

영상에서 윈도우 배치에 따른 통계적 에지검출 비교

임동훈^{1,a}

경상대학교 정보통계학과

요약

본 논문에서는 영상의 에지검출을 하는데 사용되는 여러 가지 윈도우 배치(window configurations)하에서 통계학의 이표본 위치문제(two-sample location problem)에서 대표적인 Wilcoxon 검정과 T -검정에 기초한 에지검출법에 대해 논의하고자 한다. 영상의 에지검출하는데 윈도우 배치 선택은 에지검출 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 본 논문에서 에지는 선택된 윈도우 배치 하에서 에지-높이 모수(edge-height parameter)를 사용한 에지 모형 하에서 두 근방 영역간의 유의한 차이가 있는지를 검정함으로써 결정한다. 영상 실험에서 윈도우 배치에 따른 통계적 검정에 의한 에지검출 성능은 에지 맵(edge map)을 통한 정성적인 비교와 객관적인 척도 하에서 정량적인 비교 그리고 CPU 계산시간까지 고려하여 분석하였다.

주요용어: 에지검출, 이표본 위치검정, Wilcoxon 검정, T -검정, 윈도우 배치, 잡음영상.

1. 서론

영상에서 에지(edge)란 픽셀값들이 급격하게 변화하는 부분이며 많은 영상처리의 활용분야가 에지 검출(edge detection)을 필요로 한다. 정확한 에지검출은 많은 영상분석과 영상인식 기술 등에 필수적이다. 잡음영상(noisy images)에서 에지를 검출하는데 어려운 점은 잡음과 에지가 모두 고주파 성분에 해당됨으로 에지만의 검출은 쉽지 않다.

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 (Gonzales and Woods, 1992). 통계적 에지검출은 주로 여러 가지 윈도우 배치(window configurations)하에서 통계적 가설검정을 통하여 영역간의 명암값들의 차이를 조사함으로써 이루어진다. Bovik 등 (1986), Bovik과 Munson (1986), Lim과 Jang (2002)와 Lim (2006a)은 인접한 두 개의 근방영역 하에서 Wilcoxon 검정과 T -검정과 같은 이표본 위치 검정(two-sample location test) 등을 사용하여 에지를 검출하였고 Fesharaki와 Hellestrand (1994)와 Lim (2006b)은 한 개 윈도우를 두 개의 근방영역으로 나누어진 배치 하에서 이표본 위치검정을 사용하여 에지를 검출하였다.

본 논문에서는 지금까지 자주 사용되는 윈도우 배치들 중에서 어느 배치가 최상인지 이표본 위치검정에 기초하여 논의하고자 한다.

제 2절에서는 에지검출을 위해 여러 가지 윈도우 배치 하에서 에지-높이 모수 δ -모형들에 대해 소개하고 제 3절에서는 2절에서 논의한 윈도우 배치 하에서 이표본 위치검정에 기초한 에지검출에 대해 논의한다. 제 4절에서는 윈도우 배치 간의 에지 맵(edge map)을 통한 정성적인 비교와 객관적인 척도 하에서 정량적 비교 그리고 에지검출 수행시간까지 고려하여 비교하고 제 5절에서 결론을 맺는다.

¹ (660-701) 경남 진주시 가좌동 900, 경상대학교 정보통계학과, 교수 및 RINS, RICIC. E-mail: dhlim@gnu.ac.kr

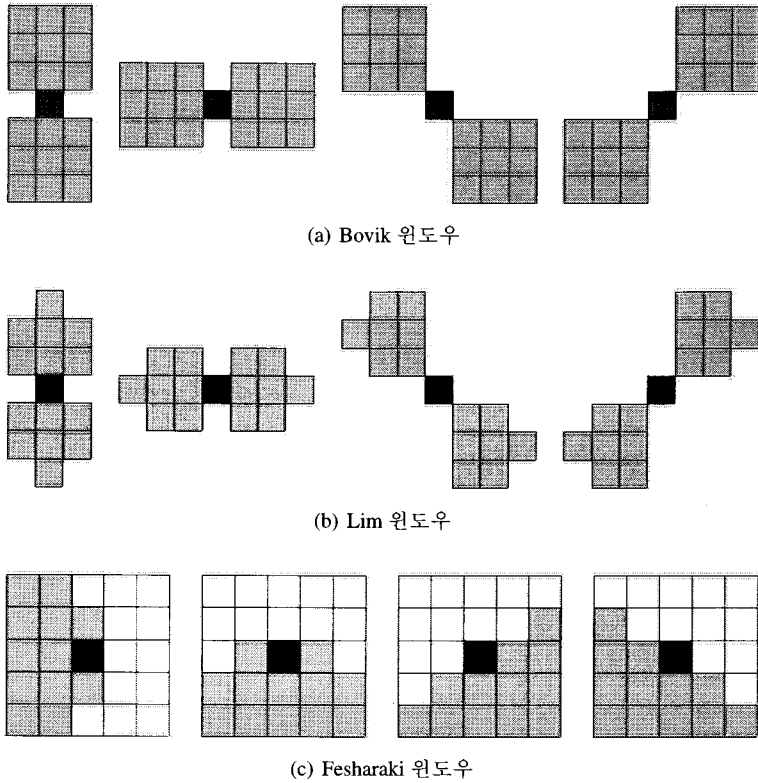


그림 1: 에지검출에 사용된 여러 가지 윈도우 배치

2. 여러 가지 윈도우 배치 하에서 δ -에지 모형

우리는 영상에서 에지를 결정하는데 그림 1에 있는 3 가지 윈도우 배치를 고려한다. 그림 1(a)는 중심픽셀과 인접한 두 개의 3×3 근방영역으로 이루어진 배치이고 Bovik 등 (1986), Bovik과 Munson (1986), Lim과 Jang (2002) 등은 이 윈도우 배치를 사용하여 에지를 검출하였다. 그림 1(b)는 그림 1(a)의 수정된 배치이고 Lim (2006a)에 의해 사용되었다. 그림 1(a)와 비교하면 작은 크기의 근방영역을 사용함으로써 계산 속도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 에지 방향에 따라 중심픽셀에 미치는 각 픽셀들의 영향을 고려하여 설계하였다. 그림 1(c)는 한 개의 5×5 윈도우 안에 두 개의 분할영역으로 이루어진 배치이고 Fesharaki와 Hellestrand (1994)와 Lim (2006b)에서 사용되었다. 이 윈도우 배치는 그림 1(a)와 (b)를 비교하면 근방영역의 크기가 크므로 에지검출하는데 많은 시간이 소요될 수 있다.

그림 1에 있는 윈도우 배치들은 수평, 수직, 45° , 135° 방향 에지를 검출하기 위해 설계되었고 짙은 검은색 중심픽셀이 에지여부를 결정할 관심있는 픽셀을 나타낸다. 본 논문에서는 처음으로 이 윈도우 배치들을 사용한 저자들의 이름을 따서 그림 1(a)는 Bovik 윈도우, 그림 1(b)는 Lim 윈도우 그리고 그림 1(c)는 Fesharaki 윈도우라고 부르기로 한다.

그림 1의 윈도우 배치에서 중심픽셀을 중심으로 한쪽 근방영역을 $A_L = \{X_1, \dots, X_N\}$, 다른 한쪽 근방영역을 $A_R = \{X_{N+1}, \dots, X_{2N}\}$ 라 하고 X_i 들은 서로 독립이라고 가정한다. 물론 실제 영상에서 X_i 들은 종속적이고 그 경우 검정통계량의 개발이 쉽지 않아 우리는 독립이란 가정 하에서 기존의 검정통계량을 그대로 적용하고자 한다. 윈도우 배치에서 A_L 은 분포 $F_1(x - \mu_1)$, A_R 은 분포 $F_2(x - \mu_2)$ 을 따를 때 에

지-높이 모수 δ 를 사용한 에지 모형은 다음과 같이 표현한다.

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

여기서 δ 는 미리 정의된 임계값이고 검출하고자 하는 최소한의 에지높이를 나타낸다. 따라서 δ -에지 모형 하에서 다음과 같이 가설을 세울 수 있다.

$$H_0 : |\mu_1 - \mu_2| = \delta, \quad H_1 : |\mu_1 - \mu_2| > \delta.$$

우리는 다음 절에서 논의되는 이표본 위치검정을 이용하여 가설 H_0 을 검정하고자 한다.

3. 이표본 위치 검정에 기초한 에지검출

3.1. Wilcoxon 검정

δ -에지 모형 하에서 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.

$$W_\alpha = \sum_{i=1}^{2N} R_i I_{\alpha_i}, \quad I_{\alpha_i} = \begin{cases} 0, & R_i \in \{\alpha_1, \dots, \alpha_N\}, \\ 1, & R_i \in \{\alpha_{N+1}, \dots, \alpha_{2N}\}. \end{cases}$$

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

$$W_\beta = \sum_{i=1}^{2N} S_i I_{\beta_i}, \quad I_{\beta_i} = \begin{cases} 0, & S_i \in \{\beta_1, \dots, \beta_N\}, \\ 1, & S_i \in \{\beta_{N+1}, \dots, \beta_{2N}\}. \end{cases}$$

따라서, 가설 H_0 을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

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

이다. N 이 크면

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

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서 $E(W^*) = N(N+1)/2$, $\text{Var}(W^*) = N^2(2N+1)/12$ 이다.

검정통계량 W^* 혹은 Z_{W^*} 가 임계값보다 크면 그림 1의 중심픽셀에 에지가 존재한다고 판정한다. 참고로, N 이 크지 않는 경우 W^* 의 정확한 분포(exact distribution) 유도가 쉽지 않고 또한 근사적으로 정규분포에 크게 벗어나지 않으므로 그림 1(a)의 $N = 7$ 과 그림 1(b)의 $N = 9$ 인 경우에도 Z_{W^*} 을 사용하여 에지 여부를 결정한다 (Hollander과 Wolfe, 1973).

3.2. T-검정

F_1 과 F_2 는 각각 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 와 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 라 하고 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 라고 가정한다. 먼저 $\mu_1 < \mu_2$ 라고 가정하면 H_0 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_A = \frac{|\bar{X}_R - \bar{X}_L| - \delta}{S_p \sqrt{2/N}}$$

표 1: 5가지 잡음분포형태

잡음	잡음형태	발생확률	SNR(표준편차)
G25	가우시안		25dB (2.2)
G15	가우시안		15dB (7.1)
G10	가우시안		10dB (12.6)
I10	임펄스	10%	
I20	임펄스	20%	

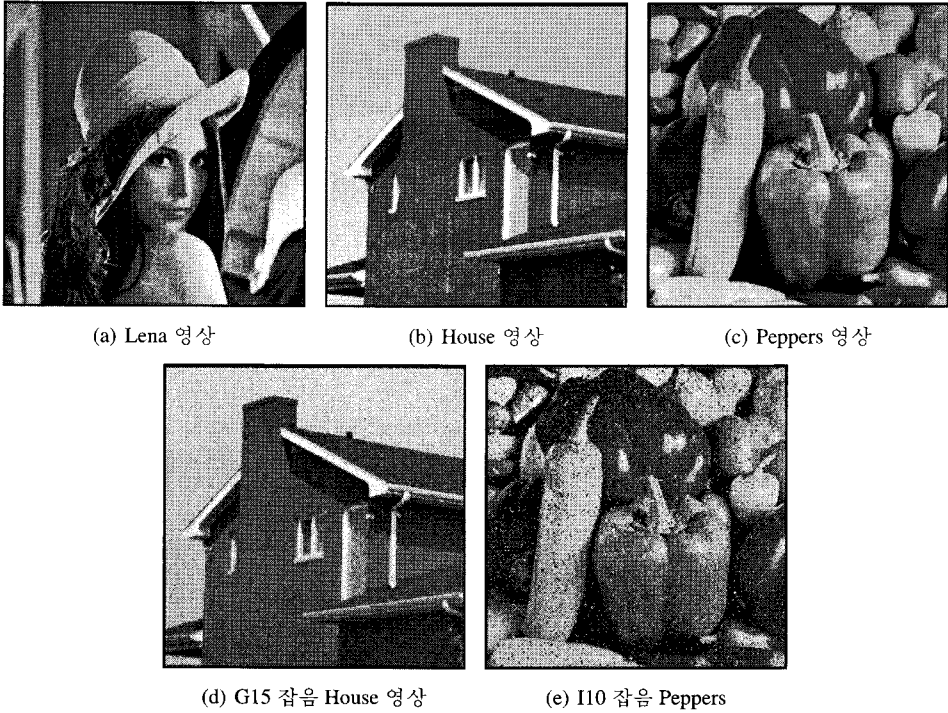


그림 2: 실험에 사용된 표본 영상

여기서 $\bar{X}_L = \sum_{i=1}^N X_i/N$, $\bar{X}_R = \sum_{i=N+1}^{2N} X_i/N$, $S_p^2 = \{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_L)^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (X_i - \bar{X}_R)^2\}/(2N - 2)$.
 위와 똑같은 방법으로 $\mu_1 > \mu_2$ 라고 가정하면 H_0 을 검정하기위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_B = \frac{|\bar{X}_L - \bar{X}_R| - \delta}{S_p \sqrt{2/N}}$$

따라서 H_0 을 검정하는 통계량은

$$T^* = \max(T_A, T_B)$$

이다.

유의수준 α 에서 T^* 은 자유도 $2N - 2$ 인 t 분포의 기각치 $t_{\alpha/2}(2N - 2)$ 보다 크면 H_0 을 기각한다.

4. 영상실험 및 논의사항

영상 실험은 원영상 뿐만 아니라 표 1에 주어진 여러 가지 잡음이 추가된 영상에 대해서도 수행한

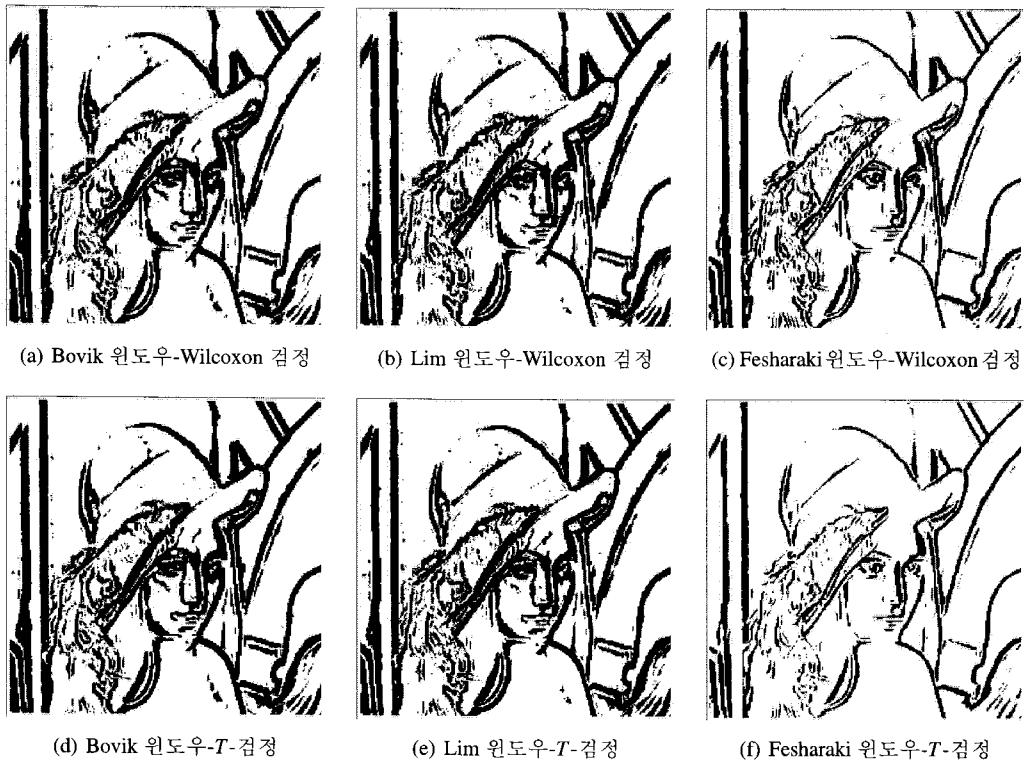


그림 3: 그림 2(a)에 대한 에지맵

다. 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.

$$SNR = 20 \log \left(\frac{40}{\sigma} \right),$$

여기서 40은 인조영상에서 가정된 에지-높이이고 σ 는 잡음표준편차이다.

영상의 에지검출에 Wilcoxon 검정과 T-검정을 적용하는데 있어서 유의수준 α 와 에지-높이 δ 의 선택은 중요하다. 먼저 α 가 작으면 false-alarm 확률이 작은 반면에 연한 에지(weak edge)가 검출되고 α 값이 크면 false-alarm 확률은 큰 반면에 강한 에지(strong edge)가 검출된다. 그리고 δ 값은 영상에 의존하며 최적의 δ 값 결정은 어려우나 가우시안 잡음인 경우 $\delta > \alpha$ 를 만족하도록 결정하는 것이 바람직하다 (Bovik 등, 1986).

본 실험은 TG 삼보 컴퓨터 DreamSys-EMWT / Intel(R) Core(TM) 2 Duo CPU E8400 3.00GHz / 2GB RAM / Windows XP 환경 하에서 실험하였다.

4.1. 정성적인 성능비교

우리는 그림 2에 주어진 여러 가지 256x256 크기의 Lena 영상, House 영상 그리고 Peppers 영상과 원영상으로부터 얻어진 잡음영상을 가지고 에지검출 실험을 수행한다.

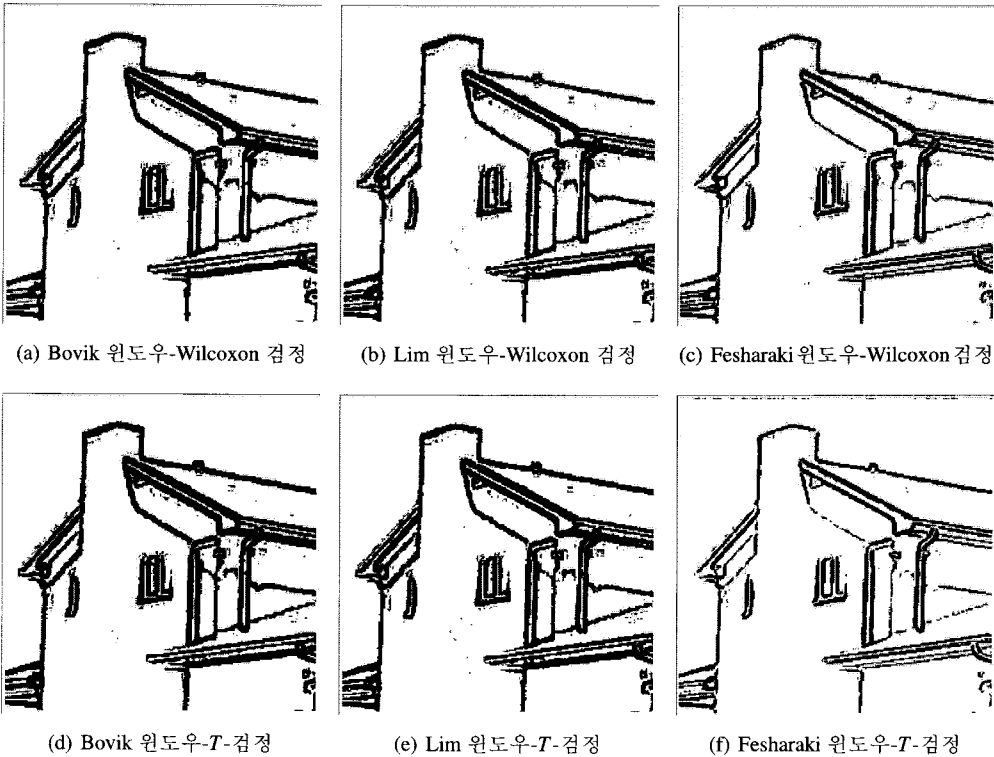


그림 4: 그림 2(d)에 대한 예지맵

먼저, $\delta = 15$ 인 예지모형 하에서 3가지 윈도우 배치를 사용하여 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 예지검출 실험을 수행하였다. 그림 2(a), (b), (c)에 있는 원영상에 대해 실험한 결과 윈도우 배치마다 비슷한 결과를 낳았으며 그림 3은 그림 2(a)의 Lena 영상에 이표본 위치검정을 적용한 결과이다.

그림 3을 보면 잡음이 없는 영상에 대해 모든 윈도우 배치하에서 이표본 위치검정에 의한 예지검출은 잘 수행됨을 알 수 있다. Bovik 윈도우와 Lim 윈도우는 비슷한 결과를 보였고 Fesharaki 윈도우를 사용한 것보다 진한 예지를 얻음을 알 수 있었다. 그렇다고 Bovik 윈도우와 Lim 윈도우 사용이 Fesharaki 윈도우보다 좋다고 말할 수는 없다. 왜냐하면 Fesharaki 윈도우인 경우 유의수준을 조절함으로써 진한예지를 얻을 수 있기 때문이다.

그림 4는 그림 2(d)의 가우시안 잡음 G15를 추가한 House 잡음영상에 이표본 위치 검정을 적용하여 얻은 결과이다.

위 그림에서 보면 Wilcoxon 검정과 T-검정 모두 가우시안 잡음 영상에 대해 비교적 예지를 잘 검출함을 보여주고 있다. 특히, T-검정이 이처럼 좋은 결과를 보이는 것은 T-검정 통계량이 가우시안 모형을 기반으로 하고 있어서 가우시안 잡음에 효과적으로 반응하고 있기 때문이다.

그림 5는 그림 2(e)의 임펄스 잡음 I10을 추가한 Peppers 잡음영상에 Wilcoxon 검정과 T-검정을 적용하여 얻은 결과이다.

그림 5를 보면 임펄스 잡음영상에 대해 Wilcoxon 검정은 윈도우 배치에 상관없이 좋은 반응을 보이거나 T-검정은 모든 윈도우 배치들에 대해 잡음에 민감하게 반응함을 알 수 있다. 특히, Fesharaki 윈도우 사용은 다른 윈도우 배치보다 예지정보가 많이 소실됨을 알 수 있다.

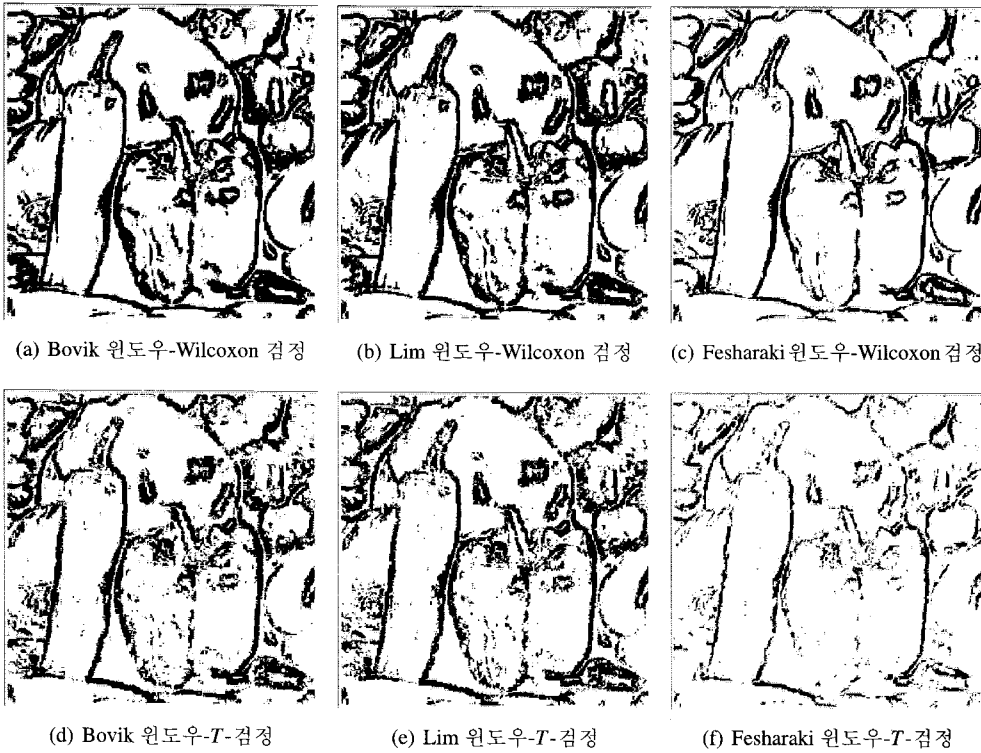


그림 5: 그림 2(e)에 대한 에지맵

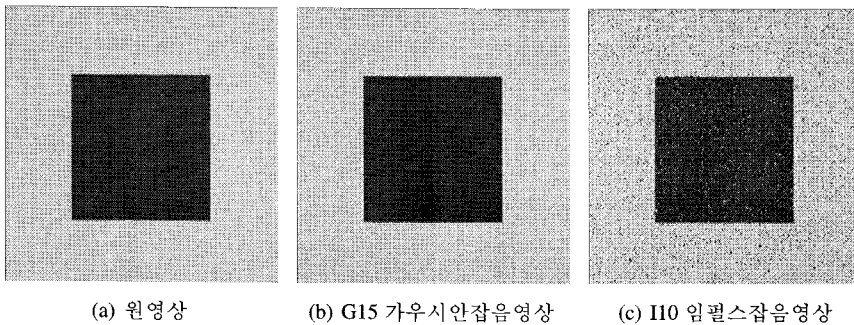
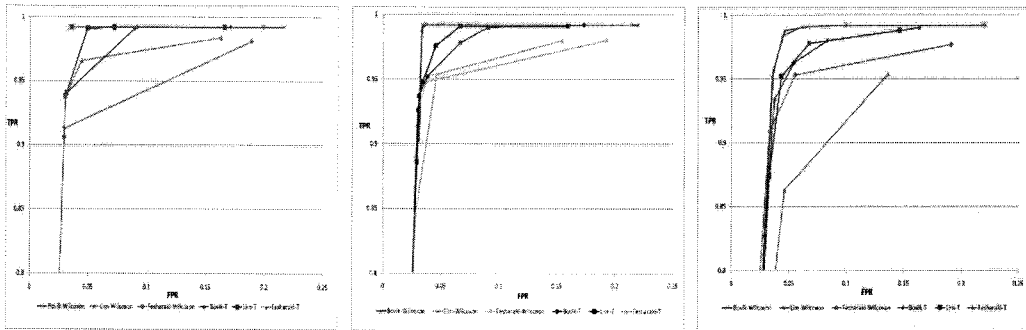


그림 6: 인조영상

4.2. 정량적인 성능비교

윈도우 배치들간의 정량적인 성능비교는 128×128 크기의 인조영상을 가지고 실험한다. 인조영상은 내부에 두 개의 수평과 수직에지를 갖고 있는 정사각형 모양의 에지를 포함하고 있으며 정사각형 내부의 픽셀값들은 115이고 정사각형 외부의 픽셀값들은 155로 이루어져있다. 잡음영상은 원래의 인조영상에 가우시안 잡음 G25, G15, G10 그리고 임펄스 잡음 I10, I20을 추가하여 얻었다. 그림 6은 실험에 사용된 인조영상의 일부분을 보여주고 있다.

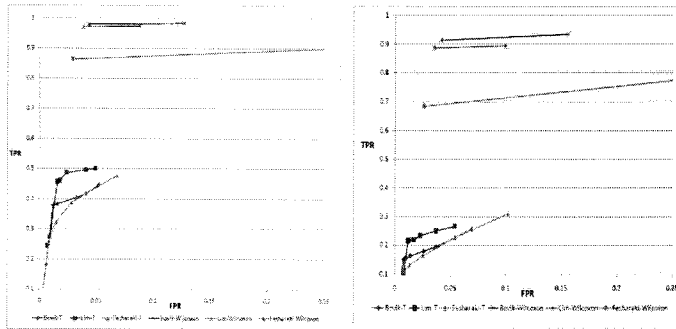
윈도우 배치들에 대한 양적인 척도로 사용될 ROC 곡선(Receiver Operating Characteristic curves)은 여러 가지 δ 값에 대하여 false positive rate(FPR)에 대한 true positive rate(TPR)을 그래프로 표현한 것이



(a) G25 가우시안 잡음영상

(b) G15 가우시안 잡음영상

(c) G10 가우시안 잡음영상



(d) I10 임펄스 잡음영상

(e) I20 임펄스 잡음영상

그림 7: 3 가지 윈도우 배치 하에서 Wilcoxon 검정과 T-검정에 대한 ROC 곡선

다 (Bowyer 등, 1999). 여기서 FPR은 실제 예지가 아닌데 검정에 의해 잘못 예지로 판정할 확률이고 TPR은 실제 예지를 검정에 의해 옳게 판정할 확률을 의미한다. 따라서 여러 임계값에 대한 예지 맵을 얻은 후 여러 개의 점(FPR, TPR)을 서로 이으면 ROC 곡선이 얻어진다.

그림 7은 잡음 G25, G15, G10 그리고 I10, I20이 추가된 인조영상에서 윈도우 배치 하에서 이표본 검정들에 대한 ROC 곡선들을 보여주고 있다.

위 그림에서 보면 가우시안 잡음영상 그림 7(a), (b), (c)에서 Fesharaki 윈도우의 성능이 다른 윈도우를 사용한 것보다 떨어짐을 보이고 있고 7(d)와 (e)의 임펄스 잡음영상에서는 기대했던 것처럼 모든 윈도우에 대해 Wilcoxon 검정이 T-검정보다 훨씬 좋은 성능을 보이고 있다. Wilcoxon 검정에 대한 윈도우 성능의 순서는 Lim 윈도우, Bovik 윈도우 그리고 Fesharaki 윈도우 순으로 나타났으며 T-검정은 Lim 윈도우 하에서 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

또 하나의 양적인 척도로서 우리는 Pratt (1978)의 Figure of merit(PFOM)

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

을 사용한다. 여기서 $I_N = \max(I_I, I_A)$ 그리고 I_I 와 I_A 은 각각 실제 예지수와 검출된 예지수이다. 그리고 β 는 스케일 상수(여기서 $\beta = 1/9$)이고 d_i 는 잘못 검출된 i 번째 예지점이 실제 예지점과의 거리이다.

표 2는 3개의 윈도우 배치 하에서 이표본 위치검정에 대한 PFOM을 계산한 표이다. 가우시안 잡음영상에서 Wilcoxon 검정에 의한 윈도우 배치들에 대한 성능 순서는 Fesharaki 윈도우, Lim 윈도우 그리고 Bovik 윈도우 순이며 T-검정에 대해서는 Lim 윈도우, Bovik 윈도우 그리고 Fesharaki 윈도우

표 2: 3 개의 윈도우 배치에서 T-검정에 대한 PFOM 값

잡음	δ	윈도우 배치					
		Bovik		Lim		Fesharaki	
		Wilcoxon	T	Wilcoxon	T	Wilcoxon	T
G25	10	0.867	0.867	0.949	0.883	0.950	0.950
	15	0.928	0.928	0.949	0.942	0.950	0.948
	20	0.929	0.929	0.949	0.950	0.950	0.860
G15	10	0.914	0.884	0.924	0.899	0.949	0.946
	15	0.939	0.914	0.943	0.932	0.950	0.949
	20	0.946	0.928	0.949	0.947	0.950	0.668
G10	10	0.890	0.891	0.891	0.899	0.938	0.940
	15	0.920	0.913	0.926	0.929	0.948	0.870
	20	0.939	0.923	0.941	0.940	0.940	0.415
I10	10	0.928	0.863	0.938	0.901	0.949	0.645
	15	0.928	0.802	0.938	0.887	0.949	0.707
	20	0.928	0.761	0.938	0.876	0.949	0.482
I20	10	0.925	0.620	0.935	0.629	0.948	0.508
	15	0.925	0.464	0.935	0.550	0.948	0.338
	20	0.925	0.396	0.935	0.501	0.948	0.244

표 3: 여러 가지 윈도우 배치들의 수행시간 비교

영상	윈도우 배치					
	Bovik		Lim		Fesharaki	
	Wilcoxon	T	Wilcoxon	T	Wilcoxon	T
Lena	0.609	0.953	0.422	0.719	1.047	1.265
House	0.562	0.890	0.375	0.703	0.968	1.235
Peppers	0.610	0.922	0.406	0.735	1.060	1.250

순으로 나타났다. 특히, Fesharaki 윈도우는 δ 의 값이 클수록 성능이 점점 떨어짐을 보였다. G10에서 $\delta = 20$ 인 경우 PFOM의 값은 0.415로 다른 두 개의 윈도우를 사용했을 때보다 1/2에도 미치지 못함을 알 수 있었다. 임펄스 잡음에서 Fesharaki 윈도우는 Wilcoxon 검정에서는 좋은 성능을 보이거나 T-검정에서는 다른 윈도우보다 성능이 현저히 떨어짐을 알 수 있다. Lim 윈도우는 검정선택에 의존함이 없이 좋은 성능을 유지함을 알 수 있었다.

4.3. 수행시간비교

윈도우 배치의 중요성을 평가하는데 정량적이고 정성적인 비교 못지않게 수행시간 또한 중요한 요인이다. 뛰어난 성능을 갖고 있는 윈도우 배치라 할지라도 예지를 검출하는데 많은 시간이 걸리면 현실적으로 적용하는데 어려움이 있다. 표 3은 그림 1(a), (b), (c)에 있는 3가지 영상 각각에 대해 평균 CPU 예지검출시간(단위: 초)을 측정한 표이다.

우리는 표 3으로부터 Wilcoxon 검정과 T-검정 모두에 대해 Lim 윈도우가 가장 빠른 수행시간을 갖고 있으며 Bovik 윈도우 그리고 Fesharaki 윈도우 순으로 수행시간이 늦음을 알 수 있었다. 이런 결과는 윈도우 배치의 근방영역의 크기에 기인하기 때문이다.

5. 결론 및 향후 연구

통계학의 이표본 위치문제에서 유용한 여러 가지 검정법을 예지검출에 적용하는데 있어서 미리 정의된 윈도우 배치 하에서 영역간의 명암값들의 차이를 조사함으로써 이루어져 왔다.

지금까지 사용된 윈도우 배치는 주로 인접한 두 개의 근방영역으로 이루어진 윈도우라든지 혹은 한 개 윈도우 내에서 두 개의 분할영역으로 이루어진 윈도우들이 이용되었다.

본 논문에서는 어느 윈도우 배치가 최상인지 에지-높이 모수 δ 를 사용한 에지 모형 하에서 이표본 위치문제에서 대표적인 Wilcoxon 검정과 T -검정에 기초하여 논의하였다.

영상실험은 여러 가지 잡음이 추가된 표본영상과 인조영상에서 여러 가지 윈도우 배치 하에서 이루어졌다. 잡음이 포함된 표본영상에 대해 똑같은 유의수준 하에서 Bovik 윈도우와 Lim 윈도우 사용은 Fesharaki 윈도우보다 진한 에지를 얻을 수 있었고 임펄스 잡음영상에서 Fesharaki 윈도우 하에서 T -검정은 에지 정보의 소실이 많음을 알 수 있었다. ROC 곡선을 통한 정량적인 비교에서 Fesharaki 윈도우의 성능은 가우시안 잡음영상에서는 다른 윈도우를 사용한 것보다 떨어짐을 보였고 임펄스 잡음영상에서는 고려되는 모든 윈도우에 대해 Wilcoxon 검정이 T -검정보다 훨씬 좋은 성능을 보여준다. Wilcoxon 검정에 대한 윈도우 성능의 순서는 Lim 윈도우, Bovik 윈도우 그리고 Fesharaki 윈도우 순으로 나타났으며 T -검정은 Lim 윈도우 하에서 가장 좋은 성능을 나타냈다. PFOM 측면에서 보면 Lim 윈도우가 Bovik 윈도우보다 성능이 좋고 Fesharaki 윈도우는 가우시안 잡음에서 에지-높이 모수 값에 따라 영향을 많이 받음을 알 수 있으며 임펄스 잡음에서 Fesharaki 윈도우는 다른 윈도우보다 성능이 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. 에지검출을 위한 수행시간 측면에서 Lim 윈도우가 가장 빠른 수행시간을 갖고 있으며 그 다음 Bovik 윈도우 그리고 Fesharaki 윈도우 순으로 나타났다.

본 논문에서 에지-높이 모수 δ 는 미리 정의된 임계값이지만 실제 영상에 의존함으로 최적의 δ 선택이 중요하다. 앞으로의 연구에서 모수 δ 대신 추정량이 포함된 에지검출법에 대한 연구를 계속 수행할 것이다.

참고 문헌

- Bovik, A. C., Huang, T. S. and Munson, D. C. (1986). Nonparametric tests for edge detection in noise, *Pattern Recognition*, **19**, 209–219.
- Bovik, A. C. and Munson, D. C. (1986). Edge detection using median comparisons, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **33**, 377–389.
- Bowyer, K., Kranenburg, C. and Dougherty, S. (1999). Edge detector evaluation using empirical ROC curves, *1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'99)* **1**, 354–359.
- Fesharaki, M. N and Hellestrand, G. R. (1994). A new edge detection algorithm based on a statistical approach, In *Proceeding Int. Symp. Speech. Image processing and Neural Networks*, Hong Kong, pp.21–24: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Gonzales, R. C. and Woods, R. E. (1992). *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Hollander, M. and Wolfe, D. A. (1973). *Nonparametric Statistical Methods*, John Wiley & Sons, New York.
- Lim, D. H. (2006a). Robust edge detection in noisy image, *Computational Statistics and Data Analysis*, **50**, 803–812.
- Lim, D. H. (2006b). Robust rank-order test for edge detection in noisy image, *Nonparametric Statistics*, **18**, 333–342.
- Lim, D. H. and Jang, S. J. (2002). Comparison of two-sample tests for edge detection in noisy images, *Journal of the Royal Statistical Society Series D-The Statistician*, **51**, 21–30.
- Pratt, W. (1978). *Digital Image Processing*, Wiley, New York.

Window Configurations Comparison Based on Statistical Edge Detection in Images

Dong Hoon Lim^{1,a}

^aDepartment of Information and Statistics, Gyeongsang National University

Abstract

In this paper we describe Wilcoxon test and T -test that are well-known in two-sample location problem for detecting edges under different window configurations. The choice of window configurations is an important factor in determining the performance and the expense of edge detectors. Our edge detectors are based on testing the mean values of local neighborhoods obtained under the edge model using an edge-height parameter. We compare three window configurations based on statistical tests in terms of qualitative measures with the edge maps and objective, quantitative measures as well as CPU time for detecting edge.

Keywords: Edge detection, two-sample location test, Wilcoxon test, T -test, Window configurations, Noisy images.

¹ Professor, Department of Information and Statistics, RINS and RICIC, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea. E-mail: dhl@gnu.ac.kr