임펄스 잡음환경에서 표준편차를 이용한 변형된 메디안 필터

Xu Long · 김남호*

The Modified Median Filter using Standard Deviation in Impulse Noise Environment

Xu Long · Nam-Ho Kim*

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약

최근 산업사회가 고도의 디지털 정보화 시대로 발전함에 따라 영상처리는 여러 분야에 활용되고 있다. 그러나 여전히 데이터를 처리하는 과정에서 다양한 잡음에 의해 영상의 열화가 발생하며, 잡음을 제거하기 위해 여러 가지 방법의 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음을 제거하기 위해, 표준편차를 이용한 변형된 메디안 필터를 제안하였다. 제안한 알고리즘은 잡음판단과 잡음제거 두 부분으로 나누며, 비 잡음 신호는 그대로 보존하고, 잡음 신호는 필터처리 한다. 그리고 객관적 판단을 위해 기존의 방법들과 비교하였으며, 판단의 기준으로 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

ABSTRACT

Recently, as industrial society is developed as high digital information age, image processing is used in a variety of areas. However, image deterioration is still occurred by several noises in the data processing, and different kinds of researches are in progress for noise removal. Therefore, this paper limited the modified median filter by using standard deviation to removes impulse noise. The proposed algorithms divided into noise detection and noise removal, the noise free pixel is maintained, the noise pixel filtered. And it was compared with the existing methods for its objective judgment, using PSNR(peak signal to noise ratio) as standard criteria.

키워드 : 잡음제거, 임펄스, 표준편차, 메디안 필터

Key word : Denoising, Impulse, Standard deviation, Median filter

접수일자 : 2013. 03. 29 심사완료일자 : 2013. 05. 20 게재확정일자 : 2013. 06. 05

* Corresponding Author Nam-Ho Kim(E-mail: nhk@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6328)

Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1725>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

현대 사회의 정보 통신은 다양한 영상 매체를 이용하여 전송하고 있으며, 휴대폰, TV, 컴퓨터 등은 대표적인 영상 신호를 이용하는 매개체로서 현대 사회를 이루는 큰 축이라고 할 수 있다. 그러나 통신기술의 초고속 발전에 따라, 영상의 처리, 전송, 저장하는 과정에서 여러 가지 요인에 의해 잡음이 첨가되어 영상의 질이 저하되며, 이에 따라 잡음에 훼손된 영상의 질을 향상하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다[1-4].

잡음을 제거하기 위하여 많은 기법들이 제안되었으며, 가장 대표적인 기법에는 평균필터(mean filter), 알파 트림드 평균 필터(alpha-trimmed mean filter), 메디안 필터(standard median filter), 중간 가중치 메디안 필터(center weighted median filter), 다단계 메디안 필터(multistage median filter) 등이 있다[4-7]. 그러나 평균 필터는 영상의 고주파 성분들을 훼손시켜 블러링 현상을 일으키고, 메디안 필터는 임펄스 잡음에는 우수한 특성을 나타내지만, 영상에 시각적인 오류를 나타낸다.

본 논문에서는 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 표준편차를 이용한 변형된 메디안 필터 알고리즘을 제안하였다. 그리고 잡음제거 성능의 우수성을 입증하기 위해, PSNR을 이용하여 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였으며, 제안한 방법은 우수한 잡음제거 특성을 나타내었다.

II. 기존 방법

2.1. A-TMF(alpha-trimmed mean filter)

필터링 마스크 W 내의 $k=2N+1$ 개의 테스트 화소값을 $\{x(m), x(m-1), \dots, x(m-k+1)\}$ 이라고 할 때, 화소값들을 오름차순으로 배열하였을 경우, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x_1(m) \leq x_2(m) \leq \dots \leq x_k(m) \quad (1)$$

여기서 $x_1(m)$ 는 마스크 화소값의 최소치를 나타내고, $x_k(m)$ 는 화소값의 최대치를 나타내며, $x_{N+1}(m)$ 는 화소값의 메디안 값을 나타낸다. 이때 알파 트림드

평균 필터는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$P_k(m : a) = \frac{1}{k - 2[a]} \sum_{j=[a]+1}^{k-[a]} x_{(n)}(m) \quad (2)$$

여기서 $[\cdot]$ 는 올림 함수를 나타내고, a 의 값의 범위는 $0 \leq a < 0.5$ 이다. 이에 따라 알파 트림드 필터는 변수 a 값에 따라 필터링 특성이 달라지게 된다[5].

2.2. CWMF(center weighted median filter)

마스크 W 내의 (i, j) 위치 화소값을 $x(i, j)$ 라고 할 때, WM 필터는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$P(i, j) = \text{med} \{ M(p, q) \text{ copies of } x(i+p, j+q) \mid (p, q) \in W \} \quad (3)$$

$$W = \{(p, q) \mid -N \leq p \leq +N, -N \leq q \leq +N\}$$

WM 필터는 마스크의 메디안 값에 가중치를 적용하여 처리하는 방법으로서, 각 화소값 $x(i+p, j+q)$ 를 가중치 $M(p, q)$ 만큼 생성한 후, 메디안 필터와 같이 화소를 정렬시켜 메디안 값을 선택한다. 여기서 (p, q) 은 마스크 내부 좌표를 나타낸다.

CWM 필터는 WM 필터의 특수 경우로서 중간화소에 대해서만 가중치를 적용하고 기타 화소에 대해서는 가중치 1을 적용하며, 식 (4)와 같이 표현된다[6].

$$P(i, j) = \text{med} \{ x(i+p, j+q) \text{ } 2K \text{ copies of } x(i, j) \mid (p, q) \in W \} \quad (4)$$

$$W = \{(p, q) \mid -N \leq p \leq +N, -N \leq q \leq +N\}$$

여기서, K 는 양의 정수이며, $K=0$ 일 경우 CWM 필터는 메디안 필터가 되고, 마스크 내의 총 화소보다 가중치 $2K+1$ 이 크거나 같게 되면, 필터링은 수행되지 않는다. 또한 중앙화소의 가중치가 클 경우, 영상의 에지 성분에 대한 보존 성능은 우수해지는 반면, 잡음제거 한계가 발생한다[6].

2.3. MMF(multistage median filter)

다단계 메디안 필터 알고리즘은 메디안 필터의 변형이며, 마스크를 수직, 수평, 45°, 135° 네 부분으로 나누

어 필터 처리한다. 다단계 메디안 필터는 식 (5), (6), (7)과 같이 표현된다[7].

$$\begin{aligned} D_1^{i,j} &= \{x(i, j-k); -N \leq k \leq +N\} \\ D_2^{i,j} &= \{x(i-k, j); -N \leq k \leq +N\} \\ D_3^{i,j} &= \{x(i+k, j-k); -N \leq k \leq +N\} \\ D_4^{i,j} &= \{x(i-k, j-k); -N \leq k \leq +N\} \end{aligned} \quad (5)$$

$D_d^{i,j}$ 는 각 방향 부분 집합을 나타내고, 다음 각 부분 집합의 메디안 값을 구하며, 메디안 값의 최소, 최대치에 의해 최종 출력값을 구한다.

$$\begin{aligned} M_d &= \text{med}\{x(i, j) \in D_d^{i,j}; d = 1 : 4\} \\ U_{min} &= \min\{M_d\} \\ U_{max} &= \max\{M_d\} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 M_d 는 각 부분집합의 메디안 값을 나타내고, U_{min} , U_{max} 는 메디안 값의 최소, 최대치를 나타낸다. 따라서 최종 출력값은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$P(i, j) = \text{med}\{U_{min}, U_{max}, x(i, j)\} \quad (7)$$

III. 제안한 변형된 메디안 필터 알고리즘

본 논문에서 제안한 임펄스 잡음제거 알고리즘은 잡음판단과 잡음제거 두 개 부분으로 나뉘며, 비 잡음 신호는 그대로 보존하고, 잡음 신호에 대해서는 필터처리를 한다.

3.1. 잡음의 판단

임펄스 잡음에 의하여 훼손된 영상은 다음 식 (8)과 같이 표현된다.

$$x_{i,j} = \begin{cases} n_{i,j}, & \text{for } p \\ f_{i,j}, & \text{for } 1-p \end{cases} \quad (8)$$

여기서 $x_{i,j}$ 는 영상에서 (i, j) 위치의 화소를 나타내고, $n_{i,j} \in [x_{min}, x_{max}]$ 이며, x_{min} 과 x_{max} 는 화소들이 가질 수 있는 최소값과 최대값이다. p 는 잡음 화소의 밀도를 나타내고, $f_{i,j}$ 는 원영상의 화소를 나타낸다.

본 논문에서는 salt & pepper 임펄스 잡음을 제거하는데 잡음신호의 화소 값은 x_{min} 과 x_{max} 을 가진다. 즉 8비트 영상에서 잡음은 화소 값이 0과 255 크기를 가지는 신호들이므로 본 논문에서는 잡음을 판단할 때, 영상에서 0과 255를 가지는 화소들을 잡음 신호로 판단한다. 잡음을 표시하는 binary mark $a_{i,j}$ 는 다음 식 (9)와 같이 표현된다.

$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & x_{i,j} = 0 \text{ or } 255 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)에서 1은 잡음신호를 나타내고, 0은 비 잡음 신호를 나타낸다.

3.2. 잡음의 제거

잡음 판단 과정을 거친 후, 필터링 마스크는 7×7 의 마스크를 사용하였다. 필터링 마스크는 그림 1과 같으며, 필터 처리 과정은 다음과 같다.

그림 1. 필터링 마스크 (7×7)

Fig. 1 Filtering mask (7×7)

Step 1. 화소 $x(i, j)$ 를 중심으로 7×7 $\{(2N+1) \times (2N+1); N=3\}$ 의 마스크를 설정하며, 방향성을 고려하기 위해, 수직, 수평, 45° , 135° 각 방향성분의 부분집합 $D_d^{i,j} (d=1:4)$ 를 생성한다. 부분 집합 $D_d^{i,j}$ 는 식 (10)

과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} D_1^{i,j} &= \{x(i, j-k); -N \leq k \leq +N\} \\ D_2^{i,j} &= \{x(i-k, j); -N \leq k \leq +N\} \\ D_3^{i,j} &= \{x(i+k, j-k); -N \leq k \leq +N\} \\ D_4^{i,j} &= \{x(i-k, j-k); -N \leq k \leq +N\} \end{aligned} \quad (10)$$

Step 2. 각 방향에서 화소 극치, 즉 최소값과 최대값을 제거하기 위해, 각 방향성분을 오름차순으로 배열하며, 식 (11)과 같이 표현된다.

$$K_d^{i,j} = \{x_{1,t}^d | x_{1,t}^d \in D_d^{i,j}, t = 1:7, d = 1:4\} \quad (11)$$

여기서 $K_d^{i,j}$ 는 배열 후 집합을 나타내고, $x_{1,t}^d$ 는 집합 원소를 나타내며, $x_{1,t}^d \leq x_{1,t+1}^d$ 이다.

Step 3. 배열 후, 각 방향에서 최소값과 최대값을 제거하며, 형성된 새로운 벡터는 식 (12)와 같이 표현된다.

$$S_d^{i,j} = \{x_{1,t}^d | x_{1,t}^d \in K_d^{i,j}, t = 2:6, d = 1:4\} \quad (12)$$

Step 4. 각 방향성분에서 가장 우수한 방향을 선택하기 위해, 표준편차를 도입하여 판정하며, 식 (13), (14)와 같이 표현된다.

$$m_d = \frac{1}{5} \sum_{t=2}^6 \{x_{1,t}^d | x_{1,t}^d \in S_d^{i,j}, d = 1:4\} \quad (13)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{t=2}^6 \{(x_{1,t}^d - m_d)^2 | x_{1,t}^d \in S_d^{i,j}, d = 1:4\}} \quad (14)$$

여기서 m_d 는 화소들의 평균치를 나타내고, σ_d 는 표준편차를 나타낸다.

Step 5. 각 방향성분의 표준편차에서 표준편차가 작을수록 원 영상신호에 가깝다고 가정하며, 최소 표준편차 벡터방향을 선택하여 처리한다.

다음 선택한 벡터방향을의 메디안 값을 구하고 각 화소값과 메디안 값과의 차를 구하며, 식 (15)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Delta P_{m-} &= \{ \min\{|M - x_{1,t}|\}; t = 2:6, t \neq 4\}, \\ &\quad \text{if } (M - x_{1,t}) < 0 \\ \Delta P_{m+} &= \{ \min\{|M - x_{1,t}|\}; t = 2:6, t \neq 4\}, \\ &\quad \text{if } (M - x_{1,t}) > 0 \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 M 는 선택한 벡터의 메디안 값을 나타내고, ΔP_{m-} 는 메디안 값과 벡터방향 신호사이의 가장 작은 차가 0보다 작을 때의 값 중에서 절대치가 제일 작을 때의 값을 나타내며, ΔP_{m+} 는 메디안 값과 벡터방향 신호사이의 가장 작은 차가 0보다 클 때의 값 중에서 절대치가 제일 작을 때의 값을 나타낸다.

Step 6. 만약 ΔP_{m-} , ΔP_{m+} 가 0의 값을 가지지 않으면 최종 출력 화소는 식 (16)과 같이 표현된다.

$$P_{out} = M + P_s, \Delta P_{m-} \neq 0 \ \&\& \ \Delta P_{m+} \neq 0 \quad (16)$$

여기서 P_s 는 메디안 값과 제일 가까운 신호이며, P_s 를 찾는 방법은 아래 식 (17)을 이용한다.

$$P_s = \begin{cases} M - \Delta P_{m-}, & \text{if } (M - x_{1,t}) < 0 \\ M + \Delta P_{m+}, & \text{if } (M - x_{1,t}) > 0 \end{cases} \quad (17)$$

ΔP_{m-} , 혹은 ΔP_{m+} 가 0의 값을 가지면, 선택한 벡터방향을의 메디안 값이 잡음화소일 가능성이 있다. 이때, 선택한 벡터방향을의 각 화소에서 메디안 값과의 차가 0인 화소값을 제거하고 남은 화소값의 메디안 값을 최종 출력화소로 한다.

$$P_{out} = \text{median}\{M_s\}, \Delta P_{m-} = 0 \ \parallel \ \Delta P_{m+} = 0 \quad (18)$$

여기서 M_s 는 선택 벡터방향을의 각 화소에서 메디안 값과의 차가 0인 화소값을 제거하고 남은 화소들의 집합을 나타낸다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 8 비트 그레이 영상 Lena와 Girl에 대해 slat & pepper 잡음을 첨가하여 시

물레이션하였다. 또한 영상의 개선 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 도입하여 기존의 CWMF, MMF, A_TMF 방법들과 각각 성능을 비교하였다. MSE와 PSNR은 식 (19), (20)와 같이 표현된다.

$$MSE = \frac{\sum_{i,j} P_{out}(i,j) - x(i,j)}{R \times C} \quad (19)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (20)$$

이때 R, C는 이미지 가로, 세로크기를 나타낸다. 그림 2, 3은 Lena 영상과 Girl 영상에 잡음 밀도가40인 임펄스 잡음을 첨가하였을 때, 기존의 방법들과 제안한 방법의 시물레이션결과이다.

그림에서 (a)는 원 영상이고, (b)는 잡음(P=40%)에 훼손된 영상이며, (c)는 알파 트림드 평균 필터(A-TMF : $\alpha=0.2$), (d)는 중간 가중치 메디안 필터(CWMF : K=1), (e)는 다단계 메디안 필터(MMF), (f)는 제안한 필터 알고리즘(PFA: proposed filter algorithm)으로 처리한 결과이다.

그림 2. Lena 영상에 대한 시물레이션 결과 (a) 원 영상 (b) 잡음 이미지 (c) A-TMF (d) CWMF (e) MMF (f) PFA
Fig. 2 Simulation result of Lena image (a) Original image (b) Noise image (c) A-TMF (d) CWMF (e) MMF (f) PFA

그림 3. Girl 영상에 대한 시물레이션 결과 (a) 원 영상 (b) 잡음 이미지 (c) A-TMF (d) CWMF (e) MMF (f) PFA
Fig. 3 Simulation result of Girl image (a) Original image (b) Noise image (c) A-TMF (d) CWMF (e) MMF (f) PFA

시뮬레이션 결과로부터, A-TMF, MMF는 잡음제거 능력이 미흡하며, CWMF는 잡음 제거 특성이 비교적 우수하지만 제안한 알고리즘은 더욱 우수한 잡음제거 특성을 나타내었다.

그림 4는 각각의 필터들에 의해 복원된 영상에 대한 PSNR을 비교한 것이다. 그 결과로부터 기존의 방법들은 잡음밀도가 높은 영역에서 그 성능이 급격히 저하됨을 알 수 있으나, 제안한 방법은 기존의 방법들 보다 우수한 결과를 나타내었다.

그림 4. 임펄스 잡음밀도에 따른 PSNR (a) Lena 영상 (b) Girl 영상
Fig. 4 PSNR with Impulse Noise density (a) Lena image (b) Girl image

표 1과 표 2는 Lena 영상과 Girl 영상에의 PSNR 수치를 나타낸 것이다.

표 1. Lena 영상의 각 PSNR[dB] 비교

Table. 1 Each PSNR[dB] comparison for Lena image

Noise density	Method			
	A-TMF ($\alpha=0.2$)	MMF	CWMF (K=1)	PFA
20%	18.75[dB]	17.63[dB]	25.71[dB]	32.36[dB]
30%	17.06[dB]	14.46[dB]	20.05[dB]	27.53[dB]
40%	15.81[dB]	12.20[dB]	16.09[dB]	22.58[dB]
50%	14.82[dB]	10.43[dB]	13.10[dB]	18.11[dB]

표 2. Girl 영상의 각 PSNR[dB] 비교

Table. 2 Each PSNR[dB] comparison for Girl image

Noise density	Method			
	A-TMF ($\alpha=0.2$)	MMF	CWMF (K=1)	PFA
20%	18.79[dB]	17.72[dB]	25.64[dB]	33.88[dB]
30%	17.15[dB]	14.54[dB]	20.13[dB]	28.75[dB]
40%	15.91[dB]	12.20[dB]	16.15[dB]	23.23[dB]
50%	14.90[dB]	10.46[dB]	13.12[dB]	18.43[dB]

V. 결 론

본 논문은 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 표준편차를 이용한 변형된 메디안 필터 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션결과, 제안한 알고리즘의 임펄스 잡음 밀도 변화에 따른 잡음제거 특성은 기존의 방법들보다 우수한 PSNR 결과를 나타내었다. 그리고 표의 결과로부터, 임펄스 잡음밀도가 40인 Lena 영상과 Girl 영상에서 각각 22.58[dB]과 23.23[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있고, 기존의 알파 트림드 평균 필터, 중간 가중치 메디안 필터, 다단계 메디안 필터에 비해 각각 6.77[dB], 6.49[dB], 10.38[dB]; 7.32[dB], 7.08[dB], 11.03[dB] 개선되었다.

따라서 제안한 알고리즘은 임펄스 잡음을 제거하여 임펄스 잡음환경에서 운용되고 있는 영상 처리 시스템에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] K. N. Plataniotis and A. N. Venetsanopoulos, Eds., *Colir Image Processing and Applications*, Springer, Berlin, Germany, 2000.
- [2] R. C. Gonzalez and R.E. woods, Eds., *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2007.
- [3] Jiahui Wang and Jingxing Hong, "A New Selt-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared," *IEEE Information Engineering and Computer Science, ICIECS International Conference*, 2009.
- [4] Y. Dong and S. Xu, "A New Directional Weighted Median Filter for Removal Random-Valued Impulse Noise", *IEEE Signal Processing Lett.*, vol 14, no. 3, pp. 193-196, 2007.
- [5] Öten, Remzi and De Figueiredo, Rlui J P, "Adaptive Alpha-Trimmed Mean Filters Under Deviations From Assumed Noise Model", *IEEE Trans., Image Processing*, vol. 13, no. 5, pp. 627-639, May 2004.
- [6] Gao Yinyu and Nam-Ho Kim, "The Modified Filter to Remove Impulse Noise", *International Journal of KIICE*, vol. 15, no. 4, pp. 1177-1182, May 2011.
- [7] He Changwei, Liu Yingxia, Ren Wenjie and Wang Xin, "Wavelet denoising based on multistage median filtering", *Journal of Computer Application*, vol. 27, no. 9, pp. 2117-2119, Sep. 2007.

Xu Long(Xu Long)

2012년 6월 Harbin Engineering University 졸업
 2012년 9월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정
 ※관심분야: 영상처리

김남호(Nam-Ho Kim)

한국정보통신학회논문지 제11권 제1호 참조
 1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
 ※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호복원