

영상신호에서의 복합 잡음 제거를 위한 수정된 적응 MMSE 필터링에 관한 연구

A Study on the Modified Adaptive MMSE Filtering for Mixed-Noise Elimination in Image Signals

이 재 일*, 김 성 환**
(Je Il Lee*, Sung Hwan Kim**)

요 약

영상이 복합잡음으로 오염된 경우, 기존의 MMSE 필터는 임펄스 잡음의 부근에서 최소평균오차의 추정 편이가 발생하여, 이러한 잡음을 적절히 제거하지 못하게 된다. 본 논문에서는, 이러한 잡음제거를 위하여 MMSE 필터의 구조에 방향성에 따른 다중 윈도우링과 차순 필터링 기법을 결합시켜 새로운 필터링 방법을 제안하였다. 결과적으로 정량적인 방법인 NMSE 측정으로 기존의 MMSE 필터보다 9.7-35.2배의 향상된 영상을 얻었고, 시각적인 면과 정량적인 관점에서도 향상된 영상을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In the case of an image corrupted with mixed noise, conventional MMSE filter can not remove such a mixed noise properly, because the impulse noise causes a certain bias of the minimum mean-square error estimate at regions close to outliers. In this paper, we proposed the new method of removal of mixed noise by combining MMSE filtering structure with local multi-windowing method according to directions and with ranked-order method. As a result, the improvement of the image quality with the proposed was obtained between about 9.7 and 35.2 times in the sense of NMSE(normalized mean square errors) evaluation than that of MMSE filter. Also, we could obtain the enhanced image in the mixed noisy image from visual and quantitative aspect.

I. 서 론

영상처리의 여러 응용분야들 가운데서 가장 중요한 문제 중 하나는 영상으로부터 잡음을 제거하는 것이다. 일반적으로 영상을 오염시키는 잡음들은 영상 데이터를 획득할 때나 전송하는 과정에서 주로 발생하게 되며, 이것은 시각적으로 영상의 질을 저하시키는 주원인이 되고 있다¹⁻³.

LEE⁴는 영상의 국부적 통계량(local statistics)을 이용하여 최소평균제곱오차의 관점에서 적응적으로 잡음을 제거하는 선형 적응 MMSE(linear adaptive minimum mean-square error)필터를 제안하였다. 이 기법은 잡음의 분산값과 영상의 국부적 분산값을 이용하여 그 필터링 처리

를 결정하는 방법으로서, 부가적 균일 분포형 잡음(additive uniform distributed noise) 혹은 부가적 가우시안 분포형 잡음(additive Gaussian distributed noise)을 제거하는데 우수한 성능을 가지고 있다. 그러나, 이러한 잡음들과 함께 임펄스 잡음(impulse noise)이 영상을 오염시켰을 때, 즉 복합잡음(mixed noise)이 영상을 오염시켰을 때에는 임펄스 잡음이 입력 영상 신호의 국부적 평균값과 분산값 추정을 편이(bias)시키는 영향을 미치기 때문에 복합잡음을 거의 제거하지 못하는 취약점을 가지고 있다⁵.

본 연구에서는 이러한 복합잡음을 효과적으로 제거하기 위하여, 선형 적응 MMSE 필터의 구조에, 방향성에 따른 다중 윈도우링 (multiwindowing) 기법과 임펄스 잡음 제거에 뛰어난 성능을 가지는 비선형 필터인 차순 (rank-order) 필터링 기법을 결합하여 보다 향상된 잡음제거 필터링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 여러 형태의 복합잡음 영상에 대해 실험하여, 시각적인 면과 정량적인 면에서 비교 평가를 하였다.

*국방과학연구소

Agency For Defence Development

**서울시립대학교 전자공학과

Department of Electronic Engineering, Seoul City University

접수일자: 1996년 5월 16일

II. 선형 적응 MMSE 필터

LEE¹⁾는 국부적 평균값과 분산값을 이용하여 최소평균제곱오차 관점에서, 신호를 추정하는 MMSE 필터를 제안하였는데 이는 다음과 같다.

먼저, 임의의 한 화소의 샘플 평균과 분산은 그 화소를 둘러싸고 있는 고정된 근방 화소들에 대한 국부적 평균 그리고 분산과 같다는 기본적인 가정을 한다. $N \times N$ 크기의 2차원 영상에서 임의의 화소 (i, j) 의 밝기의 세기를 $s_{i,j}$ 라하고, 국부적 평균과 분산은 $(2n+1) \times (2m+1)$ 원도우 내의 화소값들에 대하여 계산된다. 국부적 평균(local mean)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$m_{i,j} = \frac{1}{N_T} \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} s_{k,l} \quad (2.9)$$

여기서, $N_T = (2n+1)(2m+1)$ 이고, 식(1)과 유사하게, 국부적 분산(local variance)은 다음과 같이 정의된다.

$$v_{i,j} = \frac{1}{N_T} \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} (s_{k,l} - m_{i,j})^2 \quad (2.10)$$

또한, 영상 신호 $s_{i,j}$ 에 대하여 백색 잡음(white noise)이 부가적으로 영상을 오염시켰을 때, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{i,j} = s_{i,j} + n_{i,j} \quad (2.11)$$

여기서, $s_{i,j}$ 는 원래의 영상 신호, $n_{i,j}$ 는 $E[n_{i,j}] = 0$, $E[n_{i,j}n_{k,l}] = \sigma_n^2 \delta_{i,k} \delta_{j,l}$ 이고, 통계적으로 독립인 백색 부가 잡음이다. $\delta_{i,k}$ 는 Kronecker delta 함수이고 E 는 기대값 연산자이다. 오염된 신호 $x_{i,j}$ 와 잡음의 통계적 특성이 주어질 때, 식(2.11)으로부터

$$\begin{aligned} \bar{s}_{i,j} &\equiv E[s_{i,j}] = E[x_{i,j}] \\ &= \bar{x}_{i,j} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} Q_{i,j} &\equiv E[(s_{i,j} - \bar{s}_{i,j})^2] \\ &= E[(x_{i,j} - \bar{x}_{i,j})^2] - \sigma_n^2 \end{aligned} \quad (2.13)$$

으로 놓을 수 있다. $s_{i,j}$ 에 대한 사전(a priori) 평균값과 분산값을 $\bar{s}_{i,j}$ 와 $Q_{i,j}$ 로 정의할 때, 이 값들은 식(2.12)과 식(2.13)로부터 국부적 평균과 분산값으로 근사화될 수 있다. 이러한 가정 하에서, 평균제곱오차를 최소화하므로써 MMSE 필터링 알고리즘을 얻을 수 있다. 이로부터, 추정값 $\hat{s}_{i,j}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{s}_{i,j} \equiv \bar{s}_{i,j} + k_{i,j}(x_{i,j} - \bar{s}_{i,j}) \quad (2.14)$$

$$k_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{Q_{i,j} + \sigma_n^2} \quad (2.15)$$

여기서, $k_{i,j}$ 는 이득이고, 식(2.14)은 결국 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{s}_{i,j} = (1 - k_{i,j})\bar{s}_{i,j} + k_{i,j}x_{i,j} \quad (2.16)$$

$Q_{i,j}$ 와 σ_n^2 는 둘 다 양수이므로, $k_{i,j}$ 는 0과 1 사이에 존재하게 된다. 이득값의 변화에 따른 필터링 과정을 살펴보면, 신호 대 잡음비가 낮은 영역에서는 $Q_{i,j}$ 가 σ_n^2 보다 작으므로 $k_{i,j} \approx 0$ 이 되어 추정값은 $\hat{s}_{i,j} \approx \bar{s}_{i,j}$ 으로 근사화된다. 이와 반대로, 신호 대 잡음비가 높은 영역에서는 $Q_{i,j}$ 가 σ_n^2 보다 매우 큰 값을 가지므로, $k_{i,j} \approx 1$ 이 되어 추정값은 $\hat{s}_{i,j} \approx x_{i,j}$ 으로 근사화된다. 이처럼 영상의 국부적 통계 특성에 의해 결정되는 이득값의 변화에 따라, 적응적으로 필터링 처리가 이루어지므로 향상된 결과를 얻을 수 있다.

그러나, 이 MMSE 필터링은 영상에 가우시안 잡음과 임펄스 잡음 혹은 균일 분포 잡음과 임펄스 잡음이 함께 존재하는 복합잡음의 경우에, 그 잡음을 거의 제거하지 못하는 단점이 있다. 이것은 임펄스 잡음이 MMSE 필터링 과정의 적응 인자값인 국부적 평균과 국부적 분산에 대한 적절한 추정을 편이시켜, 전체적인 필터링과정에 영향을 끼치기 때문이다²⁾.

III. 수정 적응 MMSE 필터의 제안

복합잡음으로 오염된 영상신호는 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$x_{i,j} = \begin{cases} s_{i,j} + n_{i,j} & : \text{with the prob. } 1 - (\pi_1 + \pi_2) \\ x_{\max} & : \text{with the prob. } \pi_1 \\ x_{\min} & : \text{with the prob. } \pi_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

여기서, $s_{i,j}$ 는 원 영상, $n_{i,j}$ 는 평균이 0이고 균일 분포 혹은 가우시안 분포를 갖는 통계적으로 독립인 백색 랜덤잡음이다. x_{\max} 는 π_1 의 발생 확률을 가지는 영상 화소의 동적 범위(dynamic range)내에서 최대값이다. x_{\min} 는 π_2 의 발생 확률을 가지는 영상 화소의 동적 범위 내에서 최소값이다.

본 연구에서는, 복합잡음 제거를 위해 방향성에 따른 다중 윈도우와 차순 통계학에 근간을 둔 비선형 필터링 기법을 MMSE 필터 구조와 결합시켜, 다음과 같은 새로운 방법을 제시하였다.

먼저, 5×5 크기의 기준 윈도우(base window) W_B 를 설정하고, 이 내부에서 다시 9 방향성에 따라서 상관성이 큰 화소들에 대해 3×3 크기의 부 윈도우(sub-window) W_i ($i=1, 2, 3, \dots, 9$)를 정의하며, 이들 윈도우는 그림1과 같다. 그리고 이들 부 윈도우 W_i 내의 데이터에 대해 오름차순으로 정렬하면 식(3.2)과 같이 나타낼 수 있으며,

여기서 각각 중앙값, x_k 과 이 보다 한 차순 큰 값, x_{k+1} 그리고 이 보다 한 차순 작은 값, x_{k-1} 들을 추출하여 새로운 샘플들의 집합, S_D 인 식(3.3)을 얻을 수 있다. 여기서, m 은 부 윈도우의 번호이고, n 은 차순 정렬된 번호이다. 이것은 일종의 차순 필터링 방법으로서¹⁶⁾, 임펄스 잡음을 제거하는 효과와 함께 다음 단계에서 좀 더 적절한 국부적 평균과 분산값 추정을 위한, 충분한 샘플값들을 확보할 수 있는 장점이 있다.

$$W_i = \{x_{k-4}, x_{k-3}, x_{k-2}, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, x_{k+3}, x_{k+4}\} \quad (i=1, 2, 3, \dots, 9) \quad (3.2)$$

$$S_D = \{x_{m,n} | m=1, 2, 3, \dots, 9; n=k-1, k, k+1\} \quad (3.3)$$

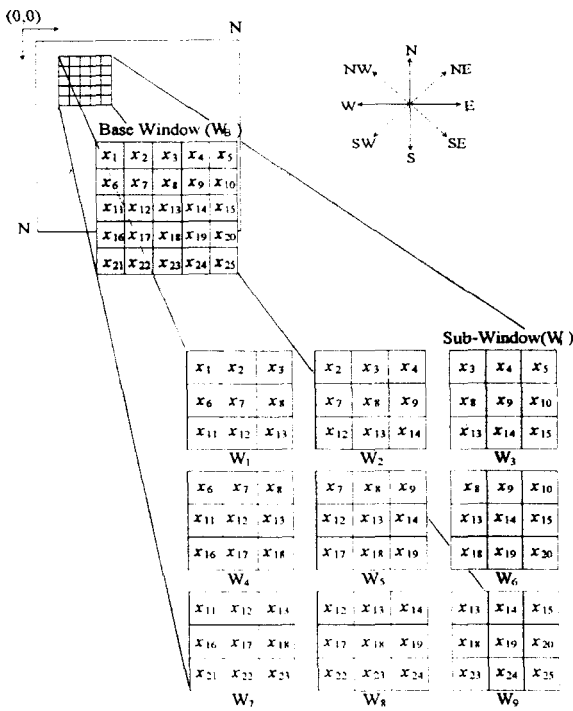


그림 1. 기준 윈도우 W_B 와 부 윈도우 W_i ($i=1, 2, 3, \dots, 9$)
Fig 1. Base-window W_B and Sub-window W_i ($i=1, 2, 3, \dots, 9$)

이렇게 얻어진 샘플 집합 S_D 의 데이터에 대해, 식(2.9), (2.10)를 사용하여 수정된 국부적 평균값 \bar{s}_M 과 분산값 Q_M 을 추정하고, 수정된 이득값 $K_{i,j}$ 를 식(3.4)과 같이 얻게 된다. 이것은 아직 남아 있는 균일 분포 잡음 또는 가우시안 분포 잡음의 제거를 위한 근사적인 국부적 통계량의 추정이다. 그리고, 식(3.5)과 같이 부윈도우 W_2, W_4, W_5, W_6, W_8 로부터 각각 중앙값(median)을 추출하고, 이 추출된 값들을 정렬후 재차 중앙값, x_{MED} 을 추출하여 식(2.16)의 $x_{i,j}$ 대신 대치한다. 이것은 기준 윈도우가 신호 대 잡음비가 높은 영역에 위치했을 때, 향상된 잡음 제거 및 경

계선(edge) 보존 효과를 얻기 위한 것이다^{17), 18)}. $MED\{\cdot\}$ 은 중앙값 추출 연산자이다. 이렇게 해서, 제안된 알고리즘의 최종 형태는 식(3-6)과 같이 얻어지며 $\hat{S}_{i,j}$ 는 제안된 알고리즘에 의해 복원된 영상이다.

$$K_{i,j} = \frac{Q_M}{Q_M + \sigma_n^2} \quad (3.4)$$

$$x_{MED} = MED\{x_{m,n} | m=2, 4, 5, 6, 8; n=k\} \quad (3.5)$$

$$\hat{S}_{i,j} = (1 - K_{i,j})\bar{s}_M + K_{i,j}(x_{MED}) \quad (i, j=1, 2, 3, \dots, N) \quad (3.6)$$

IV. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는, 실험 영상을 크기가 256×256 이고 8 비트, 256 농담 레벨(grey level)을 가지는 그림2(a)의 Tiffany 영상을 사용하였다.

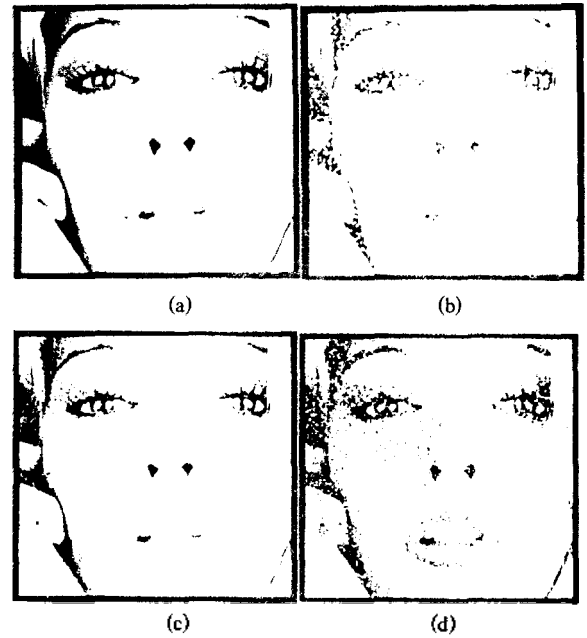


그림 2. 실험 영상의 예: (a)원영상; (b)가우시안 잡음과 positive 임펄스 잡음으로 오염된 영상 (c) (d)가우시안 잡음과 negative 임펄스 잡음으로 오염된 영상 (d)가우시안 잡음과 salt & pepper 잡음으로 오염된 영상

Fig. 2. Examples of experimental image: (a)original image (b) contaminated image with Gaussian + positive impulse noise (c)contaminated image with Gaussian + negative impulse noise (d)contaminated image with Gaussian + salt & pepper noise

Tiffany 영상에 분산이 100, 200인 가우시안 분포 잡음 혹은 균일 분포 잡음을 부가하고, 여기에 다시 임펄스 잡음을 3%에서 8%의 범위로 오염시켜 실험 영상 데이터로 사용하였다.

여기서, 그림2(b)은 분산이 200인 가우시안 잡음과 함께 8%의 positive 임펄스 잡음으로 오염된 영상(Gaussian + positive impulse형)이고, 그림2(c)은 분산이 200인 가우시안 잡음과 함께 8%의 negative 임펄스 잡음으로 오염된 영상, 그림2(d)은 분산이 200인 가우시안 잡음과 함께 10%의 salt & pepper 잡음으로 오염된 영상을 각각 나타낸다. 그리고, 이들 영상 신호의 변화를 비교하기 위해, 임의로 128번째 라인을 선택하여 그 농도 레벨의 단면도(profile)를 그림3에 나타내었다.

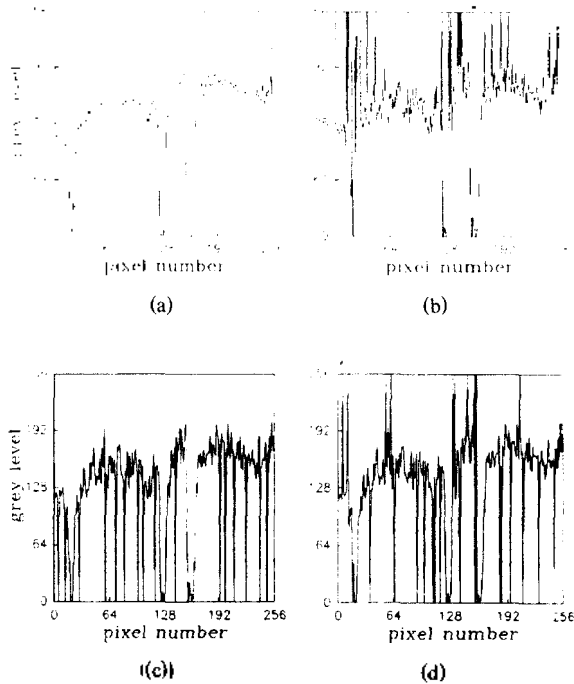


그림 3. 그림2의 영상에 대한 단면도;
(a) 그림2(a). (b) 그림2(b).
(c) 그림2(c). (d) 그림2(d).

Fig. 3. Profiles of Fig. 2 images;
(a) Fig. 2(a). (b) Fig. 2(b).
(c) Fig. 2(c). (d) Fig. 2(d).

그림 3(a)의 단면도는, 세계의 골(valley) 주위에 나타나 있는 고주파 영상 신호인 경계선 부분과 그 외의 저주파 영상 영상 신호인 평탄 부분으로 구성되어 있어, 영상 신호의 변화 특성을 잘 보여주고 있다. 또한 그림3의 (b), (c), (d) 각각의 단면도에서 볼 수 있는 바와 같이 영상에 대해 다양한 잡음의 영향을 확인할 수 있다.

제안된 알고리즘과 MMSE 필터의 잡음 제거 성능을 시각적인 관점에서 비교 평가해 보기 위해, 그림2(b) 실험 영상에 대해 필터링한 결과를 그림4의 (a), (b)에 나타내었다. 그림2(b) 영상에 대해 MMSE 필터를 적용한 결과가 그림4(a) 이고, 제안된 알고리즘을 적용한 결과가 그림4(b) 이다. 그림에서 볼 수 있듯이, MMSE 필터링에 의한 결과 영상은 거의 필터링 효과를 얻지 못한 반면에, 제

안된 알고리즘에 의한 결과 영상은 시각적으로 상당한 개선 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이들 결과에 대한 영상 신호의 단면도는 각각 그림4(c), (d)에 도시하였는데, 개선 정도의 비교를 쉽게 하기 위해 오염되지 않은 원래 영상 신호의 단면도를 점선으로 나타내었다. 단면도의 비교에서도, MMSE 필터링을 적용해 얻은 영상의 단면은 임펄스 잡음과 가우시안 잡음이 거의 제거되지 않았는데 반하여, 제안된 알고리즘을 적용해 얻은 영상의 단면은 복합잡음 제거가 잘 이루어져서 원래 영상의 단면과 근사적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제안한 알고리즘이 선형 필터와 비선형 필터의 상호 보완적인 구조를 이루고 있기 때문에, 기존의 MMSE 필터링보다 복합잡음 제거에 더 효과적임을 입증하는 것이다.

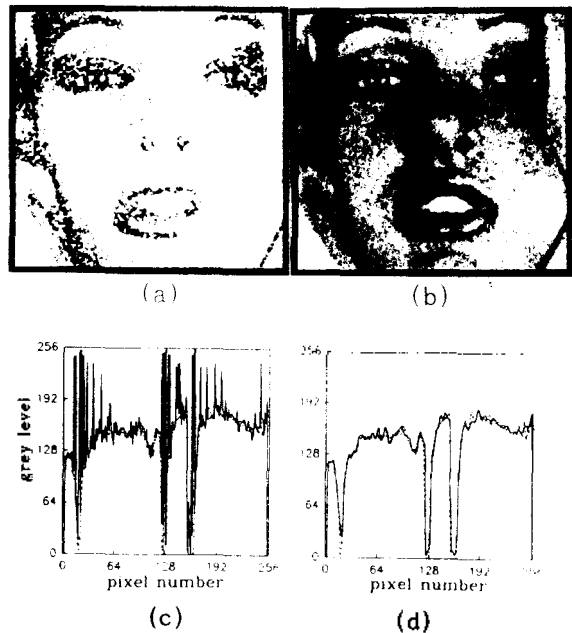
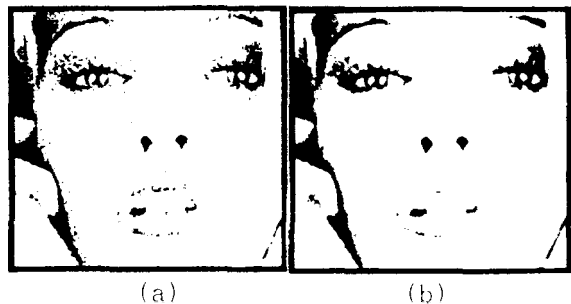


그림 4. 그림2(b) 영상을 필터링한 결과; (a) MMSE 필터링; (b) 제안된 방법에 의한 필터링; (c) 영상(a)의 단면도; (d) 영상(b)의 단면도. [점선: 원영상, 실선: 필터링된 영상]
Fig. 4. Filtered image of Fig. 2(b); (a) MMSE filtering effect (b) filtering effect of proposed method (c) profile of image (a) (d) profile of image (b) [dot: original image, solid: filtered image]



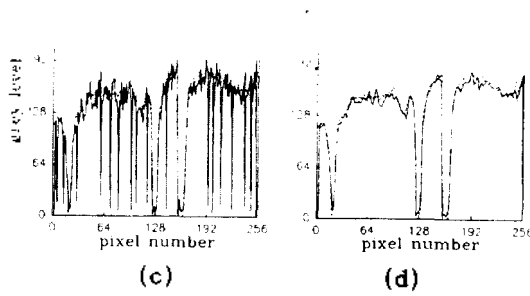


그림 5. 그림2(c) 영상을 필터링한 결과:(a)MMSE 필터링 (b) 제안된 방법에 의한 필터링 (c)영상(a)의 단면도. (d) 영상(b)의 단면도

Fig. 5. Filtered images of Fig. 2(c):(a)MMSE filtering (b) filtering by the proposed method (c)profile of image(a) (d)profile of image(b)

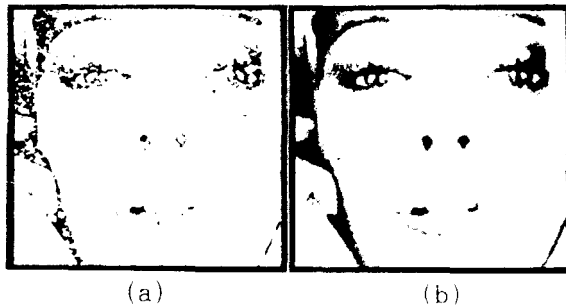


그림 6. 그림2(d) 영상을 필터링한 결과:(a)MMSE 필터링 (b) 제안된 방법에 의한 필터링. (c)영상(a)의 단면도. (d) 영상(b)의 단면도.

Fig. 6. Filtered images of Fig. 2(d):(a)MMSE filtering (b) filtering by the proposed method (c)profile of image(a) (d)profile of image(b)

이와 비슷한 순서로, 그림2(c)의 실험 영상에 대해 필터링해 얻은 결과를 그림5에 나타내었고, 그림2(d)의 실험 영상에 대해 필터링해 얻은 결과를 그림6에 나타내었다. 이로부터 역시, 여러 형태의 복합잡음에 대해 본 연구에서 제안한 필터링 기법이 향상된 영상 복원을 이루어냄을 알 수 있다.

또한, 정량적인 관점에서 영상 개선의 정도를 살펴보기 위해 식(4.1)과 같이 정의되는^[8] NMSE(normalized mean square errors)값을 사용하여, 필터링 효과를 비교 평가하

였다. 여기서, $S_{i,j}$ 는 원 영상, $X_{i,j}$ 는 오염된 영상, $Y_{i,j}$ 는 필터링된 영상이며, N, M 은 영상의 크기이다.

$$NMSE = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [Y_{i,j} - S_{i,j}]^2}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [X_{i,j} - S_{i,j}]^2} \quad (4.1)$$

여러 형태의 복합잡음으로 오염된 영상들에 대해 NMSE 값을 측정하여, 표1과 표2에 나타내었다.

표1은 Gaussian + impulse형 복합잡음 영상에 대해, 제안된 알고리즘과 MMSE 필터를 적용해 얻은 영상의 NMSE값을 구하여 나타낸 것이다. 표1.(a)가 제안된 방법을 적용해 얻은 수치이고, 표1.(b)가 MMSE 필터를 적용해 얻은 수치이다.

표2는 uniform + impulse형 복합 잡음 영상에 대해서, 역시 표1의 순서와 같이 얻은 결과이다. 이 NMSE값으로 비교해 볼 때, Gaussian + impulse형 잡음은 최소 11.6배에서 최고 35.2배의 향상 효과를 얻을 수 있었으며, uniform + impulse형 잡음은 최소 9.7배에서 최고 33.5배의

표 1. Gaussian + imp.형 잡음으로 오염된 영상을 필터링하여 얻은 영상의 NMSE.

Table 1. NMSE of filtering results for images corrupted with Gaussian + imp. noise.

impulse form	positive imp.		negative imp.		salt & pepper		
	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	
Gaussian							
imp. noise prob.	3%	0.079	0.085	0.052	0.059	0.062	0.069
	4%	0.065	0.071	0.042	0.049	0.051	0.058
	5%	0.055	0.063	0.036	0.042	0.041	0.048
	6%	0.049	0.056	0.032	0.038	0.036	0.044
	7%	0.045	0.051	0.029	0.035	0.033	0.039
	8%	0.042	0.049	0.026	0.032	0.030	0.035

(a) 제안된 필터를 적용해 얻은 영상의 NMSE.

(a) NMSE of result images obtained by proposed filtering.

impulse form	positive imp.		negative imp.		salt & pepper		
	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	
Gaussian							
imp. noise prob.	3%	1.075	0.900	0.817	0.705	0.954	0.799
	4%	1.109	0.991	0.856	0.755	1.034	0.881
	5%	1.111	0.978	0.881	0.788	1.016	0.905
	6%	1.099	1.005	0.894	0.808	1.041	0.929
	7%	1.136	1.026	0.905	0.827	1.059	0.949
	8%	1.079	0.992	0.916	0.843	1.035	0.947

(b) MMSE 필터를 적용해 얻은 영상의 NMSE.

(b) NMSE of result images obtained by MMSE filtering.

표 2. uniform + imp.형 잡음으로 오염된 영상을 필터링하여 얻은 영상의 NMSE 측정.

Table 2. NMSE of filtering results for images corrupted with uniform + imp. noise.

impulse form	positive imp.		negative imp.		salt & pepper		
	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	
imp. noise prob.	3%	0.085	0.095	0.056	0.066	0.067	0.077
	4%	0.069	0.080	0.045	0.055	0.054	0.064
	5%	0.060	0.071	0.038	0.048	0.044	0.054
	6%	0.053	0.064	0.034	0.042	0.038	0.048
	7%	0.048	0.058	0.031	0.039	0.036	0.043
	8%	0.045	0.061	0.029	0.035	0.031	0.039

(a) 제안된 필터를 적용해 얻은 영상의 NMSE
(b) NMSE of result images obtained by prosed filtering

impulse form	positive imp.		negative imp.		salt & pepper		
	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	var. 100	var. 200	
imp. noise prob.	3%	1.075	0.923	0.816	0.701	0.946	0.790
	4%	1.120	0.981	0.854	0.751	1.022	0.886
	5%	1.104	0.971	0.880	0.785	1.026	0.896
	6%	1.104	0.992	0.894	0.808	1.023	0.931
	7%	1.094	1.013	0.905	0.828	1.048	0.940
	8%	1.088	0.996	0.914	0.841	1.038	0.945

(b) MMSE 필터를 적용해 얻은 영상의 NMSE
(b) NMSE of result images obtained by MMSE filtering

향상 효과를 얻을 수 있었다. 이로부터, 실험영상에 사용한 잡음 범위 내에서는, 제안된 필터링 기법이 MMSE 필터보다 더 큰 잡음 제거 효과를 얻고 있음은 물론, 잡음의 오염 정도가 심해질수록 영상의 개선 효과가 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 복합잡음의 형태적인 면에 있어서는 Gaussian + imp.형 uniform + imp.형 모두 거의 비슷한 필터링 효과를 얻고 있음을 알 수 있다. 결과적으로, 제안된 필터링 기법이 잡음 제거에 더 효과적임을 입증할 수 있다.

제안된 필터링 방법 중에서 다중 윈도우로 인한 데이터 정렬 부분에서 처리시간이 다소 증가하는 결과를 보여주고 있는데, 이는 off-line 처리 방식을 근간으로 하고 있기 때문에 큰 문제가 되지는 않을 것이다⁹⁾. 그리고, MMSE 필터가 실시간 및 병렬 처리 구조에도 적합한 특징을 가지고 있는 것을 고려하면, 시스템 구현시 병렬 처리 구조 및 DSP칩을 적용하여 더욱 빠른 처리 속도를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 다중 윈도우 부분도, 구조상 간단하고 병렬처리 구조가 용이한 차순 필터를

근간으로 하고 있기 때문에, 처리 속도 향상을 위한 구조적인 접근이 용이할 것으로 기대된다.

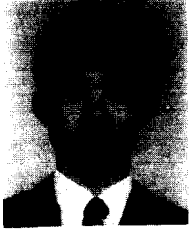
V. 결 론

기존의 MMSE 필터링 방식은 복합잡음이 영상을 오염시켰을 때, 이를 동시에 제거하지 못하는 결과를 보여주고 있다. 반면, 본 논문에서 제안한 잡음제거 알고리즘은, 기존의 MMSE 필터링에 방향성에 따른 다중 윈도우와 구조상 간단한 차순 필터링 기법을 결합시킴으로써 복합잡음의 제거에, 보다 우수한 필터링 효과를 얻을 수 있었다. 제안된 필터링 방법은 선형 필터와 비선형 필터의 결합된 형으로 구성하여, 임펄스 잡음제거에 취약한 MMSE 필터의 단점을 임펄스 잡음에 강한 차순 필터링 방법을 사용하여 보완하였으며, 또한 차순 필터의 가우시안이나 균일 분포 잡음에 약한 단점을 MMSE 필터링 기법을 사용하여 상호 보완하였다.

참 고 문 헌

1. I. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms," Prentice Hall, 1993.
2. I. Pitas, A. N. Venetsanopolous, "Nonlinear digital filters principles and applications," Kluwer Academic Publishers, 1990.
3. W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, 2nd. Ed. John Wiley & Sons, 1991.
4. J. S. Lee, "Digital image processing by use of local statistics," in Proc. IEEE Computer Society Conf. on Pattern Recognition and Image Processing, pp. 55-61, 1978.
5. M. E. Zervakis, A. N. Venetsanopolous, "Linear and Nonlinear Image Restoration Under the Presence of Mixed Noise," IEEE Trans. CAS, vol. 38, NO. 3, Mar. 1991.
6. I. Pitas, A. N. Venetsanopolous, "Order Statistics in Digital Image Processing," proc. of IEEE, vol. 80, no. 12, Dec. 1992.
7. J. P. Fitch, "Software and VLSI Algorithm for Generalized Ranked Order Filtering," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. CAS-34, pp. 553-559, May. 1987.
8. S. J. Ko, Y. H. Lee, "Center Weighted Median Filters and Their Application to Image Enhancement," IEEE Trans. Circuits and system, vol. 38, no. 9, Sep. 1991.
9. R. Ding, A. N. Venetsanopolous, "Generalized Homomorphic and Adaptive order Statistic Filter for Removal of Impulsive and Signal-Dependent Noise," IEEE Trans. CAS, vol. 43, no. 8, Aug. 1987

▲이 재 일



1968년 8월 28일생.

1993년 8월: 서울산업대학교 전자공학과 졸업.

1996년: 서울시립대 대학원 전자공학과 졸업(석사).

1996~현재: 국방과학연구소 연구원

※관심 분야: 디지털 신호처리, 영상 신호처리, Radar 신호처리

▲김 성 환 제15권 제1호 참조