

Order Statistic-Median Hybrid(OMH) 필터

백수현

황유모, 류동기

동국대, 전기공학과

삼성전자, 영상 연구실

Order Statistic-Median Hybrid(OMH) Filter

S. H. Baek
Donguk Univ., Korea

Humor Hwang, Donggy Ryu
Samsung Electronics, Korea

ABSTRACT

In this paper, we propose a new multilevel nonlinear filter for simultaneous edge detection and noise suppression, which we call a *order statistic-median hybrid (OMH) filter*.

The median-related filters cause an edge shift in the presence of an impulse near the edge. The proposed filter reduces such edge shifting while suppressing impulsive as well as nonimpulsive noise.

We show that at the noisy edge point the OMH filter is substantially superior to the median filter, the α -TM filter and the STM filter[1] in two respects: (a) the output bias error and (b) the output mean square error.

Test results confirm that the OMH filter is robust in preserving sharp edges, inhibiting edge shifting, and suppressing a wide variety of noise. The structure for the OMH filter integrated circuit is also described.

1. 서론

날카로운 에지가 포함된 신호 및 영상에 임펄스 및 Gaussian 형태의 노이즈가 존재할 때 선형 필터를 적용하면 에지 성분이 흐려(blur)진다. 이런 문제점을 해결하기 위해 비선형, 적응 필터[1]-[3]가 도입되었다. 미디언 필터는 출력에 필터 window내의 샘플들 값 중 median 값이 되는 간단한 비선형 operator 이다. 미디언 필터의 특징은 신호의 에지 성분을 잘 보존하면서 임펄스 노이즈를 제거할 수 있으며 하드웨어 구조가 간단한 점이다.

하지만, 미디언 필터는 신호의 homogeneous 영역에 존재하는 Gaussian 형태의 노이즈를 선형 필터만큼 잘 제거하지는 못한다. 임펄스와 Gaussian 형태의 혼합된 노이즈가 신호에 존재하는 경우 선형 필터의 수정 혹은 미디언 필터의 일반화로서 간주되는 order statistic filter(OSF)[3]가 자주 사용된다.

임펄스 혹은 Gaussian 노이즈가 신호 에지 부근에 존재할 때 미디언 관련 필터들을 적용하면 에지 변위를 초래한다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 에지 존재 여부에 따라 미디언 필터와 선형 필터를 적응적으로 선택하는 OMH 필터가 제안된다. 임펄스와 Gaussian 형태의 혼합된 노이즈가 존재할 경우 신호 에지 레벨을 OSF 를 적용하여 추정 (estimation) 한다. 추정된 신호 에지 레벨 값들은 에지 검출에 사용되며 에지 샘플점에서는 에지를 잘 보존하는 3점 미디언 필터를, 비 에지 (nonedge) 샘플 점에서는 Gaussian 형태의 노이즈를 잘 제거하는 선형 필터가 각각 적용된다.

본 논문의 2 절에서는 세 단계로 구성되는 OMH 필터의 구조가 설명되며, 3 절에서는 OMH 필터의 statistical 특성이 평가 된다. 표준 영상을 통한 시뮬레이션 결과 및 OMH 필터의 integrated 회로 구조가 4 절에 주어지며 결론이 간단히 5 절에서 언급된다.

2. 세 단계 필터 구조

제안된 OMH 필터는 그림 1 에서와 같이 3 단계로 구성된다. 단계 1과 3은 에지 검출을 하는 단계 2에 의해 분리되는 비선형 필터링 단계들이다. 단계 1에서는 신호 에지 레벨이 OSF 에 의해 추정된다. 필터링 샘플점 x_k 의 좌, 우 방향으로 OSF들이 다음과 같이 적용된다.

$$L = OSF(x_j)_{j=k-N}^{k-1} = \sum_{i=1}^N a_i x(i) \quad (2.1)$$

그리고

$$R = OSF(x_j)_{j=k+1}^{k+N} = \sum_{i=1}^N b_i x(i) \quad (2.2)$$

여기서 $x(i)$ 는 $\{x_i\}$ 시퀀스의 i 번째 큰 샘플 점이며 a_i 와 b_i 는 하중 계수들이다. 에지 검출의 단계 2에서는 필터링 샘플 점에 에지 점인지 판정하기 위해 OSF 출력 R 과 L 의 차 $T = R-L$ 값이 maximum likelihood test 에 의해 결정된 임계값(threshold value) τ 과 비교된다. 단계 2에서의 결정 D_k 는 에지 판정에 대해서는 1, 비 에지 판정에 대해서는 0 값을 각각 갖는다.

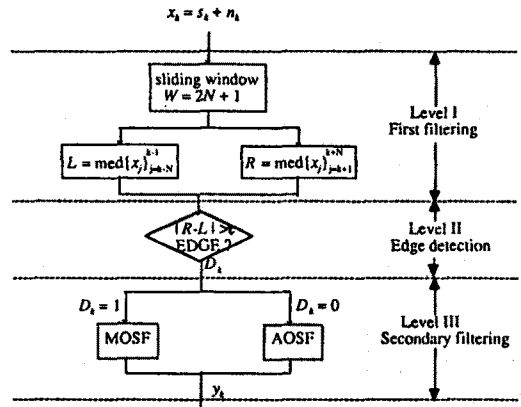


그림 1. OMH 필터 구조의 블록도

단계 3에서는 단계 2의 예지 판정 결과에 따라 다른 필터링 기법들이 적용된다. $D_k=1$ 인 경우 필터링 샘플점 x_k 와 좌,우 방향의 OSF 출력 L 및 R 가 3점 미디언 필터의 입력이 된다. 즉,

$$y_k = \text{med}(L, x_k, R) \quad (2.3)$$

식(2.3)의 필터를 median order statistic(MOS) 필터라 명명한다. 한편, $D_k = 0$ 이면 L 과 R 의 weighted 평균값이 다음과 같이 명명되는 averaging order statistic(AOS) 필터의 출력이 된다. 즉,

$$y_k = \alpha L + \beta R \quad (2.4)$$

여기서 α 와 β 는 y_k 를 unbiased minimum mean square estimator(Umse)가 되도록 선택된다.

MOS 필터는 검출된 예지 점을 잘 보존하며 비 예지점에 적용되는 AOS 필터는 임펄스가 없는 OSF 출력 R 과 L 를 평균 함으로써 필터링 샘플점의 노이즈를 감소한다.

3. OMI 필터 Integrated 회로

이 절에서는 그림 1의 MOS/AOS 필터들의 statistical error measure를 계산하여 종래의 single-level 비선형 필터들의 결과와 비교한다. 고려되는 표준 error measure 들은 다음과 같은 bias error 및 mean square error이다.

$$\text{bias error}(u_y) = E\{y_k\} - s_k \quad (3.1)$$

$$\text{mean square error}(m_y^2) = E\{(y_k - s_k)^2\} \quad (3.2)$$

3.1 Median Order Statistic(MOS) 필터

그림 2와 같은 노이즈가 존재하는 step 예지를 고려 한다.

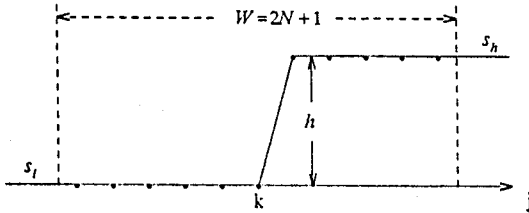


그림 2. Step 예지

MOS 필터의 출력은 pdf가 독립적이지만 동등하게는 분포되지 않는 L, x_k, R 에 의해 결정된다. $y_1=L, y_2=x_k, y_3=R$ 이라 하면, y_k 의 pdf는 다음과 같다.

$$f_{y_k} = f_1(y)[(1-F_2(y))F_3(y) + (1-F_3(y))F_2(y)] + f_2(y)[(1-F_3(y))F_1(y) + (1-F_1(y))F_3(y)] + f_3(y)[(1-F_1(y))F_2(y) + (1-F_2(y))F_1(y)] \quad (3.3)$$

여기서 $f_1(y)$ 와 $f_3(y)$ 는 노이즈 형태에 따라 다르다. 신호가 일정하고 노이즈가 Gaussian 및 Laplacian 일 경우 L 및 R 을 위한 OSF의 최적 계수가 [3]에서 주어진다. 그 때 $f_1(y)$ 및 $f_3(y)$ 는 order statistic $x(i)$ 의 N 번 convolution에 의해 구해질 수 있다. 식(3.3)의 y_k 를 사용하여 여러 형태의 노이즈 조건하에 error measure인 식(3.1)-(3.2)를 계산할 수 있다. 그림 3(a)-(b)는 zero mean, unit variance의 Gaussian noise가 예지에 존재하는 경우 예지 높이 h 에 대한 필터링 window 크기 $2N+1=7$ 를 갖는 MOS 필터의 출력 bias error와 root mean

square error를 나타낸다. 이런 결과들은 같은 window 크기의 averager, 미디언 필터, α -TM 필터[1] 그리고 STM 필터[1]의 결과들과도 비교된다. 그림 3(a)는 MOS 필터의 출력 bias가 h 가 ∞ 에 접근함에 따라 미디언 필터와 STM 필터와 같이 bound되며 타 필터들의 값보다는 적거나 같게 됨을 보여준다. 이 결과는 MOS 필터의 예지 보존 성능을 제시하는 것이다. 그림 3(b)에서는 예지 높이 h 의 함수로서 rmse가 나타난다. 작은 h 에 대해서는 rmse가 노이즈 감쇄를 강조, mean 필터가 우수하지만 h 가 크게 되면 MOS 필터의 우수성이 보여진다. 하지만, Gaussian 같은 노이즈가 낮은 예지에 존재하는 경우 예지 검출기는 그 성능이 mean 필터와 비슷한 AOS 필터를 선택하므로 제안된 OMI 필터는 작은 예지에서부터 큰 예지에 대해 robust한 출력 mse를 초래하게 된다.

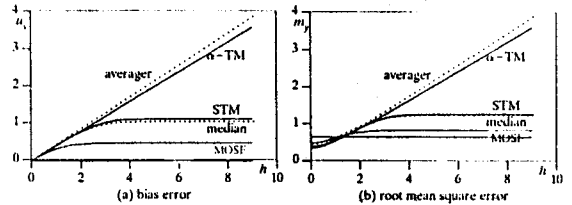


그림 3. Gaussian 노이즈가 존재하는 높이 h 의 신호 예지에 적용된 window 7의 MOS 필터 출력 bias error 및 rmse

3.2 Averaging Order Statistic(AOS) 필터

예지가 존재하지 않는 경우 필터링 window 내의 $s=0$ 의 일정한 신호를 고려한다. AOS 필터의 출력은 OSF 필터 출력인 L 과 R 의 weighted 평균값이다. L 과 R 의 출력은 pdf들이 독립적이지만 동등하지는 않는 분포를 갖으며 y_k 의 pdf는 L 과 R 의 pdf들의 convolution이 되어 결국 0이 되므로 rmse만 고려하면 된다. 여러 노이즈 형태에 대한 window 크기 $N=3, 5, 7, 9$ 에 대한 AOS 필터의 rmse 값은 single-level 최적 필터의 결과에 근접하며 그 결과는 지면상 생략한다.

4. 시뮬레이션 결과

제한된 필터의 성능을 평가하기 위해 그림 4(a)의 pixel 당 8 bit resolution을 갖는 256×256 표준 영상이 사용된다. 고려된 노이즈는 다음과 같은 혼합된 pdf를 갖는다.

$$f(x) = (1-\epsilon)g(x) + \epsilon h(x) \quad (4.1)$$

여기서 $g(x)$ 는 $N(0, \sigma^2)$, 그리고 $h(x)$ 는 매개 변수 λ 를 갖는 Cauchy pdf이다. 그림 4(b)는 $\epsilon=0.4, \sigma=7, \lambda=5$ 상태로 노이즈가 존재하는 영상이다. 신호 예지의 레벨을 추정하기 위해 필터링 샘플 점에 좌, 우로 가장 근접한 3 pixel이 L 및 R 에 사용된다. 그림 4(d)는 OMI 필터를 사용한 결과이며 예지 검출을 위한 τ 값은 15가 선택되었다. 필터 결과를 비교하기 위해 그림 3(b)의 영상이 MM 필터[1]에 적용되었으며 그 결과가 그림 4(c)에 보여진다. 그림 4의 테스트 결과는 제안된 OMI 필터가 타 필터들 보다 예지 보존 및 노이즈 감쇄 측면에서 우수함을 제시한다.



그림 4. 노이즈 킨 영상을 필터링한 결과 : (c) MTM 필터, $q = h - 2\sigma$ (d) OMH 필터, $\tau = 15$

그림 5 는 OMH 필터의 integrated 회로 구성을 위한 구조이다. 이 회로의 특징은 수평 라인 메모리를 위한 DRAM 및 8 bit, 5 element 의 고속 Bubble sorter, 그리고 필터링 window 선택을 위한 제어 logic 등이다.

제안된 OMH 필터에서는 그림 1 의 첫 번째 단계에서 L 및 R 을 위한 두개의 DRAM이 요구된다. DRAM size 는 신호의 video 부를 sorting 하기 위한 256×8 크기가 된다. 이 메모리는 외부적 (externally)으로 수평 동기인 start-stop 신호에 의해 제어된다. DRAM cell은 최적화를 위한 noise 가 추가되지 않는 간단한 논리 프로세서만 사용되는 1 transistor, 1 capacitor cell이다. Sorting 회로는 고속 Bubble sorter 방식으로 구현된다. Bubble sorter 는 인접 두 샘플 값을 비교 하여 ordering 한다. 필터 window 내의 데이터들은 이와 같은 3단계의 비교를 거쳐 최종적으로 sorted 값으로 출력된다. 3 단계 비교의 각각은 pipeline 구조로 되어 sorting 속도는 단 한 번의 비교-교환 단계에 의해 결정된다.

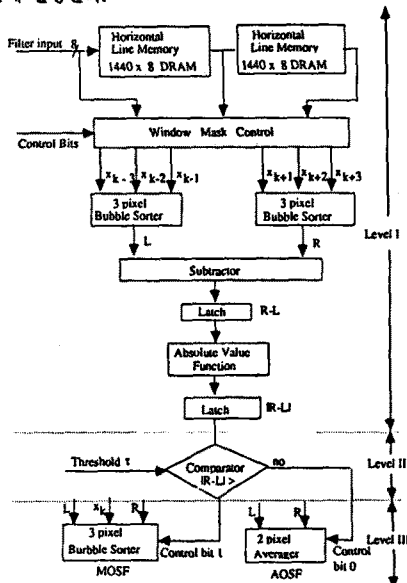


그림 5. OMH 필터의 integrated 회로 구조

그림 5 회로의 flexibility는 필터링 window를 제어할 수 있는데 있다. L 및 R 의 OSF를 위한 샘플 점들을 선택하기 위한 masking 패턴은 제어 bit에 의해 결정된다.

5. 결론

본 논문에서는 신호의 에지 검출과 노이즈 제거를 동시에 수행하는 새로운 필터인 OMH 필터가 제안되었다. OMH 필터는 에지 샘플점에는 MOS 필터, 비에지 점에는 AOS 필터를 적용하는 적응 필터이다. MOS 필터는 검출된 에지 점 보존 및 필터링 샘플점에 존재하는 임펄스 노이즈 제거면에서 미디언 필터, α -TM 필터[1], MTM 필터[1]들 보다 우수하다. 신호 에지가 존재하지 않는 경우 적용되는 AOS 필터는 single-level 최적 필터 만큼 잘 임펄스 및 Gaussian 형태의 노이즈를 제거한다. 결국 MOS/AOS 필터 pair로 구성되는 OMH 필터는 날카로운 신호 에지 성분을 blurring 시키지 않고 노이즈를 잘 제거한다는 점에서 robust 하다. 표준 영상을 통한 시뮬레이션 결과도 이 결론을 뒷받침한다.

참고문헌

- [1] Y. H. Lee and S. A. Kassam, "Generalized median filtering and related nonlinear techniques," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp.671-683, June 1985.
- [2] C. P. Raez and C. McGillem, "An adaptive, nonlinear edge preserving filter," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-32, pp.571-576, June 1984.
- [3] A. C. Bovik, T. S. Huang, and D. C. Munson, Jr, "A generalization of median filtering using linear combination of order statistics," *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp.1073-1075, Oct. 1981.