

## 2차원 스플라인 보간법을 이용한 Salt and Pepper 잡음 제거

권세익 · 김남호\*

### Salt and Pepper Noise Removal using 2-Dimensional Spline Interpolation

Se-Ik Kwon · Nam-Ho Kim\*

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

#### 요 약

영상처리는 사회가 고도의 디지털 정보화 시대로 발전함에 따라 응용분야가 점차 다양해지고, 중요한 분야로 각광 받고 있다. 그러나 영상 데이터는 전송하는 과정에서 여러 원인으로 열화가 발생하며 주로 salt and pepper 잡음이 대표적이다. salt and pepper 잡음을 제거하기 위한 대표적인 방법에는 CWMF, SWMF, A-TMF가 있으며 기존의 방법들은 salt and pepper 잡음 환경에서 잡음 제거 특성이 다소 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 salt and pepper 잡음을 제거하기 위해 잡음 판단 후, 중심화소가 비잡음인 경우 원 화소 그대로 보존하고, 잡음인 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도에 따라 2차원 스플라인 보간법 및 메디안 필터를 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 객관적 판단을 위해 기존의 방법들과 비교하였으며, 판단의 기준으로 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

#### ABSTRACT

As the society increasingly embraces the high - tech digital information age, the field of image processing becomes progressively more branched out and becoming an imperative field. However, image data is deteriorated due to various causes during transmission and salt and pepper noise is typical. Typical methods for removing salt and pepper noise include CWMF, SWMF, and A-TMF. However, existing methods are somewhat insufficient in their ability to remove noise in salt and pepper noise environments. Therefore, in this paper, after it is determined whether noise removal is needed, the following measures were taken. If the center pixel was non-noise, the original pixel was preserved, If it was noise, we proposed a two - dimensional spline interpolation method and a median filter depending on the noise density of the local mask. For the purpose of objective judgment, we compared the results with that of existing methods and used PSNR (peak signal to noise ratio) as a judgment criterion.

**키워드** : Salt and pepper 잡음, 3차 스플라인 보간법, 잡음 제거, PSNR

**Key word** : Salt and pepper noise, Cubic spline interpolation, Noise removal, PSNR

Received 26 January 2017, Revised 31 January 2017, Accepted 14 February 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.2017.21.6.1167>

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

최근 IT 기술의 발전에 따라 디스플레이 등 영상장치들에 대한 요구가 갈수록 높아지고 있다. 일반적으로 디지털 영상을 획득, 전송, 처리하는 과정에서 여러 외부 원인에 의해 salt and pepper 잡음이 발생하며, 주요 원인으로서는 채널 전송 에러 등이 있다. 이러한 salt and pepper 잡음의 제거는 에지 검출이나 분할 등의 영상 처리 작업이 수행되기 전에 필수적이다[1,2].

Salt and pepper 잡음을 제거하기 위하여 많은 방법들이 제안되었고 대표적인 공간영역 방법에는 CWMF (center weighted median filter), SWMF (switching median filter), A-TMF(alpha-trimmed mean filter) 등이 있다. CWMF는 중심화소에 대해 가중치를 부여하여 메디안 처리하는 필터로 에지 보존 특성이 우수하나 잡음 밀도가 높은 영역에서 잡음 제거 성능이 저하된다. SWMF는 국부 마스크의 메디안 값과 중심화소와의 차이에 임계값을 적용하여 잡음 유무를 판단하는 필터로 저잡음 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 갖는다. A-TMF는 필터링 마스크내의 화소를 정렬하여 변화가 심한 영역을 잘라내어 평균하는 필터로 화소 변화가 적은 평활한 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 갖는다 [3-7].

따라서 본 논문에서는 영상에 첨가되는 salt and pepper 잡음의 영향을 완화하기 위하여, 잡음 판단을 통해 비잡음인 경우 원 화소 그대로 보존하고, 잡음인 경우 국부 마스크의 잡음 밀도에 따라 2차원 스플라인 보간법 및 메디안 필터로 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 국부 마스크의 잡음 밀도가 낮은 경우, 5×5 크기의 국부 마스크에 2차원 스플라인 보간법을 적용하여 처리하고 잡음 밀도가 높은 경우 메디안 필터로 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문은 II장에서 제안한 알고리즘을 제시하고, III장에서 기존의 방법들과 제안한 알고리즘을 비교하며, 마지막으로 결론 및 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

## II. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 영상에 첨가되는 salt and pepper 잡음을 제거하기 위해 잡음 판단과 잡음 제거 두 개 부분으

로 나누어 처리하였으며, 국부 마스크의 중심화소가 비잡음인 경우, 그대로 보존하고 잡음인 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도에 따라 2차원 스플라인 보간법 및 메디안 필터로 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

### 2.1. 잡음 판단

Salt and pepper 잡음에 의하여 훼손된 영상에서  $i, j$ 의 위치에 있는 화소  $I_{i,j}$ 는 식 (1)과 같다.

$$I_{i,j} = \begin{cases} S, & \text{with probability } P \\ C, & \text{with probability } 1-P \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 잡음 밀도를 나타내며,  $S$ 은 salt and pepper 잡음에 훼손된 화소값을 나타내고,  $C$ 는 원 영상의 화소값을 나타낸다.

8비트 그레이 레벨 영상에서 salt and pepper 잡음 신호의 화소값은  $I_{\min} = 0$ 과  $I_{\max} = 255$ 의 크기를 가진다.

본 논문에서 잡음 판단은 binary 마스크 형태로 표현하며, 식 (2)와 같다.

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

식 (3)에서 0은 잡음 신호를 나타내고, 1은 비잡음 신호를 나타낸다.

### 2.2. 2차원 스플라인 보간법

본 논문에서 사용한 2차원 스플라인 보간법은 1차원인 3차 스플라인 보간법을 2차원으로 확장한 것이다. 일반적으로 3차 스플라인 보간법을 적용하기 위한 3차 다항식은 식 (3)과 같다.

$$s_k(\tau) = a_k + b_k(\tau - l_k) + c_k(\tau - l_k)^2 + d_k(\tau - l_k)^3 \quad (3)$$

여기서,  $\tau$ 는 보간하고자 하는 위치를 의미하며, 본 논문에서는 0의 값을 갖는다.  $l$ 은  $n$ 개의 데이터 위치를 나타내며,  $[-2, -1, 1, 2]$ 를 나타낸다. 따라서,  $k$ 개의 데이터 점( $k = 1, 2, 3, 4$ )에 대해서  $n-1$ 개의 구간이 존재하며,  $4(n-1)$ 개의 미지계수가 결정되어야 한다.

식 (3)에서  $4(n-1)$  개의 미지계수를 결정하기 위해 식 (4)와 같이 삼중 대각행렬을 설정한다.

$M_{i-2,j-2}$	$M_{i-2,j-1}$	$M_{i-2,j}$	$M_{i-2,j+1}$	$M_{i-2,j+2}$
$M_{i-1,j-2}$	$M_{i-1,j-1}$	$M_{i-1,j}$	$M_{i-1,j+1}$	$M_{i-1,j+2}$
$M_{i,j-2}$	$M_{i,j-1}$	$M_{i,j}$	$M_{i,j+1}$	$M_{i,j+2}$
$M_{i+1,j-2}$	$M_{i+1,j-1}$	$M_{i+1,j}$	$M_{i+1,j+1}$	$M_{i+1,j+2}$
$M_{i+2,j-2}$	$M_{i+2,j-1}$	$M_{i+2,j}$	$M_{i+2,j+1}$	$M_{i+2,j+2}$

Fig. 1 Local Mask

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2+h_3) & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3(f[l_3, l_2] - f[l_2, l_1]) \\ 3(f[l_4, l_3] - f[l_3, l_2]) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서,  $h_k = l_{k+1} - l_k$ 이며,  $f[x_\alpha, l_\beta] = (f_\alpha - f_\beta) / (l_\alpha - l_\beta)$  이고,  $f_k$  는  $l_k$  위치의 화소값을 나타낸다.

식 (5), (6)에 삼중 대각행렬 해인  $c_1, c_2, c_3, c_4$ 를 대입하여, 3차 스플라인 보간법의 나머지 계수를 구한다.

$$b_k = b_{k-1} + h_{k-1}(c_{k-1} + c_k) \quad (5)$$

$$d_k = \frac{c_{k+1} - c_k}{3h_k} \quad (6)$$

식 (3)에 식 (4), (5), (6)에서 구한 계수들을 이용하여 최종 출력을 구한다.

2차원 스플라인 보간법은 그림 1과 같이  $5 \times 5$  크기의 국부 마스크를 설정하며 식 (7)과 같다.

$$M_{i+p,j+q} = [I_{i+p,j+q} | -2 \leq p, q \leq 2] \quad (7)$$

여기서,  $p, q$ 는 국부 마스크의 내부 좌표를 나타낸다. 국부 마스크의 가로 방향을 식 (8)과 같이 설정한다.

$$\begin{aligned} H_{i,j}^1 &= [M_{i-2,j-2}, M_{i-2,j-1}, M_{i-2,j+1}, M_{i-2,j+2}] \\ H_{i,j}^2 &= [M_{i-1,j-2}, M_{i-1,j-1}, M_{i-1,j+1}, M_{i-1,j+2}] \\ H_{i,j}^3 &= [M_{i+1,j-2}, M_{i+1,j-1}, M_{i+1,j+1}, M_{i+1,j+2}] \\ H_{i,j}^4 &= [M_{i+2,j-2}, M_{i+2,j-1}, M_{i+2,j+1}, M_{i+2,j+2}] \end{aligned} \quad (8)$$

각 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하며 식 (9)와 같이 구한다.

$$G_2^k(\tau) = M_{k,2} + b_2(\tau - l_2) + c_2(\tau - l_2)^2 + d_2(\tau - l_2)^3 \quad (9)$$

보간한  $G_{i,j}^1, G_{i,j}^2, G_{i,j}^3, G_{i,j}^4$ 에 대해 세로 방향으로 다시 3차 스플라인 보간법을 적용하여 제안한 알고리즘의 최종 출력을 구한다.

### 2.3. 잡음 제거

본 논문에서 제안한 알고리즘은 잡음 판단을 거쳐 중심화소가 비잡음인 경우, 원 화소 그대로 보존하고 잡음 신호인 경우, 국부 마스크의 잡음 밀도를 계산하여 국부 마스크의 잡음 밀도에 따라 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 국부 마스크의 잡음 밀도가 낮은 경우 2차원 스플라인 보간법을 이용하여 처리하고, 국부 마스크의 잡음 밀도가 높아 2차원 스플라인 보간법을 적용하기 힘든 경우, 메디안 필터로 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 필터링 순서는 다음과 같다.

Step 1. 잡음 판단을 통해 중심화소가 비잡음 신호로 판단된 경우, 식 (10)과 같이 원 화소 그대로 보존한다.

$$O_{i,j} = I_{i,j} \quad (10)$$

Step 2. 잡음 판단을 통해 중심화소가 잡음 신호로 판단된 경우,  $5 \times 5$  국부 마스크를 식 (7)과 같이 설정

한다.

Step 3. 국부 마스크의 잡음 밀도를 식 (11)과 같이 구한다.

$$\rho_{i,j} = \frac{\sum_{p,q} F_{i+p,j+q}}{(2N+1)^2} \quad (11)$$

Step 4. 국부 마스크의 잡음 밀도가 임계값  $T$ 보다 작은 경우, 2차원 스플라인 보간법을 이용하여 처리하며 식 (12)와 같다.

$$O_{i,j} = \text{interp2}\{M\} \quad (12)$$

여기서,  $\text{interp2}\{ \}$  는 2차원 스플라인 보간법을 구하는 함수이다.

Step 5. 국부 마스크의 잡음 밀도가 임계값  $T$ 보다 큰 경우, 비잡음 화소의 메디안값으로 처리한다.

국부 마스크의 유효 화소의 집합을  $Y$ , 그 요소수를  $c$  로 정의한다.

요소수  $c$ 가 0보다 큰 경우, 식 (13)과 같이 메디안 필터링으로 최종 출력을 구한다.

$$O_{i,j} = \text{median}\{Y\} \quad (13)$$

여기서,  $\text{median}\{ \}$  은 메디안값을 구하는 함수이다.

요소수  $c$ 가 0인 경우, 국부 마스크의 모든 화소가 잡음이므로 최종 출력은 이미 처리된 출력 화소들을 이용하여 처리한다.

### III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는  $512 \times 512$  크기의 8비트 그레이 영상인 Goldhill과 Barbara 영상에 대해 salt and pepper 잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였으며, 또한 영상의 개선 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 사용하여 기존의 CWMF, SWMF, A-TMF로 성능을 비교하였다. PSNR은 식 (14)와 같이 표현된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[ \frac{255^2}{MSE} \right] \quad (14)$$

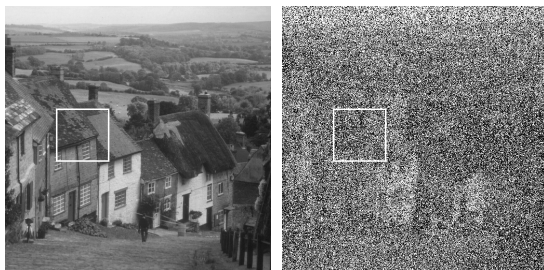
그림 2, 3에서 (a)는 원 영상이고, (b)는 salt and pepper 잡음( $P=60\%$ )에 훼손된 영상이다.

그림 4, 5는 제안한 알고리즘의 잡음제거 특성을 확인하기 위해, Goldhill 영상에 (250, 150) 화소 및 Barbara 영상의 (200, 100) 화소를 중심으로 확대한 영상을 나타내었다.

그림 6, 7은 Goldhill 및 Barbara 영상과 잡음 영상 그리고 시뮬레이션 영상들에서 300번째 라인의 프로 파일을 나타낸 것이다.

확대 영상으로부터, CWMF, SWMF 및 A-TMF는 고밀도 잡음 환경에서 다소 미흡한 잡음제거 특성을 나타내었으며 제안한 알고리즘은 고밀도 잡음 환경에서 우수한 잡음 제거 특성을 나타내었다. 또한 300 라인 프로파일 결과에서 제안한 알고리즘은 기존의 방법들에 비해 우수한 에지 보존특성을 나타내었다.

표 1, 2는 각각의 필터들에 의해 복원된 Goldhill 및 Barbara 영상에 대한 PSNR을 수치로 나타낸 것이다.



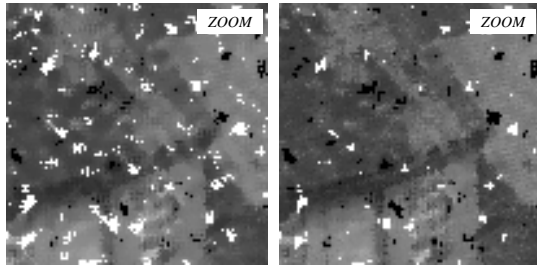
(a) (b)

Fig. 2 Simulation Goldhill image (a) Original image (b) Noise image

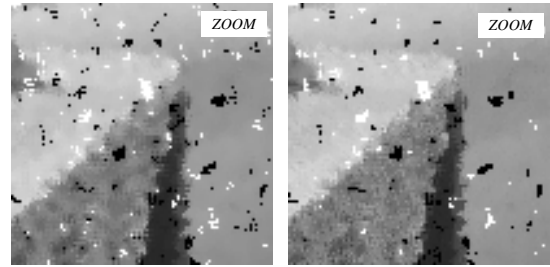


(a) (b)

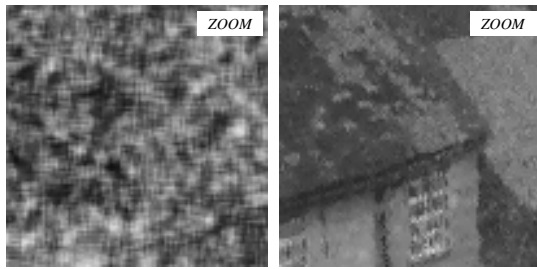
Fig. 3 Simulation Barbara image (a) Original image (b) Noise image



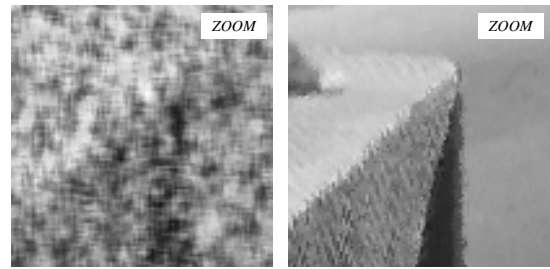
(a) (b)



(a) (b)



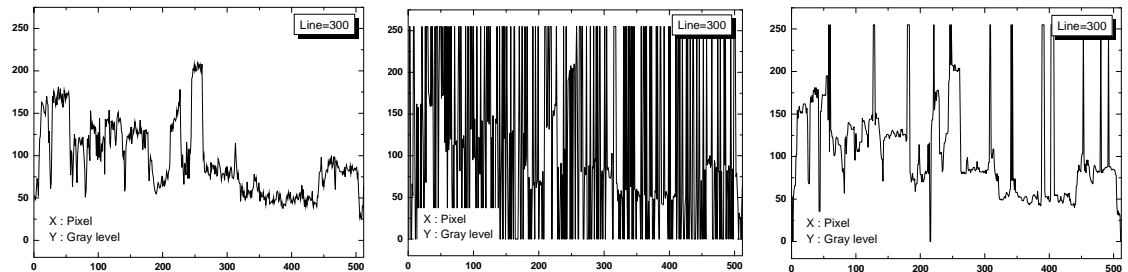
(c) (d)



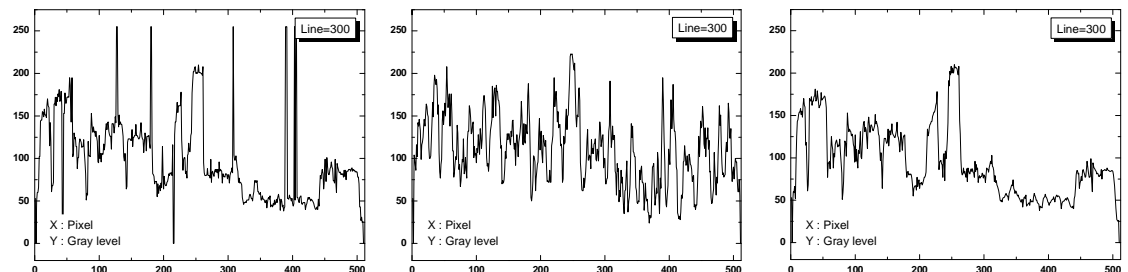
(c) (d)

**Fig. 4** Enlarged Goldhill image (a) CWMF (b) SWMF (c) A-TMF (d) PFA

**Fig. 5** Enlarged Barbara image (a) CWMF (b) SWMF (c) A-TMF (d) PFA



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)

**Fig. 6** Profile of Goldhill image (a) Original image (b) Noise image (c) CWMF (d) SWMF (e) A-TMF (f) PFA

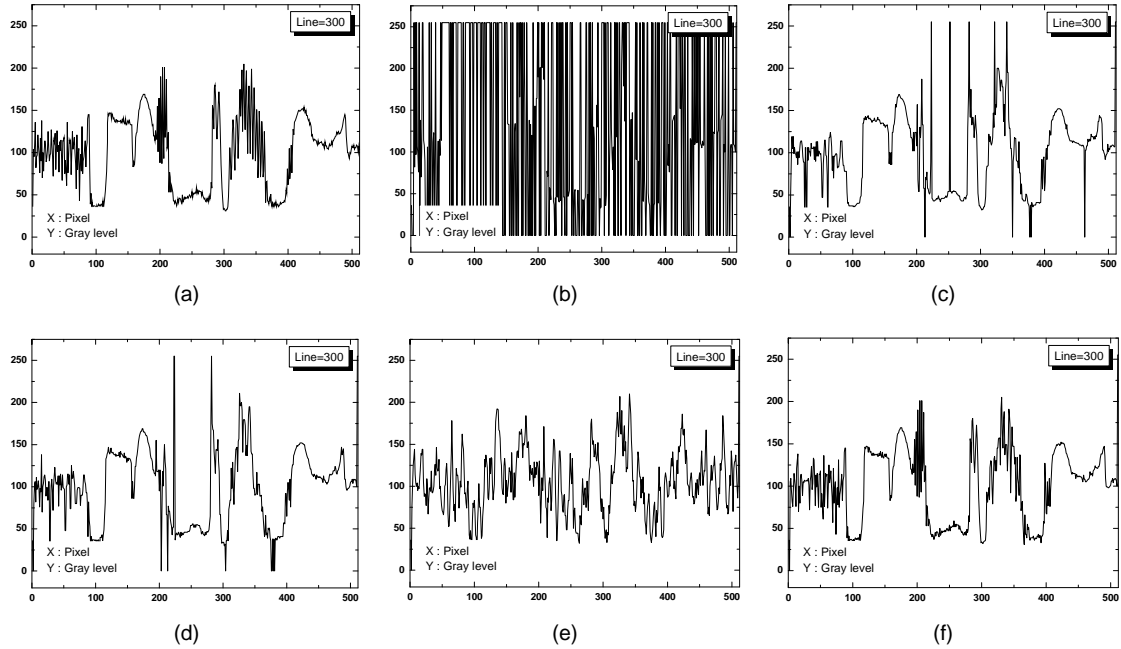


Fig. 7 Profile of Barbara image (a) Original image (b) Noise image (c) CWMF (d) SWMF (e) A-TMF (f) PFA

표 1, 2에서 기존의 방법들은 잡음밀도가 적은 경우 잡음 제거 특성이 우수하였으며 잡음 밀도가 40% 이상으로 높아짐에 따라 잡음 제거 특성이 급격히 미흡해지는 특성을 나타내었다.

그리고 제안한 알고리즘은 잡음 밀도에 따라 2차원 스플라인 보간법 및 메디안 필터를 이용하여 잡음 밀도가 낮은 영역 및 높은 영역에서도 우수한 PSNR을 나타내었다.

#### IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 salt and pepper 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여 잡음 판단을 거친 후, 비잡음인 경우 원 화소로 대체하고, 잡음인 경우 국부 마스크에 2차원 스플라인 보간법 및 메디안 필터를 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 salt and pepper

Table. 1 Each PSNR comparison for Goldhill image.

Noise density	Goldhill			
	CWMF	SWMF	A-TMF	PFA
10%	33.60[dB]	33.70[dB]	27.83[dB]	40.39[dB]
20%	25.64[dB]	29.56[dB]	22.77[dB]	36.84[dB]
30%	19.88[dB]	23.69[dB]	19.56[dB]	34.53[dB]
40%	16.03[dB]	19.04[dB]	17.40[dB]	32.72[dB]
50%	13.16[dB]	15.32[dB]	15.79[dB]	31.08[dB]
60%	10.90[dB]	12.44[dB]	14.50[dB]	29.69[dB]
70%	9.06[dB]	10.04[dB]	13.41[dB]	28.33[dB]
80%	7.06[dB]	8.17[dB]	12.46[dB]	26.97[dB]
90%	6.41[dB]	6.65[dB]	11.65[dB]	24.72[dB]

Table. 2 Each PSNR comparison for Barbara image.

Noise density	Goldhill			
	CWMF	SWMF	A-TMF	PFA
10%	22.94[dB]	23.43[dB]	22.38[dB]	28.99[dB]
20%	22.76[dB]	23.03[dB]	22.12[dB]	28.21[dB]
30%	22.44[dB]	22.55[dB]	21.15[dB]	27.27[dB]
40%	21.81[dB]	21.90[dB]	19.49[dB]	26.18[dB]
50%	20.01[dB]	20.46[dB]	17.70[dB]	24.96[dB]
60%	16.58[dB]	17.37[dB]	16.07[dB]	23.76[dB]
70%	12.79[dB]	13.42[dB]	14.64[dB]	22.58[dB]
80%	9.77[dB]	10.20[dB]	13.67[dB]	21.77[dB]
90%	7.25[dB]	7.40[dB]	12.65[dB]	20.84[dB]

잡음 밀도 변화에 따른 잡음 제거 특성이 기존의 방법들보다 우수한 PSNR 결과를 나타내었다. 그리고 salt and pepper 잡음( $P=60\%$ )의 고밀도 잡음에 훼손된 Goldhill 영상은 29.69[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있고, 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF에 비해 각각 18.79[dB], 15.19[dB], 17.25[dB] 개선되었다.

향후 제한한 알고리즘의 성능을 개선하여 보다 우수한 잡음 제거 필터 알고리즘에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## 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, "A Study on the Spatial Weighted Filter in AWGN Environment," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol.17, no.3, pp.724-729, Mar. 2013.
- [4] Y. Gao and N. H. Kim, "A Study on Improved Denoising Algorithm for Edge Preservation in AWGN Environments," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 16, no. 8, pp.1773-1778, Aug. 2012.
- [5] J. Wang and J. Hong, "A New Self-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared images," in *Proceeding of IEEE Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, pp.1-4, Dec. 2009.
- [6] N. Zhou and S. Zhang, "An Adaptive Image Mixed Noise Removal Algorithm Based on MMTD," in *Proceeding of Digital Information Processing, Data Mining, and Wireless Communications*, Moscow, Russia, pp.93-98, July 2016.
- [7] K. Vasanth, K. Kumar, S. Saravanan, "Decision Based Unsymmetrical Trimmed Mode Filter for the Removal of Salt and Pepper Noise in Images," in *Proceeding of 2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies*, Abu Dhabi, pp.1-7, May 2015.



권세익(Se-Ik Kwon)

2014년 8월 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업  
 2014년 9월~현재 부경대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정  
 ※관심분야 : 영상처리



김남호(Nam-Ho Kim)

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