

복합잡음 제거를 위한 다중 필터에 관한 연구

권세익 · 김남호*

A Study on Multiple Filter for Mixed Noise Removal

Se-Ik Kwon · Nam-Ho Kim*

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

요 약

현재, 디지털 시대의 급속 발전과 함께 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 증가되고 있다. 영상 데이터는 다양한 잡음에 의해 훼손되며, 주로 AWGN, salt and pepper 잡음, 이 두 잡음이 혼합된 복합잡음 등이 대표적이다. 따라서, 본 논문에서는 잡음 판단을 통해 AWGN 및 salt and pepper 잡음으로 분류하여 처리한다. AWGN인 경우, 공간 가중치 필터 및 화소 변화 가중치 필터의 출력을 합성하여 처리하며, 국부 마스크의 표준편차에 따라 합성 가중치를 다르게 적용한다. salt and pepper 잡음인 경우, 3차원 스플라인 보간법 및 국부 히스토그램 가중치 필터를 합성하여 처리하며, 국부 마스크의 salt and pepper 잡음 밀도에 따라 합성 가중치를 다르게 적용하여 처리하는 다중 영상복원 필터 알고리즘을 제안하였다.

ABSTRACT

Currently, the demand for multimedia services is increasing with the rapid development of the digital age. Image data is corrupted by various noises and typical noise is mainly AWGN, salt and pepper noise and the complex noise that these two noises are mixed. Therefore, in this paper, the noise is processed by classifying AWGN and salt and pepper noise through noise judgment. In the case of AWGN, the outputs of spatial weighted filter and pixel change weighted filter are composed and processed, and the composite weights are applied differently according to the standard deviation of the local mask. In the case of salt and pepper noise, cubic spline interpolation and local histogram weighted filters are composed and processed. This study suggested the multiple image restoration filter algorithm which is processed by applying different composite weights according to the salt and pepper noise density of the local mask.

키워드 : AWGN, Salt and pepper 잡음, 잡음 제거, PSNR

Key word : AWGN, Salt and pepper noise, Noise removal, PSNR

Received 27 July 2017, Revised 31 July 2017, Accepted 20 September 2017

* 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 <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.11.2029>

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

디지털 영상 처리는 군사, 의료, 산업 등의 여러 분야에서 다양하게 활용되고 있다[1]. 그러나 일반적으로 디지털 영상 데이터는 다양한 원인에 의해 잡음이 발생하며 주로 AWGN 및 salt and pepper 잡음이 혼합된 복합 잡음이 대표적이다[2]. 잡음 제거는 영상 처리의 전처리 과정으로 필수적이다. 이에 따라 영상에 첨가된 잡음 제거하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.

영상에 첨가되는 잡음에는 원인과 형태에 따라 다양한 종류가 있으며, 주로 AWGN(additive white Gaussian noise), salt and pepper 잡음, 유니폼 잡음이 대표적이다[3]. 잡음을 제거를 위한 대표적인 방법에는 중간 가중치 메디안 필터(CWMF: center weighted median filter), 알파 트림드 평균 필터(A-TMF: alpha-trimmed mean filter), 적응 가중치 메디안 필터(AWMF: adaptive weighted median filter) 등이 있다[4]. CWMF는 가중치 필터의 한 형태로 중심 화소에 대해서 가중치를 부여하여 처리하는 필터이며, 중심 화소의 가중치가 클 경우, 영상의 에지에 대한 보존 특성은 우수하지만 잡음제거에는 한계가 발생한다. A-TMF는 평균 필터로서 잡음 밀도가 낮은 영상에서 우수한 잡음 제거 성능을 보이며, 에지 보존 특성이 다소 미흡하다. AWMF는 국부 마스크의 각 화소와 화소들의 메디안 값과의 차이에 따라 적응 가중치를 부여하여 처리하며, 화소의 변화가 적은 영상에서 우수한 잡음 제거 성능을 갖는다[5], 그러나 이러한 필터들은 복합잡음 환경에서 잡음 제거 특성이 다소 미흡하다[6].

따라서 본 논문은 영상에 첨가된 복합잡음을 제거하기 위해, 잡음의 종류에 따라 처리하는 다중 필터를 제안하였다. 국부 마스크의 중심 화소가 AWGN에 훼손된 경우, 공간 가중치 필터 및 화소 변화 가중치 필터를 합성하여 처리하며 국부 마스크의 표준편차에 따라 합성 가중치를 다르게 적용하여 처리하고 salt and pepper 잡음에 훼손된 경우, 3차원 스플라인 보간법 및 국부 히스토그램 가중치 필터를 합성하여 처리하며, 국부 마스크의 salt and pepper 잡음 밀도에 따라 합성 가중치를 다르게 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다[7-9].

II. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 영상에 첨가된 복합잡음을 제거하기 위하여 잡음 판단을 통해 국부 마스크의 중심 화소가 AWGN으로 판단된 경우, 공간 가중치 필터 및 화소 변화 가중치 필터를 합성하여 처리하며, 3×3 국부 마스크의 표준편차를 구하고 표준편차에 따른 임계값 t 에 따라 합성 가중치를 다르게 처리한다. 국부 마스크의 중심 화소가 salt and pepper 잡음으로 판단된 경우, 3차원 스플라인 보간법 및 국부 히스토그램 가중치 필터를 합성하여 처리하며, 5×5 크기의 국부 마스크의 잡음 밀도에 따른 임계값 T 에 따라 합성 가중치를 다르게 처리한다.

제안한 알고리즘의 처리 순서는 다음과 같다.

복합잡음에 의해 훼손된 영상 $I_{i,j}$ 는 식 (1)과 같이 표현된다.

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

여기서, I_{\min} 과 I_{\max} 는 salt and pepper 잡음을 나타내며, $I_{i,j}^0$ 는 원 영상의 화소값을 나타내고, $n_{i,j}$ 는 AWGN의 크기, P 는 salt and pepper 잡음의 확률이다.

제안한 알고리즘의 잡음 판단은 식 (2)와 같이 구한다.

$$F_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } I_{i,j} \neq I_{\min} \text{ or } I_{\max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, 1과 0은 각각 AWGN과 salt and pepper 잡음을 의미한다.

2.1. AWGN 잡음 제거

국부 마스크의 중심 화소가 AWGN인 경우, 식 (3)과 같이 3×3 크기의 국부 마스크를 설정한다.

$$\Psi = \{I_{i+p,j+q} \mid -1 \leq p, q \leq 1\} \quad (3)$$

여기서, p, q 는 국부 마스크의 내부 좌표를 나타낸다.

2.1.1. 공간 가중치 필터

공간 가중치 필터의 가중치 마스크 w 는 중심 화소 (w_c) $w_{i,j}$ 와 인접 화소(w_a) $w_{i-1,j}$, $w_{i,j-1}$, $w_{i,j+1}$, $w_{i+1,j}$, 대각선 화소(w_d) $w_{i-1,j-1}$, $w_{i-1,j+1}$, $w_{i+1,j-1}$, $w_{i+1,j+1}$ 에 따라 다르게 적용한다.

공간 가중치 마스크의 가중치는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} w_c &= 1 - w_a - w_d \\ w_a &= \frac{t + 10}{t(\eta - 1)} \\ w_d &= \frac{t + 1}{t(\eta - 1)} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, η 는 가중치 마스크의 특성을 결정하는 파라미터이다.

공간 가중치 마스크를 이용한 최종 출력은 식 (5)와 같이 구한다.

$$A_1 = \frac{\sum_{p,q \in \Psi} F_{i+p,j+q} \Psi_{i+p,j+q} w_{i+p,j+q}}{\sum_{p,q \in \Psi} F_{i+p,j+q} w_{i+p,j+q}} \quad (5)$$

2.1.2. 화소 변화에 따른 가중치 필터

화소 변화에 따른 가중치 필터의 가중치는 식 (6)과 같이 설정한다.

$$W_{i+p,j+q} = \exp\{-v(|I_{i,j} - I_{i+p,j+q}|)\} \quad (6)$$

여기서, v 는 화소 변화에 따른 가중치 필터의 파라미터이며, v 가 클 경우, 화소 변화에 따른 가중치는 작게 설정된다.

화소 변화에 따른 가중치 마스크를 이용한 출력은 식 (7)과 같다.

$$A_2 = \frac{\sum_{p,q \in \psi} F_{i+p,j+q} \Psi_{i+p,j+q} W_{i+p,j+q}}{\sum_{p,q \in \psi} F_{i+p,j+q} W_{i+p,j+q}} \quad (7)$$

화소 변화에 따른 가중치 필터는 영상 내에 화소 변화가 많은 영역에서 잡음 제거 성능이 우수하다.

2.1.3. AWGN 잡음의 최종 출력

국부 마스크의 중심 화소가 AWGN에 훼손된 경우, 국부 마스크의 표준편차에 따른 임계값 t 을 적용하여 처리하며, 제안한 알고리즘의 최종 출력은 식 (8)과 같이 구한다.

$$O_{i,j} = \begin{cases} \alpha A_1 + (1 - \alpha) A_2, & \text{if } \sigma \leq t \\ (1 - \alpha) A_1 + \alpha A_2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서, α 는 AWGN 잡음 제거 필터의 파라미터이다.

공간 가중치 필터는 중심 화소에 가중치를 적용하여 처리하므로 에지 보존 특성 및 화소 변화가 많은 영역에서 우수하며, 화소 변화에 따른 가중치 필터는 국부 마스크의 중심 화소와의 차이에 따라 가중치를 적용하므로 화소 변화가 적은 평활한 영역에서 우수한 잡음 제거 특성을 갖는다.

2.2. Salt and pepper 잡음 제거

국부 마스크의 중심 화소가 salt and pepper 잡음인 경우, 식 (9)와 같이 5×5 크기의 국부 마스크를 설정한다.

$$\Omega = \{I_{i+k,j+l} | -2 \leq k, l \leq 2\} \quad (9)$$

여기서, k, l 은 국부 마스크의 내부 좌표이다.

2.2.1. 3차원 스플라인 보간법 필터

국부 마스크를 네 방향으로 구분하며, 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} G_1 &= [\Omega_{i-2,j}, \Omega_{i-1,j}, \Omega_{i+1,j}, \Omega_{i+2,j}] \\ G_2 &= [\Omega_{i-2,j-2}, \Omega_{i-1,j-1}, \Omega_{i+1,j+1}, \Omega_{i+2,j+2}] \\ G_3 &= [\Omega_{i,j-2}, \Omega_{i,j-1}, \Omega_{i,j+1}, \Omega_{i,j+2}] \\ G_4 &= [\Omega_{i+2,j-2}, \Omega_{i+1,j-1}, \Omega_{i-1,j+1}, \Omega_{i-2,j+2}] \end{aligned} \quad (10)$$

식 (2)의 잡음 판단을 이용하여 구분된 각 방향의 salt and pepper 잡음이 가장 적은 방향을 선택하여 3차 스플라인을 적용하며, 잡음이 가장 적은 방향이 2개 이상인

경우, 각 방향의 표준편차를 이용하여 변화가 가장 적은 방향을 선택한다.

선택된 방향의 3차원 spline 보간법은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$S_1 = spline\{H, G_r, \lambda\} \quad (11)$$

여기서, $spline\{ \}$ 은 3차 스플라인 보간법을 구해주는 함수이고, H 는 국부 마스크의 구분된 방향의 인덱스이며, $[-2, -1, 1, -2]$ 의 값을 갖는다. 그리고 r 은 salt and pepper 잡음이 가장 적은 방향의 위치를 나타내고, λ 는 보간하는 위치를 의미한다.

2.2.2. 국부 히스토그램 가중치 필터

국부 마스크의 중심 화소가 salt and pepper 잡음인 경우, 입력 영상 I 를 네 개의 영역으로 구분하여 처리하며 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= I(1 : M/2, 1 : N/2) \\ Y_2 &= I(1 : M/2, N/2 + 1 : N) \\ Y_3 &= I(M/2 + 1 : M, 1 : N/2) \\ Y_4 &= I(M/2 + 1 : M, N/2 + 1 : N) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, M, N 은 입력 영상 I 의 가로, 세로의 크기를 나타낸다.

밝기 레벨의 범위가 $[0, L-1]$ 인 디지털 영상에서 정규화된 히스토그램은 식 (13)과 같이 정의할 수 있다.

$$p_m(r_k) = n_k^m / n_{total}^m, \quad m = 1 : 4 \quad (13)$$

여기서, $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$, r_k 는 k 번째 밝기 값이며, n_k^m 는 Y_m 영역의 영상에서 밝기 r_k 를 갖는 화소들의 수이고, n_{total}^m 는 Y_m 영역의 전체 화소수를 나타낸다. 8비트 영상에서 L 은 256의 값을 갖는다.

즉, $p_m(r_k)$ 는 Y_m 영역의 영상에서 밝기 레벨 r_k 가 발생할 확률을 나타낸다. 히스토그램은 영상 처리에서 유용한 영상 통계를 제공한다.

히스토그램 확률 함수 및 공간 가중치 마스크를 식 (14), (15)와 같이 설정한다.

$$H_{i+k,j+l} = p_m(\Omega_{i+k,j+l}) \quad (14)$$

$$D_{i+k,j+l} = e^{-(k^2+l^2)} \quad (15)$$

히스토그램을 이용한 확률 함수는 salt and pepper 잡음 제거 특성이 우수하나 AWGN에 성능이 다소 미흡하다. 따라서 공간 가중치 필터와 합성하여 처리한다.

히스토그램 및 공간 가중치를 이용한 최종 가중치 마스크는 식 (16)과 같다.

$$HW_{i+k,j+l} = \frac{H_{i+k,j+l} D_{i+k,j+l}}{\sum_{k,l \in \Omega} H_{i+k,j+l} D_{i+k,j+l}} \quad (16)$$

국부 히스토그램 가중치 필터의 출력을 식 (17)과 같이 구한다.

$$S_2 = \sum_{k,l \in \Omega} F_{i+k,j+l} \Omega_{i+k,j+l} HW_{i+k,j+l} \quad (17)$$

2.2.3. Salt and pepper 잡음의 최종 출력

국부 마스크의 중심 화소가 salt and pepper 잡음에 훼손된 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도에 따른 임계값 T 를 적용하여 처리하며, 제안한 알고리즘의 최종 출력은 식 (18)과 같이 구한다.

$$O_{i,j} = \begin{cases} \beta S_1 + (1-\beta) S_2, & \text{if } \rho_{i,j} \leq T \\ (1-\beta) S_1 + \beta S_2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

여기서, β 는 salt and pepper 잡음 제거 필터의 파라미터이다.

국부 마스크의 잡음 밀도는 식 (19)와 같이 구한다.

$$\rho_{i,j} = \sum_{k,l \in \Omega} F_{i+k,j+l} / (2X+1)^2 \quad (19)$$

여기서, X 는 2의 값을 갖는 양의 정수이다.

국부 마스크의 모든 화소가 salt and pepper 잡음에 훼손된 경우, 이전 처리 화소들을 이용하여 현재 위치의 화소를 추정한다.

Spline 보간법을 이용한 잡음 제거 필터는 국부 마스크 내의 잡음 밀도가 낮은 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 가지며, 히스토그램 가중치 필터는 훼손된 영상의 히스토그램을 이용하여 처리하므로 잡음 밀도가 높은 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 갖는다.

III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 16개의 다양한 실험 영상에 대해 AWGN 및 salt and pepper 잡음이 혼합된 복합잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였으며, Baboon 및 Peppers 영상에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 또한 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 PSNR 및 RMSE를 사용하여 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF와 성능을 비교하였다.

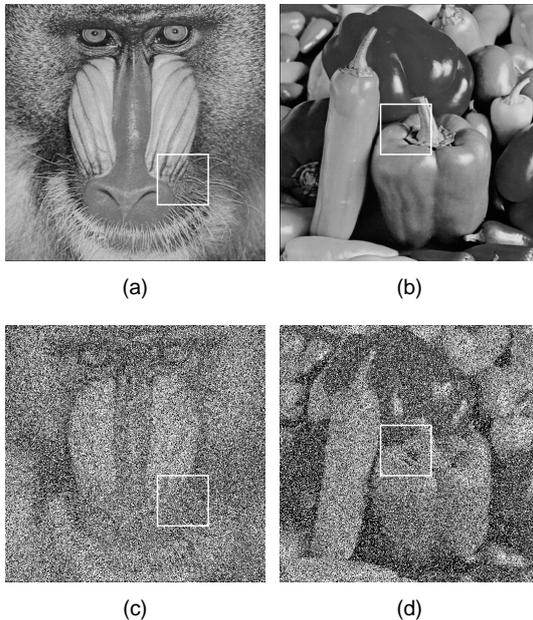


Fig. 1 Test image (a) Baboon (b) Peppers (c) Noisy Baboon (d) Noisy Peppers

그림 1은 시뮬레이션에 사용한 테스트 영상의 원 영상과 잡음 영상을 나타낸 것이다. 그림 3에서 (a), (b)는 Baboon 및 Peppers 영상의 원 영상, (c), (d)는 salt and pepper 잡음($P=50\%$) 및 AWGN($\sigma=10$)에 훼손된 Baboon 및 Peppers 영상이다.

그림 2는 원 영상과 잡음 영상 및 처리된 영상의 확대 영상을 나타낸 것이며, 확대 영상은 Baboon 영상에 (350, 350) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50 영역을 확대한 영상이다. 그림 4는 원 영상과 잡음 영상 및 처리된 영상의 확대 영상을 나타낸 것이며, 확대 영상은 Peppers 영상에 (250, 250) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50 영역을 확대한 영상이다.

그림 2, 4에서 (a)는 원 영상의 확대 영상, (b)는 잡음 영상의 확대 영상, (c)는 CWMF(5×5), (d)는 A-TMF(5×5), (e)는 AWMF(5×5), (f)는 제안한 필터 알고리즘(PFA: proposed filter algorithm)의 처리 결과이다. 제안한 알고리즘의 임계값 및 합성 가중치는 여러 가지 영상에 대해 실험한 결과 각각 $v=0.1$, $t=12$, $T=0.4$, $\alpha=0.7$, $\beta=0.6$ 일 때 우수하였으며, 이들 계수를 적용하여 시뮬레이션하였다.

그림 2, 4의 (c), (d), (e), (f)에서, 기존의 방법들은 복합잡음 환경에서 영상이 흐려지는 블러링 현상 및 잡음 제거 특성이 다소 미흡하였다. 그리고 제안한 알고리즘은 복합잡음 환경에서 기존의 방법들에 비해 우수한 잡음 제거 성능을 나타내었다.

그림 3, 5는 복합잡음에 훼손된 Baboon 및 Peppers 영상에서 기존의 필터들과 제안한 필터 알고리즘의 처리 결과를 PSNR 및 RMSE로 나타낸 것이다.

그림 5에서 제안한 알고리즘으로 처리한 영상은 기존의 방법들에 비해 우수한 PSNR 및 RMSE 특성을 나타내었다. 그리고 제안한 알고리즘은 AWGN($\sigma=10$)와 salt and pepper 잡음($P=50\%$)에 훼손된 Baboon 영상에서 23.59[dB]의 높은 PSNR을 나타내었으며, 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF에 비해 각각 4.65[dB], 6.35[dB], 4.53[dB] 개선되었다.

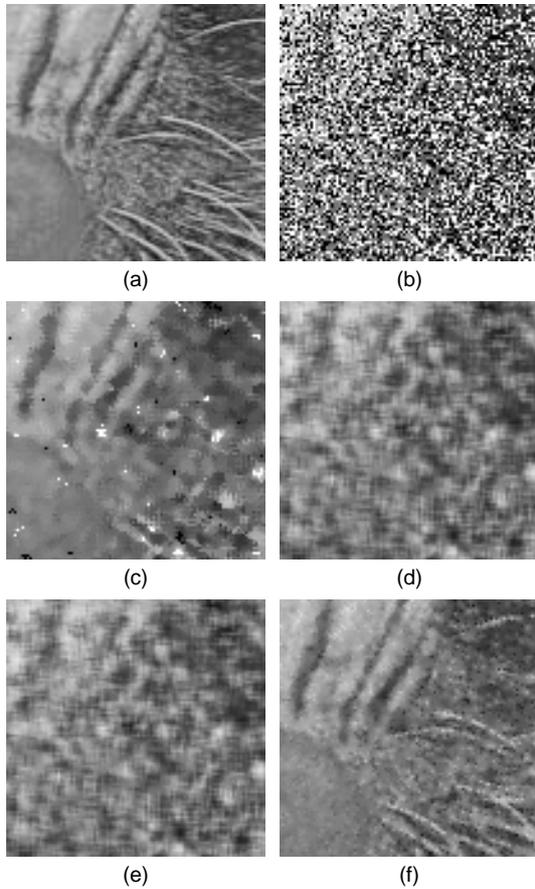


Fig. 2 Simulation result of Baboon (a) Zoom of original image (b) Zoom of noise image (c) CWMF (d) A-TMF (e) AWMF (f) PFA

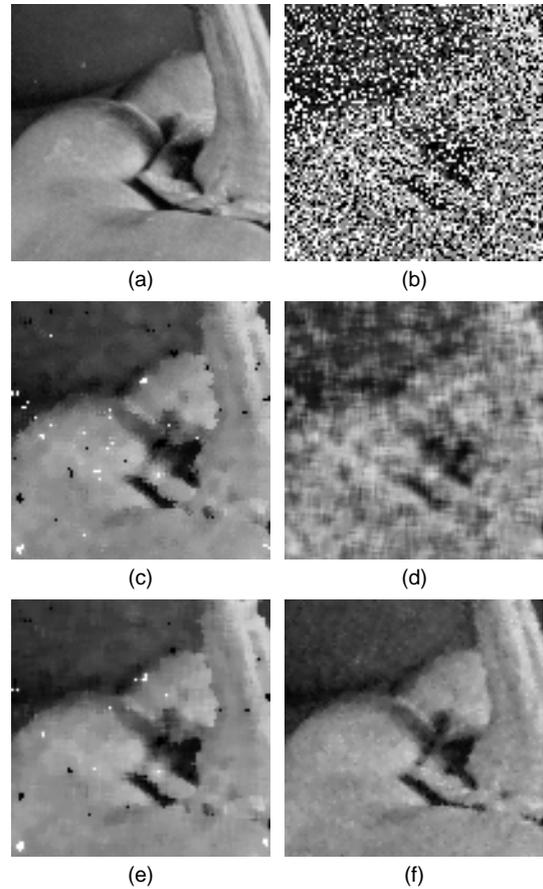


Fig. 4 Simulation result of Peppers (a) Zoom of original image (b) Zoom of noise image (c) CWMF (d) A-TMF (e) AWMF (f) PFA

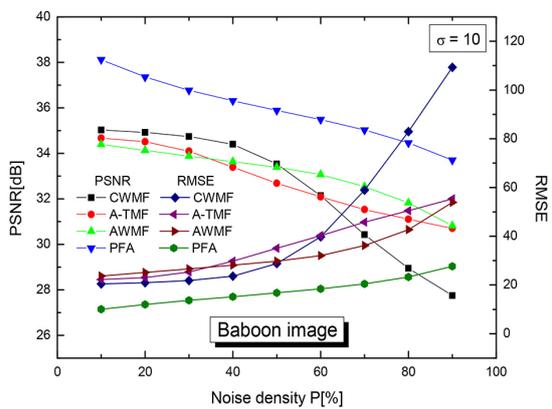


Fig. 3 PSNR and RMSE graph for Baboon image

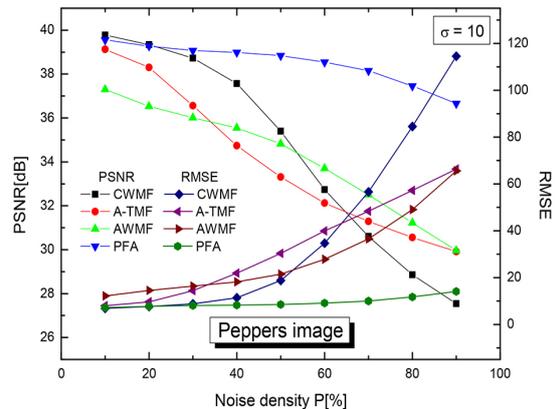


Fig. 5 PSNR and RMSE graph for Peppers image

IV. 결 론

본 논문은 복합잡음에 훼손된 영상을 복원하기 위하여 잡음의 종류에 따라 처리하는 다중필터를 제안하였다. 국부 마스크의 중심 화소가 AWGN에 훼손된 경우, 국부 마스크의 표준편차에 따른 임계값에 따라 가중치를 다르게 적용하여 처리하고, salt and pepper 잡음에 훼손된 경우, 국부 마스크를 네 방향으로 구분하고 각 방향에서 salt and pepper 잡음에 가장 적게 훼손된 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

다양한 실험 영상으로 시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 복합잡음 환경에서 salt and pepper 잡음 밀도가 낮은 영역 및 높은 영역에서 기존의 기존의 방법들보다 우수한 결과를 나타내었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2017 year).

REFERENCES

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

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

[3] X. Long and N. H. Kim, "Modified Median Filter for Impulse Noise Removal," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 461-466, Feb. 2013.

[4] S. I. Kwon and N. H. Kim, "A Study on Modified Spatial Weighted Filter in Mixed Noise Environments," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication 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 Self-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared Images," *Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, pp.1-4, 2009.

[7] D. H. Kim, "SVD-based Image Enhancement Method using Weighted Average of Histogram Stretching and Equalization," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 5, no. 5, pp. 77-85, Oct. 2015.

[8] S. I. Kwon and N. H. Kim, "Salt and Pepper Noise Removal using Cubic Spline Interpolation," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 10, pp. 1955-1960, Oct. 2016.

[9] S. I. Kwon and N. H. Kim, "Nonlinear Composite Filter for Gaussian and Impulse Noise Removal," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 629-635, Mar. 2017.



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