

# 국부통계를 이용한 시그마 필터의 적응 영상복원

## (Adaptive Image Restoration of Sigma Filter Using Local Statistics)

鄭 聖 煥\*, 金 南 哲\*\*

(Sung Hwan Jung and Nam Chul Kim)

### 要 約

시그마 필터는 평균필터의 에지보존 특성을 개선하고자 평균필터를 변형하여 만든 일종의 비선형 필터이다. 그러나, 이 필터는 BSC(binary symmetric channel) 잡음과 같은 임펄스성 잡음에는 대단히 약하기 때문에 그동안 영상복원 분야에서 그리 활용되지 못하였다. 본 논문에서는 시그마 필터의 이러한 단점을 보완하고, 성능개선을 위하여 영상의 국부통계와 사람의 눈의 특성을 이용하여 적응화 시키는 영상복원 알고리즘을 제안하였다. BSC 잡음으로 훼손된 영상에 대하여 실험한 결과, 제안된 알고리즘은 메디안 필터보다 우수하고, 기존의 K-시그마 필터에 비하여 SNR gain 면에서도 5 dB 이상 개선되는 좋은 성능을 나타내었다.

### Abstract

The sigma filter is a nonlinear filter of modifying average filter to develop edge-preserving characteristic. However, this filter is yet weak to the impulsive noise such as BSC noise. Therefore it has not been used so highly in the image restoration area. In this paper, We propose an adaptive image restoration algorithm using the local statistic and the characteristic of human eyes in order to compensate its drawback and to improve its performance. The performance of the proposed algorithm and the conventional ones are compared for images degraded by BSC noise. The proposed algorithm shows better performance than the median filter and yields 5 dB performance improvement over the conventional K-sigma filter on SNR gain.

### I. 서 론

일반적으로 영상 데이터의 생성, 저장 혹은 전송

시 영상시스템 자체의 전자회로등에서 발생하는 여러가지 잡음이나 양자화 잡음 및 전송 채널의 잡음으로 인하여 원래의 영상 데이터가 훼손되는 경우가 흔히 있다. 이러한 경우 훼손된 영상을 원래의 영상에 가깝게 복원하기 위한 여러가지 복원 필터를 사용하게 된다.<sup>1~2)</sup> 그런데 공간 영역에서도 간단하게 적용할 수 있는 기본적인 필터들은 활용도가 높아서 지금까지 계속 활발히 연구되고 있다.<sup>3~7)</sup> 이 중에서 특히 선형 필터인 평균 필터는 매우 수행이 간단하

\*正會員, 蓮庵工業專門大學 電子計算科

(Dept. of Computer Science, Yonam Jr. College of Eng.)

\*\*正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1987年 9月 15日

고 Gauss 잡음을 비교적 잘 제거하지만, 영상의 에지(edge)를 흐리게하는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자 Lee는 평균필터를 비선형적으로 약간 변형하여 만든 시그마 필터를 제안하였다.<sup>[5]</sup> 그런데 이 시그마 필터는 에지를 잘 보존하고 Gauss 잡음에 대해서는 성능이 우수지만, 평균필터와 마찬가지로 BSC와 같은 임펄스성 잡음에는 대단히 열등하다.

본 논문에서는 영상 데이터의 전송시 흔히 발생하는 BSC 잡음에 대하여 앞서 언급된 시그마 필터의 단점을 보완하고, 눈의 특성을 고려할 뿐아니라 국부통계에 따라 잘 적응해 가는 필터링 방법을 제안하였다.<sup>[6,10]</sup>

## II. 시그마 필터

### 1. 기존의 시그마 필터

일반적으로 전송과정에서 BSC 잡음으로 훼손된 수신 영상 데이터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y(i, j) = x(i, j) + n(i, j) \tag{1}$$

여기서  $y(i, j)$ 는 수신된 영상 신호이며,  $x(i, j)$ 는 원래의 영상 신호이고  $n(i, j)$ 는 가산된 BSC잡음이다. 수신된 영상 데이터로부터 원 영상에 가깝게 영상을 복원하기 위하여 여러가지 영상복원 필터를 사용하게 된다.

시그마 필터는 평균 필터의 경계부분 뭉롱화 현상을 해결하기 위하여 Lee에 의하여 제안된 비선형 필터이다.<sup>[5]</sup> 시그마 필터의 기본 원리는  $(2n+1) \times (2m+1)$  창 영역내에 있는 화소들 중에서 중심화소에 대하여 각 화소의 값이 적절한 역치  $\Delta$ 밖에 있는 화소들을 다른 부류로 판단하여 평균하는 대상에서 제외시키는 것이다. 따라서 이 시그마 필터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{x}(i, j) = \frac{\sum_{k=1-m}^{1+m} \sum_{l=-n}^{1+n} \delta_{k,l} y(k, l)}{\sum_{k=1-m}^{1+m} \sum_{l=-n}^{1+n} \delta_{k,l}} \triangleq \text{sig } x(i, j)$$

$$\delta_{k,l} = \begin{cases} 1; & |y(k, l) - y(i, j)| \leq \Delta \\ 0; & |y(k, l) - y(i, j)| > \Delta \end{cases} \tag{2}$$

여기서 시그마 범위  $\Delta$ 는 고정된 값이다. 시그마 필터는 평균 필터보다 경계부분을 잘 보존하는 특성이 있지만 임펄스 형태의 잡음에 대단히 약하다. 그래서 Lee는 시그마 범위내에 있는 화소의 수가 역치  $K$  이하인 경우에는 중심화소를 잡음으로 간주하여 창영역 전체를 단순히 평균하는 방식으로 시그마 필터를 변형시켰다. 편의상 이러한 필터를  $K$ -시그마 필터라고 하며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{x}(i, j) = \begin{cases} \text{sig } x(i, j), & N > K \\ \bar{x}(i, j), & N \leq K \end{cases} \tag{3}$$

$$\triangleq \text{sig}_K x(i, j)$$

여기서  $\bar{x}(i, j)$ 는 단순 평균 필터링을 나타내며,  $N$ 은 창내에서 시그마 범위내에 속하는 화소들의 수이다. 이때  $K$ 의 값은 영상의 미세한 경계 및 특징점을 손상시키지 않으면서 임펄스 잡음을 제거하도록 선택되어야 한다.

### 2. 수정 $K$ -시그마 필터

앞에서 언급된 Lee의  $K$ -시그마 필터는 시그마 필터보다는 임펄스 잡음에 대해서 상당히 개선된 성능을 나타내지만 메디안 필터에 비해서는 여전히 열등하다. 본 논문에서는  $K$ -시그마 필터의 성능을 더욱 개선하기 위하여  $K$ -시그마 필터링 방식을 다소 수정하였다. 시그마 범위내에 있는 화소의 수가 창내의 전체 화소의 수에 비하여  $K$  이하로 미소한 경우 일때, 기존  $K$ -시그마 필터인 경우에는 단순히 평균 필터링하였다. 그러나 수정  $K$ -시그마는 그림 1과 같이 시그마 범위내에 있는 화소들의 수가  $K$  이하로 미소할때 시그마 범위내에 있는 화소들을 잡음으로 간주하여 출력의 대상으로 하지않고, 그 반대로 시그마 범위밖에 있는 화소들을 이용하여 출력시키는 방식(보수 필터링)이다.

$$\hat{x}(i, j) = \begin{cases} \text{sig } x(i, j), & N > K \\ x^*(i, j), & N \leq K \end{cases} \tag{4}$$

$$\triangleq \text{sig}'_K x(i, j)$$

여기서  $x^*(i, j)$ 는 시그마 범위내에 있는 화소들을 제외한 창내의 화소들의 평균을 나타내는 보수 필터링이다.

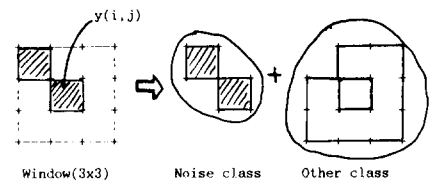


그림 1. 보수 필터링을 위한 창내의 화소의 2 가지 종류

Fig. 1. Two pixel-classes in a window for complement filtering.

## III. 시그마 필터의 적응화

앞에서 언급된 (4)식의 수정  $K$ -시그마 필터의 시

그마 범위를 국부통계에 따라 적응화시키고 눈에 띄이지 않을 정도의 작은 잡음이 가산된 경우에는 필터링을 하지 않음으로써 더욱 좋은 성능을 기대할 수 있다.

1. 조건부 필터링

가산된 잡음이 인간의 눈에 띄이지 않을 정도로 아주 미소한 경우에 필터링을 하게 되면 이로 인하여 미세한 경계 및 텍스처(texture) 등이 무시 못할 손상을 입게 된다. 이러한 왜곡을 줄이기 위해서는 다음과 같은 조건부 필터링을 행한다. 즉, 만일 관측된 영상신호의 값이 국부평균  $m_x(i, j)$ 로부터 국부영상의 표준편차  $\sigma_x(i, j)$  이내에 존재한다면 관측치가 원 신호 값과 약간의 차이가 있어도 눈이 잘 감지하지 못하는 것으로 간주하여 필터링을 수행하지 않고, 그 반대의 경우에는 필터링을 수행하도록 하는 것이다.

$$x(i, j) = S \cdot \text{sig}_x' x(i, j) + (1-S) \cdot y(i, j)$$

$$S = \begin{cases} 1 & |y(i, j) - m_x(i, j)| \geq \sigma_x(i, j) \\ 0 & |y(i, j) - m_x(i, j)| < \sigma_x(i, j) \end{cases} \quad (5)$$

여기서 S는 선택 파라미터이며,  $m_x(i, j)$ 는 창내의 원 영상  $x(i, j)$ 의 평균이고  $\sigma_x^2(i, j)$ 는 분산이다.

(5)식에서 S를 결정하는데 필요한 원 영상의 국부 분산 및 평균 값은 다음과 같이 추정할 수 있다.<sup>[9]</sup>

$$\hat{m}_x(i, j) = \bar{y}(i, j)$$

$$= \frac{1}{(2m+1)(2n+1)} \sum_{k=i-m}^{i+m} \sum_{l=j-n}^{j+n} y(k, l) \quad (6)$$

$$\hat{\sigma}_x^2(i, j) = w_0 \cdot \sigma_x^2(i, j) + w_1 \cdot \hat{\sigma}_x^2(i-1, j) + w_2 \cdot \hat{\sigma}_x^2(i-2, j) \quad (7)$$

여기서  $\sigma_x^2(i, j)$ 는 관측 영상의 분산이며  $\hat{\sigma}_x^2(i, j)$ 는 영상의 추정된 분산 값이다. 또한  $w_i$ 는  $\sum w_i = 1$ 인 하중상수(weighting constant)들이다. (6)식에서 잡음의 평균은 영으로 가정하였다. 원 영상  $x(i, j)$ 의 분산  $\sigma_x^2(i, j)$ 을 추정하기 위하여 BSC 잡음하에서 잡음의 분산  $\sigma_n^2(i, j)$ 를 구하는 것은 실제로 대단히 힘들기 때문에 본 논문에서는 (7)식과 같이 관측 신호의 분산  $\sigma_x^2(i, j)$ 과 이전에 추정된 분산치들을 순환적으로 평활화하는 방법을 사용하여 원영상 신호의 분산  $\sigma_x^2(i, j)$ 를 추정하였다. 이러한 하중된 추정분산들을 이용한 순환적 추정방법의 사용으로 복원영상에서 제대로 처리되지 않고 빠져나가는 BSC잡음 스폿(spot)을 제거할 수 있다.

2. 시그마 범위의 적응화

일반적으로 영상의 평탄한 부분과 경계 부분은 신호의 분산이 상당히 다르기 때문에 수정 K-시그마 필터의 시그마 범위를 고정시키면 특별히 평탄한 지역에서 제거되지 않은 잡음의 흔적이 남게 된다. 그러므로 전체적으로 고정된 동일한 시그마 범위를 적용시키는 것보다 평탄한 부분에 대해서는 시그마 범위의 크기를 줄이고 경계부분에 대하여는 시그마 범위를 증가시킴으로써 BSC 잡음을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 다음과 같이 국부분산의 제곱근을 사용하여 적응화시켰다.

$$\Delta = \alpha \sigma_x(i, j) \quad (8)$$

여기서  $\Delta$ 는 고정된 시그마 범위이며,  $\sigma_x^2(i, j)$ 는 영상의 국부분산이고  $\alpha$ 는 복원영상에서 주관적으로 BSC 잡음의 흔적을 제거하기 위하여 조정되어지는 상수이다.

IV. 실험 및 결과

수정 K-시그마 필터에 (5)식의 조건부 필터링과 (8)식의 시그마 범위 적응화를 적용한 필터를 편의상 적응 시그마 필터라 하자. 제안된 이 필터의 영상 복원성능을 알아보기 위하여 BSC 잡음으로 훼손된 8 bit 256×256 GIRL 및 CRONKITE 등의 여러 영상을 대상으로 하여 컴퓨터로 실험을 행하였다. 이 실험을 통하여 임펄스 형태의 잡음에서 성능이 우수한 메디안 필터와 함께, K-시그마 필터, 제안된 수정 K-시그마 필터 및 적응 시그마 필터의 영상복원 성능이 비교되었다. 객관적인 비교적도로서는 다음과 같이 정의되는 SNR gain을 사용하였다.

$$\text{SNR gain} = 10 \log_{10} \frac{\text{SNR of restored image}}{\text{SNR of noisy image}}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{\text{Variance of input image}}{\text{Variance of restoration error}} \quad (9)$$

또한 주관적인 비교는 영상 표시 장치를 이용하여 복원된 영상들을 비교함으로써 수행되어졌으며, 본 연구에서 사용된 필터들의 창의 크기는 3×3으로 하였다.

BSC 잡음은 전체 영상에서 한개의 잡음스폿(noise spot)이라도 제거되지 않고 존재하여도 그 잡음이 두드러지게 나타나 보인다. 이러한 점을 고려하여 제대로 처리되지 않고 빠져나가는 잡음스폿 및 완전히 제거되지 않고 남아 있는 잡음의 흔적을 복원된 영상에서 제거하기 위하여 여러 영상에 대한 주관적인

품질 검사의 결과로 적응상수  $\alpha=2$ , 역치  $K=3$ , 그리고 가중상수  $w_i$ 를 모두 1/3로 선정하였다.

표 1은 여러가지 비트 오율(bit error probability)에서 GIRL 영상에 대한 필터들의 성능을 나타낸 것이다. 여기서 제안된 필터가 다른 필터보다 GIRL 영상에 대하여 비트 오율 0.01이하에서 K-시그마 필터보다는 6-7 dB, BSC 잡음에서 우수한 성능을 가진 메디안 필터보다는 4-6 dB 성능 우수를 나타내고 있다. 한편 수정 K-시그마 필터는 K-시그마 필터보다 2-3dB 성능이 개선됨을 볼 수 있고, 또한 메디안 및 K-시그마 필터는 낮은 비트 오율에서는 음의 SNR gain을 나타내고 있음을 알 수 있다. 표 2는 CRONKITE 영상을 사용하여 필터들의 복원 성능을 비교한 것이다. 표 1과 마찬가지로 제안된 필터의 성능이 K-시그마 보다는 비트 오율 0.01이하에서 6-13 dB, 메디안 필터 보다는 1-9 dB의 성능 우수를 보이고 있다. 또한 수정 K-시그마 필터는 K-시그마 필터보다 2-3 dB 성능 우수를 나타내고 있다. 실제적으로 일반적인 경우 비트 오율은 0.001 이하인 경우가 대부분이며 제안된 알고리즘이 낮은 비트 오율에서도 높은 SNR gain을 가짐을 볼 수 있다.

그림 2는 BSC 잡음이 발생할 비트 오율  $P_b$ 가 0.01 일때 제안된 알고리즘으로 복원된 GIRL 영상과 메디안, K-시그마 및 제안된 적응 시그마 필터에 의한 복원 영상들과 원 영상과의 차 영상(difference image)을 나타낸 것이다. 주관 검사를 통하여 복원된 영상들의 품질을 비교해 본 결과 메디안 필터의 복원 영상은 평탄한 부분의 복원은 대체로 좋은

표 1. 여러가지 비트 오율에서 GIRL에 대한 필터들의 성능  
(처리조건 : 창의 크기=3×3, K=3, 적응상수 $\alpha=2$ , 하중상수 $w_0=w_1=w_2=1/3$ )

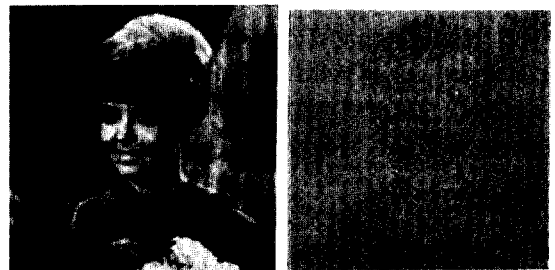
Table 1. Performance of filters for GIRL in various input bit error probability (BEP).  
(processing condition : window size=3×3, K=3, adaptive constant  $\alpha=2$ , weight constant  $w_0=w_1=w_2=1/3$ ).

SNR gain [dB] BEP $P_b$	median filter	K-sigma filter	modified K-sigma filter	adaptive sigma filter
0.01	9.0	7.4	9.6	13.6
0.005	6.2	5.1	7.5	12.0
0.001	-0.4	-1.3	1.6	6.0
0.0005	-3.2	-4.1	-1.1	3.3

표 2. 여러가지 비트 오율에서 CRONKITE에 대한 필터들의 성능  
(처리조건 : 창의 크기=3×3, K=3, 적응상수 $\alpha=2$ , 하중상수  $w_0=w_1=w_2=1/3$ )

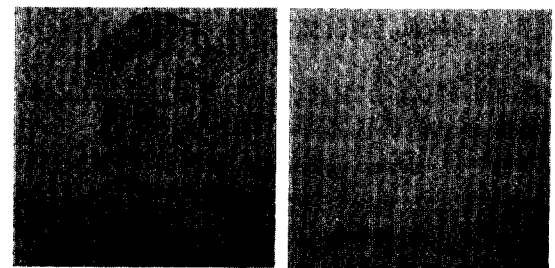
Table 2. Performance of filters for CRONKITE in various input bit error probability (BEP).  
(processing condition : window size=3×3, K=3, adaptive constant  $\alpha=2$ , weight constant  $w_0=w_1=w_2=1/3$ ).

SNR gain [dB] BEP $P_b$	median filter	K-sigma filter	modified K-sigma filter	adaptive sigma filter
0.01	16.4	11.2	14.3	17.2
0.005	14.8	9.9	12.6	17.7
0.001	8.9	5.0	6.9	17.1
0.0005	6.1	2.4	4.2	15.3



(a) restored image

(b) median



(c) k-sigma

(d) adaptive sigma

그림 2.  $P=0.01$ 에서 적응 시그마 필터에 의한 복원 영상 및 각 필터들에 의한 차영상들(바이어스=128, 증폭도=4)

Fig. 2. The restored image by adaptive sigma filter and difference images of each filter at  $P=0.01$ .

편이나 섬세한 경계부분이 손상되어 원 영상과 차이가 있으며, K-시그마 필터에 의한 복원 영상은 제거되지 않은 잡음의 흔적이 전체 영상에 뚜렷이 나타났다. 그러나 제안된 적응 시그마 필터에 의한 복원 영상은 그림 2의 (a)에서와 같이 평탄한 부분 및 섬세한 경계부분까지 원 영상에서 가깝게 복원되었음을 알 수 있다. 또한 차영상들을 통하여 살펴보면 메디안 필터의 경우, 그림 2의 (b)와 같이 BSC 잡음이 평탄한 부분에서는 잘 제거된 것을 볼 수 있다. 그러나 경계부분 및 창문부분에서는 복원 오차가 나타나 보인다. 그리고 그림 2(c)의 K-시그마의 경우는 배경과 경계부분에서 전체적으로 제거되지 않은 잡음의 흔적이 뚜렷하게 보인다. 한편 그림 2(d)의 적응 시그마 필터의 차영상은 전반적으로 배경과 경계부분에서 복원 오차가 작아서 원 영상에 가깝게 복원되었음을 알 수 있다. 또한 CONKITE 영상에 대하여도 GIRL 과 유사한 결과를 얻었다.

그리고 (5)식의 조건부 필터링을 메디안 필터에 적용시키면 마찬가지로 상당한 성능 개선을 얻을 수 있지만,<sup>(6)</sup> 0.0005의 낮은 비트 오율에서는 적응 시그마 필터에 비해 3dB 정도 열등하다.

## V. 결 론

먼저 본 논문에서는 기존의 K-시그마 필터의 성능을 좀더 개선하기 위하여 K-시그마 필터를 시그마 범위내에 있는 화소의 수가 역치 K이하이면 보수 필터링을 하도록 수정하였으며, 다음으로 국부통계가 그대로 유지된다면 원 영상에 미소한 손상이 있어도 사람의 눈이 잘 감지하지 못하는 눈의 특성과 영상의 국부적인 통계를 사용하여 적응 영상복원 알고리즘을 제안하였다.

제안된 적응 시그마 필터의 영상복원 성능은 K-시그마 필터 및 메디안 필터의 영상복원 성능 보다 GIRL 영상인 경우는 비트 오율  $P_b=0.01$ 이하에서 4-7 dB의 성능 개선을, 그리고 CRONKITE 영상에 대하여서는 비트 오율  $P_b=0.01$ 이하에서 1-13dB의 성능 개선을 나타내고 있다. 실제로 복원된 영상의 품질들을 비교확인 하기 위하여 영상 표시 장치를

통하여 확인한 바, 제안된 적응 시그마 필터가 다른 필터보다 복원 성능이 우수함을 확인할 수 있었고 또한 경계부분도 잘 보존함을 알 수 있었다.

## 參 考 文 獻

- [1] W.K. Pratt, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Pub. Co., 1977.
- [2] H.C. Andrew, B.R. Hunt, *Digital Image Restoration*, Prentice-Hall Inc., 1977.
- [3] Y.H. Lee, et al., "Generalized median filtering and related nonlinear filtering techniques," *IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 672-683, June. 1985.
- [4] I. Pitas, et al., "Nonlinear mean filters in image processing," *IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, pp. 573-584, June. 1986.
- [5] J.S. Lee, "Digital image smoothing and the sigma filter," *Comput., Graphics, Image Processing* 24, pp. 255-269, 1983.
- [6] 김남철, 잡음 및 왜곡이 수반된 디지털 영상의 복원연구, 한국과학재단 연구 보고서, 1986년 4월.
- [7] 김남철, 정성환, "각종 잡음에 대한 영상복원 필터들의 성능비교," 대한전자공학회 논문집 제 24권 3호, pp. 124-134, 1987년 5월.
- [8] 정성환, 김남철, "국부 통계를 이용한 적응 시그마 필터의 영상복원 알고리즘," 대한전자공학회 추계종합 학술대회 논문집 vol.9, no. 2, pp. 378-380, 1986년 12월.
- [9] 김남철, 윤장홍, 황찬식, "국부 통계를 이용한 메디안 필터의 적응 영상복원," 대한전자공학회 논문집 제 24권 5호, pp. 131-135, 1987년 9월.
- [10] S.H. Jung, N.C. Kim, "Adaptive image restoration of sigma filter using local statistics and human visual characteristics," *IEEE Electron. Lett.*, vol. 24, no. 4, pp. 201-202, Feb. 1988.