
DCT 기반 압축 영상의 화질 개선을 위한 적응적 후처리 기법

김중호, 박상현, 강의성

순천대학교

Adaptive Postprocessing Technique for Enhancement of DCT-coded Images

Jongho Kim, Sanghyun Park, Euisung Kang

Sunchon National University

E-mail : jhkim@sunchon.ac.kr

요 약

본 논문에서는 블록 기반 DCT (Discrete Cosine Transform)에 의한 압축 영상의 화질을 개선하기 위한 적응적 후처리 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 1차원의 비교적 간단한 디블록킹 필터 (deblocking filter)와 2차원의 방향성 기반 화질 개선 필터를 연속적으로 적용하는 형태로 이루어져 있다. 먼저, 영상의 국부 통계적 특성에 따라 적응적인 임계값을 설정하여 1차원 디블록킹 필터를 적응적으로 적용한다. 1차원 필터링을 수행한 후 블록간의 연속성을 향상시켜 인지되는 화질을 향상시키기 위하여 업데이트 과정을 수행하게 된다. 이후, 실제 에지(edge) 및 텍스처(texture) 정보를 보존하면서 에지 주위의 링잉 현상(ringing effects) 및 블록의 교차점에 존재하는 불연속 현상을 제거하기 위하여 2차원 방향성 기반 화질 개선 필터를 적용한다. 실험 결과 제안한 알고리즘은 기존의 다양한 화질 개선을 위한 후처리 기법에 비해 높은 PSNR을 나타내면서 우수한 주관적 화질 결과를 보인다.

ABSTRACT

This paper addresses an adaptive postprocessing method applied in the spatial domain for block-based discrete cosine transform (BDCT) coded images. The proposed algorithm is designed by a serial concatenation of a 1D simple smoothing filter and a 2D directional filter. The 1D smoothing filter is applied according to the block type, which is determined by an adaptive threshold. It depends on local statistical properties, and updates block types appropriately by a simple rule, which affects the performance of deblocking processes. In addition, the 2D directional filter is introduced to suppress the ringing effects at the sharp edges and the block discontinuities while preserving true edges and textural information. Comprehensive experiments indicate that the proposed algorithm outperforms many deblocking methods in the literature, in terms of PSNR and subjective visual quality evaluated by GBIM.

키워드

적응적 후처리 기법, 디블록킹 필터, 2차원 방향성 필터, 화질 개선

1. 서 론

블록 기반 DCT는 정지 영상 압축을 위한 JPEG[1] 및 다양한 동영상 압축을 위한 MPEG[2], [3]과 H.26x 표준을 비롯한 다양한 압축 기법에서 널리 사용되는 변환 기술이다. 블록 기반 DCT를

이용하여 부호화된 영상에는 필연적으로 블록킹 현상, 링잉 현상 등의 잡음이 발생하게 되는데, 이는 블록과 블록 사이의 상관도를 고려하지 않고 고주파 영역의 계수를 양자화에 의해 제거함으로써 발생된다. 이러한 잡음들은 인간 시각에 매우 민감해 압축 화질의 열화를 심각하게 느낄

수 있는 요소로써 특히 저 비트율 영상에서는 효과적인 방법을 이용하여 제거해야 한다.

압축 과정에서 화질 열화를 일으키는 이러한 잡음을 제거하기 위하여 많은 기법들이 제안되었는데, 그 중에서 복호된 영상에 대해 블록 주위에 지역 통과 필터를 적용하는 후처리 기법이 압축 방법에 관계없이 적용할 수 있어 현실적으로 가장 유용한 방법이다. 이러한 방법에서는 지역 통과 필터의 특성상 영상이 흐려지는 현상이 발생할 수 있어 영상의 국부 특성을 구분하여 각 특성에 맞는 필터를 적응적으로 적용하는 방법이 매우 중요해진다.

또 다른 후처리 방식은 POCS (projections onto convex sets) 이론을 기반으로 반복 적용하는 기법을 들 수 있는데, 이는 영상의 특성에 적응적으로 적용된다는 장점이 있다[4], [5]. 그러나 POCS 기반의 후처리 방식은 반복 적용 알고리즘의 특성 및 DCT/IDCT의 반복 계산으로 인해 계산량이 매우 높아지는 단점이 있다.

본 논문에서는 반복 연산을 수행하지 않고 공간영역에서 후처리 방식으로 블록킹 현상을 효과적으로 제거하는 알고리즘을 제안한다. 블록 경계에서의 블록킹 현상을 제거하기 위하여 1차원 필터를 설계하고, 이를 블록의 복잡도에 따라 강도를 달리하면서 적용하는 방법을 제안한다. 또한 블록 내부 에지 주위의 링잉 현상을 효과적으로 제거하기 위하여 2차원 형태의 방향성 필터를 적용하는 방법을 제안한다.

II. 제안하는 후처리 기법

제안하는 알고리즘을 설명하기 위하여 $M \times N$ 크기의 영상 I 를 래스터 스캔(raster scan)하여 $MN \times 1$ 의 벡터로 표현하면, $I = [I_0, I_1, \dots, I_{MN-1}]$ 으로 나타낼 수 있다. 이는 다시 식 (1)과 같이 $(M/K) \times N$ 의 픽셀 벡터로 나누어 처리할 수 있다.

$$f_j = \{I_w, w = K \lfloor j \rfloor - \lfloor K/2 \rfloor, \dots, K \lfloor j \rfloor + \lfloor K/2 \rfloor - 1\} \quad (1)$$

이때 K 는 디블록킹 과정을 위한 픽셀 수이고 8×8 블록 단위로 처리되었을 경우 $K = 8$ 로 선택한다. 또한 한 행(row)에 위치하는 모든 픽셀 벡터를 C_h 라 하면, $C_h = \{f_j, j = (M/8)(h-1)+1, (M/8)(h-1)+2, \dots, (M/8)h-1\}$ 로 표현할 수 있고, 이에 따라 $I = \{C_h, h = 1, 2, \dots, N\}$ 으로 나타낼 수 있다.

2.1 임계값 생성

적절한 임계값을 선택하는 것은 블록킹 현상을 포함하는 픽셀 벡터를 추출하는데 영향을 미치므로 매우 중요하다. 임계값을 특정 상수로 정의하면 가장 간단하겠지만, 각 블록 경계에서 열화 정도가 다르기 때문에 적절한 디블록킹 과정을 수행하기 어렵게 된다. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 식 (2)와 같이 픽셀 벡터의 통계적 특성에 의해 임계값을 정의한다.

문에서는 식 (2)와 같이 픽셀 벡터의 통계적 특성에 의해 임계값을 정의한다.

$$T = \frac{1}{9} \sum_{y=-1}^1 \sum_{x=-1}^1 e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_j^2} \quad (2)$$

이때 σ_j^2 은 픽셀 벡터의 국부 분산을 의미한다.

2.2 복잡도 분류

블록 경계 근처에서의 블록킹 현상을 제거하기 위하여 블록의 복잡도에 따라 필터의 강도를 달리하여 적용하게 된다. 제안하는 알고리즘에서는 픽셀 벡터의 복잡도를 두 개의 임계값, a 와 β 에 의해 저 복잡도(LM), 중간 복잡도(MM), 고 복잡도(HM)의 세 가지로 나누어 각 복잡도에 따라 적절한 필터를 적용하게 된다.

픽셀 벡터에 대한 복잡도는 식 (3)과 같이 정의한다.

$$v = \sum_{k=Kj-\lfloor K/2 \rfloor}^{Kj+\lfloor K/2 \rfloor-2} X(|I_{k+1} - I_k|) \quad (3)$$

이때 $k \in [-\mu, \mu]$ 이면 $X(k) = 1$, 그렇지 않으면 $X(k) = 0$ 이다. 식 (3)에 의하여 v 가 a 보다 작으면 픽셀 벡터는 저 복잡도, a 와 β 사이에 있으면 중간 복잡도, β 보다 크면 고 복잡도 모드로 판정하게 된다.

2.3 디블록킹 필터

가장 간단한 형태의 필터인 저복잡도 필터는 다음과 같이 정의한다.

$$f'_k = \begin{cases} f_k + offset/\alpha_k, & k = Kj - \lfloor K/2 \rfloor, \dots, Kj - 1 \\ f_k - offset/\alpha_k, & k = Kj, \dots, Kj + \lfloor K/2 \rfloor - 1 \end{cases} \quad (4)$$

이때 지역 통과 필터의 계수 $\{\alpha_k\} = \{8, 5, 3, 2, 2, 3, 5, 8\}$ 은 실험적으로 최적의 결과를 나타내도록 결정하였다. 식 (2)에 의해서 블록 내부의 에지는 잘 판별할 수 있지만, 블록 경계에서의 에지는 블록킹 현상과 구분하기 어렵다. 따라서 이러한 점을 개선하기 위하여 임계값 $T = \lambda T$ 을 도입하고, $offset < T$ 일 경우에는 식 (4)를 적용하고, 그렇지 않을 경우에는 다음 식 (5)의 필터를 적용한다.

$$f'_k = \begin{cases} f_k + offset/\rho_k, & k = Kj - 1 \\ f_k - offset/\rho_k, & k = Kj \end{cases} \quad (5)$$

이때 실험적으로 결정된 $\{\rho_k\} = \{4.9, 4.9\}$ 를 사용한다.

중간 복잡도 필터는 식 (6)과 같이 정의한다.

$$f'_k = \begin{cases} \frac{1}{K-2} \left(f_k + \sum_{t=k-\lfloor K/2 \rfloor + 1}^{k+\lfloor K/2 \rfloor - 1} f_t \right), \\ \text{offset} < T \text{ and} \\ k = K_j - \lfloor K/2 \rfloor + 1, \dots, K_j + \lfloor K/2 \rfloor - 4 \\ \frac{1}{4} \left(f_k + \sum_{t=k-1}^{k+1} f_t \right), \\ \text{offset} < T \text{ and} \\ k = K_j - \lfloor K/2 \rfloor, \dots, K_j + \lfloor K/2 \rfloor - 3 \\ f_k - \text{offset}/\alpha_k, \\ \text{offset} \geq T \text{ and } k = K_j - 1, K_j \end{cases} \quad (6)$$

마지막으로 고복잡도 필터를 식 (7)과 같이 정의한다. 고복잡도 필터의 정의에서 국부 픽셀 차이를 반영하기 위해서 또 다른 임계값 T_1 을 이용한다.

$$f'_{K_j-1} = \begin{cases} (f_{K_j-2} + 2f_{K_j-1} + f_{K_j})/4, \\ \text{if } |f_{K_j-1} - f_{K_j-2}| < T_1 \\ f_{K_j-1} + \text{offset}/\omega, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$f'_{K_j} = \begin{cases} (f_{K_j-1} + 2f_{K_j} + f_{K_j+1})/4, \\ \text{if } |f_{K_j} - f_{K_j+1}| < T_1 \\ f_{K_j} + \text{offset}/\omega, \text{ otherwise} \end{cases}$$

이때 $T_1 = 0.5T$, $\omega = 4$ 는 실험적으로 결정하였다.

2.4 방향성 필터

에지 주위의 링잉 현상은 PSNR 수치로는 크게 나타나지 않지만, 실제 인간 시각에는 화질 열화가 매우 민감하게 나타나는 잡음이다. 강한 에지가 블록 내에 위치하고 있으면 주로 블록 경계에 적용하는 디블록킹 필터로는 이러한 링잉 현상을 제거하기 어렵기 때문에 이러한 에지 주위에 2차원 형태의 방향성 필터를 적용하게 된다. 본 논문에서는 에지의 방향성 정보에 따라 링잉 현상을 제거하기 위한 3×3 크기의 2차원 필터를 다음과 같이 정의한다.

$$f'(i, j) = \sum_{(x, y) \in D} w(x, y) f(i+x, j+y) \quad (8)$$

이때 $D = \{(x, y), -1 \leq x \leq 1, -1 \leq y \leq 1\}$, $w(x, y) = \exp(-|f(i+x, j+y) - f(i-x, j-y)|)$ 이고, $(x, y) \in D = D - \{(0, 0)\}$, $w(0, 0) = 1 - \sum_{(x, y) \in D} w(x, y)$ 이다.

III. 실험 및 결과

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 다양한 비트율로 압축된 테스트 영상, Lena, Barbara, Peppers에 대해 제안한 후처리 기법을 적용하고 그 결과를 기존의 방법과 비교하였다. 성능 평가는 두 가지 기준에 의해 수행하였는데, 객관적 성능을 평가하기 위하여 PSNR을 측정하

였고, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 또한 주관적 화질을 평가하기 위하여 GBIM (generalized block-edge impairment metric)[9]을 측정하여 표 2에 나타내었다.

표 1과 표 2의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이, 제안한 알고리즘은 기존의 후처리 알고리즘과 비교하여 대부분의 영상 및 비트율에서 PSNR 수치 뿐만 아니라 GBIM으로 표현되는 주관적 화질에서도 우수함을 알 수 있다. 그림 1은 0.25bpp로 압축된 Lena 영상에 대해 기존의 후처리 기법과 제안한 기법을 적용한 결과를 나타낸다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 제안한 후처리 기법이 영상의 에지를 보존하면서 블로킹 현상을 효과적으로 제거함을 알 수 있다.

V. 결 론

제안한 알고리즘은 다양한 비트율로 압축된 영상에 대해서 블로킹 현상을 효과적으로 제거함을 다양한 실험 결과 확인하였다. 제안한 알고리즘은 1차원의 평활화 필터와 2차원의 방향성 필터를 연속적으로 적용하는 형태로 구성되었다. 1차원 평활화 필터는 블록 경계를 포함하는 픽셀 벡터의 복잡도에 따라 다른 강도의 필터를 적용함으로써 에지는 보존하면서 블로킹 현상을 효과적으로 제거하였다. 또한 블록 내에 존재하는 에지 주위의 링잉 현상은 주관적 화질을 떨어뜨리는 대표적인 원인인데, 제안한 방법에서는 2차원 방향성 필터를 적용함으로써 이를 효과적으로 제거하였다. 실험 결과 기존의 후처리 기법과 비교하여 제안한 알고리즘은 PSNR 및 주관적 화질을 나타내는 GBIM 수치가 우수함을 보이고 있다.

감사의 글

본 논문은 교육과학기술부 및 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구 결과임.

참고문헌

- [1] W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell, JPEG Still Image Data Compression Standard, Van Nostrand, New York, 1993.
- [2] ISO/IEC 13818-2, "Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video," International Standard, 1994.
- [3] ISO/IEC 14496-2, "Information Technology - Coding of Audio-Visual Objects: Visual," International Standard, 1998.
- [4] D. C. Youla, "Generalized image restoration

by the method of alternating orthogonal projections," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 25, no. 9, pp. 694-702, Sept. 1978.

- [5] D. C. Youla and H. Webb, "Image reconstruction by the method of convex projections, Part I - Theory," IEEE Trans. Med. Imaging, vol. MI-I, no. 2, pp. 81-94, Oct. 1982.
- [6] P. List, A. Joch, J. Lainema, G. Bjontegaar, and M. Karczewicz, "Adaptive deblocking filter," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 13, no. 7, pp. 614-619, Jul. 2003.
- [7] A. Zakor, "Iterative procedures for reduction of blocking artifacts in transform image coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, no. 2, pp. 91-95, Mar. 1992.
- [8] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete cosine transform compressed images," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 3, no. 6, pp. 421-432, Dec. 1993.
- [9] H. R. Wu and M. Yuen, "A generalized block-edge impairment metric for video coding," IEEE Signal Processing Letters, vol. 4, no. 11, pp. 317-320, Nov. 1997.

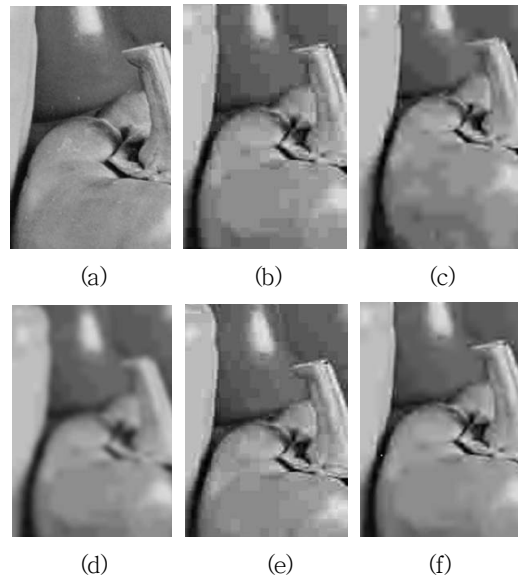


그림 1. Pepper 영상(0.22bpp)에 대한 후처리 기법의 적용 결과. (a) 원 영상, (b) JPEG 압축 영상, (c) 방법 [6]의 결과, (d) 방법 [7]의 결과, (e) 방법 [8]의 결과, (f) 제안한 방법에 의한 결과

표 1. 다양한 비트율에 대한 PSNR 결과

Images	bitrate (bpp)	PSNR (dB)				
		JPEG	[6]	[7]	[8]	Proposed
Lena	0.17	27.32	28.19	28.01	27.32	28.63
	0.25	30.40	31.16	30.92	29.17	31.34
	0.36	32.95	33.02	33.23	30.83	33.37
Barbara	0.20	23.31	23.63	23.71	23.33	23.84
	0.33	25.44	25.56	25.63	24.61	25.74
	0.54	28.25	28.25	28.29	26.13	28.30
Peppers	0.18	27.28	27.50	27.02	28.23	28.57
	0.25	30.18	30.75	28.58	30.61	31.11
	0.37	32.47	32.59	30.59	32.54	32.82

표 2. 다양한 비트율에 대한 GBIM 결과

Images	bitrate (bpp)	GBIM				
		JPEG	[6]	[7]	[8]	Proposed
Lena	0.17	4.676	1.614	1.227	1.614	1.344
	0.25	2.817	1.605	1.233	1.605	1.113
	0.36	1.948	1.417	1.180	1.417	0.916
Barbara	0.20	1.300	1.633	1.164	1.633	1.300
	0.33	1.017	1.486	1.149	1.486	1.017
	0.54	0.856	1.289	1.121	1.289	0.856
Peppers	0.18	1.359	1.489	1.105	1.489	1.359
	0.25	1.104	1.455	1.108	1.455	1.104
	0.37	0.960	1.424	1.085	1.424	0.960