

잡음영상에서 에지검출을 위한 이표본 검정법

임동훈¹⁾ 박은희²⁾

요약

본 논문에서는 이표본 위치문제에서 대표적인 윌콕슨 검정법과 T 검정법을 사용하여 잡음영상에서 에지를 검출하고자 한다. 에지높이모수를 사용하여 얻은 수정된 농도값상에서 검정통계량을 계산하고 유의수준에 의해 결정된 임계값과 비교하여 에지유무를 판정한다. 영상실험을 통하여 얻은 에지맵과 객관적인 척도하에서 에지검출 성능을 비교분석한다.

주요용어: 에지검출, 잡음영상, 윌콕슨 검정, T 검정, Bovik-Huang-Nunson검정, Canny 방법

1. 서론

영상에서 에지(edge)는 농도값(gray level, intensity)들의 급격하게 변화하는 부분이며 물체의 경계부분에 해당된다. 에지를 검출함으로써 물체에 대한 인식과 영상분할(image segmentation)을 용이하게 할 수 있다. 만약 영상에 잡음이 있으면 잡음과 에지가 모두 고주파 성분에 해당되므로 에지만을 검출하는 것은 어렵다. 지금까지 전통적인 에지검출방법으로는 Sobel 연산자, Roberts 연산자 또는 Laplacian 연산자등 미분에 의한 방법들이 있는데 이들은 잡음이 없는 단순한 영상에 대해서는 사용가능하나 잡음이 포함된 복잡한 영상에 대해서는 에지정보가 소실됨을 알 수 있다.(Gonzalez and Woods(1993))

잡음영상에서 에지검출을 위한 통계적 방법으로는 Bovik, Huang and Munson(1986), Huang and Tseng(1988), Thune, Olstad and Thune(1997), Lim and Park(2000)등이 있다. Huang and Tseng(1988)은 변화점 문제(change-point problem)에서 유용한 우도비검정(likelihood ratio test)을 영상에 적용하여 에지를 검출하였고, Lim and Park(2000)은 변화점 문제에 이표본 검정(two-sample test)인 Kolmogorov-Smirnov검정, Wolfe-Schechtman검정을 적용하여 에지를 검출하였는데 두 방법 모두 계산량이 많고 실제 영상에 적용하는데 어려움이 있다. Thune, Olstad and Thune(1997)은 영상데이터를 정규분포들의 혼합모형으로 표현하여 에지를 검출하였는데 데이터들의 정규성 가정을 만족하지 않는 경우 에지 검출력이 떨어짐을 알 수 있다. 한편 Bovik, Huang and Munson(1986)은 이표본 검정에 대한 윌콕슨 검정(Wilcoxon test), 메디안 검정(Median test) 등에 기초한 에지검출 방법을 제안하였다. 이들은 두개의 모수(에지높이(edge height)와 임계값(threshold))를 사용하여 에지를

1) (660-701) 경남 진주시 가좌동 900, 경상대학교 통계정보학과, 부교수 / 정보통신연구센터, 연구원

E-mail: dhlim@nongae.gsnu.ac.kr

2) (660-701) 경남 진주시 가좌동 900, 경상대학교 대학원 통계학과, 석사과정

검출하였는데 임계값을 최대통계량의 일정비율로 정함으로서 비율에 따라 에지가 달라지는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이표본 비모수 검정에서 대표적인 윌콕슨 검정과 이표본 모수검정에서 대표적인 T 검정을 사용하여 에지를 검출하고자 한다. Bovik, Huang and Munson(1986)에서 처럼 에지높이모수를 사용하여 얻은 수정된 농도값상에서 검정통계량을 계산하고 임계값은 최대통계량의 일정비율대신 유의수준에 의해 결정된 임계값을 사용하여 에지유무를 판정한다. 여러가지 잡음분포를 갖는 표본영상에서 제안된 통계적 검정법들과 기존의 Bovik-Huang-Munson검정 (Bovik, Huang and Munson(1986)의 윌콕슨 검정), Canny 방법, Sobel연산자를 이용한 방법과의 에지맵(edge map)을 통하여 에지검출력을 비교한다. 또한, Bovik, Huang and Munson(1986)에서 고려하지않은 객관적인 에지검출 척도하에서 검출 성능을 양적으로 비교 분석한다.

따라서 제 2절에서는 δ 에지모형하에서 윌콕슨 검정과 T 검정을 소개하고 제 3절에서는 여러가지 잡음을 추가한 표본영상(sample image)과 인조영상(synthetic image)에서 여러 검출방법들간에 성능을 비교하고 제 4절에서는 결론을 맺는다.

2. δ 에지모형을 이용한 이표본 검정

그림 2.1과 같이 에지가능 원소에 인접한 두개의 $n \times n$ 정방형 근방영역을 생각하자. n 은 홀수이다. 본 논문에서는 수직방향의 에지만을 고려하였으며 최종적인 에지는 수평방향과 수직방향의 에지들의 "OR"로서 결정한다.

왼쪽 근방영역 N_L 에 속하는 농도값 X_1, \dots, X_N 과 오른쪽 근방영역 N_R 에 속하는 농도값 X_{N+1}, \dots, X_{2N} 들은 각각 연속분포 $F_1(x) = F(x - \mu_1)$ 과 $F_2(x) = F(x - \mu_2)$ 로 부터 확률표본이라 하자. 여기서 $N = n^2$ 이고 μ_1, μ_2 들은 이동모수이다.

우리는 에지높이 δ 를 사용하여 다음과 같이 농도값 X_i 들을 수정한다.

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

와

$$B_i = \begin{cases} X_i - \delta & ; X_i \in N_L \\ X_i & ; X_i \in N_R. \end{cases}$$

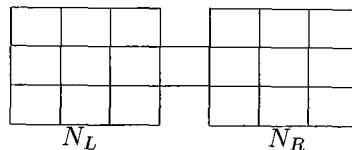


그림 2.1: 수직에지를 검출하기 위한 인접한 $n \times n$ 정방근방영역($n=3$)

따라서, 수정된 농도값상에서 다음과 같이 가설을 세울 수 있다.

$$H_{0a} : \mu_2 - \mu_1 = \delta \text{ versus } H_{1a} : \mu_2 - \mu_1 < \delta \quad (2.1)$$

와

$$H_{0b} : \mu_1 - \mu_2 = \delta \text{ versus } H_{1b} : \mu_1 - \mu_2 > \delta. \quad (2.2)$$

우리가 수정된 자료 $\{A_i\}$ 와 $\{B_i\}$ 상에서 에지높이 δ 가 증가할수록 δ 보다 작은 에지 혹은 잡음들은 제거됨을 기대한다.

2.1. 윌콕슨 검정

먼저 식(2.1)에 주어진 H_{1a} 에 대한 H_{0a} 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

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

여기서 R_i 들은 A_i 의 순위이며 I_{A_i} 은 $R_i \in \{A_1, \dots, A_N\}$ 이면 0, $R_i \in \{A_{N+1}, \dots, A_{2N}\}$ 이면 1이다.

위와 비슷한 방법으로 식(2.2)에 주어진 H_{1b} 에 대한 H_{0b} 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

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

여기서 S_i 들은 B_i 의 순위이며 I_{B_i} 은 $S_i \in \{B_1, \dots, B_N\}$ 이면 1, $S_i \in \{B_{N+1}, \dots, B_{2N}\}$ 이면 0이다. 따라서 H_{0a} (혹은 H_{0b})을 검정하기 위한 통계량은

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

이다. N 이 크면 표준화된 통계량

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

은 H_{0a} (or H_{0b})하에서 표준정규분포를 따른다. 여기서 $E(W^*) = N(N+1)/2$, $Var(W^*) = N^2(2N+1)/12$. 유의수준 α 에서 Z_{W^*} 이 $z_{\alpha/2}$ 보다 크면 H_{0a} (or H_{0b})을 기각하고 에지가 존재한다고 결론을 내린다. 여기서 $z_{\alpha/2}$ 은 $P(Z_{W^*} > z_{\alpha/2}) = \alpha/2$ 을 만족하는 임계값이다. (Conover(1980))

2.2. T 검정

우리는 F_1 과 F_2 을 각각 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 와 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 라고 하자. 여기서 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ 라고 가정하자. 식(2.1)에 주어진 H_{1a} 에 대한 H_{0a} 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_A = \frac{\bar{A}_R - \bar{A}_L}{S_p[2/N]^{1/2}},$$

여기서 $\bar{A}_L = \sum_{i=1}^N A_i/N$, $\bar{A}_R = \sum_{i=N+1}^{2N} A_i/N$, $S_p^2 = \{\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A}_L)^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (A_i - \bar{A}_R)^2\}/(2N - 2)$.

위와 비슷한 방법으로 식(2.2)에 주어진 H_{1b} 에 대한 H_{0b} 을 검정하기 위한 검정통계량은 다음과 같다.

$$T_B = \frac{\bar{B}_L - \bar{B}_R}{S_p/[2/N]^{1/2}},$$

여기서 $\bar{B}_L = \sum_{i=1}^N B_i/N$, $\bar{B}_R = \sum_{i=N+1}^{2N} B_i/N$, $S_p^2 = \{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B}_L)^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (B_i - \bar{B}_R)^2\}/(2N - 2)$. 이때 통계량 T_A (혹은 T_B)들은 H_{0a} (or H_{0b})하에서 자유도 $2N-2$ 인 t 분포를 갖는다. 그러면, H_{0a} (혹은 H_{0b})을 검정하는 통계량은

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

이다.

유의수준 α 에서 T^* 이 자유도 $2N-2$ 인 t 분포의 $t_{\alpha/2}(2N - 2)$ 보다 크면 우리는 H_{0a} (혹은 H_{0b})를 기각한다. 여기서, $t_{\alpha/2}(2N - 2)$ 은 $P(T^* > t_{\alpha/2}(2N - 2)) = \alpha/2$ 을 만족하는 임계값이다.

3. 실험결과와 논의사항

본절에서는 지금까지 논의한 윌콕슨 검정과 T검정외에 기존의 Bovik-Huang-Munson 검정, Canny 방법, Sobel연산자를 이용한 방법간에 에지검출 성능을 비교하기 위해 표본영상과 인조영상을 가지고 실험을 한다. 표 3.1에 주어진 여러가지 잡음을 추가하여 잡음영상을 얻는다. 가우시안잡음(Gaussian noise) 영상은 평균이 0이고 주어진 표준편차를 갖는 잡음을 원상에 추가하여 얻고 임펄스 잡음(impulse noise) 영상은 255의 크기를 갖는 잡음을 주어진 발생확률로 원상에 추가하여 얻는다. 가우시안잡음의 폭은 다음의 신호대잡음비(SNR (signal-to-noise ratio), 단위:dB)

$$\text{SNR} = 20\log(25/\sigma)$$

로 나타내며 여기서 25은 인조영상에서 가정된 에지높이이고 σ^2 은 잡음분산이다.

3.1. 표본영상

우리는 비행기 원영상과 표 3.1에 주어진 다섯가지 잡음을 추가한 잡음영상에 대해 실험을 하였다. 그림 3.1에는 실험에 사용된 영상중 일부분만 수록하였다. 그림 3.1 (a),(b)그리고 (c)는 원영상, 가우시안 잡음 $G10$ 과 임펄스 잡음 $I0.1$ 이 추가된 잡음영상이다. 윌콕슨 검정과 T 검정은 유의수준 0.05에서 검정하였고, Bovik-Huang-Munson 검정은 흔히 사용하는 최대통계량의 3/4을 임계값으로 사용하였고 Canny 방법은 이중임계값(double threshold) 20과 40을 사용하였으며 Sobel 방법에서는 임계값 80을 사용하였다. 그림 3.2, 3.3 그리고 3.4는 각각 그림 3.1 (a), (b) 그리고 (c)로 부터 에지높이 δ 가 15, 10, 15인 경우 그리고 20인 경우 얻어진 에지맵들이다. 원영상에 대해 얻은 그림 3.2는 Canny 방법을 제외한 모든 방

법들이 비교적 에지를 잘 검출함을 보여주고 있고 그림 3.3에서는 윌콕슨 검정법과 T 검정법이 Sobel방법보다 에지를 잘 검출함을 알 수 있다. 그러나 그림 3.3 (b)에서 보듯이 T 검정법에서도 약간이 잡음이 검출됨을 알 수 있다. 그림 3.2와 그림 3.3에서 보듯이 Canny 방법에서 얻은 에지들은 다른 방법에서 구한 에지들보다 가늘게 나타났다. 이것은 Canny 방법의 Non-Maximum Suppression 방법과 이중임계값 사용에 기인한다. 임펄스 잡음영상에서 얻은 그림 3.4은 윌콕슨 검정, Bovik-Huang-Munson 검정을 제외한 T 검정, Canny 방법 그리고 Sobel방법 모두 잡음에 민감하여 에지보존이 안됨을 알 수 있다.

3.2. 인조영상

에지검출방법들의 양적인 성능비교를 위해 64×64 크기의 인조영상을 가지고 실험한다. 인조영상은 하나의 수직에지를 갖고 있으며 에지 왼쪽에 있는 농도값들은 115이고 오른쪽에 있는 농도값들은 140인 계단영상(step image)이다. 원영상에 표 3.1에 있는 잡음을 추가하여 얻은 잡음영상에 대해 객관적인 척도로서 다음과 같이 정의된 Pratt(1978)의 Figure of merit(PFOM)를 계산한다.

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

여기서 I_N 은 I_I, I_A 중 최대값이며 I_I 와 I_A 은 각각 실제 에지수와 검출된 에지수이다. 그리고 d_i 는 잘못검출된 i 번째 에지점이 실제 에지점과의 거리이고 β 는 스케일 상수인데 우리 실험에서는 1/9로 하였다. 각 에지검출방법에서 임계값은 표본영상에서 에지맵을 얻기 위해 사용된 똑같은 임계값을 사용하였다.

표 3.2는 $\delta = 10, 15$ 그리고 20인 경우 잡음분포에 따라 1000번 잡음을 발생시켜 윌콕슨 검정, T 검정, Bovik-Huang-Munson 검정과 Canny 방법, Sobel 방법간의 PFOM를 계산한 표이다. 이표로부터 윌콕슨 검정, Bovik-Huang-Munson 검정은 잡음분포에 관계없이 에지검출이 잘됨을 알 수 있으나 T 검정과 Canny 방법은 가우시안 잡음영상에서는 Sobel 방법보다 좋은 결과를 냈으나 임펄스 잡음영상에서는 PFOM수치가 낮아 성능이 떨어짐을 알 수 있다.

표 3.1: 다섯가지 잡음분포형태

잡음	잡음 형태	발생 확률	SNR (표준편차)
G_{20}	가우시안		20 dB (2.5)
G_{10}	가우시안		10 dB (7.9)
G_5	가우시안		5 dB (14.05)
$I_{0.1}$	임펄스	0.1	
$I_{0.2}$	임펄스	0.2	

4. 결론

우리는 이표본 검정법에서 대표적인 윌콕슨 검정과 T 검정을 사용하여 잡음영상에서 에지를 검출하였다. 잡음을 제거하기위해 에지높이모수를 사용하여 얻은 수정된 농도값상에서 검정통계량을 계산하고 유의수준에 의해 결정된 임계값과 비교하여 에지유무를 판정한다. 여러가지 잡음분포를 갖는 표본영상에서 통계적 검정법들과 기존의 Bovik-Huang-Munson 검정, Canny방법, Sobel연산자를 이용한 방법과의 에지맵을 통하여 에지검출력을 비교하고 또한 객관적인 에지검출 척도하에서 양적으로 비교 분석하였다. 영상실험결과 윌콕슨 검정은 잡음분포형태에 관계없이 로버스트(robust)하게 반응한 반면 T 검정, Canny방법 그리고 Sobel 방법은 잡음에 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 특히, 임펄스 잡음영상에 대해서는 에지정보가 많이 소실됨을 알 수 있었다. 윌콕슨 검정과 Bovik-Huang-Munson 검정을 직접 비교하는 것은 임계값을 설정하는 기준이 다르므로 할 수 없으나 표본영상과 인조영상 실험에서 비슷한 결과를 냄을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Bovik, A.C., Huang, T.S. and Munson, D.C. (1986). Nonparametric tests for edge detection in noise. *Pattern Recognition* 19(3), 209-219.
- [2] Canny. J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. PAMI-8, No.6. 679-698.
- [3] Conover, W.J. (1980). *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley & Sons.
- [4] Gonzalez, R.C. and Woods, R. E. (1993). *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing company.
- [5] Huang, J.S. and Tseng, D.H. (1988). Statistical theory of edge detection. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 43, 337-346.
- [6] Lim, D.H. and Park, U.H. (2000). 영상에서 에지검출을 위한 통계적 방법. <응용통계연구>, 13(2), 515-523.
- [7] Pratt, W. (1978). *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons.
- [8] Thune, M., Olstad. B. and Thune, N. (1997). Edge Detection in Noisy Data using Finite Mixture Distribution Analysis. *Pattern Recognition* 30(5), 685-699.

[2000년 8월 접수, 2001년 2월 채택]

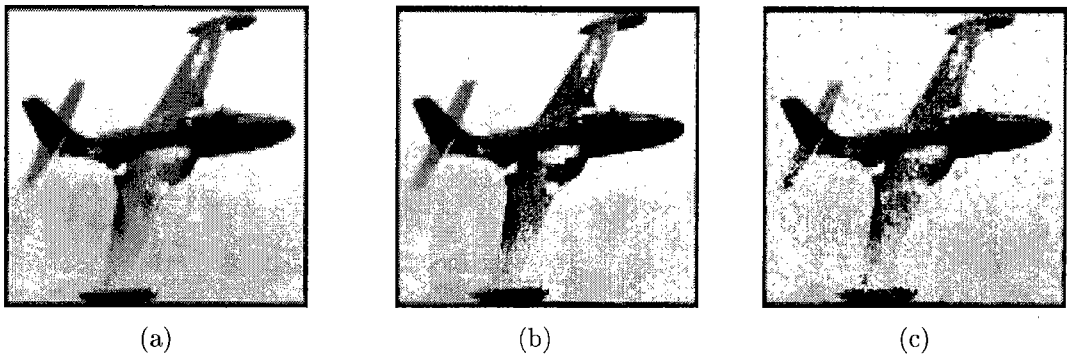


그림 3.1: (a) 원영상 (b) 가우시안잡음 $G10$ 이 추가된 잡음영상 (c) 임펄스잡음 $I0.1$ 이 추가된 잡음영상

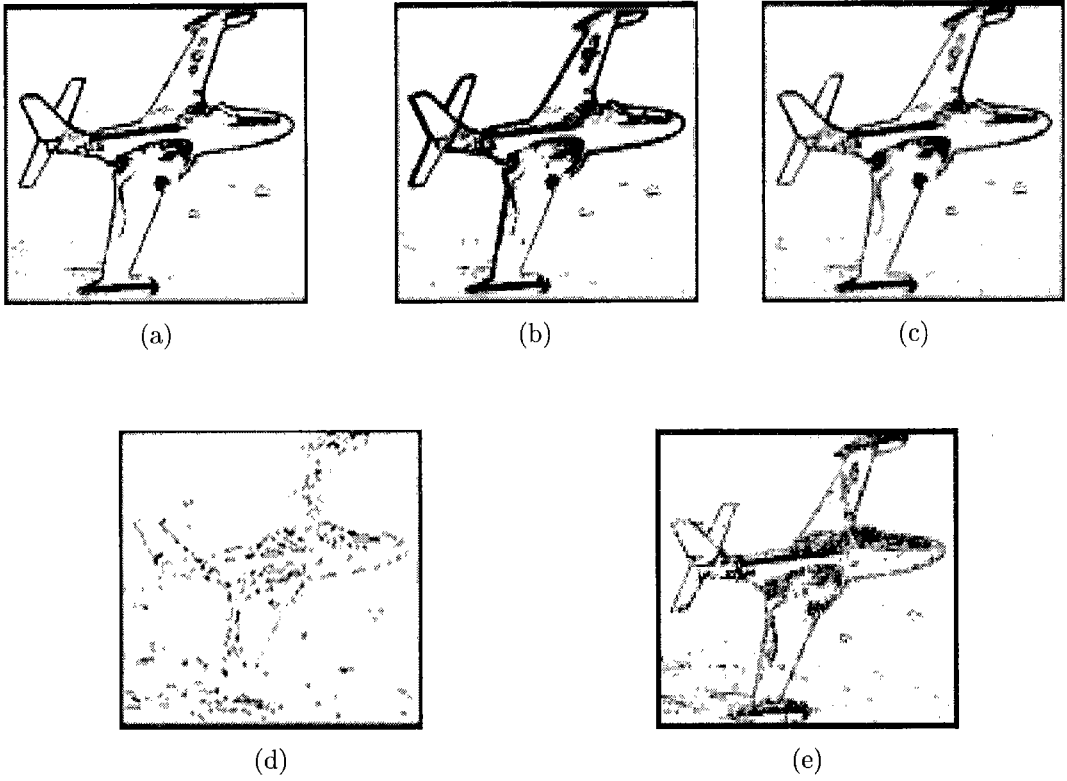


그림 3.2: (a), (b), (c), (d) 그리고 (e)는 그림 3.1(a)에 윌콕슨 검정, T 검정, Bovik-Huang-Munson 검정, Canny 방법 그리고 Sobel 연산자를 적용하여 얻은 에지맵

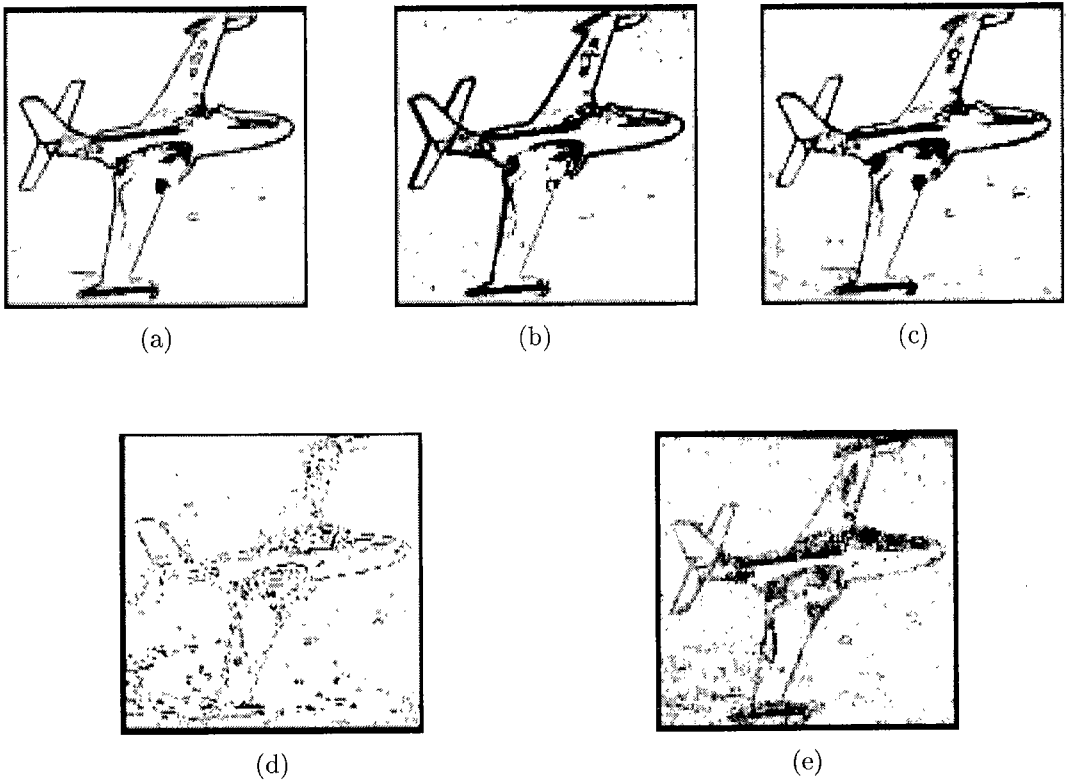


그림 3.3: (a), (b), (c), (d) 그리고 (e)는 그림 3.1(b)에 윌콕슨 검정, T 검정, Bovik-Huang-Munson 검정, Canny 방법 그리고 Sobel 연산자를 적용하여 얻은 에지맵

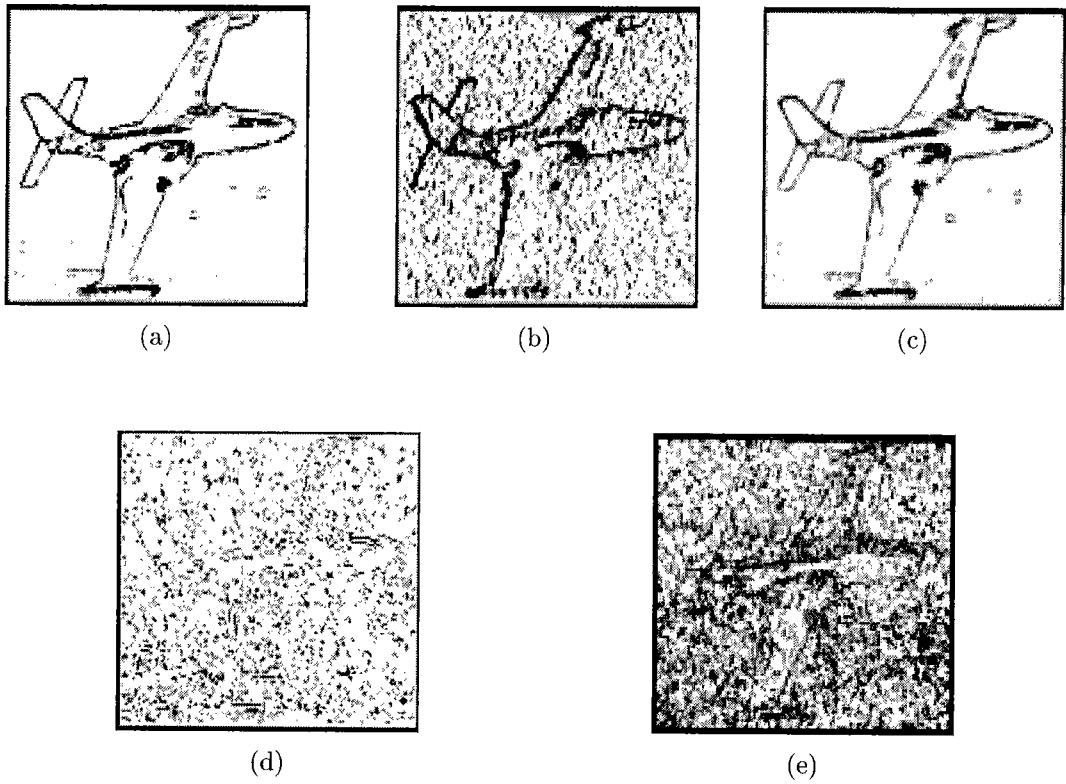


그림 3.4: (a), (b), (c), (d) 그리고 (e)는 그림 3.1(c)에 윌콕슨 검정, T 검정, Bovik-Huang-Munson 검정, Canny 방법 그리고 Sobel 연산자를 적용하여 얻은 에지맵

표 3.2: 잡음분포에 따른 5가지 방법간의 PFOM 비교(1000번 반복)

잡음	δ	방법들				
		일록슨 검정	T 검정	Bovik-Huang-Munson 검정	Canny 방법	Sobel방법
G20	10	1	0.997	1	0.997	0.996
	15	1	1	1		
	20	0.970	0.974	0.983		
G10	10	0.982	0.922	0.974	0.909	0.390
	15	0.681	0.716	0.680		
	20	0.225	0.242	0.308		
G5	10	0.614	0.341	0.619	0.212	0.186
	15	0.296	0.338	0.308		
	20	0.100	0.110	0.149		
I0.1	10	0.982	0.150	0.948	0.154	0.181
	15	0.982	0.135	0.948		
	20	0.982	0.161	0.948		
I0.2	10	0.843	0.143	0.778	0.147	0.166
	15	0.843	0.134	0.778		
	20	0.843	0.140	0.778		

Two-sample Tests for Edge Detection in Noisy Images

Dong Hoon Lim¹⁾ Eun Hee Park²⁾

ABSTRACT

In this paper we employ two-sample location tests such as Wilcoxon test and T test for detecting edges in noisy images. For this, we compute a test statistic on pixel gray levels obtained using an edge-height parameter and compare it with a threshold determined by a significance level. Experimental results applied to sample images are given and performances of these tests in terms of the objective measure are compared.

Keywords: Edge detection; Noisy image; Wilcoxon test; T test; Bovik-Huang-Munson test; Canny detector.

1) Associate Professor, Department of Information Statistics, Information & Telecommunication Research Center, Gyeongsang National University.

E-mail: dhlhm@nongae.gsnu.ac.kr

2) Graduate Student, Department of Statistics, Gyeongsang National University.