

전처리 필터와 DCT의 결합을 이용한 잡음이 있는 영상의 효과적인 블록기반 부호화 기법

김 성 득(金 成 得), 장 성 규(張 成 圭), 김 명 준(金 明 俊), 나 중 범(羅 鍾 範)
한국과학기술원 전기 및 전자공학과
전화 : (042) 869-5434 / 팩스 : (042) 869-8360

Efficient Block-Based Coding of Noisy Images by Combining Pre-Filtering and DCT

Sung Deuk Kim, Sung Kyu Jang, Myung Jun Kim, and Jong Beom Ra
Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology
E-mail : {sdkim,skjang,mjkim}@issserver.kaist.ac.kr, jbra@ee.kaist.ac.kr

Abstract

A conventional image coder, such as JPEG, requires not only DCT and quantization but also additional pre-filtering under noisy environment. Since the pre-filtering removes camera noise and improves coding efficiency dramatically, its efficient implementation has been an important issue. Based on well-known noise removal techniques in image processing fields, this paper introduces an efficient scheme by adapting a noise removal procedure to block-based image coders. By using two-dimensional DCT factorization, the proposed image coder has only a modified DCT and a VLC, and performs pre-filtering and quantization simultaneously in the modified DCT operation.

I. 서론

DCT기반 압축 기법들은 정지 영상 및 동영상 압축에 널리 사용되어 왔다. 하지만 이들의 실제구현에 있어서 취득 영상의 잡음 제거는 좋은 부호화 성능을 위해 절대적으로 필요하다. 이러한 전처리 과정은 공간영역에서의 필터링이 가장 일반적이지만, 이 방식은 공간영역의 convolution으로 인해 많은 연산량을 차지하는 단점이 있다[1]. 잡음 제거를 위한 필터링을 보다 고속으로 처리하기 위해 블록기반의 영상 변환을 이용하는 여러가지 필터링 기법들이 제안되어 왔다[2]. 특히, DCT는 영상 부호화에서 많이 사용되기 때문에 DCT영역의 필터링은 많은 관심을 끌어들였다.

DCT영역에서의 필터링을 기반으로 본 논문은 블록기반의 부호화과정시 전처리 필터링과 고속 DCT를 동시에 수행하는 효과적인 구조를 제안한다. 고속 전처리 필터링과 DCT를 위한 효과적인 부호화기 구조를

위해 우리는 approximated generalized Wiener filter [3]와 하나의 고속 이차원 DCT factorization 기법[4]을 이용한다. 전처리 필터링, DCT, 양자화, VLC가 순차적으로 실행되는 전통적인 부호화 방식과 달리, 제안하는 방식은 단지 변형된 고속 DCT연산과 VLC과정으로만 이루어진다. 전처리 필터링과 양자화 과정이 변형된 DCT kernel로 흡수되기 때문에 계산량 측면에서는 DCT연산 과정만으로 전처리 필터링과 양자화 과정을 동시에 수행하게 된다.

먼저 approximated generalized Wiener filter를 이용하기 위해 영상을 first order separable stationary Markov 모델로 가정하였다. Approximated generalized Wiener filtering과 양자화 과정은 각 블록 DCT계수에 상수를 곱하는 과정으로 간주된다. [4]의 고속 이차원 DCT도 마지막 단계에서 floating-point상수와의 곱셈이 수행된다. 제안하는 방식의 주된 아이디어는 전처리 필터링과정, 양자화과정, DCT과정에서 필요한 곱셈연산을 하나의 DCT영역 곱셈과정으로 취합하는데 있다. 여기서 사용하는 DCT는 JPEG부호화시 필수적이고 비록 DCT kernel이 변형되지만 고속 DCT 특성은 그대로 유지하게 되므로 전체 부호화과정을 고속으로 수행하게 된다.

II. 제안하는 기법

그림 1(a)는 전통적인 JPEG 부호화기의 블록도이다. 전통적인 방식에서는 전처리 과정, DCT, 양자화 과정, VLC과정이 순차적으로 수행된다. 그림 1(a)과는 달리, 제안된 방식은 그림 1(b)와 같이 단지 변형된 DCT와 VLC로 구성된다. 이 장에서는 approximated generalized Wiener filtering과 Winograd factorization에 대해서 간단히 살펴보고 제안된 방식을 소개한다.

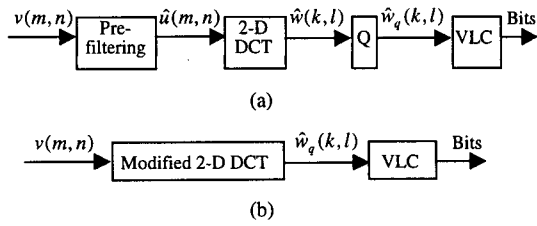


그림 1. JPEG 부호화기의 전체적인 블록도; (a) 전통적인 방식 (b) 제안하는 방식.

Fig. 1. Overall system block diagrams of a JPEG encoder; (a) a conventional scheme and (b) the proposed scheme.

1. Approximated Generalized Wiener Filtering

Generalized Wiener filtering은 DCT와 같은 빠른 unitary 변환을 이용해 Wiener filter를 근사적으로 구현하는 하나의 효과적인 방법이다[2]. 먼저 v, u, \hat{u} 는 각각 획득된 잡음이 있는 영상 블록, 원하는 영상 블록, 필터링된 영상 블록을 의미하는 row-ordered column vectors 라고 가정한다. A 는 하나의 unitary transform이다. 여기서 $A = (C_8 \otimes C_8)$ 이며 C_8 과 \otimes 은 각각 8x8 DCT matrix 와 Kronecker product operator를 의미한다. 블러(blur)가 없다고 가정할 때, generalized Wiener filtering 는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{u} = A^T [ALA^T] A v \equiv A^T \tilde{L} w, \quad (1)$$

여기서 $\tilde{L} = ALA^T$, $L = [I + \sigma_n^2 R^{-1}]^{-1}$, $R = E[uu^T]$, $w = Av$, 이며 σ_n^2 는 noise variance를 나타낸다.

\tilde{L} 는 많은 unitary transform에 대해서 거의 대각행렬로 나타나므로, (1)은 다음과 같이 근사화 된다.

$$\hat{u} = A^T \hat{w}, \quad (2)$$

여기서 $\hat{w} = \tilde{L} w \approx [Diag \tilde{L}] w$ 이다. (2)를 8x8 블록에

대응시키면,

$$\hat{w}(k,l) \approx \tilde{p}(k,l) w(k,l), \quad (3)$$

여기서 $\tilde{p}(k,l) \equiv \frac{1}{1 + \sigma_n^2 / \psi(k,l)}$ 이고 $\psi(k,l)$ 는

ARA^T 의 대각 성분이다.

그림 2는 zero mean 영상 모델에서의 approximated generalized Wiener filtering의 블록도이다. Covariance matrix R 을 결정하기 위해 수평 수직 방향으로 같은 correlation coefficient ρ 를 가지는 이차원 first-order separable stationary Markov process 을 영상 모델로 사용하였다. 즉,

$$r(m,n) = \sigma^2 \rho^{|m|+|n|}, \quad (4)$$

여기서 σ^2 는 원영상 신호의 variance 이다. 그림 2에서 approximated generalized Wiener filtering은 실제적으로는 DCT계수에 곱셈연산을 수행한 것임을 알 수 있다.

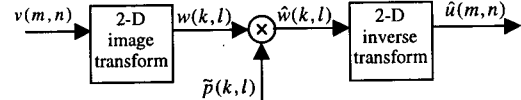


그림 2. Approximated generalized Wiener filtering 블록도.

Fig. 2. Block diagram of approximated generalized Wiener filtering.

2. 이차원 DCT의 Winograd Factorization

Winograd DCT는 하나의 잘 알려진 고속 DCT알고리즘이다[4]. Winograd factorization에 따르면, 8x8 DCT matrix C_8 는 다음과 같이 factorization될 수 있다.

$$C_8 = P_8 D_8 R_{8,1} M_8 R_{8,2}, \quad (5)$$

여기서 $R_{8,2} = \tilde{B}_1 B_2 B_3$, $\gamma(k) = \cos(2\pi k / 32)$, D_8 는 8x8 diagonal matrix로서 그 대각 성분값들은 좌측 상단

$$\begin{aligned}
 P_8 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, &
 R_{8,1} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, &
 M_8 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \gamma(4) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma(4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma(6) & \gamma(2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\gamma(2) & \gamma(6) \end{bmatrix}, \\
 \tilde{B}_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, &
 B_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, &
 B_3 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

의 값부터 해서 각각 $2\gamma(0)$, $\gamma(4)$, $\gamma(6)$, $\gamma(2)$, $\gamma(5)$, $\gamma(1)$, $\gamma(3)$, $\gamma(7)$ 의 1/2 배이다. P_8 , $R_{8,1}$, M_8 , \tilde{B}_1 , B_2 , B_3 는 페이지 하단에 정리되어 있다. 여기서 $P_8 D_8$ 연산은 $R_{8,1} M_8 R_{8,2}$ 의 결과에 한번의 곱셈을 더 수행하는 것으로 쉽게 구현될 수 있다.

(5)는 이차원 DCT로 확대될 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} C_8 \otimes C_8 &= (P_8 D_8 R_{8,1} M_8 R_{8,2}) \otimes (P_8 D_8 R_{8,1} M_8 R_{8,2}) \\ &= ((P_8 D_8) \otimes (P_8 D_8)) \otimes ((R_{8,1} M_8 R_{8,2}) \otimes (R_{8,1} M_8 R_{8,2})) \quad (6) \\ &= (P_8 \otimes P_8)(D_8 \otimes D_8)(R_{8,1} \otimes R_{8,1})(M_8 \otimes M_8)(R_{8,2} \otimes R_{8,2}) \\ &= PDR_1 MR_2 \end{aligned}$$

(6)에서는 이차원 곱하기 연산 $(P_8 \otimes P_8)(D_8 \otimes D_8)$ 가 $(R_{8,1} \otimes R_{8,1})(M_8 \otimes M_8)(R_{8,2} \otimes R_{8,2})$ 를 뒤따른다.

3. 제안된 구조

제안된 방식에서는 approximated generalized Wiener filtering과 고속 이차원 DCT factorization를 사용한다. DCT를 generalized Wiener filtering을 위한 unitary transform으로 사용하기 때문에 Wiener filtering을 위한 IDCT는 JPEG 부호화기의 DCT에 의해 상쇄된다. 이것은 generalized Wiener filtering이 JPEG 부호화기에 적용될 때 단지 한번의 DCT연산만이 필요함을 의미한다. 또한 Wiener filtering을 위한 floating-point 곱하기 연산은 고속 이차원 Winograd DCT의 마지막 단계에 있는 곱하기 연산과 합쳐질 수 있다. 양자화 과정을 곱하기와 rounding-off로 보면 곱하기 부분은 이 단일 곱하기 연산에 합쳐지고 rounding-off는 변형된 DCT연산의 마지막 단계가 되어서 그 결과가 VLC단으로 넘어가게 된다.

그림 3은 영상 부호화를 위해 제안된 방식의 전체적

블록도를 보여준다. 이 그림에서 알 수 있듯이 이차원 DCT영역에서의 floating-point 단일 곱하기 연산으로 인해 generalized Wiener filtering과 양자화로 인한 연산량 증가는 나타나지 않는다. 단, 이러한 방식은 row-column방식의 일차원 DCT연산으로는 불가능한데 이것은 일반적으로 Wiener filter가 separable covariance 함수에 대해서도 separable하지 않고, 또한 separable하지 않은 양자화 테이블산이 많이 사용되기 때문이다. 즉, non-separable한 곱하기 연산이 필요한 고속 이차원 DCT를 위해 (5)대신 (6)이 사용되어야 한다.

최종적으로 변형된 이차원 DCT kernel은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\tilde{A} = (\tilde{Q}\tilde{P}P)R_1 MR_2 \quad (7)$$

그리고 이러한 전처리 필터링과정을 거쳐서 양자화된 DCT계수는 다음으로부터 직접 구해진다.

$$\hat{w}_q = ((\tilde{Q}\tilde{P}P)R_1 MR_2)v = \tilde{A}v \quad (8)$$

여기서 \tilde{Q} , \tilde{P} 는 각각 64×64 diagonal 행렬로서 각각 양자화 곱셈성분과 generalized Wiener filtering을 위한 곱셈성분을 그 값으로 가진다.

III. 모의실험 결과

먼저, approximated generalized Wiener filtering의 성능을 검사하고 전처리 필터링된 영상을 JPEG부호화기에 적용하였다. 잡음이 있는 영상은 원영상 Lena (512x512) 시험영상에 additive white Gaussian noise를 첨가해서 얻었다. 모의실험에서는 correlation coefficient ρ 을 0.9로 noise variance는 알려져 있다고 가정하였다. 각 블록에 대해서 approximated generalized Wiener filter가 적용적으로 적용되었다.

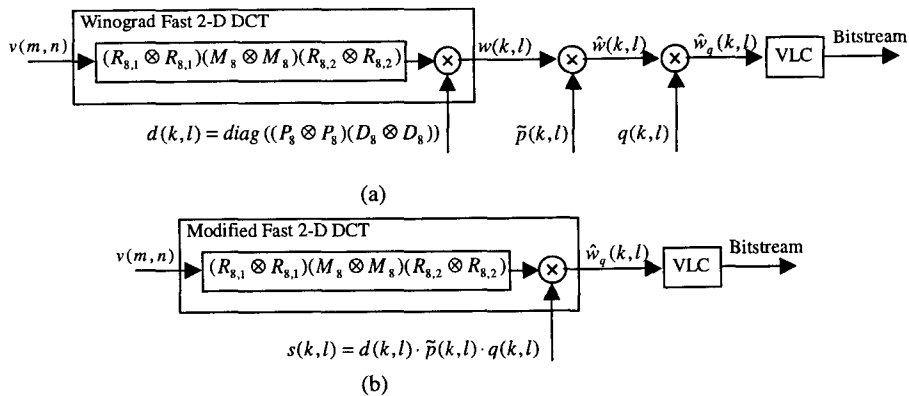


그림 3. 제안된 방식의 블록도; (a) 곱하기 연산을 합치기 전 (b) 실제 구현

Fig. 3. Block diagram of the proposed scheme; (a) before the merging of scaling and (b) actual implementation.

표 1. Lena 영상(512x512)에서 mean square error (MSE) 관점에서의 전처리 필터링 결과비교.

Table 1. Pre-filtering performance comparison of Lena image (512x512) in terms of mean square error (MSE).

Noisy images (SNR [dB])	Approximated generalized wiener pre-filtering results (MSE)
Lena (5dB)	89.8
Lena (10dB)	50.0
Lena (15dB)	27.5
Lena (20dB)	14.7

테이블 1은 다양한 SNR을 가지는 noisy영상에 대해서 approximated generalized Wiener filtering으로 전처리 필터링을 수행한 결과를 보여준다. 낮은 SNR 영상에 대해서는 블록화 현상도 보이지만 20dB이상의 SNR을 가지는 영상에 대해서는 블록화 현상을 볼 수 없다.

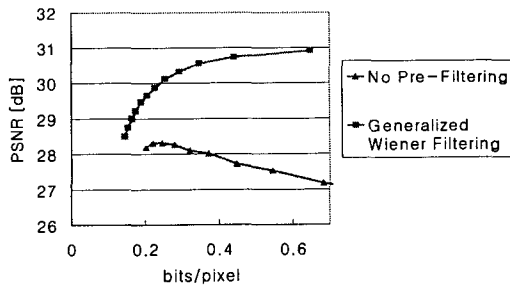


그림 4. 10dB의 SNR을 가진 noisy영상의 JPEG부호화 결과.

Fig. 4. JPEG encoding results of a noisy image with SNR of 10dB.

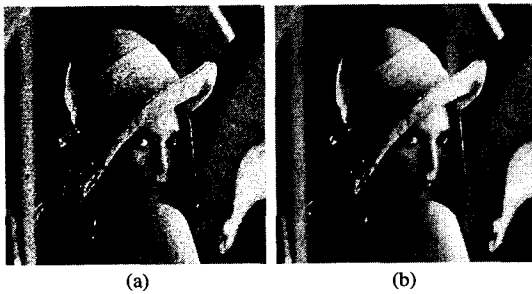


그림 5. Noisy영상(SNR=10dB)의 JPEG부호화 결과; (a) 전처리 필터링이 없을 때 (PSNR=25.6dB, 1.28bpp) (b) approximated generalized Wiener filtering 적용시(PSNR=30.7dB, 0.44bpp). 모든 경우 JPEG default 양자화 테이블 사용.

Fig. 5. JPEG encoding results of a noisy image (SNR=10dB); (a) no pre-filtering (PSNR=25.6dB, 1.28bpp) and (b) approximated generalized Wiener filtering (PSNR=30.7dB, 0.44bpp). The JPEG default quantization table is used for both cases.

그림 4는 아무런 필터링을 수행하지 않았을 때와 제안된 방식을 적용했을 때의 JPEG encoding 성능을 보여 준다. 아무런 필터링이 수행되지 않은 경우, 오히려 비트율이 증가할수록 PSNR이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 등성등성한 양자화가 필터링 효과를 주어서 잡음이 부분적으로 제거되었기 때문이다. 그림 4에서 전처리 필터링이 적용될 경우 부호화 성능이 크게 향상되는 것을 볼 수 있다. Approximated generalized Wiener filtering안에 있는 DCT연산이 결국 JPEG 부호화기에서 필요한 DCT연산, 전처리 필터링, 양자화 과정을 내부적으로 일시에 수행하기 때문에 계산량 측면에서 큰 증가는 없으면서 필터링이 없는 경우에 비해 보다 좋은 부호화 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 5는 전처리 필터링이 적용된 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서 얻어진 복원영상이다. 전처리 필터링에 소요되는 계산량 측면에서 approximated generalized Wiener filtering는 단지 블록별로 가중치 행렬을 계산해 주면 되지만 공간영역의 필터링의 경우 최소단위의 convolution연산이 필요하다.

VI. 결론

본 논문에서는 블록기반의 정지영상 압축을 위해 잡음 제거 과정을 효과적으로 정지영상 압축기에 접목시키는 방법에 대해 제안하였다. 제안된 방식은 계산량 측면에서 한번의 변형된 DCT연산을 통해 전처리 필터링, DCT, 양자화 과정을 동시에 수행할 수 있다. 이것은 approximated generalized Wiener filtering과 이차원 DCT의 factorization특성을 적절히 고려해 전처리 과정, 양자화 과정, DCT 과정에 내포되어 있는 곱하기 연산을 하나의 연산으로 통합한데서 기인한다. 구조의 단순함을 고려할 때 잡음이 있는 환경에서 저 비용의 영상 압축기를 설계할 때 유용하게 적용될 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

- [1] J. S. Lim, *Two-dimensional signal and image processing*, Prentice-Hall, 1990.
- [2] A. K. Jain, *Fundamentals of digital image processing*, Prentice-Hall, 1989.
- [3] W. K. Pratt, "Generalized Wiener Filter Computation Techniques," *IEEE Trans. Computers* C-21, pp. 636-641, July 1972.
- [4] E. Feig and S. Winograd, "Fast algorithms for the discrete cosine transform," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, no. 9, pp. 2174-2193, Sept. 1992.