JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 3 : 629~635 Mar. 2017

가우시안 및 임펄스 잡음 제거를 위한 비선형 합성 필터

권세익 · 김남호*

Nonlinear Composite Filter for Gaussian and Impulse Noise Removal

Se-Ik Kwon · Nam-Ho Kim*

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

본 논문에서는 영상에 첨가된 가우시안 잡음과 임펄스 잡음의 영향을 완화하기 위하여 잡음의 종류에 따라 처리하는 비선형 합성 필터를 제안하였다. 잡음 판단을 통해 국부 마스크의 중심화가 가우시안 잡음으로 판단된 경우, 국부 마스크 내의 표본분산을 이용하여 공간 가중치 필터와 화소 변화에 따른 가중치 필터의 가중치를 다르게 적용하여 처리하고, 임펄스 잡음으로 판단된 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도에 따라 국부 히스토그램 가중치 필터와 표준 메디안 필터의 가중치를 다르게 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안한 필터 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하여 기존의 방법들과 제안한 필터 알고리즘을 가우시안 잡음, 임펄스 잡음 및 두 잡음이 혼합된 복합잡음 환경에서 각각 비교하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a nonlinear synthesis filter for noise reduction to reduce the effects of Gaussian noise and impulse noise. When the centralization of the local mask is judged to be Gaussian noise by the noise judgment, the weight value of the weight filter are applied differently according to the spatial weight filter and the pixel change by using the sample variance in the local mask. And if it is determined as the impulse noise, we proposed an algorithm that applies different weights of local histogram weight filter and standard median filter according to noise density of mask. In order to evaluate the performance of the proposed filter algorithm, we used PSNR(peak signal to noise ratio) and compared existing methods and proposed filter algorithm in the mixed noise environment with Gaussian noise, impulsive noise, and two noises mixed.

키워드 : 가우시안 잡음, 임펄스 잡음, 잡음 제거, PSNR

Key word : Gaussian noise, Impulse noise, Noise removal, PSNR

Received 27 October 2016, **Revised** 02 November 2016, **Accepted** 08 December 2016

* **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 48513, Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.3.629 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/li-censes/ 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

최근, IT기술의 발전에 따라 디스플레이 등 영상 장치들에 대한 요구가 갈수록 높아지고 있다. 일반적으로 디지털 영상을 획득, 처리, 전송하는 과정에서 여러 외부 원인에 의해 잡음이 첨가되어 영상이 흐려지게 되어 영상의 질이 저하된다. 이에 따라 영상에 첨가된 잡음의 영향을 완화하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다[1-3].

영상에 첨가되는 잡음은 발생되는 원인과 형태에 따라 다양한 종류가 있으며, 주로 임펄스 잡음, 가우시안 잡음, 유니폼 잡음이 대표적이다. 잡음을 제거하기 위한 대표적인 공간영역 방법에는 CWMF(center weighted median filter), A-TMF(alpha-trimmed mean filter), AWMF(adaptive weighted median filter)등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 가우시안 잡음 및 임펄스 잡음이 혼합된 환경에서 잡음 제거 특성이 다소 미흡하다[4-6].

따라서 본 논문에서는 영상에 첨가되는 가우시안 잡음과 임펄스 잡음의 영향을 완화하기 위하여, 잡음의 종류에 따라 처리하는 비선형 합성 필터를 제안하였다. 국부 마스크의 중심화소가 가우시안 잡음인 경우, 국부 마스크 화소들의 분산에 따라 공간 가중치, 화소 변화에 따른 가중치 필터의 가중치를 다르게 적용하여 처리하고, 임펄스 잡음의 경우, 잡음 밀도에 따라 국부 히스토그램 가중치 필터와 메디안 필터를 합성하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 잡음 제거 성능의 우수성을 입증하기 위해, PSNR(peak signal to noise ratio)을 이용하였으며, 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다[7,8].

Ⅱ. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 영상에 첨가되는 가우시안 잡음과 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위해, 잡음의 종류에 따라 다르게 처리하는 비선형 합성 필터를 제안하였다. 중심화소가 가우시안 잡음인 경우, 국부 마스크 화소들의 분산에 따라 공간 가중치 및 화소 변화에 따른 가중치 필터의 가중치를 서로 다르게 적용하여 처리하며, 임펄스 잡음인 경우, 국부 마스크의 임펄스 잡음 밀도에 따라 국부 히스토그램 가중치 및 메디안 필터의 가중치를 다르게 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 처리 순서는 다음과 같다.

가우시안 잡음 및 임펄스 잡음에 훼손된 영상 $F_{i,j}$는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F_{i,j} = \begin{cases} F_{\min} \text{ or } F_{\max}, & with\ probability\ P \\ F_{i,j}^{0} + G_{i,j}, & with\ probability\ 1-P \end{cases} \quad (1)$$

$$1 \le i \le M,\ \ 1 \le j \le N$$

여기서, $F_{\min}$과 $F_{\max}$는 임펄스 잡음의 종류 중 하나인 salt and pepper 잡음을 나타내며, 영상에서 최소, 최대 밝기를 의미한다. $F_{i,j}^{0}$는 원 영상의 화소값을 나타내며, $G_{i,j}$는 가우시안 잡음의 크기, P는 임펄스 잡음의 확률이다. $M \times N$은 입력 영상 $F_{i,j}$의 크기를 나타낸다.

입력 영상 $F_{i,j}$를 잡음의 종류에 따라 처리하기 위해, 식 (2)와 같이 국부 마스크를 설정한다.

$$x_{i+p,j+q} = \{F_{i+p,j+q} \mid -n \le p,q \le n\} \quad (2)$$

여기서, p,q는 국부 마스크의 내부 좌표를 나타내며, n은 국부 마스크의 크기를 결정하는 요소로 양의 정수이다.

국부 마스크의 중심화소가 가우시안 잡음인 경우, 국부 마스크 내의 임펄스 잡음 유무를 식 (3)과 같이 구한다.

$$\rho_{i+p,j+q} = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{i,j} = F_{\min} \text{ or } F_{\max} \\ 1, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서, 0과 1은 각각 임펄스 잡음과 가우시안 잡음을 의미한다.

국부 마스크에 거리에 따른 공간 가중치 마스크를 식 (4)와 같이 설정한다.

$$w_{i+p,j+q}^{1} = \left[y - \sqrt{p^2+q^2}\right]^r \quad (4)$$

여기서, y와 r은 공간 가중치 마스크의 특성을 결정

하는 중요한 파라미터로 y와 r의 값에 따라 공간 가중치 마스크의 가중치가 결정된다.

국부 마스크와 공간 가중치 마스크를 이용한 공간 가중치 필터의 출력을 식 (5)와 같이 구한다.

$$G_{i,j}^{1} = \frac{\sum_{p=-n}^{n}\sum_{q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}\, x_{i+p,j+q}\, w_{i+p,j+q}^{1}}{\sum_{p=-n}^{n}\sum_{q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}\, w_{i+p,j+q}^{1}} \tag{5}$$

거리에 따른 공간 가중치 필터는 기존의 가우시안 잡음 환경에서 사용되는 평균 필터에 비해 우수한 에지 보존 특성을 갖는다.

화소 변화에 따른 가중치 마스크를 식 (6)과 같이 설정한다.

$$w_{i+p,j+q}^{2} = \exp\{-v(x_{i,j} - x_{i+p,j+q})\} \tag{6}$$

국부 마스크와 화소 변화에 따른 가중치 마스크를 이용한 출력은 식 (7)과 같이 구한다.

$$G_{i,j}^{2} = \frac{\sum_{p=-n}^{n}\sum_{q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}\, x_{i+p,j+q}\, w_{i+p,j+q}^{2}}{\sum_{p=-n}^{n}\sum_{q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}\, w_{i+p,j+q}^{2}} \tag{7}$$

화소 변화에 따른 가중치 필터는 화소 변화가 많은 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 갖는다.

제안한 알고리즘의 최종 출력을 구하기 위해 판단 기준으로 국부 마스크의 표본분산을 사용하였으며, 표본분산은 식 (8)과 같이 구한다.

$$\sigma^{2} = \frac{\sum_{p,q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}(x_{i+p,j+q} - m_{i,j})^{2}}{\sum_{p,q=-n}^{n} \{\rho_{i+p,j+q}\} - n} \tag{8}$$

여기서, $m_{i,j}$는 국부 마스크의 임펄스 잡음을 제외한 화소들의 평균을 나타낸다.

국부 마스크의 중심화소가 가우시안 잡음에 훼손된 경우, 국부 마스크의 표본분산 σ^2에 임계값 t을 적용하여 처리하며, 제안한 알고리즘의 최종 출력은 식 (9)와 같이 구한다.

$$O_{i,j} = \begin{cases} \alpha G_{i,j}^{1} + \beta G_{i,j}^{2}, & \text{if } \sigma^{2} \le t \\ \beta G_{i,j}^{1} + \alpha G_{i,j}^{2}, & otherwise \end{cases} \tag{9}$$

국부 마스크의 중심화소가 임펄스 잡음인 경우, 입력 영상 $F_{i,j}$를 네 개의 영역으로 세분화하여 처리하며 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} F_{i,j}^{1} &= F_{1:M/2,1:N/2} \\ F_{i,j}^{2} &= F_{1:M/2,N/2+1:N} \\ F_{i,j}^{3} &= F_{M/2+1:M,1:N/2} \\ F_{i,j}^{4} &= F_{M/2+1:M,N/2+1:N} \end{aligned} \tag{10}$$

밝기 레벨의 범위가 $[0, L-1]$인 디지털 영상의 정규화된 히스토그램은 식 (11)과 같이 설정한다.

$$p_{d}(r_{k}) = n_{k}^{d} / n_{total}^{d}, \quad d = 1:4 \tag{11}$$

여기서, $k = 0, 1, 2, ..., L-1$, r_k는 k번째 밝기 값이며, n_k^d는 d 영역의 영상에서 밝기 r_k를 갖는 화소들의 수이고, n_{total}^d는 d 영역의 전체 화소수를 나타낸다.

즉, $p_d(r_k)$는 d 영역의 영상에서 밝기 레벨 r_k가 발생할 확률을 나타낸다. 히스토그램은 많은 공간 영역 처리 기법들을 위한 기초이며, 영상 처리에서 유용한 영상 통계를 제공한다.

히스토그램 확률 함수를 이용하여 가중치 마스크와 거리에 따른 가중치 마스크를 식 (12)와 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} H_{i+p,j+q} &= \frac{\rho_{i+p,j+q}\, p_{d}(x_{i+p,j+q})}{\sum_{p,q=-n}^{n} \rho_{i+p,j+q}\, p_{d}(x_{i+p,j+q})} \\ D_{i+p,j+q} &= e^{-(p^{2}+q^{2})} \end{aligned} \tag{12}$$

히스토그램을 이용한 가중치 마스크와 거리에 따른 가중치 마스크를 이용하여 최종 가중치 마스크를 식 (13)과 같이 설정한다.

$$W_{i+p,j+q} = H_{i+p,j+q}\, D_{i+p,j+q} \tag{13}$$

히스토그램 가중치 필터의 출력을 식 (14)와 같이 구한다.

$$S_{i,j}^{1} = \frac{\sum_{p,q=-n}^{n} x_{i+p,j+q} W_{i+p,j+q}}{\sum_{p,q=-n}^{n} W_{i+p,j+q}} \tag{14}$$

국부 마스크 내의 임펄스 잡음을 제거한 화소들을 메디안 값을 구하기 위해 식 (15)와 같이 비임펄스 잡음 화소들을 구한다.

$$U_{i,j}(k) = x_{i+p,j+q}, \quad \text{if } \rho_{i+p,j+q} = 0 \tag{15}$$

여기서, k는 비임펄스 잡음 화소들의 요소수를 나타낸다. 비임펄스 잡음 화소들의 요소수 k에 따라 메디안 값을 다음과 같이 구한다.

k가 홀수인 경우 식 (16)과 같이 메디안 함수를 사용하여 구한다.

$$S_{i,j}^{2} = Med\{U_{i,j}(k)\} \tag{16}$$

k가 짝수인 경우 $U_{i,j}(k)$를 오름차순으로 정렬한 후 식 (17)과 같이 메디안 값을 추정한다.

$$\begin{aligned} T_{i,j}(k) &= Sort\{U_{i,j}(k/2)\} \\ S_{i,j}^{2} &= \frac{\{T_{i,j}(k/2) + T_{i,j}(k/2+1)\}}{2} \end{aligned} \tag{17}$$

국부 마스크의 중심화소가 임펄스 잡음에 훼손된 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도에 임계값 T을 적용하여 처리하면 최종 출력은 식 (18)과 같이 구한다.

$$O_{i,j} = \begin{cases} AS_{i,j}^{1} + BS_{i,j}^{2}, & \text{if } \rho_{i+p,j+q} \le T \\ BS_{i,j}^{1} + AS_{i,j}^{2}, & otherwise \end{cases} \tag{18}$$

국부 마스크의 모든 화소가 임펄스 잡음에 훼손된 경우, 이전 출력 화소들의 평균으로 최종 출력을 구한다.

그림 1은 제안한 알고리즘의 Flow-chart를 나타낸 것이다.

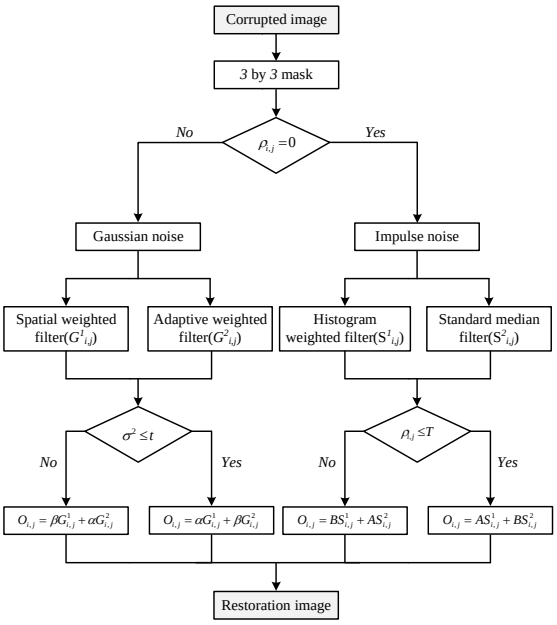


Fig. 1 Flow-chart of proposed algorithm

Ⅲ. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 8 비트 그레이 영상인 Butterfly 영상과 Baboon 영상에 대해 가우시안 잡음, 임펄스 잡음 및 두 잡음이 혼합된 복합잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였으며, 영상의 개선 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 사용하여 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF로 성능을 비교하였다.

그림 2는 Butterfly 영상의 원 영상, 잡음 영상 및 처리된 영상의 확대 영상을 나타낸 것이다. 확대 영상은 Butterfly 영상에 (150, 150) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50 영역을 확대한 영상이다.

그림 3은 Baboon 영상의 원 영상, 잡음 영상 및 처리된 영상의 확대 영상을 나타낸 것이다. 확대 영상은 Baboon 영상에 (350, 150) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50 영역을 확대한 영상이다.

그림 2, 3에서 (a)는 원 영상이고, (b)는 임펄스 잡음 ($P=50\%$) 및 AWGN($\sigma=10$)에 훼손된 영상이며, (c)

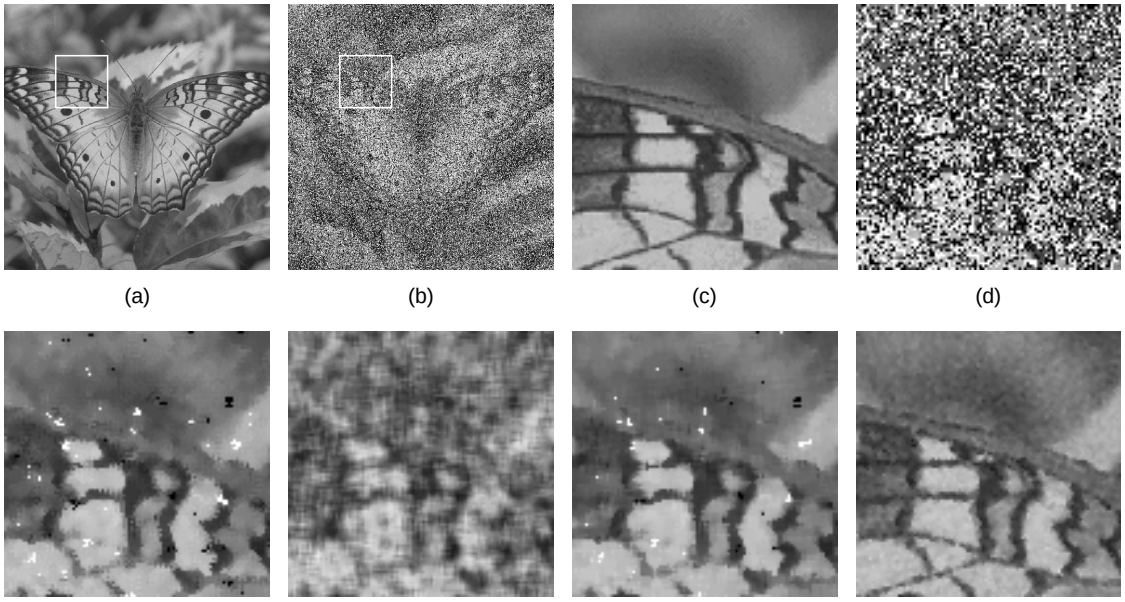


Fig. 2 Butterfly image (a) Original image (b) Noise image (c) Zoom image of original image (d) Zoom image of noise image (e) CWMF (f) A-TMF (g) AWMF (h) PFA

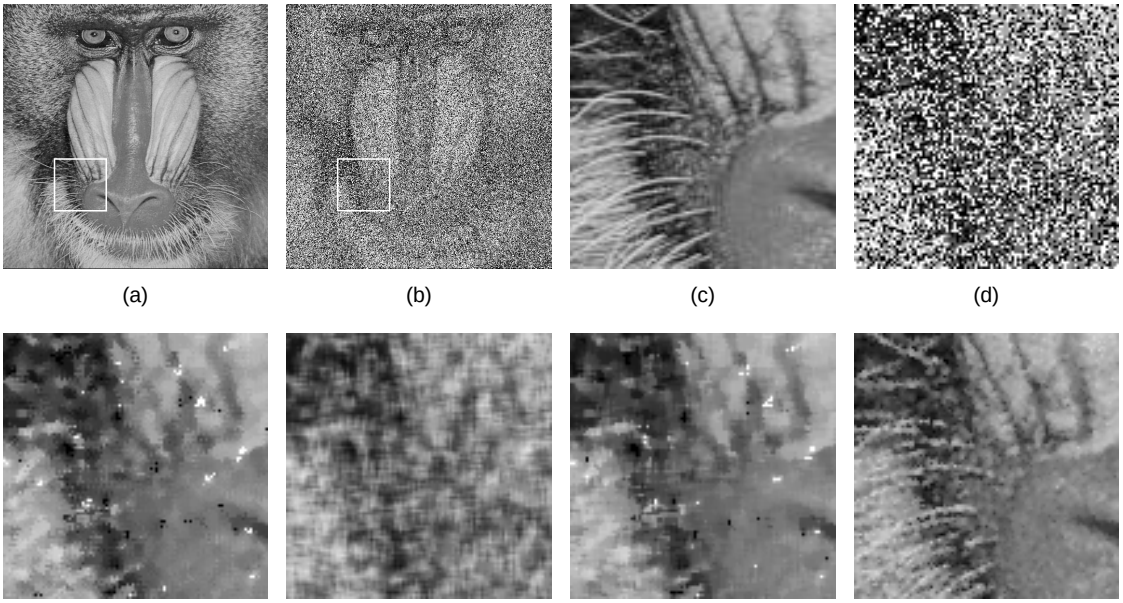
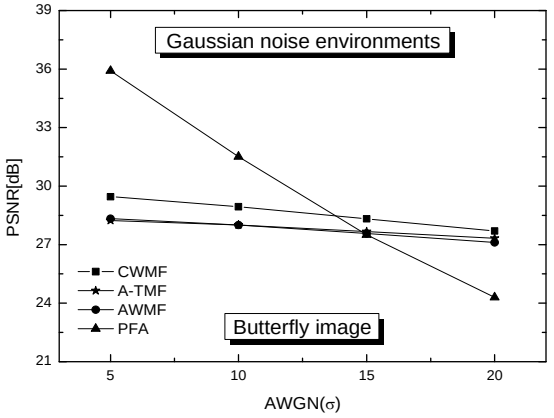
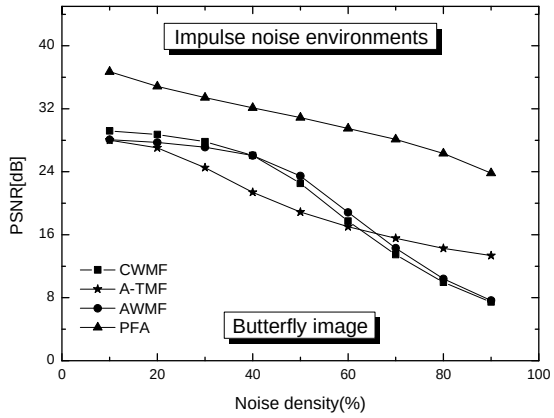


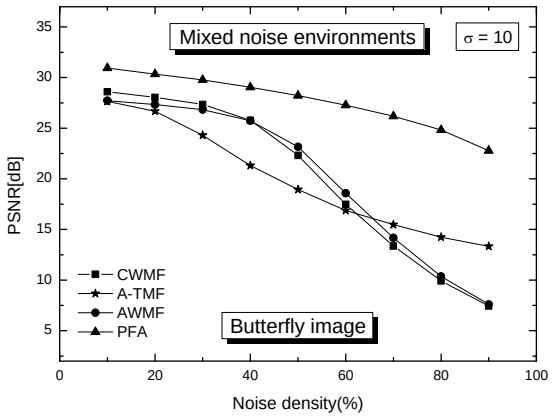
Fig. 3 Baboon image (a) Original image (b) Noise image (c) Zoom image of original image (d) Zoom image of noise image (e) CWMF (f) A-TMF (g) AWMF (h) PFA



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 PSNR graph for Butterfly image (a) Gaussian noise (b) Impulse noise (c) Mixed noise

는 원 영상의 확대 영상, (d)는 잡음 영상의 확대 영상, (e)는 CWMF(5×5), (f)는 A-TMF(5×5), (g)는 AWMF(5×5), (h)는 제안한 필터 알고리즘(PFA: proposed filter algorithm)의 처리 결과이다.

그림 2, 3의 (e), (f), (g), (h)에서, 기존의 방법들은 복합잡음 환경에서 잡음 제거 특성이 다소 미흡하였으며, 에지 영역에서 블러링 현상이 나타났다. 그리고 제안한 알고리즘은 기존의 방법들에 비해 복합잡음 환경에서 잡음 제거 특성이 우수한 결과를 나타내었다.

그림 4는 Butterfly 영상에서 가우시안 잡음, 임펄스 잡음 및 복잡잡음 환경에서 기존의 필터들과 제안한 필터 알고리즘의 처리 결과를 PSNR로 나타낸 것이다. 그림 4에서 CWMF는 가우시안 잡음 환경에서 기존의 방법들 중 가장 우수한 결과를 나타내었고, A-TMF는 고밀도 임펄스 잡음 환경에서 가장 우수한 결과를 나타내었다.

그림 4의 (c)에서 제안한 알고리즘으로 복원한 영상은 기존의 방법들에 비해 우수한 PSNR 특성을 나타내었다. 그리고 제안한 알고리즘은 임펄스 잡음($P=50\%$)와 AWGN($\sigma=10$)에 훼손된 Butterfly 영상에서 28.21[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있으며, 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF에 비해 각각 5.90[dB], 9.28[dB], 5.05[dB] 개선되었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 가우시안 잡음 및 임펄스 잡음에 훼손된 영상을 복원하기 위하여 잡음의 종류에 따라 처리한다. 국부 마스크의 중심화소가 가우시안 잡음에 훼손된 경우, 공간 가중치 필터와 화소 변화에 따른 가중치 필터를 이용하여 처리하고, 임펄스 잡음에 훼손된 경우, 히스토그램을 이용한 가중치 필터와 메디안 필터로 처리하는 영상복원 필터 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 가우시안 잡음 환경에서 잡음 밀도 낮은 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 나타내었고, 임펄스 잡음 환경 및 복합잡음 환경에서 모든 영역에 잡음 제거 특성이 기존의 방법들보다 우수한 결과를 나타내었다. 따라서 제안한 알고리즘은 복합잡음 환경에서 운용되는 영상처리 시스템에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2016 year).

REFERENCES

[1] K. N. Plataniotis and A. N. Venetsanopoulos, *Color Image Processing and Applications*, 1st ed. Berlin, Germany: Springer, 2000.

[2] R. C. Gonzalez and R. E. woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.

[3] X. Long and N. H. Kim, "Image Restoration for Edge Preserving in Mixed Noise Environment," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 727-734, Mar. 2014.

[4] S. I. Kwon and N. H. Kim, "A Study on Modified Spatial Weighted Filter in Mixed Noise Environments," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 237-243, Jan. 2015.

[5] R. Öten and R. J. P. de Figueiredo, "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] J. Wang and J. Hong, "A New Selt-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared Images," *in Proceedings of IEEE Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, pp.1-4, Dec. 2009.

[7] T. Azetsu, N. Suetake and E. Uchino, "Trilateral Filter Using Rank Order Information of Pixel Value for Mixed Gaussian and Impulsive Noise Removal," *in Proceedings of IEEE Intelligent Signal Processing and Communications Systems*, Okinawa, Japan, pp. 303- 306, Nov. 2013.

[8] T. Bai and J. Tan, "Automatic detection and removal of high-density impulse noises," *IET Image Processing*, vol. 9, no.2, pp.162-172, Feb. 2015.

권세익(Se-Ik Kwon)

2014년 8월 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 공학사
2016년 8월 부경대학교 대학원 제어계측공학과 공학석사
2016년 9월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정
※관심분야 : 영상처리

김남호(Nam-Ho Kim)

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