

# 블록기반의 윤곽선 분류를 이용한 윤곽선 보존 영상복원 기법

이 상 광, 호 요 성  
광주과학기술원 정보통신공학부  
광주광역시 북구 오룡동 1번지

## Edge-Preserving Image Restoration Using Block-Based Edge Classification

Sang Kwang Lee and Yo-Sung Ho

Kwangju Institute of Science and Technology

1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwangju, 500-712, Korea

E-mail: sklee@kjist.ac.kr

### ABSTRACT

Most image restoration problems are ill-posed and need to be regularized. A difficult task in image regularization is to avoid smoothing of image edges. In this paper, we proposed an edge-preserving image restoration algorithm using block-based edge classification. In order to exploit the local image characteristics, we classify image blocks into edge and no-edge blocks. We then apply an adaptive constrained least squares (CLS) algorithm to eliminate noise around the edges. Experimental results demonstrate that the proposed algorithm can preserve image edges during the regularization process.

### I. 서 론

열화된 영상의 모델로부터 원영상을 복원하는 과정에서 원영상의 작은 변동이 복원된 영상이 존재하는 해의 영역에서 매우 큰 변동으로 나타날 수 있는데, 이를 Ill-Posed Problem 이라고 한다. 대부분의 영상복원 과정에서 발생하는 Ill-Posed Problem 은 징칙화 (regularization) 되어야 한다. 즉, 복원된 영상

은 해의 영역에서 영상의 부드러움과 거친 정도를 적절하게 유지해 주는 방향으로 추정되어야 하며, 이것이 징칙화의 중요한 원리이다. Tikhonov 가 제안한 기존의 징칙화 기법[1]에서 복원된 영상은 전체적으로 번짐 현상 (blurring)이 발생하기 때문에 영상의 중요한 정보를 갖는 윤곽선 영역이 흐려지는 문제점을 갖는다. 따라서, 윤곽선의 번짐을 막기 위해 사용되는 영상모델은 화소값의 변화가 적은 평탄한 영역과 그와 구별되는 윤곽선 영역으로 구성된 것으로 가정하는데, 이는 윤곽선 보존 영상복원의 기본이 된다.

기존의 윤곽선 보존 징칙화 기법은 Markov Random Field 를 이용한 방법들이 주류를 이루었다[2, 3, 4]. 이러한 부류의 기법에서 최소화 함수는 더 이상 Convex 특성을 갖지 않기 때문에 최적화 과정에서 많은 국부적인 최소값들이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Stochastic Algorithm 을 이용할 수 있으나, 이 방법은 막대한 계산량이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 블록기반의 윤곽선 분류를 통해 국부적인 영상 특성을 이용했으며, 분류된 윤곽선 정보에 따라 제약적 최적화 방법을 이용하여 영상을 복원하였다. 제안된 방법은 크게 영상블록의 윤곽선 분류와 적응 제약적 영상 복원으로 나누어 생각할 수 있다. 윤곽선 분류 과정

본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

에서는 방향성 마스크를 이용하여 전체 화소에 대한 윤곽선 방향을 조사한 후, 각 영상블록에 대한 화소의 윤곽선 방향을 계수하여 가장 큰 값을 그 영상블록의 윤곽선 방향으로 정하게 된다. 적응 제약적 영상복원 과정에서는 블록의 윤곽선 방향에 따라 방향성을 고려한 고대역 통과 필터를 사용하는 적응 제약적 최소 제곱 (constrained least squares, CLS) 방법을 통해 윤곽선이 효과적으로 보존된 영상을 복원하게 된다.

## II. 제약적 최소 제곱 방법을 이용한 영상복원

### 2.1 영상열화와 영상복원 과정

대부분의 영상처리 방법에서, 영상열화 과정은 다음과 같은 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise)이 부가된 2 차원의 선형 공간불변 시스템으로 표현될 수 있다.

$$g = Hf + n \quad (1)$$

여기서  $g$ ,  $f$ ,  $n$ 은 각각 열화된 관측영상, 원영상, 부가적 잡음을 나타내며,  $H$ 는 영상시스템의 특성을 나타내는 2 차원의 선형 공간불변 변환을 표시한다. 열화된 관측영상은 복원 필터  $G$ 를 이용하여 다음과 같이 복원영상  $\hat{f}$ 를 얻는다.

$$\hat{f} = Gg \quad (2)$$

그림 1은 영상열화 과정과 영상복원 과정의 전체적인 블록도를 보여주고 있다.

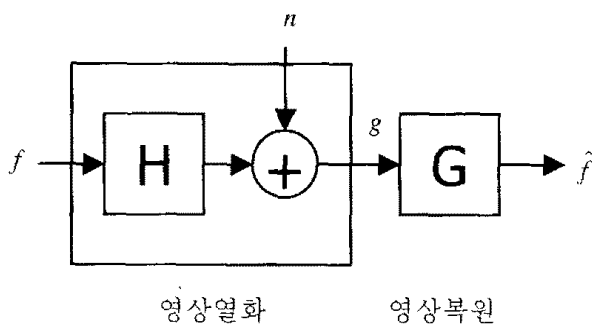


그림 1 영상열화와 영상복원 과정

### 2.2 제약적 최소 제곱 (CLS)을 이용한 영상복원

CLS 방법에서는, 원영상의 스펙트럼 정보를 사용하지 않고, 영상이 단지 대역 제한되어 있다는 조건

만 가지고 영상을 복원하는데, 그 주파수 특성은 다음과 같이 표현된다[6].

$$G_{cls}(k,l) = \frac{H^*(k,l)}{\|H(k,l)\|^2 + \lambda \|C(k,l)\|^2} \quad (3)$$

여기에서  $C(k,l)$ 은 고주파 특성을 갖는 임의의 필터를 나타내며, 이것이 분모에 위치하기 때문에 CLS 필터는 고주파를 제한하는 성격을 가짐을 알 수 있다. 상수  $\lambda$ 는 고주파 필터를 얼마나 강하게 적용할 것인가를 결정하는 매개변수이다.

식 (3)에 주어진 CLS 필터는 원영상이나 잡음의 정보를 사용하지 않고 구현이 가능하며, 단지 이차원 DFT (Discrete Fourier Transform)만이 요구되므로 막대한 계산량에 따른 복잡성을 피할 수 있다.

또한, 식 (3)으로부터 얻어지는 해는 고주파 필터의 선택에 따라 유동적으로 변하게 된다. 따라서, 적절한 고주파 필터를 선택하여 Ill-Posed Problem을 효과적으로 제거할 수 있다.

## III. 제안된 영상복원 방법

본 논문에서 제안한 영상복원 방법은 크게 두 단계의 과정으로 구성된다. 첫번째 단계는 열화된 영상의 국부적인 영상 특성을 이용하기 위해 윤곽선에 따라 영상블록을 분류하는 단계이고, 두번째 단계는 블록기반의 윤곽선 분류를 기반으로 방향성을 가진 CLS 방법을 이용하여 영상을 복원하는 단계이다.

### 3.1 블록기반의 윤곽선 분류

국부적인 영상 특성을 이용하기 위한 블록기반의 윤곽선 분류는 다음과 같은 과정으로 수행된다. 우선 관측영상에 Sobel 연산자를 사용하여 얻은 영상의 윤곽선에 방향성 마스크를 적용시켜 최대값을 갖는 마스크의 방향을 각 화소에 대한 윤곽선 방향으로 정한다.

$N_0$ ,  $N_{45}$ ,  $N_{90}$ ,  $N_{135}$ 을 각각  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  방향의 윤곽선에 대한 계수기라 하고 평탄한 블록과 윤곽선이 포함된 블록을 구별하기 위한 임계값  $THS$ 를 정한다. 각 영상블록에 대해 화소의 윤곽선 방향에

대응하는 계수기를 1씩 증가시킨 후, 다음과 같은 과정을 통해 영상블록을 분류한다.

- ①  $N_0, N_{45}, N_{90}, N_{135} \leq THS$  이면, 영상블록은 평탄한 블록으로 분류된다.
- ② ①을 만족하지 않는다면, 최대값의 계수를 갖는 방향으로 영상블록을 분류한다.

### 3.2 적응 제약적 영상복원

윤곽선 보존 처리를 위한 한가지 접근 방법으로 방향성 필터링을 들 수 있는데, 이 방법에서는 윤곽선의 방향에 따라 필터링을 하지만, 윤곽선을 가로지르는 방향으로 필터링을 하지 않는다. 방향성 필터링에서, 윤곽선 주위의 잡음은 윤곽선을 따라 필터링을 수행하여 효과적으로 제거될 수 있는 반면에, 윤곽선에 인접한 영역에서는 필터링이 수행되지 않으므로 잡음의 영향을 받지 않고 윤곽선을 보존할 수 있다.

여기서, 윤곽선 방향은  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 으로 나타내며, 윤곽선이 포함된 영역의 각 방향과 평탄한 영역에 대해 대응하는 1차원 FIR 커널을 할당한다.

제안된 방법에서는 윤곽선 방향에 따라 각 블록에 각기 다른 고주파 대역 통과 필터를 할당하여 분류된 윤곽선 정보를 기반으로 한 적응적인 CLS 복원 필터를 구현하였다. 그림 2는 제안된 방법의 전체적인 블록도를 보여주고 있다.

## IV. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 영상복원 방법의 성능을 평가하기 위해  $512 \times 512$  화소의 BANK 영상에 대한 실험을 실시하였다. 영상을 얻기 위해  $3 \times 3$ 의 균일 평활화 함수 (uniform smoothing function)를 그림 3의 원영상에 적용시킨 후, 부가적 백색 가우시안 잡음을 더하였다. 이때 다음과 같이 정의되는 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 식을 이용하여, 그림 4에 보이는 40 dB의 열화된 영상을 얻었다.

$$SNR = 10 \log \frac{\|Hf\|^2}{\sigma^2} \quad (4)$$

블록기반의 윤곽선 분류를 위하여  $8 \times 8$  화소의

블록에 대해  $THS = 1$ 로 설정하여 실험하였다.

복원된 영상의 성능은 다음과 같이 정의되는 ISNR (Improvement SNR)을 이용하여 비교하였다

$$ISNR = 10 \log \frac{\|g - f\|^2}{\|\hat{f} - f\|^2} \quad (5)$$

방향성을 고려하지 않은 CLS 방법과 방향성을 고려한 적응적 CLS 방법에 의해 복원된 영상의 ISNR 값은 각각 0.6544 dB와 1.3945 dB로써, 제안된 방법이 높은 값을 나타내었다. 그림 5와 그림 6의 복원 영상에 대한 시각적인 성능을 비교해 보면, 제안된 방법이 각 블록 내부의 윤곽선을 보존하여 향상된 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다.

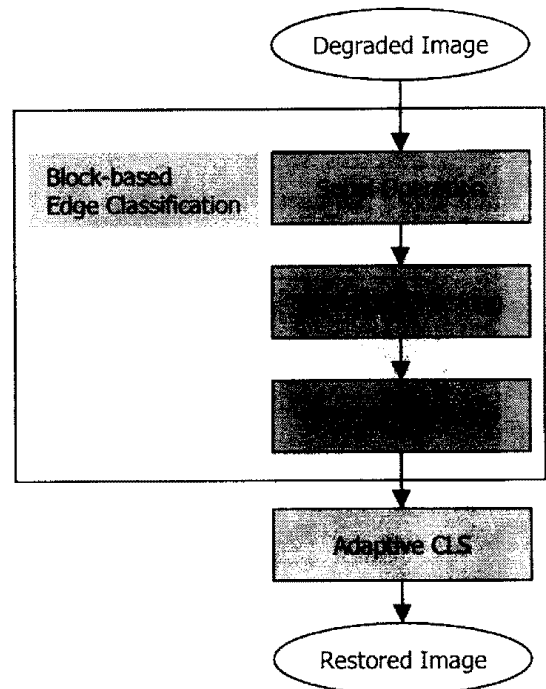


그림 2 제안된 방법의 블록도

## V. 결론

본 논문에서는 영상의 국부적인 특성을 이용해 윤곽선을 보존할 수 있는 영상복원 방법을 제안하였다. 실험 결과는 제안된 윤곽선 보존 기법이 윤곽선을 고려하지 않은 경우보다 시각적인 측면에서 효과적인 결과를 갖는다는 것을 보여주었다. 제안된 방법은 블록기반의 영상처리에서 발생하는 블록화 현상(blocking artifact)을 감소시키기 위한 후처리 과정에도 이용될 수 있다.

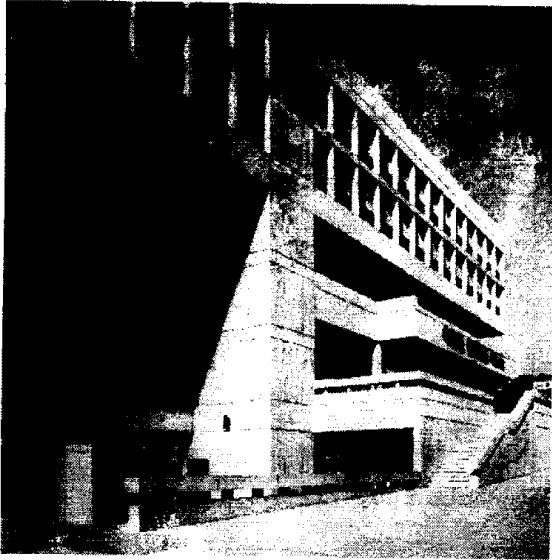


그림 3 BANK 원영상 (512 × 512)

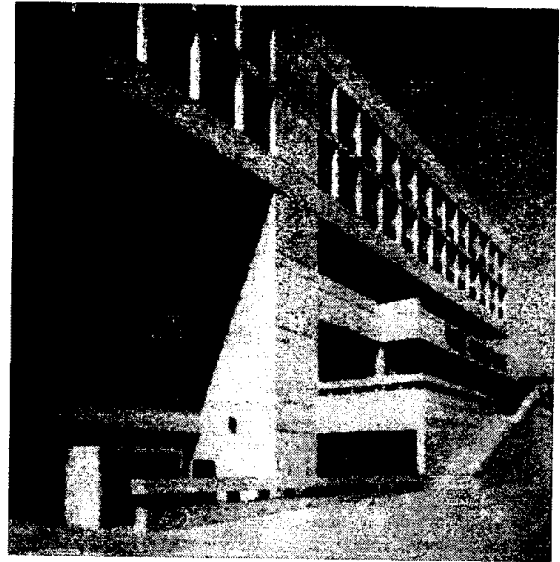


그림 4 잡음 영상 (SNR = 40 dB)

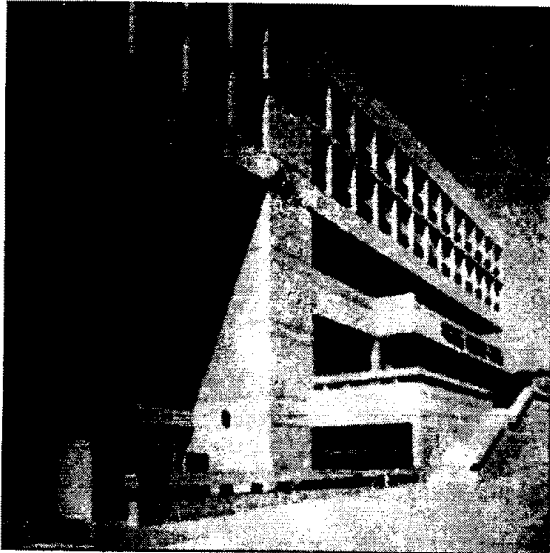


그림 5 비적응적 CLS 방법으로 복원된 영상



그림 6 적응적 CLS 방법으로 복원된 영상

#### 참고 문헌

- [1] A. Tikhonov and V. Arsenin. Solutions of Ill-posed Problems, Wiley, 1977
- [2] P. Charbonnier et al., "Deterministic Edge-Preserving Regularization in Computed Imaging," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6(2), pp. 298-311, Feb. 1997.
- [3] S. Geman and D. Geman, "Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI-6(6), pp. 721-741, Nov. 1984.
- [4] M. Bhatt and U. Desai, "Robust Image Restoration Algorithm Using Markov Random Field Model." CVGIP: Graphical Models and Image Processing, vol. 56(1), pp. 61-74, Jan. 1994.
- [5] B. Hunter, "The Application of Constrained Least Squares Estimation to Image Restoration by Digital Computer," IEEE Trans. Computers, vol. C-22(9), pp. 805-812, Sept. 1973.
- [6] R. Gonzalez and R. Woods. Digital Image Processing. Addison-Wesley, 1992.