적외선 영상의 Salt-Pepper 잡음제거를 위한 적응 비선형 필터

論 文
55D-9-6

Adaptive Nonlinear Filter for Removal of Salt-Pepper Noise in Infrared Image

李 在 一*·金 成 煥†
(Lee Je-Il · Kim Sung-Hwan)

Abstract - In this paper, detection based - adaptive windowed nonlinear filter(DB-AWNF) is proposed for removing salt-pepper noise in infrared image. This filter is composed of impulse detector and window-size-variable median filters. Impulse detector checks whether current pixel is impulse or not using range function and nonlinear location estimator. If impulse is detected, current pixel is filtered according to four kinds of local masks by use of median filter. If not, current pixel is delivered to output like identity filter. In qualitative view, the proposed could have removed heavy corrupted noise up to 30 % and reserved the details of image. In quantitative view, PSNR was measured. The proposed could have about 12 - 31[dB] more improved performance than those of median (3×3) filter and 13 - 29[dB] more improved performance than those of median(5×5) filter.

Key Words : Noise Removal, Impulse Detector, Nonlinear Location Estimator

1. 서 론

적외선 영상시스템을 탑재한 군용 무기체계들은 운용 특성상 혹독한 환경에 수시로 노출되며, 이로 인해 시스템 성능에 직접 또는 간접적으로 위협을 받는 경우가 상당하다. 이러한 환경 인자들로는 고, 저온의 극심한 주변온도 변화나 큰 에너지의 진동, 충격, 적대적 혹은 우발적인 전자전(electronic warfare) 환경, 유해한 EMI/EMC 환경 등이 있는데, 이들은 적외선 영상을 사용하는 무기체계에 오동작을 유발시키거나, 성능규격 이상의 잡음을 발생시키는 주된 원인으로 분석되고 있다. 적외선 영상을 훼손시키는 잡음 발생현상은 정확한 영상획득 및 정보해석을 불가능하게 만들거나, 후처리 영상 알고리즘을 무력화시키기도 하는 등, 군용 무기체계 임무수행에 상당한 저해 가능성을 내재하고 있어, 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있는 상황이다.

적외선 영상은 기존 가시광 영상에 비하여 대조비가 낮고 검출기 불균일 보상(non-uniformity correction) 뒤에 잔여 고정잡음(residual fixed noise)이 상존하는 특징을 가지는데[1], 여기에 적외선 영상에 가장 손상을 많이 주는 잡음 중 하나인 salt-pepper 잡음이 영상을 훼손시킬 때는 영상의 질이 급격히 저하되어 시각적 관측이나 후처리가 매우 어렵게 된다. 이러한 잡음을 제거하기 위해 지금까지 여러 필터가 제안되었지만[2] 이들 대부분은 가시광 영상을 대상으로 개발된 알고리즘들이어서 적외선 영상 처리에서는 상대적으로 효과가 저하된다. 또한 대부분의 알고리즘들은 영상내 임의의 화소가 잡음에 훼손된 여부에 무관하게, 전체 영상에 대해 획일화된 필터링 처리를 수행하므로, 훼손되지 않은 화소까지 제거하는 부작용도 유발해 잡음제거 효과를 더욱 저하시키게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 DB-AWNF (detection based - adaptive windowed nonlinear filter)를 제안하였다. 제안된 DB-AWNF는 비선형 위치 추정기(nonlinear location estimator)를 근간으로 하는 충격잡음 검출기(impulse detection processor)를 채택하여 충격잡음을 검출하고, 검출된 정보를 기반으로 국부 윈도우(local window) 크기를 적응적으로 가변시키며 중앙값(median) 필터링 또는 동형(identity)필터링을 수행하는 복합구조를 가지고 있다.

2. DB-AWNF 필터의 제안

2.1 Salt-pepper 잡음모델

Salt-pepper 잡음에 오염된 영상은 일반적으로 식 (1)로 모델링할 수 있다[2].

$$x(m,n)=\begin{cases} s(m,n) & : \text{발생확률} \quad 1-(\pi_1+\pi_2) \\ s_{\max} & : \text{발생확률} \quad \pi_1 \\ s_{\min} & : \text{발생확률} \quad \pi_2 \end{cases} \tag{1}$$

여기서 $s(m,n)$은 잡음오염 안된 신호성분이고 $x(m,n)$은 salt-pepper 잡음에 오염된 영상신호이다. $s_{\max}$는 π_1의 발생확률을 가지는 신호 동영역의 최대값이고, $s_{\min}$은 π_2 의 발생확률을 가지는 신호 동영역의 최소값이다.

† 교신저자, 正會員 : 서울시립대 전자전기컴퓨터공학부
E-mail : shkim1@uos.ac.kr
* 正 會 員 : 국방과학연구소
接受日字 : 2006年 6月 15日
最終完了 : 2006年 7月 31日

2.2 DB-AWNF 필터

제안된 필터의 기능구조는 그림 1과 같다. 제안된 필터의 동작을 두 부분으로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 현재 화소값이 충격잡음인지를 검사하는 충격잡음 검출기가 있다. 두 번째는 충격잡음 검출기에서 충격잡음을 검출하면, 결과에 따라 유클리디언 거리(Euclidean distance)에 의해 정의된 4 종류의 마스크를 우선순위에 따라 차례로 적용하며 중앙값 필터링을 수행하는 기능부가 있다. 이때 현재 화소가 충격잡음이 아니면 동형필터(identity filter)를 써서 현재 화소 값을 출력값으로 결정하게 된다.

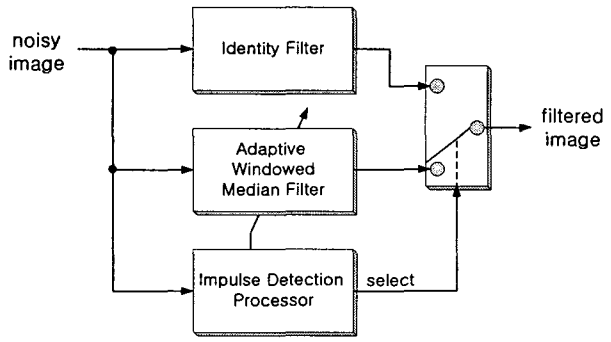

그림 1 제안된 DB-AWNF 필터의 기능구조
Fig. 1 Functional structure of the proposed DB-AWNF

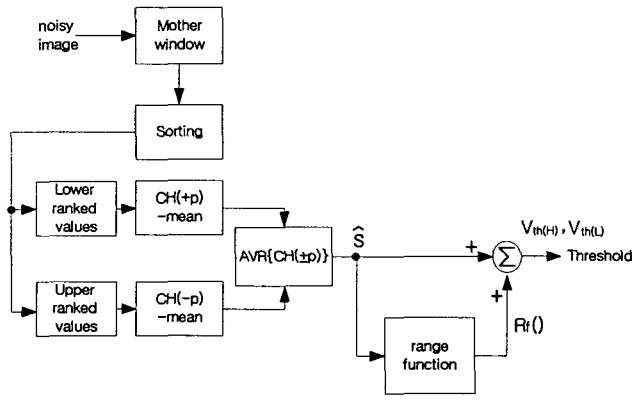

그림 2 제안된 충격잡음 검출기 구조
Fig. 2 Structure of the proposed impulse detector

먼저, 충격잡음 검출기 구조를 그림 2에 나타내었다. 충격잡음 검출기는 범위함수(range function)와 문턱치(threshold) 추정으로 구성되는데, 범위함수는 비선형 위치추정기(non-linear location estimator)인 CH($\pm p$)-mean 추정기(Contra-Harmonic-mean)를 근간으로 원 신호위치와 문턱치 범위를 추정한다. 그리고 이 범위함수 추정치와 CH($\pm p$)-mean 추정값으로 충격잡음 판별 문턱치를 결정한다. CH($\pm p$)-mean 추정기는 기존의 다른 위치추정기보다도 충격잡음에 매우 강건한 특성을 가지고 있는데, p값에 따라 약 90% 수준의 충격잡음 오염에도 우수한 위치 추정이 가능한 장점이 있다[3]. CH($\pm p$)-mean 추정시 사용하는 데이터는 그림 3의 형상을 기준윈도우로 설정하고 이 데이터를 먼저 오름차순 정렬(ascending sort)한 후 적용하였다. 데이터 정렬은 positive 충격잡음을 정렬메모리의 상측으로 천이시키고, negative 충격잡음은 정렬메모리의 하측으로 천이시켜 각각을 영역 분리시키는 역할을 한다. 여기서, CH(p)-mean의 p값은 충격잡음 오염정도와 신호추정 성능을 감안하여 각각 ±3으로 설정하였으며, CH(p=-3)-mean 추정값인 $\widehat{s_L}$과 CH(p=3)-mean 추정값인 $\widehat{s_H}$, 그리고 이들의 평균치인 $\hat{s}$ 을 식 (2) - (4)에 나타내었다. positive 충격잡음을 고려한 상측범위함수(upper range function) $R_{fH}(a, \hat{s})$와 negative 충격잡음을 고려한 하측범위함수(lower range function) $R_{fL}(a, \hat{s})$는 식 (5)에 나타내었다. 초기 범위설정 기본값 D_p와 D_n은 실험적으로 결정하여 $s_{max}/4$로 설정하였다. 사용자 설정상수 α 값은 1.0 - 2.0 범위에서 신호특성에 따라 가변시킬 수 있으며, 본 논문에서는 1.0을 적용하였다.

그리고 positive 충격잡음에 대한 상측문턱치(upper threshold) $V_{th(H)}$는 식 (6)에, negative 충격잡음에 대한 하측문턱치(lower threshold) $V_{th(L)}$는 식 (7)에 나타내었다. 여기서 $\lfloor\ \rfloor$는 floor 연산자이고 $\lceil\ \rceil$ ceiling 연산자이다. 식 (8)은 식 (6), (7)의 문턱치들에 대해 동적범위를 벗어나는 경계조건을 검사한 후 최종 처리토록 한 것이다.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}
X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}

그림 3 CH($\pm p$)-mean 추정시 사용한 기준윈도우
Fig. 3 Mother window for estimating CH($\pm p$)-mean

$$\widehat{s_L} = \frac{\sum_{i=1}^{(n+1)/2} x_{(i)}^{(p+1)}}{\sum_{i=1}^{(n+1)/2} x_{(i)}^{p}} \tag{2}$$

$$\widehat{s_H} = \frac{\sum_{i=(n+1)/2}^{n} x_{(i)}^{(p+1)}}{\sum_{i=(n+1)/2}^{n} x_{(i)}^{p}} \tag{3}$$

$$\hat{s} = \frac{(\widehat{s_L} + \widehat{s_H})}{2} \tag{4}$$

여기서, n=25, $x_{(i)}$ = sorted values of x_i data 이다.

$$
\begin{cases}
i)\ 0 \le \hat{s} \le P_n: \\
\quad R_{fH}(\alpha, \hat{s}) = L_p \\
\quad R_{fL}(\alpha, \hat{s}) = \left(\dfrac{-L_n}{P_n+1} \right) \cdot \hat{s} \\
ii)\ P_n+1 \le \hat{s} \le P_p: \\
\quad R_{fH}(\alpha, \hat{s}) = L_p \\
\quad R_{fL}(\alpha, \hat{s}) = -L_n \\
iii)\ P_p+1 \le \hat{s} \le s_{\max}: \\
\quad R_{fH}(\alpha, \hat{s}) = \left(\dfrac{-L_p}{s_{\max}-P_p-1} \right) \cdot \hat{s} + s_{\max} + 1 \\
\quad R_{fL}(\alpha, \hat{s}) = -L_n
\end{cases} \tag{5}
$$

여기서, $L_p = \alpha \cdot D_p$, $L_n = \alpha \cdot D_n$, $P_p = s_{\max} - L_p$, α = user adjustable scaling constant(; 1.0 ~ 2.0) 이다.

$$V_{t\,h(H)} = \lfloor \hat{s} + R_{fH}(\alpha, \hat{s}) \rfloor \tag{6}$$

$$V_{t\,h(L)} = \lceil \hat{s} + R_{fL}(\alpha, \hat{s}) \rceil \tag{7}$$

$$
\begin{cases}
i)\ (V_{t\,h(L)}; V_{t\,h(H)}) \le s_{\min}: \\
\quad V_{t\,h(L)} = V_{t\,h(H)} = s_{\min} + 1 \\
ii)\ s_{\min}+1 \le (V_{t\,h(L)}; V_{t\,h(H)}) \le s_{\max}-1: \\
\quad V_{t\,h(L)} = V_{t\,h(L)} \\
\quad V_{t\,h(H)} = V_{t\,h(H)} \\
iii)\ s_{\max} \le (V_{t\,h(L)}; V_{t\,h(H)}): \\
\quad V_{t\,h(L)} = V_{t\,h(H)} = s_{\max} + 1
\end{cases} \tag{8}
$$

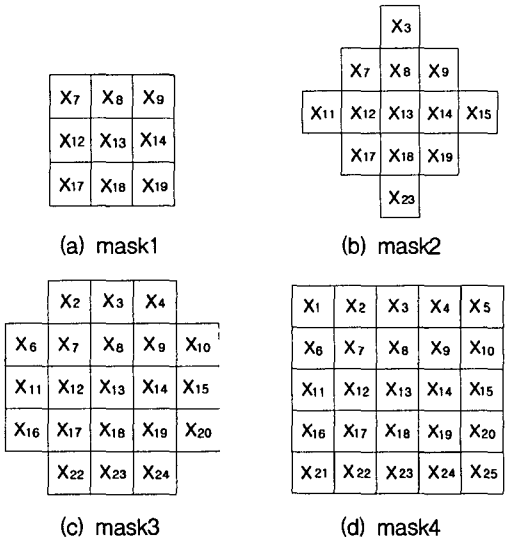

그림 4 중앙값 필터링에 사용하는 4 종류 마스크
Fig. 4 Four kinds of masks used in median filtering

두 번째로 필터링 처리부는, 기능적으로 가변윈도우 중앙값필터와 동형필터로 구성된 복합필터 구조를 가진다. 현재 화소가 충격잡음인 경우 그림 4의 마스크를 우선순위에 따라 적용하여 중앙값 필터링을 수행한다. 우선순위는 mask1> mask2>mask3>mask4 순이며, 이들은 중앙 화소값을 중심으로 유클리디언 거리가 순서적으로 1.4, 2.0, 2.2, 2.8이다. mask1이 제일 먼저 적용되어 중앙값 필터링이 수행되고 필터 출력값을 재차 문턱치와 비교한다. 이때, 필터출력이 문턱치보다 크면 필터출력을 충격잡음으로 판정하고, 다음 순서의 mask2로 동일 과정을 수행한다. 계속해서 필터출력이 문턱치보다 크면 이와 같은 방식으로 mask4까지 진행한다.

만약, 필터 출력값이 문턱치 보다 작으면, 현 위치에서의 필터 최종 출력값으로 결정하고, 다음 화소로 이동하여 상기의 과정을 반복 수행한다. 이상의 과정을 순서흐름도로 작성하여 그림 5에 나타내었다.

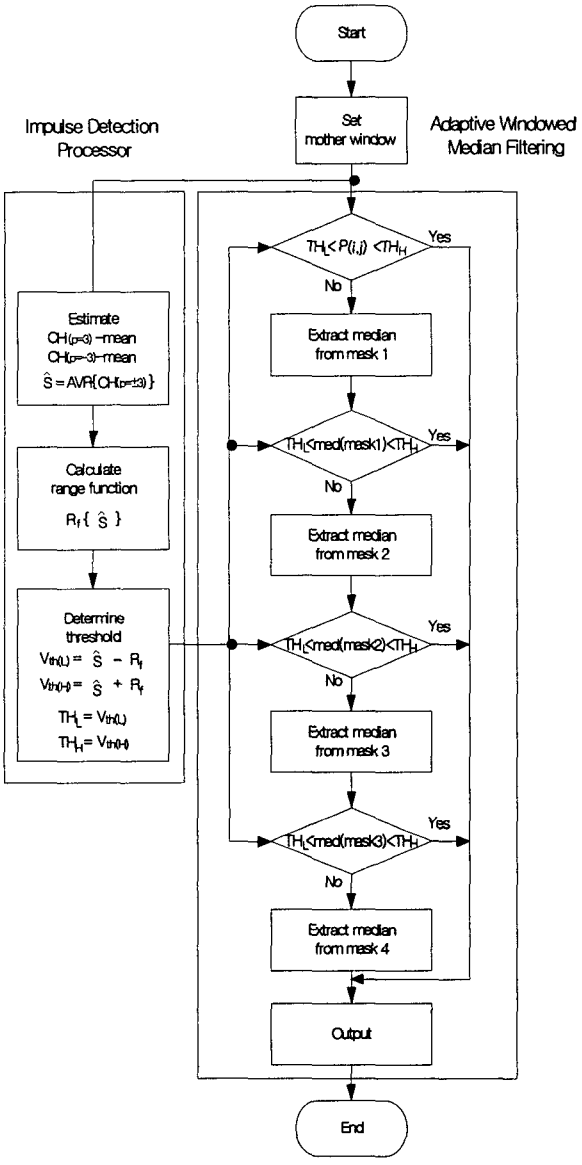

그림 5 DB-AWNF 필터링 순서흐름도
Fig. 5 Filtering flow diagram of DB-AWNF

3. 모의실험 및 성능평가

제안된 필터 성능을 비교 평가하기 위해 3종류의 영상을 대상으로 30%의 과중한 수준까지 salt-pepper 잡음으로 오염시켜 실험영상으로 사용하였다. 실험영상은 크기가 256×256 이고 8비트 해상도를 가지는 적외선 영상이다[4]. 첫 번째 실험영상인 "plane"영상을 30% 잡음오염 시켰을 때, 제안된 필터와 가시광 영상에 대해 성능이 우수한 6종의 필터로 처리한 결과를 그림 6(CWM: center weighted median, SD-ROM: signal dependent rank ordered mean)에 나타내었다. 각 필터들의 결과를 정성적 측면에서 고찰하면, 기존의 필터들 중 fuzzy 필터가 에지성분과 같은 영상세부(details) 정보를 가장 잘 보존하였으나 비행기 동체와 꼬리의 밝은 신호영역에서 잔여잡음이 관측되었다. 중앙값(5×5) 필터나, CWM 필터는 잔여잡음이 없이 잡음제거가 잘 되었으나, 이들 필터의 특성상 잡음오염이 안된 영상정보도 획일적으로 필터링하는 구조로 인해 에지성분에 blurring 현상이 발생하였다. 이 외에 SD-ROM 필터와 같이 정도에 따라 영상의 세부정보를 잘 보존한 필터링 결과도 있으나 모두 잔여잡음과 함께 에지 blurring 현상이 잔존하고 있다.

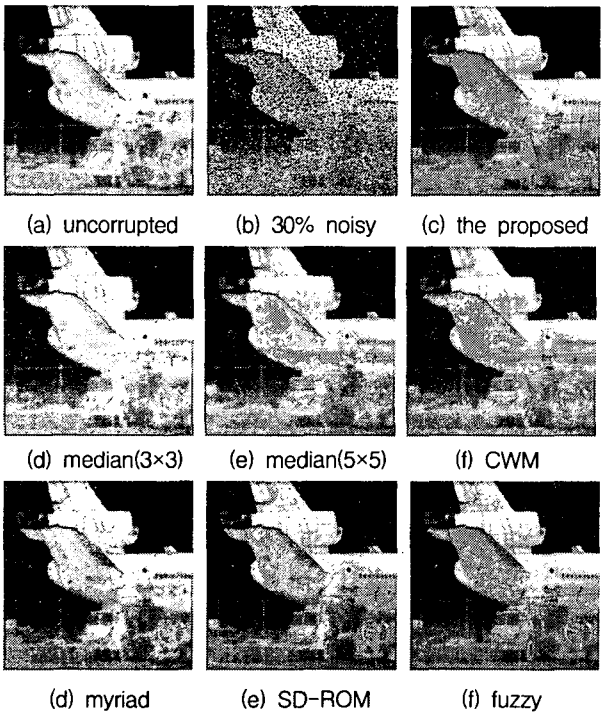

그림 6 제안된 DB-AWNF 필터와 6종 필터간의 잡음제거 결과(plain 영상)

Fig. 6 Filtering results of the proposed DB-AWNF and 6 kinds of other filters(for plane image)

정량적 측면에서 성능비교를 위해 PSNR(peak-to-peak signal to noise ratio)을 도입하여 잡음오염 5 - 30%에 대해 6종의 필터와 성능비교를 수행하였다. PSNR 정의는 식 (9)에 나타내었으며, 성능비교 결과는 그래프로 작성하여 그림 7에 나타내었다. 여기서, $s_{i,j}$는 잡음없는 원영상이고, $y_{i,j}$ 는 필터링된 결과 영상이다. 5% 잡음오염 경우에서 fuzzy 필터가 제안된 필터와 동등수준의 성능을 보인 것 외에는, 모든 실험영역에서 제안된 DB-AWNF 필터가 더 높은 PSNR 결과를 보였다. 제안된 필터를 영상 세부정보 보존이 우수한 median(3×3)과 비교할 때, 약 13 - 31[dB] 더 우수한 결과를 보였으며, 잡음제거 특성이 우수한 중앙값 필터(5×5) 보다는 약 18 - 25[dB]가 더 우수한 잡음제거 성능을 보였다.

$$PSNR = 10 \log \frac{M_1 M_2 (s_{\max} - s_{\min})^2}{\sum_{i=0}^{M_1-1} \sum_{j=0}^{M_2-1} (s_{i,j} - y_{i,j})^2} \quad (9)$$

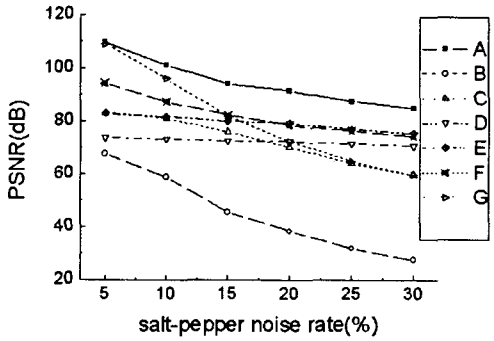

그림 7 제안된 DB-AWNF 필터와 6종 필터간의 PSNR 비교; A: the proposed, B: median(3×3), C: median (5×5), D: CWM, E: myriad, F: SD-ROM, G: fuzzy

Fig. 7 Comparison of PSNR between the proposed DB-AWNF and 6 kinds of other filters

두 번째 실험영상인 "house"영상에 대해서도 그림 6의 경우와 같은 실험을 수행하여 결과를 그림 8에 나타내었으며 PSNR은 그림 9에 나타내었다. 정성적인 면에서, 중앙값(3×3) 필터, myriad 필터, SD-ROM 필터는 성능의 한계를 보이며 잡음이 잔존하는 상태를 보였으며, 중앙값(5×5) 필터와 CWM 필터는 획일적으로 필터링하는 구조로 인해 에지성분 및 상세 영상정보가 함께 제거되어 blurring 현상이 발생하였다. 반면 제안된 필터는 salt-pepper 잡음을 모두 제거하였으며, 영상의 상세정보와 함께 에지정보 보존 성능이 우수함을 보였다. PSNR 값의 경우, 제안된 필터는 median(3×3)과 비교할 때, 약 12 - 18[dB] 더 우수한 결과를 보였으며, 중앙값 필터(5×5) 보다는 약 13 - 28[dB]가 더 우수한 잡음제거 성능을 보였다. 다른 4종의 필터들에 대해서도 제안된 필터의 PSNR이 더 큰 값을 유지하여 필터링 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

세 번째 실험영상인 "man-and-car"영상에 대해서도 그림 6의 경우와 같은 실험을 수행하여 결과를 그림 10에 나타내었었으며 PSNR은 그림 11에 나타내었다. 이 경우도, 중앙값(3×3) 필터, myriad 필터, SD-ROM 필터 역시, 성능의 한계를 보이며 잔여 salt-pepper 잡음이 존재하였다. 중앙값(5×5) 필터와 CWM 필터에서도 영상 우측상단의 벽돌벽 부분과 같은 상세정보가 함께 제거되어 blurring 현상이 발생하였다. 반면 제안된 필터는 salt-pepper 잡음을 모두 제거하고 영상의 상세정보와 함께 에지정보 보존 성능이 우수하였다.

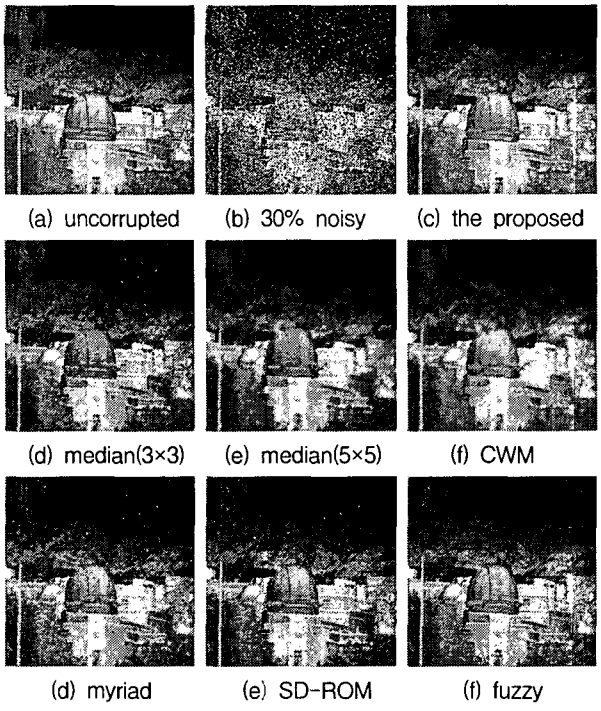

그림 8 제안된 DB-AWNF 필터와 6종 필터간의 잡음제거 결과(house 영상)

Fig. 8 Filtering results of the proposed DB-AWNF and 6 kinds of other filters(for house image)

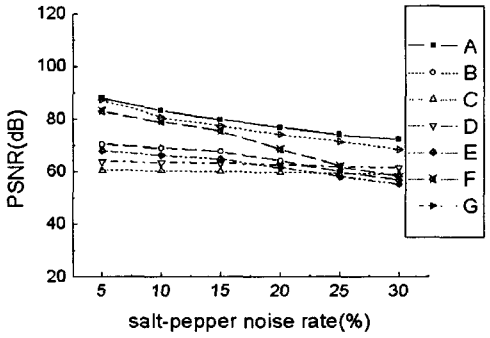

그림 9 House 영상에 대한 PSNR 비교; A: the proposed, B: median(3×3), C: median(5×5), D: CWM, E: myriad, F: SD-ROM, G: fuzzy

Fig. 9 PSNR comparison for house image

PSNR 값의 경우, 제안된 필터는 중앙값(3×3) 필터와 비교할 때, 약 13 - 28[dB] 더 우수한 결과를 보였으며, 중앙값 필터(5×5) 보다는 약 13 - 29[dB]가 더 우수한 잡음제거 성능을 보였다. 5% 잡음오염 경우에서 fuzzy 필터가 제안된 필터와 동등수준의 성능을 보인 것 외에는, 모든 실험영역에서 제안된 DB-AWNF 필터가 더 높은 PSNR 결과를 보였다.

3종류의 실험영상과 30% 까지의 과중한 잡음오염에 대해, 정성적인 면과 정량적인 면에서 영상의 에지 및 세부정보 보존은 물론 충분한 잡음제거 성능을 보임으로서 본 논문에서 제안된 필터의 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

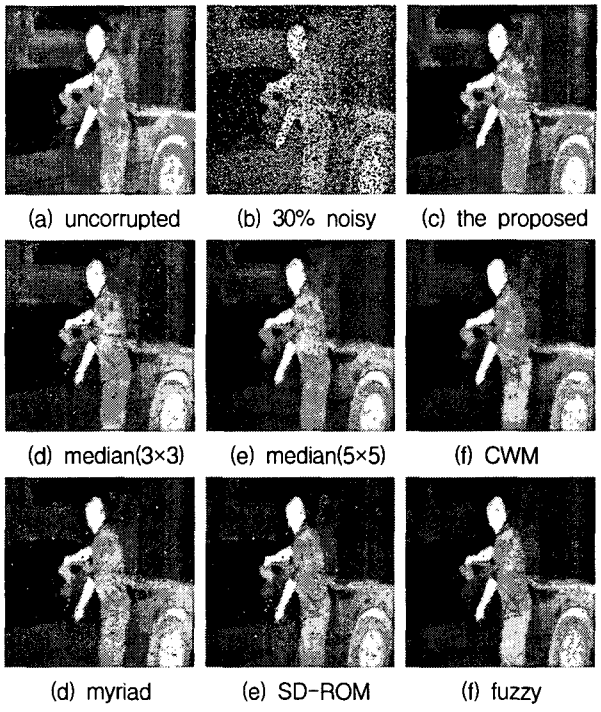

그림 10 제안된 DB-AWNF 필터와 6종 필터간의 잡음제거 결과(man-and-car 영상)

Fig. 10 Filtering results of the proposed DB-AWNF and 6 kinds of other filters(for man-and-car image)

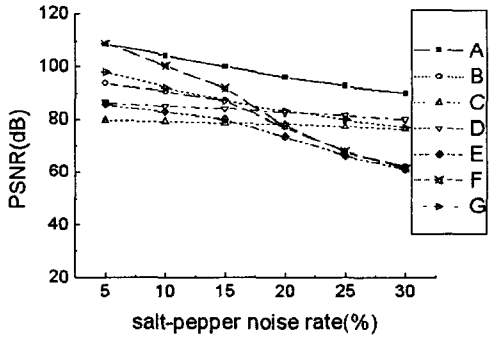

그림 11 Man-and-car 영상에 대한 PSNR 비교; A: the proposed, B: median(3×3), C: median(5×5), D: CWM, E: myriad, F: SD-ROM, G: fuzzy

Fig. 11 PSNR comparison for man-and-car image

4. 결 론

본 논문에서는 비선형 위치추정기를 근간으로 하는 충격잡음 검출기를 설계하여 salt-pepper 충격잡음을 검출하고, 검출된 정보를 기반으로 국부윈도우크기를 적응적으로 가변시켜 중앙값 필터링을 수행하는 적응 비선형필터를 제안하였다. 가시광 영상에서 성능이 입증된 기존의 6종 필터에 대해 성능비교를 수행하였다. 정성적인 필터링 비교 결과인 그림 6, 그림 8, 그림 10과 정량적인 PSNR 비교인 그림 7, 그림 9, 그림 11의 결과로부터, 제안된 필터가 이들 필터보다 잡음제거 성능이 더 우수함을 확인하였다. 정성적인 면에선, 기존

필터들은 잡음을 충분히 제거하지 못하거나, 영상 세부정보를 추가로 훼손하는 blurring 부작용이 발생한 반면, 제안된 필터는 잡음오염 정도가 큰 30% 수준까지도 충분한 잡음제거 성능과 함께 영상세부 정보를 더 잘 보존 하는 것을 확인할 수 있었다. PSNR 비교의 한 예로, 영상 세부정보 보존이 우수한 중앙값(3×3) 필터와 비교할 때, 약 12 - 31[dB]가 더 우수하였으며, 잡음제거 특성이 우수한 중앙값(5×5) 필터보다는 약 13 - 29[dB]가 더 우수한 결과를 얻었다. 제안된 필터는 영상획득후 운용자의 사전 검열에 의한 off-line 전처리에서 유용할 것으로 판단되며, 고속의 내장형(embedded) 시스템에 적용시 pseudo-real-time 처리도 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 이재일, 지준근, 윤재룡 "적외선 열상시스템의 내부온도 변화특성을 고려한 새로운 NUC 방법의 제안과 H/W 구현", 한국물리학회 새물리, 4호, 제 11권, pp. 269-274, 2000. 10.

[2] Ioannis Pitas. Anastasios N, Venetsanopoulos, "Nonlinear digital filters", second edition, Kluwer Academy Publishers, 1990.

[3] Ioannis Pitas. Anastasios N, Venetsanopoulos, "Nonlinear mean filters in image processing", IEEE Trans. ASSP, vol. 34, no. 3, pp. 573-584, June 1986.

[4] M. Ibrahim Sezen, A. Murat Tekalp, "Survey of recent developments in digital image restoration", Optical Engineering, vol. 29, no. 5, pp. 393-404, May 1990.

[5] M. Ibrahim Sezen, Brian J. Thomson, "Selected papers on digital image restoration", SPIE, 1992.

[6] Ioannis Pitas. Anastasios N, Venetsanopoulos, "Nonlinear digital signal/image processing : overview and perspectives", IEEE Winter Workshop, Nonlinear Digital Signal Processing,, pp. T_1.1-T_1.8, 1993.

[7] Lin Yin, Ruikang Yang, Moncef Gabbouj, Yrjo Neuvo, "Weighted median filters : A tutorial", IEEE Trans. "Circuit and Systems II : Analog and Digital Signal Processing", vol. 43, no. 3, March 1996.

[8] Peter D. Wendt, Edward J. Coyle, Neal C. Gallagher Jr., "Stack filter", IEEE Trans. ASSP, vol. 34, no. 4, pp. 898-911, Dec. 1986.

[9] Gonzalo R. Arce, Juan G. Gonzalez, Peter Zurbach, "Weighted myriad filters in imaging", IEEE Signals, Systems and Computers Conference, vol. 2, pp. 1024-1028, Nov. 1996.

[10] Fabrizio Russo, Giovanni Ramponi, "A fuzzy filter for images corrupted by impulse noise", IEEE Signal Processing Letters, vol. 3, no. 6, June 1996.

저 자 소 개

이 재 일 (李 在 一)

1968년 8월 28일 생. 1994년 서울산업대학교 전자공학과 졸업. 1996년 서울시립대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996년~현재 국방과학연구소 선임연구원.

E-mail : jerryjeil@dreamwiz.com

김 성 환 (金 成 煥)

1952년 6월 12일 생. 1975년 2월 연세대 전기공학과 졸업. 1980년 2월 동 대학원 전기공학과(공학박사). 1977~1982년 대전 기계창. 1982년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 교수.

E-mail : shkim1@uos.ac.kr