임펄스 잡음 제거를 위한 개선된 적응 메디안 필터

Xu Long* · 김남호**

An Improved Adaptive Median Filter for Impulse Noise Removal

Xu Long* · Nam-Ho Kim**

요 약

영상전송 등의 과정에서 임펄스 잡음에 의한 영상의 열화가 발생하며, 이러한 잡음을 제거하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재 대표적인 임펄스 잡음제거 방법에는 SM 필터(Standard Median Filter)가 있지만, SM 필터는 임펄스 잡음 밀도가 커짐에 따라 에지 영역에 오류를 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 영상의 에지를 보존하기 위해 또한 영상의 왜곡을 줄이기 위해 변형된 적응 메디안 필터 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘은 여러 영역에서 모두 우수한 결과를 나타내었고, 평가기준으로 PSNR을 사용하였다.

ABSTRACT

Image degradation caused by the impulse noise is generated in the process of image transmission and so on. It has been studied by many researchers in order to remove these noise. The representative impulse noise removal method includes SM filter. Though SM filter will indicate errors by the increasing of impulse noise density. Therefore, in this paper, in order to preserve the edges of the image, and reduce the distortion of the image, an improved adaptive median filter algorithm is proposed. In the simulation results, the algorithm showed excellent results in all several areas, and the PSNR is used as the criterion of evaluation.

키워드

임펄스 잡음, 에지보존, 왜곡, 변형된 필터

Key word

Impulse noise, Edge preserve, Distortion, Improved filter

* 준회원 : 부경대학교 제어계측공학과

** 종신회원 : 부경대학교 제어계측공학과(교신저자, nhk@pknu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 12. 12

심사완료일자 : 2013. 01. 23

I. 서 론

최근 IT기술의 발전에 따라 디스플레이 등 영상장치들에 대한 요구가 갈수록 높아지고 있다. 일반적으로 영상은 전송과정에서 여러 원인으로 열화가 발생하며, 그 주요한 원인은 임펄스 잡음과 AWGN에 의한 것이다[1].

임펄스 잡음을 제거함에 있어서 일반적으로 사용하는 필터는 표준 메디안 필터(Standard Median Filter, SMF)가 있으며, 표준 메디안 필터는 필터링 마스크가 정해짐에 따라 임펄스 잡음 밀도가 높은 영역에서 잡음 제거 능력이 미흡해지고 에지성분에서 오류를 발생한다[2-3].

임펄스 잡음을 제거하는 동시에 에지를 보존하기 위한 여러 가지 변형된 메디안 필터 기법들은 가중치 메디안 필터(Weighted Median Filter, WMF), 중간 가중치 메디안 필터(Center Weighted Median Filter, CWMF), 스위칭 메디안 필터(Switch Median Filter), 적응 메디안 필터(Adaptive Median Filter) 등이 있다[4-7]. 중간 가중치 메디안 필터는 임펄스 잡음에서 중심화소가 잡음일 경우 잡음 제거 능력이 미흡하고, 적응 메디안 필터는 필터링 마스크의 크기를 변화시켜 우수한 잡음 제거 특성을 가지지만 잡음 밀도가 큰 경우, 잡음제거 특성이 다소 미흡해진다.

따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 변형된 적응 메디안 필터 알고리즘을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

II. 잡음모델

영상은 획득, 전송, 저장하는 과정에서 여러 가지 원인에 의해 잡음에 열화되며, 잡음에 의해 열화된 영상은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$O(i,j) = H[X(i,j)] + n(i,j) \quad (1)$$

여기서, X 는 입력되는 영상이고, H 는 열화 함수이며, n 은 잡음을 의미한다. 만약 H 가 선형이고 위치 불변 과정이면 식 (2)와 같이 표현된다.

$$O(i,j) = H(i,j) * X(i,j) + n(i,j) \quad (2)$$

여기서 $H(i,j)$ 는 열화함수의 공간적 표현이며 "*"는 공간영역에서의 컨볼루션을 나타낸다. 부가열화 잡음들은 다양하지만, 임펄스 잡음이 대표적이다. 임펄스 잡음의 확률 밀도 함수는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$P(z) = \begin{cases} P_a & \text{for } z=a \\ P_b & \text{for } z=b \\ 0 & \text{for otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)으로부터, z 는 확률변수로서 랜덤 수 생성기에 의해 생성된 값이며, a , b 는 임의의 밝은 명암값($a=255$)과 어두운 명암값($b=0$)을 나타내고, P_a , P_b 는 이에 대한 확률을 각각 나타낸다.

만일 P_a 또는 P_b 가 0이면, 임펄스 잡음은 단 극성 임펄스 잡음이 되고 모두 0이 아니면 영상에 흑백점이 섞인 Salt-Pepper 잡음이 된다.

III. 기존 적응 메디안 필터

적응 메디안 필터는 잡음 밀도에 따라 필터링 마스크의 크기를 변화 시키며, 잡음신호에 대해서는 필터 처리를 하고, 비 잡음 신호는 원 신호 그대로 출력한다[4].

적응 메디안 필터 마스크는 주로 그림 1과 같은 대칭성을 고려하는 3×3 , 5×5 , 7×7 의 마스크를 적용한다.

그림 1. 적응 메디안 필터 마스크
Fig. 1 Adaptive median filter mask

화소 (i,j) 를 중심으로 한 필터링 마스크는 Ω 로 나타내고, Ω_{max} 는 Ω 에서 허용되는 최대 마스크 크기를 나타내고, f_{med} , f_{min} , f_{max} 는 각각 Ω 에서 최소 명암 값,

최대 명암 값, 중간 명암도 값을 나타낸다. 마스크 Ω 와 $f_{med}, f_{min}, f_{max}$ 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$f_{med} = Med\{f(i+s, j+t) | s, t \in \Omega\} \quad (4)$$

$$f_{max} = Max\{f(i+s, j+t) | s, t \in \Omega\}$$

$$f_{min} = Min\{f(i+s, j+t) | s, t \in \Omega\}$$

$$\Omega = (s, t) | -N \leq s \leq +N, -N \leq t \leq +N$$

식 (4)에서 마스크의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이고, (s, t) 는 처리 마스크 내부 좌표이다.

기존 적응 메디안 필터 알고리즘은 다음과 같다. 마스크 Ω 에서 메디안 값이 $(f_{min} < f_{med} < f_{max})$ 일 경우, 중심화소 $f(i, j)$ 값이 $(f_{min} < f(i, j) < f_{max})$ 이면 $f(i, j)$ 를 출력 화소로 하고, 그렇지 않으면 f_{med} 를 출력 화소로 한다. 그리고 $(f_{min} = f_{med} \text{ or } f_{med} = f_{max})$ 일 경우, 마스크의 Ω 의 크기를 증가시키고 메디안 값을 구하며, $(\Omega = \Omega_{max})$ 를 만족할 경우, $(f_{min} < f_{med} < f_{max})$ 이면 f_{med} 를 출력 화소로 하고, 아니면 $f(i, j)$ 를 출력 화소로 한다.

잡음제거에서 필터링 마스크의 크기는 작을수록 예지보존 성능이 우수하고, 영상의 세부적인 특징을 상세하게 반영한다. 그러나 기존 적응 메디안 필터는 그림 1과 같은 $(2N+1) \times (2N+1)$ 의 마스크를 사용하므로 예지보존 성능이 다소 미흡하다. 그리고 필터링 마스크 크기가 최대치인 경우, 메디안 값이 잡음이면 원 화소를 그대로 출력한다. 따라서 기존의 방법은 일부 잡음 신호가 출력 화소로 될 수 있으며, 잡음제거 특성이 미흡해진다.

IV. 개선된 적응 메디안 필터

기존 적응 메디안 필터의 단점을 보완하기 위해 적응 마스크 모양 및 영역 세분화를 한 후, 변형된 스위칭 메디안 필터로 처리하는 적응 메디안 필터 알고리즘을 제안하였다.

적용한 세부마스크들은 그림 2와 같으며, 식 (5), (6), (7)과 같이 표현된다.

mask 1:

$$\Omega_k^w = k\{f_1(i, j+x) | -w \leq x \leq +w, \quad (5)$$

$$f_2(i+x, j) | -w \leq x \leq +w\}$$

식(5)에서 w 는 마스크 number를 나타내고, k 는 화소들의 집합을 나타내며, f_1, f_2 는 각각 수평, 수직방향의 화소를 나타낸다.

그림 2. 개선된 필터링 마스크
Fig. 2 Improved filtering mask

mask 2, 4, 6:

$$\Omega_k^w = k\{f(i \pm x, j \pm x) | -\frac{w}{2} \leq x \leq +\frac{w}{2}\} \quad (6)$$

식(6)에서 f 는 화소 (i, j) 를 중심으로 한 $(w+1) \times (w+1)$ 의 마스크 화소를 나타낸다.

mask 3, 5:

$$\Omega_k^w = k\{f_1(i, j+x) | -\frac{w-1}{2} \leq x \leq +\frac{w-1}{2}, \quad (7)$$

$$f_2(i+x, j) | -\frac{w-1}{2} \leq x \leq +\frac{w-1}{2},$$

$$f_3(i-x, j-x) | -\frac{w-1}{2} \leq x \leq +\frac{w-1}{2},$$

$$f_4(i+x, j-x) | -\frac{w-1}{2} \leq x \leq +\frac{w-1}{2}\}$$

식(7)에서 f_1, f_2, f_3, f_4 는 각각 수평, 수직, 45° , 135° 방향의 화소를 나타낸다.

영상으로부터 잡음을 선택적으로 분리하기 위해 먼저 화소 (i, j) 를 중심으로 식 (8)과 같이 매디안 값, 두 임계값을 구한다.

$$f_{med} = Median\{k_{f(i,j)} | i, j \in \Omega_k^w\} \quad (8)$$

$$f_{max} = Maximum\{k_{f(i,j)} | i, j \in \Omega_k^w\}$$

$$f_{min} = Minimum\{k_{f(i,j)} | i, j \in \Omega_k^w\}$$

식 (8)에서 $k_{f(i,j)}$ 는 화소 (i, j) 를 중심으로 한 화소집합을 나타내고, 매디안 값 f_{med} 와 임계값 f_{max}, f_{min} 을 기반으로 잡음 분리는 식 (9)와 같이 표현된다.

$$a(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{if } f_{min} < f_{i,j} < f_{max} \text{ and} \\ & f_{min} < f_{med} < f_{max} \\ 1, & \text{if } 0 = f_{i,j} \text{ or } f_{i,j} = 255 \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)에서 $a(i, j)$ 는 잡음을 표시하는 **binary mark**를 나타내고, 0은 비 잡음 신호를 나타내며, 1은 잡음 신호를 나타낸다.

잡음제거 각 단계는 식 (10)과 같이 표현된다.

$$O(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & \text{if } a(i, j) = 0 \\ f_{med}^w, & \text{if } a(i, j) = 1 \mid w = 1 \\ f_{med}^{w+1}, & \text{if } f_{med}^w = 0 \text{ or } f_{med}^w = 255 \\ f_{odd||even}, & \text{if } w+1=6 \text{ and} \\ & f_{med}^{w=6} = 0 \text{ or } f_{med}^{w=6} = 255 \end{cases} \quad (10)$$

입력 신호가 임펄스 잡음이 아니면, 입력신호를 그대로 출력하고, 임펄스 잡음이면 식 (10)의 2단계부터 처리한다.

식 (10)에서 $O(i, j)$ 는 마스크의 최종 출력화소를 나타내고, $f_{odd||even}$ 는 필터링 마스크 크기 $w=6$ 인 경우, 마스크 내의 잡음 화소들을 제거하고, 나머지 화소가운데서 매디안 값을 구하여 최종 출력화소로 한다. 나머지 화소들의 갯수는 홀수와 짝수의 형태를 갖게 되며, 홀수인 경우, 매디안 값을 출력화소로 하고, 짝수인 경

우, 중간에 두 화소의 평균값을 출력화소로 한다. $f_{odd||even}$ 는 식 (11), (12)와 같이 표현된다.

$$f_{odd} = Med\{R_{i,j} | i, j \in \Omega^{w6}\} \quad (11)$$

$$f_{even} = (Med_L\{R_{i,j} | i, j \in \Omega^{w6}\} + Med_R\{R_{i,j} | i, j \in \Omega^{w6}\})/2 \quad (12)$$

식 (11), (12)에서 R 은 마스크 Ω^{w6} 에서 임펄스 잡음 화소를 제거한 후의 화소들의 집합을 나타내고, Med_L 는 집합 R 의 화소가 짝수인 경우, 좌측 매디안 값을 나타내고, Med_R 은 우측 매디안 값을 나타낸다.

제안한 알고리즘의 순서도는 그림 (3)과 같다.

그림 3. 제안한 알고리즘의 순서도
Fig. 3 Flow chart of proposed algorithm

V. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘의 잡음제거 성능을 평가하기 위해, 512×512 크기의 8 비트 그레이 영상 Boat와 Goldhill에 대해 10%~90%의 임펄스 노이즈를 첨가한 후, 그 결과를 시뮬레이션 하였다. 또한 영상이 개선된 정도를 평가하기 위하여 PSNR을 기준으로 하였다.

그림 4와 그림 5는 Boat 영상과 Goldhill 영상에 대한 시뮬레이션 결과이고, SM(3×3) 필터, SM(5×5) 필터,

적응 메디안 필터와 비교하였다. 그림 4와 그림 5에서 (a)는 원 영상 이고, (b)는 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상 ($P=70\%$)이며, (c), (d)는 SM(3×3) 필터, SM(5×5) 필터로 처리한 결과이다. (e), (f)는 적응 메디안 필터 및 제안된 방법으로 처리한 결과이다.

시뮬레이션 결과로부터, 기존의 SM(3×3) 필터, SM(5×5) 필터 알고리즘으로 처리한 영상은 마스크의 크기가 제한되어 있어 잡음 제거능력이 한계를 가지게 되며, 잡음 밀도가 낮은 영역에서는 우수한 잡음 제거 특성을 나타내지만 잡음 밀도가 높은 영역에서는 시각적으

그림 4. Boat 영상에 대한 시뮬레이션 결과
(a) 원 영상 (b) 잡음 영상 (c) SM(3×3)
(d) SM(5×5) (e) 적응 메디안 (f) 제안된 방법
Fig. 4 Simulation result of Boat image
(a) Original image (b) Noise image (c) SM(3×3)
(d) SM(5×5) (e) Adaptive median
(f) Proposed method

그림 5. Goldhill 영상에 대한 시뮬레이션 결과
(a) 원 영상 (b) 잡음 영상 (c) SM(3×3)
(d) SM(5×5) (e) 적응 메디안 (f) 제안된 방법
Fig. 5 Simulation result of Goldhill image
(a) Original image (b) Noise image (c) SM(3×3)
(d) SM(5×5) (e) Adaptive median
(f) Proposed method

로 오류를 나타내고 에지 보존 능력이 미흡해진다. 적응 메디안 필터로 처리한 영상은 잡음 밀도에 따라 마스크 크기가 변화되어, 기존 $SM(3 \times 3)$ 필터, $SM(5 \times 5)$ 필터에 비해 훨씬 우수한 잡음제거 특성을 나타냈으나 알고리즘 제한성으로 인하여, 잡음 밀도가 70% 이상에서는 잡음 제거 특성이 낮아지고, 에지보존 특성이 미흡해진다. 그러나 제안한 알고리즘은 잡음 밀도가 70% 이상일 경우 아주 우수한 잡음 제거 특성을 나타내었고, 에지 보존 특성도 아주 우수하였다.

그림 6. Boat 및 Goldhill 영상의 PSNR 그래프
(a) Boat 영상 (b) Goldhill 영상
Fig. 6 PSNR graphs for Boat and Goldhill image
(a) Boat image (b) Goldhill image

그림 6은 각 필터들에 의해 복원된 영상에 대한 PSNR을 비교한 것이다. 그 결과로부터 기존의 방법들은 잡음 밀도가 높은 영역에서 그 성능이 급격히 저하되었으나 제안한 방법은 기존의 방법들보다 모든 영역에서 우수한 결과를 나타내었다.

표 1과 표 2는 Boat 영상과 Goldhill 영상에서 임펄스 잡음 밀도 변화에 따른 기존의 필터들과 제안한 필터 알고리즘으로 처리 전후의 PSNR을 나타낸 것이다.

표 1. Boat 영상에 대한 각 잡음제거 방법의 PSNR
Table. 1 PSNR obtained by different denoising methods applied on Boat image

Noise density	PSNR[dB]			
	SM(3×3)	SM(5×5)	Adaptive median	Proposed method
60%	12.34	18.55	24.43	25.90
70%	10.01	14.10	20.74	24.55
80%	8.12	10.38	15.47	21.41
90%	6.66	7.54	10.27	18.45

표 2. Goldhill 영상에 대한 각 잡음제거 방법의 PSNR
Table. 2 PSNR obtained by different denoising methods applied on Goldhill image

Noise density	PSNR[dB]			
	SM(3×3)	SM(5×5)	Adaptive median	Proposed method
60%	12.26	18.84	26.17	27.82
70%	9.97	14.24	22.32	26.44
80%	8.04	10.37	16.69	24.19
90%	6.56	7.47	11.29	20.35

VI. 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음제거를 위한 변형된 적응 메디안 필터 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션 결과, 제안한 방법은 잡음 밀도가 80%인 경우, 영상 Boat와 영상 Goldhill에서 각각 21.41[dB], 24.19[dB]의 높은 PSNR을 보이고 있고, Boat영상에서 기존의 방법들 보다 각각 13.29[dB], 11.03[dB], 5.94 [dB], Goldhill영상에서 16.15[dB], 13.82[dB], 7.50[dB]의 개선 특성을 나타내었다.

제안한 알고리즘은 임펄스 잡음 환경에서 잡음제거 성능에서 기존의 방법들보다 높은 PSNR을 나타내었고, 기존의 방법들 보다 우수한 결과를 나타내었다. 따

라서 제안한 알고리즘은 임펄스 잡음을 제거하여 영상을 복원하는 영상시스템에 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Eds., Digital Image Processing, Prentice Hall, 2007.
- [2] M. Juneja and P. S. Sandhu, "Design and Development of an Improved Adaptive Median Filtering Method for Impulse Noise Detection", *IEEE International of Computer and Electrical Engineering*, vol. 1, pp. 627-630. Dec. 009.
- [3] Liu Ying-hui, Gao kun and Ni Guo-qiang, "An Improved Trilateral Filter for Gaussian and Impulse Noise Removal", *IEEE and International Conference on Industrial Mechatronics and Automation*. pp. 385-388. 2010.
- [4] T. Chen and H. Wu, "Adaptive Impulse Detection using Center-Weighted Median Filters", *IEEE Letters Signal Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 1-3, Jan. 2001.
- [5] X. Y. Xu, D. B. Chen and M. Sarhadi, "Adaptive Two-Pass Rank Order Filter to Remove Impulse Noise in Highly Corrupted Images", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 238-247, Feb. 2004.
- [6] Wei Baoguo, "Improved Adaptive Median Filtering", *Journal of Computer Applications*, vol 28, no. 7, pp. 1732-1734, July 2008.
- [7] H. L. Eng, K. K. Ma, "Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter", *IEEE Trans. Image Processing*, vol 10, no. 2, pp. 242-251, Feb. 2001.

저자소개

Xu Long(Xu Long)

2012년 6월 Harbin Engineering University 졸업

2012년 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 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호복원