

3차 스플라인 보간법을 이용한 Salt and Pepper 잡음 제거

권세익 · 김남호*

Salt and Pepper Noise Removal using Cubic Spline Interpolation

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 관련 영상 장치들이 대중화 되고 있다. 그러나 영상 데이터는 전송하는 과정에서 여러 원인으로 열화가 발생하며 주로 salt and pepper 잡음이 대표적이다. salt and pepper 잡음을 제거하기 위한 대표적인 방법에는 SWMF, RSIF, MNRF가 있으며 기존의 방법들은 고밀도 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 마스크 네 방향으로 세분화하여 비잡음 화소가 가장 많은 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 객관적 판단을 위해 기존의 방법들과 비교하였으며, 판단의 기준으로 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하였다.

ABSTRACT

Currently, with the rapid development in digital era, the image equipment related to multi-media is becoming commercialized. However, in the process of transmitting image data, deterioration occurs due to various causes, and the most representative deterioration is salt and pepper noise. There are many methods of eliminating salt and pepper noise such as SWMF, RSIF, MNRF, which are rather insufficient in eliminating noise in high-density salt and pepper noise environment. Therefore, in order to eliminate salt and pepper noise, this thesis proposes an algorithm by first judging the noise, and when the center pixel value is non-noise, the original pixel is preserved, and when it is noise, the partial mask is subdivided into 4 directions to apply cubic spline interpolation to the direction with most non-noise pixels. Also, for the objective judgement, it was compared to existing methods, and the PSNR(peak signal to noise ratio) was set as the judgement standard.

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

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

Received 29 June 2016, Revised 04 July 2016, Accepted 11 August 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://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.10.1955>

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. 서론

최근 IT 기술의 발전에 따라 디스플레이 등 영상 장치들에 대한 요구가 갈수록 높아지고 있다. 일반적으로 디지털 영상을 획득, 전송, 처리하는 과정에서 여러 외부 원인에 의해 salt and pepper 잡음이 발생하며, 주요 원인으로는 채널 전송 에러 등이 있다. 이러한 salt and pepper 잡음의 제거는 에지 검출이나 분할 등의 영상 처리 작업이 수행되기 전에 필수적이다 [1-4].

Salt and pepper 잡음을 제거하기 위하여 많은 방법들이 제안되었고 대표적인 공간영역 방법에는 SWMF (switching median filter), RSIF(recursive spline interpolation filter) 그리고 변형된 잡음 제거 필터(MNRF: modified noise removal filter)[5] 등이 있다. 그러나 이러한 필터들은 고밀도 잡음이 첨가된 경우 잡음 제거 특성이 저하된다[6-8].

따라서 본 논문에서는 영상에 첨가되는 salt and pepper 잡음의 영향을 완화하기 위하여, 잡음 판단을 통해 비잡음인 경우 원 화소 그대로 보존하고, 잡음인 경우 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하여 비잡음 화소가 가장 많은 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하여 처리하였다.

또한 국부 마스크의 잡음 밀도가 높아 3차 스플라인 보간법이 불가능한 경우 메디안 필터로 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[9,10].

II. 제안한 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 잡음 판단을 거쳐 중심화소가 비잡음인 경우, 원 화소 그대로 보존하고 잡음 신호인 경우, 5×5 크기의 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하고 비잡음 화소가 많은 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 필터링 순서는 다음과 같다.

Step 1. 잡음 판단을 통해 중심화소가 비잡음 신호로

판단된 경우, 식 (1)과 같이 원 화소 그대로 보존한다.

$$O_{i,j} = C \quad (1)$$

Step 2. 잡음 판단을 통해 중심화소가 잡음 신호로 판단된 경우, 5×5 국부 마스크를 식 (2)와 같이 설정한다.

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

여기서, I 는 입력 영상, p, q 는 국부 마스크의 내부 좌표를 나타낸다.

Step 4. 국부 마스크를 네 방향으로 식 (3)과 같이 세분화 한다.

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

Step 4. 네 방향에서 비잡음 화소들의 수가 가장 많은 방향을 $\Omega_{i,j}^1$ 이라고 가정할 때 제안한 알고리즘은 선택된 방향의 비잡음 수에 따라 다음과 같이 처리한다.

Case I. $\Omega_{i,j}^1$ 방향의 화소값이 중심화소를 제외한 모든 화소가 유효 화소인 경우

3차 스플라인 보간법을 적용하기 위해 3차 다항식을 식 (4)와 같이 설정한다.

$$s_k(\tau) = a_k + b_k(\tau - l_k) + c_k(\tau - l_k)^2 + d_k(\tau - l_k)^3 \quad (4)$$

여기서, τ 는 보간하고자 하는 위치를 의미하며, $l = [-2, -1, 1, 2]$ 를 나타낸다.

식 (4)에서 3차 다항식들의 계수를 구하기 위해 식 (5)와 같이 삼중 대각행렬을 설정한다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2+h_3) & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3(f[l_3, l_2]-f[l_2, l_1]) \\ 3(f[l_4, l_3]-f[l_3, l_2]) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, $h_k = l_{k+1} - l_k$ 이며, $f[x_m, l_n] = (f_m - f_n) / (l_m - l_n)$ 이고, f_k 는 l_k 위치의 화소값이다.

식 (6), (7)에 삼중 대각행렬 해인 c_1, c_2, c_3, c_4 를 대입하여, 3차 스플라인 보간법의 나머지 계수를 구한다.

$$b_k = b_{k-1} + h_{k-1}(c_{k-1} + c_k) \quad (6)$$

$$d_k = \frac{c_{k+1} - c_k}{3h_k} \quad (7)$$

3차 스플라인 보간법을 적용한 제안한 알고리즘의 최종 출력은 식 (8)과 같다.

$$O_{i,j} = f_2 + b_2(\tau - l_2) + c_2(\tau - l_2)^2 + d_2(\tau - l_2)^3 \quad (8)$$

Case II. 선택된 $\Omega_{i,j}^1$ 방향의 요소 중 일부가 salt and pepper 잡음에 훼손된 경우

훼손된 화소를 중심으로 3×3 크기의 서브 마스크를 설정하고 유효 화소들의 가중 평균으로 훼손된 화소를 추정한 후 3차 스플라인 보간법을 적용한다.

훼손된 화소를 중심으로 식 (9)와 같이 서브 마스크를 설정한다.

$$\Psi_{\theta_a, \theta_b} = [\Omega_{p+\theta_a, q+\theta_b} | -1 \leq \theta_a, \theta_b \leq 1] \quad (9)$$

여기서, p, q 는 국부 마스크 내의 잡음 화소를 나타낸다.

훼손된 화소의 위치에 가중치 마스크를 이용하여 대체하며 가중치 마스크는 식 (10)와 같다.

$$W_{p+\theta_a, q+\theta_b} = \exp\{-\left(\theta_a^2 + \theta_b^2\right)\} \quad (10)$$

식 (5), (6), (7)을 이용하여 3차 다항식의 계수를 구하고 식 (10)을 이용하여 제안한 알고리즘의 최종 출력을 구한다.

Case III. 국부 마스크에서 선택된 방향의 화소들 중 2개 이상이 salt and pepper 잡음에 훼손된 경우

국부 마스크의 메디안 값을 이용하여 처리하며, 국부 마스크의 유효 화소의 집합을 V , 그 요소수를 c 로 정의한다. 요소수 c 가 0보다 큰 경우, 메디안 필터링으로 최종 출력을 구한다.

요소수 c 가 0인 경우, 국부 마스크의 모든 화소가 잡음이므로 국부 마스크 범위 내의 이전 처리 화소들을 평균하여 최종 출력을 구한다.

III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 8비트 그레이 영상인 Barbara 및 Bridge 영상에 대해 salt and pepper 잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였다. 그리고 제안한 필터의 우수성을 입증하기 위해 확대 영상, 프로파일 및 PSNR을 사용하여 기존의 SWMF ($T_D = 40$), RSIF, MNRF로 성능을 비교하였다.

그림 1은 시뮬레이션에 사용된 Barbara 영상의 원 영상과 잡음 영상을 나타낸 것이다.

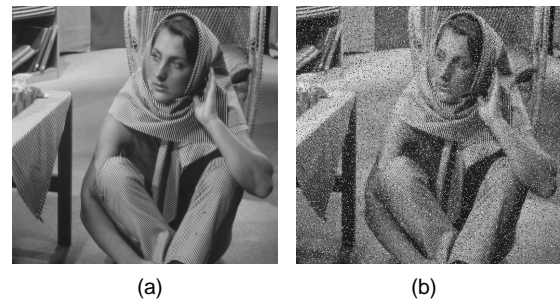


Fig. 1 Barbara image (a) Original image (b) Noise image

그림 1에서 (a)는 원 영상이고, (b)는 salt and pepper 잡음($P=10\%$)에 훼손된 영상이다.

그림 2는 기존의 방법과 제안한 필터 알고리즘(PFA: proposed filter algorithm)으로 처리한 결과이다.

그림 3은 제안한 알고리즘의 잡음제거 특성을 확인

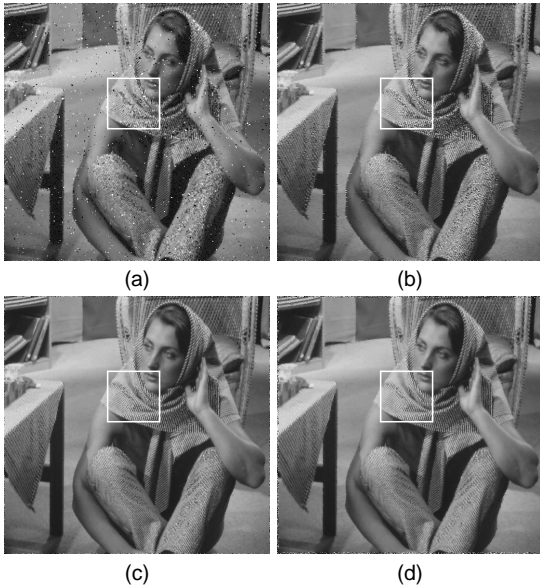


Fig. 2 Simulation result of Barbara image (a) SWMF (b) RSIF (c) MNRF (d) PFA

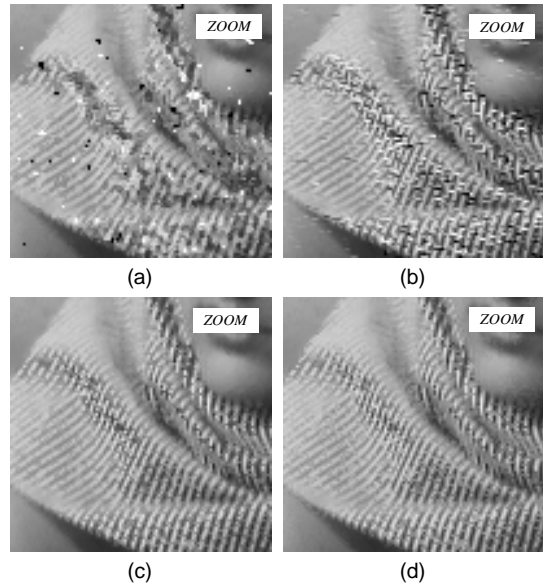


Fig. 3 Enlarged Barbara image (a) SWMF (b) RSIF (c) MNRF (d) PFA

하기 위해, Barbara 영상에 (200, 250) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50화소 영역 확대하여 나타내었다.

그림 4는 Barbara 영상과 잡음 영상 그리고 시뮬레이션 영상들에서 175번째 라인의 프로파일을 나타낸 것

이다.

확대 영상으로부터, SWMF는 필터링 마스크 내의 salt and pepper 잡음이 첨가되어 잡음제거 특성이 다소 미흡하였다.

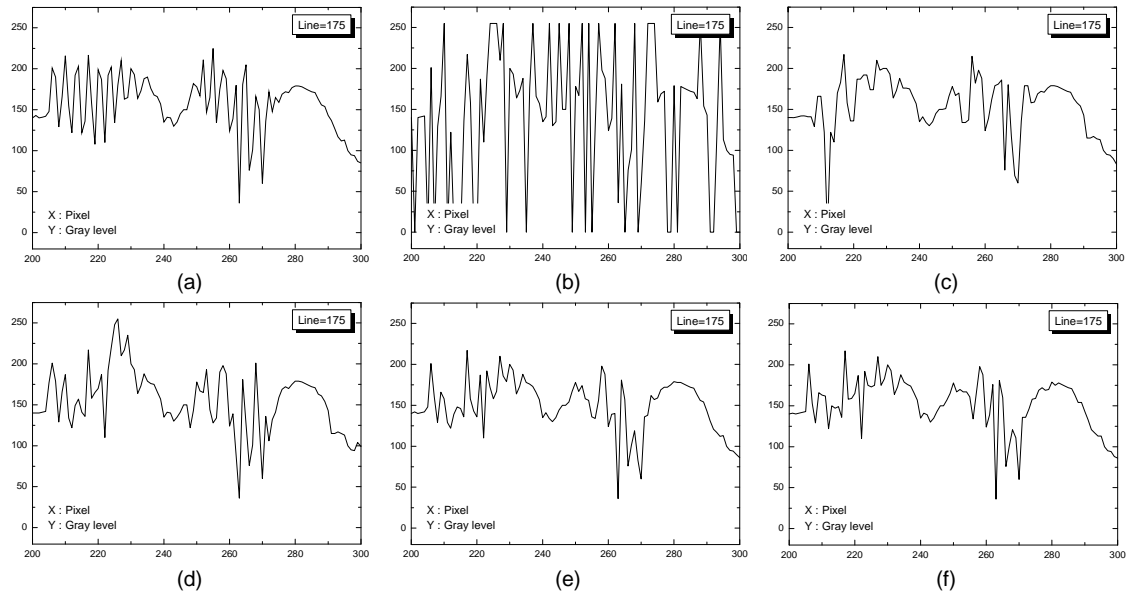


Fig. 4 Profile of Barbara image (a) Original image (b) Noise image (c) SWMF (d) RSIF (e) MNRF (f) PFA

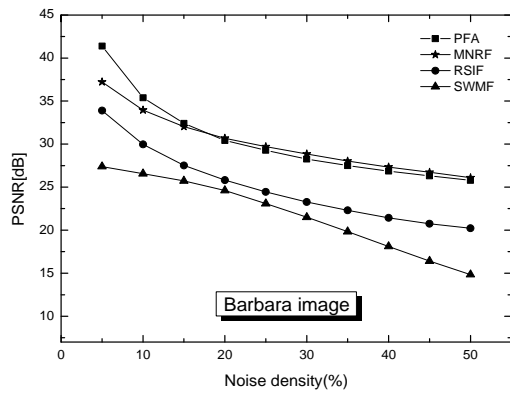


Fig. 5 PSNR graph for Barbara image

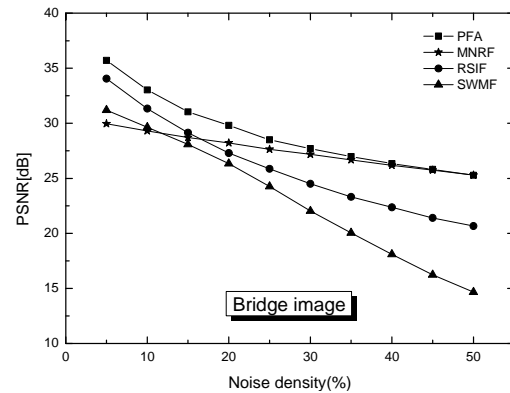


Fig. 6 PSNR graph for Bridge image

Table. 1 Each PSNR comparison for Barbara image

Noise density	Barbara			
	SWMF	RSIF	MNRF	PFA
5%	27.39[dB]	33.90[dB]	37.23[dB]	41.40[dB]
10%	26.57[dB]	29.97[dB]	33.96[dB]	35.39[dB]
15%	25.73[dB]	27.53[dB]	32.03[dB]	32.41[dB]
20%	24.62[dB]	25.82[dB]	30.68[dB]	30.42[dB]
25%	23.08[dB]	24.45[dB]	29.71[dB]	29.28[dB]
30%	21.50[dB]	23.27[dB]	28.86[dB]	28.27[dB]
35%	19.84[dB]	22.31[dB]	28.04[dB]	27.51[dB]
40%	18.11[dB]	21.44[dB]	27.33[dB]	26.87[dB]
45%	16.41[dB]	20.75[dB]	26.74[dB]	26.32[dB]
50%	14.84[dB]	20.22[dB]	26.09[dB]	25.79[dB]

Table. 2 Each PSNR comparison for Bridge image

Noise density	Barbara			
	SWMF	RSIF	MNRF	PFA
5%	31.19[dB]	34.05[dB]	29.96[dB]	35.71[dB]
10%	29.65[dB]	31.33[dB]	29.31[dB]	33.03[dB]
15%	28.09[dB]	29.15[dB]	28.71[dB]	31.04[dB]
20%	26.35[dB]	27.30[dB]	28.22[dB]	29.81[dB]
25%	24.27[dB]	25.86[dB]	27.64[dB]	28.50[dB]
30%	22.03[dB]	24.50[dB]	27.17[dB]	27.70[dB]
35%	20.05[dB]	23.32[dB]	26.68[dB]	26.98[dB]
40%	18.10[dB]	22.37[dB]	26.18[dB]	26.34[dB]
45%	16.24[dB]	21.41[dB]	25.75[dB]	25.82[dB]
50%	14.67[dB]	20.67[dB]	25.29[dB]	25.28[dB]

RSIF 및 MNRF는 제안한 알고리즘과 유사한 특성을 나타내었다. 그리고 175 라인 프로파일 결과에서 제안한 알고리즘은 기존의 방법들에 비해 우수한 에지 보존 특성을 나타내었다.

그림 5, 6은 각각의 필터들에 의해 복원된 Barbara 영상과 Bridge 영상에 대한 PSNR을 비교한 것이며, 그 수치를 표 1, 2에 나타내었다.

여기서, 기존의 SWMF는 잡음밀도가 낮은 경우 잡음 제거 특성이 우수하였으며 잡음 밀도가 높아짐에 따라 잡음 제거 특성이 급격히 미흡해지는 특성을 나타내었으며, RSIF는 전반적으로 양호한 잡음 제거 특성을 나타내었다. 그리고 MNRF는 Barbara 영상을 처리한 결과, 잡음 밀도가 높은 영역에서 제안한 알고리즘에 비해 우수한 잡음 제거 성능을 나타내었으며, Bridge 영상에서는 제안한 알고리즘에 비해 다소 미흡한 특성을 나타내었다.

그리고 제안한 알고리즘은 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하여 잡음 화소가 가장 적은 방향에 대한 3차 스플라인 보간법으로 처리한 결과, 잡음 밀도가 낮은 영역에서 우수한 PSNR 특성을 나타내었으며, 높은 영역에서 우수한 잡음 제거 성능을 나타내었다.

IV. 결론

본 논문은 salt and pepper 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여 잡음 판단을 거친 후, 비잡음인 경우 원 화소로 대체하고, 잡음인 경우 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하여 비잡음 화소가 가장 많은 방향에 대해 3차 스플라인 보간법을 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 salt and pepper

잡음 밀도 변화에 따른 잡음 제거 특성이 우수하였으며, 특히 저밀도 잡음 환경에서 기존의 방법들에 비해 우수한 성능을 나타내었다. 따라서 제안한 알고리즘은 salt and pepper 잡음의 영향을 완화시켜 운용되고 있는 영상 처리 시스템에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Brain Busan 21 Project in 2016.

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] K. K. V. Toh, H. Ibrahim, and M. N. Mahyuddin, "Salt-and-pepper noise detection and reduction using fuzzy switching median filter," *IEEE trans. Consumer Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 1956-1961, Nov.2008.

[4] L. Xu and N. H. Kim, "A Study on the Spatial Weighted Filter in AWGN Environment," *JKIICE*, vol. 17, no.3, pp.724-729, Mar. 2013.

[5] S. I. Kwon and N. H. Kim, "Salt and Pepper Noise Removal using Histogram," *JKIICE*, vol. 20, no.2, pp.394- 400, Feb. 2016.

[6] R. Öten and R. J. P. 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.

[7] L. Xu and N. H. Kim, "An Improved Weighted Filter for AWGN Removal," *JKIICE*, vol. 17, no. 5, pp. 1227- 1232, May 2013.

[8] J. Wang and J. Hong, "A New Selt-Adaptive Weighted Filter for Removing Noise in Infrared Images," *IEEE Information Engineering and Computer Science, ICIECS International Conference*, pp.1-4, Dec. 2009.

[9] S. I. Kwon and N. H. Kim, "Noise Removal using Modified Switching Filter in Mixed Noise Environments," *JKIICE*, vol.20, no.6, pp.1215-1220, Jun. 2016.

[10] S. I. Kwon and N. H. Kim, "Mixed Noise Removal using Histogram and Pixel Information of Local Mask," *JKIICE*, vol.20, no.3, pp.647-653, Mar. 2016.



권세익(Se-ik Kwon)

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



김남호(Nam-Ho Kim)

제19권 제1호 참조
1992년 3월~현재 부경대학교 공과대학 제어계측공학과 교수
※관심분야 : 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호복원