

방향성 비선형 필터에 의한 화상의 잡음 제거

이 상 식 , 이 태 홍

영남대학교 전자공학과

Image Smoothing Algorithm using Nonlinear Direction Filter

SANG SIK LEE , TAE HONG LEE

Dept. of Electronic Engineering, Yeungnam University

Abstract

We consider the smoothing of images degraded by only an additive white Gaussian noise. In this paper, using direction filter, a nonlinear image smoothing algorithm which removes the noise in flat regions and does not blur the edge and line that are important to human vision is proposed. The performance is improved both in MSE sense and in subjective observation at the vicinity of the edge and line so that we can obtain a clear image.

1. 서 론

일반적으로 화상 정보는 정보의 발생, 저장 및 전송시 여러가지 형태의 잡음과 왜곡에 의해 훼손 되는 경우가 많으며, 이렇게 훼손된 화상으로 부터 원래 화상에 가장 가까운 화상을 찾는 작업을 화상의 복원이라 한다. 백색 가우시안 잡음에 의해 훼손된 화상의 복원을 위해 지금까지는 전체 알고리즘의 단순성과 실시간 처리의 가능성에 의해 MMSB에 의한 선형 필터가 많이 사용 되었지만, 이러한 선형 필터의 지역 어긋마 성격에 의해 우수한 화상의 복원이 어려웠다.

이러한 단점 보완을 위해 LSE, ABHATIC 등은 화상의 국부적 통계 성질에 따라 필터의 이득을 달리하는 L-LMSE 에 의한 적응성 필터를 제안 하였다. L-LMSE에 의한 비선형 필터는 윤곽 정보의 크기에 따라 정단 부분은 지역 어파하고 윤곽이나 선 부분들은 고역 어파하여 시각적으로 중요한 정보들은 보전 한다. 그러나, 이러한 필터들은 윤곽이나 선 정보의 보전성은 뛰어나지만 윤곽 부근의 잡음을 완전히 제거하지 못하여 전체적으로 깨끗한 화상의 복원이 어렵다. 본 논문에서는 L-LMSE 필터의 개념을 확장 하여 화상의 국부적 성질에 따라 적응성을 가진 방향성 필터를 도입하여 시각적 중요 정보인 윤곽이나 선 등을 잘 보전 할 뿐만 아니라 부근 잡음도 제거하여 시각적으로 원만한 화상의 복원을 보이고자 한다.

2. MMSB에 의한 필터

(1). MMSB에 의한 필터

MMSB에 의한 복원이란 관측 화상 g(x, y)에서 원래 화상 f(x, y)와 복원 화상 f-hat(x, y)와의 오차 |f(x, y) - f-hat(x, y)|를 최소화 하는 화상 f-hat(x, y)를 찾는 것이다. 이러한 오차를 구할 때 많이 쓰이는 것이 MSB이다.

관측 화상 g(x, y)는 원 화상 f(x, y)에 잡음 n(x, y)가 추가된 형태면

g(x,y)=f(x,y)+n(x,y) [1]

와 같다. 여기서 잡음은 신호의 독립이며 전체 평균은 zero라고 가정 한다. MSB를 최소화 하는 선형 중각 응답 h(x, y)와 관측 화상 g(x, y)로 복원 화상 f-hat(x, y)를 나타내면

f-hat(x,y)=g(x,y)\*h(x,y)=sum\_{i=1}^N sum\_{j=1}^N g(i,j)\*h(x-i,y-j) [2]

와 같다. 지고 정리에 의해 h(x, y)는 다음을 만족 해야 한다.

E{|f(x,y)-f-hat(x,y)|\*g(x',y')}=0 [3]

식 (3)에서 h(x, y)를 전력 밀도 스펙트럼 형태로 나타내면

H(w1,w2)=Sff(w1,w2)/(Sff(w1,w2)+Sn) [4]

인데, 이러한 형태는 WIENER FILTER와 같은 형태이다. WIENER FILTER를 이용하는 복원은 화상 정보가 정상적이여야 한다는 가정과 화상의 국부 성질이 전체 화상의 통계적 성질과 일치 해야 한다는 가정을 만족 해야 하는데 실제 적용 화상들은 이러한 가정을 만족 못 하므로 실제 응용하기엔 어렵다. 또한 이러한 필터는 신호 주파수 성분 보다 더 넓게 퍼진 잡음 성분을 제거 하기 위해 저역 필터의 성질을 가지는데, 이렇듯우 많기의 변화가 적은 정단 부분에서의 성분은 우수하지만 비정상적인 복성을 지녀 국부적인 처리를 하여야 하는 윤곽이나 선 부분 등도 함께 지역 어파 함으로서 시각적으로 우수한

회상의 복원이 어려워진다. 그래서 다음에서 나타나 는 LMMSE에 의한 필터의 개념이 도입 되었다.

### (2). LMMSE에 의한 필터

MSE를 이용한 필터의 단점을 보완 하기 위하여 ABRAMATIC, LER등을 회상의 국부적 성질에 따라 복원을 하는 LMMSE에 의한 복원 방법을 제안 하였다. 인간의 시각은 평탄 부분의 잡음들은 잘 감지 하지만 변화가 큰 윤곽이나 선 부분에 존재 하는 잡음들은 잘 감지 못 하는 특성이 있다. 이런 시각적 특성에 의해 잡음을 평탄 부분에 존재 하는 순수 잡음과 윤곽이나 선 부분에 존재하는 신호에 포함된 잡음으로 구분 할 수 있다. 즉,

$$n(x,y) = a(x,y) \cdot n_1(x,y) + [1-a(x,y)] \cdot n_2(x,y) \quad [5]$$

와 같이 표현 할 수 있다.

여기서  $a(x,y)$ 는 윤곽이나 선 정보의 크기를 나타내는 함수로, 윤곽 부분에서는 큰 값이 되고 평탄 부분에서는 작은 값을 갖는다. 이러한 조건에서 관측 화상  $g(x,y)$ 를 다시 쓰면

$$g(x,y) = \varepsilon(x,y) + a(x,y) \cdot n_1(x,y) + [1-a(x,y)] \cdot n_2(x,y) \quad [6]$$

와 같이 쓸 수 있다.

식 (6)를 이용하여 식 (4)에서의 같은 방법으로 전달 함수를 구하면 다음과 같은 필터가 구해진다.

$$H_1(w_1, w_2) = \frac{H(w_1, w_2) + a(x, y) \cdot [1 - H(w_1, w_2)]}{H(w_1, w_2) + a(x, y) \cdot H'(w_1, w_2)} \quad [7]$$

이는 MMSE에 의한 지역 필터와 윤곽이나 선 정보의 크기에 따라 필터의 이득이 변화하는 고역 필터의 결합 형태이다.

### 3. 방향성 필터

앞에서 제시된 LMMSE에 의한 방법은 평탄 부분의 잡음 제거와 윤곽 보전 특성은 우수 하지만 윤곽 부분의 완전한 잡음 제거는 하지 못 하므로 복원 화상이 전체적으로 깨끗하지 않다. 이러한 현상의 원인은 인간의 시각이 윤곽이나 선 등을 관별 할 때 방향성을 가지기 때문이다. 이러한 시각 특성에 의해 고역 필터 부분에서 윤곽이나 선 등의 방향과 같은 방향성의 잡음을 그대로 두고 이것과는 방향성의 잡음을 제거 하는 방향성 고역 필터 개념을 도입 했다.

그러나 국부 선형적인 방향성 고역 필터 처리를 하면 지선적인 부분은 방향의 변화가 없이 잘 복원 할 수 있지만, 방향의 변화가 큰 곡선등의 구배가 큰 부분에서는 우수 하지 못 하다. 즉, 구배가 큰 부분을 선형 방향성 필터 처리 하면 주 경계 방향으로만 처리 하고 다른 방향의 정보들은 모두 잡음으로 간주하여 처리 하므로 신호 성분의 감소를 막을 수가 없게 된다. 이에 방향의 변화율 함수인  $b(x,y)$ 를 도입 하여 방향의 변화율이 큰 부분에서는 고역 필터만 처리하고 방향의 변화율이 작은 부분에서는 방향성 필터 처리를 하는 알고리즘을 본 논문에서 도입 하고자 한다.

식 (7)을 방향성 고역 필터의 형태로 다시 쓰면 다음과 같다.

$$H_2(w_1, w_2) = H(w_1, w_2) + a(x, y) \cdot H'_2(w_1, w_2) \quad [8]$$

이에 방향의 변화율 함수  $b(x,y)$ 를 도입하면,

$$H_3(w_1, w_2) = \frac{H(w_1, w_2) + a(x, y) \cdot [(1-b(x, y)) \cdot H'_2(w_1, w_2)]}{H(w_1, w_2) + b(x, y) \cdot H'(w_1, w_2)} \quad [9]$$

와 같다. 최종 필터의 각 항을 살펴보면 국부적 방향성 필터는 화상을 전체적으로 지역 여파 하는 지역 필터와 윤곽 방향의 방향성 필터, 그리고 방향의 변화가 심한 부분의 고역 필터의 선형 결합 형태로 나타난다.

### 4. 필터의 구현

각 필터들의 구현은 계산량의 감소와 기억 용량의 절감을 최소화 하기 위하여 공간 영역에서 국부적인 처리를 하는 WINDOW를 도입 하였다.

(1). 지역 필터, 고역 필터 및 윤곽 정보 추정 WILNER FILTER를 구현 하기 위해서는 신호와 잡음의 선리에 대한 사전 정보를 알아야 하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 어려움을 피하고 객관 지식을 얻을 하기 위하여 지역 필터로서의 우수 한 특징을 지닌 평균치 필터를 지역 필터로 대치 하였다. 평균치 필터의 형태는 다음과 같다.

$$m_q(x,y) = \frac{1}{(2p+1)(2q+1)} \sum_{i=x-p}^{x+p} \sum_{j=y-q}^{y+q} g(i,j) \quad [10]$$

식 (7)과 식 (10)에서 지역 필터를 구하면 다음 형태의 된다.

$$m_n(x,y) = 1 - m_q(x,y) \quad [11]$$

한편, 윤곽 정보의 크기  $a(x,y)$ 는 이제까지 제안된 여러 방법들 중에서 LER가 사용한 방법을 도입하여 추정 하였다. LER는 회상의 국부 평균치와 분산치를 사용하여 윤곽 정보의 크기를 추정 하였는데 다음과 같다.

$$a(x,y) = \frac{V_x(x,y)}{V_x(x,y) + V_n(x,y)}$$

$$V_x(x,y) = V_y(x,y) - V_n(x,y), \text{ for } V_y > V_n$$

$$= 0, \text{ for } V_y \leq V_n \quad [12]$$

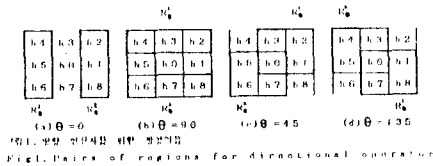
위에서  $V_n(x,y)$ 는 잡음의 분산치인데, 밝기의 변화가 적은 평탄 부분에서의 분산치는 거의 잡음 분산에 가까우므로 이 값을 대차했다.

그리고  $V_y(x,y)$ 는 관측 화상의 분산치를 나타내며 다음과 같다.

$$V_y(x,y) = \frac{1}{(2p+1)(2q+1)} \sum_{i=x-p}^{x+p} \sum_{j=y-q}^{y+q} [g(x,y) - m_y(i,j)]^2 \quad [13]$$

(2). 방향성 고역 필터 및 방향 변화율 추정

본 논문에서는 국부 경사 인산자인 PRWITT 인산자를 방향 인산자로 확장하여 4방향에 대한 윤곽의 방향 유사성을 조사 하였다. 그리고 4중 유사성의 가장 큰 방향으로 방향성 처리를 하고, 처리 방향을 중심 화소의 방향성으로 부여 하는 방향성 필터를 구현 하였다.



(그림 1)로부터 4방향에 대한 PRWITT 인산자는 다음과 같다.

$$D_{\theta} = D_{\theta}^+ - D_{\theta}^- = (1/3) \sum_{h_1 \in R_{\theta}^+} h_1 - (1/3) \sum_{h_1 \in R_{\theta}^-} h_1 \quad [14]$$

$\theta = 0, 45, 90, 135$

이때  $D_{\theta}$ 는  $x$ 축의  $\theta$ 각을 이루는 직선과 수직 선과 하는 윤곽의 방향성을 나타낸다. (그림1)과 같이 경사를 구할 때 현재 처리하고자 하는 중심 화소 주변의 여러개 화소를 이용하는 이유는 잡음의 영향을 줄이기 위해서이다. 각 방향으로의 경사도를 구할 때에는 유사성이 가장 큰 방향을 구해야 하는데 이것은 방향 유사성  $S_{\theta}$ 를 구하면 알 수 있다.

$$S_{\theta} = \frac{D_{\theta}^+ + D_{\theta}^-}{2} - |D_{\theta}^+ - D_{\theta}^-|$$

$$= \frac{D_{\theta}^+ + D_{\theta}^-}{2} - |D_{\theta}|, \theta = 0, 45, 90, 135 \quad [15]$$

윗 식에서  $S_{\theta}$ 는 각 방향으로의 유사성 크기를 말하며  $S_{\theta}$ 가 가장 큰 방향으로의 1차원 필터를 사용하면 된다. 그리고 방향 유사성  $S_{\theta}$ 가 가장 큰 때의 값을 처리하고자 하는 중심 화소의 방향  $\phi(x, y)$ 로 대체 한다.

1차원 방향성 필터의 결과는 다음과 같다.

$$\hat{h}(x, y) = (1/2)h_0 + (1/4) \cdot (h_n + h_{n+4}), n = 1, 2, 3, 4 \quad [16]$$

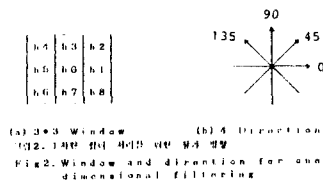
한편, 방향의 변화율을 중심 화소와 인접 화소의 방향성의 차로 나타낼 수 있다. 즉,

$$[17]$$

$$b'(x, y) = \nabla^2 \phi(x, y) = (1/8) \left[ \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \right] \phi(x, y) - \phi(x+1, y+1)$$

$$b(x, y) = (1 - \cos(b'(x, y)))^{\frac{1}{2}}, 0 \leq \theta \leq \pi \quad [18]$$

으로 표시 할 수 있다. 여기서  $\theta$ 는 방향성의 변화율을 항상 시키기 위한 계수이다.



5. 실험 결과 및 검토

처리 화상으로선 가장 백색 가우시안 잡음으로 채워진 8비트 컬러 필름을 가진 256G \* 256G의 컬러 REL 사진을 사용 하였으며, 10비트 RESOLUTION MONITOR를 통하여 그 결과를 나타내었다.

제거된 필터의 성능을 비교하기 위해 평균 1차원 필터와 방향성 필터의 성능을 비교하기 위해 평균 1차원 필터 하였다. 또한 화상의 결을 비교하기 위해 MSE의 계산, 또한 화상의 결의 면적으로 판단하는 구조적 방법을 사용 하였다.

MSE 계산식은 다음과 같으며, (그림2)에 나타내었다.

$$MSE = \frac{1}{p \cdot q} \sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2$$

표 1. MSE 계산 결과

Table 1. Result of calculated MSE

	평균치 필터	LEE 필터	방향성 필터
20 dB	204.10	49.99	45.28
10 dB	252.97	202.41	197.45

높은 SNR의 경우, 평균 1차원 필터와 방향성 필터에 비교하여 LEE 필터와 잡음 제거 및 윤곽 보정에는 좋지않은 결과 방향성 필터는 방향성 결을 제거하지 못하여 화상의 선재적으로 선을 제거 하였다. 그러나, 본 논문에서 제거된 방향성 필터는 윤곽 결의 면적으로 결을 제거 한 방향성 필터와 윤곽 결을 제거한 방향성 필터의 성능을 비교 하였다. 그 결과 (그림3)에 나타내었다.

낮은 SNR의 경우 방향성 필터에 비하여, 이것은 잡음의 분포가 선으로 분포해 거의 비슷하고, 화상의 윤곽이다 선 등이 선하게 해준되어 저 계수들의 선의 한 중심이 어려워 때문에 결을 줄 수 없다. 화상의 복원에 필요한 지각을 약 10%의 선들의 줄을 얻었는데, 각 필터 처리 및 계수 추정을 동시에 행 하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 가장 백색 가우시안 잡음에 의해 채워진 화상을 복원함에 있어서 선과 윤곽 잡음 제거 뿐만 아니라 윤곽이다 선 부분을 제거하게 또한 잡음 제거 사용성을 위한 방향성 필터를 제시 하였다. 실험에 의해 복원된 화상을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

높은 SNR의 임의 화상의 경우, 본 논문에서의 방법 으로 복원된 화상은 선과 부분에서는 MMSSE에 의한 저역 필터의 성능을 유지 하지만, 윤곽이다 선들의 저역시 중요 정보를 흐리지 않게 보정하여 저역시 중요 정보를 유지 할 수 있었고, LEE, MMSSE에 의한 필터의 결과와 비교 해서는 윤곽이 깨끗한 가장

을 얻을 수 있었다. 객관적 판단의 한 수단인 M-SE편에서도 (표1.) 에서와 같이 45.28 로 가장 좋은 결과를 나타내고, 시각적 판단에서도 우수한 복원 효과를 가짐을 알 수 있었다.

낮은 SNR의 입력 화상일 경우에는 MMSSE에 의한 저역 필터 보다는 우수하고 LLMMSE를 이용한 LBE 필터와는 대동한 효과를 보인다.

결론적으로, 본 논문에서 제시한 필터는 화상 복원에 있어서 객관적 판단에서 뿐만 아니라 시각적으로도 우수한 화상을 복원 할 수 있었고, 제시된 모든 필터들은 공간 영역에서 국부적으로 처리하므로 병렬 처리가 가능하여 실시간 처리를 위한 하드 웨어의 구성이 용이 할 것이다.

## 7. 참고 문헌

- (1) J.S.Lee, "Digital enhancement and noise filtering by use of local statistics", IEEE Trans.Patt.Anal.Machine.Intel.,vol.2,pp.165-168,Mar.1980.
- (2) P.Chan and J.S.Lin, "One-dimensional processing for adaptive image restoration", IEEE Trans.Acoust.Speech.Signal.Processing.,vol.33,pp.117-126,Feb.1985.
- (3) I.E.Abdou and M.K.Pratt, "Quantitative design and evaluation of enhancement, thresholding edge detectors", Proc.IEEE.,vol.67,pp.73-79,May.1979.
- (4) E.R.Jevans, "Circularity-A new principle underlying the design of accurate edge orientation operators", Image Vision Computing., vol.2,pp.134-145,Aug.1984.
- (5) T.T.Abramatic and L.M.Silverman, "Nonlinear restoration of noisy images", IEEE Trans.patt.anal.machine.intel.,vol.2,pp.147-149,Mar.1982.
- (6) H.E.Knutsson, R.Wilson, G.H.Granlund, "Anisotropic nonstationary image estimation and its application Part I", IEEE Trans. on Commun.,vol.COM-31,pp.388-397,Mar.1983.
- (7) S.S.Jiang and A.A.Sawchuk, "Noise updating repeated Wiener filter and other adaptive noise smoothing filters using local usage statistics", Applied Optics.,vol.25,pp.2326-2337,Jul.1986.



(a) Noise Image



(b) Mean Filter



(c) LBE Filter



(d) Direction Filter

그림 3. 원음 화상과 처리 화상 및 유차 화상