

영상에서 선형순위검정법을 이용한 에지검출 비교

임 동 훈*

Comparison of Edge Detection using Linear Rank Tests in Images

Dong-Hoon Lim*

요 약

본 논문에서는 통계학의 선형순위통계량(linear rank statistics)에 기초한 3가지 비모수 검정법 즉, Wilcoxon 검정법, Median 검정법 그리고 Van der Waerden 검정법을 이용하여 에지를 검출하고자 한다. 5×5 윈도우에서 중심픽셀의 에지여부는 에지-높이 모수(edge-height parameter)를 사용한 모형 하에서 두 영역간의 유의한 차이가 있는지를 검정함으로써 결정한다.

영상실험에서 통계적 방법들 간의 에지검출 성능은 에지맵(edge map)을 통한 정성적인 비교와 객관적인 척도 하에서 정량적인 비교를 통하여 분석하였다.

Abstract

In this paper we propose three nonparametric tests such as Wilcoxon test, Median test and Van der Waerden test, based on linear rank statistics for detecting edges in images. The methods used herein are based on detecting changes in gray-levels obtained using an edge-height parameter between two sub-regions in a 5×5 window.

We compare and analysis the performance of three statistical edge detectors in terms of qualitative measures with the edge maps and objective, quantitative measures.

▶ Keyword : Edge detection, Linear rank statistics, Wilcoxon test, Median test, Van der Waerden test.

• 제1저자 : 임동훈
• 접수일 : 2005.10.04, 심사완료일 : 2005.12.15
* 경상대학교 정보통계학과 교수

I. 서론

에지검출(edge detection)은 영상처리단계에서 가장 중요한 단계이다. 사람은 종종 물체를 에지성분들로 구성된 윤곽선을 추적함으로써 인식하고 또한 명확하지 않은 물체를 포함하는 영상을 이해하는데 에지를 검출함으로써 물체에 대한 모양분석이나 인식을 용이하게 한다. 에지를 검출하는데 어려운 점은 잡음이 포함되어 있는 잡음영상에서 에지만을 검출하는 것이다.

지금까지 에지검출은 주로 단순한 영상에 대해 미분 연산자를 이용한 수학적 방법들에 의해 이루어져 왔고, 최근 복잡한 영상에 대해 통계적 방법을 이용한 에지검출법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2][3][4].

본 논문에서는 통계학에서 두 모집단으로부터 얻어진 확률표본을 이용하여 두 모집단의 위치모수의 차에 대한 검정문제를 다루는데 이용되는 선형순위통계량에 기초한 3가지 비모수 검정법 즉, Wilcoxon 검정법, Median 검정법 그리고 Van der Waerden 검정법을 이용하여 에지를 검출하고자 한다. 제안된 에지검출법의 에지유무는 5×5윈도우 상에서 에지-높이 모수를 포함한 새로운 모형 하에서 두 영역간의 유의한 차이를 검정함으로써 결정하고자 한다. Bovik et al.[4], Lim and Jang[5]는 5×5윈도우 대신 두 개의 인접한 3×3 윈도우를 사용하여 Wilcoxon 검정법과 Median 검정법, Wilcoxon 검정법과 T 검정법을 각각 사용하여 에지를 검출하였다.

제 II 절에서 비모수적인 선형순위통계량에 기초한 검정법에 대해 논의하고 제 III 절에서는 II절에서 논의한 통계적 검정법들을 에지검출에 적용한다. 제 IV 절에서는 에지검출법들 간의 에지맵을 통한 정성적인 비교와 객관적인 척도 하에서 정량적으로 에지검출 성능을 비교하고 제 V 절에서 결론을 맺는다.

II. 통계적인 선형 순위 검정법

두 모집단으로부터 각각 크기 N 인 확률표본 (X_1, \dots, X_N) 과 (X_{N+1}, \dots, X_{2N}) 은 서로 독립이면서 각각 연속 분포 $F_1(x) = F(x - \mu_1)$ 과 $F_2(x) = F(x - \mu_2)$ 을 따른다고 생각하자. 여기서 μ_1 과 μ_2 는 위치모수이다. 여기서 검정하고자 하는 가설은 다음의 위치모수간의 차이에 대한 가설이다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad \text{versus} \quad H_1 : \mu_1 \neq \mu_2, \dots \quad (2.1)$$

두 모집단의 혼합표본 X_1, \dots, X_{2N} 에서 X_i 의 순위를 R_i 라 할 때 H_0 을 검정하기 위한 선형순위통계량을 다음과 같다[6].

$$S = \sum_{i=1}^{2N} c(i)a(R_i), \dots \quad (2.2)$$

여기서 $c(i)$ 는 회귀상수(regression constant)이고 $a(i)$ 는 스코어(score)이다. 만약

$$c(i) = \begin{cases} 1, & i=1, \dots, N \\ 0, & i=N+1, \dots, 2N \end{cases}$$

이면 (2.2)식의 통계량 S 은 다음과 같이 단순한 형태로 표현된다.

$$S = \sum_{i=1}^N a(R_i) \dots \quad (2.3)$$

(2.3)식의 통계량 $S = (X_1, \dots, X_N)$ 의 순위들에 대한 스코어들의 합이다. S 의 분포는 H_0 하에서 다음과 같다.

$$E_0(S) = 2N\bar{a}$$

$$Var_0(S) = \frac{N}{2(2N-1)} \sum_{i=1}^{2N} (a(i) - \bar{a})^2$$

여기서 $\bar{a} = (1/2N) \sum_{i=1}^{2N} a(i)$ 이다. 따라서 표본의 크

기 N 이 크면 표준화된 S 통계량은 표준정규분포를 갖는다.

2.1 Wilcoxon 검정

Wilcoxon 검정은 두 모집단으로부터 얻은 이표본 위치 문제에서 가장 널리 사용되는 비모수적 검정법이다.

(2.3)식의 S 통계량에서 $a(i) = i$ 이면 S 는 다음의 Wilcoxon 통계량이 된다.

$$W = \sum_{i=1}^N R_i$$

즉, 통계량 W 는 첫 번째 표본에 부여된 순위의 합을 나타낸다. N 이 크면 표준화된 W 통계량

$$Z_W = \frac{W - E_0(W)}{[Var_0(W)]^{1/2}}$$

는 표준정규분포를 따른다. 여기서 $E_0(W) = N^2/2$ 이고 $Var_0(W) = N^2(2N+1)/12$ 이다. 따라서 유의수준 α 에서 $|Z_W| \geq z_{\alpha/2}$ 이면 H_0 을 기각한다.

2.2 Median 검정

(2.3)식의 S 통계량에서 만약

$$a(i) = 1 \text{ for } i > (2N+1)/2$$

$$0 \text{ for } i \leq (2N+1)/2$$

이면 S 는 다음의 Median 통계량이 된다.

$$M = \sum_{i=1}^N a(R_i)$$

= [혼합표본의 중앙값보다 큰 첫번째 표본 X_i 들의 갯수]

즉, 통계량 M 은 첫 번째 표본 중에서 혼합표본의 중앙값보다 큰 것들의 개수를 나타낸다. N 이 크면 표준화된 M 통계량

$$Z_M = \frac{M - E_0(M)}{[Var_0(M)]^{1/2}}$$

는 표준정규분포를 따른다. 여기서 $E_0(M) = N/2$ 이고 $Var_0(M) = N^2/[4(2N-1)]$ 이다. 따라서 유의수준 α 에서 $|Z_M| \geq z_{\alpha/2}$ 이면 H_0 을 기각한다.

2.3 Van der Waerden 검정

(2.3)식의 S 통계량에서 $a(i) = \Phi^{-1}(i/2N+1)$ 이면 S 는 다음의 Van der Waerden 통계량이 된다.

$$V = \sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}(R_i/2N+1)$$

여기서 $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 누적분포함수이다. 따라서 $\Phi^{-1}(t)$ 는 표준정규분포의 t 번째 백분위수이다. N 이 크면 표준화된 V 통계량

$$Z_V = \frac{V - E_0(V)}{[Var_0(V)]^{1/2}}$$

는 표준정규분포를 따른다. 여기서

$$E_0(V) = 0, \\ Var_0(V) = N^2 \left[\sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}(i/2N+1)^2 / (2N(2N-1)) \right]$$

이다. 따라서 유의수준 α 에서 $|Z_V| \geq Z_{\alpha/2}$ 이면 H_0 을 기각한다.

2.4 점근상대효율

통계학에서 서로 다른 두 개의 검정법의 효율을 흔히 피트만의 점근상대효율(ARE: Asymptotic Relative Efficiency)을 가지고 비교한다. ARE(A, B)를 검정법 B에 대한 A의 점근상대효율이라 하면 ARE(A, B)가 1보다 크면 A가 B보다 더 효율적이다.

몇 가지 분포하에서 선형순위검정법들 간의 점근상대효율은 다음과 같다[6].

표 1. 선형순위검정법들 간의 점근상대효율
Table 1. ARE's of linear rank tests

분포	ARE(V,W)	ARE(M,W)	ARE(V,M)
정규분포	1.047	0.667	1.570
이중지수분포	0.847	1.333	0.635

여기서 W는 Wilcoxon 검정법, M은 Median 검정법 그리고 V는 Van der Waerden 검정법을 나타낸다.

III. 에지검출을 위한 선형순위검정법

$n \times n$ 윈도우에서 중앙에 있는 픽셀의 에지 여부는 중심 픽셀을 기준으로 똑같은 픽셀크기로 나누어진 부분영역간의 명암값들의 변화를 조사함으로써 결정하고자 한다. (그림 1)은 $n = 5$ 인 경우 서로 다른 4 방향 에지를 검출하기

위한 두 영역의 픽셀크기가 10인 5×5 윈도우들이다. 짙은 검은색 픽셀이 관심있는 중심픽셀이고 옅은 검은색 픽셀들이 조사대상인 부분영역을 나타낸다. 참고로, Lim[7]은 중심픽셀을 제외한 똑같은 영역으로 분할되는 픽셀크기가 12인 5×5 윈도우를 사용하였다.

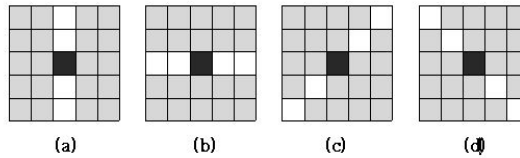


그림 1. (a) 수직 (b) 수평 (c) 45° (d) 135° 방향 에지를 검출하기 위한 5×5 윈도우

Fig 1. 5×5 window for detecting (a) vertical edge (b) horizontal edge (c) 45° edge (d) 135° edge.

본 논문에서는 (그림 1(a))의 수직 방향의 에지를 검출하는 방법에 대해 논의하고 최종적인 에지는 각 방향의 에지들의 논리합(OR) 연산을 수행함으로써 얻어진다. 5×5 윈도우의 중심픽셀을 중심으로 한쪽 검은색 부분영역을 $A_L = \{X_1, \dots, X_N\}$, 다른 한쪽을 $A_R = \{X_{N+1}, \dots, X_{2N}\}$ 라 할 때 에지-높이 모수 δ 을 사용한 에지 모형은 다음과 같이 표현한다.

$$\alpha_i = \begin{cases} X_i + \delta, & X_i \in A_L \\ X_i, & X_i \in A_R \end{cases}, \\ \beta_i = \begin{cases} X_i - \delta, & X_i \in A_L \\ X_i, & X_i \in A_R \end{cases}$$

여기서 δ 는 두 영역 사이의 차이가 명확하지 않으면서 에지로 판정하는 것을 막기 위한 모수이다. 따라서 δ -에지 모형하에서 식(2.1)의 가설은 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$H_0 : |\mu_1 - \mu_2| = \delta \quad H_1 : |\mu_1 - \mu_2| > \delta \quad (3.1)$$

우리는 제 II 절에서 논의한 선형순위검정법을 이용하여 (그림 1)의 윈도우상에서 가설 (3.1)을 검정하고자 한다.

3.1 Wilcoxon 방법

δ -에지 모형 하에서 식(3.1)의 가설 H_0 을 검정하기 위해 먼저 $\mu_1 < \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정법을 생각하자. R_i 을 α_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_\alpha = \sum_{i=1}^{2N} R_i I_{\alpha_i},$$

$$\text{여기서 } I_{\alpha_i} = \begin{cases} 0, & R_i \in \{ \alpha_1, \dots, \alpha_N \} \\ 1, & R_i \in \{ \alpha_{N+1}, \dots, \alpha_{2N} \} \end{cases} \text{이}$$

다. 다음으로 $\mu_1 > \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정법으로 S_i 을 β_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_\beta = \sum_{i=1}^{2N} S_i I_{\beta_i},$$

$$\text{여기서 } I_{\beta_i} = \begin{cases} 1, & S_i \in \{ \beta_1, \dots, \beta_N \} \\ 0, & S_i \in \{ \beta_{N+1}, \dots, \beta_{2N} \} \end{cases} \text{이}$$

다. 따라서, 식(3.1)의 가설 H_0 을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W^* = \max(W_\alpha, W_\beta) \dots\dots\dots (3.2)$$

이다. N 이 크면

$$Z_{W^*} = \frac{W^* - E(W^*)}{[Var(W^*)]^{1/2}} \dots\dots\dots (3.3)$$

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서

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

$$Var(W^*) = N^2(2N+1)/12 \text{이다.}$$

검정통계량 식(3.2)의 W^* 혹은 식(3.3)의 Z_{W^*} 가 임계값보다 크면 (그림 1(a))의 중심픽셀에 에지가 존재한다고 판정한다.

3.2 Median 방법

3.1절의 Wilcoxon 검정통계량을 유도방법과 같이 $\mu_1 < \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$M_\alpha = \sum_{i=1}^{2N} a_M(R_i) I_{\alpha_i} = [\text{혼합표본에서 중앙값보다 큰 } \alpha_i \text{ 들의 갯수}]$$

그리고 $\mu_1 > \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$M_\beta = \sum_{i=1}^{2N} a_M(S_i) I_{\beta_i} = [\text{혼합표본에서 중앙값보다 큰 } \beta_i \text{ 들의 갯수}]$$

따라서, 가설 H_0 을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$M^* = \max(M_\alpha, M_\beta) \dots\dots\dots (3.4)$$

이다. N 이 크면

$$Z_{M^*} = \frac{M^* - E(M^*)}{[Var(M^*)]^{1/2}} \dots\dots\dots (3.5)$$

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서

$$E_0(M^*) = N/2 \text{ 이고 } Var_0(M^*) = N^2/[4(2N-1)]$$

이다.

검정통계량 식(3.4)의 M^* 혹은 식(3.5)의 Z_{M^*} 가 임계값보다 크면 에지가 존재한다고 판정한다.

3.3 Van der Waerden 방법

3.1절과 3.2절과 마찬가지로 $\mu_1 < \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$V_\alpha = \sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}\left(\frac{R_i}{2N+1}\right) I_{\alpha_i},$$

여기서 $\Phi^{-1}(t)$ 는 표준정규분포의 t 번째 백분위수이다. 다음으로 $\mu_1 > \mu_2$ 가정 하에 H_1 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$V_\beta = \sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}\left(\frac{S_i}{2N+1}\right) I_{\beta_i},$$

따라서, 가설 H_0 을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$V^* = \max(V_\alpha, V_\beta) \dots\dots\dots (3.6)$$

이다. N 이 크면

$$Z_{V^*} = \frac{V^* - E(V^*)}{[Var(V^*)]^{1/2}} \dots\dots\dots (3.7)$$

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서

$$E(V^*) = 0,$$

$$Var(V^*) = N^2 \left[\sum_{i=1}^{2N} \Phi^{-1}\left(\frac{i}{2N+1}\right)^2 \right] / 2N(2N-1).$$

이다.

검정통계량 식(3.6)의 V^* 혹은 식(3.7)의 Z_{V^*} 가 임계값보다 크면 예지가 존재한다고 판정한다.

IV. 영상실험 및 논의사항

본 절에서는 영상실험을 통하여 선형순위검정법에 기초한 Wilcoxon 방법, Median 방법 그리고 Van der Waerden 방법 간에 예지검출 성능을 비교하고자 한다. 영상실험은 원영상 뿐 만 아니라 <표 2>에 주어진 여러 가지 잡음이 추가된 영상에 대해서도 수행한다. 여기에 사용된 가우시안 잡음(Gaussian noise)은 평균이 0이고 주어진 표준편차를 갖는 잡음이고 임펄스 잡음(impulse noise)은 0과 255값을 갖는 잡음이다. 가우시안 잡음에서 신호 대 잡음비인 SNR (signal-to-noise ratio)은 다음과 같다.

$$SNR = 20 \log(40/\sigma)$$

여기서 40은 인조영상에서 가정된 예지높이이고 σ 은 잡음표준편차이다.

표 2. 4 가지 잡음분포형태
Table 2. 4 different types of noise

잡음	잡음형태	발생확률	SNR(표준편차)
G20	가우시안		20 dB (4.0)
G10	가우시안		10 dB (12.65)
I10	임펄스	10%	
I20	임펄스	20%	

4.1 정성적인 성능비교

우리는 (그림 2)에 주어진 여러 가지 256×256 크기의 Lena 영상, House 영상 그리고 Peppers 영상과 원영상으로부터 얻어진 잡음영상을 가지고 예지검출 실험을 수행한다.

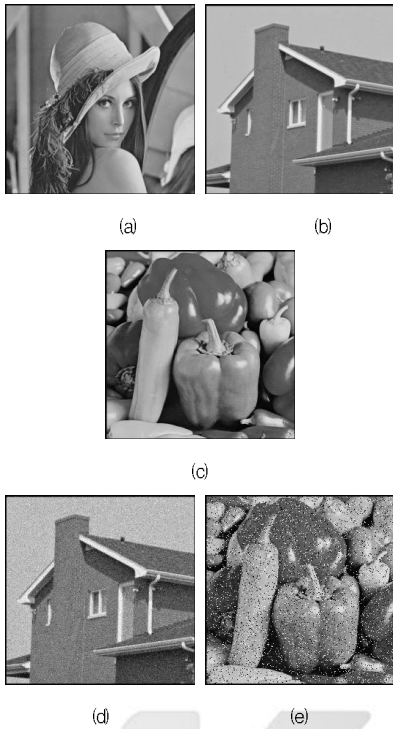


그림 2. 원영상 (a) Lena 영상 (b) House 영상 (c) Peppers 영상 (d) G10 잡음 House 영상 (e) I10 잡음 Peppers. Fig 2. Original images: (a) Lena image (b) House image (c) Peppers image (d) House image corrupted by G10 (e) Peppers image corrupted by I10.

먼저, 8-15인 에지모형하에서 통계적 방법들을 (그림 2(a), 2(b)) 그리고 (그림 2(c))의 원영상들에 대해 실험하였다. 유의수준 0.05에서 실험한 결과 각각의 방법들은 3가지 영상에 대해 비슷한 결과를 낳았으며 (그림 3)은 (그림 2(a))의 Lena영상에 대한 결과이다.



그림 3. 그림 2(a)에 적용하여 얻은 에지맵 (a)는 Wilcoxon 방법, (b) Median 방법, (c) Van der Waerden 방법 Fig 3. Edge detection results for Lena image in Fig 2(a): (a) Wilcoxon detector (b) Median detector (c) Van der Waerden detector

(그림 3)으로부터 3가지 모든 방법들이 잡음이 없는 원 영상에 대해 에지를 잘 검출함을 알 수 있다.

(그림 4)는 (그림 2(d))의 가우시안 잡음 G10을 추가한 House 잡음영상에 에지검출법을 적용하여 얻은 결과이다. 가우시안 잡음 영상에 대해서도 모든 방법들이 에지를 잘 검출함을 보여주고 있다. 특히, (그림 4(c))의 Van der Waerden 방법은 다른 방법에 비해 에지를 진하게 검출하는 반면에 약간의 잡음도 검출함을 알 수 있다.

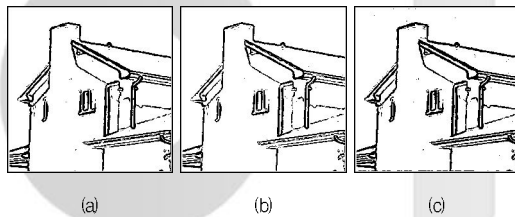


그림 4. 그림 2(d)에 적용하여 얻은 에지맵 (a) Wilcoxon 방법, (b) Median 방법, (c) Van der Waerden 방법 Fig 4. Edge detection results for House image in Fig 2(d): (a) Wilcoxon detector (b) Median detector (c) Van der Waerden detector.

(그림 5)는 (그림 2(e))의 임펄스 잡음 I10을 추가한 Peppers 잡음영상에 에지검출법을 적용하여 얻은 결과이다. 임펄스 잡음 영상에 대해서도 모든 방법들이 에지를 잘 검출함을 보여주고 있다. 이것은 논의된 통계적 방법들은 모두 잡음에 강하게 반응하는 비모수적인 방법들이기 때문이다. 참고로, Lim and Jang[5], Lim[7]에서 임펄스 잡음영상에서 T 방법이 Wilcoxon 방법과의 비교에서 현저한 에지검출력 저하는 T 방법이 잡음에 민감하게 반응하는 모수적인 방법이기 때문이다.

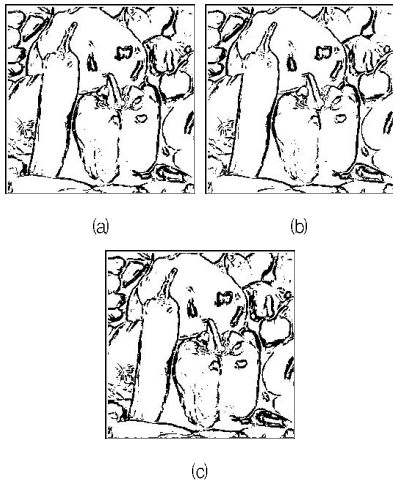


그림 5. 그림 2(e)에 적용하여 얻은 에지맵 (a) Wilcoxon 방법, (b) Median 방법, (c) Van der Waerden 방법
 Fig 5. Edge detection results for Peppers image in Fig 2(e): (a) Wilcoxon detector (b) Median detector (c) Van der Waerden detector.

4.2 정량적인 성능비교

에지 검출간의 정량적인 성능비교는 128x128 크기의 인조영상을 가지고 실험한다. 인조영상은 내부에 두 개의 수평과 수직에지를 갖고 있는 정사각형 모양의 에지를 포함하고 있으며 정사각형 내부의 픽셀값 들은 115이고 정사각형 외부의 픽셀값 들은 155로 이루어져있다. 잡음영상은 원래의 인조영상에 가우시안 잡음 G20, G10 그리고 임펄스 잡음 I10, I20을 추가하여 얻었다.

양적인 성능비교를 위한 객관적인 척도로서 우리는 Pratt[8]의 Figure of merit(PFOM)

$$R = \frac{1}{I_N} \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \beta d_i^2}$$

을 사용한다. 여기서 $I_N = \max(I_f, I_A)$ 그리고 I_f 와 I_A 은 각각 실제 에지수와 검출된 에지수이다. 그리고 β 는 스케일 상수(여기서 $\beta=1/9$)이고 d_i 는 잘못 검출된 i 번째 에지점이 실제 에지점과의 거리이다.

<표 3>은 $\delta=10, 15$ 그리고 20인 경우 여러 가지 영상에 대해 Wilcoxon 방법, Median 방법, Van der Waerden

방법을 적용하여 PFOM을 계산한 표이다. <표 3>으로부터 Median 방법은 가우시안 잡음영상에 대해서는 다른 방법들보다 성능이 떨어지나 임펄스 잡음에 대해서는 좋은 성능을 보여주고 있고 Van der Waerden 방법은 Median 방법과는 역으로 가우시안 잡음에서는 대체로 다른 두 개의 방법보다 에지검출 성능이 좋은 반면에 임펄스 잡음에서는 현저히 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 특히, I20 잡음에서 R의 값이 0.428까지 떨어짐을 알 수 있다. 또한 Wilcoxon 방법은 다른 방법들보다 잡음형태에 관계없이 로버스트(robust)한 결과를 내놓음을 알 수 있다. 영상실험에서 기대한 바와 같이 PFOM 가지고 각 방법들 간의 성능비교는 제 2.4 절의 <표 1>에서 논의한 점근상대효율 ARE를 가지고 각 방법들 간의 효율비교와 같은 결과를 내놓음을 알 수 있다.

표 3. 3개의 에지검출 방법들 간의 PFOM
 Table 3. PFOM for three edge detectors

잡음	δ	에지검출법		
		Wilcoxon 방법	Median 방법	Van der Waerden 방법
G20	10	0.977	0.960	0.960
	15	0.975	0.960	0.978
	20	0.975	0.960	0.977
G10	10	0.921	0.632	0.838
	15	0.975	0.948	0.975
	20	0.869	0.948	0.942
I10	10	0.924	0.948	0.720
	15	0.924	0.948	0.720
	20	0.924	0.948	0.720
I20	10	0.795	0.941	0.428
	15	0.795	0.941	0.428
	20	0.795	0.941	0.428

V. 결론

지금까지 에지검출은 주로 단순한 영상에 대해 미분 연산자를 이용한 수학적 방법들에 의해 이루어져 왔고, 최근 복잡한 영상에 대해 통계적 방법을 이용한 에지검출법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 통계학의 선형순위통계량에 기초한 3가지 비모수 검정법 즉, Wilcoxon 검정법, Median 검정법 그리고 Van der Waerden 검정법을 이용하여 에지를 검출하였다. 에지검출법이 잡음영상에서 효율적으로 반응하기 위해 에지-높이 모수를 포함한 새로운 모형하에서 설계하였다.

5×5원도우의 중심픽셀의 에지여부를 두 개의 부분영역간의 평균치에 대한 유의한 차이를 검정함으로써 결정하였다.

통계적 에지검출법들 간의 성능평가는 에지맵을 통해 정성적인 비교와 객관적인 척도인 PFOM을 통한 정량적인 비교를 통해서 비교분석하였다. 잡음이 없는 표본 영상은 물론 여러 가지 형태의 잡음이 있는 영상에 대해서도 통계적 방법들은 에지를 잘 검출함을 알 수 있었다. 그리고 PFOM을 통한 영상실험에 있어서는 Median 방법은 가우시안 잡음영상에 대해서는 다른 방법들보다 성능이 떨어지나 임펄스 잡음에 대해서도 성능이 좋았고 Van der Waerden 방법은 Median 방법과는 반대의 결과를 낳았다. 또한 Wilcoxon 방법은 다른 방법들보다 로버스트한 결과를 내놓을 수 있다.

참고문헌

- [1] 이강호, “거리영상에서 인식 특징을 이용한 경계선 검출 기법”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제6권 제2호, pp.14-19, 2001. 6.
- [2] 임동훈, “웹 상에서 통계적 에지검출기 개발 및 구현”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제10권 제4호, pp.49-55, 2005. 9.
- [3] Gonzales, R. C. and Woods, R. E. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [4] Bovik, A. C., Huang, T. S. and Munson, D. C. “Nonparametric Tests for Edge Detection in Noise”, *Pattern Recognition*, 19(3), 209-219, 1986.
- [5] Lim, D. H. and Jang, S. J. “Comparison of Two-sample Tests for Edge Detection in Noisy Images”. *Journal of the Royal Statistical Society Series D-The Statistician*, 51(1), 21-30, 2002.
- [6] Randles, R.H. and Wolfe, D.A. “Introduction to the Theory of Nonparametric Statistics”. John Wiley & Sons, New York. 1979.
- [7] Lim, D. H. “Robust Edge Detection in Noisy Image”, *Computational Statistics and Data Analysis*. 50(3), 803-812, 2006.
- [8] Pratt, W. “*Digital Image Processing*”, New York: Wiley, 1978.

저자 소개



임동훈

경상대학교 기초과학연구소 및
컴퓨터정보통신연구소
연구원

경상대학교 정보통계학과 교수
<관심분야> 영상처리, 정보통계학