

순서 통계형-적응 가중평균 혼성필터를 이용한 잡음화된 영상열의 향상

正會員 박 순 영*

Enhancement of Noisy Image Sequence Using Order Statistic-Adaptive Weighted Average Hybrid Filters

Soon Young Park* *Regular Member*

※본 논문은 1995년도 한국과학재단의 연구비에 의하여 연구되었음(과제번호: 951-0915-112-1)

요 약

본 연구에서는 잡음화된 영상열로부터 영상정보를 보존하면서 잡음을 제거할 수 있는 순서 통계형-적응 가중 평균 혼성(order statistic-adaptive weighted average hybrid: OS-AWAH)필터의 설계를 제안한다. 제안된 필터는 잡음을 제거하면서 영상정보를 잘 보존할 수 있는 순서통계형을 기본으로한 공간필터와 움직임 예측방법을 사용치 않고 움직임의 크기에 따라서 필터의 가중치를 조정하는 적응 가중 평균필터를 기본으로한 시간상 필터의 바람직한 특성들을 결합한다.

이동형 계단 에지를 포함하는 잡음화된 영상열에 대한 OS-AWAH 필터의 통계적 특성이 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석되며 미디언 필터를 기본으로한 시공간 혼성필터들인 3차원 가중 미디언 필터, 다단계 미디언 필터, 적응 방향성 중간가중 미디언 필터와 성능이 비교되어 진다. 또한 실제 영상열에 대한 시공간 혼성필터들의 영상 정보 보존 능력과 잡음제거 성능이 평가된다.

통계적 특성분석과 실험결과 제안된 OS-AWAH 필터는 움직임 보상방법의 사용 없이 잡음의 효과적인 제거와 영상정보를 잘 보존할 수 있음이 보여진다.

ABSTRACT

In this research we propose the design of the Order Statistic-Adaptive Weighted Average Hybrid(OS-AWAH)

*목포대학교 전자공학과
Dept. of Electronics Engineering, Mokpo National
University
論文番號: 96251-0817
接受日字: 1996年 8月 17日

filter which can suppress noise from the corrupted image sequence effectively while preserving the image structure. The proposed filter combines the desirable properties of the order statistic based spatial filter which can preserve the image structures while reducing noise and the adaptive weighted average based temporal filter which can adapt the filtering weights according to the amount of motion without motion estimation.

Performance characteristics of the OS-AWAH filter in noisy sequences containing moving step edges are investigated through computer simulations and compared with the median based filters such as 3-D WM(weighted median) filter, MMF (multistage median filter), ADCWM(adaptive directional center weighted median) filter. The visual evaluations are also carried out by applying the filters to the real images.

The statistical analysis and experimental results show that the OS-AWAH filter is effective in preserving image structures while suppressing noise effectively without motion compensation preprocessing.

I. 서 론

디지털 영상열(image sequences)의 응용범위는 화상회의, 고화질 TV, 무인 자동 항법, 움직임 분석, 이동 물체 추적, 의료 영상등 광범위하기 때문에 최근 영상열 처리에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 디지털 영상열은 카메라를 통하여 취득하는 과정중이나 이들의 전송, 저장, 재생 중 필연적으로 잡음에 손상되기 쉬우며 이렇게 손상된 영상열은 시각적 측면에서 영상의 품질을 저하시킬 뿐만 아니라 코딩, 영상분석 같은 차후의 영상처리 성능을 감소시키기 때문에 영상정보를 손상하지 않고서 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 잡음제거 기술을 필요로 한다.

초창기의 영상열에 대한 필터링 방법은 물체의 움직임에 따른 영상의 블러링(blurring)화를 방지하기 위하여 영상열의 각 프레임을 독립적인 영상으로 취급한 단일 프레임내 공간 필터링 방법을 시도하다가 시간상의 상관(temporal correlation)을 이용하는 일차원적 시간 필터링, 그리고 영상열에 존재하는 시공간 상관(spatiotemporal correlation)을 이용하는 3차원적 시공간 필터로 발전되었다[1].

시간상의 선형 필터는 움직임이 없는 정체신호(stationary signal) 영역에서는 최적이지만 움직이는 물체나 장면 등을 포함한 비정체(nonstationary)신호에 대해서는 영상정보의 손상을 일으킨다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 신호의 시간상의 상관에 따라서 필터의 가중치를 조정하는 적응 필터링 방법 [2]과 움직임 추정법을 이용하여 추정한 움직임 자취를 따라서 필터링을 수행하는 움직임 보상 시간 필터

링 방법[3]이 개발되었으며 이 두 가지를 결합한 움직임 보상형 적응 시간 필터링 방법[4]도 제안되었다.

시간축상의 선형필터링 방법은 영상열에 존재하는 신호의 시간 상관만을 고려하기 때문에 시간상관여거의 존재치 않는 움직임이 빠른 영역에서는 잡음제거 효율은 뒤떨어진다. 또한 움직임이 빨라질수록 인간의 시각특성상 낮은 공간해상도가 요구되기 때문에 잡음을 더욱 효과적으로 제거하기 위하여 공간상의 상관을 이용한 공간필터링의 중요성이 증가된다. 따라서 시공간 상관을 모두 고려하는 3차원 시공간 필터링 방법은 움직임의 종류에 따라서 시간필터링과 공간필터링의 비중을 조정하여 잡음제거 성능을 더욱 개선시킬 수 있게 된다.

3차원 시공간 필터링 방법은 크게 두 종류로 구분할 수 있는데 먼저 움직임 보상을 이용치 않는 시공간 필터링 방법은 2차원 공간필터를 시간축 방향으로 확장하여 얻을 수 있으며 대표적으로 3차원 가중평균 필터[5], 다중프레임 3차원 Wiener 필터[6], 3차원 Kalman 필터[7]들이 있다.

다음으로 움직임 보상형 3차원 시공간 필터는 영상열에 존재하는 시간상관을 가장 잘 이용하기 위하여 전처리기로써 움직임 추정기를 사용하여 추적된 움직임 자취를 따라서 필터를 수행하기 때문에 움직임 영역에서도 블러링화를 방지하며 잡음을 효과적으로 제거 가능케 하는데 그 중에는 움직임 보상형 3차원 Wiener[6] 또는 Kalman 필터[8]등이 있다. 움직임 보상형 시공간 선형 필터들의 특성은 전처리기로써 사용된 움직임 추정기의 정확도에 크게 의존하게 되어 계산량이 증가하게 되고 만약 영상내의 움직임이 빠

르거나 잡음에 의한 손상도가 클 경우 움직임 추정기의 성능은 한계에 도달하게 되어서 시간축 필터링에 의한 블러링이 발생케 된다.

선형필터의 문제점을 해결하기 위하여 비선형 필터인 순서통계형 필터들에 대한 연구가 관심을 갖게 되었다. 먼저 비선형 필터의 대표적인 미디언 필터는 예리한 경계를 보존하면서 임펄스 잡음을 잘 제거하며 처리 속도도 빠르기 때문에 정지화상인 단일프레임내 영상처리에 많이 응용되었으며 3차원 필터로서 확장되어 영상열 처리에 응용되었으나 영상의 움직임 영역에서 영상의 세밀한 구조를 보존할 수 없었다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 미디언 필터의 변환형인 3차원 가중 미디언 필터(weighted median filter: WMF)[9], 다단계 미디언 필터(multistage median filter: MMF)[10], 적응 방향성 중간가중 미디언 (adaptive directional center weighted median: ADCWM)필터 [11]들이 개발되어 움직이는 영역에서도 영상의 세밀한 구조를 보존하면서 잡음제거가 가능하도록 하였다.

본 논문은 그 동안 개발된 비선형 필터의 특성을 유지하면서 계산량을 줄일 수 있도록 설계된 순서 통계형-적용 가중평균 혼성(order statistic-adaptive weighted average hybrid: OS-AWAH)필터를 제안하며 그 성능을 기존의 알고리즘과 비교한다. 특히 움직임이 포함된 영역에서 제안된 OS-AWAH필터와 기존의 미디언 필터를 기반으로 한 시공간 혼성필터들의 영상정보 보존 능력과 잡음제거 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 출력 기대값과 분산이 계산된다. 마지막으로 실제의 영상열에 대한 시공간 필터들의 잡음제거 및 세밀한 영상정보 보존 성능을 분석하기 위하여 주관적 및 객관적인 평가가 수행된다.

II. 순서 통계형-적용 가중평균 혼성필터의 설계

2.1 영상열의 모델링

$M \times M$ 화소(pixel)들로 이루어진 프레임이 L 개가 모여져서 구성한 영상열 $S(i, j, k)$ 이 잡음 $V(i, j, k)$ 에 의하여 손상된 잡음화 영상열 $X(i, j, k)$ 라 가정하면

$$X(i, j, k) = S(i, j, k) + V(i, j, k) \quad (1)$$

여기서 $i, j, \{1 \leq i, j \leq M\}$ 는 공간상에서 수평축 수직축 좌표이며 $k, \{1 \leq k \leq L\}$ 는 시간축 방향의 좌표이다. 잡음은 시공간적으로 서로 독립적이며 동일하게 분포된 백색잡음으로서 평균은 0이며 영상신호와 독립적이라고 가정한다. 잡음화된 영상열 $X(i, j, k)$ 로부터 중요한 영상정보를 유지하며 잡음을 제거하여 원래의 영상열 $S(i, j, k)$ 를 추정하는 것이 영상열 처리를 위한 필터링의 기본 목표이다.

실제 시공간 필터링은 3차원의 윈도우를 움직이면서 윈도우내에 있는 샘플들을 처리하는 과정인데 점 (i, j, k) 에 중심을 가지고 $(2N+1) \times (2N+1) \times (2N+1)$ 의 크기를 가진 정육면체 윈도우 $W(i, j, k)$ 는 다음과 같이 주변의 샘플들로 이루어진다.

$$W(i, j, k) = \{(l, m, n) | i-N \leq l \leq i+N, j-N \leq m \leq j+N, k-N \leq n \leq k+N\} \quad (2)$$

그림 1은 $3 \times 3 \times 3$ 크기를 가진 3차원 시공간 윈도우의 기본구조를 보여 준다.

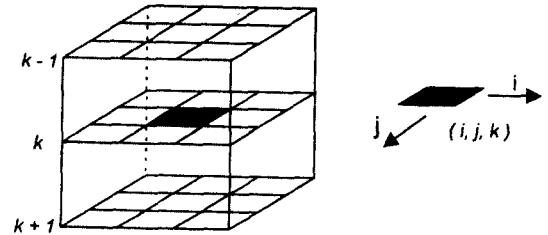


그림 1. 3차원 시공간 윈도우의 기본 구조(N=1)
Fig. 1. Basic structure of a 3-D spatiotemporal window (N=1)

2.2 시공간 혼성 필터의 기본 구조

제안된 혼성 필터는 윈도우의 중앙에 위치한 프레임내의 샘플들로부터 공간 필터링을 수행한 후 시간상관이 가장 높도록 선택된 경로에 위치한 주변 샘플들과 공간 필터링된 결과를 이용하여 시간필터링을 다시 반복하여 잡음을 제거하도록 설계되었는데 그림 2에 기본구조가 나타나 있다. 혼성 필터는 인간의 시각시스템의 특성을 충분히 고려한 필터로서 물체의 움직임이 빠른 경우에는 공간상의 필터링 결과에 많은 비중을 두어서 시간축 필터링에 의한 블러링 영

향을 감소케 하였으며 움직임이 느린 경우에는 근접한 프레임으로부터 선택된 샘플에 대한 시간축상의 필터 가중치를 증가하여 영상정보의 손상 없이 추가적으로 잡음을 제거 가능케 한다.

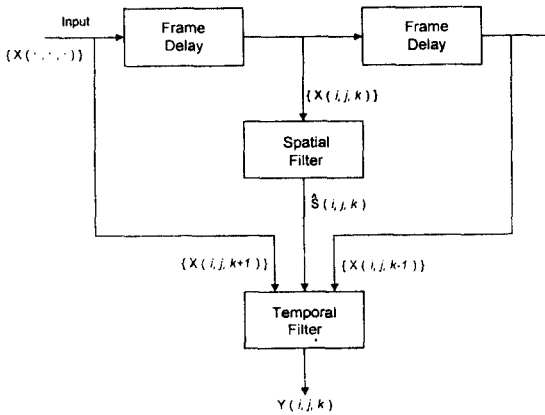


그림 2. 제안된 시공간 혼성 필터의 기본 구조
Fig. 2. Block diagram of a proposed spatiotemporal hybrid filter

2.3 공간필터링을 위한 순서통계형 필터

본 논문에서 제안된 혼성필터는 영상신호에 존재하는 시공간 상관을 효율적으로 이용하는 필터링 방법으로서 1단계 처리는 3차원 윈도우의 시간상 중간 위치한 점 k 를 포함하는 프레임내에서 공간필터링이 수행된다. 결과적으로 공간필터로서는 2차원적인 공간에 존재하는 영상정보를 잘 보존하면서 잡음을 제거시킬 수 있는 여러 종류의 순서통계형 필터가 사용될 수 있다.

순서통계형 필터는 입력신호의 크기 순서 정보에 의존하는 방법으로서 입력신호의 시간적 순서에 의존하는 선형필터들에 의한 영상의 블러링화 현상을 방지할 수 있고 특히 임펄스성 잡음제거에 효과적으로 사용되었다. 순서통계형 필터들에는 미디언 필터를 기본으로 하여 이를 변형한 많은 종류의 필터들이 개발되었는데 그 중에서 최근에 소개된 CWM필터 [12] 또는 LUM필터[13]는 윈도우의 중심값에 주는 가중치 파라미터를 사용하여 잡음제거 능력은 미디언 필터보다는 떨어지지만 공간상에 존재하는 영상의

세밀한 구조를 보존할 수 있도록 하였다.

본 알고리즘에서 필요한 공간필터는 잡음제거 능력은 약간 부족하지만 공간상의 세밀한 성분을 잘 보존할 수 있는 특성이 요구되기 때문에 윈도우내에 있는 샘플들의 국부성 통계 성질에 따라서 윈도우의 중심값에 할당하는 가중치 파라미터를 자동으로 조정하는 능력을 가지고 있는 적응 CWM 필터를 사용한다. 점 k 에 위치한 프레임에서의 2차원 적응 CWM 필터는 다음과 같이 정의된다[12].

$$\hat{S}(i, j, k) = MED\{X(i, m, k), 2T_k \diamond X(i, j, k) \mid (l, m, k) \in W_{2D}(i, j, k)\} \quad (3)$$

여기서 $2T_k \diamond X(i, j, k)$ 는 윈도우의 중심에 위치한 샘플에 가중치 $2T_k$ 를 할당하는 기호로 샘플 $X(i, j, k)$ 이 $2T_k$ 만큼 반복되며 T_k 는 k 프레임내에 위치하고 크기가 $2L+1 = (2N+1) \times (2N+1)$ 인 2차원 윈도우 $W_{2D}(i, j, k)$ 내에 있는 샘플들의 특성에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$T_k = \begin{cases} \left[L \left(1 - \frac{\sigma_n^2}{\hat{\sigma}_{W_{2D}}^2(i, j, k)} \right) \right], & \text{if } \hat{\sigma}_{W_{2D}}^2(i, j, k) \geq \sigma_n^2 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $\hat{\sigma}_{W_{2D}}^2(i, j, k)$ 은 윈도우 $W_{2D}(i, j, k)$ 에서 계산된 샘플분산(variance)이고 σ_n^2 은 원래의 영상열에 더하여진 잡음의 분산으로서 미리 알려져 있다고 가정하며 $\lceil \cdot \rceil$ 은 내부의 수를 반올림하여 정수화시키는 기호이다.

결과적으로 2차원 적응 CWM 필터는 윈도우내에 예지 또는 세밀한 구조의 영상이 존재하면 샘플분산이 증가하게 되므로 T_k 또한 커져서 중심위치의 샘플이 출력으로 선택될 확률은 증가하기 때문에 잡음제거 능력은 감소되지만 영상정보가 보존된다. 반대로 윈도우내에 있는 샘플들의 회색준위가 서로 비슷하여 국부성 샘플분산이 감소하면 T_k 또한 최소 0까지 감소되어 적응 CWM 필터는 미디언 필터와 같게 동작되고 잡음제거 효과는 최대로 된다.

2.4 프레임간 시간필터링을 위한 적응가중 평균필터 움직임 추정방법을 사용하지 않고 블러링화 현상을

억제하면서 시간적 필터링을 수행하기 위하여 움직임 경로를 간단히 표현할 수 있는 시간상의 부윈도우(subwindow)들을 사용한다. 만약 제한된 범위의 프레임들 사이의 움직임에는 단순한 병진 운동만이 존재한다고 가정하면 중심위치에 있는 샘플 $X(i, j, k)$ 의 움직이는 궤적을 표현하기 위하여 부윈도우는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 개 이하로 가능하며 각 부윈도우내에 있는 샘플들의 분산을 추정한 후 가장 작은 분산을 갖는 부윈도우의 방향으로 시간필터링을 수행한다. 그림 3은 $N=1$ 일 경우의 부윈도우 구조를 보여 준다.

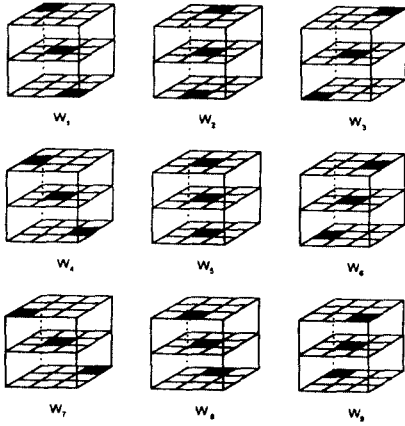


그림 3. 제안된 시간축 필터의 부윈도우 구조 ($N=1$)
Fig. 3. Subwindows of a proposed temporal filter ($N=1$)

적용가중 평균필터는 Lee[14]가 제안한 방법을 기본으로 하여 설계할 수 있는데 시간상 적용필터의 출력 $Y_T(i, j, k)$ 은 부윈도우내의 샘플들의 통계적 특성에 따라 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Y_T(i, j, k) = \frac{\hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k) - \hat{\sigma}_n^2}{\hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k)} [X(i, j, k) - \hat{m}_X(i, j, k)] + \hat{m}_S(i, j, k) \quad (5)$$

여기서 $\hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k)$ 은 부윈도우내의 샘플들로부터 추정된 국부성 샘플분산이며 $\hat{\sigma}_n^2$ 은 원래 영상에 더해진 잡음의 분산으로서 본 논문에서는 미리 알려진 값으로 가정하였으나 평탄한 영역에서 추정도 가능하다. 또한 잡음의 평균이 0이라는 가정아래 부윈도우

내 원래영상의 국부성 샘플평균 $\hat{m}_S(i, j, k)$ 은 잡음화된 영상의 샘플평균 $\hat{m}_X(i, j, k)$ 으로 대신될 수 있다.

따라서 $(2N+1)$ 프레임들간의 시간적 필터링의 경우 식(5)는 다음과 같이 선형 가중평균 필터의 형태로 표현할 수 있다.

$$Y_T(i, j, k) = \sum_{n=-N}^N h(k-n)X(i-d_{i-n}, j-d_{j-n}, k-n) \quad (6)$$

여기서

$$h(n) = \begin{cases} \frac{1-\alpha_i(i, j, k)}{2N+1} & \text{for } n \neq 0 \\ \frac{2N\alpha_i(i, j, k)+1}{2N+1} & \text{for } n=0, \end{cases} \quad (7)$$

그리고 (d_{i-n}, d_{j-n}) 는 부윈도우의 선택방향에 따라서 결정되는 전위(displacement) 벡터이다. 또한 부윈도우내의 샘플들의 통계적 특성에 의하여 결정되는 $\alpha_i(i, j, k)$ 는 다음과 같다.

$$\alpha_i(i, j, k) = \begin{cases} \frac{\hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k) - \hat{\sigma}_n^2}{\hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k)} & \text{if } \hat{\sigma}_{w_i}^2(i, j, k) \geq \hat{\sigma}_n^2 \\ 0 & \text{o.w} \end{cases} \quad (8)$$

2.5 순서 통계형-적용 가중평균 혼성(OS-AWAH) 필터

식(6)의 적용가중 평균필터링에서 사용된 입력샘플 중에서 윈도우의 중앙에 위치한 샘플 $X(i, j, k)$ 대신에 식(3)의 공간필터링 결과인 $\hat{S}(i, j, k)$ 를 이용하여 최종 순서 통계형-적용 가중평균 혼성필터의 결과를 얻는다.

$$Y(i, j, k) = \frac{2N\alpha_i(i, j, k)+1}{2N+1} \hat{S}(i, j, k) + \frac{1-\alpha_i(i, j, k)}{2N+1} \sum_{n=-N, n \neq 0}^N X(i-d_{i-n}, j-d_{j-n}, k-n) \quad (9)$$

움직임이 없거나 느린 경우 샘플분산이 최소인 부윈도우의 방향으로 시간상 필터링을 안전하게 수행할 수 있으며 이때 $\alpha_i(i, j, k)$ 는 최소 0까지 감소된다. 따라서 공간필터링 후 프레임들간의 시간필터링을 수행하여 블러링화 없이 추가적으로 잡음제거가 가

능하게 된다. 만약 움직임이 빨라서 부윈도우로 충분히 움직임 궤적을 추적하기 어려운 경우에는 $\alpha_i(i, j, k)$ 가 최고 1까지 증가하여서 주변의 샘플에 대한 가중치가 0으로 접근하게 되고 공간필터링 결과만이 출력으로 나타나게 된다. 그러므로 시간적 고주파 영역에서 영상의 블러링화를 방지할 수 있다.

III. 3차원 시공간 필터들의 통계적 특성 분석

본 장에서는 움직임이 포함된 영역에서 시공간 필터들의 영상정보 보존 능력과 잡음제거 성능을 조사하기 위하여 컴퓨터 simulation을 통한 각 필터들의 통계적 특성이 분석된다. 동적 영상 신호로는 그림 4와 같이 매 프레임마다 d개의 화소만큼 수평 이동하는 계단 에지(step edge)를 사용하였는데 3개의 연속된 프레임에 대한 영상신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 S(i, j, k-1) &= \begin{cases} 0, & i < i_0 - d \\ h, & i \geq i_0 - d \end{cases} \\
 S(i, j, k) &= \begin{cases} 0, & i < i_0 \\ h, & i \geq i_0 \end{cases} \\
 S(i, j, k+1) &= \begin{cases} 0, & i < i_0 + d \\ h, & i \geq i_0 + d \end{cases}
 \end{aligned} \tag{10}$$

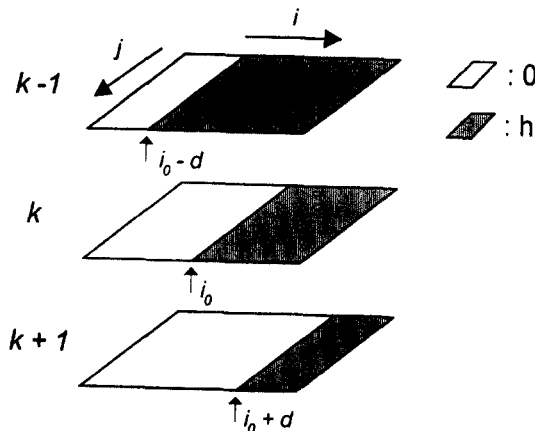


그림 4. 이동 계단 에지로 구성된 영상열의 모델
Fig. 4. The model of the image sequences with moving step edges

식 (10)과 같은 영상신호는 백색잡음 $V(i, j, k)$ 에 의하여 손상되어 잡음화된 영상열 $X(i, j, k) = S(i, j, k) + V(i, j, k)$ 가 된다. 입력 영상열 $\{X(i, j, k)\}$ 에 대한 각 필터들의 영상정보 보존과 잡음제거 성능은 필터의 출력에 대한 기대값(expected value)과 분산을 통하여 분석 가능하다. 분석 대상인 필터들은 3차원 가중 미디언(WM7) 필터[9], 단일방향 다단계 미디언 필터(UMMF)[10], 이중방향 다단계 미디언 필터(BMMF)[10], 적응 방향성 중간 가중 미디언 (ADCWM) 필터[11]와 본 연구에서 제안된 OS-AWAH 필터들로서 먼저 기존의 미디언 필터를 기본으로 한 필터들의 특징을 간단히 기술한다.

WM7 필터는 3차원 윈도우의 중앙에 위치한 샘플에 가중치를 부여한 후에 이 샘플을 포함한 프레임의 수평축, 수직축, 그리고 시간축에 위치한 샘플들의 미디언이 출력으로 선택되어 잡음제거와 수평축, 수직축, 시간축 방향에 존재하는 영상의 세밀한 구조를 보존하는 특성이 있다.

다단계 미디언 필터는 먼저 첫 단계에서 여러 방향의 부윈도우들을 사용하여 미디언을 구한 후 다음 단계에서는 윈도우의 중앙에 위치한 샘플과 첫 단계에서 구하여진 부윈도우 출력들의 최대값과 최소값 중에서 미디언 값이 최종 출력으로 선택된다. 여기서 부윈도우의 구조는 보존하고자 하는 정보의 특징에 따라서 결정되는데 일차원 방향에 존재하는 세밀한 선분을 보존키 위하여는 UMMF(unidirectional MMF) 필터가 정의되었으며 공간축과 시간축상에서 각각 직교하는 세밀한 선분을 보존하기 위한 BMMF(bidirectional MMF) 필터가 정의되었다.

ADCWM 필터는 다단 필터링 구조를 사용하고 있는데 먼저 2차원 구조를 가진 여러 방향의 부윈도우 내에 있는 샘플들의 통계적 특성에 따라서 미디언을 중심으로 대칭성 순서 통계출력을 얻은 후 이들 적응 대칭성 순서 통계치와 윈도우의 중앙에 위치한 샘플의 미디언이 최종 출력으로 선택되어 잡음제거와 부윈도우의 방향에 존재하는 영상의 세밀한 구조를 보존할 수 있는 특징이 있다.

위에서 서술한 바와 같이 분석대상인 필터들의 구조상 비정체 신호에 대한 수치 해석적 방법을 통한 통계적 특성 분석이 불가능하기 때문에 컴퓨터에서 잡음화 영상열을 발생하여 각 필터링을 수행하는 과

정을 5000번 반복하여서 얻은 출력들로부터 기대값과 분산을 계산하였다. 특히 이동 에지 부근에서 필터의 특성 분석이 필요하기 때문에 에지가 발생하는 수평축 방향으로 주사하여 얻은 일차원 profile들이 추출되었으며 편의상 $i_0=0$ 으로 조정하였다. 높이가 h 인 이동 에지가 $N(0, \sigma)$ 인 백색잡음에 의하여 손상될 경우 신호 대 잡음비로서 $SNR=h/\sigma$ 을 정의한다.

그림 5는 $SNR=4$ 이며 프레임당 1 화소씩 수평이동($d=1$) 하는 영상신호가 $3 \times 3 \times 3$ 의 시공간 윈도우를 가진 각 필터들을 통과하여 얻은 기대값과 분산이다. 사용된 필터들의 에지 보존 능력은 전반적으로 양호하며 잡음제거 능력은 ADCWM 필터가 가장 우

수하고 다음으로 제안된 OS-AWAH 필터가 좋을 수 있다. 그러나 ADCWM 필터는 필터의 구조상 계산량이 OS-AWAH 필터의 수배에 이르는 단점이 있다.

그림 6은 전과 같이 $SNR=4$ 이나 이동 에지의 움직임이 전보다 빠른 $d=2$ 인 경우이다. 움직임의 증가로 인하여서 그림 5에 비하여 에지 보존 능력과 에지 부근에서 잡음제거 성능이 약간 떨어짐을 볼 수 있으며 전반적으로 ADCWM 필터와 OS-AWAH 필터가 우수하였다. 그림 7은 $h=4, \sigma^2=2$ 로서 $SNR=2.8$ 정도로 감소되었고 $d=1$ 이며 그림 8는 $SNR=2.8, d=2$ 로서 입력신호의 잡음에 대한 손상도가 가장 높으며 이

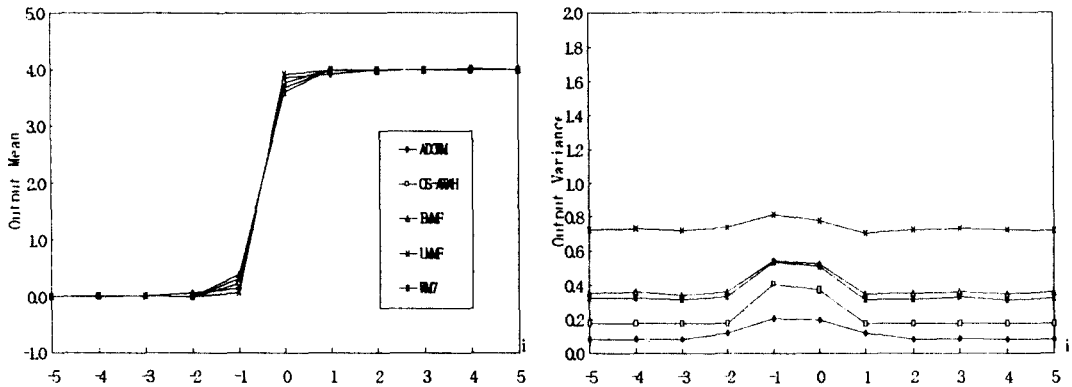


그림 5. 시공간 필터들의 출력 기대값과 분산, ($SNR=4, d=1$)
 Fig. 5. The output expected values and variances of spatiotemporal filters ($SNR=4, d=1$).

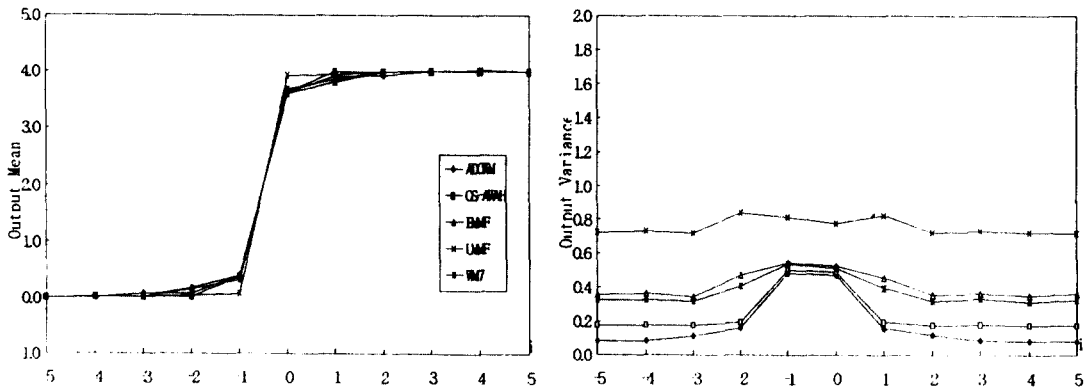


그림 6. 시공간 필터들의 출력 기대값과 분산, ($SNR=4, d=2$)
 Fig. 6. The output expected values and variances of spatiotemporal filters ($SNR=4, d=2$)

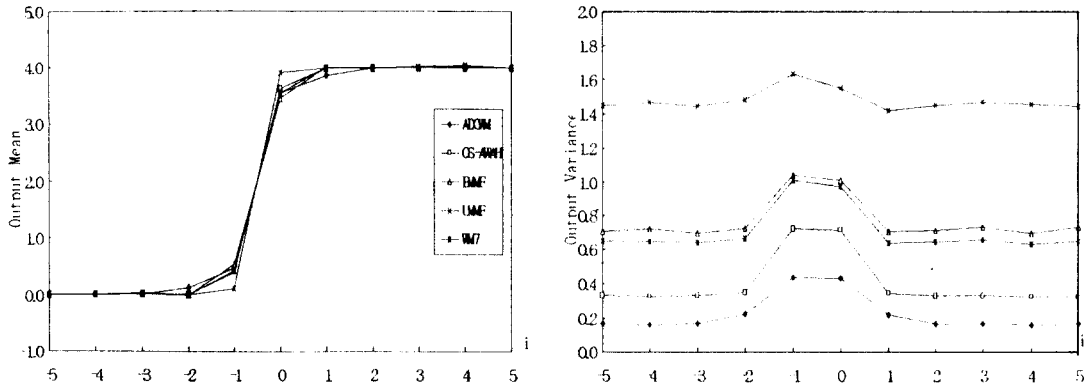


그림 7. 시공간 필터들의 출력 기대값과 분산, ($SNR = 2.8, d = 1$)
 Fig. 7. The output expected values and variances of spatiotemporal filters ($SNR = 2.8, d = 1$)

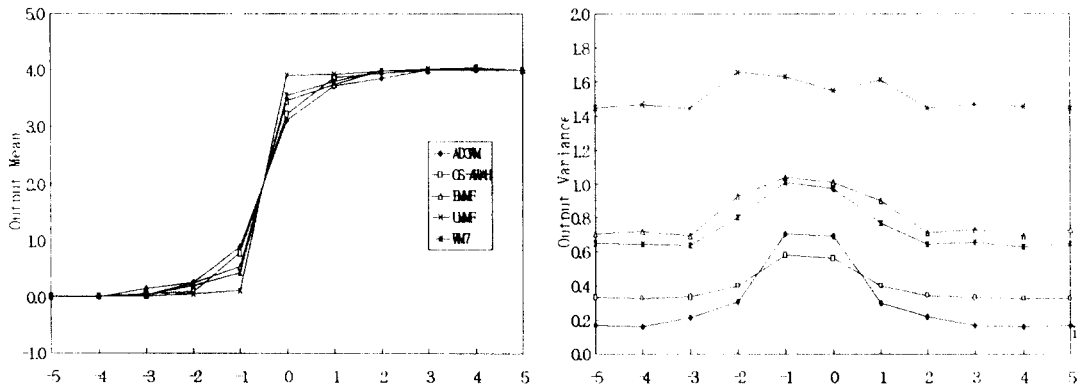


그림 8. 시공간 필터들의 출력 기대값과 분산, ($SNR = 2.8, d = 2$)
 Fig. 8. The output expected values and variances of spatiotemporal filters ($SNR = 2.8, d = 2$)

동 에지의 움직임 또한 가장 빠른 경우이다. 잡음에 의한 손상도가 클수록 출력분산 또한 높아지며 움직임의 속도가 증가될수록 에지 부근에서 OS-AWAH 필터가 ADCWM 필터보다 잡음제거 효과가 우수함을 볼 수 있다.

결과적으로 본 시뮬레이션을 통하여 제안된 OS-AWAH 필터가 기존의 미디언 필터를 기반으로 한 시공간 필터들 보다 잡음제거 및 영상정보 보존능력이 비슷하거나 우수함을 알 수 있다.

IV. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 OS-AWAH 필터의 성능을 영상열에 대한 잡음제거 효과 및 세밀한 성분 보존 능력의 측면에서 분석하였으며 순서통계형 필터링을 기본으로 한 기존의 알고리즘들과 비교하였다. 실험에 사용된 영상열은 Mobile & Calendar의 30개 프레임들로 구성되어 있으며 각 프레임은 720x480의 화소들로 이루어져 있고 화소들은 256회색준위를 갖는다. Mobile&Calendar 영상은 카메라의 pan 동작과 Mobile의 움직임 때문에 물체와 장면들은 병진, 회전, 폐쇄 운동들을 포함한다.

그림 9(a)는 원래의 영상열 중에서 3번 프레임의 영

상이며 그림 9(b)는 원래의 영상열에 분산이 400인 백색잡음이 더하여져서 손상된 잡음화 영상이다. 그림 10(a)-(d)는 잡음화된 영상열들이 3×3 의 윈도우를 가진 WM7, BMMF, ADCWM, OS-AWAH 필터

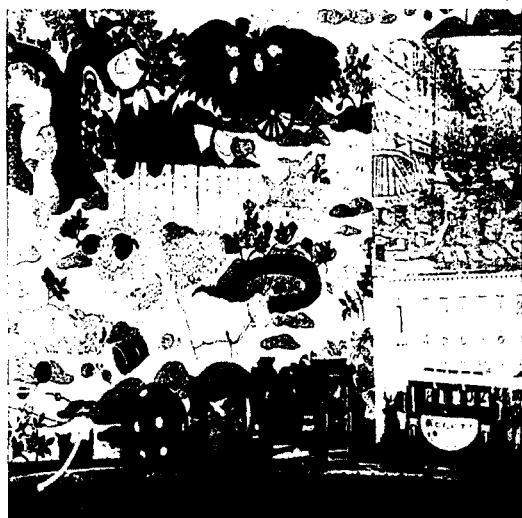
들에 입력되어 필터링이 수행된 결과를 보여준다.

세밀한 영상정보의 보존 능력과 잡음제거 측면에서 ADCWM 필터와 본 연구에서 제안된 OS-AWAH 필터가 가장 좋은 결과를 만들었으며 특히 움직임 영역에서는 제안된 필터의 잡음제거 능력은 ADCWM 필터에 비하여 약간 부족하지만 세밀한 구조 보존 능력은 더 나은 것을 관찰할 수 있다.

객관적으로 각 필터의 성능을 비교하기 위하여 가



(a)



(b)

그림 9. (a) Mobile & Calendar 원영상 (3번째 프레임), (b) 가우시안 잡음($\sigma^2=400$)에 의하여 손상된 영상

Fig. 9. Frame 3 of (a) the original "Mobile & Calendar" sequence, (b) the noisy "Mobile & Calendar" sequence (Gaussian noise, $\sigma^2=400$)



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 여러가지 혼성필터들에 의하여 잡음 처리된 영상들, (a) WM7 필터, (b)BMMF, (c)ADCWM 필터, (d)OS-AWAH 필터

Fig. 10. The results of noisy image sequences filtered by (a) WM7 filter, (b)BMMF, (c)ADCWM filter, (d) OS-AWAH filter.

우시안 잡음 400에 의하여 손상된 영상열들 중에서 2-29번째 프레임에 대한 normalized mean square error (NMSE)가 계산되었다. 여기서 NMSE는 다음과 같

이 정의된다.

$$NMSE(k) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} [Y(i, j, k) - S(i, j, k)]^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} [X(i, j, k) - S(i, j, k)]^2} \quad (11)$$

여기서 $S(i, j, k)$ 은 원래의 영상신호이며, $X(i, j, k)$ 은 잡음화된 영상 그리고 $Y(i, j, k)$ 은 필터의 출력영상이다.

그림 11에서 볼 수 있는 것처럼 모든 프레임들에 대하여 ADCWM필터가 NMSE 측면에서 가장 좋게 나타났으며 본 논문에서 제안된 필터는 이에 비교할 만한 낮은 값을 갖고 있음을 관찰할 수 있다. 그러나 제안된 필터는 ADCWM필터에 비하여 계산이 간단하기 때문에 실시간 처리를 필요로 하는 비디오 신호에 대하여는 본 알고리즘의 응용 가능성이 높다. WM7 필터, UMMF필터 그리고 BMMF 필터의 NMSE는 높게 나타났으며 그 중에서 시간상의 상관관련 이용도가 가장 낮은 UMMF필터의 NMSE가 가장 높게 나타났다.

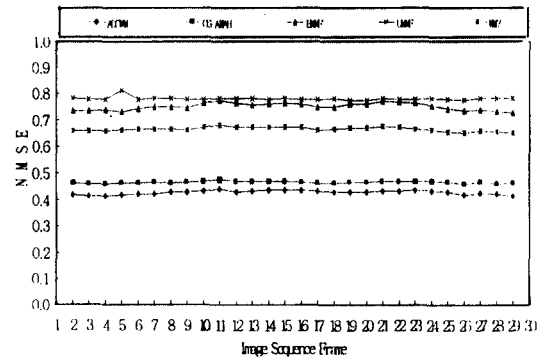


그림 11. 혼성필터들에 의하여 처리된 영상열의 각 프레임 당 NMSE.

V. 결 론

움직임 추정방법을 사용하지 않고 시공간 상관을 효율적으로 이용하여 세밀한 영상정보를 잘 보존하면서 잡음을 제거시킬 수 있는 순서통계형-적응가중평균 혼성필터가 제안되었다. 제안된 필터는 미디언 필

터의 변형인 적용 CWM 필터를 사용하여 1단계의 공간필터링을 수행한 후 프레임들간의 시간상 상관에 따라 필터가중치를 조정하는 2단계의 시간필터링이 뒤따른다.

움직임이 포함된 영역에서 시공간 필터들의 영상 정보 보존 능력과 잡음제거 성능을 조사하기 위하여 컴퓨터 simulation을 통한 각 필터들의 통계적 특성이 분석되었는데 사용된 필터들의 에지 보존 능력은 전반적으로 양호하며 잡음제거 능력은 ADCWM 필터가 가장 우수하고 다음으로 제안된 OS-AWAH 필터가 좋음을 볼 수 있다. 그러나 ADCWM 필터는 필터의 구조상 계산량이 OS-AWAH 필터의 수배에 이르는 단점이 있다.

제안된 혼성필터와 기존의 필터들을 실제 영상열에 적용한 결과 세밀한 영상정보의 보존 능력과 잡음제거 측면에서 ADCWM 필터와 본 연구에서 제안된 OS-AWAH 필터가 가장 좋은 결과를 만들었으며 특히 움직임 영역에서는 제안된 필터의 잡음제거 능력은 ADCWM 필터에 비하여 약간 부족하지만 세밀한 구조 보존 능력은 더 나은 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 제안된 필터는 영상의 시간적인 품질의 향상과 차후의 영상처리 성능의 개선을 위한 실시간 비디오 신호 처리에 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. J.C. Brailean, R.P. Kleihorst, S. Efstratiadis, A.K. Katsaggelos, and R.L. Lagendijk, "Noise Reduction Filters for Dynamic Image Sequences: A Review," Proc. IEEE, vol. 83, pp. 1272-1292, Sept. 1995.
2. D. Martinez and J.S. Lim, "Implicit motion compensated noise reduction of motion video signals," Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., 1985, Tampa, FL, pp. 375-378.
3. M.I. Sezan, M.K. Ozkan and S.V. Fogel, "Temporally adaptive filtering of noisy image sequence using a robust motion estimation algorithm," Proc. IEEE ICASSP 91, Toronto, Canada, vol. 4, pp. 2429-2432, 1991.
4. M.K. Ozkan, M.I. Sezan, and A.M. Tekalp, "Adaptive motion compensated filtering of noisy image sequences," IEEE Trans. Circ., and Syst. for Video Tech., vol. 3, pp. 277-290, Aug. 1993.
5. N.P. Galatsanos, A.K. Katsaggelos, R.T. Chin, and A.D. Hillery, "Least squares restoration of multichannel images," IEEE Trans. Signal Process., vol.39, pp.2222-2236, Oct. 1991.
6. M.K. Ozkan et. al, "Efficient Multiframe Wiener Restoration of Blurred and Noisy Image Sequences," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, No. 4, pp. 453-476, Oct. 1992.
7. D. Cano and M. Benard, "3-D Kalman filtering of image sequences," Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, New York:Springer, 1983.
8. J. W. Woods and J. Kim, "Motion Compensated Spatiotemporal Kalman Filter," Motion Estimation and Image Sequence Processing, M.I. Sezan and R.L. Lagendijk, Eds. Kluwer, 1993.
9. T. Viero and Y. Neuvo, "3-D Median Structures for Image Sequence Filtering and Coding," Motion analysis and image sequence processing, edited by M.I. Sezan, Kluwer Academic Publishers, 1993.
10. G.R. Arce, "Multistage Order Statistic Filters for Image Sequence Processing," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 39, No. 5, pp. 1146-1163, May. 1991.
11. S.J. Ko and T.M. Forest, "Image Sequence Enhancement Based on Adaptive Symmetric Order Statistics," IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 40, No. 8, pp. 504-509, Aug. 1993.
12. S.J. Ko and Y.H. Lee, "Center Weighted Median Filters and Their Applications to Image Enhancement," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 38, No. 9, pp. 984-993, Sept. 1991.
13. R.C. Hardie and C.G. Boncelet, "LUM filters: A class of rank-order-based filters for smoothing and sharpening," IEEE Trans. on signal processing, vol. 41, No. 3, pp. 1061-1076, March. 1993.
14. J.S. Lee, "Digital image enhancement and noise

filtering by use of local statistics," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-2, pp. 165-168, Mar. 1980.



박 순 영(Soon Young Park) 정회원

1982년: 연세대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1984년: 연세대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1989년: 미국 State University of
New York at Buffalo, 전
기 및 컴퓨터공학과 졸
업(공학박사)

1989년~1990년: 미국 State University of New York
at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과,
Post Doctor

1990년~현재: 목포대학교 전자공학과 부교수

※주관심분야: 디지털 신호 및 영상처리, 비디오처리