
랜덤 임펄스 잡음제거를 위한 캐스케이드 필터 알고리즘에 관한 연구

Gao Yinyu* · 김남호**

A Study on Cascade Filter Algorithm for Random Valued Impulse Noise Elimination

Gao Yinyu* · Nam-Ho Kim**

요 약

영상신호는 신호를 처리하는 과정에서 다양한 잡음에 의해 훼손되어지며, 이러한 신호를 복원하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 랜덤 임펄스 잡음을 제거하기 위한 캐스케이드 필터 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 잡음검출과 잡음제거 등 두 과정으로 구성되었으며, 잡음검출을 위하여 마스크의 분산과 중앙화소에 의한 분산을 이용하였다. 또한, 잡음신호에 대해서 스위칭 self adaptive weighted median 필터로 처리한 후, 변형된 가중치 알고리즘을 적용하여 제거하였다. 제안한 알고리즘은 잡음신호만을 제거하고 비잡음신호는 그대로 보존하여, 우수한 에지 보존특성 및 잡음제거 능력을 나타내었다.

ABSTRACT

Image signal is corrupted by various noises in image processing, many studies are being accomplished to restore those images. In this paper, we proposed a cascade filter algorithm for removing random valued impulse noise. The algorithm consists two steps that noise detection and noise elimination. Variance of filtering mask and center pixel variance are calculated for noise detection, and the noise pixel is replaced by estimated value which first apply switching self adaptive weighted median filter and finally processed by modified weight filter. Considering the proposed algorithm only remove noise and preserve the uncorrupted information that the algorithm can not only remove noise well but also preserve edge.

키워드

랜덤 임펄스 잡음, 잡음검출, 표준편차, 에지

Key word

Random valued impulse noise, Noise detection, Standard deviation, Edge

* 준회원 : 부경대학교 제어계측공학과

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

접수일자 : 2011. 12. 06

심사완료일자 : 2011. 12. 19

I. 서 론

영상은 형성되고 기록되는 과정에서 시스템 내·외 부적인 원인에 의해 잡음이 발생하고 있으며, 영상의 인지도를 저하시킨다. 영상에 첨가되는 잡음은 발생 원인과 형태에 따라 다양한 종류가 있으나, AWGN (additive white gaussian noise)과 임펄스 잡음이 대표적이다. 따라서 이와 같은 잡음을 제거하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1]. 임펄스 잡음은 salt and pepper 임펄스 잡음과 랜덤 임펄스 잡음으로 나눈다. Salt and pepper 임펄스 잡음은 최소치 혹은 최대치를 가지고 랜덤 임펄스 잡음은 전자와 달리, 최소치와 최대치사이의 임의의 값을 가지게 된다. 그러므로 랜덤 임펄스 잡음제거는 salt and pepper 임펄스 잡음의 제거에 비해 어려우며, 때문에 랜덤 임펄스 잡음제거는 어려운 과제로 남아 있다[1-3].

한편, 랜덤 임펄스 잡음을 제거하기 위하여 많은 기법들이 제안되었고, 가장 기본이 되는 비선형 필터는 SM(standard median) 필터이다. 또한 좀 더 우수한 특성을 얻기 위해, CWM(center weighted median) 필터, 그리고 Z. Zhang과 D. Zhang[4]의 PSM(progressive switching median) 필터 등을 비롯한 다양한 형태의 필터가 고안되었다[1-5]. 공간적인 기법뿐만 아니라 웨브렛의 영역에서 잡음제거의 기법인 VisuShrink 방법도 제안되었다[6]. 이러한 기존의 기법들은 랜덤 임펄스 잡음을 제거함에 있어서 비잡음신호에 대하여서도 필터링의 처리를 거치거나 잡음밀도가 높은 경우, 마스크의 크기를 크게 하기 때문에, 잡음제거성능이 미흡하고 에지를 훼손시키는 등 취약점들을 가지고 있다[7]-[10].

따라서 본 연구에서는 랜덤 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 먼저 잡음신호와 비잡음신호를 분리하고, 잡음신호에 대해서만 제안한 알고리즘을 적용하였다. 제안한 캐스케이드 필터 알고리즘은 스위칭 self adaptive weighted median 필터와 변형된 가중치 알고리즘으로 구성되었다. 제안한 알고리즘은 잡음신호만을 제거하고 비잡음신호는 그대로 보존하여, 우수한 에지 보존특성 및 잡음제거 능력을 가진다.

II. 잡음모델

임펄스 잡음에 의하여 훼손된 영상에서, (i, j) 의 위치에 있는 화소 $X(i, j)$ 는 다음과 같이 표현된다[2].

$$X(i, j) = \begin{cases} R(i, j) & \text{with probability } p \\ K(i, j) & \text{with probability } 1-p \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $K(i, j)$ 는 원 영상의 화소값이고 $R(i, j)$ 는 잡음으로서 n_{\min} 과 n_{\max} 사이의 임의의 값을 가지며, n_{\min} 과 n_{\max} 는 화소들이 가질 수 있는 최소값과 최대값이다. 그리고 p 는 잡음 밀도이다. Salt and pepper 임펄스 잡음은 화소값 n_{\min} 과 n_{\max} 를 가진다. 그러나 랜덤 임펄스 잡음은 n_{\min} 과 n_{\max} 사이의 임의의 값을 가지게 되므로 랜덤 임펄스 잡음을 에지를 보존함과 동시에 효과적으로 잡음을 제거하기 위해서는 잡음신호와 비잡음신호의 판단이 중요하다.

III. 제안한 방법

본 논문에서는 잡음검출과정을 통해 영상에서 랜덤 임펄스 잡음을 검출하도록 하였으며, 필터링 과정에서 잡음신호들에 대해서만 제안한 캐스케이드 필터 알고리즘으로 처리하였다.

3.1. 잡음의 검출

임펄스 잡음을 검출하기 위해, 우선 먼저 다음의 식 (2), (3)과 같이 마스크내의 분산을 구한다.

$$mean = \frac{\sum_{i, j \in W} X(i+p, j+q)}{(2N+1) \times (2N+1)} \quad (2)$$

$$\sigma_m^2 = \left[\frac{1}{Z-1} \sum_{i, j \in W} (X(i+p, j+q) - mean)^2 \right] \quad (3)$$

식으로부터, $mean$ 은 마스크에서 화소들의 평균이고, σ_m^2 은 마스크의 분산이며, W 는 마스크를 나타낸다. Z 의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이며, N 은 정수이다. 그리고 (p, q) 는 처리 마스크 내부의 좌표이다.

다음 중앙화소 분산을 식 (4)과 같이 정의한다.

$$\sigma_f^2 = \left[\frac{1}{Z-1} \sum_{i,j \in W} (X(i+p,j+q) - X(i,j))^2 \right] \quad (4)$$

만약 σ_m^2 와 σ_f^2 가 다음의 관계식 (5)를 만족할 경우, 임펄스 잡음인 것으로 간주하고, 그렇지 않은 경우에는 비잡음신호로 판단된다.

$$\sigma_f^2 > \alpha \times \sigma_m^2 \quad (5)$$

위의 조건으로부터 α 는 파라미터이며, 잡음검출의 정확성을 결정하며 α 가 0.01~0.1일 때, 우수한 처리특성을 나타내었다.

3.2. 잡음의 제거

잡음검출 과정을 거친 후, 그 결과에 따라 잡음을 먼저 스위칭 self adaptive weighted median 필터를 이용하여 처리한 후, 변형된 가중치 필터로 제거한다.

A. 스위칭 self adaptive weighted median 필터

우선 먼저, 3×3 마스크의 중앙화소와 수평, 수직, 대각선, 역 대각선 방향에 있는 화소들을 이용하여 다음의 식 (6)과 같이 m_h, m_v, m_{md}, m_{ad} 를 구한다.

$$\begin{cases} m_h = |2X(i,j) - X(i,j-1) - X(i,j+1)| \\ m_v = |2X(i,j) - X(i-1,j) - X(i+1,j)| \\ m_{md} = |2X(i,j) - X(i-1,j-1) - X(i+1,j+1)| \\ m_{ad} = |2X(i,j) - X(i+1,j-1) - X(i-1,j+1)| \end{cases} \quad (6)$$

다음, m_h, m_v, m_{md}, m_{ad} 를 정렬한 후, 중간값을 찾으며 그 값을 m_{med} 라고 정의한다. 만약 m_{med} 가 임계값 T 보다 클 경우, self adaptive weighted median 필터를 적용하고, 그렇지 않을 경우에는 원래의 값을 보존한다. T 가 큰 값을 가지면 영상을 스무딩시키고, 작은 값일 경우, 잡음제거 성능은 우수하나 에지를 훼손시킨다. 임계값으로서 T 가 50~100일 때 가장 적합하였다. 그리고 self adaptive weighted median 필터의 가중치를 구하기 위해, 식 (7)과 (8)과 같은 과정을 거친다.

$$M = \text{median}\{X(i+p,j+q)\} \quad (7)$$

$$f = \sum_{p=-Nq=-N}^N \sum_{q=-N}^N \frac{1}{1 + [X(i+p,j+q) - M]^2} \quad (8)$$

위의 식으로부터 $\text{median}\{\cdot\}$ 는 중간값 선택 연산자를 나타낸다. 적응 가중치 $w(i+p,j+q)$ 는 식 (9)와 같이 구해진다.

$$w(i+p,j+q) = \frac{1}{1 + [X(i+p,j+q) - M]^2 \times f} \quad (9)$$

이때, 출력값은 식 (10)과 같이 얻어진다.

$$S_a(i,j) = \sum_{p=-Nq=-N}^N \sum_{q=-N}^N X(i+p,j+q) \times w(i+p,j+q) \quad (10)$$

최종적으로, 출력화소값 $Y_s(i,j)$ 는 다음과 같다.

$$Y_s(i,j) = \begin{cases} S_a(i,j) & \text{if } m_{med} > T \\ X(i,j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

B. 변형된 가중치 필터

스위칭 self adaptive weighted median 필터로 처리한 후, 공간 가중치와 intensity 가중치로 이루어진 변형된 가중치 필터를 적용하여 잡음신호를 제거한다. 공간 가중치는 중앙화소와 마스크내의 주위 화소사이의 거리에 의하여 결정되며, 다음의 식 (12)와 같다.

$$W_s(\theta_x, \theta_y) = \exp \left[- \frac{|(\theta_x - i) + (\theta_y - j)|^2}{2\sigma_s^2} \right] \quad (12)$$

여기서 W_s 는 공간 가중치이고, (θ_x, θ_y) 는 마스크내의 화소들의 위치를 나타내고 (i,j) 는 중심화소의 위치를 나타내며, σ_s 는 식의 파라미터이고 1~5사이의 값을 사용하였다.

Intensity 가중치는 두 가지 종류로 나누고, 마스크내의 중간값을 이용하여 구한 값과 self adaptive weighted median 필터를 이용하여 구한 값으로 얻을 수 있다.

$$W_{im}(\theta_x, \theta_y) = \exp\left[-\frac{|X(\theta_x, \theta_y) - M|^2}{2\sigma_{im}^2}\right] \quad (13)$$

$$W_{iy}(\theta_x, \theta_y) = \exp\left[-\frac{|X(\theta_x, \theta_y) - Y_s|^2}{2\sigma_{iy}^2}\right] \quad (14)$$

식으로부터 σ_{im} 와 σ_{iy} 는 두 가중치 function의 파라미터들이며, 각각 10~20, 15~30사이의 값을 사용하였다. Intensity 가중치의 종류에 따라 제안한 가중치의 값은 다음과 같이 나눌 수 있다.

$$W_{p1}(\theta_x, \theta_y) = W_s(\theta_x, \theta_y) \times W_{im}(\theta_x, \theta_y) \quad (15)$$

$$W_{p2}(\theta_x, \theta_y) = W_s(\theta_x, \theta_y) \times W_{iy}(\theta_x, \theta_y) \quad (16)$$

따라서 두 가중치를 적용하여 구한 값 $P_1(i, j)$ 와 $P_2(i, j)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$P_1(i, j) = \frac{\sum_{(\theta_x, \theta_y) \in W} W_{p1}(\theta_x, \theta_y) \times X(i, j)}{\sum_{(\theta_x, \theta_y) \in W} W_{p1}(\theta_x, \theta_y)} \quad (17)$$

$$P_2(i, j) = \frac{\sum_{(\theta_x, \theta_y) \in W} W_{p2}(\theta_x, \theta_y) \times X(i, j)}{\sum_{(\theta_x, \theta_y) \in W} W_{p2}(\theta_x, \theta_y)} \quad (18)$$

출력영상의 $Y(i, j)$ 은 식 (17)과 식 (18)의 합성 결과로 표현되며, 아래와 같이 계산된다.

$$Y(i, j) = (1-n) \times P_1 + n \times P_2 \quad (19)$$

식 (19)에서 n 은 balancing 가중치이고 값의 범위는 $0 \leq n \leq 1$ 이다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘의 잡음제거 성능을 평가하기 위해, 그림 1의 512×512 크기의 8 비트 그레이

영상 Girl과 Goldhill에 대해 시뮬레이션하였다.



(a) (b)
그림 1. 테스트 원 영상
(a) Girl (b) Goldhill
Fig. 1 The original test images.
(a) Girl (b) Goldhill

또한 영상의 개선 정도를 가능하기 위해, PSNR(peak signal noise ratio)를 이용하여 크기가 3×3 인 마스크를 적용한 기존의 잡음제거방법인 SM[2], CWM[3], PSM[4] 과 hard thresholding 함수를 이용한 VisuShrink[6] 등 방법들과 성능을 비교하였다. PSNR은 다음 식 (20)과 같이 정리된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2 \times R \times C}{\sum_{i,j} O(i,j) - Y(i,j)} \right] \quad (20)$$

여기서 R, C 는 이미지의 가로, 세로크기를 나타내며, $O(i, j)$ 는 원 영상의 각 화소값, $Y(i, j)$ 는 출력영상의 각 화소값을 나타낸다.

그리고 에지보존특성을 평가하기 위해, 시뮬레이션 결과로 차영상을 도입하였다. 본 논문에서의 차영상 ΔY 는 처리된 결과 영상과 원 영상의 차의 절대치에 10 배를 곱한 결과이며, 다음의 식 (21)과 같이 표현된다.

$$\Delta Y(i, j) = 10 \times |Y(i, j) - O(i, j)| \quad (21)$$

그림 2와 3은 각각 Girl 영상과 Goldhill 영상에 랜덤 임펄스 잡음 40%를 첨가하였을 때, 기존의 필터와 제안한 필터의 시뮬레이션결과이다. 그림에서 (a)는 랜덤 임펄스 잡음(40%)에 의하여 훼손된 영상이고, (b)와 (c)는 각 기존의 CWM(C=5, 3×3), PSM 필터의 처리 결과이며, (d)는 제안한 필터로 처리한 결과이다. 시뮬레이션결과

로부터 CWM 필터는 잡음제거 및 에지보존 특성이 미흡하였고, PSM 필터는 에지보존 특성이 우수한데 반해, 잡음제거 성능이 미흡하였으며, 제안된 필터는 우수한 임펄스 잡음제거 특성을 나타내었다.

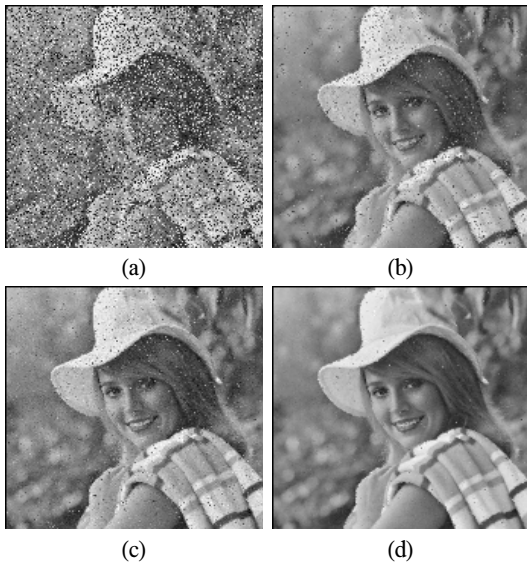


그림 2. Girl 영상에 대한 시뮬레이션결과
 (a) 노이즈 이미지(랜덤 임펄스 잡음 40%)
 (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) 제안된 필터
 Fig. 2 Simulation result of Girl image.
 (a) Noisy image(random impulse noise 40%)
 (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) Proposed filter

그러나 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 알고리즘이 다소 복잡하고 처리 시간이 다소 긴 단점은 있다. 그림 4와 5는 각 방법으로 처리된 영상 Girl과 Goldhill의 차영상을 10배를 곱한 결과로서, 그림에서 (a)는 잡음영상, (b)는 CWM 필터, (c)는 PSM 필터, (d)는 본 논문에서 제안한 필터로 처리한 결과이다. 차영상의 결과로부터, 기존의 방법들은 영상의 에지 부분에서 큰 오차를 나타내어 밝고 선명하였으며, 제안한 방법은 상대적으로 어두운 영상을 나타냄으로서, 에지보존특성이 우수하였다.

표 1은 Girl 영상과 Goldhill 영상에서 랜덤 임펄스 잡음밀도의 크기변화에 따른 기존의 필터들과 제안한 필터로 처리한 후의 PSNR를 나타낸 것이다. 표의 결과로부터, 제안한 방법으로 복원한 영상은 기존의 방법들에 비해 우수한 PSNR 특성을 보였다. 그리고 제안한 방법은 랜덤 임펄스 잡음 40%를 중첩한 Girl 영상에서 PSNR은 30.51dB로서, 기존의 VisuS, CWM, SM, PSM에 비해 각각 9.25dB, 5.71dB, 5.35dB, 4.70dB 개선되었다.

표 1. Girl 영상과 Goldhill 영상에 대한 각 잡음제거 방법의 PSNR[dB]
 Table. 1 PSNR[dB] obtained by different denoising methods applied on Girl and Goldhill image.

Test image	Noise density	VisuShrink	CWM	SM	PSM	Proposed
Girl	20%	23.93	32.89	32.63	32.59	34.72
	30%	22.88	29.19	29.06	29.17	32.99
	40%	21.26	24.80	25.16	25.81	30.51
	50%	19.95	21.13	21.86	22.65	27.67
	60%	18.51	18.42	19.16	19.87	24.43
Goldhill	20%	22.48	29.87	29.79	30.71	31.42
	30%	21.41	26.99	26.95	27.62	30.14
	40%	20.00	23.39	23.86	24.74	28.27
	50%	18.80	20.29	22.39	21.85	26.13
	60%	17.51	17.61	19.61	19.07	23.43

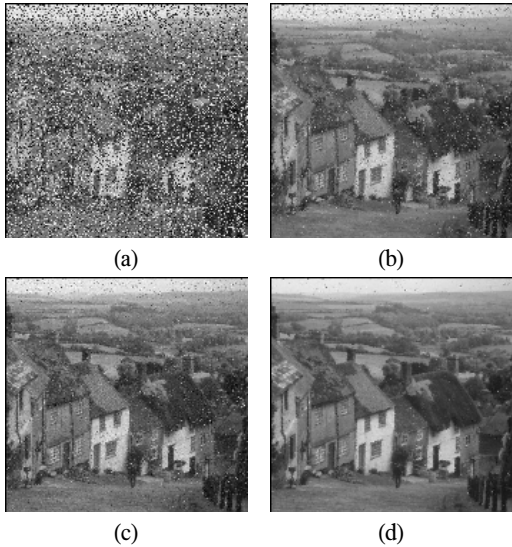


그림 3. Goldhill 영상에 대한 시뮬레이션결과
 (a) 노이지 이미지(랜덤 임펄스 잡음 40%) (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) 제안된 필터
 Fig. 3 Simulation result of Goldhill image.
 (a) Noisy image(random impulse noise 40%)
 (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) Proposed filter

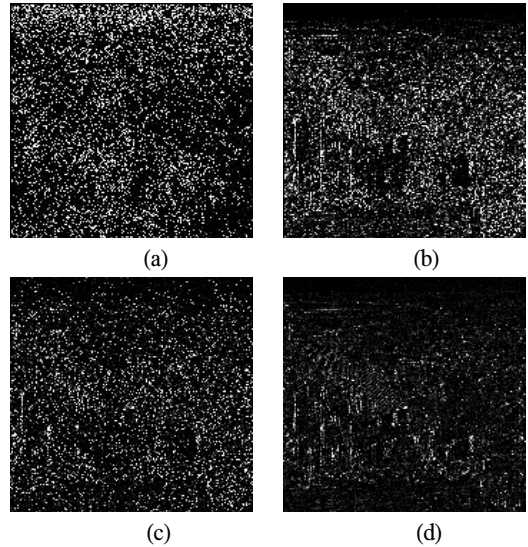


그림 5. Goldhill 차영상(×10)의 결과
 (a) 노이지 이미지(랜덤 임펄스 잡음 40%) (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) 제안된 필터
 Fig. 5 Result of Goldhill difference image(×10).
 (a) Noisy image(random impulse noise 40%)
 (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) Proposed filter

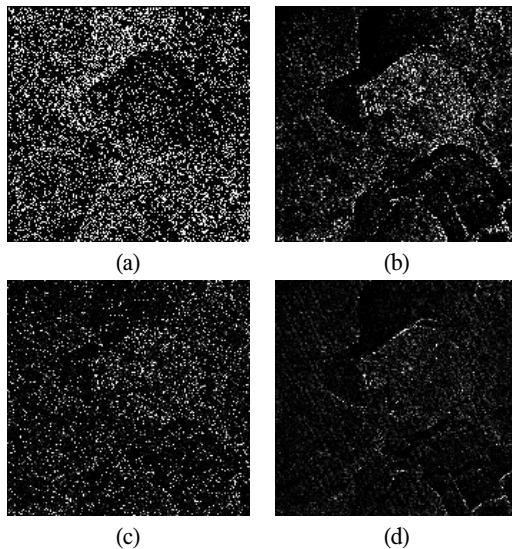


그림 4. Girl 차영상(×10)의 결과
 (a) 노이지 이미지(랜덤 임펄스 잡음 40%) (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) 제안된 필터
 Fig. 4 Result of Girl difference image(×10).
 (a) Noisy image(random impulse noise 40%)
 (b) CWM(C=5, 3×3) (c) PSM (d) Proposed filter

V. 결 론

본 논문에서는 랜덤 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 먼저 잡음판단 과정을 거쳐 잡음신호와 비잡음신호를 분리하고, 잡음신호에 대해서만 제안한 알고리즘을 적용하였다. 제안한 캐스케이드 알고리즘은 스위칭 self adaptive weighted median 필터와 변형된 가중치 알고리즘으로 구성되었다. 시뮬레이션결과, 제안된 필터는 랜덤 임펄스 잡음 환경에서 잡음제거 성능에서 기존의 필터들보다 우수한 결과를 나타내었고, 에지 성분에 대한 보존 특성도 우수하였다. 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 알고리즘이 다소 복잡하고 처리 시간이 다소 긴 단점은 있으나, 영상의 에지보존 및 잡음제거 측면에서 우수한 특성을 나타냄에 따라, 임펄스 잡음환경에서 운용되고 있는 영상처리 시스템에서 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Eds., *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2007.
- [2] Y. Gao and Nam-Ho Kim, "A Study on Image Restoration Algorithm in Random-valued Impulse Noise Environment", *International Journal of KIMICS*, vol. 9, No. 3, pp. 331-335, June 2011.
- [3] Y. Gao and Nam-Ho Kim, "Restoration of Images Contaminated by Mixed Gaussian and Impulse Noise using a Complex Method", *International Journal of KIMICS*, vol. 9, No. 3, pp. 336-340, June 2011.
- [4] Z. Wang and D. Zhang, "Progressive switching median filter for the removal of impulse noise", *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 46(1), pp. 78 - 80, 1999.
- [5] C. Tomasi, R Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images", in *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision*, 1998, pp. 839-846, 1998.
- [6] Donoho, D. L. and Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage", *Technical Report, Department of Statistics, Stanford University*, Tentatively, 1992.
- [7] S Paris, P Komprobst, J. Tumblin and F. Durand, "A Gentle Introduction to Bilateral Filtering and its Applications", *ACM SIGGRAPH 2008 Classes*, 2008.
- [8] Wei Zhang, Fei Yu and Hong-mi Guo, "Improved adaptive wavelet threshold for image denoising", *Control and Decision Conference*, pp. 5958-5963, 2009.
- [9] Fabijanska A and Sankowski D, "Noise adaptive switching median based filter for impulse noise removal from extremely corrupted images", *Image Processing, IET*, vol. 5, pp. 472-480, 2011.
- [10] H. Hwang and R. A. Haddad "Adaptive median filters: New algorithms and results", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 4, pp.499-506, 1995.

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