
SAMED 필터의 잡음제거 성능에 대한 연구

송중관*

A Study on the Noise Removal Performance of SAMED Filters

Jong-Kwan Song*

요 약

SAMED 필터는 미디언 부필터들의 출력을 선형 FIR 필터의 입력으로 사용하는 다단 필터로 선형 필터와 순서통계에 기초한 비선형 필터의 특성을 모두 포함하는 광범위한 필터군(filter class)으로 소개되었다. 본 논문에서는 여러 가지 잡음 환경에서 주어진 영상에서 각 차수에 대한 최적 SAMED 필터를 설계하고 그 성능을 분석하였다. 연속 SAMED 필터가 아닌 각 차수에 대한 SAMED 필터의 성능을 분석함으로써 잡음의 종류에 따라서 각 차수의 효율이 다름을 보였다. 가우스 잡음의 경우는 낮은 차수의 필터들이 계산량 대비 성능이 우수한 반면 임펄스 잡음의 경우는 반대의 성향을 보인다는 사실을 밝혔다.

ABSTRACT

The SAMED filter is introduced as a wide class of multi-stage filters which encompass linear FIR and nonlinear order statistic filters. The output of SAMED filter is linear combination of sub-median outputs. In this paper, optimal SAMED filter is designed for images corrupted by various noise, and performance is analogized. The experimental result shows that the efficiency of each order of SAMED filters is depends on type of noise. It is shown that low order filters are effective in Gaussian environments but high order filters are effective in impulsive case. This result may be used to follow-up research on successive SAMED filters.

키워드

SAMED filters, Gaussian noise, impulse noise, smoothing filter, image enhancement
SAMED 필터, 가우스 잡음, 임펄스 잡음, 스무딩 필터, 영상 개선

1. 서 론

선형 필터는 가우스 잡음 환경에서 최적의 성능을 보이며, 임펄스 잡음이 존재하는 경우 미디언 필터를 포함한 순서통계에 기초한 비선형 필터들[1-4]이 선형 필터들에 비하여 우수한 성능을 보인다. 특히 영상 신호에 대해서는 순서통계에 기초한 비선형 필터들이 영상의 중요한 특성인 경계선(edge) 정보를 보다 잘 보존하기 때문에 많은 응용 영역에서 적용되고 있다.

이처럼 선형 필터와 비선형 필터는 각각의 장점을 가지므로 두 종류의 필터의 장점을 결합한 새로운 필터 구조에 대한 연구의 필요성이 대두되었다, 이러한 연구의 결과로 LWOS 필터[5], FMH[6] 필터, Hybrid polynomial 필터[7] 등이 소개되었다

LWOS 필터는 임계치 분해 성질(threshold decomposition property)에 기초하여 이진 영역에서 정의되는 ETBF(extended threshold Boolean filter)의 다진 영역 표현(multi-level representation)으로 소개되

* 경성대학교 전자공학과(jsong@ks.ac.kr)
접수일자 : 2012. 08. 16

심사(수정)일자 : 2012. 11. 21

게재확정일자 : 2012. 12. 10

었다. 이 LWOS 필터는 임계치 분해 성질을 가지는 선형 필터와 비선형 필터를 모두 표현 할 수 있는 광범위한 필터의 구조를 제공하며 윈도우의 크기가 N 인 경우 2^N 의 설계 자유도를 가진다.

SA 필터[8]는 LWOS 필터의 구조에 대한 연구의 결과로 소개된 필터로 LWOS 필터를 2단(tow-stage)의 구조를 가지는 다단 필터로 표현할 수 있으며, 필터의 구조상의 이점으로 인하여 매우 체계적으로 필터의 성능과 계산량의 조절(trade-off)이 가능한 장점으로 인하여 LWOS 필터 및 FMH 필터들 보다 넓은 응용 영역을 갖는 필터이다.

SA 필터는 두개의 단(stage)으로 구성되는데, 첫 번째 단계에서는 비선형 필터가 사용되며 두 번째 단계에서는 선형 필터가 사용되는 다단 필터의 형태를 가진다.

이 때 첫 번째 단계에서 사용되는 비선형 필터의 종류에 따라 SAMAX 필터, SAMIN 필터, SAMED 필터로 명명된다. 이들 SA 필터는 첫째 단계에서 사용하는 부필터(sub-filter)의 크기를 제한함으로써 필터의 성능을 다소 희생하면서 계산량을 줄일 수 있다[8]. 따라서 설계 시 필터 성능과 계산량 사이의 적절한 조절이 가능하므로 응용 영역에 따라서 가장 적합한 성능과 계산량 조합의 선택이 가능한 장점을 갖는다. 부필터의 최대 크기를 극단적으로 제한하는 경우, 즉 부필터의 최대 크기를 1로 제한하는 경우에는 SA 필터는 선형 필터가 되며, 부필터의 크기를 점점 크게 하여 윈도우 크기 N 에 가깝게 하면 점점 비선형성을 강하게 포함하게 된다. 기존의 대부분의 필터들이 필터의 윈도우 크기가 결정되면 성능과 계산량을 조절할 수 있는 다른 파라미터가 없다는 점과 비교하면 SA 필터의 이러한 성질은 보다 다양한 응용 영역에 적용될 수 있는 기초가 된다.

최근의 SA 필터의 설계에 관한 연구 결과로 MSE(mean squared error) 성능 조건에서 SA 필터의 최적 설계가 가능하며, 이를 부가 잡음이 있는 영상의 품질개선 분야에 적용하여 기존의 필터들에 비하여 우수한 성능을 보인다는 사실이 밝혀졌다. 또한 SA 필터에 사용되는 비선형 부필터의 종류에 따른 성능 변화에 대한 연구도 이루어졌다. 그 결과 윈도우의 크기와 차수(order) 즉 부필터의 최대제한크기가 동일한 경우 부필터가 최댓값(SAMAX filter) 필터나 최솟값 필터

(SAMIN)는 동일한 성능을 보이는 것으로 밝혀졌다. 이들 필터에 비하여 SAMED 필터는 다소 다른 특성을 가지는데 이는 미디언(median) 연산자가 홀수의 입력에 대해서만 정의될 수 있다는 점에 기인한다. SAMAX 필터(또는 SAMIN 필터)와 SAMED 필터에 대한 비교연구의 결과에 따르면 대칭 잡음 환경에서는 SAMED 필터가 우수한 성능을 보이지만 비대칭 잡음 환경에서는 반대의 결과가 도출되었다. 이러한 연구의 결과는 모두 순차적으로 차수를 증가하면서 연구한 결과들이다. 즉, 윈도우의 크기가 5이고 3차 필터의 경우 1차 부필터, 2차 부필터, 3차 부필터를 모두 포함하는 구조(4차 부필터와 5차 부필터를 제외함)에서 연구된 결과들이다. 따라서 차수의 부필터들의 개별적 역할 및 성능을 평가하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 부필터의 크기에 따른 성능 변화를 알아보기 위하여 대칭 잡음 환경에서 계산량 대비 성능이 가장 우수한 SAMED 필터를 대상으로 최적 필터를 설계하고, 이를 영상에 적용하여 성능을 평가하였다. 또한 이 결과를 필터의 계산량과 비교하여 실험 환경에서 최적의 부필터 크기를 도출하였다.

II절에서는 SAMED 필터에 대한 정의와 본 논문에서 사용된 최적 설계 방법에 대하여 간단히 설명하였으며, III절에서는 대칭 잡음에서 각 차수별 SAMED 필터의 최적 설계를 수행하고, 그 결과를 영상신호에 대하여 적용하여 성능을 비교하였다.

II. SAMED 필터

$X(n)$ 을 입력 신호라 하고 $\mathbf{X}(n)$ 을 시간 n 에서 윈도우(window) 안에 있는 N 개의 입력 샘플로 구성되는 입력 벡터라 하면 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(n) &= [X(n-L_1), \dots, X(n), \dots, X(n+L_2)]^t \\ &= [X_1(n), \dots, X_k(n), \dots, X_N(n)]^t \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $N=L_1+L_2+1$ 이며 $X_k(n)=X(n-L_1-1+k)$ 이다. 이 때 입력 샘플 $X_k(n)$ 은 $\{0,1,\dots,M\}$ 중의 한 값을 갖는다고 가정한다. 앞으로는 표기(notaton)를 간단히 하기 위하여 시간 계수 n 을 생략

하면, 윈도우 내의 N 개의 입력 샘플로 구성되는 입력 벡터는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\mathbf{X} = [X_1, \dots, X_N]^t \quad (2)$$

윈도우의 크기가 N 이고 부필터의 크기가 i 인 SAMED 필터는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$F_{med}^i(\mathbf{X}) = \sum_{m_1=1}^N \sum_{m_2=m_1+1}^N \dots \sum_{m_i=m_{i-1}+1}^N h(m_1, \dots, m_i) med(X_{m_1}, \dots, X_{m_i}) = \mathbf{h}^t \mathbf{Z} \quad (3)$$

여기서 $med(\cdot)$ 는 미디언 연산자이며, \mathbf{h} 와 \mathbf{Z} 는 각각 계수 벡터(coefficent vector)와 관측 벡터(observation vector)로 $K = C_N^i$ 차원을 가진다. 앞으로의 논의에서 식 (3)의 필터를 i 차 SAMED 필터(i -th order SAMED filter)로 명명하기로 한다.

예를 들어 $N=5, i=3$ 인 경우 계수 벡터와 관측 벡터는 식 (4)와 같다.

$$\mathbf{h} = \begin{pmatrix} h(X_1, X_2, X_3) \\ h(X_1, X_2, X_4) \\ h(X_1, X_2, X_5) \\ h(X_1, X_3, X_4) \\ h(X_1, X_3, X_5) \\ h(X_1, X_4, X_5) \\ h(X_2, X_3, X_4) \\ h(X_2, X_3, X_5) \\ h(X_2, X_4, X_5) \\ h(X_3, X_4, X_5) \end{pmatrix}, \mathbf{Z} = \begin{pmatrix} med(X_1, X_2, X_3) \\ med(X_1, X_2, X_4) \\ med(X_1, X_2, X_5) \\ med(X_1, X_3, X_4) \\ med(X_1, X_3, X_5) \\ med(X_1, X_4, X_5) \\ med(X_2, X_3, X_4) \\ med(X_2, X_3, X_5) \\ med(X_2, X_4, X_5) \\ med(X_3, X_4, X_5) \end{pmatrix} \quad (4)$$

따라서 K 는 (3)의 SAMED 필터에 사용된 부필터의 개수를 의미하며, SAMED 필터의 구현의 계산량을 예상할 수 있는 중요한 척도가 된다. 예를 들어 윈도우의 크기가 9인 경우 부필터의 개수 K 는 아래의 표와 같다

표 1. $N=9$ 인 경우 차수에 따른 부필터의 수
Table 1. The number of sub-filters when $N=9$

i	1	3	5	7	9
K	9	84	126	36	1

[9]에서 정의된 i 차 연속 SAMED(successive SAMED) 필터는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$F_{med}(1, 3, \dots, i; \mathbf{X}) = F_{med}^1(\mathbf{X}) + F_{med}^3(\mathbf{X}) + \dots + F_{med}^i(\mathbf{X}) \quad (5)$$

이와 동일한 방법으로 미디언 연산자를 최댓값 연산자와 최솟값 연산자로 바꿈으로써 SAMAX, SAMIN 필터가 정의된다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 $i=1$ 인 경우 SAMED 필터는 선형 FIR 필터를 표현하며, $i=N$ 인 경우에 SAMED 필터는 미디언 필터를 표현하게 된다[9]. [9]에서는 부필터의 종류(max, min, med) 및 K 값 변화에 따른 연속 SA 필터의 성능이 연구 되었으며, 이를 통하여 SA 필터 설계에 대한 기본적인 가이드 라인을 제시하였다.

추후의 논의에서 식 (3)으로 주어지는 SAMED 필터와 식 (5)로 주어지는 SAMED 필터를 구분하기 위하여 식 (3)의 필터를 i 차 SAMED 필터(i -th order SAMED filter)로, 식 (5)의 필터를 i 차 연속 SAMED 필터(i -th order successive SAMED filter)로 명명하기로 한다.

본 논문에서는 연속 SAMED 필터가 아닌 (3)으로 주어지는 각 차수의 SA 필터의 성능을 보다 면밀하게 확인하기 위하여 여러 가지 잡음 환경에서 최적 필터를 설계하고 그 성능을 확인하였다. 앞선 연구에서 대칭 잡음 환경에서는 SAMED 필터와 다른 SA 필터들의 성능이 동일하다는 사실이 밝혀졌으므로 본 논문에서는 SAMAX, SAMIN 필터를 제외하고 SAMED 필터에 대하여 논의를 집중하였다.

III. 잡음 변화에 따른 SAMED 필터의 성능 분석

본 절에서는 2차원 영상에서 최적 SA 필터를 설계하고 그 성능을 분석하였다. 최적 필터의 설계는 MSE(mean squared error) 에러 기준을 사용하였다 [10]. 실험에 사용된 영상은 그림 1에 보인 "bridge"로 512x512 크기를 갖고 8bit/pixel의 특성을 갖는다.

1) 정확하게는 미디언 필터에 상수가 곱하여진 필터가 됨



그림 1. 원영상(bridge, 512*512)
Fig. 1 Original image(bridge, 512*512)

잡음 상황에 따른 SAMED 필터의 성능에 대하여 알아보기 위하여 세 가지 형태의 잡음을 부가하였다. 첫 번째는 가우스 잡음으로 표준 편차가 10인 잡음을 부가 하였다. 두 번째는 임펄스 잡음에 대한 성능 확인을 위하여 salt-and-pepper 잡음을 부가 하였다. 각 픽셀이 salt-and-pepper 잡음에 오염될 확률은 0.1이며, 0으로 오염될 확률(pepper 잡음 확률)과 255로 오염될 확률(salt 잡음 확률)은 동일하다. 세 번째는 혼합 잡음 상황에 대한 성능 평가를 위하여 첫 번째의 가우스 잡음과 두 번째의 임펄스 잡음이 동시에 원 영상에 부가하였다. 세 가지 잡음 상황에 대하여 (3)에서 주어진 SAMED 필터의 부필터의 크기 i 를 변화시키며 최적 설계를 수행하였다. 최적 필터 설계를 위한 통계적 특성은 원영상과 잡음으로 오염된 영상의 상부 좌측 1/4 영역으로부터 추정(estimate)하였다. 실험에서 사용된 윈도우의 크기는 $N=3 \times 3=9$ 이다. 미디언 부윈도우는 홀수개의 입력에 대해서만 정의되므로 SAMED 필터의 가능한 부필터의 크기 i 는 1, 3, 5, 7, 9의 5 가지이다. 각각 경우에 대하여 최적 필터를 설계하고 객관적 성능 평가를 위하여 원 영상과 최적 설계된 필터의 출력 영상과의 MSE와 PSNR을 구하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. SAMED 필터의 성능. (a) 가우스 잡음, (b) 임펄스 잡음, (c) 혼합 잡음

Table 2. The performance of SAMED filters (a) gaussian noise (b) impulse noise (c) mixed noise

i	K	MSE	PSNR
1	9	63.0	30.1
3	84	66.9	29.9
5	126	77.6	29.2
7	36	96.3	28.3
9	1	155.7	26.2

(a)

i	K	MSE	PSNR
1	9	377.3	22.4
3	84	152.5	26.3
5	126	104.6	27.9
7	36	102.7	28.0
9	1	158.4	26.1

(b)

i	K	MSE	PSNR
1	9	388.9	22.2
3	84	183.2	25.5
5	126	140.7	26.6
7	36	138.7	26.7
9	1	184.1	25.5

(c)

표 2 (a)는 가우스 잡음 환경에서 최적 설계된 SAMED 필터의 실험결과로 $i=1$ 인 SAMED 필터가 가장 우수한 결과를 보여주고 있다. $i=1$ 인 SAMED 필터가 선형 FIR 필터와 동일하므로 이는 이론적 예측과 정확하게 일치한다.

임펄스 잡음 환경에서 최적 설계된 필터의 성능을 보여주는 표 1(b) 결과에서는 $i=7$ 인 SAMED 필터가 가장 우수한 결과를 보여준다. 미디언 부필터의 개수는 $i=7$ 인 SAMED 필터가 36개로 $i=5$ 인 SAMED 필터의 16개보다 훨씬 적음에도 불구하고 보다 우수한 성능은 나타낸다는 결과는 다소 의외이다. 이러한 결과는 임펄스성 잡음 환경에서 필터의 성능은 부필터의 개수만으로 결정되지 않는다는 사실을 보여주며 혼합 잡음 상황에서도 동일하게 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 여러 가지 잡음 환경에서 각 차수에 대하여 SAMED 필터를 설계하고 그 성능을 분석하였다. 연속 SAMED 필터가 아닌 각 차수에 대한 SAMED 필터의 성능을 분석함으로써 잡음의 종류에 따라서 각 차수의 효율이 다를 것을 보였다. 가우스 잡음의 경우는 낮은 차수의 필터들이 계산량 대비 성능이 우수한 반면 임펄스 잡음의 경우는 반대의 성향을 보인다는 사실을 밝혔다.

본 논문의 결과는 [9]의 연속 SAMED 필터가 가우스 잡음이 많은 복합 잡음 환경에서는 적절하지만, 임펄스 잡음이 많은 경우는 부적절하며 다른 형태의 연속 SAMED 필터 정의가 필요하다는 사실을 보여줌으로써 후속 연구의 토대가 될 것으로 기대된다. 또한 이 결과는 SAMED 필터가 아닌 SAMAX 또는 SAMIN 필터의 설계에도 활용 가능하므로 영상 및 음성 등의 잡음 제거 분야[11, 12]에 연구에 기초로 활용될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 2012학년도 경성대학교 학술지원연구비의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] A. Fabijariska, D. Sankowski, "Noise adaptive switching median-based filter for impulse noise removal from extremely corrupted images," IET Image Processing, Vol. 5, No. 5, pp. 472-480, 2011.
- [2] O. Yli-Harja, J. Astola, and Y. Neuvo, "Analysis of the properties of median and weighted median filters using threshold logic and stack filter representation," IEEE Trans. Signal Processing, Vol. SP-39, pp. 395-410, 1991.
- [3] M. K. Prasad and Y. H. Lee, "Analysis of weighted median filters based on inequalities relating the weights," Circuits, Systems and Signal Processing, Vol. 11, pp. 115-136, 1992.
- [4] A. C. Bovik, T. S. Huang, and D. C. Munson Jr., "A generalization of median filtering using

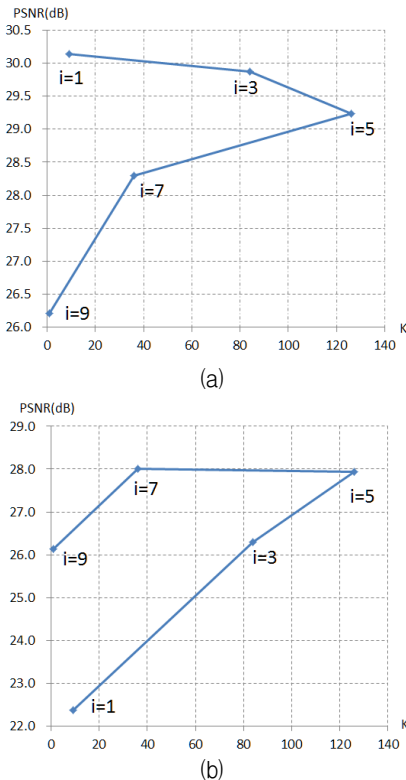


그림 2. SAMED 필터의 계산량(K) 대비 성능(PSNR) 그래프. (a) 가우스 잡음, (b) 임펄스 잡음.
Fig. 2 The graph on the performance(PSNR) vs. complexity(K) (a) Gaussian noise (b) impulse noise

그림 2에 표 1의 (a), (b) 결과를 그래프로 표시하였다. 그림 2 (a)에서 보면 가우스 잡음의 경우 $i = 1$ 과 $i = 3$ 인 경우가 $i = 9$ 과 $i = 7$ 인 경우 보다 필터의 계산량 대비 성능이 우수함을 알 수 있다. 반면, 임펄스 잡음의 경우를 보여주는 그림 1 (b) 결과를 보면 반대의 결과를 보여준다. 즉, $i = 9$ 와 $i = 7$ 인 경우가 $i = 1$ 과 $i = 3$ 인 경우 보다 필터의 계산량 대비 성능이 우수함을 알 수 있다.

이러한 결과는 잡음의 성질에 따라서 연속 SAMED 필터(successive SAMED filter)의 구조가 달라져야 함을 보여준다. 또한 이 결과는 SAMED 필터가 아닌 SAMAX 또는 SAMIN 필터의 설계에도 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

- linear combinations of order statistics," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-31, pp. 1342-1350, 1983.
- [5] J. Song, Y. H. Lee, "Linear combination of weighted order statistic filters: Canonical structure and optimal design," IEEE Trans. Circuits Syst.: Part II, Vol. 43, pp. 349-362, 1996.
- [6] P. Heinone and Y. Neuve, "FIR-median hybrid filters," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. 35, pp. 832-838, 1987.
- [7] T. C. Aysal, K. E. Barner, "Hybrid polynomial filters for Gaussian and Non-Gaussian noise environments," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 54, No. 12, pp. 4644-4661, 2006.
- [8] 송종관, "ETBF의 새로운 다진영역 표현: SA 필터", 해양정보통신학회논문지, 7권, 7호, pp. 1556-1562, 2004.
- [9] 송종관, 윤병우, "SA 여파기의 차수에 따른 성능 평가", 한국해양정보통신학회논문지, 9권, 7호, pp. 1502-1507, 2005.
- [10] 송종관, "혼합 잡음 영상에서 SA 필터의 성능 분석", 한국해양정보통신학회논문지, 11권, 3호, pp. 471-478, 2007.
- [11] 최재승, "신경회로망에 의한 음성 및 잡음 인식 시스템", 한국전자통신학회논문지, 5권, 4호, pp. 357-362, 2010.
- [12] 이창기, 김대익, "웨이블렛 변환을 이용한 음성의 적응 잡음 제거", 한국전자통신학회논문지, 4권, 3호, pp. 190-196, 2009.

저자 소개



송종관(Jong-Kwan Song)

1989년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학 석사)

1995년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학 박사).

1995년~1997년 한국이동통신 중앙연구소 선임연구원으로 근무.

1997년~현재 경성대학교 전자공학과 교수로 재직.

※ 관심분야 : 통신, 영상처리 등