

DCT영역에서의 시그마 필터설계와 응용

Design of Sigma Filter in DCT Domain and its application

김명호*, 엄민영**, 최윤식***

Myoungho Kim, Minyoung Eom, Yoonsik Choe

Abstract - In this work, we propose new method of sigma filtering for efficient filtering and preserving edge regions in DCT Domain. In block-based image compression technique, the image is first divided into non-overlapping 8X8 blocks. Then, the two-dimensional DCT is computed for each 8X8 block. Once the DCT coefficients are obtained, they are quantized using a specific quantization table. Quantization of the DCT coefficients is a lossy process, and in this step, noise is added. In this work, we combine IDCT matrix and filter matrix to a new matrix to simplify filtering process to remove noise after IDCT in spatial domain. for each 8X8 DCT coefficient block, we determine whether this block is edge or homogeneous region. If this block is edge region, we divide this 8X8 block into four 4X4 sub-blocks, and do filtering process for sub-blocks which is homogeneous region. By this process, we can remove blocking artifacts efficiently preserving edge regions at the same time.

Key Words : Sigma Filter, DCT, Blocking Artifacts, Seprable Linear Filter

1. 서론

JPEG, MPEG-1, MPEG-2, H.264 등 대부분의 영상압축 표준은 블록 기반 DCT(Discrete Cosine Transform)을 이용한다. 블록 기반 압축에서 DCT계수들을 독립적으로 양자화함으로써 블록 내 및 블록 간에는 화질의 열화가 발생할 수 있다. 대표적인 화질 열화로는 블록화 현상과 링잉 현상이 있다. 블록화 현상은 양자화를 수행한 후 블록간에 에너지가 불연속적이 되어 발생하는 잡음이고 링잉현상은 고주파 성분이 양자화에 의하여 부적절하게 삭제되어 외곽선 주위에 주기적인 유사 외곽선들이 나타나는 현상이다.

이러한 잡음들을 제거하기 위하여 일반적으로 필터링을 수행한다. 필터링을 수행하는 방법으로는 공간영역 및 주파수 영역에서의 DCT계수의 추정방법, 웨이브릿 영역에서의 필터링 방법등이 있다.

Lee가 제안한 시그마 필터는 공간영역에서 블록내 패턴을 유지하면서 블록화 현상을 제거한다. 영상의 본분에서 시그마를 이용하여 외곽선 영역과 평활영역을 판별한 다음 외곽선 영역은 보존하고 평활영역은 저역 필터링을 적용하여 잡음을 제거한다. 본 논문에서는 블록 기반 압축 영상에서 8X8영역으로 분할하고 각 블록을 DCT한 다음 양자화를 취하여 나온 노이즈를 공간 영역에서 필터링하기 위해 IDCT한 다음 컨볼루션하는 과정을 단순화 하여 필터링과 IDCT를 하나의 행렬로 만들어 DCT계수들을 필터링한다. 또한 8X8

블록으로 필터링함으로써 발생하는 외곽선 영역에서의 블록을 세분화 하기 위해 8X8 DCT계수들을 DCT영역에서 4X4블록으로 나누어 다시 필터링을 수행한다.

2. 공간 영역에서의 시그마 필터

공간 영역에서 이미지 복원을 위하여 비교적 쉬운 구현 때문에 필터링이 많이 사용되어지고 있다. 특히 평균 필터는 매우 간단하고 비교적 쉬운 성능을 나타낸다. 하지만 평균 필터는 외곽선 영역에서 블러링 현상을 발생시킨다. 한편 시그마 필터는 가우시안 노이즈에 대해 좋은 성능뿐 아니라 좋은 외곽선 보존 특성을 갖는다. 일반적으로 이미지 데이터는 식(1)과 같이 표현될 수 있다

$$y(i, j) = x(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

여기서 $y(i, j)$ 는 잡음이 포함된 이미지, $x(i, j)$ 는 원래의 이미지, $n(i, j)$ 는 잡음으로 가정한다. 시그마 필터는 기본적으로 현재의 픽셀을 $(2m+1) \times (2n+1)$ 범위의 윈도우를 중심 픽셀의 고정된 시그마 범위안에 있는 픽셀들을 평균값으로 대체한다. 이 알고리즘은 식(2)로 표현될 수 있다.

$$x^*(i, j) = \frac{\sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} \delta_{kl} y(k, l)}{\sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} \delta_{kl}} \quad (2)$$

$$\delta_{kl} = \begin{cases} 1 & |y(k, l) - y(i, j)| \leq \Delta \\ 0 & |y(k, l) - y(i, j)| > \Delta \end{cases}$$

여기서 $x^*(i, j)$ 는 시그마 필터이고 시그마 범위 Δ 는 어떤 값에 고정된다. 시그마 평균은 단순 평균보다 더 좋은 외곽선 보존 특징을 갖는다.

저자 소개

- * 準會員 : 延世大學 電氣電子學科 碩士課程
- ** 正會員 : 延世大學 電氣電子學科 博士課程
- ***正會員 : 延世大學 電氣電子學科 教授·工博

3. 제안하는 방법

3.1 DCT 영역에서의 평균과 분산

한 블록이 외곽선 영역인지 아닌지는 그 블록의 분산을 적도로 판별할 수가 있다[5]. 공간영역에서 얻을 수 있는 블록의 픽셀 값들의 분산을 DCT 영역에서 직접적으로 구할 수 있다. $N \times N$ 블록의 공간영역에서의 분산은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E(x^2) - \{E(x)\}^2 \\ &= \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} x_{ij}^2 - \left(\frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} x_{ij} \right)^2 \\ &= \frac{1}{N \times N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} X_{u,v}^2 - \left(\frac{X_{0,0}}{N} \right)^2 \\ &= \frac{1}{N \times N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} X_{u,v}^2, \quad (u,v) \neq (0,0) \end{aligned} \quad (3)$$

$N \times N$ 블록에서의 DC값은 공간영역에서의 평균값의 N 배가 된다는 사실과 Parseval의 정리에 의해 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 $X_{u,v}$ 는 u,v 번째 DCT계수를 의미한다. 식(3)은 DC성분을 제외한 $N \times N$ DCT 계수들의 제곱의 합이다. 이것은 AC계수들의 제곱의 합에 상수 $\frac{1}{N \times N}$ 을 곱한 것과 같다. 모든

계수들에 상수 $\frac{1}{N \times N}$ 이 곱해지기 때문에 이 상수를 고려하지 않고도 블록간의 상대적인 분산의 크기 비교가 가능하다. 계산량의 감소를 위해 식(4)을 이용할 수 있다.

$$\sigma \approx \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} |X_{u,v}|, \quad (u,v) \neq (0,0) \quad (4)$$

3.2 DCT블록과 부 블록간의 공간적 관계

DCT블록과 그것의 부블록들의 공간적 관계를 이용하여 DCT영역에서 N 개의 요소를 가지는 M 개의 부블록들로부터 MN 개의 요소를 가지는 하나의 블록을 만들 수 있다. 일차원의 경우, MN 개의 요소를 가지는 한 블록 B 는 식(5)와 같다.

$$B = \{x_i\}, \quad i=0, \dots, MN-1 \quad (5)$$

이것은 N 개의 요소를 가지는 M 개의 연속적인 섹션 T_p 로 나눌 수 있다($p=0, \dots, M-1$). $C(u)$ 를 B 의 DCT계수라고 하고 $C_p(u)$ 를 $T_p(u)$, ($u=0, \dots, N-1$)의 DCT계수라고 한다면 식(6)과 같이 표현된다.

$$C(u) = \sqrt{\frac{2}{MN}} \alpha(u) \sum_{i=0}^{MN-1} x(i) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2MN}\right) \quad (u=0, 1, \dots, MN-1) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_p(u) &= DCT(T_p) \\ &= \sqrt{\frac{2}{MN}} \alpha(u) \sum_{i=0}^{N-1} x(pN+i) \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2MN}\right) \quad (7) \\ & \quad (p=0, \dots, M-1, \quad u=0, 1, \dots, MN-1) \end{aligned}$$

여기서 $T_p = x(pN+i)$ 이고, $\alpha(u)$ 는 식(8)과 같다.

$$\alpha(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2}}, & \text{for } u=0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

식(6)의 MN 개의 요소를 가지는 DCT계수블록 $C(u)$ 는 다음과 같이 N 개의 요소를 가지는 $C_q(u)$ 에 의해 표현될 수 있다 ($q=0, \dots, M-1$).

$$C(u) = \sqrt{\frac{1}{M}} \sum_{q=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} \frac{\alpha(u) a(u, qN+l)}{\alpha(l)} C_q(l) \quad (9)$$

여기서 $a(u)$ 는 다음 관계에 의해 구할 수 있다.

$$b_2(k, t) = \sum_{j=0}^{MN-1} a(k, j) b(j, t) \quad (10)$$

여기서 $b_2(k, t)$ 는 $N \times M$ 기저이고 $b(k, t)$ 는 N 의 크기를 갖는 기저 $b_1(k, t)$ 를 $N \times M$ 으로 확장한 것이다. 식(11)의 $C(u)$ 는 식(11)과 같이 표현된다.

$$C(u) = \sqrt{\frac{1}{M}} \sum_{j=0}^{MN-1} a^*(u, j) C_{\mathbf{L}/\mathbf{M}}(j \bmod N) \quad (11)$$

여기서 $a^*(u, j)$ 는 식(12)와 같다.

$$a^*(u, j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{2}} a(u, j), & u=0, (j \bmod N) \neq 0 \\ \sqrt{2} a(u, j), & u \neq 0, (j \bmod N) = 0 \\ a(u, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

이것은 쉽게 이차원으로 확장되어 DCT블록과 그것의 부블록간의 관계를 나타낼 수 있다.

3.3 DCT 영역에서의 외곽선 보존 시그마 필터

DCT 블록에서 외곽선 영역을 분산값을 이용하여 판단할 수 있다.

$\sigma \geq T$: 외곽선 보존

$\sigma < T$: LPF (Low Pass Filter)

여기서 T 는 임계치이다.

4. Application

4.1 DCT Domain에서의 필터링

입력 영상을 $x(m, n)$, 필터링된 영상을 $y(m, n)$ 이라 하고 2D 필터계수를 $f(k, l)$ 라 하자. [1]과 같이 $f(k, l)$ 는 separable하다고 가정한다. 즉 $f(k, l) = v_k h_l$ 로 분해할 수 있다. 또한 필터 계수가 선형 위상 (linear phase) 특성을 유지하도록 대칭하다고 가정한다. 즉 $v_{-k} = v_k$, $h_{-l} = h_l$ 가 된다.

공간 영역에서 으로 필터링된 결과는 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_{ij} = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 V_m X_{i+m, j+n} H_n^t, \quad (\text{공간 영역}) \quad (13)$$

C 를 DCT 기저함수로 하면 DCT가 정규직교하므로 $C^{-1} = C^t$ 가 된다. $X_{m,n}$ 와 $Y_{m,n}$ 을 각각 $X_{m,n}$, $Y_{m,n}$ 의 DCT이다. 즉 $X_{m,n} = C X_{m,n} C^t$, $Y_{m,n} = C Y_{m,n} C^t$ 이다. 따라서 식(14)로 표현된다.

$$Y_{ij} = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 V_m X_{i+m, j+n} H_n^t, \quad (\text{DCT 영역}) \quad (14)$$

V_m 과 H_n 는 DCT 영역 필터링 매트릭스이다.

$$Y_{i,j} = C^t Y_{i,j} C = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 C^t V_m X_{i+m, j+n} H_n^t C \quad (15)$$

$$= \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 V_m X_{i+m, j+n} H_n^t$$

여기서 $V_m = C^t V_m$, $H_n^t = H_n^t C$ 로 정의한다. 즉 필터링과 IDCT연산을 동시에 수행할 수 있다.

4.2 제안된 시그마 필터를 이용한 적응적 deblocking filtering

본 논문에서는 DCT하고 양자화된 비트스트림(bit stream)을 가지고 8X8block으로 나눈 DCT블록 계수들을 가지고 각 블록 별로 분산을 구한 다음 분산이 임계치보다 크면 외곽선 영역으로 판단하고 임계치 보다 작으면 평활영역으로 판단한다. 8X8블록이 평활영역으로 판단되면 4X4블록 4개로 나누어 각 블록별로 다시 분산을 구하여 외곽선 영역과 평활영역을 구분한다. 8X8블록이 평활영역이면 8X8 LPF를 적용하고 4X4 블록이 평활영역이면 4X4 LPF를 적용한다. 그리고 외곽선 영역이면 필터링을 취하지 않고 보존한다.

5. 실험 및 결과

그림1은 Lena영상을 가지고 실험한 결과이고 그림2는 Lori영상을 가지고 실험한 결과이다. (a)는 Lena영상과 Lori영상을 각각 0.3bpp 로 압축한 영상이다. (b)는 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 DCT 영역에서 입력 영상의 DCT계수들과 컨볼루션 (convolution) 매트릭스를 이용하여 필터링과 IDCT를 동시에 수행하는 방법으로 블록화 현상을 감소시킨 실험 결과이다. (c)는 [6]에서 제안한 방법으로 실험한 결과이다. [6]의 방법에 비해 블록화 현상이 눈에 띄게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

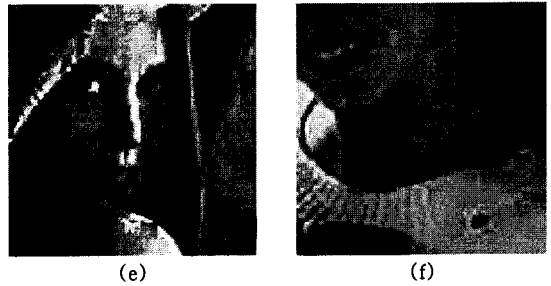
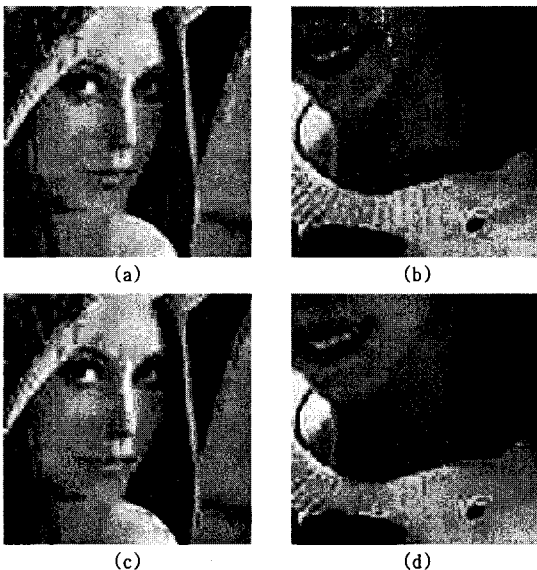


그림 1. (a)(b)Lena와 Lori의 0.3bpp영상 (c)(d) 제안한 방법으로 필터링한 영상 (e)(f) [6]에서 제안한 방법

6. 결론

본 논문에서는 DCT 영역에서 적응적으로 필터링을 취하는 방법에 대해 설명하였다. 제안한 방법을 사용하여 DCT 영역에서 각 블록이 외곽선 영역인지 평활영역인지를 판별하고 외곽선 영역은 그대로 보존하면서 평활영역에 대해서만 필터링을 적용하는 블록화 감소 필터를 구현하여 블록화 현상을 효율적으로 감소시킬 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 또한 필터링과 IDCT 연산을 한번에 수행함으로써 수행 속도면에서도 우수한 성능을 보여 주었다.

참 고 문 헌

- [1] Changhoon Yim "An Efficient Method for DCT Domain Seperable Symmetric 2D Linear Filtering".IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol 14 pp517-521, April 2004
- [2] Neri Merhav and Renato Kresch "Approximat Convolution Using DCT Coefficient Multipliers" IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8 no. 4 pp 378-385 August 1998
- [3] L.Alparone,S.Baronti,A.Garzelli " A Hybrid Sigma Filter for Unbiased and Edge-Preserving Speckle Reduction" Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol.2 pp 1409-1411 July 1995
- [4] Jianmin Jiang and Guocan Feng, "The Spatial Relationship of DCT Coefficients Between a Block and Its Sub-blocks", Signal Processing, IEEE Trans on Vol.50, Issue:5,pp.1160 - 1169, May 2002,
- [5] Bo Shen and Ishwar K. Sethi, "Direct feature extraction from compressed images", in IS&T SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, vol. pp.33-49 1995-1996,
- [6] Ismaeil R. Rabab K. Ward "Removal of DCT blocking Artifacts Using DC and AC Filtering",Communications, Computers and signal Processing, 2003. PACRIM. 2003 IEEE Pacific Rim Conference on , vol.1,pp 229-232 Aug. 2003