 론

JPEG, H.263, 및 MPEG 등과 같은 블록 기반 부호화에서는 영상을 8×8 화소 크기의 블록으로 분할한 후, 각 블록의 DCT 계수들을 독립적으로 양자화함으로써 블록내 및 블록간의 화질 열화가 발생될 수 있고, 특히 저비트율에서는 심각한 화질의 열화가 발생될 수 있다. DCT 계수를 양자화함으로써 발생하는 대표적인 화질의 열화는 블록화 현상 (blocking artifact)과 링잉 현상 (ringing artifact)이다. 블록화 현상에는 평탄한 영역내의 블록 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 양자화에 의한 고주파 성분의 부적절한 절단에 의하여 원래의 에지들 주위에 주기적인 유사 에지들이 나타나는 현상이다.^[1]

수신기 (receiver)에서 이러한 양자화 잡음을 제거하기

위한 후처리 방법으로는, 공간 영역^{[1]-[3]} 또는 주파수 영역^[4]에서의 필터링 방법, POCS (projection of convex set) 방법^[5], DCT 계수의 추정 방법^[6], 및 웨이브릿을 이용한 방법^[7] 등이 있다. 이 중에서 공간 영역에서의 필터링 방법은 알고리즘이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하며, 우수한 주관적 화질을 나타내는 장점을 갖는다.

1986년 Ramamurthi 등^[1]은 영상을 평탄 블록과 에지 블록으로 분류한 후, 평탄 블록에는 2차원 필터를 적용하고, 에지 블록에는 에지의 방향성에 따라 1차원 필터를 이용하여 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 하지만 이 방법은 에지 블록과 평탄 블록을 분류하는 판단 기준이 정확하게 설정되어야 한다는 단점을 갖는다. 1996년 Kim과 Park 등^[2]은 전역 (global) 에지맵 (edge map), 국부 (local) 에지맵, 및 윤곽선 (contour) 에지맵을 이용하여 블록화 현상을 제거하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 Ramamurthi 등이 제안한 방법보다 화질 면에서는 우수하나 계단형 잡음을 효율적으로 제거하지 못하는 단점이 있다. 1999년 Kim 등^[3]은 동영상 압축에서 발생하는 블록화 현상을 제거하기 위하여 블록 경계에 수평 및 수직 방향으로 일차원 필터링을 적용하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 블록 경계 영역이 평탄한 영역에서는 강한 평탄화 필터링을 수행하고 그 외의 영역에서는 블록 경계 주변의 주파수 정보를 이용하는 필터링을 수행한다. 그러나 강한 평탄화 필터링으로 인하여 영상이 심하게 뭉뚱해지고 블록 간의 계단형 잡음을 제거하지 못하는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 블록 기반 부호화된 영상에 대하여 블록 분류와 적응적 필터링을 이용하여 양자화 잡음을 제거하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 영상의 특성을 유지하면서 효과적인 블록화 현상 제거를 위하여 DCT 계수 분포에 따라 각 블록을 7개의 클래스 (class)로 분류한다. 그리고 인접한 두 블록의 클래스에 따른 적응적 필터를 이용하여 블록의 경계면에서 블록 간 필터링을 수행한다. 마지막으로 에지 블록으로 분류

된 블록에 대하여 소벨 (sobel) 연산자를 이용하여 에지 맵을 구한 후, 이 에지맵에 따라 SAF (signal adaptive filtering)^[2]를 수행한다. 따라서 제안한 방법은 에지의 특성을 유지하면서 격자 잡음과 계단형 잡음 및 링잉 현상을 효과적으로 제거할 수 있는 장점을 갖는다.

제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 Baseline JPEG^[8]과 MPEG TM5^[9]을 기반으로 모의 실험을 행하였다. 실험 결과로부터, 제안한 방법은 블록 경계 부분의 왜곡 감소와 에지의 연속성을 향상함에 따라, 주관적 화질 및 객관적 화질면에서 기존의 방법들에 비하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

II. 제안한 후처리 방법

본 논문에서는 블록 분류와 적응적 필터링을 이용한 후처리 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 먼저 영상을 8×8 블록 단위로 DCT를 행하고, DCT 계수의 분포특성을 이용하여 각 블록을 7개의 클래스로 분류한다. 현재 블록의 클래스 정보와 수평 및 수직 방향의 인접 블록에 대한 클래스 정보에 따라 수평 및 수직 블록 간 필터링을 행하여 블록화 현상을 제거한다. 그리고 에지 영역으로 분류된 블록에 대하여는 블록 내 필터링을 행하여 에지를 유지하면서 링잉 현상을 제거한다.

1. 블록 분류

영상내의 각 8×8 화소 크기의 블록에 대한 DCT 계수, C_{uv} 의 분포에 따라 그림 1에서처럼 각 블록을 7개의 클래스로 분류한다. 여기서 u, v 는 주파수 영역의 수평 및 수직 좌표축이다. 평탄한 블록은 $u > 1, v > 1$ 에서 모든 C_{uv} 가 $th2$ 보다 작은 블록들이다. 이러한 블록들 중 LL은 매우 평탄한 블록으로 $C_{01}, C_{10}, C_{11} < th1$ 이고, LV는 평탄하면서 수직성분이 강한 블록으로 $C_{01} > th1, C_{10}, C_{11} < th1$ 이고, LH는 평탄하면서 수평성분이 강한 블록으로 $C_{10} > th1, C_{01}, C_{11} < th1$ 이며, LVH는 평탄하면서 수직 및 수평 성분을 모두 가지는 블록이므로 평탄한 블록들 중 LL, LV 및 LH으로 분류되지 않은 모든 블록들이다. 복잡한 블록은 $u > 1, v > 1$ 에서 C_{uv} 중 하나 이상이 $th2$ 보다 큰 블록들이다. 이러한 블록들에서, 먼저 CV는

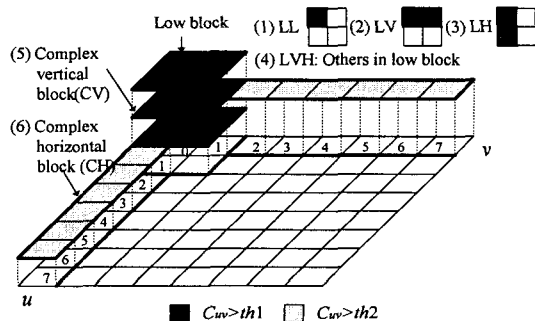


그림 1. 8×8 DCT 계수, C_{uv} 분포를 이용한 블록 분류
Fig. 1. Block classification using 8×8 DCT coefficient, C_{uv} distribution.

복잡하면서 수직성분이 강한 블록으로 $C_{02}, C_{03}, C_{04}, C_{05}, C_{06}, C_{07}$ 중 하나 이상이 $th2$ 보다 크고 나머지 복잡한 영역에서의 C_{uv} 가 모두 $th2$ 보다 작은 블록이다. CH는 복잡하면서 수평성분이 강한 블록으로 $C_{20}, C_{30}, C_{40}, C_{50}, C_{60}, C_{70}$ 중 하나 이상이 $th2$ 보다 크면서 나머지 복잡한 영역에서 C_{uv} 가 모두 $th2$ 보다 작은 블록이다. 그리고 CVH는 매우 복잡한 블록으로 그 이외의 모든 블록이다. 이를 그림으로 나타내면 그림 1에서와 같다. 여기서 사용된 문턱값은 양자화 스케일 인자 (quantization scale factor), qf 를 사용하여 실험적으로 $th1 = 0.25 * qf$ 및 $th2 = 0.5 * qf$ 로 결정하였다.

2. 블록 간 필터링

제안한 방법에서는 블록 내의 주파수 특성과 필터링 방향을 고려하여 수평 및 수직 블록 간 필터링을 행한다. 수평 블록 간 비교의 경우에는 수평 방향으로 필터링을 수행하기 때문에 수평 주파수 특성이 유사한 블록들로 구분하면, LL와 LH, LV와 LVH, CH, 그리고 CV와 CVH의 네 가지로 구분되어진다. 마찬가지로 수직 블록 간 비교의 경우에는 수직 주파수 특성이 유사한 블록들로 구분하면, LL와 LV, LH와 LVH, CV, 그리고 CH와 CVH의 네 가지로 구분되어진다.

2.1 필터 계수 근사화

블록들의 수평 주파수 전달함수는 그림 1에서처럼

$$\hat{H}_{LL}(v), \hat{H}_{LH}(v) = [h_{11} \ h_{12} \ h_{13} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\hat{H}_{LV}(v), \hat{H}_{LVH}(v), \hat{H}_{CH}(v) = [h_{21} \ h_{22} \ h_{23} \ h_{24} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (2)$$

와 같으므로 Moore-Penrose generalized inverse matrix^[10]식

$$\hat{h} = (C^* C)^{-1} C^* H = C^{\dagger} H \quad (3)$$

에 의하여 필터계수 \hat{h} 를 근사화한다. 여기서 행렬 C 는

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

$$\text{where } a(u) = \begin{cases} \sqrt{1/N}, & u=0 \\ \sqrt{2/N}, & u \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

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

이고 C^* 는 C 의 전치행렬이며, H 는 블록의 수평 주파수 전달함수이다. 여기서 $h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{21}, h_{22}, h_{23}$, 및 h_{24} 은 실험적으로 구한 값이다.

제안한 방법에서는 세가지 필터 계수를 근사화하였고 필터 탭 수와 필터링 영역은 화질과 PSNR 측면에서 실험적으로 결정하였다. 먼저 1D 7탭 필터는 필터링 방향과 같은 방향 성분을 가지는 평탄한 블록에서 적용되어진다. 즉, 수평 블록 비교시 LL과 LH으로 판별된 블록의 수평 주파수 성분은 $\hat{H}_{LL}(v), \hat{H}_{LH}(v)$ 와 같으므로 식 (4)에서 N 이 8, n 이 4를 이용하여 1D 7탭 필터계수를 구하였다. 1D 3탭 필터는 필터링 방향과 같은 방향 성분을 가지는 복잡한 블록에서 적용되어진다. 즉, 수평 블록 비교시 CH 블록의 수평 주파수 특성이 $\hat{H}_{CH}(v)$ 와

표 I. 수평 블록 간 필터링 방법

Table I. Horizontal block filtering method.

Current block	Neighborhood block	①LL	②LV	⑥CH	⑤CV
		③LH	④LHV		⑦CVH
①LL	③LH	1	2	3	4
②LV	④LHV	2	2	3	4
⑥CH		3	3	3	4
⑤CV	⑦CVH	4	4	4	4

표 II. 수직 블록 간 필터링 방법

Table II. Vertical block filtering method.

Current block	Neighborhood block	①LL	③LH	⑤CV	⑥CH
		②LV	④LHV		⑦CVH
①LL	②LV	1	2	3	4
③LH	④LHV	2	2	3	4
⑤CV		3	3	3	4
⑥CH	⑦CVH	4	4	4	4

1: 1D 7-tab filtering, 2: 2D 3-tab filtering, 3: 1D 3-tab filtering, 4: Pixel adjustment on block boundary

같은 식 (4)에서 N 이 8, n 이 2를 이용하여 1D 3탭 필터 계수를 구하였다. 2D 3탭 필터는 필터링 방향과 다른 방향 성분을 가지는 평탄한 블록에서 적용된다. 블록 특성이 다를 경우, 인접한 두 블록 상 혹은 하나의 블록 상의 주파수 특성이 수평과 수직 성분이 있으므로 이 두 가지 성분을 갖는 주파수 특성으로 구한 2D 분리필터를 근사하였다. 이 경우의 블록들 수평 주파수 특성이 CH와 같기 때문에 1D 3탭 필터 계수를 2D 분리 필터로 확장하여 필터 계수를 구하였다. 여기에서 구한 필터 계수들은 수직 블록 비교에서도 유사하게 적용된다.

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, II 및 그림 1에서와 같이 두 블록의 블록화 현상을 제거한다. 그리고 필터링을 수행하기 전 그림 2와 같이 블록 경계 부분에 간단한 블록화 판별을 한다. 즉, 필터링 영역에 있는 현재 블록과 인접 블록들의 평균값, m_1 및 m_2 차이가 2 이상일 경우에만 필터링을 수행한다. 표 I의 4는 불연속적인 에지의 계단형 잡음을 없애기 위하여 복잡한 블록 경계상 두 화소값을

$$m = \frac{|p_7 - p_8|}{4} \tag{5}$$

$$\begin{cases} p_7 = p_7 - m, p_8 = p_8 + m, & \text{if } p_7 > p_8 \\ p_7 = p_7 + m, p_8 = p_8 - m, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

으로 조정함으로써 블록 간 에지를 연속적으로 만들어 준다. 여기에 p_7 및 p_8 은 블록 경계면에서 각각 7번째와 8번째 화소의 밝기값이다.

3. 블록 내 필터링

에지 블록 내에서 생길 수 있는 링잉잡음을 제거하기 위하여 CH, CV 및 CVH로 분류된 블록에 대한 에지맵을 구한 후, 에지맵에 근거하여 3×3 SAF을 수행한다.

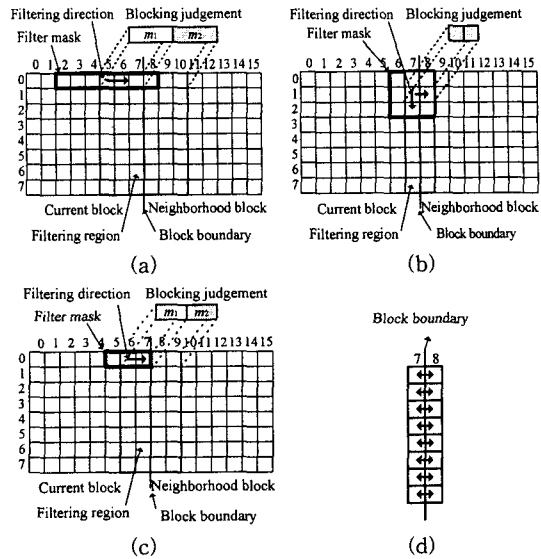


그림 2. 네 가지 블록 필터링과 간단한 블록화 현상 판별. (a) 1D 7탭 필터링, (b) 2D 3탭 필터링, (c) 1D 3탭 필터링, 및 (d) 블록 경계의 두 화소값 조정

Fig. 2. Four block filtering and simple discrimination of blocking artifacts (a) 1D 7tab filtering, (b) 2D 3tab filtering, (c) 1D 3tab filtering, and (d) pixel adjustment on block boundary.

SAF 마스크로는 현재 화소의 가중치를 8로 두고, 나머지 화소들의 가중치를 모두 1로 둔다. 먼저 CH, CV, 및 CVH에 대하여 소벨 연산자를 적용한 후, 이 값을 실험적으로 구한 문턱값과 비교하여 실제 에지와 링잉 현상으로 발생된 에지를 구분하여 에지맵을 만든다. 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 기법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 그리고 식 (2)에서 사용된 $h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{21}, h_{22}, h_{23}$, 및 h_{24} 을 각각 1, 0.5, 0.2, 1, 1, 0.5, 및 0.2의 값으로 사용하였다. 먼저 정지영상에 대한 실험에서는 512×512 화소 크기의 LENA 영상과 BOAT 영상에 대하여 Baseline JPEG 기반으로 부호화된 영상을 사용하였다. 정지 영상에 대한 실험 결과에서는 표 III에서와 같이 압축률이 높아질수록 제안한 방법이 부호화된 영상과 기존의 방법들보다 0.05~0.3 dB의 개선이 있음을 알 수 있다. 그리고 압축률이 18:1로 부호화된 LENA 영상은 그림 2에서처럼 높은 압축률로 인하여 블록 내부의 질감이 많이 없어졌고 평탄한 영역에서 격자 잡음 및 에지 영역 부근에서 계단형 잡음이 눈에 띄게 보이며, 눈 주위에 유사 에지 형태의 링잉 잡음을 볼 수 있다. 그러나 제안한 방법의 결과 영

상에서는 블록 내부의 질감을 복구되지는 못하나 양자화 잡음이 눈에 띄이지 않음을 볼 수 있다.

동영상에 대한 실험에서는 MPEG TM5 기반으로 GOP는 12, I/P 프레임 거리는 3, 초당 25 프레임, 그리고 순차 주사 방식으로 FOOTBALL 영상의 30 프레임을 1 Mbps 및 1.5 Mbps으로 부호화하였다. 제안한 방법에서는 각 프레임별로 매크로 블록 단위의 양자화 변수값을 이용하여 블록 분류의 문턱값을 결정하였다. 동영상에 대한 실험 결과에서는 표 IV와 같이 평균 PSNR이 기존의 방법보다 0.05~0.1 dB 향상됨을 알 수 있었다. 다른 영상에 대한 실험 결과에서도 제안한 방법이 기존의 방법들보다 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

표 III. JPEG 부호화된 영상에 대한 후처리 실험의 PSNR
Table III. PSNR of postprocessing on JPEG decoded images.

Test image	af	Compression ratio	PSNR [dB]			
			Decoded image	Ramamurthi	Kim and Park	Proposed method
LENA	32	15:1	32.52	32.58	32.70	32.76
	48	18:1	31.31	31.50	31.68	31.77
	62	20:1	30.74	31.00	31.18	31.24
BOAT	32	15:1	33.26	33.22	33.39	33.57
	48	18:1	31.86	32.01	32.19	32.29
	62	21:1	30.88	31.13	31.29	31.37

표 IV. 동영상에 대한 후처리 실험의 평균 PSNR
Table IV. Average PSNR of postprocessing on MPEG decoded images.

Test sequences	Average PSNR [dB]		
	Decoded sequences	Kim	Proposed method
FOOTBALL 1Mbps	28.23	28.28	28.30
FOOTBALL 1.5Mbps	30.16	30.17	30.20

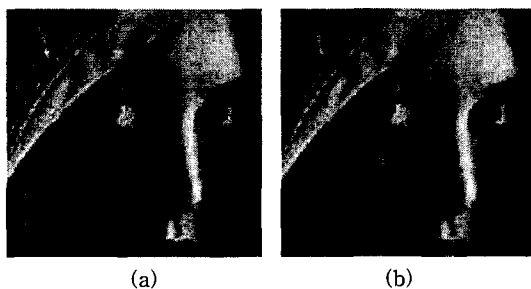


그림 3. (a) JPEG 부호화된 영상과 (b) 제안한 방법에 의하여 후처리된 영상
Fig. 3. (a) JPEG decoded image and (b) result image of the proposed method.

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 세가지의 적응적인 필터링을 블록 경계면에 수행하고, 복잡한 특성의 블록 내에서는 에지맵을 이용한 SAF을 수행한다. 실험 결과로부터 다양한 영상에 대하여 기존의 방법보다 PSNR 측면에서는 유사하지만, 주관적 화질 측면에서는 보다 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Nonlinear space-variant postprocessing of block coded images," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, no.5, pp. 1258~1268, Oct. 1986.
- [2] H. C. Kim and H. W. Park, "Signal adaptive postprocessing for blocking effects reduction in JPEG image," in *Proc., ICIP.*, vol. 2, pp. 41~44. 1996.
- [3] 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, pp. 156~160, Feb. 1999.
- [4] T. Kasezawa, "Blocking artifacts reduction using discrete cosine transforms," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 43, no. 1, pp. 48~55, Feb. 1997.
- [5] Y. Yang, N. Galatsanos, and A. Katsaggelos, "Projection-based spatially adaptive reconstruction of block-transform compressed images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 896~908, July 1995.
- [6] 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.
- [7] 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, Sys, Video Technol.*, vol. 8. no. 3, pp. 253~257, June 1998.
- [8] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *IEEE Trans. Consum. elect.*, vol. 38, no. 1, pp. xviii~xxxiv, Feb. 1992.
- [9] Motion Picture Experts Group, "MPEG test model 5 draft revision 2," *ISO-IEC JTC1/SC29/WG11 /602*, Nov. 1993.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1992.