

선형 보간법 및 공간 가중치를 이용한 Salt and Pepper 잡음 제거

권세익 · 김남호*

Salt and Pepper Noise Removal using Linear Interpolation and Spatial Weight value

Se-Ik Kwon · Nam-Ho Kim*

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

요 약

영상 신호처리는 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 영상 데이터는 전송 과정에서 여러 가지 원인으로 열화가 발생된다. 일반적으로 salt and pepper 잡음 환경에 의해 훼손된 영상의 잡음을 제거하는 대표적인 방법에는 CWMF, A-TMF, AWMF 등이 있으며 이 필터들은 고밀도 잡음 환경에서 잡음제거 특성이 다소 부족하다. 따라서 본 논문에서는 중심화소가 비잡음인 경우 원 화소로 대체하고, 잡음인 경우 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하여 선형 보간법을 이용하여 원 화소를 추정하고 추정된 화소에 공간 가중치를 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 salt and pepper 잡음($P=50\%$)에 훼손된 House 영상에서 26.86[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있고, 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF에 비해 각각 16.46[dB], 12.28[dB], 12.32[dB] 개선되었다.

ABSTRACT

Although image signal processing is used in many fields, degradation takes place in the process of transmitting image data by several causes. CWMF, A-TMF, and AWMF are the typical methods to eliminate noises from image data damaged under salt and pepper noise environment. However, those filters are not effective for noise rejection under highly dense noise environment. In this respect, the present study proposed an algorithm to remove in salt and pepper noise. In case the center pixel is determined to be non-noise, it is replaced with original pixel. In case the center pixel is noise, it segments local mask into 4 directions and uses linear interpolation to estimate original pixel. And then it applies spatial weight to the estimated pixel. The proposed algorithm shows a high PSNR of 24.56[dB] for House images that had been damaged of salt and pepper noise($P=50\%$), compared to the existing CWMF, A-TMF and AWMF there were improvements by 16.46[dB], 12.28[dB], and 12.32[dB], respectively.

키워드 : Salt and pepper 잡음, 선형 보간법, 메디안 필터, 잡음 제거

Key word : Salt and pepper noise, Linear interpolation, Median filter, Noise removal

Received 09 March 2016, Revised 15 March 2016, Accepted 24 March 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.2016.20.7.1383>

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 영상장치들에 대한 요구가 갈수록 높아지고 있다. 일반적으로 디지털 영상을 획득, 전송, 처리하는 과정에서 여러 외부 원인에 의해 salt and pepper 잡음이 발생하여 영상 인식을 어렵게 한다. 그러므로 영상분석에 앞서 잡음 제거 과정은 필수적이다[1, 2]. salt and pepper 잡음의 주요 원인으로는 카메라가 오작동, 저장 매체의 메모리에 오류, 채널 전송 에러 등이 있다[3].

Salt and pepper 잡음을 제거하기 위하여 많은 방법들이 제안되었고 대표적인 공간영역 방법에는 CWMF (center weighted median filter), A-TMF (alpha-trimmed mean filter), AWMF(adaptive weighted median filter) 등이 있다. 그러나 이러한 필터들은 고밀도 잡음이 첨가된 경우 잡음 제거 특성이 저하된다[4-8].

따라서 본 논문에서는 영상에 첨가되는 salt and pepper 잡음의 영향을 완화하기 위하여, 잡음 판단을 통해 중심화소가 비잡음인 경우 원 화소로 대체하고, 잡음인 경우 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하고 화소 변화가 가장 작은 방향에 대해 선형 보간법을 이용하여 원 화소를 추정하고 추정된 원 화소에 공간 가중치를 적용하여 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.

II. 기존의 잡음 제거 방법

2.1. CWMF

CWMF는 가중치 필터의 한 형태로 중심 화소에 대해서만 $2K+1$ 의 가중치를 적용하고, 기타 화소에 대해서는 가중치 1을 적용하며 식 (1)과 같다.

$$O_{i,j} = \text{median}\{x_{i+p,j+q} \times 2K \text{ copies of } x_{i,j} | p,q \in W\} \quad (1)$$

여기서, K 는 양의 정수이고, $K=0$ 일 경우 CWMF 필터는 메디안 필터가 되고, 중심 화소의 가중치가 클

경우, 영상의 에지 성분에 대한 보존특성은 우수하지만 잡음제거에는 한계가 발생한다.

2.2. A-TMF

필터링 마스크 x 내의 n 개의 화소를 오름차순으로 정렬하였을 경우 식 (2)와 같다.

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n \quad (2)$$

여기서 x_1 은 최소값을 나타내고 x_n 은 최대값을 나타낸다. 이때 A-TMF는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$O_{i,j} = \frac{1}{n-2[\alpha n]} \sum_{k=[\alpha n]+1}^{n-[\alpha n]} x_k \quad (3)$$

여기서 $[\]$ 는 내림 함수를 나타내고, α 값의 범위는 $0 \leq \alpha \leq 0.5$ 이다. 이에 따라 A-TMF는 변수 α 값에 따라 필터 특성이 변화된다.

2.3. AWMF

AWMF는 마스크의 각 화소와 화소들의 메디안 값과의 차이에 따라 적용 가중치를 부여하며, 식 (4)와 같이 표현된다.

$$f = \frac{1}{\sum_{p=-N}^N \sum_{q=-N}^N 1 + [x_{i+p,j+q} - M]^2} \quad (4)$$

$$w_{i+p,j+q} = \frac{1}{f \times \{1 + [x_{i+p,j+q} - M]^2\}}$$

여기서 M 은 마스크의 메디안 값을 나타내고, f 는 파라메타로 각 화소와 메디안 값의 차에 의해 결정된다.

AWMF의 최종 출력은 식 (5)와 같다.

$$O_{i,j} = \sum_{p=-N}^N \sum_{q=-N}^N x_{i+p,j+q} \times w_{i+p,j+q} \quad (5)$$

AWMF는 저주파 영역에서는 우수한 잡음제거 특성을 나타내지만, 화소값이 급격히 변하는 고주파 영역에서는 잡음제거 특성이 다소 미흡하다.

III. 제안한 잡음 제거 알고리즘

본 논문에서 제안한 salt and pepper 잡음 제거 알고리즘은 잡음 판단을 통해 비잡음 신호는 그대로 보존하고, 잡음 신호에 대해서만 필터 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

3.1. 잡음 판단

Salt and pepper 잡음에 의하여 훼손된 영상에서 i, j 의 위치에 있는 화소 $x_{i,j}$ 는 식 (6)과 같다.

$$x_{i,j} = \begin{cases} N_{SP}, & \text{with probability } P \\ I, & \text{with probability } 1 - P \end{cases} \quad (6)$$

여기서 P 는 잡음 밀도를 나타내며, N_{SP} 은 salt and pepper 잡음에 훼손된 화소값을 나타내고, I 는 원 영상의 화소값을 나타낸다. 8비트 그레이 레벨 영상에서 salt and pepper 잡음 신호의 화소값은 $x_{\min} = 0$ 과 $x_{\max} = 255$ 의 크기를 가진다.

본 논문에서 잡음 판단은 binary 마스크 형태로 표현하며, 식 (7)과 같다.

$$F_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{i,j} = x_{\min} \text{ or } x_{\max} \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 0은 잡음 신호를 나타내고, 1은 비잡음 신호를 나타낸다.

3.2. 잡음 제거

본 논문에서 제안한 알고리즘은 잡음 판단을 거쳐 중심화소가 비잡음인 경우, 원 화소 그대로 보존하고 잡음 신호인 경우, 선형 보간법을 이용하여 중심화소를 추정하고 추정된 중심화소에 공간 가중치를 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 필터링 순서는 다음과 같다.

Step 1. 중심화소가 비잡음 화소인 경우, 식 (8)과 같이 원 화소 그대로 처리한다.

$$O_{i,j} = I \quad (8)$$

Step 2. 중심화소가 salt and pepper 잡음으로 판단된 경우, 그림 1과 같이 3×3 국부 마스크를 설정한다.

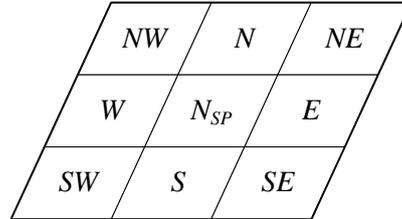


Fig. 1 Local mask

Step 3. 국부 마스크를 식 (9)와 같이 네 방향으로 세분화 한다.

$$\begin{aligned} G_{i,j}^1 &= \{N, C, S\} \\ G_{i,j}^2 &= \{NW, C, SE\} \\ G_{i,j}^3 &= \{W, C, E\} \\ G_{i,j}^4 &= \{SW, C, NE\} \end{aligned} \quad (9)$$

Step 4. 세분화된 네 방향에 대한 내부 인덱스는 식 (10)과 같다.

$$R_{i,j}^k = \{-1, 0, 1\}, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

Step 4. 세분화된 네 방향의 비잡음 요소수에 따라 다음과 같이 처리한다.

Case 1: 비잡음 요소수가 2개 이상 방향이 1개 이상인 경우, 식 (11)을 이용하여 화소 변화가 작은 방향을 구한다.

$$\gamma = \text{index} \left[\text{abs} \left\{ G_{i,j}^d(1) - G_{i,j}^d(3) \right\} \right] \quad (11)$$

여기서, d 는 비잡음 요소수가 2개 이상인 방향을 나타낸다.

선택된 방향에 대해 선형 보간법을 이용하여 식 (12)와 같이 원 화소를 추정한다.

$$P = G_{i,j}^\gamma(1) + \frac{G_{i,j}^\gamma(3) - G_{i,j}^\gamma(1)}{R_{i,j}^\gamma(3) - R_{i,j}^\gamma(1)} (R - R_{i,j}^\gamma(1)) \quad (12)$$

여기서, γ 는 세분화된 네 방향에서 비잡음 요소수가 2개 이상이며, 화소 변화가 가장 적은 방향을 나타낸다.

추정된 원 화소 P 를 국부 마스크의 중심화소로 대치하고 비잡음 화소들에 대한 공간 가중치를 이용하여 최종 출력을 식 (13)과 같이 구한다.

$$O_{i,j} = \frac{\sum_{p,q \in \psi} W_{p,q} \times F_{i+p,j+q} \times \psi_{i+p,j+q}}{\sum_{p,q \in \psi} W_{p,q} \times F_{i+p,j+q}} \quad (13)$$

여기서, W 는 가중치 마스크를 나타내며, 식 (14)와 같다.

$$W_{p,q} = e^{-\alpha(p^2+q^2)} \quad (14)$$

Case 2: 비잡음 요소수가 2개 이상 방향이 하나도 없는 경우, 국부 마스크 내의 salt and pepper 잡음에 훼손되지 않은 화소의 요소수 Ω , 그 요소수를 t 라 정의하고 메디안 필터링한다.

t 가 홀수인 경우, Ω 의 요소들을 오름차순으로 정렬한 후 메디안 값을 구하며 식 (15)와 같다.

$$Med = median\{\Omega\} \quad (15)$$

k 가 짝수인 경우, Ω 의 요소들을 오름차순으로 정렬한 후 메디안을 구하기 위해 식 (16)과 같이 구한다.

$$Med = \frac{1}{2} \{\Omega(t/2) + \Omega(t/2+1)\} \quad (16)$$

추정된 화소를 국부 마스크의 중심화소에 대치하고 식 (13)과 같이 처리한다.

Case 3: 국부 마스크의 모든 화소가 잡음인 경우, 이미 처리된 최종 출력을 이용하여 구하며 식 (17)과 같다.

$$O_{i,j} = \frac{1}{4} (O_{i-1,j-1} + O_{i-1,j} + O_{i-1,j+1} + O_{i,j-1}) \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 512×512 크기의 8비트 그레이 레벨의 House 영상에 대해 salt and pepper 잡음을 첨가하여 시뮬레이션하였으며, 또한 영상의 개선 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 사용하여 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF로 성능을 비교하였다. PSNR은 식 (18), (19)와 같이 표현된다.

$$MSE = \frac{\sum_{i,j} (I_{i,j} - O_{i,j})^2}{R \times C} \quad (18)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (19)$$

여기서, $I_{i,j}$ 는 원 영상을 나타내고 $O_{i,j}$ 는 출력 영상이며 R, C 는 영상의 가로, 세로 크기를 나타낸다.

그림 2는 House 영상에 대한 원 영상과 잡음 영상을 나타낸 것이다.

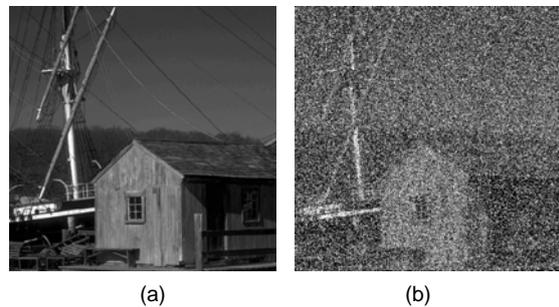
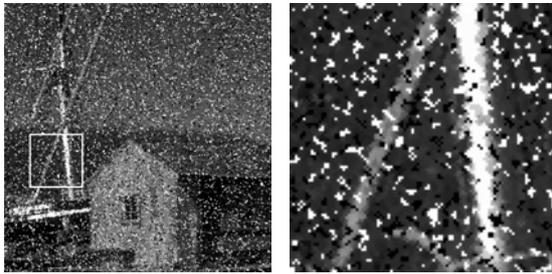


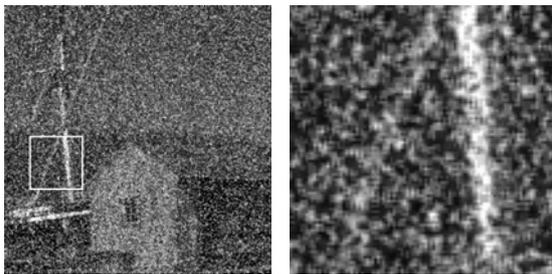
Fig. 2 House image (a) Original image (b) Noise image

그림 2에서 (a)는 원 영상이고, (b)는 salt and pepper 잡음($P=50\%$)에 훼손된 영상이다.

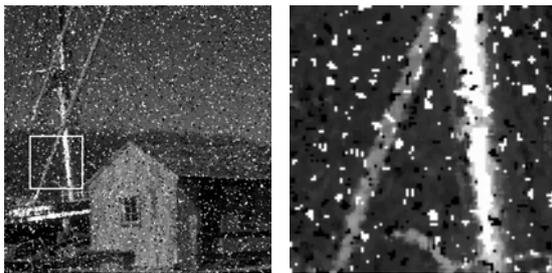
그림 3은 제안한 알고리즘의 잡음 제거 특성을 확인하기 위해, 기존의 방법들과 제안한 필터 알고리즘(PFA: proposed filter algorithm)으로 처리한 결과 및 House 영상에서 (300, 100) 화소를 중심으로 상하좌우 각각 50화소 영역에 대한 확대한 영상을 나타낸 것이다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3 Simulation result of House image (a) CWMF (b) A-TMF (c) AWMF (d) PFA

그림 3에서 (a)는 CWMF(3×3), (b)는 A-TMF(3×3), (c)는 AWMF(3×3), (d)는 제안한 필터 알고리즘으로 처리한 결과이다.

시뮬레이션 결과로부터, CWMF, A-TMF 및 AWMF 는 고밀도 잡음 환경에서 다소 미흡한 잡음 제거 특성을 나타내고 있으며, 제안한 알고리즘은 고밀도 잡음 환경에서 우수한 잡음 제거 특성을 나타내었다.

그림 4는 각각의 필터들에 의해 복원된 House 영상에 대한 PSNR을 비교한 것이다. 그 수치를 표 1에 나타내었다.

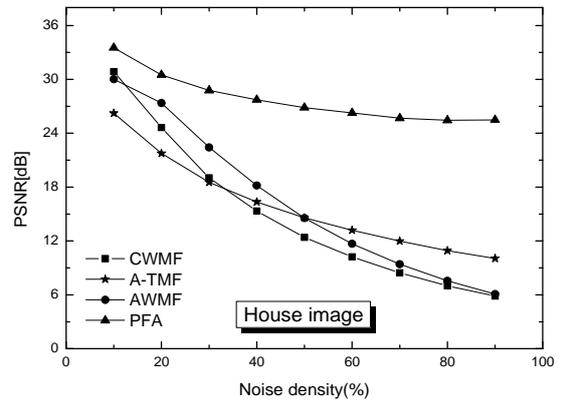


Fig. 4 PSNR graph for House image

Table. 1 Each PSNR comparison for House image

Noise density	House			
	CWMF	A-TMF	AWMF	PFA
10%	30.86[dB]	26.23[dB]	30.02[dB]	33.53[dB]
20%	24.63[dB]	21.76[dB]	27.37[dB]	30.50[dB]
30%	19.04[dB]	18.53[dB]	22.42[dB]	28.77[dB]
40%	15.33[dB]	16.35[dB]	18.18[dB]	27.73[dB]
50%	12.40[dB]	14.58[dB]	14.54[dB]	26.86[dB]
60%	10.23[dB]	13.19[dB]	11.69[dB]	26.26[dB]
70%	8.45[dB]	11.98[dB]	9.42[dB]	25.68[dB]
80%	7.01[dB]	10.92[dB]	7.56[dB]	25.45[dB]
90%	5.86[dB]	10.05[dB]	6.09[dB]	25.44[dB]

그림 4에서 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 훼손된 영상에 선형 보간법 및 공간 가중치를 적용하여 처리한 결과 잡음 밀도가 낮은 영역 및 높은 영역에서도 우수한 PSNR을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문은 salt and pepper 잡음 환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여 잡음 판단을 거친 후, 중심화소가 비잡음인 경우 원 화소로 대체하고, 잡음인 경우 국부 마스크를 네 방향으로 세분화하고 화소 변화가 가장 작은 방향에 대해 선형 보간법을 이용하여 원 화소를 추정하고 추정된 원 화소에 공간 가중치를 적용하여 처리하는 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, Salt and pepper 잡음($P=50\%$)의 고밀도 잡음에 훼손된 House 영상에서 제안한 알고리즘은 기존의 CWMF, A-TMF, AWMF에 비해 각각 16.46[dB], 12.28[dB], 12.32[dB] 개선되었다. 따라서 제안한 알고리즘은 salt and pepper 잡음의 영향을 완화시켜 운용되고 있는 영상처리 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] Jung-Hua Wang and Lian-Da Lin, "Improved median filter using min-max algorithm for image processing," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 16, pp. 0146+0152, October 2005.
- [4] Xu Long and Nam-Ho Kim, "A Study on the Spatial Weighted Filter in AWGN Environment," *JICCE*, vol. 17, no.3, pp.724-729, Mar. 2013.
- [5] Se-Ik Kwon and Nam-Ho Kim, "A Study on Modified Spatial Weighted Filter in Mixed Noise Environments," *JICCE*, vol. 19, no.1, pp.237-243, Jan. 2015.
- [6] Öten, Remzi and De Figueiredo, Rlui J P, "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] Xu Long and Nam-Ho Kim, "An Improved Weighted Filter for AWGN Removal," *JKIICE*, vol. 17, no. 5, pp. 1227-1232, May 2013.
- [8] Jiahui Wang and Jingxing 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.



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