

임펄스 잡음환경에서 비선형 공간필터를 이용한

영상복원에 관한 연구

강 경 덕* · 김 남 호*

*부경대학교 공과대학 전기제어공학부

A Study on Image Reconstruction using Nonlinear Spatial Filter in Impulse Noise Environments

Kyeong-Deok Kang* · Nam-Ho Kim*

*School of Electrical and Control Eng., Pukyong National Univ.

E-mail : nhk@pknu.ac.kr

요 약

다양한 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 영상을 정보전달의 수단으로 사용하기 위한 관련 기술들이 급격히 발전하였다. 그러나 영상의 인지도와 신호 오류에 큰 영향을 미치는 임펄스 잡음은 영상을 디지털화하거나 전송하는 과정에서 여전히 발생하고 있다. 이러한 임펄스 잡음을 제거하기 위해 일반적으로 비선형 필터를 적용하며, SM 필터가 대표적이다. 그러나 SM 필터는 에지성분의 오류로 인해 전체 영상의 품질을 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상을 복원하기 위해, Min-max 연산에 기반한 비선형 공간필터를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 비교하였다.

ABSTRACT

According to the increase of demand for diverse multimedia services, techniques to use images as the tool of information transmission have been rapidly developed. However, impulse noise affecting the reception of image and signal error occurs in the process of digitalization and transmission of images. In order to remove this impulse noise, a nonlinear filter is generally applied and a standard median (SM) filter is representative. However, SM filter degrades the quality of overall image by error of the edge component. Therefore, in this paper, to restore the corrupted image by impulse noise, a nonlinear spatial filter based on Min-max operation was proposed and was compared with conventional methods through simulations.

키워드

standard median filter, impulse noise, nonlinear filter

1. 서 론

최근, 영상을 정보전달의 수단으로 사용하기 위한 관련 기술들이 급격히 발전하고 있다. 그러나 영상의 인지도와 신호 오류에 큰 영향을 미치는 잡음이 영상을 디지털화하거나 전송하는 과정에서 여전히 발생하고 있다. 따라서 이러한 잡음을 제거하기 위한 많은 연구들이 영상처리와 컴퓨터비전 분야 등에서 활발히 진행되고 있다.

임펄스 잡음은 dynamic range의 최대 또는 최소값의 크기로 발생되며, 이러한 잡음을 제거하기 위해, 일반적으로 비선형 필터가 사용된다. 특히

간단한 알고리즘과 우수한 잡음제거 성능을 나타내는 SM(standard median) 필터가 가장 일반적으로 사용되고 있다[1].

그러나 이러한 SM 필터는 영상의 국부적인 특징들을 고려하지 않고, 전체영상에 대해서 동일한 윈도우를 적용함에 따라, 영상의 에지성분에서 오류를 발생시킨다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위해, 변형된 형태의 SM 필터들이 제안되었으며, WM(weighted median) 필터와 CWM(center weighted median) 필터는 영상의 특징을 보존하면서 임펄스 잡음을 제거하기 위해, 윈도우의 각 화소에 가중치를 적용하였다[2]. 그러나 변형된

SM 필터들이 데이터에 대한 정렬 과정을 통해 잡음을 제거함에 따라 많은 연산시간을 필요로 한다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하고 고속연산에 의해 임펄스 잡음을 제거하는 Min-max 기반의 방법들이 제안되었다[4].

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터를 제안하였다. 그리고 잡음제거 성능을 확인하기 위해, PSNR(peak signal to noise ratio)을 이용하여 기존의 방법들과 비교하였다.

II. 기존의 임펄스 잡음제거 알고리즘

1. SM 필터

SM 필터는 noisy 영상으로부터 임펄스 잡음을 제거하기 위한 가장 대표적인 비선형 공간필터로서, 윈도우의 계수값을 직접 적용하지 않고, 처리화소와 주변화소로부터 추정된 화소값을 선택한다.

잡음제거를 위해, 처리화소와 주변화소에 적용되는 윈도우 W 는 식 (1)과 같이 표현된다.

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

여기서, 윈도우의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이며, (s, t) 는 처리를 위한 윈도우 내부의 좌표이다. 이때 SM 필터는 식 (2)와 같이 윈도우 W 에 상응하는 화소들 중에서 중간값을 선택한다.

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

식으로부터, $X(i, j)$ 는 좌표 (i, j) 에서 입력영상에 대한 화소값이며, $Y(i, j)$ 는 잡음제거 후의 출력 화소값이다. 또한 $\text{median}\{\cdot\}$ 은 중간값 선택 연산자를 나타낸다.

2. CWM 필터

WM 필터는 윈도우 W 내의 각 화소에 식 (3)과 같이 표현되는 가중치를 인가하여, 화소에 대한 선택도를 조절한다[2].

$$\sum_{(s, t) \in W} w(s, t) = C \quad (3)$$

식으로부터, $w(s, t)$ 는 좌표 (s, t) 에 위치하는 화소에 대한 가중치를 나타내며, C 는 가중치 적용에 의해 생성된 화소의 총 개수이다. 이러한 가중치 적용에 의해 WM 필터는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$Y(i, j) = \text{median} \{w(s, t) \diamond X(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (4)$$

여기서, \diamond 는 반복연산자를 나타낸다. 따라서 위의 식 (4)는 윈도우의 각 위치에 해당하는 입력화소값

$X(i-s, j-t)$ 를 가중치 $w(s, t)$ 만큼 각각 생성한 후, 화소의 총 개수 C 에 대하여 SM 필터를 적용한 결과값이다.

그리고 WM 필터의 특수한 경우로서, 식 (5)와 같이, 중앙화소에 대해서만 가중치 $w(0, 0) = 2K+1$ 를 적용하고, 주변화소에 대해서는 $w(s, t) = 1$ 을 적용한 필터를 CWM 필터라 한다[2].

$$Y(i, j) = \text{median} \{X(i-s, j-t), 2K \diamond X(i, j) | (s, t) \in W\} \quad (5)$$

3. Min-max 필터

윈도우 내에서 주변화소들과 비교하여, 최대값과 최소값을 나타내는 모든 화소들을 cutting과 filling 연산을 통해 그 크기를 제한하는 Peak-and-Valley 필터는 식 (6)과 같이 표현된다[3].

$$Y(i, j) = \begin{cases} \max \{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i, j) > \max \{X(i-s, j-t)\} \\ \min \{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i, j) < \min \{X(i-s, j-t)\} \\ X(i-s, j-t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

식으로부터, $\max\{\cdot\}$ 는 최대값 선택 연산자이며, $\min\{\cdot\}$ 은 최소값 선택 연산자이다. 그리고 현재 이러한 최대값과 최소값을 이용하여, 잡음을 제거하기 위한 많은 방법들이 연구되고 있다[4].

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서는 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상을 복원하기 위해, 각 방향성분에 대한 최대값과 최소값을 이용하여, 처리화소의 크기를 제한하도록 하였다.

입력의 좌표 (i, j) 에서의 입력화소값 $X(i, j)$ 를 포함하는 (5×5) , $\{(2N+1) \times (2N+1), N=2\}$ 크기의 윈도우를 그림 1에 나타내었다.

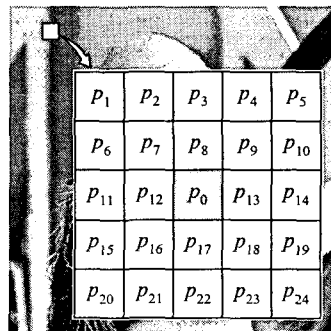


Fig. 1. Processing window (5×5) .

Noisy 영상에서, 잡음에 의해 훼손된 화소에 대해서만 잡음제거 과정을 적용하기 위해, (5×5) 크기의 윈도우일 경우, 주변화소를 이용하여 아래의 두 식과 같이 최대값 S_M 과 최소값 S_m 을 구한다.

$$S_M = \max \{p_i \mid 1 \leq i \leq 24\} \quad (7)$$

$$S_m = \min \{p_i \mid 1 \leq i \leq 24\} \quad (8)$$

일반적으로, 임펄스 잡음은 dynamic range의 최대 또는 최소값과 동등한 크기로 발생된다. 따라서 아래의 식 (9)로부터, I 가 1인 경우는 현재 화소가 임펄스 잡음에 의해 훼손된 것으로 간주하며, 그렇지 않은 경우는 원화소로 판단한다.

$$I = \begin{cases} 1, & p_0 \leq S_m \text{ or } p_0 \geq S_M \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

현재의 처리화소가 잡음으로 판단되었을 경우, 다음의 과정들을 통해 잡음을 제거한다. 먼저, 에지에 대한 방향성분을 고려하기 위해, 식 (10) 및 식 (11)과 같이 각 방향성분에 대한 subset을 생성한다.

$$\mathcal{J}_1 = \{p_1, p_7, p_{18}, p_{24}\}, \quad \mathcal{J}_3 = \{p_3, p_8, p_{17}, p_{22}\} \quad (10)$$

$$\mathcal{J}_5 = \{p_5, p_9, p_{16}, p_{20}\}, \quad \mathcal{J}_7 = \{p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}\}$$

$$\mathcal{J}_2 = \{p_2, p_7, p_8, p_{17}, p_{18}, p_{23}\}$$

$$\mathcal{J}_4 = \{p_4, p_8, p_9, p_{16}, p_{17}, p_{21}\} \quad (11)$$

$$\mathcal{J}_6 = \{p_6, p_7, p_{12}, p_{13}, p_{18}, p_{19}\}$$

$$\mathcal{J}_8 = \{p_9, p_{10}, p_{12}, p_{13}, p_{15}, p_{16}\}$$

전체 subset의 개수는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 크기의 윈도우에 대해서 $4N$ 으로 되며, $N=2$, (5×5) 일 경우, 위의 두 식과 같이 8개로 분할된다. 이때 이러한 subset의 구성 형태는 크게 두 형태로 분류된다. 먼저, 수평 또는 수직축을 기준으로 $\pi/4$ 의 간격상에 위치하고 있는 방향성분의 각 화소들은 subset의 구성요소로서 모두 선택하며, 식 (10)의 subset이 이에 해당한다. 그리고 식 (11)의 subset과 같이, $\pi/4$ 의 간격상에 위치하지 않는 방향성분에 대해서는 가장 외곽의 두 화소를 잇는 직선상에 위치하는 화소들을 이용한다. 이때, 직선상에 위치하는 각 화소의 포함범위 B 가 $B \geq 1/2$ 일 경우에는 해당화소를 subset의 구성요소로서 선택하며, $B < 1/2$ 인 경우에는 선택하지 않는다.

이러한 subset으로부터, 다음의 식 (12)와 같이 각 subset의 최대값 D_M^i 와 최소값 D_m^i 를 구한다.

$$D_M^i = \max \{ \mathcal{J}_i \}, \quad 1 \leq i \leq 8 \quad (12)$$

$$D_m^i = \min \{ \mathcal{J}_i \}, \quad 1 \leq i \leq 8$$

그리고 입력화소의 gray level을 제한하기 위해, 위의 식으로부터 얻어지는 최대값과 최소값을 이용하여, 식 (13)과 같은 임계값을 구한다.

$$\lambda_M = \min \{ D_M^i \mid 1 \leq i \leq 8 \}$$

$$\lambda_m = \max \{ D_m^i \mid 1 \leq i \leq 8 \} \quad (13)$$

최종적으로 식 (14)를 이용하여, 임펄스 잡음에 의해 훼손된 화소를 원화소에 대한 추정값으로 대체하며, 이때 현재 화소에 대한 추정값이 다음 화소를 처리하기 위한 이웃화소로 사용되는 재귀형태를 갖도록 하였다.

$$X(i, j) \leftarrow \begin{cases} \lambda_M, & \text{if } X(i, j) > \lambda_M \\ \lambda_m, & \text{if } X(i, j) < \lambda_m \\ X(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

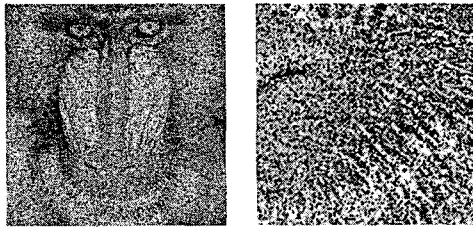
IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 방향성 정보를 이용한 비선형 공간 필터를 제안하였다. 그리고 제안한 필터의 성능을 평가하기 위해, (512×512) 크기의 Baboon 영상에 임펄스 잡음을 중첩하여 시뮬레이션 하였으며, PSNR을 사용하여 기존의 방법과 비교하였다.

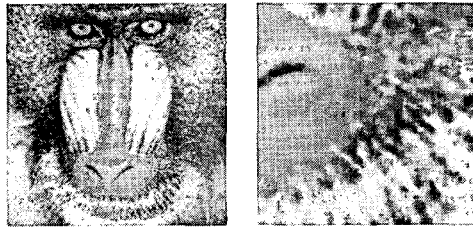
그림 2는 테스트를 위해 사용된 Baboon 영상이며, 잡음제거 효과를 더욱 명확하게 확인하기 위해, (128×128) 크기의 부분 영상을 확대하여 함께 나타내었다. 그리고 그림 3은 각 방법에 의한 잡음제거 결과이다. 그림 3(a)는 40%의 salt & pepper 잡음이 중첩된 noisy 영상이며, 그림 3(b)에서 그림 3(f)는 각각 SM 필터 (5×5) , CWM 필터 $(5 \times 5, K=2)$, Min-max 필터 (3×3) , 그리고 본 논문에서 제안한 방법 $(3 \times 3, 5 \times 5)$ 에 의한 결과영상이다. 결과로부터, 기존의 방법들은 약 21[dB] 이하의 PSNR 특성을 나타내었으나, 제안한 방법은 윈도우의 크기가 (3×3) 일 경우에는 22.31[dB], (5×5) 일 경우에는 24[dB]의 PSNR을 나타내었다. 그리고 그림 4는 테스트 영상에 중첩되는 임펄스 잡음의 변화에 따른 PSNR을 그래프로 나타낸 것이다.



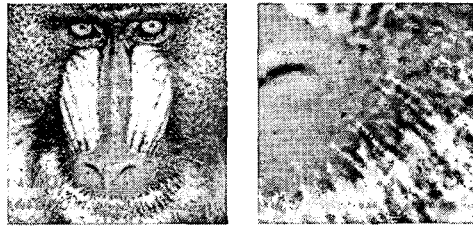
Fig. 2. Test image (Baboon, 512×512).



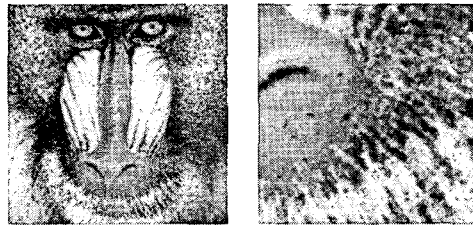
(a) Noisy image



(b) SM filter (5x5, PSNR=20.42[dB])



(c) CWM filter (5x5, K=2, PSNR=20.64[dB])



(d) Min-max filter (3x3, PSNR=21.23[dB])



(e) Proposed filter (3x3, PSNR=22.31[dB])



(f) Proposed filter (5x5, PSNR=24.00[dB])

Fig. 3. Filtering results.

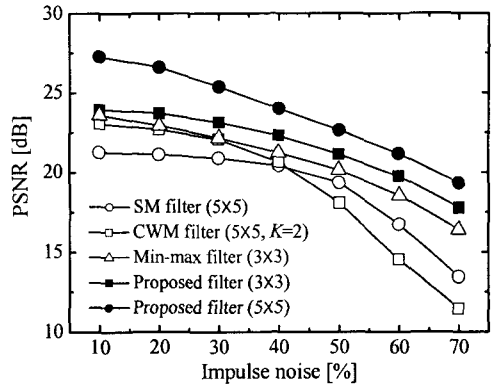


Fig. 4. PSNR with variation of impulse noise.

결과로부터, 제안한 방법이 모든 잡음 영역에서 우수한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 윈도우의 크기가 (5x5)일 때, 더욱 개선된 결과를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상을 복원하기 위해, 방향성 정보를 이용한 비선형 공간필터를 제안하였으며, 시뮬레이션에서 기존의 방법들과 비교하였다.

시뮬레이션 결과로부터, 기존의 방법들은 영상의 에지영역에서 큰 열화현상을 나타내거나 여전히 많은 잡음을 포함하고 있었다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 에지성분을 보존함과 동시에 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하여, 모든 잡음 영역에서 우수한 성능을 나타내었다. 따라서 제안한 방법은 영상처리를 비롯한 컴퓨터비전의 여러 분야에서 임펄스 잡음을 제거하기 위해 유용하게 적용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] L. Yin, R. Yang, M. Gabbouj, and Y. Neuvo, "Weighted median filters: a tutorial", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 43, pp. 157-192, March 1996.
- [2] S. J. Ko and Y. H. Lee, "Center weighted median filters and their application to image enhancement", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 38, pp. 984-993, Sept. 1991.
- [3] P. S. Windyga, "Fast impulsive noise removal", IEEE Trans. Image Processing, vol. 10, pp. 173-179, Jan. 2001.
- [4] M. Werman and S. Peleg, "Min-max operators in texture analysis", IEEE Trans. PAMI, vol. 7, pp. 730-733, Nov. 1985.