

논문 2011-48CI-1-8

블록 기반 영상 압축을 위한 부호화 결함 감소

(Coding Artifact Reduction for Block-based Image Compression)

위 영 철*

(Youngcheul Wee)

요 약

본 논문에서는 블록 이산 코사인 변환 (block discrete cosine transformation, BDCT) 부호화 영상에서 발생하는 구획화 결함 (blocking artifact)과 링잉 결함 (ringing artifact)을 제거하기 위하여 양방향 필터 (bilateral filter)를 이용한 새로운 후처리 방법을 제안하였다. 양방향 필터에서 파라미터 선택은 필터링 결과에 큰 영향을 주는 중요한 문제로 본 논문에서는 양방향 필터의 파라미터를 효과적으로 선택하는 방법을 제시하였다. 실험 결과는 제안된 방법이 부호화 결함을 효과적으로 개선함을 PSNR, MSDS, SSIM의 수치로 보였다.

Abstract

In this paper, we propose a new post-processing technique that removes blocking and ringing artifacts in Block discrete cosine transformation (BDCT)-coded images using bilateral filtering. The selection of filter parameters is a key issue in the application of a bilateral filter because it significantly affects the result. An efficient method of selecting the bilateral filter parameters is presented. The experimental results show that the proposed approach alleviates the artifacts efficiently in terms of PSNR, MSDS, and SSIM.

Keywords: 부호화 결함 감소, 양방향 필터, 블록 기반 영상압축

I. 서 론

구획화 결함 (blocking artifact)과 링잉 결함 (ringing artifact)은 JPEG, MPEG-x, H.26x와 같은 BDCT 부호화 방법에 의해 압축된 영상에서 자주 나타난다. 높은 압축률을 위해 BDCT에서 저밀도 양자화 (coarse quantization)를 하는 경우, 인접한 블록 사이에서 구획화 결함이 발생하고 강한 에지 주변에서 링잉 결함이 발생한다. 후처리 방법은 낮은 비트율의 BDCT 부호화 영상의 시각적 화질 (visual quality)을 개선하기 위해 사용된다. 후처리 방법은 크게 공간기반 (spatial domain) 방법과 DCT기반 방법으로 나눌 수 있다^[1]. 공간 기반 방법에서는 결함이 발생한 화소 (pixel)를 스무

딩 (smoothing)함으로써 결함을 감소시키는 필터링 방법이 사용될 수 있다. 그러나 이는 오버블러링 (overblurring)으로 인해 영상의 세부 정보가 손실될 수 있다^[2].

양방향 필터는 영상 처리와 컴퓨터 비전에서 가장 많이 사용되는 스무딩 필터 중의 하나이다^[3]. 전통적인 스무딩 필터와 달리, 양방향 필터는 화소 간의 기하적 근접성 (geometric closeness)과 광도적 유사성 (photometric similarity)을 모두 고려하여 적응적으로 영상을 스무딩한다. 따라서 노이즈 감소와 디지털 부호화 결함 감소와 같은 영상 복구를 위한 에지 보존 스무딩 방법 (edge-preserving smoothing)을 제공한다^[4].

양방향 필터링이 화소 값을 적응적으로 바꿀 수 있으나 필터링 파라미터의 값이 기하적 근접성과 광도적 유사성에 비해 너무 큰 경우, 여전히 오버블러링이 일어날 수 있다. 본 논문에서는 낮은 비트율부터 높은 비트

* 정회원, 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부
(Ajou University)

접수일자: 2010년12월7일, 수정완료일: 2011년1월7일

을까지 넓은 범위의 비트율에 대해 부호화 영상의 세부 정보를 유지하면서 구획화 결함과 링잉 결함을 효과적으로 제거하기 위한 양방향 필터의 파라미터 선택 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 양방향 필터의 파라미터 선택방법에 대해 기술한다. III장에서는 실험 결과를 보이며 IV장에서는 결론에 대해 기술한다.

II. 양방향 필터링

구획화 결함은 DCT 블록의 경계선에서 생기나 링잉 결함은 강한 에지 주변에 생긴다. 구획화 결함을 줄이기 위해서는 스무딩 필터를 DCT 블록의 경계선에 적용할 수 있다. 그러나 링잉 결함을 제거하기 위해 에지 주변에 스무딩 필터를 적용하면 강한 에지가 부드럽게 변한다. 양방향 필터는 파라미터를 적절하게 선택하게 되면 영상의 세부 정보를 보존하면서 구획화 결함과 링잉 결함을 제거할 수 있다. 본 장에서는 양방향 필터를 소개하고 양방향 필터의 파라미터 선택 방법에 대해 자세히 설명한다.

1. 양방향 필터와 파라미터

p 와 q 를 화소의 좌표로 두고 I_p 와 I_q 를 p 와 q 에 있는 화소의 밝기 값으로 둔다. 이때, p 에 있는 화소에 대한 양방향 필터의 출력 값은 다음과 같이 정의된다.

$$J_p = \frac{1}{k(p)} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(\|I_p - I_q\|) I_q \quad (1)$$

여기서, Ω 는 이웃 영역에 있는 모든 화소의 좌표를 포함한 집합이며 $k(p)$ 는 정규화(normalization)를 위한 항이며 G_{σ} 는 이차원 가우시안 커널(Gaussian kernel)이다.

$$k(p) = \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(\|I_p - I_q\|). \quad (2)$$

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \quad (3)$$

양방향 필터는 공간 파라미터(spatial parameter) σ_s 와 범위 파라미터(range parameter) σ_r 에 의해 조절되

며 이는 입력영상에 적용되는 필터링 량을 의미한다. 즉, 공간 파라미터 σ_s 는 화소 p 로부터의 거리에 따라 화소 q 의 영향력을 조절하며 범위 파라미터 σ_r 는 화소 p 와의 밝기 값 차이에 따라 화소 q 의 영향력을 조절한다. Zhang과 Gunturk^[5]는 영상 디노이징(deenoising)에서 양방향 필터의 파라미터 선택에 관한 실험을 수행하여 이에 대한 몇 가지 지침을 제시하였으며 파라미터의 자동선택 문제에 대해서는 향후 연구로 언급하였다.

2. 적응형 파라미터 선택

Zhang과 Gunturk^[5]는 σ_r 의 효과가 σ_s 의 효과보다 더 중요하다는 것을 발견하였다. 따라서 본 논문에서는 σ_s 는 영상의 모든 화소에 대해 고정된 값을 사용하나 σ_r 은 각 화소마다 다른 값을 적절하게 선택한다. σ_s 의 고정 값은 다음과 같이 결정된다. 많은 영상을 포함한 실험 데이터에 대해 σ_s 의 값을 달리하여 실험을 한 후, 실험 데이터에 속한 영상들의 평균 제곱오차(mean square error, MSE)를 계산하여 그 값이 가장 작은 σ_s 를 선택한다. 실험 시, σ_s 는 1부터 시작하여 1씩 증가시켜 10까지 실험하였으므로 실험 데이터에 속한 영상에 대해 최적화된 값을 모든 영상에 대한 고정 값으로 사용하게 된다. σ_s 의 고정 값을 결정하기 위해 221장의 영상을 사용하였으며 낮은 QP와 높은 QP의 영상을 구별하여 식 (4)와 같이 σ_s 를 결정하였다. 각 영상에 대해 비슷한 방법을 사용하여 개별적으로 최적화된 σ_s 를 결정할 수 있으나 개별적으로 최적화된 σ_s 값을 사용한 경우와 모든 영상에 대해 고정된 σ_s 값을 사용한 경우를 실험해 보았을 때 거의 비슷한 결과를 얻었다. 전자의 경우, 221장의 입력 영상에 대한 결과영상의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)는 25.02였으며 후자의 경우는 25.07이었다.

$$\sigma_s = \begin{cases} 3, & \text{if } QP < 10 \\ 2, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

하나의 영상 내에서 영역마다 결함의 정도가 다르므로 각 영역에 대해 다른 값의 범위 파라미터 σ_r 을 사용하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 각 화소마다 다이아몬드 모양 필터링 구경(diamond shaped aperture)^[6]의 평균 절대 그래디언트(Mean Absolute Gradient, MAG)^[7]를 사용하여 범위 파라미터 σ_r 을 결정한다(그림 1). 다이아몬드 모양 필터링 구경은 영역 내에서 세

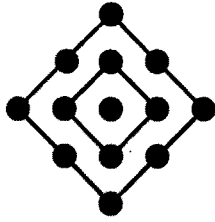


그림 1. 다이아몬드 모양 필터링 구경

Fig. 1. 5x5 Diamond aperture sliding window.

부 정보를 측정하기 위한 화소 정렬 방법을 제공한다. 정렬된 화소들 간의 화소 값 차이를 이용하여 MAG는 영역 내의 세부 정보를 계산할 수 있다. MAG가 작으면 화소 값의 변화가 적은 평평한 영역이며 MAG가 크면 영역 내에 강한 에지가 있거나 화소 값의 변화가 복잡하다.

각 픽셀에 대해 그림 1과 같은 다이아몬드 모양 구경 영역 내의 정렬된 화소를 $X = x_1, x_2, \dots, x_k$ 라고 할 때, MAG는 다음 식과 같이 계산된다.

$$MAG = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} |X(0) - X(i)| \quad (5)$$

이때, $X(i)$ 는 x_i 의 밝기 값을 나타낸다. 계산된 MAG 값은 화소 주변의 세부 정보량을 나타내며 이를 이용하여 σ_r 을 결정한다.

블록 경계의 부호화 결함을 효과적으로 감소시키기 위해 화소를 세 가지로 분류하여 다른 범위 파라미터 값을 사용하였다. 부호화 결함은 블록 경계를 따라 발생하는 구획화 결함에 의해 블록의 꼭지점에 집중되는 경향이 있으므로 화소의 위치에 따라 식 (6)과 같이 범위 파라미터 값을 결정한다. 이때, B 는 블록을 의미한다.

$$\sigma_{r_{ij}} = \begin{cases} \frac{\delta_r}{2} + MAG, & \text{if } p_i \text{ lies on a corner of } B. \\ \frac{\delta_r + MAG}{2}, & \text{if } p_i \text{ lies on a boundary of } B. \\ \delta_r, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

이때, δ_r 은 실험적으로 선택된 상수 값이며 입력 영상의 QP에 따라 다르게 선택되었다. 본 논문의 실험에서는 δ_r 의 값으로 입력 영상의 화질이 $QP < 10$ 인 경우에는 25가 $QP \geq 10$ 인 경우에는 10이 사용되었다. 식 (6)은 부호화 결함이 큰 부분에 더 큰 값이 사용되도록 한다.

III. 실험

본 장에서는 제시된 방법에 의한 실험 결과를 보인다. 제시된 방법의 성능은 PSNR과 경사도의 평균 제곱차(Mean Square Difference of Slope, MSDS)를 이용하여 수치적으로 측정되었다. 부호화 결함을 가진 영상을 만들기 위해 JPEG 압축 표준을 이용하였다. 표 1과 표 2는 256x256 크기의 Lena 영상에 대해 JPEG 압축, Srivastava의 방법^[8, 10], 본 논문에서 제시한 방법에 의

표 1. Srivastava의 방법에 의한 PSNR (256x256 Lena 영상)

Table 1. PSNR obtained by Srivastava's method. (256X256 Lena images).

bpp	JPEG	방법 1	PSNR 증가	방법 2	PSNR 증가
0.254	25.109	25.468	0.359	25.589	0.480
0.305	26.379	26.647	0.268	26.739	0.360
0.350	27.338	27.550	0.212	27.621	0.283
0.371	27.701	27.915	0.214	27.979	0.278
0.409	28.337	28.510	0.173	28.537	0.200
0.447	28.844	29.004	0.160	29.022	0.178
0.481	29.268	29.386	0.118	29.385	0.117
0.515	29.636	29.737	0.101	29.720	0.084
0.543	29.936	30.026	0.090	30.005	0.069
평균			0.188		0.228

표 2. 제시된 방법에 의한 PSNR (256x256 Lena 영상)

Table 2. PSNR obtained by proposed method. (256X256 Lena images).

bpp	JPEG	본 논문의 방법	PSNR 증가
0.279	24.615	25.549	0.934
0.319	26.095	26.964	0.869
0.357	27.054	27.819	0.765
0.392	27.692	28.216	0.524
0.429	28.203	28.757	0.554
0.459	28.605	29.156	0.551
0.492	28.946	29.506	0.56
0.525	29.269	29.851	0.582
0.545	29.529	30.118	0.589
평균			0.659

표 3. 제시된 방법에 의한 PSNR (512x512 Lena 영상)

Table 3. PSNR measures for JPEG and the proposed method (512X512 images)

영상	bpp	JPEG	본 논문의 방법
lena	0.40	32.074	32.554
goldhill	0.40	30.326	30.716
barbara	0.50	28.335	28.736
baboon	0.80	25.254	25.452
Splash	0.33	34.418	35.461

표 4. 제시된 방법에 의한 MSDS (512x512 Lena 영상)

Table 4. MSDS measures for JPEG and the proposed method (512X512 images).

영상	bpp	JPEG	본 논문의 방법
lena	0.40	174.55	144.35
goldhill	0.40	229.15	168.68
barbara	0.50	404.49	358.13
baboon	0.80	656.12	539.85
Splash	0.33	104.17	76.33

표 5. 제시된 방법에 의한 SSIM 인덱스 (512x512 Lena 영상)

Table 5. SSIM index measures for JPEG and the proposed method (512X512 images).

영상	bpp	JPEG	본 논문의 방법
lena	0.40	0.945	0.953
goldhill	0.40	0.938	0.941
barbara	0.50	0.943	0.946
baboon	0.80	0.940	0.938
Splash	0.33	0.930	0.941

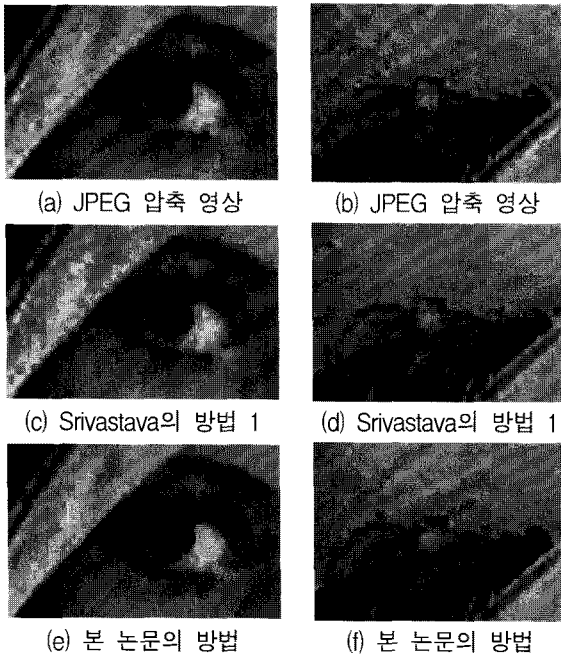


그림 2. 확대된 Lena 영상 (0.361 bits/pixel)
Fig. 2. Enlarged photographs of Lena image compressed at 0.361 bit/pixel (a) and (b) JPEG decoded image, (c) and (d) results from Srivastava's method (Method 2), (e) and (f) result from the propose method

해 계산된 PSNR 값을 나타낸다. Srivastava의 방법^[8]이 Srivastava의 방법^[10]보다 나은 결과를 보이므로 Srivastava의 방법^[8]의 결과와 비교한다. 본 논문에서

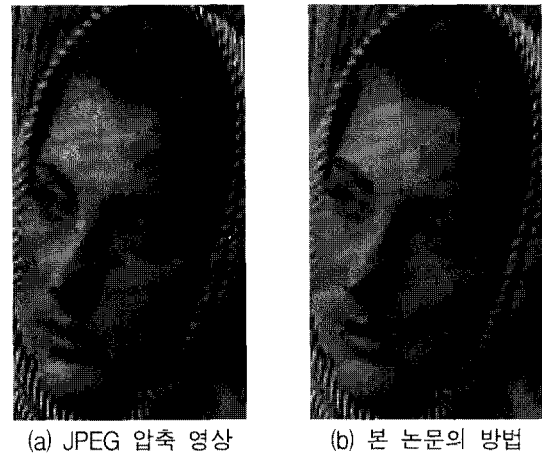


그림 3. Barbara 영상 (QP = 20)
Fig. 3. Barbara image compressed at 0.4 bit/pixel. (a) JPEG decoded (b) result from the propose method

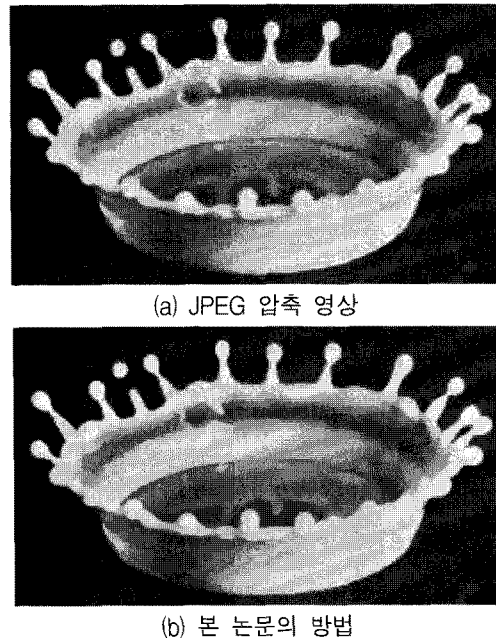


그림 4. Splash 영상 (QP = 20)
Fig. 4. Splash image compressed at 0.224 bit/pixel. (a) JPEG decoded (b) result from the propose method

사용된 Lena 영상과 JPEG 압축 방법이 Srivastava의 방법에서 사용된 것과 다를 수 있어 PSNR을 직접 비교하기는 어렵다. 대신, 각 방법에 의해 PSNR이 얼마나 증가되었는지를 비교하였다. 이때, 본 방법의 결과가 Srivastava의 방법에 비해 PSNR 증가분이 대략 세 배 정도이다. 즉, 제시된 방법이 Srivastava의 방법과 JPEG 압축 표준의 결과에 비해 모든 경우에서 좋은 성능을 얻었음을 알 수 있다. 본 실험에서는 PSNR과

MSDS와 함께 압축되지 않은 영상과의 구조 유사성 (structural similarity, SSIM) 인덱스^[9]도 측정하였다. 표 3, 표 4, 표 5는 512x512 크기의 여러 가지 영상에 대해 각각 PSNR, MSDS, SSIM 인덱스를 측정한 결과들이다. 그림 2는 Lena 영상에 대한 시각적 화질의 비교 결과이다. 그림 2를 통해 양방향 필터가 시각적 화질을 효과적으로 개선함을 알 수 있다. 그림 3과 그림 4는 Barbara 영상과 Splash 영상에 대한 시각적 화질 비교이다. 이 결과에서 제시된 방법을 통해 구획화 결함과 링잉 결함이 모두 감소되었음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 BDCT 부호화 영상을 위한 효과적인 결함 감소 방법을 제시하였다. 양방향 필터에서는 최적화된 범위 파라미터의 값이 화소 주변의 세부 정보와 관련되어 있으므로 다이아몬드 모양 구경을 이용하여 세부 정보를 계산하여 범위 파라미터 계산에 사용하였다. 여러 가지 화질의 입력 영상들을 이용한 실험에서는 본 논문에서 제시된 방법이 범위 파라미터 값을 적절하게 결정하여 BDCT 부호화 영상의 부호화 결함을 효과적으로 제거함을 PSNR, MSDS, SSIM 인덱스 값의 개선과 시각적 화질 비교를 통해 보였다.

참 고 문 헌

- [1] C. Wang, P. Xue, W. Lin, W. Zhang, and S. Yu, "Fast edge-preserved postprocessing for compressed images," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 9, pp. 1142-1147, Sep. 2006.
- [2] J. G. Apostolopoulos and N. S. Jayant, "Postprocessing for very low bit-rate video compression," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 8, no. 8, pp. 1125-1129, Aug. 1999.
- [3] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color image," in *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision*, 1998, pp. 839-846.
- [4] S. Wan, M. Mrak, and E. Izquierdo, "Perceptually adaptive joint deringing - deblocking filtering for scalable video coding," in *2nd International Mobile Multimedia Communications Conference*, 2006.
- [5] M. Zhang and B. K. Gunturk, "Multi-resolution bilateral filtering for image denoising," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 17, pp. 2324-2333, Dec. 2008.
- [6] H. Hu and G. de Haan, "Trained bilateral filter and application to coding artifacts reduction," in *Proc. IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 1, 2007, pp. 325-328.
- [7] L. Shao, "Simultaneous coding artifacts reduction and sharpness enhancement for block-based compressed images and videos," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 23, pp. 463-470, 2008.
- [8] V. Srivastava, "A DCT based algorithm for blocking artifact reduction from DCT coded images," in *Proc. IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2006, pp. 2815-2820.
- [9] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.
- [10] V. Srivastava, "A SVD based scheme for post processing of DCT coded images" *Electronics Letters on Computer Vision and Image Analysis* 8(3): 1-14, 2009.

저 자 소 개



위 영 철(정회원)

1982년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과 학사 졸업.

1984년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과 석사 졸업.

1989년 12월 State Univ. of NY at Albany 전산학과 박사 졸업.

1990년 3월~1995년 4월 삼성종합기술원 수석연구원.

1995년 5월~1998년 2월 현대전자 기획부장.

1998년 3월~현재 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 교수.

<주관심분야 : 영상처리, 정보압축, 컴퓨터 그래픽스>