임펄스 잡음제거를 위한 변형된 비선형 필터

Gao Yinyu* · 김남호**

The Modified Nonlinear Filter to Remove Impulse Noise

Gao Yinyu* · Nam-Ho Kim**

요 약

영상 신호처리 시스템의 전송 과정에서 여러 가지 원인으로 영상의 열화가 발생하고 있으며 열화의 주된 원인은 잡음에 의한 것으로 알려져 있다. 임펄스 잡음환경에 의해 훼손된 영상의 잡음을 제거하는 대표적인 방법은 SM(standard median filter)가 많이 사용되고 있으며 이 필터는 영상의 에지영역에서 특성이 저하되는 경향이 있다. 따라서 본 논문에서는 비임펄스 신호를 스무딩시키면서 에지를 보존하는 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 그 성능을 비교한 결과 영상의 개선 정도를 나타내는 PSNR(peak signal to noise ratio)의 수치가 기존의 방법들보다 우수하였으며, 에지보존특성도 우수하였다. 본 논문에서 제안한 비선형 필터는 영상의 임펄스 잡음제거에 유용하게 응용될 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In the transmitting process of image signal processing system, there are several different causes of degradation that have been occurring. The main cause of degradation is attributed to the noise. The most representative method of removing noise of image, which is caused by impulse noise environment, is using the SM(standard median filter). At edge, the filter has a special feature which has a tendency to decrease. As a result, we proposed a nonlinear filter that restores the image considering edge quality in the impulse noise environment. And through the simulation, we compared with the many of the conventional algorithms and the value of the PSNR(peak signal to noise ratio) is better than them and preserve the edge very well. So the nonlinear filter that proposed in this paper is expected to help improve restoring the images that in impulse noise environment.

키워드

비선형 필터, 임펄스 잡음, 열화, 마스크

Key word

Nonlinear Filter, Impulse Noise, Edge, Mask

* 준회원 : 부경대학교 제어계측공학과

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

접수일자 : 2011. 01. 03

심사완료일자 : 2011. 02. 01

I. 서 론

영상을 정보전달의 수단으로 사용하기 위한 관련된 기술들이 급속히 발전함에 따라, 정보신호를 획득 또는 전송과정에서 다양한 원인에 의해 발생하는 잡음으로 인한 영상에 대한 열화는 영상처리 분야에서 해결 되어야 할 중요한 문제이다. 열화를 발생시키는 잡음은 발생 원인과 형태에 따라 다양한 종류가 있으나, 대표적인 잡음에는 AWGN(additive white gaussian noise)과 임펄스 잡음(impulse noise) 등이 있다.

임펄스 잡음은 dynamic range의 최대 또는 최소값의 크기로 발생되며, 임펄스 잡음을 제거하기 위해 가장 잘 알려진 필터로는 SM(standard median) 필터이며 또한 가장 많이 사용되고 있으며, 이를 응용한 CWM(center weighted median) 필터, Min-max 필터 등이 고안되었다. 이러한 필터들은 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하지만, 영상의 에지영역에서 특성이 다소 저하되는 경향이 있다.

따라서 본 논문에서는 salt & pepper 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 잡음제거 성능의 우수성을 입증하기 위해, PSNR(peak signal to noise ratio)를 이용하여 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

II. 기존의 방법들

2.1. Standard median filter

SM 필터는 잡음 영상으로부터 임펄스 잡음제거에 가장 대표적인 비선형 필터로서, 간단한 알고리즘으로 우수한 잡음제거 성능을 가진다. SM 필터는 처리화소와 주변 화소로부터 추정된 화소값을 선택하며 잡음제거를 위한 처리 마스크 W 는 식 (1)과 같이 표현된다[1].

$$W = \{(s, t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이 마스크의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이고, (s, t) 는 처리 마스크 내부의 좌표이며, 이때 SM 필터는 화소들을 왼쪽으로 가면서 크기가 작은 화소들부터 정렬시킨 후, 그중에서 중간값을 선택

한다.

$$Y(i, j) = \text{med}\{X(i+s, j+t) | (s, t) \in W\} \quad (2)$$

여기서 $X(i, j)$ 는 입력영상의 화소값이며, $Y(i, j)$ 는 출력 화소값이다. 또한 $\text{med}\{\cdot\}$ 는 중앙값 선택 연산자를 나타낸다[1].

2.2. Center weighted median filter

WM 필터는 필터링 마스크 W 의 중앙 화소값에 가중치를 인가하여 처리하는 방법으로서, 다음의 식 (3)과 같이 표현된다[2].

$$Y(i, j) = \text{med}\{M(s, t) \text{ copies of } X(i+s, j+t) | (s, t) \in W\} \quad (3)$$

WM 필터는 각 화소의 값 $X(i+s, j+t)$ 를 가중치 $M(s, t)$ 만큼 생성한 후, SM 필터와 마찬가지로 가중치를 주고 정렬시킨 화소값들 가운데서 중앙값을 선택한다.

그리고 이러한 WM 필터의 특수한 경우로서, 다음의 식 (4)와 같이, 중앙화소에 대해서만 가중치를 적용하고, 주변 화소에 대해서는 $M(s, t) = 1$ 을 적용한 필터를 CWM 필터라 한다[2].

$$Y(i, j) = \text{med}\{X(i+s, j+t), 2K \text{ copies of } X(i, j) | (s, t) \in W\} \quad (4)$$

여기서, K 는 양의 정수이며, $K=0$ 일 경우 CWM 필터는 SM 필터가 되고, 마스크 내의 총 화소수 보다 가중치 $2K+1$ 이 크거나 같게 되면, 필터링은 수행되지 않는다. 또한 중앙화소의 가중치가 클 경우, 영상의 에지 성분에 대한 보존 성능은 우수해지는 반면, 잡음제거에는 한계가 발생한다.

2.3. Min-max filter

임펄스 잡음을 제거함과 동시에 에지보존과 처리시간의 관점에서 비교적 개선된 성능을 나타내는 Min-max 연산에 기반을 둔 peak and valley 필터는 이웃화소의 최대값과 최소값을 이용하여 중앙화소의 임계값을 제한

하는 형태로서 다음 식 (5)와 같이 표현된다.

$$Y(i, j) = \begin{cases} \max \{X(i+s, j+t)\}, \\ \text{if } X(i, j) > \max \{X(i+s, j+t)\} \\ \min \{X(i+s, j+t)\}, \\ \text{if } X(i, j) < \min \{X(i+s, j+t)\} \\ X(i, j), \text{ otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)와 같이 peak and valley 필터는 일반적으로 $N=1$ 을 적용한 $-1 \leq s \leq 1, -1 \leq t \leq 1$ 범위의 3×3 윈도우 내의 이웃화소를 사용하며, 잡음의 제거과정과 처리화소의 훼손여부를 판단하는 과정을 동시에 수행하는 필터이다.

2.4. Average filter

AF 필터는 인근 화소값에 대하여 평균을 취함으로써 세세한 부분을 제거한다. 이는 미세한 변화를 억제시킨다는 것을 의미한다. 하지만 고밀도 임펄스 잡음의 삽입에 경우 극단적인 값으로 인해 원래의 값이 훼손되는 한계를 갖고 있다. AF 필터는 다음 식(6)과 같이 표현된다.

$$Y(i, j) = \frac{1}{Z \times Z} \sum_{i,j}^Z X(i+s, j+t) \quad (6)$$

$Z \in W, Z = 2N+1$

여기서 W 는 마스크를 나타낸다.

III. 제안한 필터

본 논문에서는 salt & pepper 잡음을 제거함에 있어서, 기존의 방법들이 가지고 있지 않는 비잡음 요소에 대한 왜곡을 줄이는 동시에 우수한 잡음제거 능력을 가지는 필터를 제안하였다. 제안된 알고리즘은 그림 1과 같다.

그림1. 제안한 필터의 알고리즘.

Fig. 1. Algorithm of proposed filter.

제안된 방법은 잡음판단과 잡음제거등 두개 부분으로 나뉘며 오직 잡음 신호에 대하여 필터링하고 비잡음 신호는 그대로 출력하여 세부적인 부분을 보호하였다.

step 1. 마스크 내의 중앙 화소값이 임펄스 잡음인가를 판단한다.

step 2. step 1을 거친 후 중앙 화소값이 잡음이 아닌 경우, 필터링 처리를 하지 않고 원래의 화소값을 출력신호로 처리한다.

마스크 내의 중앙 화소값이 잡음인 경우, 마스크 내의 화소값이 0혹은 255를 제외한 비임펄스 신호만을 추출하여 계속 필터링 처리한다.

step 3. 평균값을 구한다. 비임펄스 신호의 갯수가 0이 아닌 경우, 비임펄스 신호값들의 평균치를 구한다. 만약 마스크 내에 전부 잡음이라면 마스크 내의 전체 화소값의 평균값을 구한다. 이 두 가지 경우의 평균값에 대한 정의는 아래의 식(7)과 같이 표현한다. 식 (7)에서 M_s 는 평균값을 나타낸다.

$$M_s = \begin{cases} \frac{S_{no}}{N_n}, & \text{if } (N_n \neq 0) \\ \frac{S_{all}}{(2N+1) \times (2N+1)}, & \text{if } (N_n = 0) \end{cases} \quad (7)$$

여기서 S_{no} 는 마스크 내의 0 또는 255를 제외한 화소 값들의 합을 나타내고 N_n 는 마스크 내의 0 또는 255를 제외 한 후의 화소값들의 갯수이다. S_{all} 는 마스크 내의 전체 화소값들의 합을 나타내며 $(2N+1) \times (2N+1)$ 는 마스크의 크기를 나타낸다.

step 4. 마스크 내에 전부 잡음이 아닌 경우에는 식 (7)에 따라 평균값을 구하고 각각 비임펄스 신호값들과의 차를 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta P_{m-} &= \min\{|P - M_s|\}, \text{ if } (P - M_s) < 0 \\ \Delta P_{m+} &= \min\{|P - M_s|\}, \text{ if } (P - M_s) > 0 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 P 는 비임펄스 신호를 표시하고, ΔP_{m-} 는 평균값과 비임펄스 신호사이의 가장 작은 차가 0보다 작을 때의 값 중에서 절대치가 제일 작을 때의 값을 나타내며, ΔP_{m+} 는 평균값과 비임펄스 신호사이의 가장 작은 차가 0보다 클 때의 값들의 절대치값이 제일 작은 값을 나타낸다.

$$P_{out} = \begin{cases} \frac{P_s + M_s}{2}, & \text{if } (\Delta P_{m-} < \Delta P_{m+} \text{ or } \Delta P_{m-} > \Delta P_{m+}) \\ M_s, & \text{if } (\Delta P_{m-} = \Delta P_{m+}) \end{cases} \quad (9)$$

여기서 P_{out} 는 출력신호를 나타내고 P_s 는 평균값과 제일 가까운 비임펄스 신호이다. P_s 를 찾는 방법은 아래의 식 (10)을 이용한다.

$$P_s = \begin{cases} M_s - \Delta P_{m-}, & \text{if } (\Delta P_{m-} < \Delta P_{m+}) \\ M_s + \Delta P_{m+}, & \text{if } (\Delta P_{m+} < \Delta P_{m-}) \end{cases} \quad (10)$$

ΔP_{m-} 의 값과 ΔP_{m+} 의 값이 같지 않고 식 (9)의 관계를 만족한다면 P_s 와 평균값 M_s 사이의 합의 평균을

출력신호로 하고, 만약 ΔP_{m-} 와 ΔP_{m+} 의 값이 같다면, 식 (7)에서 구한 평균값을 출력신호로 한다. 마스크 내에 전부 잡음인 경우에는 식(7)에서 구한 전부 잡음인 경우의 평균값을 출력신호로 한다. 제안된 필터는 식 (11)로 정의된다.

$$Y(i,j) = \begin{cases} P_{out}, & \text{if } (N_n \neq 0, X(i,j) = 0 \text{ or } 255) \\ M_s, & \text{if } (N_n = 0, X(i,j) = 0 \text{ or } 255) \\ X(i,j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

제안된 필터는 임펄스 잡음을 제거함에 있어서 우선 잡음을 판단하고 필터를 이용하여 처리하고 잡음이 아니라고 판단되면 원래의 값을 그대로 출력신호로 하였기 때문에 전통적인 SM 필터등 기존의 방법들이 할 수 없는 에지를 최대한 보존하는 우수한 특성이 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 제안된 필터의 잡음제거 성능을 평가하기 위해, (512×512)크기의 Lena 영상과 Boat 영상에 5%~70% 밀도의 salt & pepper 잡음을 생성한 후 제안한 방법을 이용하여 처리하였으며, PSNR 값을 이용하여 기존의 방법들과 성능을 비교하였다.

일반적으로 MSE(mean squared error)와 PSNR(peak signal to noise ratio)은 영상의 개선 정도를 위해 사용하고 있으며, 다음 식(12), (13)와 같이 정리된다.

$$MSE = \frac{\sum_{i,j} O(i,j) - Y(i,j)}{R \times C} \quad (12)$$

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (13)$$

이때, R, C는 이미지의 가로, 세로크기를 나타내며, $O(i,j)$ 는 원 영상의 각 화소값, $Y(i,j)$ 는 필터링 된 영상의 각 화소값을 나타낸다.

그림 2와 그림 3은 각각 Lena(512×512) 영상과 Boat(512×512) 영상에 중첩된 임펄스 잡음(50%)을 제거한 기존의 필터와 제안한 필터의 시뮬레이션결과이다.

본 논문에서 비교를 위하여 사용된 기존의 방법은 각각 SM 필터, Min-max 필터, AF 필터 등 이다.

그림 2와 그림 3에서 (a)는 훼손되지 않은 원 영상이며 (b)는 임펄스 잡음(50%)에서 훼손된 영상이고, (c)~(e)는 각 기존의 SM(3×3) 필터, Min-max(3×3) 필터, AF(3×3) 필터의 처리 결과이며, (f)는 제안한 필터로 처리한 결과이다.

그림 2. Lena 영상에 대한 시뮬레이션 결과.
(a) 테스트 이미지 (b) 노이즈 이미지(50%)
(c) SM(3×3) (d) 민-맥스 (e) AF(3×3) (f) 제안한 필터
Fig. 2. Simulation result of Lena image.
(a) Test image (b) Noisy image(50%) (c) SM(3×3)
(d) Min-max (e) AF(3×3) (f) Proposed filter

그림 2와 그림 3 중, (c)에서 SM 필터는 임펄스 잡음 제거 능력은 우수하지만 세부적인 부분을 파괴시켰기에 몽롱화 현상을 일으켰고 (d)에서 Min-max 필터는 에지 영역의 보존은 우수한 특징을 나타내었지만 임펄스 잡음 제거 부분이 미흡함을 나타내고 있다. (e)에서의 AF 필터는 임펄스 잡음 제거 특성 및 에지영역에서 보존 성능이 우수하지만 시각적 영상오류를 나타내고 있다.

그림 3. Boat 영상에 대한 시뮬레이션 결과.
(a) 테스트 이미지 (b) 노이즈 이미지(50%)
(c) SM(3×3) (d) 민-맥스 (e) AF(3×3) (f) 제안한 필터
Fig. 3. Simulation result of Boat image.
(a) Test image (b) Noisy image(50%) (c) SM(3×3)
(d) Min-max (e) AF(3×3) (f) Proposed filter

기존의 기법들의 처리 결과를 본다면 모두 잡음제거 능력과 세부적인 부분을 보호하는 능력을 동시에 갖추지 못했을 뿐만 아니라 높은 밀도의 잡음을 제거함에 있어서 많이 부족하다는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 (f)에서 제안된 필터는 임펄스 잡음제거 및 에지 영역에서의 영상이 복원특성이 우수함을 나타내고 있다.

그림 4와 그림 5는 Lena영상과 Boat영상에 첨가된 임펄스 잡음의 변화에 따라 훼손된 영상의 잡음제거 특성을 나타낸 것으로 제안한 방법이 기존방법들보다 잡음 밀도가 낮은 영역 및 잡음밀도가 높은 영역에서도 영상의 복원특성이 우수함을 나타내고 있다.

그림 4. Lena영상에 대한 PSNR.
Fig. 4. PSNR for Lena image.

그림 5. Boat영상에 대한 PSNR.
Fig. 5. PSNR for Boat image.

또한, 표 1과 표 2는 Lena와 Boat 영상에 대해 salt & pepper 잡음밀도의 변화에 따른 처리결과이다. 표에서 나타난 PSNR의 수치는 제안한 방법이 기존의 방법들보다 훨씬 높다.

표 1. 각 필터의 특성 비교

Table 1. Performance comparison for restoring Lena[dB].

Salt& pepper noise	Method			
	SM 3×3	Min-max	AF 3×3	Proposed
10%	33.82	20.01	23.95	42.13
20%	29.20	14.83	20.85	38.14
30%	23.82	12.04	18.88	35.48
40%	19.20	10.20	17.38	33.37
50%	15.37	8.90	16.14	31.12

표 2. 각 필터의 특성 비교

Table 2. Performance comparison for restoring Boat[dB].

Salt& pepper noise	Method			
	SM 3×3	Min-max	AF 3×3	Proposed
10%	30.15	20.02	23.36	38.74
20%	27.46	14.87	20.64	34.90
30%	22.90	12.04	18.69	32.74
40%	18.83	10.24	17.31	30.85
50%	15.22	8.91	16.08	28.79

V. 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 마스크 내의 잡음을 판단한 후 비임펄스 신호값들만 가지고 처리하는 비선형 필터를 제안하였으며, 이 방법은 마스크 내의 비임펄스 신호값들의 갯수와도 밀접한 연관이 있으며 그 갯수의 크기에 따라 처리 방법을 선택한다. 제안한 필터는 마스크 내에 전부 잡음인 경우도 고려했기 때문에 잡음밀도가 높을 때에도 우수한 잡음제거 능력을 보이고 있다. 임펄스 잡음이 50% 중첩된 Lena영상에 대한 시뮬레이션결과, 기존의 SM 필터, Min-max 필터, AF 필터는 각각 15.37[dB],

8.90[dB]와 16.14[dB]의 PSNR을 나타내었으며, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 31.12[dB]의 우수한 PSNR을 나타내었다.

제안한 방법은 기존의 방법에 비해 알고리즘이 다소 복잡하고 처리시간이 다소 긴 단점은 있으나, 영상의 예지영역을 보존하는 동시에 잡음제거 능력이 우수하여 임펄스 잡음환경에서 운용되고 있는 영상처리 시스템에서 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] M. Juneja, P. S. Sandhu, "Design and Development of an Improved Adaptive Median Filtering Method for Impulse Noise Detection", *International journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 1. pp. 627-630. Dec. 2009.
- [2] Hwang H., Haddad R. A., "Adaptive median filters new algorithms and results" *Image Processing, IEEE Trans.* Vol. 4, Issue 4, pp. 499 - 502, April 1995.
- [3] Z. Q. Cai and Tracy K. M., "Adaptive Switching Median", *IEEE Information. Communications and Single Processing.*, ICICS 2009. 7th International Conference.
- [4] R.H. Chan, C.W. Ho, and M.Nikolova, "Salt and pepper noise removal by median type noise detectors and detail preserving reularization", *IEEE Trans. Image Processing.*, vol.14, pp. 1479-1485, 2005.
- [5] C.C Kang, W. June Wang, "Modified switching median filter with one more noise detector for impulse noise removal", *International Journal of Electronics and Communications(AEU)*, 2008.
- [6] Krishnan Nallaperumal, Justin Varghese, "Selective Switching Median Filter for the Removal of Salt and pepper Impulse noise", *in proc. of IEEE WOCN 2006*.
- [7] S. Deivalakshmi and P. Palanisamy, "Improved tolerance based Selective Arithmetic Mean Filer for Detection and Removal of Impulse Noise", *IEEE Industrial and Information Systems.*, ICIS 2010, Jul 29-Aug 01. 5th International Conference.

저자소개

Gao Yinyu(Gao Yinyu)

2010년 6월 Harbin Engineering University 졸업

2010년 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 신호 복원