

# Impulse 노이즈 제거를 위한 새로운 비선형 필터에 관한 연구

노 현 용\* · 배 상 범\* · 김 남 호\*

\*부경대학교 공과대학 제어계측공학과

## A Study on Nonlinear Filter for Impulse Noise Removal

Hyun-Yong No\* · Sang-Bum Bae\* · Nam-Ho Kim\*

\*Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National Univ.

E-mail : nhy123@mail1.pknu.ac.kr

### 요 약

현재, 영상처리에 있어서 잡음을 제거함과 동시에 영상의 에지성분을 보존하는 필터링 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 임펄스 노이즈 환경에서는 SM(standard median) 필터가 우수한 잡음 제거 성능을 나타내었으나, 영상의 에지성분에 대한 오류가 발생하고 있다. 이에 따라, SM 필터를 개선한 다양한 방법들이 제안되었으며, CWM(center weighted median) 필터가 대표적이다. 또한, 에지의 보존이나 처리속도의 관점에서 더욱 향상된 성능을 나타내기 위한 방법으로 min-max 연산에 기반한 방법들이 있다. 본 논문에서는 임펄스 노이즈에 의해 훼손된 화소에 대해, 그 화소를 둘러싼 surrounding band의 최대 또는 최소 값을 이용하여 처리하였으며, 시뮬레이션을 통해 제안한 필터의 성능을 기존의 방법과 비교하였다.

### ABSTRACT

Recently, filtering methods for attenuating noise while preserving image details are in progress actively. And SM(standard median) filter showed a great performance for noise removal in impulse noise environment but, it caused edge cancellation error. So, variable methods that modified SM(standard median) filter have been proposed, and CWM(center weighted median) filter is representative. Also, there are several methods to improve the efficiency based on min/max operation in term of preserving detail and filtering speed. In this paper, we managed a pixel corrupted by impulsive noise using min/max value of the surrounding band enclosing a pixel, and compared the efficiency with exiting methods in the simulation.

### 키워드

truncation, min/max operation, detail-preserving, surrounding band

## 1. 서 론

현대 사회는 디지털 영상을 통한 정보의 공유가 급속도로 증가하고 있으며, 또한 다양한 미디어와의 복합적인 활용으로 개인 및 사회에 대해 그 필요성이 더욱 증대되고 있다. 이에 따라 디지털 영상을 획득, 전송, 저장하기 위한 관련 기술의 발전을 초래하게 되었다. 그러나 데이터를 처리하는 과정에서 다양한 원인에 의해 오류가 발생하고 있으며, 이러한 오류로 인한 왜곡은 영상처리 분야에서 해결되어야 할 중요한 문제이다.

영상에서, 왜곡의 주된 원인은 AWGN과 임펄스 노이즈이며, 각각의 노이즈 환경에 대하여 많은 대책들이 연구되고 있다. 임펄스 노이즈 환경에서, 알고리즘이 간단하면서 우수한 성능을 나타내었던 SM(standard median) 필터는 다양한 접근 방법을 통해 여러 가지 변형된 메디안 필터들의 고안을 가능하게

했다. 그러나 SM 필터는 임펄스 잡음을 우수하게 제거 하는데 반해, 영상의 에지성분에서 오류를 발생시킴에 따라 영상의 상세정보를 중요시 하는 분야에서는 적용 될 수 없다. 이에 따라 노이즈 감쇄와 영상의 에지 성분을 보존하기 위한 몇몇 방법들이 제안되어 졌다[1]. 이러한 방법들 중에서 WM(weighted median) 필터는 마스크의 각 화소에 가중치를 적용하여 입력 영상에 대한 특성을 보존하도록 한다[2]. 또한, WM의 변형된 형태로서 마스크의 중심 화소에 만 가중치를 인가하는 CWM(center weighted median) 필터가 SM 필터의 성능을 보완하기 위해 제안되었다[3].

본 연구에서는 min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하여, 임펄스 노이즈의 감쇄와 영상의 에지성분에 대한 보존 특성을 강화시켰다[4],[5]. 그리고 시뮬레이션에서 기존의 메디안 필터들과 그 성능을 비교하였다.

## II. 임펄스 노이즈 제거 알고리즘

### 1. SM 필터

SM 필터는 임펄스 노이즈를 제거하기 위한 가장 간단한 형태의 비선형 필터이며, 임의의 마스크를 사용하여 그 내부 화소에 대한 중간 값을 찾는 형태로써, 영상에 중첩된 임펄스 노이즈 성분을 제거하고, 다음 식으로 표현된다.

$$y(i, j) = med\{x(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (1)$$

여기서,  $y(i, j)$ 는 출력화소 값이며,  $x(i, j)$ 는 입력화소 값이고,  $(s, t)$ 는 처리 마스크 내부의 좌표를 나타낸다. 그리고  $med\{\cdot\}$ 는 중간 값 선택 연산자로서 마스크 내부의 화소 값들을 크기 순으로 정렬한 다음, 그 중간 값을 찾는다. 또한  $W$ 는 크기가  $(2N+1) \times (2N+1)$ 인 필터링 윈도우를 나타내며, 식 (2)와 같다.

$$W = \{(s, t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (2)$$

### 2. CWM 필터

CWM 필터는 필터링 윈도우  $W$ 의 중앙 화소 값에 가중치를 인가하여 처리하는 형태로서, 다음 식 (3)으로 표현되는 일반적인 WM 필터로부터 유도할 수 있다.

$$y(i, j) = med\{h(s, t) \text{ copies of } x(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (3)$$

WM 필터는 각 화소의 값  $x(i-s, j-t)$ 를 가중치  $h(i, j)$ 만큼 생성한 후, 가중치가 적용된 데이터에서 중간 값을 선택한다. 즉,  $W = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0)\}$ 이고  $\{h(-1, 0), h(0, 0), h(1, 0)\} = \{2, 3, 2\}$ 와 같이 가중치를 인가하였을 때, 출력  $y(i, j)$ 는 다음과 같다.

$$y(i, j) = med\{x(i-1, j), x(i-1, j), x(i, j), x(i, j), x(i, j), x(i+1, j), x(i+1, j)\} \quad (4)$$

이 때, 중앙 화소의 가중치  $h(0, 0) = 2K+1$ 이며,  $(s, t) \neq (0, 0)$ 인 경우,  $h(s, t) = 1$ 인 WM 필터를 CWM 필터라 정의하고 다음 식으로 주어진다.

$$y(i, j) = med\{x(i-s, j-t) \text{ } 2K \text{ copies of } x(i, j) | (s, t) \in W\} \quad (5)$$

여기서,  $K$ 는 양의 정수이며,  $K=0$ 일 경우 CWM 필터는 SM 필터로 되고, 필터링 윈도우 내의 총 화소 수  $2L+1$ 보다 가중치  $2K+1$ 이 크거나 같게 되면, 필터링은 수행 되지 않는다.

이러한 CWM에서 중앙 화소에 큰 가중치가 인가 되면 영상의 에지 성분에 대한 보존 성능은 우수해지지만, 노이즈 제거에는 한계가 발생한다.

## III. 제안한 알고리즘

임의의 화소  $(i, j)$ 에서의 화소 값  $x(i, j)$ 에 대해, 크기  $M \times M$ 의 윈도우가 이 화소를 포함하는 경우의 수는  $N(=M^2)$ 이다. 이때, 각각의 윈도우를  $WI_k$ 로 표시하며 inner 윈도우라 한다. 그리고 inner 윈도우에 대해 중앙 화소의 위치가 같고, 크기가  $(M+2r) \times (M+2r)$ ,  $r \geq 1$ 인 윈도우를 outer 윈도우라 하며  $WO_k$ 로 나타낸다. 각 화소  $(i, j)$ 에 대해서, 두 윈도우의 차에 의해서 생성되는  $N$ 개의 surrounding band,  $B_k = WO_k - WI_k$ 가 정의되며,  $k=1, 2, \dots, N$ 이다.

여기서, band의 폭이  $r=1$ 일 경우, band는  $L=4(M+1)$ 개의 화소로 구성된다. 그림 1은 임의의 화소  $(i, j)$ 에 대해  $M=3$ ,  $r=1$ 일 때의 1, 3, 5 번째 밴드  $B_1, B_3, B_5$ 를 나타내고 있다.

출력 식을 정의하기 위해, 각 밴드에서 최고 값과 최소 값을 찾게 되며, 각각  $u_k$ 와  $v_k$ 로 나타내고 다음의 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} u_k = \max(x(m, n) | (m, n) \in B_k) \\ v_k = \min(x(m, n) | (m, n) \in B_k) \end{cases} \quad (6)$$

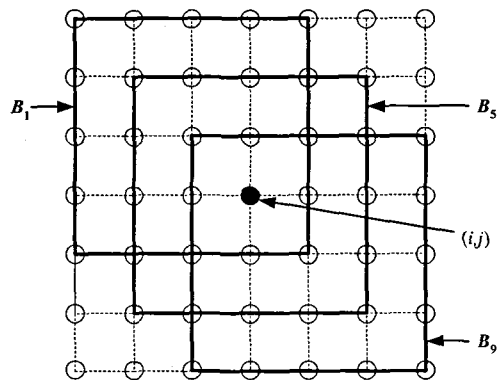


그림 1. 화소  $(i, j)$ 에 대한 surrounding band ( $M=3, r=1$ )

따라서 임의의 입력 값  $x(i, j)$ 에 대해 제안한 필터의 출력  $y(i, j)$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$y(i, j) = \begin{cases} u_{\min}, & \text{iff } x(i, j) > u_{\min} \\ v_{\max}, & \text{iff } x(i, j) < v_{\max} \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

위의 식으로부터  $u_{\min}$ 과  $v_{\max}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} u_{\min} = \min(u_k | k=1, 2, \dots, N) \\ v_{\max} = \max(v_k | k=1, 2, \dots, N) \end{cases} \quad (8)$$

그리고 위의 식 (7)에서 정의한 출력은 다음의 회귀형태로 간단히 확장할 수 있다. 이것은 새로운 출력영상을 생성하는 대신, 입력 영상의 그레이 값을 업데이트하는 형태로서, 다음의 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$x(i, j) \leftarrow \begin{cases} u_{\min}, & \text{iff } x(i, j) > u_{\min} \\ v_{\max}, & \text{iff } x(i, j) < v_{\max} \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)의 회귀형태를 통해 임펄스 노이즈 영상에 대해, 단순하면서도 고속의 처리가 가능해진다.

그리고  $x(i, j) > u_{\min}$ 인 경우, 식 (6)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} x(i, j) &\leftarrow u_{\min} \\ &= \min(u_N, u_{N-1}, \dots, u_1, x(i, j)) \\ &= \min(u_N, \min(u_{N-1}, \dots, \\ &\quad , \min(u_1, x(i, j)) \dots)) \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)은  $x(i, j) \leftarrow \min(u_k, x(i, j))$ 의 반복 실행을 통해서도 성립되며, 이 때  $k=1, 2, \dots, N$ 이다. 그리고 동일하게  $x(i, j) < v_{\max}$ 인 경우에도  $x(i, j) \leftarrow \max(v_k, x(i, j))$ 의 반복 실행을 통해 성립된다. 그리고 임의의 화소에 대해서,  $N$ 개의 surrounding band가 각기 다른 위치에 있으므로, 위의 식 (9)는  $N$ 개의 다른 위치에서 surrounding band  $B = WO - WI$ 를 두고, band의 각 위치에 대해서 식 (11)을 실행하여 얻을 수 있다. 식으로부터,  $u = \max(x(m, n) | (m, n) \in B)$ 이며, 동일하게  $v = \min(x(m, n) | (m, n) \in B)$ 이다.

$$\begin{aligned} x(i, j) &\leftarrow \begin{cases} \min(u, x(i, j)), & \text{iff } x(i, j) > u \\ \max(v, x(i, j)), & \text{iff } x(i, j) < v \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \\ &= \begin{cases} u, & \text{iff } x(i, j) > u \\ v, & \text{iff } x(i, j) < v \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

따라서 필터의 회귀형태는 다음의 식 (12)를 통해 간단하게 실행될 수 있다.

$$x(i, j) \leftarrow \begin{cases} u, & \text{iff } x(i, j) > u \\ v, & \text{iff } x(i, j) < v \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

for  $\forall x(i, j) | (i, j) \in WI$

위의 과정으로부터, 식 (9)에서는 한 화소를 업데이트하기 위해, 최대/최소 값에 대한 검색을 9회 수행하는 반면, 식 (12)에서는 한번의 최대/최소 값 검색에 의해 9개 화소를 업데이트하므로 고속 연산이 이루어진다. 이때, surrounding band 내부에 있는 화소 즉, inner 윈도우 내의 화소들은 band에서 검색된 최대/최소 값으로 절단된다.

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 임펄스 노이즈를 제거하기 위해, min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 제안한 필터의 성능을 평가하기 위해, 테스트 영상으로서 512×512의 Lena 영상을 사용하였다.

그림 2는 Lena 영상에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림으로부터 (a)는 원영상이며, (b)는 5%의 salt & pepper 노이즈에 의해 훼손된 영상이다. 그리고 (c)와 (d)는 각각 윈도우의 사이즈가 5×5, 7×7인 SM 필터에 의해 노이즈가 제거된 영상이다. 또한, (e)는 CWM 필터에 의한 결과이며, (f)는 본 논문에서 제안한 필터에 의해 노이즈가 제거된 영상이다. 이때, CWM과 제안한 필터에서 사용된 윈도우의 크기는 7×7이다.

결과 영상에서, 기존의 방법들은 salt & pepper 노이즈를 제거함과 동시에 영상의 에지성분에서 왜곡이 발생하고 있으며, 이러한 왜곡현상은 윈도우의 크기에 의존한다. 즉, 윈도우의 크기가 증가하면, 노이즈 제거 성능은 우수하지만, 동시에 에지성분의 열화를 발생시킨다. 그러나 제안한 필터의 결과 영상은 에지성분의 특성을 보존함과 동시에, 우수한 노이즈 제거 성능을 나타내었다.

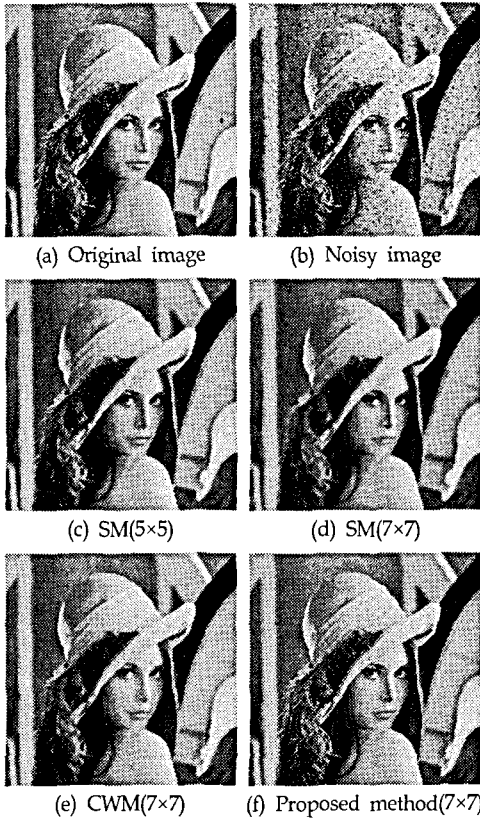


그림 2. 각 방법에 의한 노이즈 제거 결과

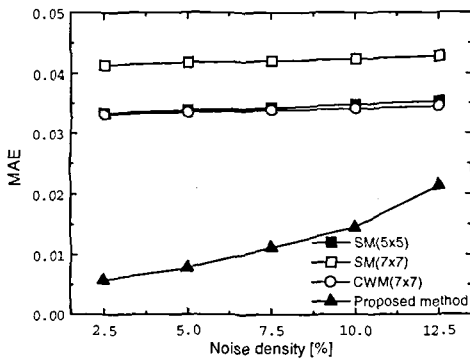


그림 3. 노이즈 밀도에 따른 MAE

그림 3은 테스트 영상에 중첩되는 salt & pepper 노이즈의 밀도에 따른 MAE(mean absolute error)이며, 그림 4는 노이즈 밀도 5%에서 필터링 윈도우의 크기에 따른 MAE를 나타내고 있다. 결과로부터, 기존의 방법들은 필터링 윈도우의 크기가 증가함에 따라 노이즈 제거성능보다 에지성분에 대한 열화가 더욱 증가하였으나, 제안한 방법은 윈도우의 크기에 관계없이 일정한 MAE를 나타내었다.

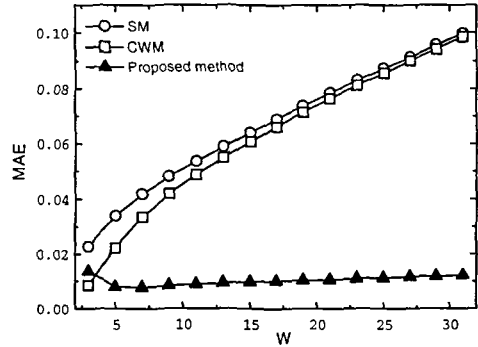


그림 4. 필터링 윈도우 크기에 따른 MAE

### V. 결론

본 논문에서는 임펄스 노이즈를 제거하기 위해, min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하여, 노이즈의 감쇄와 에지성분에 대한 보존 특성을 향상시켰다. 그리고 제안한 필터는 inner 윈도우 내의 화소를 업데이트하기 위해, surrounding band에서 한번의 최대/최소 값 검색을 수행한다.

시뮬레이션 결과로부터 기존의 방법들은 노이즈를 제거함과 동시에 영상의 에지성분에서 열화가 발생하였으나, 제안한 방법은 에지성분에 대한 특성을 보존하면서 노이즈를 제거하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 회귀형태의 비선형 필터는 노이즈 제거와 에지보존 특성이 우수하여, 영상 처리의 다양한 분야에 응용되리라 사료된다.

### 참고 문헌

- [1] ARCE, G.R., and FOSTER, R.E.: "Detail preserving rank-order based filters for image processing", IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., 1989, 37, (1), pp. 83-98
- [2] YIN, L., YANG, R., GABBOUJ, M., and NEUVO, Y.: "Weighted median filters: a tutorial", IEEE Trans. Circuits Syst., 1996, 43, (3), pp. 157-192
- [3] KO, S.J., and LEE, Y.H.: "Center weighted median filters and their application to image enhancement", IEEE Trans. Circuits Syst., 1991, 38, (9), pp. 984-993
- [4] WERMAN, M., and PELEG, S.: "Min-max operators in texture analysis", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1985, 7, (6), pp. 730-733
- [5] XU, Y., and LAI, E.M.: "Restoration of images contaminated by mixed Gaussian and impulse noise using a recursive minimum-maximum method", IEE Proc., Vis. Image Signal Process., 1998, 145, (4), pp. 264-270