論 文

에지개선 필터들의 통계적 분석과 에지검출에 대한 영향

正會員 朴 淳 永*

A Statistical Analysis of Edge Enhancing Filters and Their Effects on Edge Detection

Soon Young Park* *Regular Member*

요 약

본 논문은 에지개선 필터들의 통계적인 특성과 에지 검출을 위한 전처리 연산자로서의 효용성을 분석한다. 분석 대상인 에지개선 필터들로는 비교와 선택을 수행하는 CS 필터, Hachimura와 Kuwahara가 개발한 HK 필터, 그리고 선택성 평균을 출력시키는 SA 필터이며 이 필터들은 잡음 제거 능력 및 손상된 에지를 계단 모양의 에지로 개선시키는 역할을 수행하기 때문에 에지 검출기 사용전에 잡음화된 영상을 전처리하는데 효과적으로 사용될 수 있다.

수치해석을 통한 통계적 분석이 에지개선 필터들의 잡음 제거능력을 살펴보기 위하여 수행되며 에지 검출에 대한 전처리 필터링의 영향은 수치해석 방법을 통하여 얻어진 오류확률들을 중심으로 분석된다. 또한, 백색잡음에 의하여 손상된 영상에 필터들을 사용하여 전처리를 수행한후 Sobel 연산자와 LoG 연산자를 사용하여서 에지 검출기의 성능 결과들을 비교한다.

실험 결과 에지개선 필터들은 잡음을 비교적 잘 제거할 수 있고 계단 형태의 에지를 만들려는 경향이 관찰 되었으며 또한 에지 검출전에 전처리기로서 사용된 에지개선 필터들은 후처리기로 사용된 에지 검출기의 성능을 향상시킬 수 있다.

Abstract

In this paper, we examine the statistical characteristics of edge enhancing filters and their efficacy as preprocessing operator before edge detection. In particular, edge enhancing filters called the Comparison and Selection(CS), Hachimura-kuwahara(HK), and Selective Average(SA) filters are considered. These filters can reduce noise while producing step-type edges, thus seem to be effective for preprocessing noisy images prior to applying edge detecors.

The ability of edge enhancing filters to suppress white Gaussian noise and the error probabilities occured during the edge detection following SA prefiltering are evaluated statistically through nu-

*木浦大學校 電子工學科
Dept. of Electronics. Eng., Mogpo Univ.
論文番號 : 93-165

merical analysis. The effect of prefiltering on edge detection is assessed by applying the edge enhancing filters to a noisy image degraded by additive white noise prior to applying the Sobel operator and the Laplacian of Gaussian(LoG) operator, respectively.

It is shown that the edge enhancing filters tend to produce ideal step-type edges while reducing the noise reasonably well, and the use of edge enhancing filters prior to edge detection can improve the performance of subsequent edge detector.

I. 서 론

영상처리의 대표적인 응용 분야의 하나인 컴퓨터 시각 시스템(computer vision system)의 궁극적인 목적은 영상신호로부터 중요한 특징들을 추출하여 기계로 하여금 그 추출된 특징들로부터 영상에 포함된 여러 정보들을 얻는데 있다. 여기서 영상처리 과정은 크게 전처리와 후처리 과정으로 구분할 수 있는데 전처리로서는 블러링(blurring)되고 잡음에 의하여 손상된 영상의 개선(enhancement)과 복원(restoration)이 있으며 후처리로서는 영상분석이 있다. 영상분석은 기본적으로 특징추출과 영상의 분할(segmentation) 그리고 영상의 분류(classification)를 포함하는데 이 후처리의 과정을 통하여 사물의 인식 및 해석이 이루어진다[1].

위에서 언급된 영상처리 과정을 살펴볼 때 전처리 과정과 후처리 과정은 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 영상의 컴퓨터 처리를 위하여 digitizing 과정중에 발생되는 aliasing을 제거하기 위하여 사용되는 저역통과 여파기는 영상에 블러링을 발생시키며 또한 전송중 여러잡음에 의하여 영상은 손상되게 된다. 이렇게 손상된 영상으로부터 특징을 추출하기 위하여는 손상된 영상으로 부터 블러링과 잡음을 먼저 제거하기 위한 영상의 전처리 과정이 필요하다. 블러링을 제거하기 위해서는 deconvolution방법[2]이 있지만 블러링을 일으킨 모델에 대한 사전 정보가 필요하여 실상황 아래서는 사용하기가 어렵다. 경험과 직관적인 관찰에 의존하여 제안된 영상개선의 방법은 에지, 경계선과 같은 영상의 특징들을 강조(accentuate)시킴으로써 블러링 및 잡음제거의 효과를 얻게 되는데 이러한 영상개선의 방법들에는 미디언 필터를 사용한 영상의 평활화(smoothing), 히스토그램 균등화(histogram equalization) 방법을 사용한 영상신호 명암대조의 극대화, 라플라시안(Laplacian) 연산자를 기본으로 한 고주파 강조(high frequency emphasis) 필터, 그리고 에지성분을 첨예화(crispening or sharpening)시키는 에지개선(edge enhancing) 필터 등이 있다[1,3,4].

위와 같은 여러 영상의 개선방법 중에서 후처리 과정인 특징추출의 효율을 증대 시킬 수 있는 전처리 방법으로는 에지개선 필터를 들 수 있다. 대부분의 에지개선 필터의 기본 개념은 잡음에 의하여 손상되고 퍼짐화된 에지(blurred edge)의 기울기(gradient)를 크게 하기 위하여 계단모양(step-like)의 에지로 전환하거나 또는 에지의 아래 성분과 윗 성분을 강조하여 두 성분 사이의 대조가 크도록 전환하여서 인간이나 컴퓨터에게 선명한 영상을 제공하고자 한다.

본 논문에서는 영상개선의 대표적인 방법중의 하나인 에지개선(edge enhancement)을 위한 여러 필터들의 성능분석과 에지개선 방법이 특징추출 과정중의 에지검출(edge detection)에 미치는 영향을 연구하며 분석대상인 에지개선 필터들은 Comparison and Selection (CS) 필터[5], Hachimura-Kuwahara (HK) 필터[6], Selective Average (SA) 필터[7,8] 그리고 Median 필터[9] 등이다.

본 논문의 구성은 먼저 II장에서 에지개선 필터들의 통계적인 특성을 살펴보며, III장에서는 에지개선 필터들의 에지검출에 대한 영향이 통계적인 방법에 의하여 분석되고, IV장에서는 실제 영상에 대한 에지개선 필터들의 잡음제거 능력과 에지개선의 성능 그리고 에지검출에 미치는 영향이 비교되며, 마지막으로 결론이 V장에 있게 된다.

II. 에지개선 필터들의 통계적 특성 분석

에지를 효율적으로 개선시킬 수 있는 CS 필터, HK 필터, SA 필터와 또한 잡음제거 및 에지 보존의 특성이 탁월한 미디언 필터의 잡음제거 및 에지 개선의 성능을 수치해석 방법을 사용하여 구한 출력분산(variance)과 모의실험을 통하여 분석하였다. 먼저 각 필터들의 구조는 다음과 같다.

1. CS 필터

어떤 시간 k에서의 일차원(one-dimensional) CS 필터의 출력 Y_k는 2N+1의 크기를 가진 윈도우에 포함된 입력신호 $X_{k-N}, \cdots, X_k, \cdots, X_{k+N}$들로 부터 다음과 같이 얻어진다.

$$Y_k = \begin{cases} X_k^{(N+1-J)}, & \text{if} \quad A_k \geq M_k \\ X_k^{(N+1+J)}, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{1}$$

여기서 $X_k^{(i)}$는 윈도우 안에 있는 샘플들 중에서 i번째로 작은 샘플이며 A_k와 M_k는 각각 샘플평균(sample mean)과 샘플미디언(sample median)이고 J는 필터 파라미터 이다. J=N일 경우 CS 필터는 윈도우내의 최소값이나 최대값을 선택하여 MINIMAX 필터처럼 동작하며 J=0일 경우 N+1번째의 크기인 샘플을 선택하는 미디언 필터가 된다.

2. HK 필터

일차원 HK 필터의 출력 Y_k는 다음과 같다.

$$Y_k = \begin{cases} A_{1k}, & \text{if} \quad V_{1k} \leq V_{2k} \\ A_{2k}, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{2}$$

여기서 A_{1k}와 V_{1k}는 $X_{k-2N}, \cdots, X_{k-1}$의 샘플로부터 얻어진 샘플평균과 샘플분산이며 A_{2k}와 V_{2k}는 $X_{k+1}, \cdots, X_{k+2N}$의 샘플로 부터 얻어진 샘플평균과 샘플분산이다. 결국 HK 필터는 시간 k의 각각 양쪽에 2N의 크기를 가진 측면 윈도우(side-window)를 사용하여 작은 분산을 가진 윈도우로 부터 구하여진 샘플평균이 최종 출력이 된다.

HK 필터는 에지가 없는 영역에서는 평균필터(average filter)와 같이 동작하여 잡음을 잘 제거하며 에지가 있는 영역에서는 분산이 작은 윈도우, 즉 아직 에지 성분이 포함되지 않은 윈도우로부터 평균을 취하기 때문에 블러링된 에지를 계단 모양으로 개선 가능하게 된다.

3. SA 필터

본 연구에서 제안된 SA 필터는 기존의 선택성 평균 필터를 변형시킨 것으로서 어떤 시간 k의 이웃에 있는 두개의 측면 윈도우에서 구하여진 샘플평균값 중에서 시간 k상에 있는 샘플에 가장 근접한 평균이 최종 출력으로 선택되는 기존의 방법이 잡음으로 샘플 X_k가 손상된 경우 출력으로 적합하지 않는 평균값이 선택될 수 있는 결점을 보완하고저 샘플 X_k를 포함하도록 다른 또 하나의 중앙윈도우(center-window)를 사용한다. 변형된 SA 필터의 최종 출력은 양쪽에 위치한 측면 윈도우에서 구하여진 평균값 중에서 가운데에 위치한 중앙 윈도우로 부터 구하여진 미디언에 가장 근접한 평균이 최종 출력이 된다.

$$Y_k = \begin{cases} A_{1k}, & \text{if } |A_{1k}-M_k| \leq |A_{2k}-M_k| \\ A_{2k}, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{3}$$

여기서 A_{1k} = Average $\{X_{k-2N}, \cdots, X_{k-1}\}$, A_{2k} = Average $\{X_{k+1}, \cdots, X_{k+2N}\}$, M_k = Median $\{X_{k-1}, \cdots, X_k, \cdots, X_{k+1}\}$이다. SA 필터는 양측면 윈도우에서 계산된 샘플평균 중의 하나가 최종출력으로 선택되는 점에서 HK 필터와 비슷하나 선택조건이 잡음에 민감한 분산대신에 중앙에 위치한 샘플미디언을 사용하기 때문에 에지 부근에서 HK 필터보다 더욱 잘 동작하게 된다. 즉, SA 필터의 출력은 샘플 미디언과 근접한 균질화(homogeneous) 지역에서 얻어진 샘플평균이 출력이 되어 잡음제거와 에지개선의 효과를 지니게 된다. I=0일 경우 SA 필터는 중앙에 위치한 X_k에 가까운 평균을 출력으로 선택하는데 수치해석 방법을 통한 필터의 통계적 특성 분석이 가능하므로 본 연구에서는 분석 편의상 I=0을 사용한다.

I=0인 경우 SA 필터의 출력밀도함수(output density function)는 다음과 같다. 입력이 독립적인 랜덤변수(independent random variable) $\{X_i\}$로 구성될 때 일차원 SA 필터의 출력 Y_i에 대한 밀도함수를 구하기 위하여 $X_{i-2N}, \cdots, X_{i-2N+L_1-1}$이 분포함수 $F_1(x)$와 밀도함수 $f_1(x)$를 가지고 있으며, $X_{i-2N+L_1}, \cdots, X_{i+2N}$이 분포함수 $F_2(x)$와 밀도함수 $f_2(x)$를 가진다고 가정하자. 총 확률(Total Probability) 법칙을 사용하여 SA 필터의 출력밀도함수 $g_i(y)$를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} g_i(y) &= \lim_{dy \to 0} \frac{1}{dy} P[y < Y_i \leq y+dy] \\ &= \lim_{dy \to 0} \frac{1}{dy} P[y < Y_i \leq y+dy, M_1] \\ &\quad + \lim_{dy \to 0} \frac{1}{dy} P[y < Y_i \leq y+dy, M_2] \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 $M_1 = \{|A_1-X_i| \leq |A_2-X_i|\}$, $M_2 = \{|A_1-X_i| > |A_2-X_i|\}$이다. 그런데 event $\{M_1\}$은 4개의 subevent인, $\{A_2 \leq A_1 \leq X_i\}$, $\{A_1 \leq X_i \leq A_2, 2X_i-A_1 \leq A_2\}$, $\{A_2 \leq X_i \leq A_1, 2X_i-A_1 \leq A_2\}$, $\{X_i \leq A_1 \leq$

A_2로 나누어질 수 있기 때문에 윗식은 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned}&P[y<Y_i\le y+dy,\ M_1]\\&=P[y<A_1\le y+dy,\ A_2\le A_1\le X_i]\\&\quad+P[y<A_1\le y+dy,\ A_1\le X_i\le A_2,\ 2X_i-A_1\le A_2]\\&\quad+P[y<A_1\le y+dy,\ A_2\le X_i\le A_1,\ 2X_i-A_1\ge A_2]\\&\quad+P[y<A_1\le y+dy,\ X_i\le A_1\le A_2]\end{aligned}\tag{5}$$

비슷하게, event $P[y<A_2\le y+dy,\ M_2]$인 경우의 확률도 얻을 수 있다. 이것들을 윗식에 대입하고 $dy\to 0$으로 함으로써 다음과 같이 출력밀도 함수를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}g_i(y)&=f_{A_1}(y)\{[1-F_{X_i}(y)]F_{A_2}(y)+F_{X_i}(y)[1-F_{A_2}(y)]\\&\quad+\int_y^x f_{x_i}(x)[1-F_{A_2}(2x-y)]dx\\&\quad+\int_{-x}^y f_{x_i}(x)F_{A_2}(2x-y)]dx\}\\&+f_{A_2}(y)\{[1-F_{X_i}(y)]F_{A_1}(y)+F_{X_i}(y)[1-F_{A_1}(y)]\\&\quad+\int_y^x f_{x_i}(x)[1-F_{A_1}(2x-y)]dx\\&\quad+\int_{-x}^y f_{x_i}(x)F_{A_1}(2x-y)]dx\}\end{aligned}\tag{6}$$

여기서 $f_{X_i}(\cdot)$와 $F_{X_i}(\cdot)$는 각각 랜덤변수 X_i의 밀도와 분포 함수이고, $f_{A_1}(\cdot)$와 $F_{A_1}(\cdot)$는 각각 A_1의 밀도와 분포 함수이며, $f_{A_2}(\cdot)$와 $F_{A_2}(\cdot)$는 각각 A_2의 밀도와 분포 함수이다. $\{X_i\}$가 가우스 밀도 함수를 가지고, $f_1(x)\sim\eta(\mu_1,\ \sigma^2)$과 $f_2(x)\sim\eta(\mu_2,\ \sigma^2)$이면, $f_{A_1}(x)$와 $f_{A_2}(x)$ 역시 가우스 밀도함수 $\eta(\mu_{A_1},\ \sigma^2/(2N))$과 $\eta(\mu_{A_2},\ \sigma^2/(2N))$을 가지게 된다. 여기서 μ_{A_1}와 μ_{A_2}는 다음과 같다.

$$\mu_{A_1}=\begin{cases}\dfrac{L_1\mu_1+(2N-L_1)\mu_2}{2N} & L_1\le 2N\\ \mu_1, & \text{otherwise,}\end{cases}$$

$$\mu_{A_2}=\begin{cases}\dfrac{(L_1-2N-1)\mu_1+(4N+1-L_1)\mu_2}{2N}, & L_1\ge 2N+1\\ \mu_2, & \text{otherwise.}\end{cases}\tag{7}$$

4. 평탄한 영역에서 필터의 통계적 특성

수치해석을 통한 통계적 특성 분석이 불가능한 HK 필터를 제외한 다른 에지개선 필터들의 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)의 제거능력을 살펴보기 위하여 입력 신호 $\{X_i\}$가 가우시안 밀도함수 f(x)를 가지고 있는 independently identically distributed(i.i.d.) 랜덤변수라고 가정한다. 그러면 식(6)과 (7)에 나타난 SA 필터의 출력밀도 g(y)를 이루고 있는 함수 중에서 $f_{X_i}(\cdot)=f(\cdot)$, $f_{A_1}(\cdot)=f_{A_2}(\cdot)=f_A(\cdot)$, 그리고 $L_i=4N+1$을 이용하면 출력 밀도함수 g(y)는 다음과 같이 간단히 된다.

$$\begin{aligned}g(y)&=2f_A(y)\{[1-F(y)]F_A(y)+F(y)[1-F_A(y)]\\&\quad+\int_y^x f(x)[1-F_A(2x-y)]dy\\&\quad+\int_{-x}^y f(x)F_A(2x-y)]dx\}\end{aligned}\tag{8}$$

여기서 $f_A(\cdot)$와 $F_A(\cdot)$는 샘플평균 A_1(또는 A_2)의 밀도와 분포 함수이며 $F(\cdot)$는 입력신호의 분포함수이다. 윈도우 크기가 2N+1인 미디언 필터의 출력밀도 함수는 다음과 같다[11].

$$g(y)=(2N+1)\binom{2N}{N}f(y)F(y)^N[1-F(y)]^N\tag{9}$$

여기서 f(y)와 F(y)는 입력신호의 밀도와 분포함수이다.

식(8)과 (9) 그리고 CS필터의 출력밀도 함수로서 참고문헌[12]의 식(5)을 사용하여 입력신호가 $\eta(0,\ 1)$의 i.i.d.인 경우에 대한 필터의 출력 분산을 다음 식(10)을 사용하여 구한 결과가 표1에 나타나 있다.

표 1. 입력신호가 $\eta(0,\ 1)$의 i.i.d.인 경우 출력 분산
Table 1. Output variances for the i.i.d. inputs with $\eta(0,1)$

필터	Window aize	
	N=2	N=4
CS (J=1)	0.55	0.28
(J=2)	1.41	0.51
Median	0.29	0.17
SA	0.20	0.11

$$\sigma^2 = \int_{-\gamma}^{\gamma} y^2 g(y)\, dy \qquad (10)$$

예측한 바와 같이 미디언 필터와 SA 필터의 잡음 제거 능력은 CS 필터보다 앞서며 CS 필터에서는 J가 작을수록 미디언에 근접한 샘플이 출력으로 선택됨으로 잡음제거 능력이 더 우수함을 볼 수 있다.

5. 에지 영역에서의 특성

잡음에 의하여 손상된 램프에지(ramp edge)에 대한 각 필터들의 잡음제거 및 에지개선의 성능은 통계적 분석으로는 불가능하기 때문에 다음과 같이 모의실험에 의하여 살펴본다. 여기서 사용된 잡음은 분산이 5인 가우시안 잡음이며 사용된 윈도우 크기는 N=4이며 I=1이다.

그림1에서 볼 수 있는 것처럼 잡음제거 능력은 우수하지만 에지개선의 능력은 부족한 미디언 필터를 제외하고는 전반적으로 잡음에 의하여 손상된 램프에지가 계단형 에지(step-type edge)로 개선되며 5번 연속 반복 필터링을 한 결과 잡음은 거의 제거되었으며 계단형의 에지를 얻게 되었다. 연구대상인 에지개선의 필터들 중에서 SA 필터가 전반적으로 우수함을 볼 수 있다.

Ⅲ. 에지개선 필터의 에지검출에 대한 영향

본 장에서는 II장에서 살펴본 여러 에지개선 필터들 중에서 성능이 우수하며 또한 후처리의 에지검출에 대한 영향의 통계적 분석이 가능한 SA 필터를 중심으로 여러 오류확률(error probability)을 수치해석 방법을 통하여 얻고 그 결과를 Bovik[10]등이 연구한 미디언 필터에 의한 에지검출의 영향과 비교한다.

1. 일차원 에지 검출기

간단한 1차원 에지 검출기(edge detector)는 다음과 같은 차등동작기(differencing operator) $\triangle_i$에 의하여 설명할 수 있다.

$$\triangle_i = Y_{i+1} - Y_i \qquad (11)$$

여기서 Y_i는 시간지수(time idex) i에서 에지 검출기의 입력신호이다. 에지 검출기는 만약 $\triangle_i$가 미리 정하여진 threshold값 τ보다 크면 에지가 시간 i에서 존재하고 있다고 선언한다. 2차원 영상에서의 에지 검출기는 기본적으로 1차원 차등동작기의 확장이며 에지의 방향도 검출하기 위하여 벡터의 개념을 사용하고 있다.

에지 검출과정에는 크게 두 종류의 오류확률(error probability)이 발생하는데, 그중의 한 종류는 잡음에 의하여 유사에지(pseudo-edge)가 검출되는 오류확률 P_F(probability of false detection)이며 다른 종류는 실제의 에지를 검출 못하고 빠트리게 되는 오류확률 P_M(probability of edge miss)이다. 다음은 에지가 없는 i.i.d. 영역에서 발생되는 P_F와 에지가 존재하는 영역에서 발생되는 P_M을 SA와 미디언 필터로 전처리된 신호에 대하여 살펴 본다.

2. i.i.d. 영역에서 유사에지를 검출할 오류확률 (false detection probability)

i.i.d. 입력신호에서는 에지가 존재하지 않으므로 만약 에지검출기가 전처리필터에 의하여 완전하게 제거되지 않은 잡음으로 말미암아 에지를 검출하게 되면 오류 확률 P_F가 다음과 같이 발생한다.

$$P_F = P\{|Y_{i+1} - Y_i| > \tau\}$$
$$= \iint_{|y_m - y_n| > \tau} g_i(y_m, y_n)\, dy_m dy_n \qquad (12)$$

여기서 $\{Y_i\}$는 SA 필터에 의하여 전처리된 신호이며 $g_i(y_m, y_n)$은 SA 필터의 출력 Y_i와 Y_{i+1}의 결합 확률밀도 함수(joint probability density function)로서 유도과정이 복잡하기 때문에 그 결과만을 이용하면 다음과 같다.

$$g_i(y_m, y_n) = (2N)^2 \iiiint_{B_1} f(x_1) f(x_2) f_{AX}(y_m, 2N(y_m - y_n) + x_1)$$
$$\cdot f_{AX}(a_4, 2N(a_4 - a_2) + x_2)\, da_4\, da_2\, dx_2\, dx_1$$
$$+ (2N)^2 \iiiint_{B_2} f(x_1) f(x_2) f_{AX}(y_m, 2N(y_n - a_3) + x_1)$$
$$\cdot f_{AX}(y_n, 2N(y_n - a_2) + x_2)\, da_3\, da_2\, dx_2\, dx_1$$
$$+ (2N)^2 \iiiint_{B_3} f(x_1) f(x_2) f_{AX}(a_1, 2N(a_1 - y_n) + x_1)$$
$$\cdot f_{AX}(a_1, 2N(a_1 - y_m) + x_2)\, da_1\, da_1\, dx_2\, dx_1$$
$$+ (2N)^2 \iiiint_{B_4} f(x_1) f(x_2) f_{AX}(a_1, 2N(a_1 - a_3) + x_1)$$
$$\cdot f_{AX}(y_n, 2N(y_n - y_m) + x_2)\, da_3\, da_1\, dx_2\, dx_1 \qquad (13)$$

여기서

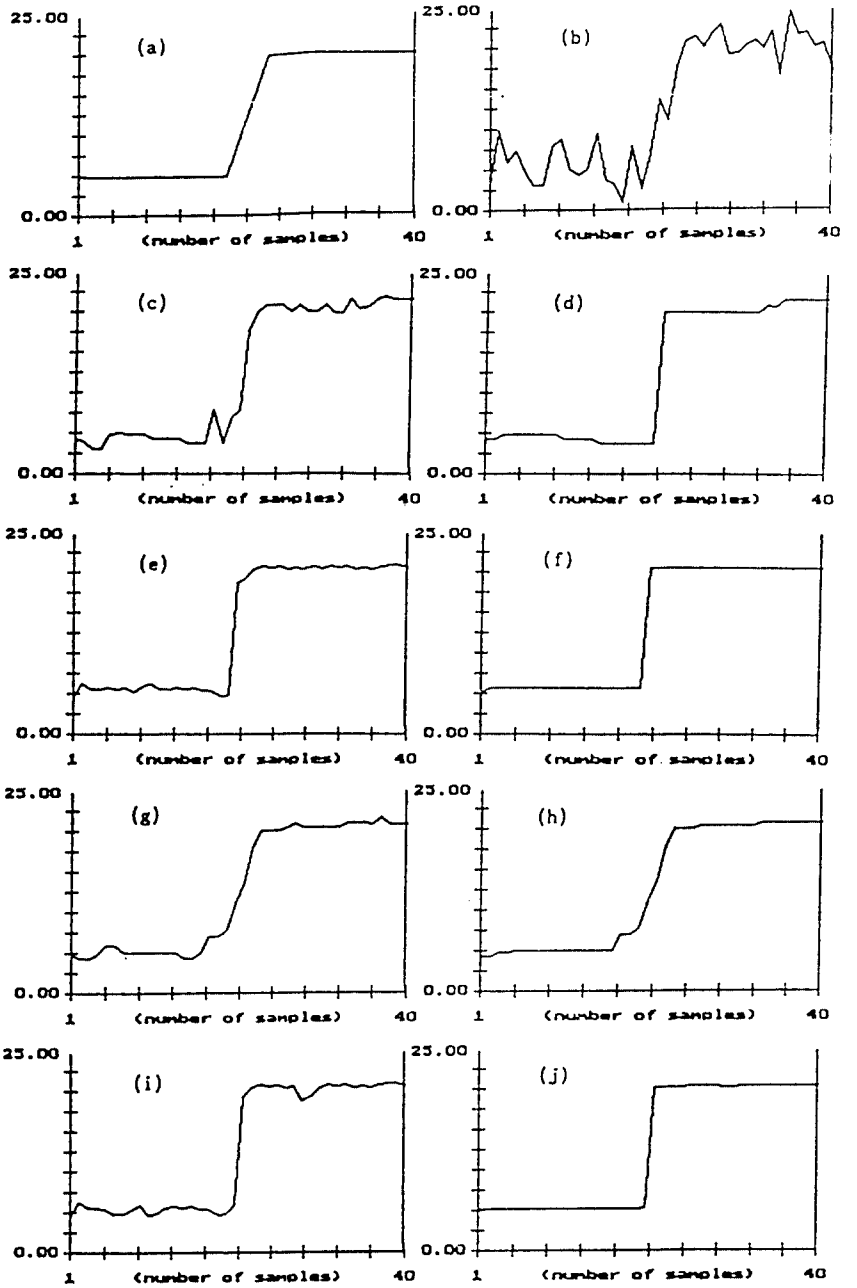

그림 1. 잡음에 의하여 손상된 램프에지의 에지개선 필터에 의한 개선 결과 :
(a) 램프에지, (b) 잡음에 의하여 손상된 램프에지, (c) 1-pass CS 필터, (d) 5-pass CS 필터, (e) 1-pass HK 필터, (f) 5-pass HK 필터, (g) 1-pass 미디언 필터, (h) 5-pass 미디언 필터, (i) 1-pass SA 필터, (j) 5-pass SA 필터

Fig 1. Results of edge enhancing filters for the ramp edge corrupted by noise.
(a) ramp edge, (b) ramp edge corrupted by additive white Gaussian noise with variance 4, (c) 1-pass CS filter, (d) 5-pass CS filter, (e) 1-pass HK filter, (f) 5-pass HK filter, (g) 1-pass median filter, (h) 5-pass median filter, (i) 1-pass SA filter, (j) 5-pass SA filter.

$B_1=\{(x_1, x_2, a_2, a_1)\}: |y_m-x_1| \le |a_2-x_1|, |y_n-x_2| \le |a_1-x_2|\}$

$B_2=\{(x_1, x_2, a_2, a_3)\}: |y_m-x_1| \le |a_2-x_1|, |a_3-x_2| > |y_n-x_2|\}$

$B_3=\{(x_1, x_2, a_1, a_1)\}: |a_1-x_1| > |y_m-x_1|, |y_n-x_2| \le |a_1-x_2|\}$

$B_4=\{(x_1, x_2, a_1, a_3)\}: |a_1-x_1| > |y_m-x_1|, |a_3-x_2| > |y_n-x_2|\}$ 이며

$f(\cdot)$는 입력 랜덤변수 $\{X_i\}$의 밀도함수이고 $f_{AX}(\cdot,\cdot)$는 샘플 평균 A_1과 입력 랜덤변수 X_{1-2N}의 결합 밀도이다. 미디언 출력에 대한 결합 확률밀도함수는 참고문헌[13]의 결과를 변형하여 사용하였다.

그림2(a)는 $f(x)\sim\eta(0, 1)$의 조건에서 SA와 미디언 필터에 의한 전처리 그리고 비교를 위하여 전처리 과정없이 단순히 에지 검출기만 사용했을때 threshold τ의 변화량에 대한 함수로서 P_F를 보여 준다. 전처리 필터를 사용할 때가 필터없이 단독으로 에지 검출기만 사용할 때보다 오류확률을 줄일 수 있는데 이것은 전처리 필터의 잡음 제거 효과 때문이다. 그런데 미디언 필터의 출력 분산이 SA필터보다는 큰 사실(표 1. 참조)에도 불구하고 SA필터의 오류확률이 미디언 필터의 것보다는 높은 이유는 이웃 시간지수 사이에 같은 출력을 생성할려고 하는 미디언 필터의 경향 때문이다. 즉, 윈도우 크기가 $2N+1$인 미디언 필터는 $P[Y_{i+1}=Y_i]=N/(2N+1)$이라는 높은 확률을 가지기 때문에 차등 증폭기의 사용에 의한 오류확률이 감소된다.

3. 에지 영역에서 에지를 빠트릴 오류확률 (edge miss probability)

통계적 분석을 가능케 하기위하여 다음과 같이 간단히 잡음에 의하여 손상된 계단형 에지를 정의한다.

$$X_i=\begin{cases} V_i, & i\le 0 \\ h+V_i, & i\ge 1 \end{cases} \qquad (14)$$

여기서 $\{V_i\}$는 가우시안 밀도함수 $f(x)$를 가진 i.i.d. 랜덤변수이며 h는 에지의 높이이다. 기호의 편리상, $i\le 0$인 상황에서의 변수 $\{X_i\}$의 밀도함수 $f(x)$를 $f_1(x)$로 놓고, 또한 $i\ge 1$일때의 변수 $\{X_i\}$의 밀도함수 $f(x-h)$를 $f_2(x)$로 놓는다. 에지가 점 0와 1사이에 존재 함으로 에지를 빠트릴 오류확률 P_M은 다음과 같이 정의된다.

$$P_M=P[Y_1-Y_0\le\tau]$$

$$=\iint_{y_n-y_m\le\tau} g_0(y_m, y_n)dy_m\,dy_n \qquad (15)$$

여기서 $g_0(y_m, y_n)$은 필터의 두 출력 Y_0와 Y_1의 결합 확률밀도 함수로서 식(13)을 변형하여 구할 수 있다. 그림 2(b)는 SA와 미디언 필터를 사용한 전처리후와 전처리에 의한 필터링없이 에지 검출기만을 사용했을때의 오류확률 P_M을 보여 준다. 신호대 잡음비를 에지의 높이와 잡음의 표준분산의 비율로 정의할때 (즉, $SNR=h/\sigma$), $SNR=4$ 그리고 윈도우 크기가 $N=4$인 경우에 대하여 threshold τ를 변화시키면서 P_M이 계산되었다. 전반적으로 에지개선의 효과가 있는 SA필터가 미디언 필터보다는 적은 오류확률 P_M을 발생함을 볼 수 있다.

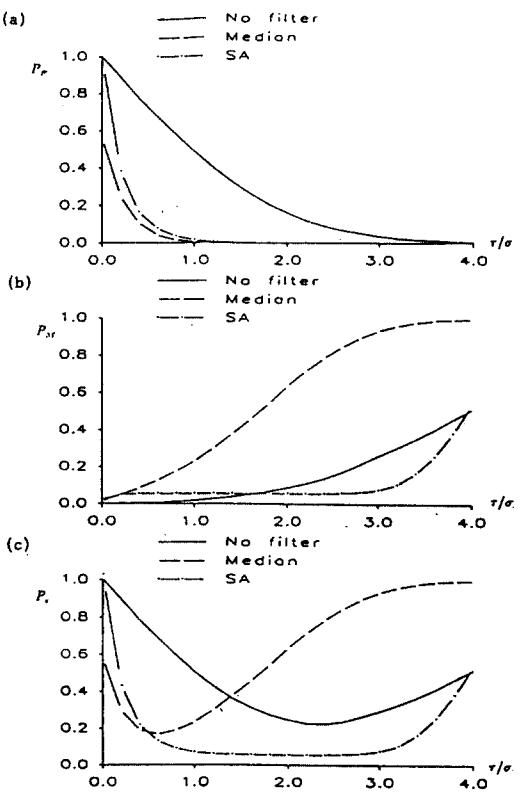

그림 2. 에지 검출중 발생되는 오류확률 :
(a) 유사에지를 발생하는 오류확률 P_F. (b) 에지를 빠트리는 오류확률 P_M. (c) 총 오류확률 P_F+P_M.

Fig 2. Error probabilities of false detection P_F, (b) probability of edge miss P_M, (c) total error probability P_F+P_M.

4. 총 오류확률(Total error probability)

전처리 필터링이 에지검출에 미치는 영향을 종합적으로 살펴보기 위하여 두 종류의 오류확률인 P_F와 P_M을 합한 결과가 그림 2(c)에 나타나 있다. 각 곡선의 모양은 컨벡스(convex)형태이며 어떤 특정점 τ/σ에서 오류확률이 최저가 되는데 이렇게 최저 오류확률을 유도하는 τ/σ을 최적(optmal) threshold라 한다. 전반적으로 SA필터의 사용에 의한 전처리는 에지검출에 수반되는 오류확률들을 줄일 수 있으며 특히 최적 threshold τ/σ을 선택하는 측면에 있어서도 최저 오류확률이 일정한 상태로 폭넓게 유지되고 있기 때문에 융통성 있는 결정을 할 수 있게된다.

Ⅳ. 실험 결과

본 장에서는 전처리 필터링이 에지검출에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 본 연구에서 소개한 필터들을 실제의 영상에 적용하여 영상신호를 개선한후 3×3 Sobel operator가 검출한 에지를 주관적으로 평가하고저 한다. 사용된 필터들은 II장에서 살펴본 일차원 필터들의 확장인 이차원 필터로서 미디언과 CS 필터의 경우 (i, j)에 중심을 가지고 크기가 (2N+1)×(2N+1)인 이차원 윈도우 W(i, j)에 있는 샘플들을 순서치(ordered data) 중의 하나에 의하여 출력이 결정되며 HK필터의 경우 (i±N, j±N)에 중심을 가지고 크기가 (2N+1)×(2N+1)인 4개의 부 윈도우(subwindow)중의 최저 샘플분산을 가진 부 윈도우로 부터의 샘플평균이 출력이 된다. SA 필터의 경우 (i, j)에 중심을 가지고 크기가 (2I+1)×(2I+1)인 윈도우의 샘플 미디언과 가장 근접한 샘플평균이 출력이 된다.

실험에 사용된 영상은 크기가 256×256이고 8bits의 resolution을 가지며 사용된 필터의 윈도우 크기는 N=2, I=1이다. 그림 3(a)의 자연 영상이 저역통과 필터인 (3×3) mean 필터에 의하여 블러링되고 분산이 100인 i.i.d. 가우시안 잡음에 의하여 손상된 결과가 그림 3(b)에 나타나 있다. 그림3(c)-(f)는 미디언, CS, HK, SA필터들에 의하여 그림 3(b)의 영상이 전처리된 결과들로서 잡음들은 비교적 잘 제거되고 특히 에지개선 필터인 SA와 HK 필터에 의하여 영상이 개선됨을 볼 수 있다.

그림 4(a)는 전처리 과정없이 Sobel 연산자 만의 사용으로 에지가 검출된 결과이며 그림4(b)-(e)는 미디언, CS, HK, SA 필터에 의하여 먼저 전처리된 후 Sobel연산자에 의하여 에지가 검출된 결과이다. 전처리 없이 검출된 에지는 잡음에 의한 유사에지의 영향으로 영상의 특징 추출이 불가능하게 되었으나 전처리 필터에 의한 잡음의 제거는 유사에지의 검출을 억제하였다. 특히 에지개선 필터인 SA와 HK 필터에 의하여 전처리된 경우는 미디언 필터의 사용보다 에지를 빠트리는 오류를 작게하여 원래의 영상정보에 대한 특징을 더 잘 유지하게 함을 알 수 있다.

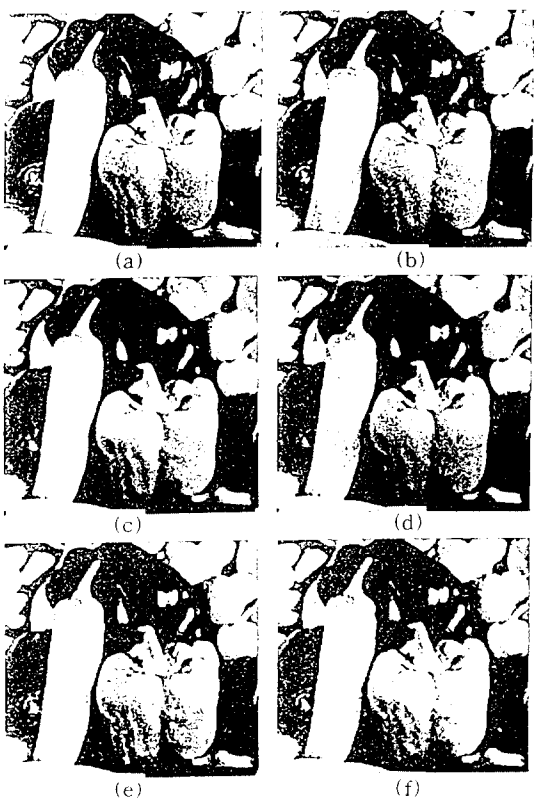

그림 3. 원 영상과 잡음에 의하여 손상된 영상 및 여러가지 에지개선 필터들이 적용된 영상들 :
(a) Pepper 영상, (b) 저역여과기에 의하여 블러링되고 잡음($\sigma^2=100$)에 의하여 손상된 영상, (c) 미디언 필터의 출력 영상, (d) CS 필터의 출력 영상, (e) HK 필터의 출력 영상, (f) SA 필터의 출력 영상.

Fig 3. Original image, noisy blurred image and the results of edge enhancing filters :
(a) original peper image, (b) noisy blurred image (c) median filtered image, (d) CS filtered image, (e) HK filtered image, (f) SA filtered image.

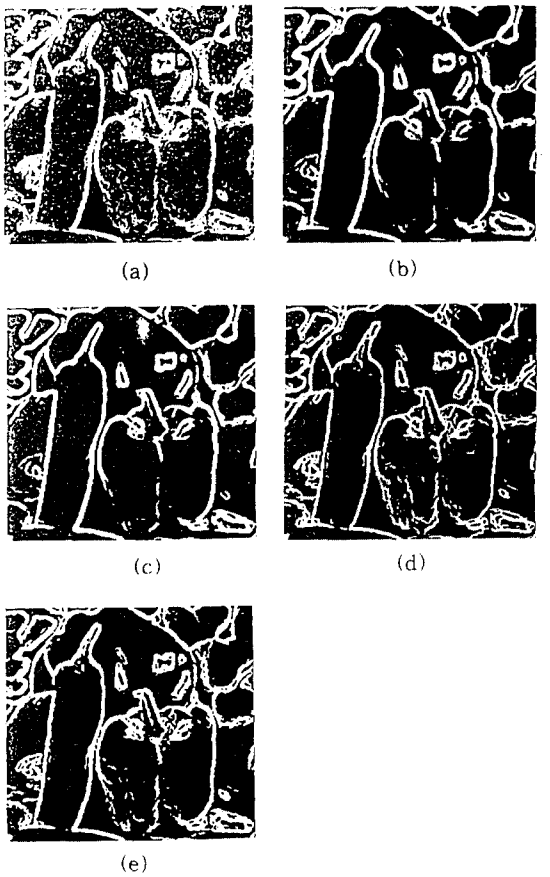

그림 4. Sobel 연산자에 의하여 검출된 에지도(edge map) : (a) 전처리 생략, (b) 미디언 전처리, (c) CS 전처리, (d) HK 전처리, (e) SA 전처리.

Fig 4. Edge mape obtained by applying Sobel operator : (a) no prefiltering, (b) median prefiltering, (c) CS prefiltering. (d) HK prefiltering, (e) SA prefiltering.

그림 5(a)는 전처리 과정없이 잡음화된 영상에 LoG 연산자를 사용하여 에지를 검출한 경우이며 그림 5(b)는 에지개선 필터들의 하나인 SA 필터에 의하여 전처리 한후 LoG 연산자에 의하여 검출된 결과로서 사용된 LoG 연산자의 크기는 11×11이며 $\sigma = 1.4$로 고정되었다. 에지개선 필터링에 의한 전처리는 LoG 에지 검출기의 성능을 향상시켜서 잡음에 의한 유사에지의 영향을 제거할 수 있고 원래의 영상정보의 특징을 잘 유지하는 현상을 관찰할 수 있다.

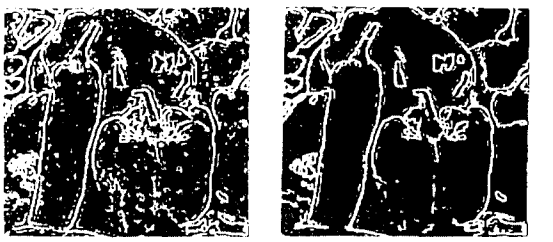

그림 5. LoG 연산자에 의하여 검출된 에지도 : (a) 전처리 생략, (b) SA 전처리.

Fig 5. Edge maps obtained by applying LoG operator : (a) no prefiltering, (b) SA prefiltering.

V. 결 론

본 논문에서는 CS, HK, SA 그리고 미디언 필터들의 통계적 특성 분석과 이 에지개선 필터들이 전처리 필터로서 사용될 때에 에지검출에 미치는 영향을 기술하였다. 수치해석 방법을 통하여 분석된 백색 가우시안 잡음의 제거 능력은 SA와 미디언 필터가 우수하였으며 일차원 신호에 대한 모의 실험결과 SA, HK 그리고 CS 필터들이 미디언 필터에 비하여 에지개선 능력이 관찰 되었다.

자연 영상에 대한 실험 결과, 에지개선 필터들의 잡음제거 및 에지개선의 성능이 입증되었으며 전처리 필터링후 사용된 에지검출기는 유사에지 및 에지를 빠트릴 오류확률들을 줄이게 되어 손상된 영상으로 부터의 특징추출을 용이하게 하였다.

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. A.K.Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.
2. B.R. Hunt, "Deconvolution of linear systems by constrained regression and its relationship to Wiener theory," IEEE Trans. Automata,

Control., AC-17, pp.703-705, 1972.
3. W.K.Pratt, Digital Image Processing, New York : Wiley, 1991.
4. Y.H.Lee and S.Y.Park, "A Study of Convex/concave Edge-Enhancing Operators Based on the Laplacian," IEEE Trans. Circuits and Systems,. vol. CAS-37, pp.940-946, 1990.
5. Y.H.Lee and A.T. Fam, "An edge gradient enhancing adaptive order statistic filter," IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Processing, vol. ASSP-35, pp. 680-695, May 1987.
6. M.Kuwahara, K.Hachimura, S.Eiho and M. Kinoshita, "Processing of RI-angio-cardiographic Image," Digital Proc. of Biomedical Images, K. Preston and M.Onoe, Eds., pp.187-202, 1976.
7. L.S.Davis and A.R.Rosenfeld, "Noise Cleaning by Iterated Local Averaging," IEEE Trans. Systems Man. Cybernet., vol SMC-8, pp. 705-710, 1978.
8. S.J. Ko, Y.H. Lee and A.T. Fam, "Selective Median Filters," IEEE International Symposium on Circuits ansd Systems, June, 1988.
9. J.W.Tukey, "Nonlinear Methods for Smoothing Data," EASCON Conf. Rec., pp. 673, 1974.
10. A.C.Bovik, T.S.Huang and D.C.Munson, Jr, "The Effect of Median Filtering on Edge Estimantion and Detection," IEEE Trans. PAMI-9, pp. 181-194, Mar., 1987.
11. T.S. Huang, Ed., Two-Dimensional Digital Siganl ProcessingII : Transforms and Median Filters, NY : Springer-Verlag, 1981.
12. S.Y.Park Y.H. Lee, "Comparison and Selection Filtering : Statistical Properties and its Effect on Edge Detection," Jornal of KIEE, vol. 1, pp. 44-49, 1988.
13. F. Kuhlman and G.L. Wise, "On second monent properties of median filtered sequece of inde-

朴 淳 永(Soon Young Park) 정회원
1957년 1월 25일 생
1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
1989년 1월 : 미국 State University of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터 공학과(공학박사)
1989년 1월~1990년 8월 : 미국 State University of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과 연구원
1990년 9월~현재 : 목포대학교 전자공학과 조교수
※주관심분야 : 디지탈 신호 및 영상처리, 음성인식.