

논문 2004-41SP-3-16

Waerden 통계량을 이용한 강인한 에지검출 방법

(A Robust Edge Detection method using Van der Waerden Statistic)

최 명 회*, 이 호 근**, 김 주 원***, 하 영 호**

(Myong-Hui Choi, Ho-Keun Lee, Joo-Won Kim, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 원영상과 잡음영상에서 Waerden 통계량을 이용하여 효율적인 에지 검출을 제안한다. 에지는 영상의 밝기값이 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 급격히 변하는 경계에 존재한다. 통계적 에지 검출 방법으로 통계 가설 검정인 비모수 Wilcoxon 검정과 모수 T검정을 설명한다. 특정한 유의수준 α 에 의해 결정되어 지는 임계값을 사용하며, 반면 Bovik, Huang 과 Munson 은 임계값에 대한 검정 통계량의 가능한 범위를 생각한다. 에지 검출의 실험 결과로부터 T와 Wilcoxon 방법은 잡음 영상에 민감하게 반응하는데 반하여 제안한 Waerden 방법은 유의수준 $\alpha=0.0005$ 에서 잡음 영상과 잡음이 없는 영상 모두에서 로버스트 하다. 통계적인 검정 방법들과 Sobel, LoG, Canny연산자를 이용한 에지검출 방법을 비교해보면, Waerden 방법이 잡음 영상과 잡음 없는 영상 모두에 훨씬 더 효율적으로 에지를 검출한다.

Abstract

This paper proposes an efficient edge detection using Van der Waerden statistic in original and noisy images. An edge is where the intensity of an image moves from a low value to a high value or vice versa. We describe a nonparametric Wilcoxon test and a parametric T test based on statistical hypothesis testing for the detection of edges. We use the threshold determined by specifying significance level α , while Bovik, Huang and Munson consider the range of possible values of test statistics for the threshold. From the experimental results of edge detection, the T and Wilcoxon method perform sensitively to the noisy image, while the proposed Waerden method is robust over both noisy and noise-free images under $\alpha=0.0005$. Comparison with our statistical test and Sobel, LoG, Canny operators shows that Waerden method perform more effectively in both noisy and noise-free images.

Keywords: 에지검출, Wilcoxon 검정, T 검정, Waerden 검정, Canny operator

I. 서 론

영상에서 에지는 입력 영상에 대한 정보들인 물체의 모양과 크기, 질감, 위치 등을 제공한다. 에지는 영상의 밝기 값이 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서

낮은 값으로 급격히 변하는 경계에 존재한다. 일반적으로 잡음 영상에서는 잡음과 에지 모두가 고주파 성분을 가지고 존재하므로 잡음을 줄이기 위해 저주파 여과기를 사용할 경우 에지도 흐리게 하여 에지만을 검출하는 것이 매우 어렵다. 기존의 에지 검출 방법인 Sobel 방법, LoG(Laplacian of Gaussian) 방법 및 Canny 방법들은 주로 임계값에 따라 에지가 달라지므로 잡음 영상에서 적당한 임계값을 선택하는데 어려움이 있으며 에지 정보가 손실되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 에지를 검출할 때 통계적인 기법을 많이 이용한다.

Bovik 등^[1]은 인접한 화소 근방에 있는 밝기값들의 차이에 대한 이표본 위치 문제에 대해 비모수 통계 방

* 정희원, 대구산업정보대학 멀티미디어정보계열
(Department of multimedia information, Daegu Polytechnic College)

** 정희원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electronic Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

*** 정희원, LG전자 DND사업부 영상제품연구소
(Display Product Research Lab., DND Division LG Electronics Inc.)

접수일자: 2003년5월12일, 수정완료일: 2004년4월26일

법인 Wilcoxon 방법과 Median 방법 및 모수 통계 방법인 최소 제곱법에 기초한 방법을 가지고 에지 높이와 임계값을 사용하여 에지를 검출하였으나 임계값을 최대 통계량의 일정비율로 정함으로써 비율에 따라 에지가 달라지는 단점을 가졌다. Huang 등^[2]은 에지가 고주파에 속하므로 잡음을 저역 통과하는 것이 에지를 흐리게 한다는 단점을 보완한 방법으로 필터링과 에지 검출을 동시에 할 수 있는 방법인 통계적 가설 검정 방법을 제안하였다. 변화점 문제에 대한 우도비(maximum likelihood) 검정법을 기초하여 에지를 검출하였으나 에지를 검출함에 있어 계산량이 많다는 단점이 있었다. Thune 등^[3]의 영상 데이터를 정규분포들의 혼합 모형으로 표현하여 에지를 검출하는 논문에서는 데이터들의 정규성 가정을 만족하지 않는 경우 에지 검출력이 떨어진다. Lim and Park^[4]은 변화점 문제에 대한 통계적 방법들을 사용하여 에지를 검출하였으며, 이를 위해 $n \times n$ 부분영상을 선택하고 선택된 영상이 밝기값의 차이가 있는 두 개의 영역으로 분할된 경계에서 대응되는 에지점을 포함하는지에 대해 가설 검정을 하고, 또한 에지 검출에 사용되는 이표본 검정인 Kolmogorov-Smirnov 검정에 기초하여 얻은 제안된 방법을 기존의 Wolfe-Schechtman 방법 및 우도비 방법과 비교하여 분석하였다. 이러한 방법들의 성능을 평가하기 위하여 잡음영상과 잡음 없는 영상에 대해 실험한 결과를 보면 비모수적 방법들은 계산량이 많으며 실제 영상에 적용하기 어려운 단점이 있었다. 또한 Lim and Park^[5]은 이표본 위치 문제에서 대표적인 Wilcoxon 검정법과 T 검정법을 사용하여 잡음영상에서 에지를 검출하였다. 잡음을 제거하기 위해 에지 높이 모수를 사용하여 얻은 수정된 밝기값 상에서 검정통계량을 계산하고 유의수준에 의해 결정된 임계값과 비교하여 에지 유무를 판정하였다. 여러 가지 잡음 분포를 갖는 표본 영상에서 통계적 검정법들과 기존의 Bovik-Huang-Munson 검정법, Canny 방법, Sobel 연산자를 이용한 방법과의 에지맵을 통하여 에지 검출력을 비교하고 객관적인 에지 검출 척도하에서 양적으로 비교 분석하였다. 영상 실험 결과 Wilcoxon 검정법은 잡음분포형태에 관계없이 강인(robust)하게 반응한 반면 T 검정법, Canny 방법 그리고 Sobel 방법은 잡음에 민감하게 반응함을 알 수 있다. 특히, 임펄스 잡음영상에 대해서 에지 정보가 많이 소실됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 잡음영상에서 에지 검출을 위해 Waerden의 통계량을 이용한 검정법을 제안하고, 이것

을 비모수 통계 방법인 Wilcoxon 검정법과 모수 통계 방법인 T 검정법과 비교한다. 에지 높이 모형에서 Waerden, Wilcoxon 및 T 검정 통계량들을 계산하고 유의수준 α 에 의해 정해진 임계값을 사용하여 에지 유무를 결정한다. 일반적인 영상처리에서 주관적인 임계값을 사용하는 기존의 방법들인 LoG와 Sobel 및 Canny 방법과 에지 검출 성능을 비교 분석하고자 한다. II장에서는 에지 높이 모형에서 통계적인 방법을 이용하여 에지를 검출하는 방법들인 Wilcoxon 검정법과 T 검정법을 소개하며, 비모수 통계 방법인 Waerden 검정법에 대하여 에지를 검출하는 것은 III장에서 제안한다. IV장에서는 앞에서 소개한 기존의 에지 검출에 대한 방법들과 Waerden의 통계량을 이용한 방법을 잡음이 없는 영상과 잡음 영상으로 나누어서 적용하여 결과를 비교 분석한다. 마지막으로, V장에서는 IV장의 영상처리 결과들에 대한 결론을 내린다.

II. 에지 검출을 위한 통계적 검정법

에지 검출은 물체를 인식하는 것이 중요하다. 에지 검출의 평범한 방법은 먼저 이미지를 필터링한 후 에지를 검출하는 간단한 기술을 사용한다. 그러나 잡음을 필터링하면 에지들이 고주파에 속하기 때문에 에지들이 흐려질 것이다. 그러므로 필터링과 에지 검출을 동시에 할 수 있는 방법을 고안한 것이 통계적 가설 검정법이다. 본 논문에서는 에지 높이 모형에서 통계적인 방법을 이용하여 에지를 검출하는 방법들인 Wilcoxon 검정법과 T 검정법을 소개한다.

에지 가능 원소에 인접한 두 개의 $n \times n$ 정방형 근방 영역을 그림 1과 같이 생각하며 n 은 홀수로 가정하자. 여기서 수직방향의 에지만을 고려하였으며 최종적인 에지는 수평방향과 수직방향의 에지들의 "OR"로서 결정한다.

밝기값 X_1, \dots, X_N 과 X_{N+1}, \dots, X_{2N} 들은 각각 왼쪽 근방 영역 N_L 과 오른쪽 근방 영역 N_R 에 속하며, 연속 분포 함수 $F_1(x) = F(x - \mu_1)$ 과 $F_2(x) = F(x - \mu_2)$ 를 가지는 확률 표본(random sample)이라고 하자. 여기서 $N = n^2$ 이고 μ_1, μ_2 들은 이동 모수이다.

이장에서는 에지 높이 δ 를 사용하여 밝기값 X_i 들을 다음과 같이 수정한다.

$$A_i = \begin{cases} X_i + \delta & ; X_i \in N_L \\ X_i & ; X_i \in N_R \end{cases} \quad (1)$$

$$B_i = \begin{cases} X_i - \delta & ; X_i \in N_L \\ X_i & ; X_i \in N_R \end{cases} \quad (2)$$

따라서 수정된 밝기값을 이용하여 다음의 두 가설을 동시에 검정하여 수직 에지를 검출할 수 있다.

$$(가설1) H_0 : \mu_2 \leq \mu_1 + \delta \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_2 > \mu_1 + \delta \quad (3)$$

$$(가설2) H_0 : \mu_1 \leq \mu_2 + \delta \quad \text{vs} \quad H_1 : \mu_1 > \mu_2 + \delta, \quad (4)$$

즉 유의수준 α 에서 (가설1)과 (가설2)가 동시에 기각되지 않을 때, 유의수준 α 에서 에지가 없다고 판단한다. 여기서 수정된 밝기값 $\{A_i\}$ 와 $\{B_i\}$ 상에서 에지 높이 δ 가 증가할수록 δ 보다 작은 에지 혹은 잡음들이 제거됨을 기대한다.^{[1][5]}

1. Wilcoxon 검정법

먼저 식(3)의 (가설 1)에 대한 Wilcoxon의 순위합 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_A = \sum_{i=1}^{2N} R_i I_{A_i}, \quad (5)$$

여기서 R_i 들은 A_i 의 순위이며 I_{A_i} 는

$$I_{A_i} = \begin{cases} 0, & R_i \in \{A_1, \dots, A_N\} \\ 1, & R_i \in \{A_{N+1}, \dots, A_{2N}\} \end{cases} \quad (6)$$

이다. 식(4)의 (가설2)에 대한 검정통계량은

$$W_B = \sum_{i=1}^{2N} S_i I_{B_i}, \quad (7)$$

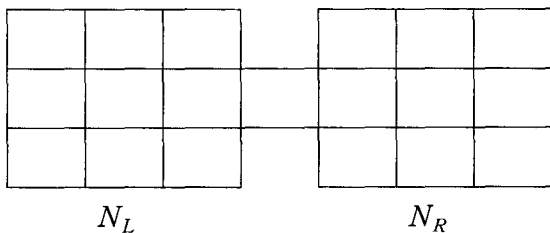


그림 1. 수직 에지를 검출하기 위한 인접한 3×3 점 방근방영역
Fig. 1. 3×3 Square region for detecting vertically oriented edges.

이며, 여기서 S_i 들은 B_i 의 순위이고 I_{B_i} 는

$$I_{B_i} = \begin{cases} 1, & S_i \in \{B_1, \dots, B_N\} \\ 0, & S_i \in \{B_{N+1}, \dots, B_{2N}\} \end{cases} \quad (8)$$

이다. 따라서 에지 검출을 위한 Wilcoxon 검정 통계량은

$$W^* = \max(W_A, W_B) \quad (9)$$

이다. 만약 N 이 크면 표준화된 통계량

$$Z_{W^*} = \frac{W^* - E(W^*)}{(Var(W^*))^{1/2}} \quad (10)$$

은 에지가 없다는 가정하에서 표준정규분포를 따른다.

$$E(W^*) = N(2N+1)/2,$$

$$Var(W^*) = N^2(2N+1)/12.$$

유의수준 α 에서 Z_{W^*} 이 z_{α^*} 보다 크면 에지가 존재한다고 결론을 내린다. 여기서 z_{α^*} 은 표준정규분포의 오른쪽 꼬리 부분의 면적이 $\alpha^* (= 1 - \sqrt{1 - \alpha})$ 가 되는 임계값이다.^{[1][5]}

2. T 검정법

F 를 $N(0, \sigma^2)$ 의 분포함수라고 하자. 그러면 식(20)의 (가설1)은 귀무가설 $H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$ 에 대하여 대립 가설 $H_1 : \mu_2 \geq \mu_1$ 를 검정하는 것과 같으며 T 검정 통계량은 다음과 같다.

$$T_A = \frac{\overline{A_R} - \overline{A_L}}{S_p [2/N]^{1/2}}, \quad (11)$$

여기서

$$\overline{A_L} = \sum_{i=1}^N A_i / N, \quad \overline{A_R} = \sum_{i=N+1}^{2N} A_i / N, \\ S_p^2 = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^N (A_i - \overline{A_L})^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (A_i - \overline{A_R})^2 \right\}}{(2N-2)}. \quad (12)$$

위와 같은 방법으로, 식(21)의 (가설2)에 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$T_B = \frac{\overline{B_L} - \overline{B_R}}{S_\beta [2/N]^{1/2}}, \tag{13}$$

여기서

$$\begin{aligned} \overline{B_L} &= \sum_{i=1}^N B_i / N, & \overline{B_R} &= \sum_{i=N+1}^{2N} B_i / N, \\ S_\beta^2 &= \frac{\left\{ \sum_{i=1}^N (B_i - \overline{B_L})^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (B_i - \overline{B_R})^2 \right\}}{(2N-2)}. \end{aligned} \tag{14}$$

따라서 에지가 없다는 귀무가설은 검정 통계량

$$T^* = \max(T_A, T_B) \tag{15}$$

을 사용한다. 귀무가설 하에서 T^* 의 분포는 자유도 $2N-2$ 인 t분포를 따른다. 유의수준 α 에서 T^* 이 $t_{\alpha, (2N-2)}$ 보다 크면 에지가 존재한다고 판단한다. 여기서 α^* 는 $1 - \sqrt{1 - \alpha}$ 이다.^[5]

III. 제안한 정규점수 검정법을 이용한 에지 검출

통계 가설 검정법을 이용한 에지 검출은 영상을 대역 통과하는 동시에 에지를 검출하는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 비모수 검정법의 하나인 Warden(Van der Waerden)의 순위 검정 통계량을 이용한 에지 검출을 제안한다.

통계학에서는 두 검정 통계량의 상대적인 효율을 나타낼 때 점근적 상대 효율(ARE: Asymptotic Relative Efficiency)을 사용한다.^[10] 이표본 비모수 검정에서 많이 이용하는 Wilcoxon 검정 통계량 W 에 대해 제안한 Warden 검정 통계량 C 의 점근적 상대 효율 $E(C, W)$ 은 여러 형태의 모집단 하에 다음과 같이 나타난다.^[10]

만약 $E(C, W)$ 가 1보다 크면 C 가 W 보다 더 효율적이다. 그러므로 본 논문에서는 이표본 비모수

표 1. Wilcoxon 검정 통계량 W 에 대한 Warden 검정 통계량 C 의 점근적 상대 효율
Table 1. ARE of van der Waerden's C test relative to the test based on W

F	Normal	Uniform	Exponential
$E(C, W)$	1.047	∞	∞

검정법이면서 Wilcoxon 검정 통계량 W 보다 점근적 상대 효율이 높은 Warden의 순위 검정 통계량 C 을 이용하여 에지를 검출하는 방법을 제안한다.

식(3)에 주어진 (가설1)을 검정하기 위한 Warden 순위 검정 통계량은 다음과 같다.

$$C_A = \sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}\left(\frac{R_i}{2N+1}\right) I_{A_i}, \tag{16}$$

여기서 $\Phi^{-1}(t)$ 는 표준정규분포의 t 번째 백분위수이다. 위와 같은 방법으로 식(4)에 주어진 (가설2)에 대한 검정 통계량은

$$C_B = \sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}\left(\frac{S_i}{2N+1}\right) I_{B_i}. \tag{17}$$

이다. 에지 검출을 위한 Warden 검정통계량은

$$C^* = \max(C_A, C_B) \tag{18}$$

이다. N 이 크면 표준화된 통계량

$$Z_{C^*} = \frac{C^* - E(C^*)}{(Var(C^*))^{1/2}} \tag{19}$$

은 에지가 없다는 가정 하에서 표준정규분포를 따른다. 여기서 $E(C^*) = 0$,

$$Var(C^*) = \frac{N^2 \left[\sum_{i=1}^{2N} \left\{ \Phi^{-1}\left(\frac{i}{2N+1}\right) \right\}^2 \right]}{2N(2N-1)} \tag{20}$$

이며 유의수준 α 에서 Z_{C^*} 이 z_{α^*} 보다 크면 에지가 존재한다고 결론을 내린다.

여기서 α^* 는 $1 - \sqrt{1 - \alpha}$ 이다.

IV. 실험 및 고찰

지금까지 논의한 Wilcoxon 검정과 T 검정 및 제안한 Warden 검정 외에 기존의 Sobel 연산자를 이용한 방법, LoG 방법, Canny 방법 간에 에지 검출 성능을 비교하기 위해 Lena 영상을 가지고 실험을 한다. 또한 원영상에 가우시안 잡음 G10이 추가된 잡음 영상에 대해 실험을 한다. 여기서 가우시안 잡음(Gaussian noise) G10인 영상은 평균이 0이고 주어진 표준편차10을 갖는 잡음을 원상에 추가하여 얻는다. 가우시안 잡음의 폭은 다음의 신호 대 잡음비(SNR(signal-to-noise

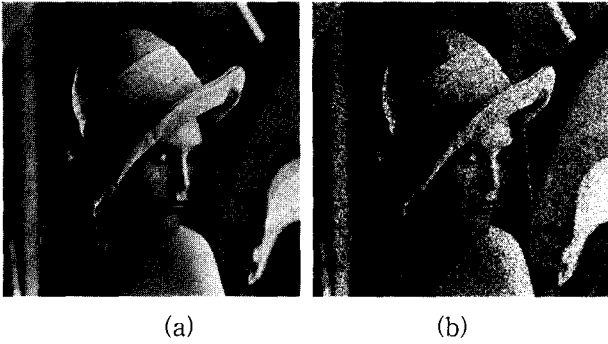


그림 2. (a) Lena 원영상 (b) (a)에 가우시안 잡음 G10이 추가된 잡음영상

Fig. 2. (a) Lena original image, (b) noise image with G10 in (a)

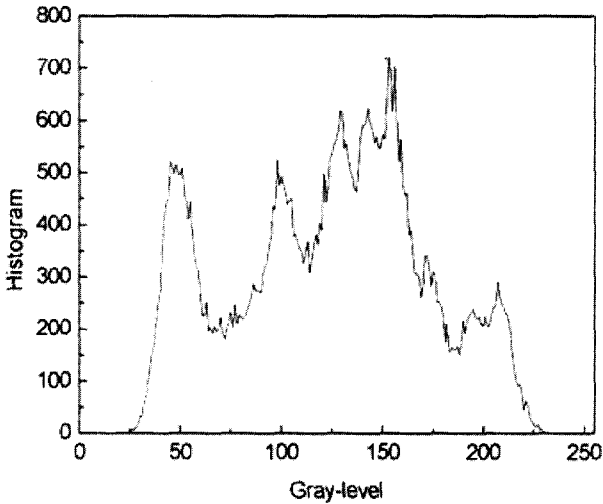


그림 3. Lena 원영상의 히스토그램
Fig. 3. Histogram of Lena original image

ratio), 단위: dB)

$$SNR = 20 \log(25/\sigma) \quad (21)$$

로 나타내며, 여기서 25는 영상에서 가정된 에지의 높이이고 σ^2 은 잡음분산이다.

1. 원영상

본 연구에서는 Lena 원영상과 G10 잡음 영상에 대해 실험을 하였다. 그림 2에는 실험에 사용된 영상 중 일부만 수록하였다. 그림 2 (a)와 (b)는 원영상, 가우시안 잡음 G10이 추가된 잡음영상이다. 제안한 Van der Waerden 검정과 Wilcoxon 검정 및 T 검정은 유의수준 0.0005에서 검정하였고, Canny 방법은 이중임계값(double threshold) 20과 40을 사용하였으며 Sobel 방법과 LoG 방법에서는 임계값 80을 사용하였고, LoG 방법은 Mask 5의 경우이다. 그림 3은 Lena 원영상에 대한



(a) (d)



(b) (e)



(c) (f)

그림 4. 그림 2(a),(b)에서 에지맵 (a),(d) Sobel방법 (b), (e) Canny방법 (c),(f) Mask 5일 때 LoG방법

Fig. 4. Edge Map in Fig 2(a) and (b) (a),(d) Sobel operator, (b),(e) Canny operator, and (c),(f) LoG operator with Mask 5

히스토그램을 나타낸다.

2. 미분 연산자

그림 4와 5는 각각 그림 2 (a)와 (b)로부터 Sobel, LoG 그리고 Canny 방법으로 얻어진 에지맵들이다. 원영상인 그림 2(a)에 대해 얻은 그림 4는 LoG 방법을 제외한 Sobel 과 Canny 방법들이 비교적 에지를 잘 검출함을 보여주고 있으며 Canny 방법에서 얻은 에지들은 다른 방법에서 구한 에지들 보다 가늘게 나타난다. 이것은 Canny 방법의 non-maximum suppression 방법과 이중 임계값 사용에 기인한다. 잡음영상 그림 2 (b)에 대한 그림 5는 기존의 세 가지 방법 모두 제안한

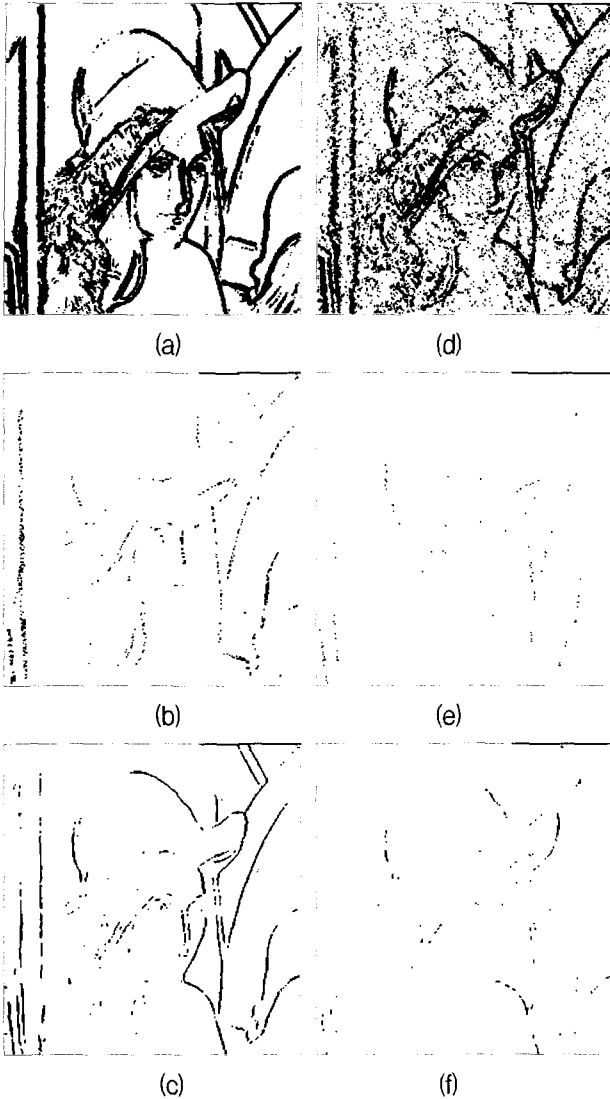


그림 5. 그림 2(a),(b)에서 $\delta = 20$ 일 때 에지맵 (a), (d) 제안한 방법 (b),(e) Wilcoxon 방법 (c),(f) T검정

Fig. 5. Edge Map with $\delta = 20$ in Fig 2(a) and (b) (a), (d) The proposed test, (b),(e) Wilcoxon test, and (c),(f) T test

Warden 검정법보다 에지가 잘 검출되지 않음을 알 수 있다.

3. 통계적 에지 검출

통계적 가설 검정법을 이용한 에지 검출은 영상을 필터링하는 동시에 에지를 검출하는 장점을 가지고 있으므로 많이 사용한다. 그림 6과 7 은 각각 그림 2 (a)와 (b)로부터 에지 높이 δ 가 20 인 경우 제안한 Warden 검정, Wilcoxon 검정과 T 검정의 에지맵들이다. 원영상인 그림 2 (a) 대해 얻은 그림 6은 Warden 검정이 Wilcoxon 과 T 검정 보다 에지 검출력이 뛰어나며, 또한 잡음영상인 그림 2(b)에 대해 얻은 그림 7 에서도

Warden 검정이 Wilcoxon 과 T 검정 보다 에지를 잘 검출해 낸다. 결론적으로 유의수준 0.0005에서 Warden 검정법이 원영상이나 잡음영상에서 다른 통계적 방법들 보다 에지를 잘 검출하며, 특히 잡음영상에서 제안한 Warden 검정법이 Canny방법과 Sobel방법 및 LoG방법보다 잡음에 민감하지 않으며 에지 보존이 잘 됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 Warden 순위 통계량을 사용하여 효율적으로 에지 검출하는 것을 제안하였다. 기존의 에지 검출 방법인 미분 연산자를 이용한 Sobel, LoG방법은 임계값 80을 가지며 Canny방법은 임계값 20과 40을 가지고 Lena의 원영상과 가우시안 잡음영상을 사용하여 에지를 검출하였다. 이표본 검정법에서 대표적인 Wilcoxon 방법과 T 방법 및 제안한 Warden 방법을 사용하여 Lena의 원영상과 가우시안 잡음영상에서 에지를 검출하였다. 잡음을 제거하기 위해 에지 높이 모수 $\delta = 20$ 을 사용하여 얻은 수정된 밝기값에서 검정통계량을 계산하고 유의수준 $\alpha = 0.0005$ 에 의해 결정된 임계값과 비교하여 에지의 유무를 판정하였다. Lena 영상에서 제안한 Warden 검정법을 기존의 통계적 검정법들인 Wilcoxon 검정과 T 검정 및 LoG방법, Canny방법, Sobel 연산자를 이용한 방법과의 에지맵을 통하여 에지 검출력을 비교 분석하였다.

영상 실험 결과에서 Warden 검정은 잡음영상에 관계없이 로버스트(robust)하게 반응한 반면 Canny방법 그리고 Sobel방법 및 LoG방법은 잡음에 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 또한 LoG 방법은 에지가 아닌 부분도 에지로 검출하는 경향을 보였다. Wilcoxon 검정과 제안한 Warden 검정을 직접 비교해보면 같은 작은 유의수준에서는 제안한 Warden 검정이 Wilcoxon 검정보다 에지 검출력이 더 좋은 결과를 보였다.

참 고 문 헌

[1] Bovik, A.C., Huang, T.S. and Munson, D.C. ,“Nonparametric tests for edge detection in noise,” Pattern Recognition 19(3), pp. 209-219, 1986.
 [2] Huang, J.S. and Tseng, D.H., “Statistical theory of edge detection,” Computer Vision, Graphics, and

Image Processing 43, 337-346, 1988.

[3] Thune, M., Olstad. B. and Thune, N., "Edge Detection in Noisy Data using Finite Mixture Distribution Analysis," Pattern Recognition 30(5), 685-699, 1997.

[4] Lim, D. H. and Sung, S. H., "영상에서 에지 검출을 위한 통계적 방법", 응용통계연구, 13(2), pp 515-523, 2000.

[5] Lim, D.H. and Park, U.H., "잡음영상에서 에지검출을 위한 이표본검정법," 응용통계연구, 14(1), 149-160, 2001.

[6] Gonzalez, R.C. and Woods, R. E., Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.

[7] Canny. J., "A Computational Approach to Edge Detection." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. PAMI-8, No.6. 679-698, 1986.

[8] Kim, T. K. and Kim, J. K., "의료 영상의 3-D Reconstruction을 위한 Canny Edge Detection의 적용과 구현에 관한 연구", 신호처리합동학술대회 논문집, 11(1), 1998.

[9] Randes, R. H. and Wolfe, D. A., Introduction to the Theory of Nonparametric Statistics, John Wiley & Sons, 1979.

[10] Hollander, M., Wolfe, D.A., Nonparametric Statistical Methods. Wiley Series in Probability and Statistics,1999.

[11] Conover, W.J., Practical Nonparametric Statistics. John Wiley & Sons, 1980.

[12] Crane, R., A., Simplified Approach to Image Processing, Prentice-Hall, Inc., 1997.

[13] Pratt, W., Digital Image Processing, John Wiley & Sons, 1978.

— 저 자 소 개 —



최 명 희(정회원)
 1985년 영남대학교 통계학과 졸업 (이학사)
 1987년 영남대학교 대학원 수학과 졸업(이학석사)
 1992년 경북대학교 대학원 통계학과 졸업(이학박사)
 2002년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사).
 1993년~현재 대구산업정보대학 멀티미디어정보 계열 조교수
 <주관심분야: 영상신호처리, 비모수통계, 생존분석>



김 주 원(정회원)
 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1996년 포항공과대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2003년 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
 1986년~현재 LG전자 DND 사업부 영상제품연구소 <주관심분야: Embedded system, 고품질의 TV 영상/음성 DTV 개발>

이 호 근(정회원)
 제38권 SP편 제 4호 참조

하 영 호(정회원)
 제38권 SP편 제 3호 참조

