

영상의 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터에 관한 연구

김 옥* · 배 상 범* · 김 남 호*

*부경대학교 공과대학 전기제어공학부

A Study on Nonlinear Spatial Filter using Directional Information of Image

Uk Kim* · Sang-Bum Bae* · Nam-Ho Kim*

*School of Electrical and Control Eng., Pukyong National Univ.

E-mail : nhk@pknu.ac.kr

요 약

현재, 정보통신 기술의 급격한 발전으로 인해 디지털 영상처리 기술 분야에서도 많은 연구가 진행되고 있으며, 영상복원 분야 중에서도 임펄스 잡음과 같은 잡음 제거 기술은 우수한 품질의 영상을 얻기 위해서 필수적으로 요구된다. 이러한 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위한 방법으로 SM (standard median) 필터가 대표적이지만 영상의 에지 영역에서 오류를 나타내어 전체 영상의 품질을 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위해 영상의 방향성 정보를 이용한 비선형 공간 필터를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

ABSTRACT

According to the development of information and communication technology, a great deal of researches have been taken in image digital processing field. And for earning the standard level of images, to remove noises such as impulse noise has become a essential demand. In those algorithms which remove impulse noise effectively, the standard median (SM) filter is representative. However, it has a disadvantage to degrade the quality of overall image by occurring errors in the edge domain. Therefore, in this paper, to restore the corrupted image by impulse noise, a nonlinear spatial filter based on Min-max operation was proposed and it was compared with conventional methods through simulations.

키워드

standard median filter, impulse noise, nonlinear filter, Min-max operation

1. 서 론

현대사회는 정보통신 기술의 급격한 발전으로 인해 디지털 영상처리 기술 분야에서도 많은 연구가 진행되고 있으며, 이러한 기술을 바탕으로 한 많은 제품들이 상용화되고 있다. 그리고 획득된 영상으로부터 임펄스 잡음과 같은 잡음 제거 기술은 우수한 품질의 영상을 얻기 위해서 필수적으로 요구되고 있다.

임펄스 잡음은 일반적으로 표현 가능한 최대 또는 최소값의 크기로 발생되며, 이러한 잡음을 제거하기 위해, 비선형 필터가 사용된다. 특히 간

단한 알고리즘과 우수한 잡음제거 성능을 나타내는 SM (standard median) 필터가 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 SM 필터는 영상의 국부적인 특징들을 고려하지 않음에 따라, 영상의 에지성분에서 오류를 발생시킨다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위해, WM (weighted median) 필터와 CWM (center weighted median) 필터 등이 제안되었다[1]. 그러나 이와 같은 변형된 SM 필터들은 데이터에 대한 정렬 과정을 통해 잡음을 제거함에 따라 많은 연산시간을 필요로 한다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하고 고속 연산에 의해 임펄스 잡음을 제거하는 Min-max

기반의 방법들이 제안되었다[3].

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 윈도우의 형태 변화와 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터를 제안하였다. 그리고 잡음제거 성능을 확인하기 위해, MSE (mean square error)를 이용하여 기존의 방법들과 비교하였다.

II. 기존의 알고리즘

1. Standard median 필터

SM 필터는 noisy 영상으로부터 임펄스 잡음을 제거하기 위한 가장 대표적인 필터로서, 처리화소와 주변화소로부터 추정된 화소값을 선택한다. 잡음제거를 위한 처리 윈도우 W 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$W = \{(s, t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (1)$$

식으로부터, 윈도우의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이고, (s, t) 는 처리를 위한 윈도우 내부의 좌표이며, 이때 SM 필터는 화소들 중에서 중간값을 선택한다.

$$Y(i, j) = \text{median} \{X(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (2)$$

여기서, $X(i, j)$ 는 입력영상의 화소값이며, $Y(i, j)$ 는 출력 화소값이다. 또한 $\text{median} \{\cdot\}$ 은 중간값 선택 연산자를 나타낸다.

2. Center weighted median 필터

WM(weighted median) 필터는 다음의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$Y(i, j) = \text{median} \{w(s, t) \diamond X(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (3)$$

식으로부터, $w(s, t)$ 는 좌표 (s, t) 에 위치하는 화소에 대한 가중치를 나타내며, \diamond 는 반복연산자를 의미한다. 따라서 위의 식 (3)은 윈도우의 각 위치에 해당하는 화소값 $X(i-s, j-t)$ 를 가중치 $w(s, t)$ 만큼 각각 생성한 후, 화소의 총 개수에 대하여 SM 필터를 적용한 결과값이다.

그리고 이러한 WM 필터의 특수한 경우로서, 다음의 식 (4)와 같이, 중앙화소에 대해서만 가중치 $w(0, 0) = 2K+1$ 를 적용하고, 주변화소에 대해서는 $w(s, t) = 1$ 을 적용한 필터를 CWM 필터라 한다[1].

$$Y(i, j) = \text{median} \{X(i-s, j-t), 2K \diamond X(i, j) | (s, t) \in W\} \quad (4)$$

3. Min-max 필터

Min-max 필터는 처리화소를 주변화소의 최대값과 최소값으로 제한하는 방법으로서, 다음의 식 (5)

와 같이 최대값 선택 연산자 $\max \{\cdot\}$ 와 최소값 선택 연산자 $\min \{\cdot\}$ 를 사용하여 표현된다[2].

$$Y(i, j) = \begin{cases} \max \{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i, j) > \max \{X(i-s, j-t)\} \\ \min \{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i, j) < \min \{X(i-s, j-t)\} \\ X(i-s, j-t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태 변화와 각 방향성분에 대한 최대값과 최소값을 이용하여, 처리화소의 크기를 제한하도록 하였다.

임의의 좌표 (i, j) 에서의 입력화소값 $X(i, j)$ 를 포함하는 (5×5) , $\{(2N+1) \times (2N+1), N=2\}$ 크기의 윈도우를 그림 1에 나타내었으며, 임펄스 잡음의 처리과정은 크게 잡음 검출과 제거의 두 단계로 구분된다.

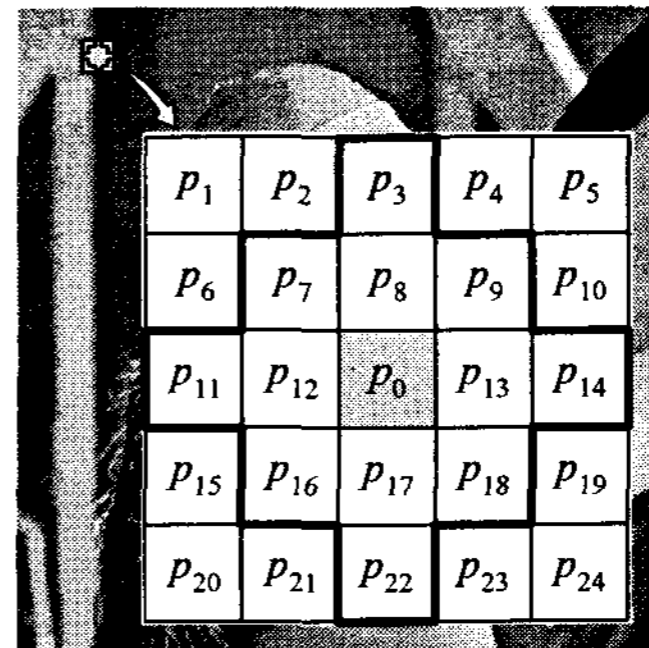


Fig. 1. Impulse noise detection window (5×5) .

먼저, 잡음에 의해 훼손된 화소에 대해서만 잡음 제거 과정을 적용하기 위해, 잡음 검출과정을 거치게 되며, (5×5) 크기의 윈도우에 대해, 주변화소를 이용하여 아래의 두 식과 같이 최대값 S_M 과 최소값 S_m 을 구한다.

$$S_M = \max \{p_i | 1 \leq i \leq 24\} \quad (6)$$

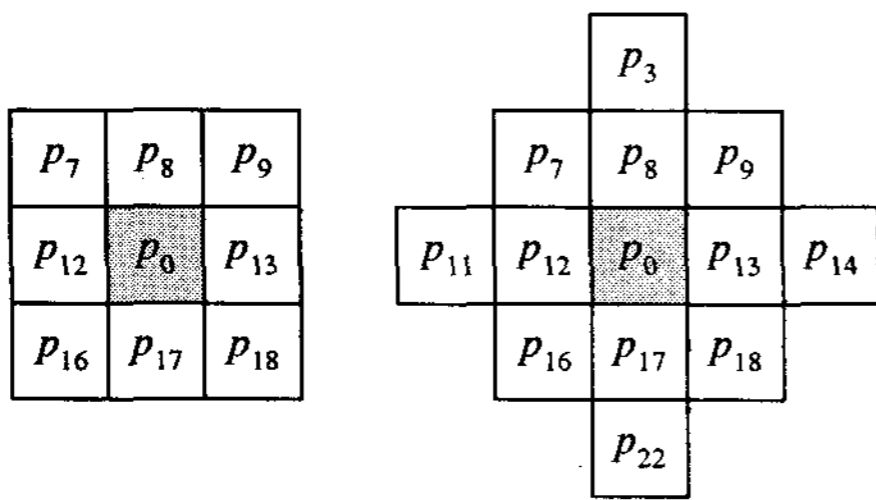
$$S_m = \min \{p_i | 1 \leq i \leq 24\} \quad (7)$$

일반적으로, 임펄스 잡음은 dynamic range의 최대 또는 최소값과 동등한 크기로 발생된다. 따라서 아래의 식 (8)로부터, n 이 1인 경우는 현재 화소가 임펄스 잡음에 의해 훼손된 것으로 간주하며, 그렇지 않은 경우는 원화소로 판단한다.

$$n = \begin{cases} 1, & p_0 \leq S_m \text{ or } p_0 \geq S_M \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

위의 과정으로부터 임펄스 잡음으로 판단된 화소의 위치정보를 나타내는 IMG_{index} 영상을 얻는다. 그리고 이러한 IMG_{index} 정보를 이용하여, 잡음으로 판단된 화소에 대해서만 아래의 임펄스 잡음 제거과정을 수행한다.

잡음제거과정은 처리화소에 대한 주변화소의 임펄스 잡음 분포비율에 따라, 처리 윈도우의 모양을 아래의 그림 2와 같이 상이하게 적용한다.



(a) Square window (b) Diamond window
Fig. 2. Processing window.

잡음제거를 위해서, IMG_{index} 영상을 이용하여 두 가지 윈도우의 각 방향성분에서 임펄스 잡음에 대한 분포 비율을 검사한다. Square window에 대한 각 방향성분은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} D_{S1} &= \{p_{7 \sim 9}, p_{12}, p_{13}\}, \\ D_{S2} &= \{p_{12}, p_{13}, p_{16 \sim 18}\} \\ D_{S3} &= \{p_{7 \sim 8}, p_{12}, p_{16 \sim 17}\}, \\ D_{S4} &= \{p_{8 \sim 9}, p_{13}, p_{17 \sim 18}\} \end{aligned} \quad (9)$$

또한 Diamond window에 대한 각 방향성분은 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} D_{D1} &= \{p_3, p_{7 \sim 9}, p_{13 \sim 14}, p_{18}\}, \\ D_{D2} &= \{p_7, p_{11 \sim 12}, p_{16 \sim 18}, p_{22}\} \\ D_{D3} &= \{p_3, p_{7 \sim 9}, p_{11 \sim 12}, p_{16}\}, \\ D_{D4} &= \{p_9, p_{13 \sim 14}, p_{16 \sim 18}, p_{22}\} \end{aligned} \quad (10)$$

그리고 각 방향성분 영역 내에 포함된 임펄스 잡음의 수를 각각 $I_{S1}, I_{S2}, I_{S3}, I_{S4}, I_{D1}, I_{D2}, I_{D3}, I_{D4}$ 로 나타낼 때, Square window와 Diamond window 영역 내의 방향성분에 대한 임펄스 잡음의 최대 분포 비율을 식 (11)로 나타낸다.

$$\begin{aligned} MAX_S &= \max \{I_{S1}/5, I_{S2}/5, I_{S3}/5, I_{S4}/5\} \\ MAX_D &= \max \{I_{D1}/7, I_{D2}/7, I_{D3}/7, I_{D4}/7\} \end{aligned} \quad (11)$$

위의 식 (11)에서 표현된 MAX_S 와 MAX_D 에 대한 관계로부터, $MAX_S \leq MAX_D$ 일 경우에는 임펄스 잡음을 제거하기 위해 Square window를 적용하며, 그렇지 않은 경우에는 Diamond window를 적용한다. 이것은 상대적으로 임펄스 잡음이 적게 분포된 윈도우를 사용할 경우, 좀 더 우수한 잡음제거 성능을 나타내기 때문이다.

식 (11)에 의한 모든 경우에 대해서, 임펄스 잡음을 제거하기 위해, Square window와 Diamond window는 각 방향에 대해 4 부분으로 분할된다. Square window의 경우, 각 방향 성분은 식 (12)와 같이 표현되며, Diamond window일 경우, 각 방향 성분은 식 (13)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} M_1 &= \{p_{12}, p_{13}\}, & M_2 &= \{p_7, p_{18}\} \\ M_3 &= \{p_8, p_{17}\}, & M_4 &= \{p_9, p_{16}\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} M_1 &= \{p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}\}, & M_2 &= \{p_7, p_{18}\} \\ M_3 &= \{p_3, p_8, p_{17}, p_{22}\}, & M_4 &= \{p_9, p_{16}\} \end{aligned} \quad (13)$$

위의 식 (12) 또는 식 (13)로부터 얻어지는 각 방향 성분에 대한 subset으로부터, 다음의 식 (14)와 같이 각 subset의 최대값 φ_M^i 와 최소값 φ_m^i 를 구한다.

$$\begin{aligned} \varphi_M^i &= \max \{M_i\}, & 1 \leq i \leq 4 \\ \varphi_m^i &= \min \{M_i\}, & 1 \leq i \leq 4 \end{aligned} \quad (14)$$

그리고 입력화소의 gray level을 제한하기 위해, 위의 식 (14)로부터 얻어지는 subset의 최대값 φ_M^i 와 최소값 φ_m^i 을 이용하여, 식 (15)과 같은 임계값을 구한다.

$$\begin{aligned} \lambda_M &= \min \{\varphi_M^i | 1 \leq i \leq 4\} \\ \lambda_m &= \max \{\varphi_m^i | 1 \leq i \leq 4\} \end{aligned} \quad (15)$$

최종적으로 식 (16)을 이용하여, 임펄스 잡음에 의해 훼손된 화소를 원화소에 대한 추정값으로 대체하며, 이때 현재 화소에 대한 추정값이 다음 화소를 처리하기 위한 이웃화소로 사용되는 재귀형태를 갖도록 하였다.

$$X(i, j) \leftarrow \begin{cases} \lambda_M, & \text{if } X(i, j) > \lambda_M \\ \lambda_m, & \text{if } X(i, j) < \lambda_m \\ X(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태 변화와 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터를 제안하였다. 그리고 제안한 필터의 성능을 평가하기 위해, (512×512) 크기의 Lena 영상에 임펄스 잡음을 중첩하여 시뮬레이션 하였으며, MSE를 사용하여 기존의 방법과 비교하였다.

그림 3은 Lena 영상에 대한 임펄스 잡음 제거 결과를 MSE로 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 테스트를 위해 사용된 Lena 영상에서, (128×128) 크기의 부분 영상이며, 그림 3(b)는 20%의 salt & pepper 잡음이 중첩된 noisy 영상이다. 그리고 그림 3(c)에서 그림 3(f)는 각각 SM 필터 (5×5), CWM 필터 (5×5, K=2), Min-max 필터 (3×3), 그리고 본 논문에서 제안한 필터 (5×5)에 의한 결과영상이다. 결과로부터, 기존의 방법들은 20%의 salt & pepper 잡음환경 하에서, 약 60 이상의 MSE 특성을 나타내었으나, 제안한 방법은 약 22의 MSE 특성을 나타내었다.

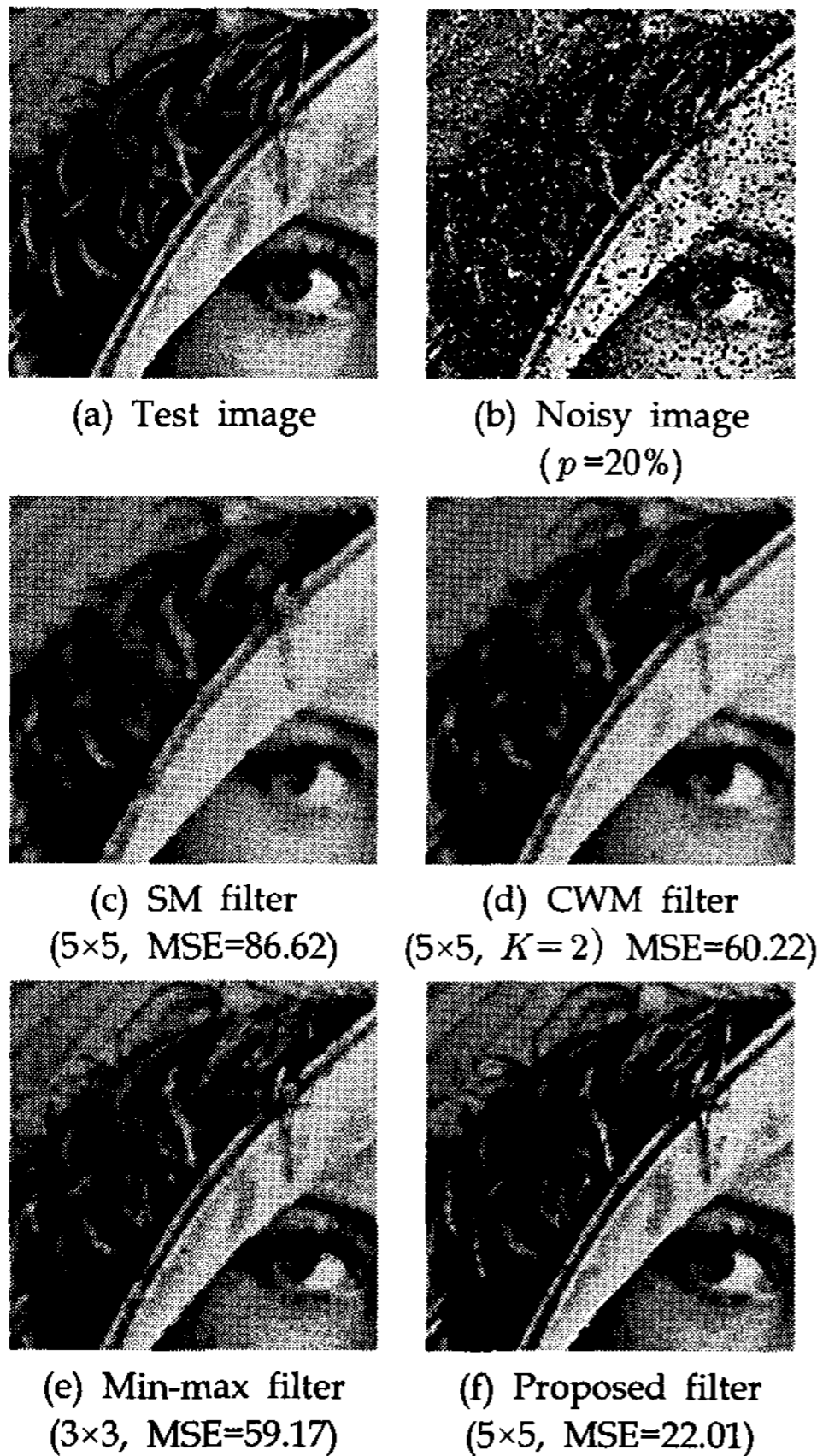


Fig. 3. Filtering results.

Table 1. MSE comparison by each method

density	SM filter	CWM filter	Min-max filter	Proposed filter
5%	71.74	42.57	30.37	9.61
10%	76.20	46.65	38.38	10.85
15%	80.37	52.23	46.76	15.89
20%	86.62	60.22	59.17	22.01
25%	94.63	72.01	76.85	34.47
30%	100.30	86.47	93.91	45.48
35%	116.88	129.34	120.15	68.81
40%	141.44	214.59	153.45	91.98
45%	178.11	348.71	197.14	140.05
50%	267.00	622.61	259.68	187.77

그리고 표 1은 테스트 영상에 중첩되는 임펄스 잡음의 변화에 따른 MSE 특성을 나타낸 것이다. 결과로부터, 제안한 방법이 모든 잡음 영역에서 기존의 방법들에 비해, 우수한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 낮은 잡음 밀도 영역에서 더욱 개선된 결과를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태 변화와 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터를 제안하였으며, 시뮬레이션에서 MSE를 사용하여 기존의 방법들과 비교하였다.

시뮬레이션 결과로부터, 기존의 방법들은 임펄스 잡음을 제거함에 있어서, 에지영역에 대한 큰 열화현상을 나타내었으나, 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 에지영역을 보존함과 동시에 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하여, 모든 잡음 영역에서 기존의 방법들보다 우수한 MSE 특성을 나타내었다. 이에 따라, 제안한 방법은 임펄스 잡음환경 하에서 운용되는 다양한 영상처리시스템에 유용하게 적용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

[1] S. J. Ko and Y. H. Lee, "Center weighted median filters and their application to image enhancement", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 38, pp. 984-993, Sept. 1991.
 [2] P. S. Windyga, "Fast impulsive noise removal", IEEE Trans. Image Processing, vol. 10, pp. 173-179, Jan. 2001.
 [3] M. Werman and S. Peleg, "Min-max operators in texture analysis", IEEE Trans. PAMI, vol. 7, pp. 730-733, Nov. 1985.