

AWGN 환경에서 잡음 특성을 고려한 변형된 가우시안 필터

천봉원, 김남호*
부경대학교 제어계측공학과

Modified Gaussian Filter Considering Noise Characteristics in AWGN Environments

Bong-Won Cheon, Nam-Ho Kim*

Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University

요 약 4차 산업혁명을 통해 다양한 디지털 장비가 보급되고 있으며, 이에 따라 데이터 처리의 중요성이 높아지고 있다. 데이터 처리는 장비의 신뢰성에 큰 영향을 미치는 만큼 그 중요성이 증가하고 있으며, 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 영상에 존재하는 잡음의 특성을 고려하여 AWGN을 제거하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 영상의 잡음 표준편차를 유추하여 필터링 과정에 사용하였으며, 필터링 마스크의 표준편차와 비교해 고주파 성분에 대한 필터와 저주파 성분에 대한 필터를 구분하여 잡음을 제거하였다. 제안하는 알고리즘을 평가를 위해 기존 방법들과 시뮬레이션하였으며, 차영상 및 PSNR과 프로파일을 통해 비교 분석하였다. 제안한 알고리즘은 잡음의 영향을 최소화하였으며, 영상의 중요 특성을 보존하며 효율적으로 잡음을 제거하는 성능을 보였다.

• 주제어 : AWGN, 가우시안 필터, 잡음제거, 표준편차, PSNR

Abstract Through the 4th Industrial Revolution, various digital equipments are being distributed, and accordingly, the importance of data processing is increasing. As data processing has a great effect on the reliability of equipment, its importance is increasing, and various studies are being conducted. In this paper, we propose an algorithm to remove AWGN in consideration of the noise in the image. The proposed algorithm is used in the filtering process by inferring the standard deviation of the image noise. The noise is removed by dividing the filter for the high frequency component and the filter for the low frequency component compared with the standard deviation of the filtering mask. The proposed algorithm is simulated with the existing methods for evaluation and compared and analyzed by difference image, PSNR and profile. The proposed algorithm minimizes the effect of noise and preserves the important characteristics of the image and shows the performance of efficient noise removal.

• Key Words : AWGN, Gaussian filter, Noise rejection, Standard deviation, PSNR

Received 18 September 2019, Revised 24 September 2019, Accepted 30 September 2019

* Corresponding Author Nam-Ho Kim, Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail:nhk@pknu.ac.kr

I. 서론

4차 산업 혁명은 현대 사회에 다양한 변화를 불러일으켰으며, IoT 기술과 접목하여 수많은 디지털 장비들이 보급되어 데이터 통신을 하고 있다. 하지만 데이터 통신 과정 및 정보를 수집하는 과정에서 잡음이 발생하여 잘못된 정보가 발생하며, 시스템 전체에 영향을 끼쳐 원하지 않은 동작이나 잘못된 출력 등을 야기한다[1-3]. AWGN(additive white gaussian noise)은 대표적인 잡음 중 하나로서, 모든 주파수 대역에서 발생하며, 다양한 분야에서 전처리 과정으로 AWGN을 제거한다. 이를 제거하기 위해 많은 기법들이 제안되었으며, 대표적으로 평균 필터(MF, mean filter)[4], 가우시안 필터(GF, gaussian filter)[5], 공간 가중치 필터(SWF, spatial weighted filter)[6] 등이 있다. 그러나 기존 기법들은 영상에서 화소값의 변화가 많은 고주파 성분이 많은 영역에서 특성이 다소 미흡한 부분이 있다[7-9].

본 논문은 영상에 존재하는 고주파 성분을 효과적으로 보존하며 AWGN을 제거하기 위한 변형된 가우시안 필터 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 영상의 잡음 특성에 따라 임계치를 설정하여 고주파 성분에 강한 필터와 저주파 성분에 강한 필터로 잡음을 제거하였다. 저주파 성분 필터는 필터링 마스크의 표준편차에 따라 가우시안 계수를 적용하여 출력을 구한다. 고주파 성분 필터는 필터링 마스크 내부 화소에 대해 입력 화소를 기준으로 화소값 차이에 따라 가중치를 다르게 설정하였으며, 추정된 잡음의 표준편차와 마스크 내부의 표준편차에 따라 입력화소와 가감하여 출력을 구한다.

II. 제안한 알고리즘

2.1 잡음 측정

제안한 알고리즘은 영상에 존재하는 잡음의 정도를 유추하여 잡음제거과정에 적용한다. 영상에 존재하는 잡음의 표준편차를 구하기 위해 영상을 8×8 크기의 블록으로 분할하여 각 분할된 블록의 화소값들에 대한 표준편차를 계산하여 이를 $S(n)$ 으로 정한다. 그리고 $S(n)$ 의 오름차순 순서로 k 개와 내림차순 순서로 k 개를 제거하여 $S(n)$ 가운데 관계성이 적은 요소를 제거한 $S'(n')$ 을 구한다[10-12].

영상의 잡음 표준편차 σ 는 $S'(n')$ 가운데 영상 자체

의 표준편차를 고려하여 선택되며, 식 (1)과 같이 구한다.

$$\sigma = \text{sort}[S'(a)] \quad (1)$$

식 (1)에서 $\text{sort}[\alpha]$ 는 α 를 오름차순으로 정렬하는 것을 의미하며, a 는 오름차순으로 정렬된 $S'(n')$ 의 원소 번호를 의미하는 상수이다.

2.2 제안한 알고리즘

제안한 알고리즘은 영상의 잡음에 대한 표준편차와 필터링 마스크의 표준편차를 측정하여 출력을 구한다. 이 때, 필터의 출력은 잡음 표준편차와 마스크 표준편차의 관계에 따라 저주파 성분과 강한 출력과 고주파 성분과 강한 출력을 스위칭한다. 저주파 성분의 출력은 마스크의 표준편차에 따라 가우시안 필터 계수를 적용하여 결정되며, 고주파 성분의 출력은 입력 화소에 대해 마스크 내부 화소값의 차이에 따라 가중치를 적용하여 추정치를 구하며, 잡음 표준편차와 마스크 표준편차에 따라 입력 화소값과 가감하여 출력을 구한다.

제안한 필터 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1. 중심 화소 $I_{i,j}$ 를 기준으로 필터링 마스크를 설정한다. 이 때, 필터링 마스크는 마스크의 크기 N 에 따라 $(2N+1) \times (2N+1)$ 의 크기를 가진다. 필터링 마스크 $M_{i,j}$ 는 다음 식과 같이 표현한다[2].

$$M_{i,j}(p, q) = \{I_{i+p, j+q} \mid -N \leq p, q \leq N\} \quad (2)$$

식 (2)에서 p, q 는 마스크 내부 좌표를 의미한다.

Step 2. 마스크 내부의 표준편차를 구하여 i, j 위치의 영상 특성을 파악한다. 마스크 $M_{i,j}$ 의 표준편차 $\sigma_{i,j}$ 는 식 (3)과 같다[13-15].

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{p, q = -N}^N (M_{i,j}(p, q) - \bar{M}_{i,j})^2} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\bar{M}_{i,j}$ 은 $M_{i,j}$ 의 평균을 의미한다.

Step 3. 마스크 표준편차 $\sigma_{i,j}$ 과 영상의 잡음 표준편차 σ 에 임계치 T 배를 적용한 것과 비교하여 영상의 저주파 성분 영역과 고주파 성분 영역을 판별한다.

case 1. $\sigma_{i,j} < T\sigma$ 인 경우

마스킹 표준편차가 잡음 표준편차의 T 배보다 작은 경우, 저주파 성분이라 판단하여 필터링 마스크에 가우시안 계수를 적용하여 출력을 구한다.

가우시안 필터 계수 $G(p,q)$ 는 다음과 같이 구한다.

$$\theta = \log_{10}\sigma \quad (4)$$

$$G(p,q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\theta} e^{-\frac{p^2+q^2}{2\theta^2}} \quad (5)$$

식 (4)에서 θ 는 가우시안 분포의 표준편차를 의미한 데[16]. 저주파 성분에 대한 필터의 출력 $O_{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$O_{i,j} = \sum_{p,q=-N}^N M_{i,j}(p,q) G(p,q) \quad (6)$$

case 2. $\sigma_{i,j} > T\sigma$ 인 경우

마스킹 표준편차가 잡음 표준편차의 T 배보다 큰 경우, 영상의 에지와 같은 고주파 성분이 많다고 판단하여 가중치 마스크를 설정한다. 가중치 마스크는 마스크 내부 화소별로 중심 화소값과의 차이로 결정되며 중심 화소와 유사한 화소일수록 높은 가중치를 가진다. 가중치 마스크 $H_{i,j}$ 는 다음과 같다[8].

$$H_{i,j} = \exp\left[-\frac{(M_{i,j}(p,q) - I_{i,j})^2}{u_{i,j}}\right] \quad (7)$$

$$u_{i,j} = \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{p,q=-N}^N (M_{i,j}(p,q) - I_{i,j})^2 \quad (8)$$

최종 출력은 필터링 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 구한 추정치 $h_{i,j}$ 에 입력 화소 $I_{i,j}$ 를 가감하여 구한다. 입력 화소에 대한 가중치는 영상 잡음의 표준편차와 마스크 표준편차를 고려하여 정해지며, Case 2의 출력 $O_{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$O_{i,j} = h_{i,j} + \frac{\sigma_{i,j} - \sigma}{\sigma_{i,j}} (I_{i,j} - h_{i,j}) \quad (9)$$

$$h_{i,j} = \frac{\sum_{p,q=-N}^N M_{i,j}(p,q) H_{i,j}(p,q)}{\sum_{p,q=-N}^N H_{i,j}(p,q)} \quad (10)$$

식 (9)에서 추정치 $h_{i,j}$ 는 필터링 마스크에 가중치 마스크를 적용하여 얻은 값과 입력 화소값을 비교하여 계산되며, 마스크 표준편차 $\sigma_{i,j}$ 가 높을수록 입력 화소값에 대한 가중치가 높아진다.

III. 시뮬레이션 및 결과

제안한 알고리즘을 평가하기 위해 고주파 성분이 많은 Baboon 영상과 고주파 성분과 저주파 성분의 구분이 뚜렷한 Barbara 영상을 시뮬레이션에 사용하였다. 그림 1은 시뮬레이션에 사용된 Baboon 영상과 Barbara 영상의 원영상과 각 영상에 표준편차가 15인 AWGN을 첨가한 잡음 영상이다.

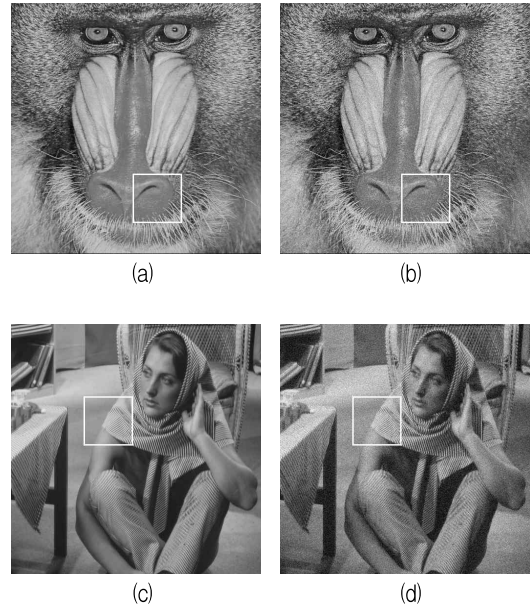


Fig. 1. Simulation image (a) Baboon image (b) Noisy image (Baboon) ($\sigma = 15$) (c) Barbara image (d) Noisy image (Barbara) ($\sigma = 15$)

시뮬레이션 결과를 명확하게 확인하기 위하여 시뮬레이션 결과를 확대하여 비교하였으며, 영상을 확대한

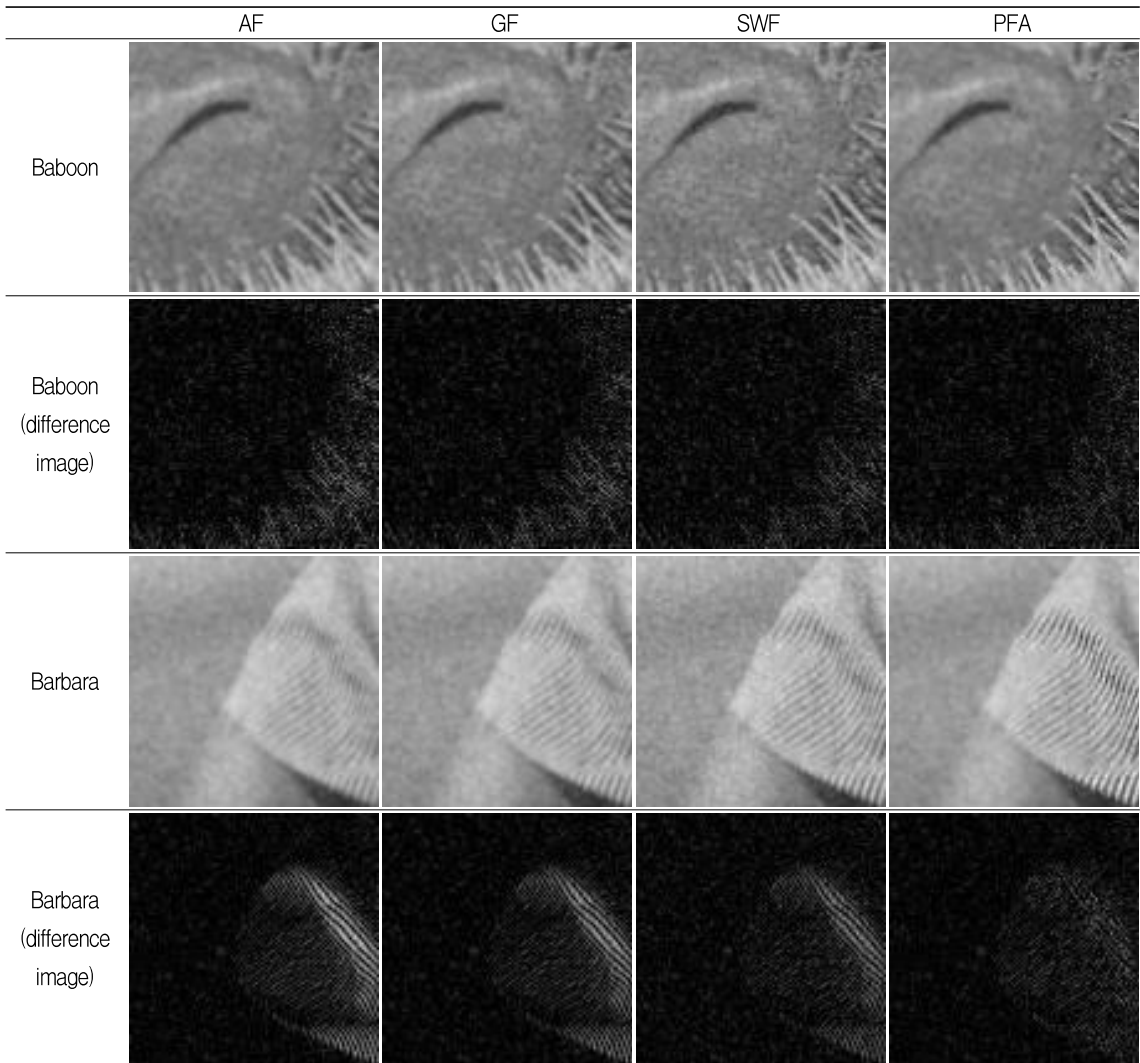


Fig. 2. Simulation result

위치는 그림 1과 같이 Baboon 영상은 (300, 400)의 위치를 기준으로 100×100 크기를, Barbara 영상은 (200, 200) 위치를 기준으로 100×100 크기의 영상을 확대하였다.

그림 2는 Baboon 영상을 기존 필터와 $a=300$, $T=1.5$ 인 제안한 방법으로 시뮬레이션한 결과와, 원 영상을 기준으로 필터링 결과의 화소값 차이에 절대값을 취하여 2배수를 적용한 차영상을 확대한 영상이다.

평균 필터와 가우시안 필터로 처리한 결과 평탄한 부분의 잡음 제거는 우수하였으나, 영상의 경계 및 고주파 성분이 많은 영역에서 다소 미흡한 성능을 나타내며 스무딩 현상이 강하게 일어난 것을 확인할 수 있었다. 특히, Baboon 영상의 수염 및 Barbara 영상의 줄

무늬 부분과 같이 화소값이 잦은 주기로 변하는 부분에서 차영상이 특히 밝은 모습을 나타내었으며, 잡음을 제거하는 과정에서 영향을 크게 받는 모습을 확인할 수 있었다.

공간 가중치 필터로 처리한 결과는 평균 필터와 가우시안 필터로 처리한 결과에 비해 비교적 차영상이 적었으나, 특정 부분에서 두드러지게 나타나는 모습을 보였다.

제안한 방법으로 처리한 결과는 기존 방법들과 비교하여 보다 선명한 영상을 나타내며 스무딩 현상이 적은 모습을 보였으며, 고주파 성분의 잡음 제거를 비롯하여 우수한 결과를 확인할 수 있었다.

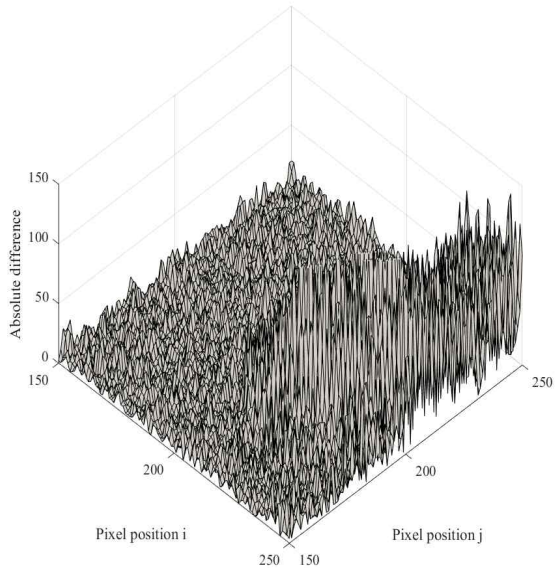
그림 3은 Barbara 영상을 시뮬레이션 결과의 차영상

에서 (200, 200) 위치를 기준으로 100×100 크기로 확대한 3D profile이다.

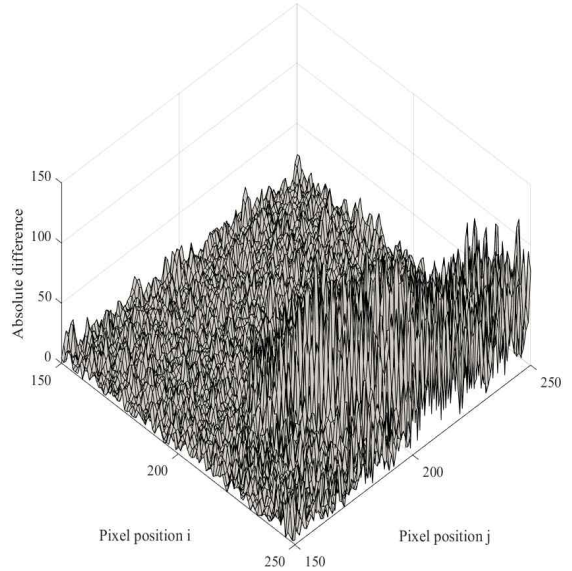
3D profile 결과 기존 방법으로 처리한 결과 영상의 (250, 200) 위치와 같이 고주파 성분이 많은 영역에 대해 차영상이 크게 발생하여 필터링 과정에서 손실이 크게 나타난 것을 볼 수 있었다. 반면 제안한 알고리즘으로 처리한 경우, 고주파 성분에 대한 오차가 비교적 적게 나타났으며, 효과적으로 AWGN을 제거하는

모습을 보였다.

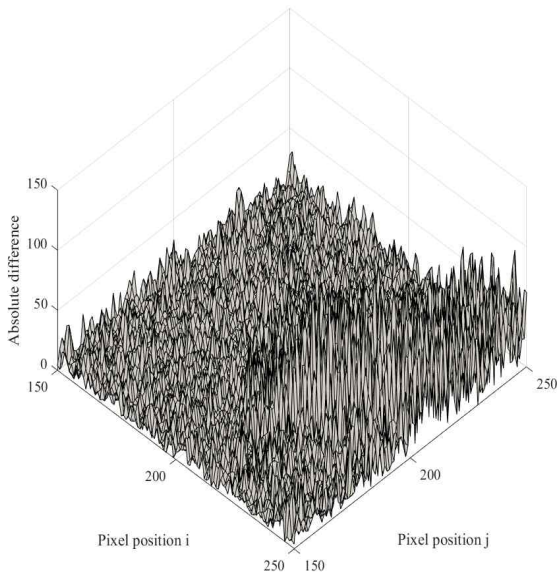
표 1과 2는 기존 방법과 제안한 알고리즘으로 처리한 영상에 대한 PSNR을 비교한 것이다. PSNR 비교 결과, 평균 필터와 가우시안 필터는 고주파 성분이 많은 Baboon 영상에서 다소 미흡한 결과를 보였으며, 특히 잡음의 밀도가 낮은 영상에서 부족한 성능을 나타내었다. 적응 가중치 평균 필터는 평균 필터와 가우시안 필터에 비해 비교적 강한 모습을 보였으나 고주파 성



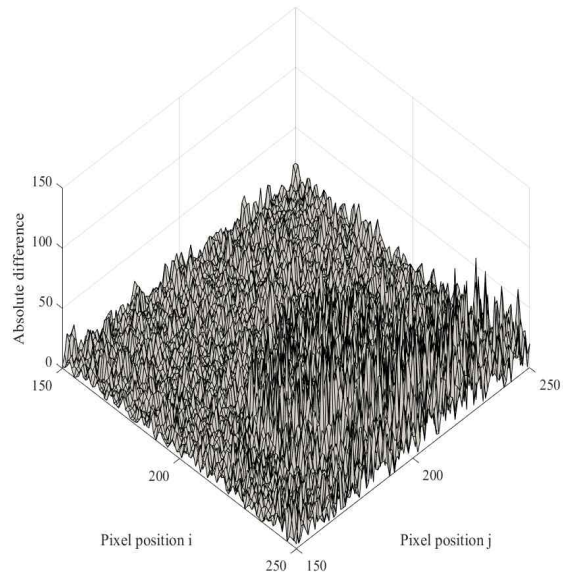
(a) Average filter



(b) Gaussian filter



(c) Spatial weighted filter



(d) Proposed filter algorithm

Fig. 3. 3D error profile of Barbara image

분의 영향을 크게 받으며 다소 미흡한 결과를 나타내었다. 제안한 알고리즘은 AWGN의 변화에 따라 우수한 성능을 보였으며, 영상의 특성 및 잡음의 영향을 최소화하는 결과를 나타내었다.

Table 1. PSNR comparison for simulation (Baboon)

Standard deviation	PSNR of Baboon image [dB]			
	AF	GF	SWF	PFA
5	23.27	24.57	26.12	31.09
10	23.15	24.39	25.76	28.53
15	22.96	24.11	25.22	26.51
20	22.72	23.75	24.57	25.00
25	22.42	23.33	23.85	23.88

Table 2. PSNR comparison for simulation (Barbara)

Standard deviation	PSNR of Barbara image [dB]			
	AF	GF	SWF	PFA
5	25.16	26.51	28.25	35.34
10	24.98	26.23	27.67	31.06
15	24.69	25.81	26.85	28.52
20	24.35	25.31	25.97	26.80
25	23.91	24.72	25.01	25.46

IV. 결론

본 논문은 AWGN 환경에서 영상의 잡음을 유추하여 효과적으로 잡음을 제거하는 변형된 가우시안 필터를 제안하였다. 제안한 알고리즘은 저주파 성분에 강한 필터와 저주파 성분에 강한 필터의 출력을 영상에 존재하는 잡음과, 필터링 마스크 내부의 화소 특성에 따라 가감하여 출력을 구한다.

시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘은 우수한 성능을 보였으며, 차영상 및 PSNR 비교를 통해 기존 방법과 비교하여 고주파 성분의 잡음 제거에 우수한 특성을 가졌음을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 정밀한 잡음 제거가 요구되는 분야에서 효과적으로 사용될 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] H. Y. Deng, Q. X. Zhu, and X. L. Song, "A Nonlinear Diffusion for Salt and Pepper Noise Removal," in 2016 13th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing,

Chengdu : China, 2016, pp. 231-234.

[2] S. I. Kwon, and N. H. Kim, "A Study on Composite Filter using Edge Information of Local Mask in AWGN Environments," Journal of the Korea Institute of Convergence Signal Processing, vol. 17, no. 2, pp. 71~76, Dec. 2016.

[3] M. S. Darus, S. N. Sulaiman, I. S. Isa, Z. Hussain, N. M. Tahir, and N. A. M. Isa, "Modified Hybrid Median Filter for Removal of Low Density Random-Valued Impulse Noise in Images," in 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, Batu Ferringhi : Malaysia, 2016, pp. 528-533.

[4] S. I. Kwon, and N. H. Kim, "A Study on Noise Removal using Modified Edge Detection in AWGN Environments," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 21, no. 7, pp. 1342-1348, Sep. 2017.

[5] X. Long, and N. H. Kim, "A Study on the Spatial Weighted Filter in AWGN Environment," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 17, no. 3, pp. 724-729, Mar. 2013.

[6] D. H. Shin, R. H. Park, S. J. Yang, and J. H. Jung, "Block-based noise estimation using adaptive Gaussian filtering," in 2005 Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas : USA, 2005, pp. 263-264.

[7] M. R. Gu, K. S. Lee, and D. S. Kang, "Image Noise Reduction using Modified Gaussian Filter by Estimated Standard Deviation of Noise," The Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 8, no. 12, pp. 111-117, Dec. 2010.

[8] J. J. Hwang, K. H. Rhee, "Gaussian filtering detection based on features of residuals in image forensics," in 2016 IEEE RIVF International Conference on Computing & Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future, Hanoi : Vietnam, pp. 153-157, 2016.

[9] Y. E. Jim, M. Y. Eom, and Y. S. Choe, "Gaussian Noise Reduction Algorithm using Self-similarity," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea - Signal Processing, vol. 44, no. 5, pp. 500-509, Sep.

- 2007.
- [10] L. Šroba, J. Grman, and R. Ravas, "Impact of Gaussian Noise and Image Filtering to Detected Corner Points Positions Stability," in 2017 11th International Conference on Measurement, Smolenice : Slovakia, pp. 123-126, 2017.
- [11] H. Chen, "A Kind of Effective Method of Removing Compound Noise in Image," in 2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics(CISP-BMEI 2016), Datong : China, pp. 157-161, 2016.
- [12] X. Cui, and L. Dong, "Finding Composition Skyline Based on Standard Deviation," in 2019 IEEE 4th International Conference on Big Data Analytics, Suzhou : China, pp. 360-363, 2019.
- [13] Y. H. Kim, and J. H. Nam, "Statistical algorithm and application for the noise variance estimation," Journal of the Korean Data & Information Science Society, vol. 20, no. 5, pp. 869-878, Sep. 2009.
- [14] A. Amer, and E. Dubois, "Fast and reliable structure-oriented video noise estimation," Journal of IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 15, no. 1, pp. 113-118, Jan. 2005.
- [14] S. Banerjee, A. Bandyopadhyay, A. Mukherjee, A. Das, and R. Bag, "Random Valued Impulse Noise Removal Using Region Based Detection Approach," Journal of Engineering, Technology and Applied Science Research, vol. 7, no. 6, pp. 2288-2292, Dec. 2017.
- [15] Z. Wang, C. A. Bovik, R. H. Sheikh, and P. E. Simoncelli, "Image quality assessment from error visibility to structural similarity," Journal of IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- [16] Y. S. Choi, and R. Krishnapuram, "A robust approach to image enhancement based on fuzzy logic," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 6, pp. 808-825, Jun. 1997.

저자 소개

천 봉 원 (Bong-Won Cheon)



2018년 2월 부경대학교
제어계측공학과(공학사)
2018년 3월~현재 부경대학교 대학원
제어계측공학과 석사과정
관심분야 : 영상처리

김 남 호 (Nam-Ho Kim)



1992년 3월~현재 : 부경대학교
공과대학 제어계측공학과 교수
관심분야 : 영상처리, 통신시스템,
적응필터와 웨이브렛을 이용한
잡음 제거 및 신호 복원