

임펄스 잡음 환경에서 영상복원 필터에 관한 연구

Xu Long · 김남호*

A Study on Image Restoration Filter in Impulse Noise Environments

Xu Long · Nam-Ho Kim*

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

요 약

사회가 고도의 디지털 정보화 시대로 발전함에 따라 영상복원 등 디지털 영상처리 기술분야에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 임펄스 잡음에 훼손된 영상을 복원하는 대표적인 방법은 SM(standard median) 필터, CWM(center weighed median) 필터 등이 있지만, 이들은 잡음밀도가 낮은 영역에서는 우수한 잡음 제거 특성을 나타내고, 잡음밀도가 높은 영역에서는 잡음제거 특성이 미흡하다. 본 논문에서는 임펄스(Salt & Pepper) 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위해 훼손된 화소를 중심으로 하여 마스크를 확장 세분화하여 처리하는 영상복원 필터 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안한 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 PSNR(peak signal to noise ratio)을 판단의 기준으로 사용하였다.

ABSTRACT

As the society develops to advanced digital information times, many studies are underway about digital video processing technology areas such as image restoration. There are typical methods to restore the image which have been damaged by the impulse noise like SM(standard median) filter and CWM(center weighed median) filter. These filters show excellent noise reduction capabilities in low noise density areas, but in high noise density areas, noise reduction capabilities are not sufficient. In this paper, in order to restore the degraded images in impulse(Salt & Pepper) noise environment, the image restoration filter algorithm was suggested which expands and subdivide the mask focusing on damaged pixels. And to demonstrate the superiority of the proposed algorithm used PSNR (peak signal to noise ratio) as the standard of judgement.

키워드 : 잡음제거, 임펄스 잡음, 마스크 확장, 세분화

Key word : Denoising, Impulse noise, Mask expand, Subdivide

접수일자 : 2013. 10. 23 심사완료일자 : 2013. 11. 15 게재확정일자 : 2013. 11. 29

* **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.2014.18.2.475>

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

멀티미디어 시대를 선도하는 디지털 영상처리는 영상정보를 지능적이고 효율적인 방법으로 처리, 분석하는 기술분야이다. 현대 사회에서 디지털 기술의 발전에 따라 영상은 하드웨어, 소프트웨어 등 다양한 매체를 이용하여 전송하고 있으며, 현대 사회를 이루고 있는 중요한 부분이라 할 수 있다. 그러나 통신기술의 초고속 발전에 따라, 영상의 처리, 전송, 저장하는 과정에서 여러 가지 요인에 의해 잡음이 첨가되어 영상이 흐려지게 되며, 영상의 인지도가 낮아진다. 이에 따라 잡음에 훼손된 영상을 복원하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다[1-4].

잡음을 제거하기 위하여 많은 기법들이 제안되었으며, 가장 대표적인 기법에는 평균필터(AF: average filter), 표준 메디안 필터(SMF: standard median filter), 다중 메디안 필터(MMF: multistage median filter)[5], 알파 트림드 평균 필터(A-TMF: alpha-trimmed mean filter)[6], 중심 가중치 메디안 필터(CWMF: center weighted median filter)[7], 적응 스위칭 메디안 필터(ASMF: adaptive switching median filter)[8] 등이 있다. 메디안 필터와 그 변형인 중심 가중치 메디안 필터는 성공적으로 임펄스 잡음을 제거하지만, 균일 영상 전체에 걸쳐 비 잡음화소에도 필터처리가 되어 영상을 왜곡시킨다. 이를 보완하기 위해 스위칭 메디안 필터(SWMF: switching median filter), 적응 중심 가중치 메디안 필터(ACWMF: adaptive center weighted median filter)[7-8], 진보적인 스위칭 메디안 필터(PSMF: progressive switching median filter)[9-10] 등이 제안되었으며, 이들은 잡음화소를 판단하여, 비 잡음 화소는 보존하고 잡음 화소에 대해서만 필터링을 수행하며, 잡음밀도가 낮은 영역에서 우수한 잡음제거 특성을 나타내고, 잡음밀도가 높은 영역에서는 잡음 제거 특성이 다소 미흡하다[11].

본 논문에서는 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 훼손된 화소를 중심으로 하여 마스크를 확장 세분화하여 처리하는 영상복원 필터 알고리즘을 제안하였다. 그리고 잡음제거 성능의 우수성을 입증하기 위해, PSNR을 이용하여 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

II. 기존 방법

2.1. MMF (multistage median filter)

MMF 알고리즘은 표준 메디안 필터를 변형한 것으로, 마스크를 수직, 수평, 45°, 135° 네 부분으로 나누며, 각 부분 집합을 $D_d^{i,j}$ 로 나타낸다. 다음 각 부분집합의 메디안값을 구하며, 메디안값의 최소, 최대치를 구한다 [5].

$$M_d = med\{x(i,j) \in D_d^{i,j}; d = 1 : 4\}$$

$$U_{min} = min\{M_d\} \tag{1}$$

$$U_{max} = max\{M_d\}$$

원 화소값, 그리고 메디안값의 최대치, 최소치에 의하여 최종 출력을 구하며 식 (2)와 같이 표현된다.

$$P(i,j) = med\{U_{min}, U_{max}, x(i,j)\} \tag{2}$$

2.2. ACWMF (adaptive center weighted median filter)

ACWMF는 주변화소와 중심화소의 차이에 따라 중심화소에 보다 큰 가중치를 설정하며, 다음과 같은 과정을 거친다.

$$y_{i,j}^{2k} = med\{x_{i-m,j-n}, (2k) \forall x_{i,j} | -w \leq m, n \leq w\} \tag{3}$$

여기서 w 가 절반의 마스크 크기를 나타내고, $L = 2w \times (w + 1)$ 이며, $2L + 1$ 은 전체 마스크 화소를 나타낸다. $(2k) \forall x_{i,j}^0$ 은 중심화소를 $2k$ 번 반복처리한 것이고, $y_{i,j}^{2k}$ 은 메디안 필터 출력을 나타내며, k 의 범위는 $[0, L - 1]$ 이다. $y_{i,j}^0$ 은 처음 메디안 결과로서, 수치상 $x_{i,j}^0$ 과 같다. 메디안값과 중심화소의 절대차 d_k 는 $|y_{i,j}^{2k} - x_{i,j}^0|$ 이며, $d_k \geq d_{k-1}$ 이다.

그리고 한 집합의 임계값 T_k 로 잡음화소 검출을 진행하며, $T_{k-1} \geq T_k$ 와 같은 관계를 가진다. 여기서 k 는 $[1, L - 1]$ 의 범위를 가지며, 만약 $d_k > T_k$ 가 성립된다면, $x_{i,j}^0$ 은 잡음화소로 가정하고, 그 인접화소의 메디안

값으로 대체하며, 그 반면, 훼손되지 않은 화소로 가정하고 원 화소값은 변화하지 않는다. 마스크 크기가 3×3 인 경우, w 는 1이고 임계값은 아래와 같이 나타낸다.

$$T_k = s \times MAD + \delta_k, \quad 0 < k < 3 \quad (4)$$

$$MAD = med\{ |x_{i-m,j-n}^0 - y_{i,j}^0| : -w \leq m, n \leq w \} \quad (5)$$

ACWMF 알고리즘 δ_k 는 $[\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3] = [40, 25, 10, 5]$ 이고, s 는 $[0, 0.6]$ 의 범위를 갖는다[7-8].

2.3. PSMF(progressive switching median filter)

마스크내 $2L+1$ 개 화소값을 $\{x_i(m), x_i(m-1) \dots, x_i(m-k+1)\}$ 이라고 할 때, 2진화 형태는 $\{f_i(m), f_i(m-1), \dots, f_i(m-k+1)\}$ 과 같이 나타낸다. 여기서, $f_i^n = 0$ 은 비 임펄스 잡음을 나타내고, $f_i^n = 1$ 은 임펄스 잡음을 나타내며, n 은 반복수(iteration)를 나타낸다. ($n = 1, 2, \dots$). 다음 집합의 메디안값을 구하며 식 (6)과 같다.

$$m_i^{(n-1)} = med\{x_i^{(n-1)} | i \in 2L+1\} \quad (6)$$

$m_i^{(n-1)}$ 와 $x_i^{(n-1)}$ 의 관계에 의하여 간단한 잡음 검출을 진행할 수 있으며, 다음과 같이 나타낸다.

$$f_i^{(n)} = \begin{cases} f_i^{(n-1)}, & \text{if } |x_i^{(n-1)} - m_i^{(n-1)}| < T_d \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

PSMF는 잡음 여부에 따라 메디안 필터를 반복하여 최종 출력 값을 한다. 메디안 필터를 반복할 경우, 검출된 잡음화소 개수(N_j)와 전체화소 개수(N)와의 비례(R)에 의해 마스크 크기(W_D)를 결정하며, 다음과 같이 나타낸다.

$$R = N_j/N, \quad T_d = a + b \times R \quad (8)$$

$$W_D = \begin{cases} 3, & \text{if } R \leq T_R \\ 5, & \text{if } R \geq T_R \end{cases}$$

PSMF 알고리즘 T_P, a, b 의 값은 각각 25%, 65, -50으로 한다[9-10].

III. 제안한 알고리즘

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

3.1. 잡음의 판단

$x_{i,j}$ 는 $(i,j) \in A \equiv \{1, \dots, M\} \times \{1, \dots, N\}$ 의 그레이 영상의 (i,j) 에 위치하며, $M-by-N$ 의 영상에서 x_{\min} 에서 x_{\max} 까지의 범위를 갖는다. salt and pepper 임펄스 잡음에 의하여 훼손된 영상을 y 로 나타낼 경우, 잡음 모델은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$y_{i,j} = \begin{cases} x_{\min}, & \text{with probability } p \\ x_{\max}, & \text{with probability } q \\ x_{i,j}, & \text{with probability } 1-p-q \end{cases} \quad (9)$$

여기서 p, q 는 잡음밀도를 나타내고, 8비트 영상에서 salt and pepper 임펄스 잡음은 화소값이 $x_{\min} = 0$ 과 $x_{\max} = 255$ 크기를 가진다.

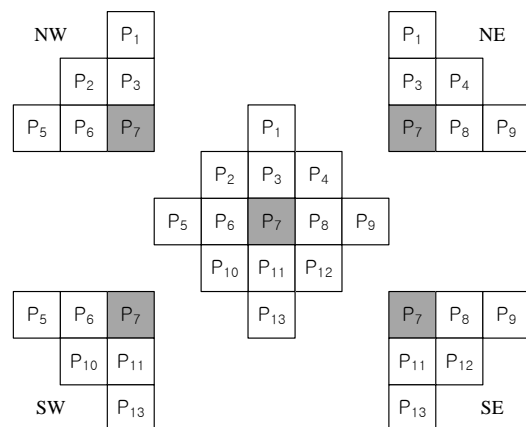


그림 1. 필터링 마스크
Fig. 1 Filtering mask

3.2. 잡음의 제거

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

Step 1. 화소 $x(i, j)$ 를 중심으로 그림 1과 같이 다이아몬드 마스크를 설정하며, 방향성을 고려하여, NW, NE, SW, SE 네개의 부분집합으로 세분화하며, $P_k^{i,j}$ ($k=1:4$)로 정의한다. 부분 집합 $P_d^{i,j}$ 는 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P_1^{i,j} &= \{P_1, P_2, P_3, P_5, P_6, P_7\} \\ P_2^{i,j} &= \{P_1, P_3, P_4, P_7, P_8, P_9\} \\ P_3^{i,j} &= \{P_5, P_6, P_7, P_{10}, P_{11}, P_{13}\} \\ P_4^{i,j} &= \{P_7, P_8, P_9, P_{11}, P_{12}, P_{13}\} \end{aligned} \quad (10)$$

Step 2. 각 방향에서 잡음화소 검출에 의해 각 방향벡터를 binary mark 형태로 표시하며, 다음 식 (11)과 같이 나타낸다.

$$S_k(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } D_k(i) \neq 0 \text{ and } D_k(i) \neq 255 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$(k=1:4, i=1:6)$

여기서 1은 비 잡음화소를 나타내고, 0은 잡음화소를 나타낸다.

Step 3. 다음 각 binary mark 벡터와 마스크 세분화한 벡터인 $P_k(i)$ 의 대수적 합을 구하며, 다음 식 (12)와 같이 표현된다.

$$U_k^{i,j} = \left\{ \sum_{i=1}^6 P_k(i) \times S_k(i); i=1:6, k=1:4 \right\} \quad (12)$$

Step 4. 이 때 각 방향성분에서 비 잡음 화소 개수를 m_k 라고 정의하며, m_k 의 최대치를 구한다. m_k 의 최대치는 식 다음과 같다.

$$M = \max(m_k) \quad (13)$$

Step 5. M 의 값에 의하여 필터링이 두가지 형태로 나누며, 다음과 같이 표현된다.

(1) $M=0$ 인 경우

$M=0$ 인 경우, 이는 각 방향 벡터에서 모든 화소가 전부임을 의미하며, 이런 경우, 다이아몬드 마스크(M)의 메디안값을 출력화소로 한다.

$$O(i, j) = \text{median}\{M\} \quad (14)$$

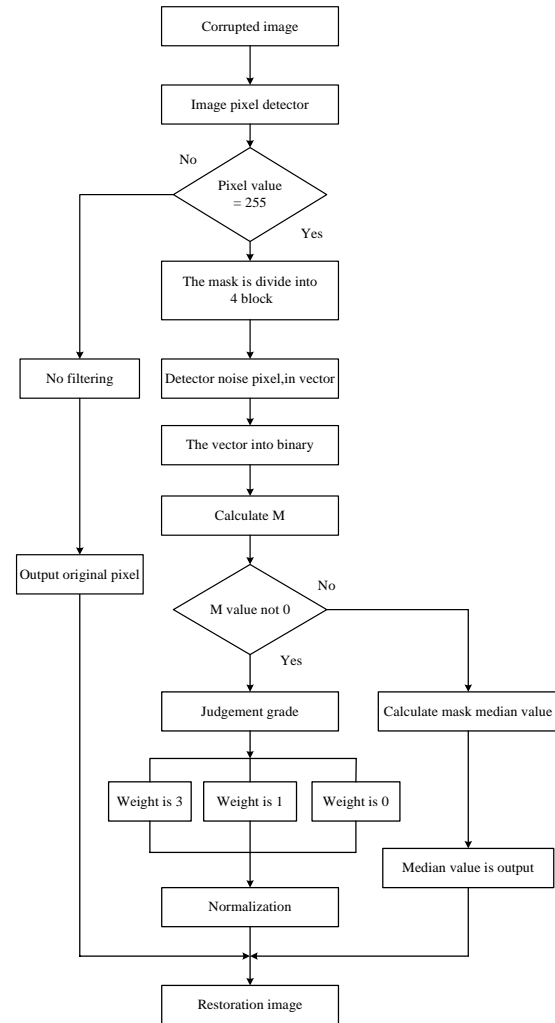


그림 2. 제안한 알고리즘의 순서도
Fig. 2 Flow chart of proposed algorithm

(2) $M \neq 0$ 인 경우

$$G = \begin{cases} 3, & \text{if } m_k = \max(m_k) \\ 0, & \text{if } m_k = \min(m_k) \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

$M \neq 0$ 인 경우, 식 (15)와 같이 각 방향벡터의 m_k 값에 따라 가중치를 설정한다.

Step 7. 따라서 G 값을 적용한 최종 출력화소값은 식 (16)과 같이 나타낸다.

$$O(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^4 U_k^{i,j} \times G}{\sum_{k=1}^4 G} \quad (16)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 8 비트 그레이 영상 Goldhill와 Boat에 대해 임펄스(slat & pepper) 잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였다. 또한 영상의 개선 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 도입하여 기존의 MMF, ACWMF, PSMF 방법들과 각각 성능을 비교하였다. PSNR은 식 (17)과 같이 표현된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (17)$$

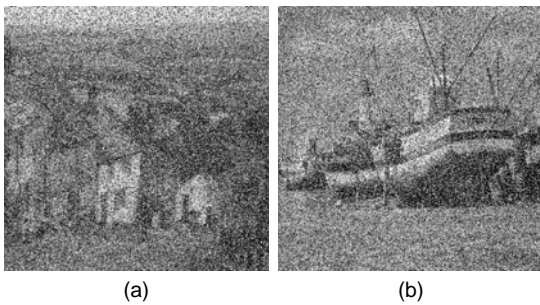
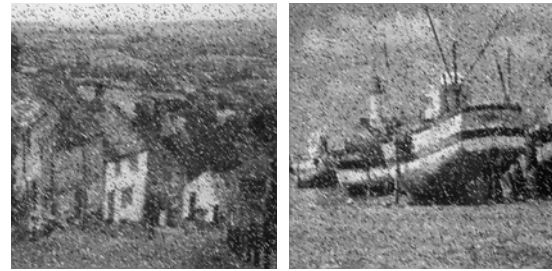


그림 3. 테스트 이미지 잡음밀도 (40%) (a) Goldhill 영상 (b) Boat 영상

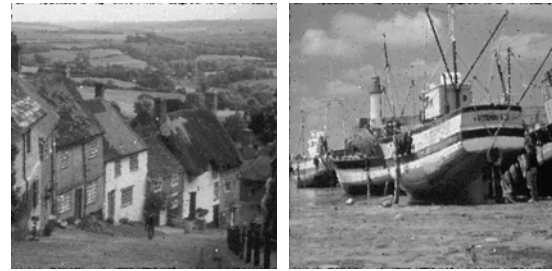
Fig. 3 Test image noise density (40%) (a) Goldhill image (b) Boat image



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4. Goldhill, Boat 영상에 대한 시뮬레이션 결과 (a) MMF (b) ACWMF (c) PSMF (d) PFA

Fig. 4 Simulation result of Goldhill and Boat image (a) MMF (b) ACWMF (c) PSMF (d) PFA

그림 3은 Goldhill 영상과 Boat 영상에 잡음밀도가 40%인 임펄스 잡음을 첨가하였을 경우의 테스트 영상이고, 그림 4는 기존의 방법들과 제안한 방법의 시뮬레이션결과이다.

그림 4에서 (a)는 다중 메디안 필터(MMF), (b)는 적응 중심 가중치 메디안 필터 (ACWMF)($s = 0.1$), (c)는 progressive 스위칭 메디안 필터 (PSMF), (d)는 제안한 필터 알고리즘 (PFA: proposed filter algorithm) 처리한 결과이다.

시뮬레이션 결과에서 기존의 다중 메디안 필터로 처리한 영상은 잡음 판단을 거치지 않아, 잡음제거 특성이 미흡하였다. 그리고 적응 중간 가중치 메디안 필터로 처리한 영상은 임계값의 제한성으로 잡음밀도도가 작은 경우에는 잡음제거 특성은 우수하지만, 잡음밀도도가 큰 경우에는 특성이 다소 미흡하였으며, progressive 스위칭 메디안 필터는 적응 중간 가중치 필터에 비해 다소 우수한 특성을 나타내었다. 제안한 알고리즘은 기존의 방법들에 비해 우수한 잡음제거 특성을 나타내었다.

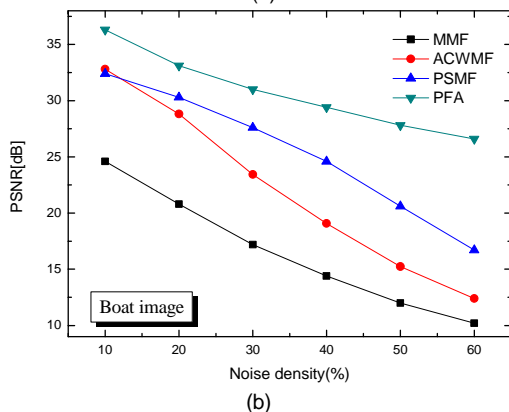
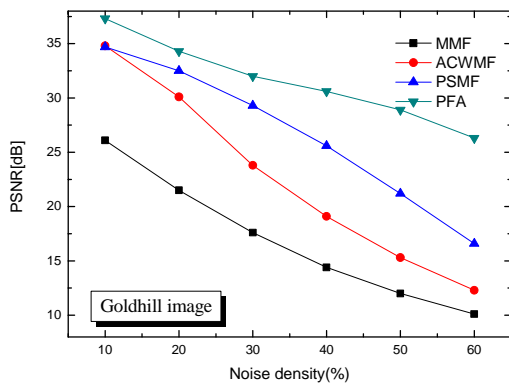


그림 5. 임펄스 잡음밀도에 따른 PSNR (a) Goldhill 영상 (b) Boat 영상

Fig. 5 PSNR with Impulse Noise density (a) Goldhill image (b) Boat image

그림 5는 각각의 필터의 PSNR을 나타내었으며, 표 1과 2는 Goldhill, Boat 영상에의 PSNR 수치를 나타낸 것이다.

표 1. Goldhill 영상의 각 PSNR[dB] 비교

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

Noise density	Method			
	MMF	ACWMF	PSMF	PFA
10%	25.48[dB]	34.84[dB]	34.79[dB]	37.32[dB]
20%	19.96[dB]	32.52[dB]	32.53[dB]	34.28[dB]
30%	16.02[dB]	23.87[dB]	29.36[dB]	32.09[dB]
40%	13.03[dB]	19.13[dB]	25.62[dB]	30.69[dB]

표 2. Boat 영상의 각 PSNR[dB] 비교

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

Noise density	Method			
	MMF	ACWMF	PSMF	PFA
10%	24.62[dB]	32.80[dB]	32.40[dB]	36.30[dB]
20%	20.81[dB]	28.82[dB]	30.33[dB]	33.13[dB]
30%	17.26[dB]	23.44[dB]	27.65[dB]	31.01[dB]
40%	14.48[dB]	19.07[dB]	24.62[dB]	29.40[dB]

V. 결론

본 논문은 임펄스 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 훼손된 화소를 중심으로 하여 마스크를 확장 세분화하여 처리하는 영상 복원 필터 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션결과, 제안한 알고리즘의 임펄스 잡음밀도 변화에 따른 잡음제거 특성은 기존의 방법들보다 우수한 PSNR 결과를 나타내었다. 그리고 임펄스 잡음밀도가 40%인 Goldhill 영상에서 30.69[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있고, 기존의 MMF, ACWMF, PSMF에 비해 각각 17.66[dB], 11.65[dB], 5.70[dB] 개선되었다.

따라서 제안한 알고리즘은 임펄스 잡음을 제거하여 임펄스 잡음 환경에서 운용되고 있는 영상처리 시스템에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2013년)에 의하여 연구되었음

REFERENCES

- [1] R. C. Gonzalez and R.E. Woods, Eds., Digital Image Processing, Prentice Hall, 2007.
- [2] K. N. Plataniotis and A. N. Venetsanopoulos, Eds., Color Image Processing and Applications, Springer, Berlin, Germany, 2000.
- [3] A. S. A wad and H. Man, "High Performance Detection Filter for Impulse Noise Removal in Images," *IEEE Electronic Letters*, vol. 44, no. 3, pp. 192-194, Jan. 2008.
- [4] Gao Yinyu and Nam-Ho Kim, "A study cascade filter algorithm for random valued impulse noise elimination", *International Journal of KIICE*, vol. 15, no. 10, pp. 1177-1182, May 2011.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] T. Chen and H. R. Wu, "Adaptive impulse detection using center weighted median filters". *IEEE Signal Processing Letters*, vol 8, no. 1, pp. 1-3, Jan 2001.
- [8] Zhou, Y.Y. ; Ye, Z.F. ; Huang, J.J, "Improved decision-based detail-preserving variational method for removal of random-valued impulse noise," *Published in IET Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 978-985, May 2012.
- [9] Z. Wang and D. Zhang, "Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images," *IEEE Transactions on Circuits and Systems :Analog and Digital Signal Processing*, vol 46, no.1, pp. 78-80, Jan 1999.
- [10] Gao Yinyu and Nam-Ho Kim, "A study on image restoration for removing mixed noise while considering edge information", *International Journal of KIICE*, vol. 15, no. 10, pp. 2239-2246, Oct. 2011.
- [11] Wei Wang and Peizhong LU, "Adaptive switching anisotropic diffusion model for universal noise removal", *Intelligent Control and Automation (WCICA), 2012 10th World Congress on*, pp. 4803-4808, 2012.



Xu Long(Xu Long)

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



김남호(Nam-Ho Kim)

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