

균등 분포된 임펄스 잡음 환경에서의 영상 복원 알고리즘에 관한 연구

노 현 용* · 배 상 범* · 김 남 호*

*부경대학교 제어계측공학과

A Study on Image Reconstructing Algorithm in Uniformly Distributed Impulsive Noise Environment

Hyun-Yong Noh* · Sang-Bum Bae* · Nam-Ho Kim*

*Dept. of Control and Instrumentation Eng., Pukyong National Univ.

요 약

영상에서 잡음을 제거하기 위한 연구는 영상인식과 컴퓨터비전 등과 같은 신호처리 분야에서 활발하게 진행되고 있으며, AWGN과 임펄스 잡음이 가장 대표적이다. 그리고 임펄스 잡음에는 salt & pepper와 random-valued 임펄스 잡음이 있으며, 이러한 임펄스 잡음을 제거하기 위해 SM 필터와 같은 비선형 필터가 이용된다. 그러나 기본적인 SM 필터는 영상의 에지영역에서 여전히 많은 오류를 발생시키고 있으며, 이와 같은 단점을 해결하기 위해 다양한 방법들이 연구되고 있다. 본 논문에서는 영상의 에지보존 성능이 우수한 임펄스 잡음 제거 알고리즘을 제안하였으며, 이때 noise detector를 이용하여 잡음을 검출한 후, min-max 연산에 기반한 잡음 제거 알고리즘을 적용하였고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 기존의 방법들과 비교하였다.

ABSTRACT

Many researches have been processed to reconstruct corrupted an image by noise in fields of signal processing such as image recognition and computer vision, and AWGN(additive white gaussian noise) and impulse noise are representative. Impulse noise consists of fixed-valued(salt & pepper) impulse noise and random-valued impulse noise, and non-linear filters such as SM(standard median) filters are used to remove this noise. But basic SM filters still generate many errors in edge regions of an image, and in order to overcome this problem a variety of methods have been researched. In this paper, we proposed an impulse noise removal algorithm which is superior to the edge preserving capacity. At this time, after detecting a noise by using the noise detector, we applied a noise removal algorithm based on the min-max operation and compared the capacity with existing methods through simulation.

키워드

impulse noise, standard median, min-max operation

1. 서 론

최근 멀티미디어 정보통신 기술이 급격하게 발달하고, 이를 이용한 다양한 서비스가 보편화됨에 따라 디지털 데이터의 효율적인 처리 방법들에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다.

그리고 데이터에 대한 획득, 저장, 전송 기술의 발달로 인해, 영상은 화상통신 및 인식 등과 같은 다양한 분야에서 그 사용량이 증가하고 있으나, 여전히 처리과정에서 여러 가지 원인에 의해 열화가 발생하고 있다. 이러한 열화의 주된 원인은 잡음으로 알려

져 있으며, AWGN(additive white gaussian noise)과 임펄스 잡음이 대표적이다.

AWGN을 제거하기 위해서는 평균 필터와 가우시안 필터, 위너 필터 등과 같은 선형필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그리고 임펄스 잡음에는 salt & pepper와 random-valued 임펄스 잡음이 있으며, 근본적으로 SM(standard median) 필터에 기반한 여러 가지 변형된 메디안 필터들이 제시되고 있다.

SM 필터는 임펄스 잡음을 제거하기 위한 우수한 비선형 필터이지만, 영상의 에지 성분에 대하여 열화

를 발생시킴에 따라 영상의 상세정보를 중요시 하는 분야에서는 적용될 수 없다. 따라서 임펄스 잡음을 제거함과 동시에 영상의 에지 성분을 보존하기 위한 몇몇 방법들이 제안되었다[1]-[4].

본 연구에서는 min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하였으며, 이때 이러한 필터링 연산은 noise detector에 의해서 검출된 잡음 영역에 대해서 수행되도록 하였다. 그리고 시뮬레이션에서 기존의 메디안 필터들과 그 성능을 비교하였다.

II. 임펄스 잡음 제거 알고리즘

1. Standard Median Filter

SM 필터는 임펄스 잡음을 제거하기 위한 가장 간단한 형태의 비선형 필터이다. 일반적으로 SM 필터는 식 (1)과 같이 표현되며, 임의의 마스크를 사용하여 그 내부 화소에 대한 중간 값을 선택하는 것에 의해서, 영상에 중첩된 임펄스 잡음을 제거한다.

$$y(i, j) = med\{x(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (1)$$

여기서, $y(i, j)$ 는 출력화소 값이며, $x(i, j)$ 는 입력화소 값이고, (s, t) 는 처리 마스크 내부의 좌표를 나타낸다. 그리고 $med\{\cdot\}$ 는 중간 값 선택 연산자며, W 는 크기가 $(2N+1) \times (2N+1)$ 인 필터링 윈도우를 나타내고, 식 (2)와 같다.

$$W = \{(s, t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (2)$$

2. Center Weighted Median Filter

CWM 필터는 필터링 윈도우 W 의 중앙 화소 값에 가중치를 인가하여 처리하는 형태로서, 다음의 식 (3)으로 표현되는 일반적인 WM(weighted median) 필터로부터 유도할 수 있다.

$$y(i, j) = med\{h(s, t) \text{ copies of } x(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (3)$$

WM 필터는 각 화소의 값 $x(i-s, j-t)$ 를 가중치 $h(i, j)$ 만큼 생성한 후, 가중치가 적용된 데이터에서 중간 값을 선택한다. 즉, $W = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0)\}$ 이고 $\{h(-1, 0), h(0, 0), h(1, 0)\} = \{2, 3, 2\}$ 와 같이 가중치를 인가하였을 때, 출력 $y(i, j)$ 는 다음과 같다.

$$y(i, j) = med\{x(i-1, j), x(i-1, j), x(i, j), x(i, j), x(i, j), x(i+1, j), x(i+1, j)\} \quad (4)$$

이 때, 중앙 화소의 가중치 $h(0, 0) = 2K + 1$ 이며, $(s, t) \neq (0, 0)$ 인 경우, $h(s, t) = 1$ 인 WM 필터를 CWM 필터라 정의하고 다음 식으로 주어진다.

$$y(i, j) = med\{x(i-s, j-t) \text{ } 2k \text{ copies of } x(i, j) | (s, t) \in W\} \quad (5)$$

여기서, k 는 양의 정수이며, $k=0$ 일 경우 CWM 필터는 SM 필터로 되고, 필터링 윈도우 내의 총 화소 수 $2L+1$ 보다 가중치 $2k+1$ 이 크거나 같게 되면, 필터링은 수행 되지 않는다.

이러한 CWM에서 중앙화소에 큰 가중치가 인가 되면 영상의 에지 성분에 대한 보존 성능은 우수해지지만, 잡음 제거에는 한계가 발생한다.

III. 제안한 알고리즘

임펄스 잡음 환경에서 영상을 복원하기 위한 과정은 noise detector에 의한 잡음 검출과정과 min-max에 기반한 잡음 제거과정으로 나누어진다.

1. Noise detector에 의한 잡음 검출

영상으로부터 잡음을 선택적으로 분리하기 위해서 먼저 다음의 식 (6)과 같이 편차를 구한다.

$$D_k = |C^{2k+1}(i, j) - x(i, j)| \quad (6)$$

식으로부터, $C^{2k+1}(i, j)$ 는 $2k$ 개의 중앙화소가 추가되어 메디안 처리를 하는 CWM 필터를 나타내며, D_k 는 이러한 CWM 필터의 결과와 처리화소의 편차를 나타낸다.

그리고 임의의 k 중에서 적어도 하나에 대해서 $D_k > T_k$ 의 조건을 만족하게 되면, 그 지점을 잡음으로 판단하게 되며, 이때 T_k 는 식 (7)과 같다.

$$T_k = s \cdot MAD + w_k \quad (7)$$

식으로부터, s 와 w_k 는 가중치로서, $s = 0.6$ 이며, $\{w_0, w_1, w_2, w_3\} = \{40, 25, 10, 5\}$ 이고, MAD 는 식 (8)과 같이 처리영역 내의 화소와 SM 필터의 편차에 대한 메디안 값이다.

$$MAD = med\{|x(i-s, j-t) - C^1(i, j)| | (s, t) \in W\} \quad (8)$$

2. Min-max 기반의 잡음제거 알고리즘

임의의 화소 (i, j) 에서의 화소 값 $x(i, j)$ 에 대해, 크기 $M \times M$ 의 윈도우가 이 화소를 포함하는 경우의 수는 $N(=M^2)$ 이다. 이때, 각각의 윈도우를 inner 윈도우라 하며 WI_k 로 표시한다.

그리고 이 때, 각 inner 윈도우에 대해 중앙 화소의 위치가 동일하며, 크기가 $(M+2r) \times (M+2r)$, $r \geq 1$ 인 윈도우를 outer 윈도우라 하며 WO_k 로 나타낸다. 또한, 각 화소 (i, j) 에 대해서, 두 윈도우의 차에 의해서 생성되는 N 개의 surrounding band가 정의되며, 식 (9)와 같다.

$$B_k = WO_k - WI_k, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

이때 이러한 각 surrounding band의 최대값과 최소값을 각각 u_k 와 v_k 로 나타내며 다음의 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} u_k = \max(x(m, n) | (m, n) \in B_k) \\ v_k = \min(x(m, n) | (m, n) \in B_k) \end{cases} \quad (10)$$

따라서 임의의 입력 값 $x(i, j)$ 에 대해 제안한 필터의 출력 $y(i, j)$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$y(i, j) = \begin{cases} u_{\min}, & \text{iff } x(i, j) > u_{\min} \\ v_{\max}, & \text{iff } x(i, j) < v_{\max} \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

위의 식으로부터 u_{\min} 과 v_{\max} 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} u_{\min} = \min(u_k | k = 1, 2, \dots, N) \\ v_{\max} = \max(v_k | k = 1, 2, \dots, N) \end{cases} \quad (12)$$

그리고 위의 식 (11)에서 정의한 출력은 다음의 회귀형태로 간단히 확장할 수 있다. 이것은 새로운 출력영상을 생성하는 대신, 입력 영상의 그레이 값을 업데이트하는 형태로서, 다음의 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$x(i, j) \leftarrow \begin{cases} u_{\min}, & \text{iff } x(i, j) > u_{\min} \\ v_{\max}, & \text{iff } x(i, j) < v_{\max} \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

그리고 $x(i, j) > u_{\min}$ 인 경우, 식 (12)는 식 (14)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} x(i, j) &\leftarrow u_{\min} \\ &= \min(u_N, \min(u_{N-1}, \dots, \\ &\quad \min(u_1, x(i, j)), \dots)) \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)는 $x(i, j) \leftarrow \min(u_k, x(i, j))$ 의 반복 실행을 통해서도 성립되며, 이 때 $k = 1, 2, \dots, N$ 이다. 그리고 동일하게 $x(i, j) < v_{\max}$ 인 경우에도 대해서도 $x(i, j) \leftarrow \max(v_k, x(i, j))$ 의 반복 실행을 통해 성립된다. 그리고 임의의 화소에 대해서, N 개의 surrounding band가 각기 다른 위치에 있으므로, 위의 식 (13)은 N 개의 다른 위치에서 surrounding band $B = WO - WI$ 를 두고, band의 각 위치에 대해서 식 (15)를 실행하여 얻을 수 있다. 식으로부터, $u = \max(x(m, n) | (m, n) \in B)$ 이며, 동일하게 $v = \min(x(m, n) | (m, n) \in B)$ 이다.

$$x(i, j) \leftarrow \begin{cases} u, & \text{iff } x(i, j) > u \\ v, & \text{iff } x(i, j) < v \\ x(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

위의 식과 같은 회귀과정은 inner 윈도우의 수만큼 수행되므로, 임의의 화소 (i, j) 에서의 화소 값 $x(i, j)$ 에 대한 출력 $y(i, j) = x_N(i, j)$ 이며, 이때 N 은 inner 윈도우의 수를 나타낸다. 즉, inner 윈도우의 수가 N 인 경우, $k = 1, 2, \dots, N-1$ 에 대해서는 출력이 다시 입력으로 사용되며, $k = N$ 일 경우의 출력을 이용하여, 화소를 최종적으로 치환한다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 임펄스 잡음을 제거하기 위해, min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하였으며, 이때 잡음으로 판단되는 화소에 대해서 필터링이 수행되도록 하였다. 그리고 제안한 필터의 성능을 평가하기 위해, 테스트 영상으로서 512×512 의 Baboon 영상을 사용하였다.

그림 1은 Baboon 영상에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림으로부터 (a)는 원영상이며, (b)는 5%의 random-valued 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상이다. 그리고 (c)와 (d)는 각각 5×5 SM 필터에 의해 잡음이 제거된 영상과 차영상을 보이고 있다. 또한, (e)와 (f)는 5×5 CWM 필터에 의한 결과 영상과 차영상을 나타내고 있으며, (g)와 (h)는 본 논문에서 제안한 필터에 의해 잡음이 제거된 영상과 이것의 차영상을 보이고 있다. 그림 (d), (f), (h)의 차영상은 각각의 방법에 의해 처리된 영상과 원 영상과의 차에 대한 결과를 4배 증가시킨 영상이다.

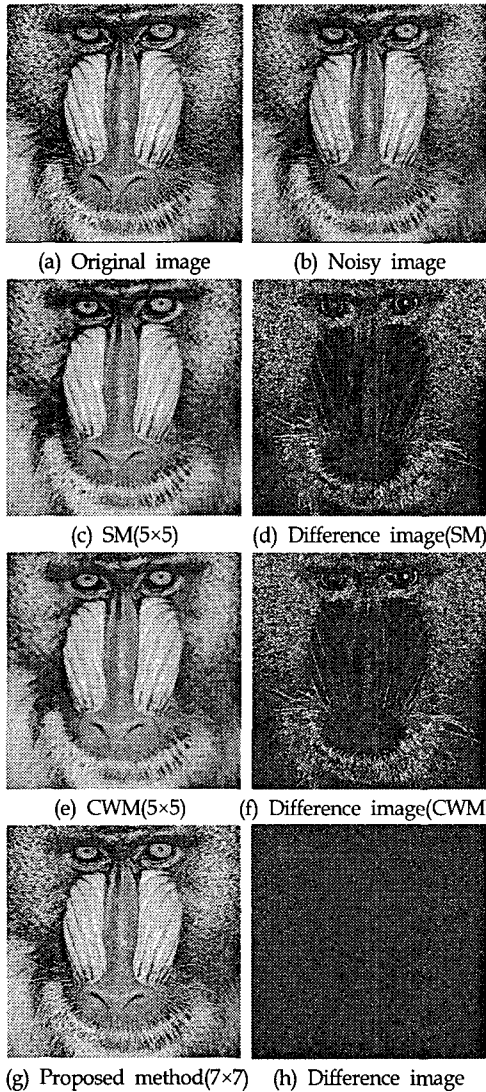


Fig. 1. Denoising results.

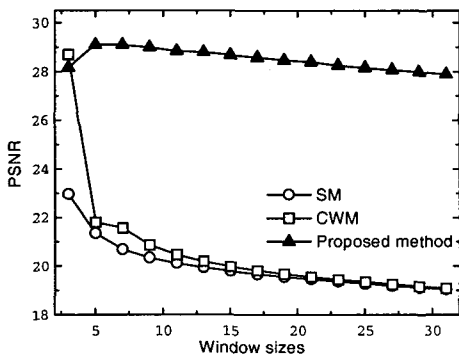


Fig. 2. PSNR with variation of window size.

결과 영상으로부터, 기존의 방법들은 임펄스 잡음을 제거함과 동시에 영상의 에지성분에서 열화가 발생하였으며, 차영상으로부터 에지성분의 특징들이 두드러지게 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 제안한 필터의 결과 영상은 에지성분의 특성을 보존함과 동시에, 우수한 잡음 제거 성능을 나타내어, 차영상으로부터 영상의 에지성분에 대한 특징들을 확인할 수 없었다.

그림 2는 5%의 random-valued 임펄스 잡음이 테스트 영상에 중첩된 경우, 필터링 윈도우의 크기에 따른 PSNR(peak signal-to-noise ratio)을 나타내고 있다. 결과로부터, 기존의 방법들은 윈도우의 크기가 증가함에 따라 에지성분에 대한 열화가 더욱 증가하였으나, 제안한 방법은 윈도우의 크기에 관계없이 거의 일정한 PSNR을 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 임펄스 잡음을 제거함과 동시에 영상의 에지 성분을 보존하기 위해, min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터를 제안하였으며, 이때 noise detector를 이용하여, 잡음으로서 판단되는 화소에 대해서 필터링이 수행되도록 하였다.

Baboon 영상을 이용한 시뮬레이션 결과로부터 기존의 방법들은 노이즈를 제거함과 동시에 영상의 에지성분에서 열화가 발생하였다. 그러나 제안한 방법은 에지성분에 대한 특성이 우수하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 min-max 연산에 기반한 새로운 비선형 필터는 잡음 제거와 에지보존 특성이 우수하여, 영상처리의 다양한 분야에 응용되리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] ARCE, G. R., and FOSTER, R. E.: "Detail preserving rank-order based filters for image processing", IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process., 1989, 37, (1), pp. 83-98.
- [2] YIN, L., YANG, R., GABBOUJ, M., and NEUVO, Y.: "Weighted median filters: a tutorial", IEEE Trans. Circuits Syst., 1996, 43, (3), pp. 157-192.
- [3] KO, S. J., and LEE, Y. H.: "Center weighted median filters and their application to image enhancement", IEEE Trans. Circuits Syst., 1991, 38, (9), pp. 984-993.
- [4] WERMAN, M., and PELEG, S.: "Min-max operators in texture analysis", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1985, 7, (6), pp. 730-733.