

The effective noise reduction method in infrared image using bilateral filter based on median value

Chan-Geun Park*, Byung-In Choi**

Abstract

In this paper, we propose the bilateral filter based on median value that can reduce random noise and impulse noise with minimal loss of contour information. In general, EO / IR camera to generate a random or impulse noise due to a number of reasons. This noise reduces the performance of detecting and tracking by signal processing. To reduce noise, our proposed bilateral filter sorts the values of the target pixel and the peripheral pixels, and extracts a median filter coefficients of the Gaussian type. Then to extract the Gaussian filter coefficient involved with the distance between the center pixel and the surrounding pixels. As using those filter coefficients, our proposed method can remove the various noise effectively while minimizing the loss of the contour information. To validate our proposed method, we present experimental results for several IR images.

▶ Keyword : Noise reduction, Bilateral filter, Median Filter, Random noise, Impulse noise

1. Introduction

현대사회에서 가시광선이 없는 환경에서 24시간 감시를 위해 열에서 발생하는 적외선을 감지하여 영상으로 보여주는 적외선 카메라를 많이 사용한다. 뿐만 아니라 비접촉 비파괴검사 [1], 의료, 열 측정, 보안감시등 여러 분야에서 적외선 카메라를 사용한다. 이러한 적외선 카메라를 가장 많이 사용하는 곳은 군사 분야[2]이다. 야간에도 감시/정찰을 수행해야하는 군사 분야의 특성상 적외선 카메라는 현대전에서 없어서는 안 될 장비이다. 또한, 적외선 카메라는 빛이 적거나 없는 환경에서 적외선 전파나 기지를 파괴하기 위한 사격통제장비, 육상, 해상 등 여러 환경에서 미사일이나 기타 여러 열원을 표적으로 탐지 추적하는 적외선탐지추적장비[3-4], 레이더로 감지할 수 없는 스텔스전투기 및 적의 미사일을 열원으로 감지하기 위한 장비, 미사일에 탑재되어 적의 기지나 전투기 등을 탐지/추적하여 파괴하기 위한 적외선 Seeker 등 군사 분야 전반에 걸쳐 사용된다.

적외선 카메라는 가시광선 없이도 촬영을 할 수 있기 때문에 일반적인 가시광선 부족 등으로 인한 노이즈는 발생하지 않는

다. 반면 적외선 광량의 부족, 검출기 특성, 장비 시스템특성, 열잡음, 전자적 간섭 등으로 인하여 랜덤 또는 임펄스 형태의 노이즈가 발생한다.

이러한 노이즈는 관측자의 영상 식별 능력을 떨어트리며, 영상 신호처리 결과의 신뢰성을 크게 떨어트리게 된다. 또한, 영상정보를 압축, 전송, 저장을 수행하는데 방해요소가 되어 영상의 품질을 떨어트리게 되기 때문에 노이즈를 줄이기 위해 많은 연구가 진행되고 있다[5].

여러 형태의 노이즈들 중 랜덤노이즈를 줄이기 위해 많이 사용되는 노이즈 제거 기법은 가우시안 필터이다. 가우시안 필터는 영상의 중심 화소를 기준으로 주변 화소들의 거리에 따라 감소하는 가우시안 형태의 필터계수로 가중치 평균하여 대체하는 필터로써 영상 전반에 걸쳐있는 선형적인 노이즈의 영향을 감소시킬 수 있다. 반면 가우시안 필터는 영상의 윤곽선을 흐려지게 하는 영상 블러를 발생시킨다. 또한, 비선형적인 임펄스 노이즈가 존재할 때 노이즈의 영향을 효과적으로 감소시킬 수 없다. 가우시안 필터와 다르게 비선형적인 특정 화소에 발생하는 임펄스 형태의 노이즈 제거에 효과적인 중간 값 필터(Median filter)[6]도 노이즈 제거에 주로 사용된다. 중간 값 필터는 각

• First Author: Chan-Geun Park, Corresponding Author: Byung-In Choi
*Chan-Geun Park (cg09.park@hanwha.com), Electro-Optics Team, Hanwha Systems Co.
**Byung-In Choi (byungin.choi@hanwha.com), Image and Sensor Team, Hanwha Systems Co.
• Received: 2016. 11. 22, Revised: 2016. 11. 28, Accepted: 2016. 12. 06.

화소의 주변 화소들의 중간 값으로 대체하는 필터로서, 임펄스 형태의 노이즈 제거에 매우 효과적이며, 뚜렷한 윤곽선은 어느 정도 보존이 가능하다. 하지만, 가우시안 필터와 마찬가지로 세부적인 윤곽선 정보를 많이 손실하게 된다. 윤곽선 정보를 보존 하면서 노이즈 제거가 가능한 방법으로 대표적인 방법이 양방향 필터(Bilateral filter)[7-10]이다. 양방향 필터는 중심화소와 주변화소의 차이가 큰 윤곽선 부분에서는 작은 필터계수 값을 사용하고 유사한 화소에서는 큰 계수 값을 가져 가우시안 필터가 수행되도록 하여 윤곽선 정보의 손실을 최소화 한다. 하지만 가우시안 필터와 동일한 원리로 노이즈를 제거하기 때문에 임펄스 노이즈에 대한 제거 성능을 떨어질 수 있다. 제안하는 기법에서는 양방향 필터에 중간 값 중심의 가우시안 함수를 적용하여 윤곽선 정보의 손실을 최소화 하면서도 노이즈를 제거 할 수 있다. 본 논문에서는 2장에서 노이즈 제거에 사용되는 대표적인 필터들을 설명하고 이러한 필터들의 단점을 보완할 수 있는 중간 값 기반의 양방향 필터에 대한 기본 개념을 설명한다. 3장에서 제안하는 기법에 대한 실제 적외선 영상에 대한 실험결과를 설명하고 4장에서 결론을 설명한다.

II. The Propose Method

1. 기존 노이즈 제거 필터

1.1 가우시안 필터(Gaussian Filter)

가우시안 필터는 영상의 중심 화소 p 를 기준으로 주변 화소들의 거리에 따라 감소하는 가우시안 형태의 필터계수로 가중치 평균하여 대체하므로, 노이즈의 영향을 감소시킬 수 있다. 아래 식 (1)은 가우시안 필터링 수식을 나타낸다.

$$GF[\hat{I}]_p = \sum_{q \in S} G_{\sigma}(\|p - q\|) \cdot I_q \quad (1)$$

여기에서 G_{σ} 는 2D 가우시안 커널로 아래 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

σ 는 표준편차를 나타내는 것으로서 값이 클수록 주변화소의 값을 많이 반영하여 노이즈의 영향을 줄이기 때문에 노이즈를 줄일 수 있다. 하지만, 표준편차가 클수록 노이즈 감소와 더불어 손실되는 영상의 정보가 많아질 수 있다. 가우시안 필터는 수식(2)대로 2차원의 가우시안 커널을 생성한 다음 생성한 커널을 기준으로 중심 화소 p 와 주변화소 값을 가중치 평균하여 화소 값을 대체하면 되면 랜덤노이즈를 감소시킬 수 있다. 하지만 주변 화소 값이 가중치 평균하게 되기 때문에 윤곽선같이

주변 화소와 중심화소의 값 차이가 큰 경우 윤곽선 화소 값이 크게 변경되기 때문에 윤곽선 정보 값이 손실되어 흐려지게 되는 문제가 발생한다. 반면 윤곽선 정보 값을 손실을 줄이기 위해 표준편차 σ 를 줄이게 되면 노이즈 감소 효과가 줄어들게 된다. 또한, 특정 화소가 주변과 달리 큰 값을 가지는 임펄스노이즈의 경우에는 가중치 평균하더라도 노이즈가 발생한 화소의 값 자체가 크기 때문에 임펄스노이즈를 줄이는 성능은 떨어진 다. 아래 그림 1은 표준편차별 가우시안 필터를 적용했을 때의 예이다.

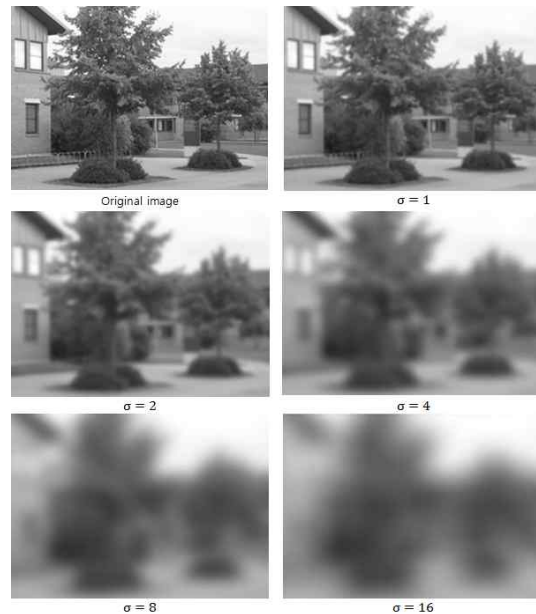


Fig. 1. Gaussian Filter example

1.2 중간 값 필터(Median Filter)

중간 값 필터는 중심화소 값을 중심화소와 중심화소의 주변 화소들의 값을 크기 순서대로 정렬한 후 중간 크기의 값으로 대체하는 필터이다. 중간 값 필터는 주변 화소들의 중간 값으로 대체하기 때문에 화소의 값이 갑자기 큰 값이나 작은 값으로 나타나는 비선형적인 임펄스 노이즈를 줄이는데 효과적이다. 아래 그림 2는 화소들의 값을 정렬하여 중간 값으로 대체하는 방법을 설명한 그림이다.

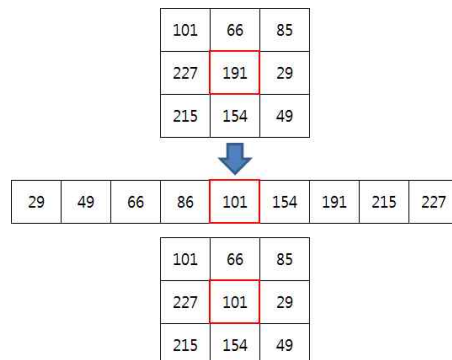


Fig. 2. Median filter application

아래 그림 3은 이러한 중간 값 필터를 실제 영상에 적용한 결과이다.



Fig. 3. Median filter example

중간 값 필터는 위의 그림과 같이 주변화소와의 큰 차이가 발생하는 임펄스 노이즈를 줄이는데 효과적이다. 하지만, 중간 값 필터 역시 몇 가지 단점이 있는데 첫 번째로 임펄스 형태의 노이즈가 연속적으로 여러 개가 발생할 경우 노이즈를 감소하는데 어려움이 있을 수 있다. 이 문제는 마스크의 크기를 늘리면 어느 정도 해소할 수 있지만, 그림 3처럼 마스크의 크기가 커질 경우 노이즈가 아닌 영상정보를 대치시킬 수 있다. 두 번째로 가우시안 필터와 마찬가지로 주변화소와의 값 차이가 큰 윤곽선 정보의 손실을 가져와 윤곽선을 흐려지게 할 수 있기 때문에 세부적인 윤곽선 정보의 보존은 가능하지만 뚜렷한 윤곽선 정보같이 주변화소와의 값 차이가 큰 경우 윤곽선 정보의 손실을 가져올 수 있다.

1.3 양방향 필터(Bilateral Filter)

양방향 필터는 윤곽선을 보존하면서도 노이즈제거를 할 수 있는 비선형 필터이다. 양방향 필터는 일반적으로 중심화소를 중심으로 거리에 따라 가중치 평균하는 가우시안 필터계수와 중심 화소와 주변 화소 값의 차이에 대한 가우시안 형태의 필터계수를 사용하여 필터링을 수행한다.

$$BF[I_p] = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) \cdot G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) \cdot I_q \quad (3)$$

여기서 W_p 는 정규화 인수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_p = \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) \cdot G_{\sigma_r}(I_p - I_q) \quad (4)$$

수식 (3)에서 화소의 거리에 대한 가우시안 필터 계수인 G_{σ_s} 는 일반적인 가우시안 필터를 나타낸다. 또한 화소 값의 차이에 대한 가우시안 필터 계수인 G_{σ_r} 는 중심화소와 주변화소의 차이가 큰 윤곽선 부분에서 작은 필터 계수 값을 가져 윤곽선을 보존하고, 유사한 화소에서는 큰 계수 값을 가져 가우시안 필터링이 수행되도록 계수 값을 조절하는 역할을 한다. 아래 그림 4는 표준편차별 양방향 필터를 적용한 예이다.



Fig. 4. Bilateral filter example

양방향 필터는 윤곽선 정보의 손실을 줄일 수 있지만 주변화소와의 큰 값 차이를 보이는 비선형적인 임펄스 노이즈의 경우에는 필터 계수 값이 작아도 값 차이가 많이 크기 때문에 임펄스 노이즈를 줄이는 성능은 떨어지게 된다.

2. 중간 값 기반 양방향 필터(Median based Bilateral Filter)

제안하고자 하는 기법은 기존의 양방향 필터에 중간 값 중심의 가우시안 함수를 양방향 필터에 적용하여 열상 영상에 주로 발생하는 임펄스 형태의 노이즈 제거 성능을 향상시킬 수 있는 중간 값 기반의 양방향 필터이다. 본 발명은 수식 (4)에 중간 값 중심의 가우시안 함수를 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MBF[I]_p = \frac{1}{W} \sum_{q \in S} MG_{\sigma_m}(I_q) \cdot G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) \cdot I_q \quad (5)$$

여기서 W_p 는 정규화 인수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_p = \sum_{q \in S} MG_{\sigma_m}(I_q) \cdot G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) \quad (6)$$

중간 값 기반의 양방향 필터는 다음의 과정에 의하여 수행될 수 있다.

2.1 중간 값 중심의 가우시안 필터 계수 추출

중간 값 중심의 가우시안 필터 계수를 계산하기 위하여 먼저 해당 화소와 주변 $N \times N$ 화소를 화소 값에 따라 정렬하게 된다. 정렬된 화소들에 대하여 중간 값을 기준으로 아래 수식(7)의 가우시안 함수를 계산한다.

$$MG_{\sigma_m}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{(ON(x) - N^2/2)^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (7)$$

여기서, $ON(x)$ 는 정렬된 화소들의 순서를 나타내고, $N^2/2$ 은 중간 값의 순서를 나타낸다. 아래 그림 5는 3×3 의 화소를 화소 값대로 정렬한 그림이며 그림 6, 7은 일반적인 중간 값 필터에서의 화소 대치와 중간 값 기반의 가우시안 형태의 화소 값 가중치 평균하는 방식을 나타낸 것이다.

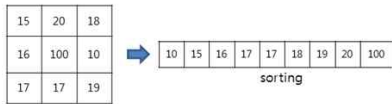


Fig. 5. pixel sorting

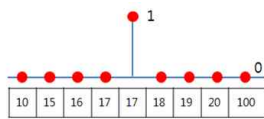


Fig. 6. Typical median filter

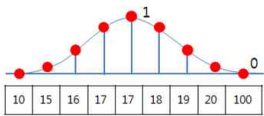


Fig. 7. Median based Gaussian filter

2.2 화소 값 차이에 의한 가우시안 필터 계수 추출

기존 양방향 필터의 화소 값에 대한 가우시안 필터 계수인 G_{σ_r} 를 사용하여 윤곽선을 보존한다. 중간 값 중심의 가우시안 필터 계수를 계산하기 위하여 화소 정렬하기 때문에 중심위치의 화소를 저장한 뒤 정렬된 화소 데이터와의 차를 계산하고, 화소 값 차이에 대한 G_{σ_r} 를 계산한다.

2.3 중간 값 기반 양방향 필터 수행

위에서 구한 2가지 필터 계수를 이용하여 수식(5)를 수행한다. 중간 값 기반 양방향 필터는 모든 화소에 대하여 각각 수행된다. 아래 그림 8은 제안하는 기법의 전체적인 수행 과정을 나타낸다.

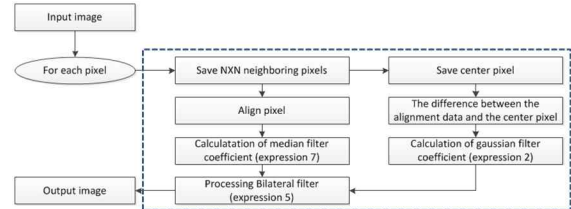


Fig. 8. Whole process of median based bilateral filter

III. Experimental Result

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 비교하기 위해 적외선 카메라 영상에 pepper and salt 노이즈를 추가하여 가우시안 필터, 양방향 필터, 중간 값 중심의 양방향 필터를 적용하여 각각의 영상 결과를 비교하고 필터링 후의 최대신호 대 잡음비 (PSNR) 값을 비교하였다.



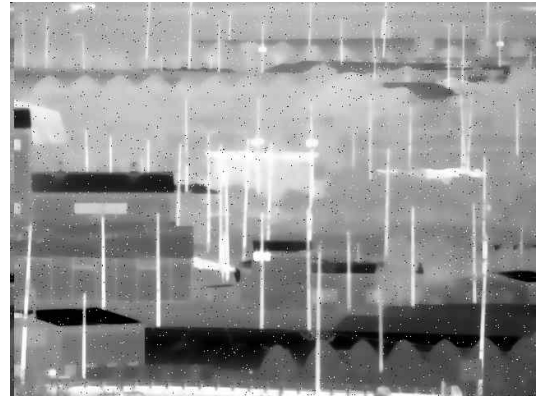
noise added image



Gaussian filter $\sigma_s = 5$



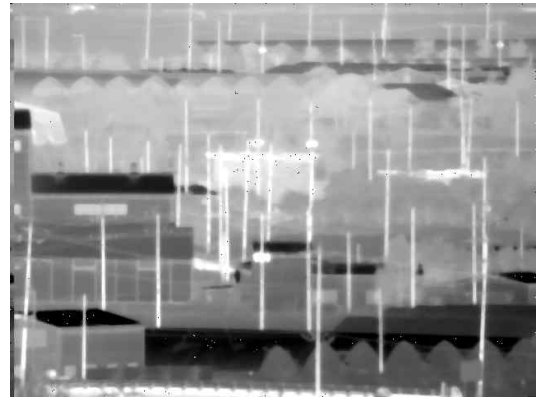
Bilateral filter $\sigma_s = 5, \sigma_r = 17$



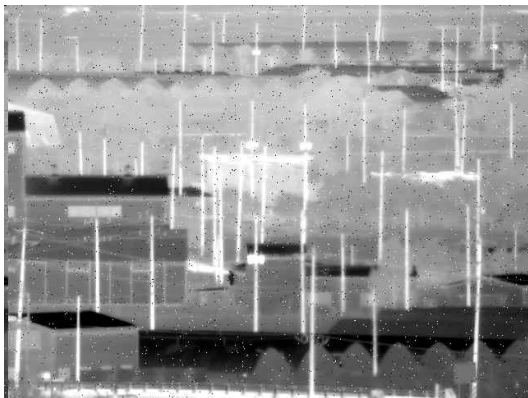
Bilateral filter $\sigma_s = 5, \sigma_r = 17$



Median based bilateral filter $\sigma_m = 1, \sigma_r = 17$
Fig. 9. The experimental result of noise filter



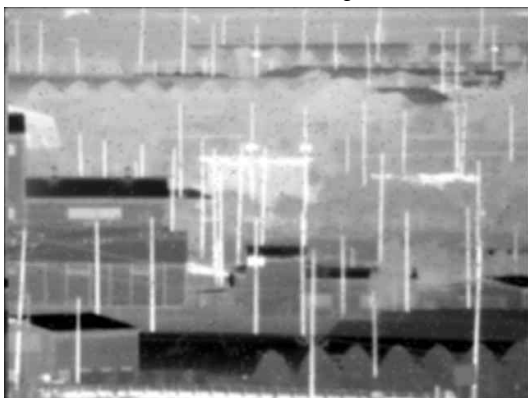
Median based bilateral filter $\sigma_m = 1, \sigma_r = 17$
Fig. 10. The experimental result of noise filter



noise added image



noise added image



Gaussian filter $\sigma_s = 5$



Gaussian filter $\sigma_s = 5$



Bilateral filter $\sigma_s = 5, \sigma_r = 17$



Median based bilateral filter $\sigma_m = 1, \sigma_r = 17$

Fig. 11. The experimental result of noise filter

Table 1. PSNR result of Noise Filter

Item		PSNR(db)
Fig. 10	Gaussian filter	33.7888
	Bilateral filter	27.2131
	Median based bilateral filter	35.7710
Fig. 11	Gaussian filter	31.1931
	Bilateral filter	28.0895
	Median based bilateral filter	32.5270
Fig. 12	Gaussian filter	31.1735
	Bilateral filter	26.8602
	Median based bilateral filter	33.0605

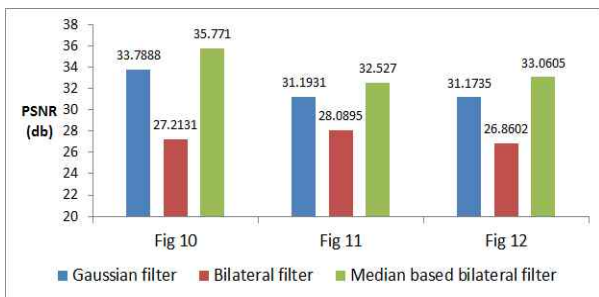


Fig. 12. Graph of filtering result

그림 9, 10, 11은 노이즈가 있는 영상을 각각 가우시안 필터, 양방향 필터, 중간 값 기반 양방향 필터를 적용한 그림이며, 그림 12는 필터를 적용한 PSNR값을 그래프로 도출한 결과이

다. 가우시안 필터를 사용할 경우 영상에서의 노이즈 제거 효과는 뛰어났으며, PSNR 값을 보더라도 노이즈 제거 효과는 뛰어났다. 하지만, 윤곽선 정보 등 영상 정보가 많이 손실 되었으며 임펄스 노이즈가 완전히 제거되지 않은 것을 확인할 수 있다. 양방향 필터의 경우 윤곽선 및 영상 정보의 손실이 적지만 임펄스노이즈의 제거성능이 많이 떨어졌다. 이에 비해 중간 값 기반 양방향 필터의 경우 영상에서의 노이즈 감소 효과가 뛰어났으며 임펄스 노이즈 또한 가우시안필터에 비해 크게 감소하였고 PSNR 또한 가우시안 필터보다 높은 결과를 보였다. 더불어, 제안하는 기법이 기존 기법에 비하여 윤곽선 정보가 훨씬 많이 보존되어 있는 것을 확인하였다.

IV. Conclusions

일반적으로 노이즈 제거에 많이 사용되는 필터는 가우시안 필터, 중간 값 필터, 양방향 필터 등이 있다. 가우시안 필터의 경우 일반적인 랜덤 노이즈의 제거 성능은 뛰어나지만, 윤곽선 등 영상정보 손실이 많은 편이다. 또한, 간헐적으로 영상 정보가 크게 차이나는 임펄스 노이즈의 제거성능은 떨어지는 편이다. 임펄스 노이즈의 경우 중간 값 필터가 효과적이지만 랜덤 노이즈 제거성능이 떨어지며 윤곽선정보의 손실 또한 많은 편이다. 영상정보의 손실을 줄이면서도 노이즈를 제거하기 위한 기법으로 많이 사용되는 것이 양방향 필터이다. 반면 양방향 필터는 임펄스 노이즈의 제거 성능은 중간 값 필터보다 떨어지는 편이다. 본 논문에서는 영상정보의 손실을 줄이면서도 랜덤노이즈와 임펄스노이즈를 효율적으로 감소시키기 위한 기법으로 중간 값 기반 양방향 필터를 제안하였다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 중간 값 기반의 양방향 필터는 여러 노이즈를 효과적으로 줄이면서도 영상 정보의 손실이 적은 편이었다. 반면 중간 값 기반 양방향 필터의 경우 필터에 필요한 계수가 2가지이며 그 중 가우시안 기반의 화소간의 정보 차이에 의한 필터 계수를 계산할 때 주변 화소들을 정렬하여 필터 계수를 계산하는 과정이 더해지기 때문에 가우시안 필터나 양방향 필터에 비해 더 많은 수행시간이 필요하다. 현재 추가적으로 중간 값 기반의 양방향 필터를 효율적으로 적용하여 연산량 및 연산시간을 줄여 실시간 처리가 가능하도록 최적화 연구가 진행 중이다.

REFERENCES

[1] C. Meola, G. M. Carlomagno, A. Squillace and G. Giorleo, "The use of infrared thermography for nondestructive evaluation of joints," Infrared Physics & Technology, Vol. 46, No. 1, pp. 93-99, Dec 2004.

- [2] L. Becker, "Influence of IR sensor technology on the military and civil defense," Proc. of SPIE, Vol. 6127, pp. 61270S-1-61270S-15 February 2006.
- [3] H. B. Srivastava, Y. B. Limbu, R. Saran, and A. Kumar, "Airborne Infrared Search and Track Systems," Journal of defence science, Vol. 57, No. 5, pp. 739-753, Sept 2007.
- [4] Jae-Hyup Kim, Bong-Joon Choi, Seung-Woo Chun, Jong-Min Lee and Young-Shik Moon, "The Target Detection and Classification Method Using SURF Feature Points and Image Displacement in Infrared Image," Journal of KSCI, Vol. 19, No. 11, pp. 43-52, Nov 2014.
- [5] Sang Jun Lee, Seok Hyun Yoo and Kwang-Baek Ki, "Noise Removal using Fuzzy Mask Filter," Journal of KSCI, Vol. 15, No. 11, pp. 41-45, Nov 2010.
- [6] Yong-Whan Lee and Jnag-Chun Park, "A study on the subset averaged median methods for gaussian noise reduction", Journal of KSCI, Vol. 4, No. 2, pp.120-134, Jun 1999.
- [7] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images", Proc. Int. Conf. Computer Vision, pp. 839-846, Jan 1998.
- [8] M. Elad, "On the origin of the bilateral filter and ways to improve it," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 11, No. 10, pp. 1141-1151, October 2002.
- [9] Xu Long and Nam-HO Kim, "An Improved Adaptive Median Filter for Impulse Noise Removal", Journal of KIICE, Vol. 17, No. 4, pp. 989-995, April 2013.
- [10] S. Paris, F. Durand, "A fast approximation of the bilateral filter using a signal processing approach", International Journal of Computer Vision, Vol. 81, No. 1, pp. 24-52, Jan 2009.

Authors



Chan Geun Park received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Ajou University, Korea, in 2009. In 2009, he joined Hanwha-Systems Co., Republic of Korea, and he is currently a researcher.

He is interested in Computer vision, Image processing, Surveillance and Tracking



Byung in Choi received the B.S, Master, and Ph. D. degree in electronic engineering from Hanyang University, Korea in 1989, 1991 and 2004. Since 2008, he has been a chief engineer at Hanwha-Systems Co.

His research interests include image processing, multi-target detection and tracking, pattern recognition, and their applications.