

연결 성분 분류를 이용한 PCB 결함 검출

정 민 철[†]

[†]상명대학교 공과대학 컴퓨터시스템공학과

PCB Defects Detection using Connected Component Classification

Min Chul Jung[†]

[†]Dept. of Computer System Engineering

ABSTRACT

This paper proposes computer visual inspection algorithms for PCB defects which are found in a manufacturing process. The proposed method can detect open circuit and short circuit on bare PCB without using any reference images. It performs adaptive threshold processing for the ROI (Region of Interest) of a target image, median filtering to remove noises, and then analyzes connected components of the binary image. In this paper, the connected components of circuit pattern are defined as 6 types. The proposed method classifies the connected components of the target image into 6 types, and determines an unclassified component as a defect of the circuit. The analysis of the original target image detects open circuits, while the analysis of the complement image finds short circuits. The machine vision inspection system is implemented using C language in an embedded Linux system for a high-speed real-time image processing. Experiment results show that the proposed algorithms are quite successful.

Key Words : PCB defects, AOI, Vision Inspection, Adaptive Threshold, Median Filtering, Connected Component

1. 서 론

인체의 신경으로 비유되는 인쇄 회로 기판(PCB : Printed Circuit Board)은 소형 가전 제품에서부터 첨단 이동 통신 기기에 이르기까지 모든 전자기기에 사용되는 핵심 부품이다[1]. 전자기기의 기본 소자인 PCB의 품질은 전자기기 제품의 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 결함 기판은 가능한 한 공정 초기에 검출하여 폐기하거나 수정해야 한다. 제작된 PCB의 회로 연결 상태 및 외관을 검사하는 방법은 회로를 체크하는 장비를 이용하는 전기적 검사와 외관적 결함을 사람의 눈으로 검사하는 육안 검사가 있다. 육안 검사는 반복적인 단순함에서 오는 지루함과 눈의 피로감, 집중력 저하에 따른 작업자의 실수, 인건비 상승 등으로 검사 능률한계에 직면하고 있다. 머신 비전 기술을 이용하면 검사의 정밀도와 검사 속도 향상을 이룰 수 있다. 자동

광학 검사(AOI : Automated Optical Inspection)는 PCB에 회로를 만든 후에 빛을 조사시켜 반사되는 밝기 값을 인식하여 회로의 결함을 검출하는 공정이다. 복잡한 PCB 패턴의 검사를 위한 비전 검사 기술은 핵심 기술로서 선진 각국에서는 이를 원천적으로 보호하고 있으며 AOI 장비를 고가격화하고 있다.

PCB 비전 검사에서 주로 쓰이는 방법은 결함이 없는 양품 기판의 참조 영상(reference image)과 피검사 기판의 대상 영상(target image)을 픽셀 단위로 비교하는 영상 차분(image subtraction) 방법[2], 참조 영상과 대상 영상에서 도선의 길이, 폭, 홀, 패드의 지름 등의 특징을 추출하여 상호 비교하는 특징 비교(feature matching) 방법[3], 참조 영상을 카메라 스캔으로 직접 획득하는 대신 PCB패턴을 벡터 형식으로 가지고 있는 Gerber 파일로부터 CAD로 생성하여 대상 영상과 비교하는 Gerber 파일 이용법[4-6] 등이 있다. 먼저 영상 차분 방법은 원리는 간단하지만 효과적으로 결함을 검출할 수 있다. 두 영상의 차분 연산은 두 영상에서 동일한 정보는 제거하고 차이값만 결과 영상에 출력한다. 이 차이

[†]E-mail : mjung@smu.ac.kr

값이 바로 PCB결함을 나타낸다. 그러나 두 영상을 차분하기 위해서는 반드시 두 영상의 기준점을 정확히 정렬(alignment)해야 한다. 그러나 양품 기판 또는 피검사 기판의 영상을 획득하는 과정에서 기판의 작은 흔들림이나 회전에 따라 기준점의 좌표가 변하거나 기판의 크기나 모양에 따라 기준점을 지정하기 어려운 경우가 있다. 또한 PCB제조과정 중에서 이송, 패턴 인쇄, 에칭 공정 등으로 인하여 회로 패턴의 축소나 확대, 회전, 이동 등의 변화가 발생한다. 모든 피검사 기판의 입력 영상에서 기준점을 정확히 찾는 것이 양품기판의 영상과 비교할 때는 제일 중요하지만 위와 같이 물리적인 오차나 영상 카메라 스캔 오차, 획득 영상에 외부 잡음의 첨가 등에 의한 에러 발생은 피할 수 없다. 이를 개선하기 위해 PCB 영상으로부터 기하학적 모양이 적합한 패턴을 자동으로 선정해 기하학적인 패턴 매칭 기법을 통해 정렬을 위한 보정 데이터를 생성하거나[7] 참조 영상으로부터 패드 정점을 추출하여 두 개의 패드 정점으로 세그먼트를 구성한 후, 대상 영상의 패턴과 보정, 일치시키는 연구도 있다[8]. 두 번째로 특징 비교 방법은 참조 영상과 대상 영상에서 추출한 특징을 비교하여 설정된 기준치를 초과하면 그 특징의 패턴을 결함으로 검출한다. 그러나 회로 영상에서 다양한 패턴의 모양을 정의하는 것이 어렵고 다른 영역으로 확장하는 하는 것도 어려운 단점이 있다. 마지막으로 Gerber 파일 이용법은 PCB 제품 설계시 사용하는 Gerber 파일을 이용하여 벡터 형식으로 표현된 패턴을 그래픽 처리하여 참조 영상을 생성한다. Fig. 1은 참고 문헌[6]에서 발췌한 그림으로서 CAD 데이터로 생성한 참조 영상을 보인다. 영상 차분 방법과 마찬가지로 생성된 참조 영상과 스캔 카메라에서 획득한 대상 영상의 정확한 정렬을 필요로 하는 단점이 있다.

두 영상을 비교하는 방법은 두 영상을 정렬하는 데 많은 노력이 요구되며, 약간의 정렬 오차도 결과 영상에 많은 세션 잡음을 만든다. 형태학적 처리를 하여 세션 잡음을 제거할 수 있으나 이럴 경우 세션 잡음뿐만 아니라 세션 잡음보다 작거나 같은 크기의 검출 대상 결함도 영상에서 제거되어 결함 검출에 실패한다.

본 연구에서는 참조 영상을 전혀 사용하지 않고 PCB 회로선이 단선(open)되거나 단락(short)되는 불량 결함을 머신 비전의 디지털 영상 처리 기술을 이용해 검사하는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 대상 영상의 ROI(Region Of Interest)에서 패턴의 연결 성분(connected component) 분석을 통해 연결 성분을 유형별로 분류하여 단락과 단선을 판별한다. 참조 영상을 사용하지 않으므로 새로운 PCB제품의 검사를 위해 일

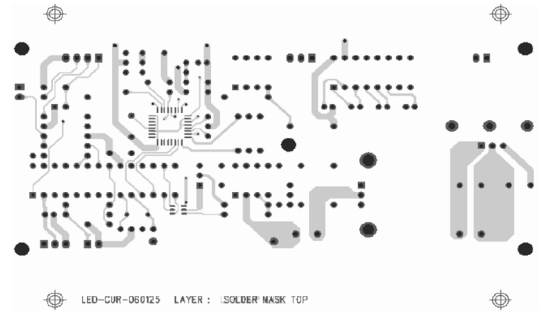


Fig. 1. Reference image created by CAD: cited from [6].

일이 사람이 직접 참조 영상을 획득 또는 생성할 필요가 없다. 또한 본 연구에서 제안한 방법은 영상을 정렬할 필요도 없으며 PCB의 크기와 종류에도 제한 없이 PCB 패턴의 결함을 검출할 수 있다.

2. PCB 결함의 검출

2.1. PCB 결함의 종류

본 연구는 Bare PCB에서 회로선이 단선(open)되거나 단락(short)된 결함을 검출하는 머신 비전 알고리즘 개발을 목표로 한다. 그러나 회로선이 심하게 결손(nick)되거나 돌기(protrusion)된 결함도 검출 가능하다. Fig. 2는 회로선이 단선되거나 단락되는 예를 보인다. Fig. 2(a)는 회로 형성 공정에서 필름에 이물질이 부착되어 회로선이 심하게 결손된 것을 보인다. 본 연구에서 제안한 방법을 사용하면 단선된 것으로 검출된다. Fig. 2(b)는 중앙에 있는 회로선이 회로 형성 공정에서

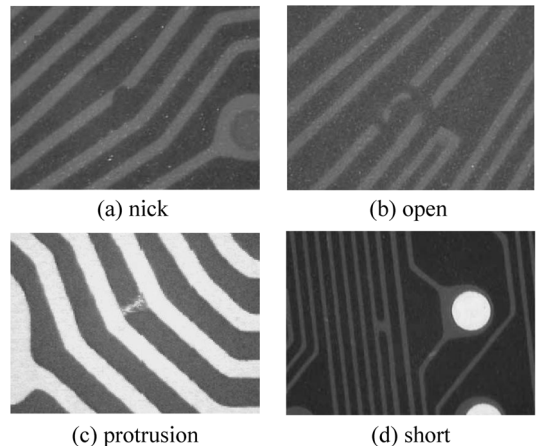


Fig. 2. Examples of PCB defects.

도금선이 끊어져 전기가 흐를 수 없는 단선이 되었다. Fig. 2(c)는 회로 형성시 필름 상치 등으로 구리가 잔존되어 회로 디자인에는 없는 도선의 구리가 확장되어 단락의 가능성이 아주 높은 것을 나타낸다. Fig 2(d)는 회로 형성시 도금 이물질, 필름 상치등으로 도선간 도금으로 연결되어 단락된 것을 보인다.

2.2. 최대 분산법을 이용한 이진화 처리

PCB에 부품을 장착할 때 납땀의 브리지(bridge) 발생을 방지하고 노출된 회로를 보호하기 위해 에폭시 성분의 절연인크를 도포한다. 이에 따라 Fig. 3에 보이는 것처럼 PCB 배경과 회로선의 색상, 명도가 거의 동일하게 된다. 이는 육안 검사시 눈의 피로를 가중하고 집중력과 검사 속도를 저하시킬 뿐아니라 머신 비전에서 PCB 배경과 회로 패턴을 구별하여 영상 분할 처리하는 것을 어렵게 한다. 영상 이진화(binazition) 처리는 입력 영상의 픽셀 값이 0에서 임계값(threshold value)까지는 출력 영상의 픽셀 값을 0으로, 임계값 이후에서 255까지는 출력 영상의 픽셀 값을 255로 조작하는 간단한 처리이다. 그러나 모든 임의의 입력 영상에 대해 적절한 임계값을 정하는 문제는 쉽지 않은 문제이다. 영상 이진화 처리는 영상의 배경과 대상체(object)를 분리하기 위해서 수행하는데 임계값을 잘 못 정하면 물체의 일부 또는 결함이 배경이 되어 사라지거나 배경이 물체의 일부 또는 결함이 된다. 심지어 아예 이진화된 영상에서 물체가 사라지는 일도 발생한다. 입력 영상에서 적절한 임계값을 찾는 것이 바로 회로선 결함 검출 여부에 직결된다.

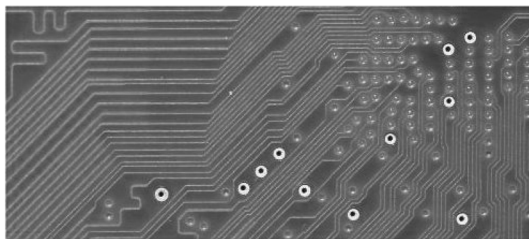


Fig. 3. Example of a bare printed circuit board.

입력 영상의 픽셀값 빈도수 히스토그램을 그려보면 배경색 부분이 한 개의 산(peak)을 나타내고 물체 부분이 또 한 개의 산을 나타낸다. 임계값이 존재해야 하는 부분은 이 두 개의 산 사이인 계곡(valley)이다. PCB에서는 배경과 회로선의 색과 명도가 거의 유사하므로 히스토그램에 명백한 계곡이 생기지 않는다.

본 연구에서는 임의의 입력 영상에 대해 히스토그램

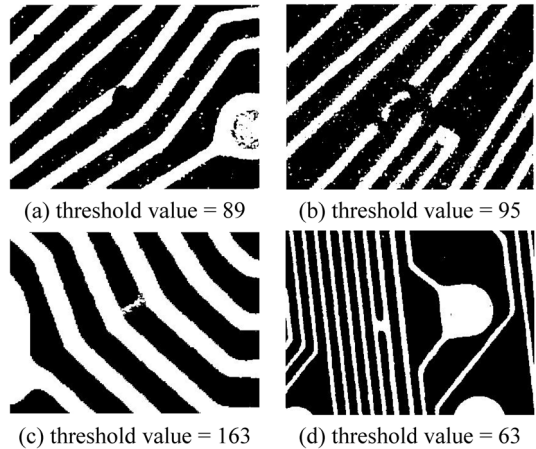


Fig. 4. Results of adaptive threshold.

에서 두 부분으로 나누어진 영역 사이의 분산이 최대가 되도록 임계값을 자동으로 구하여 영상 이진화를 수행한다[9]. Fig. 4는 Fig. 2에서 보인 영상을 최대 분산법을 이용해 자동으로 임계값을 구해 이진화 처리한 결과 영상을 보인다. Fig. 4(a)(b)(d)에 보인 것처럼 상대적으로 명암비가 낮고 어두운 영상에서는 임계값이 작게 계산되어져 이진화를 수행했고, Fig. 4(c)처럼 비교적 명암비가 높고 밝은 영상에서는 임계값을 크게 계산 되어져 이진화를 수행했다.

2.3. 중간값 필터를 사용한 잡음 제거

이진화를 수행한 결과 영상에는 Fig. 4(a)(b)에서 보듯이 수많은 흰색 임펄스 잡음이 존재한다. 이를 제거하기 위해 형태학적 처리인 개방 처리와 폐쇄 처리[10]를 수행했지만 크기가 큰 임펄스 잡음을 제거하는 데

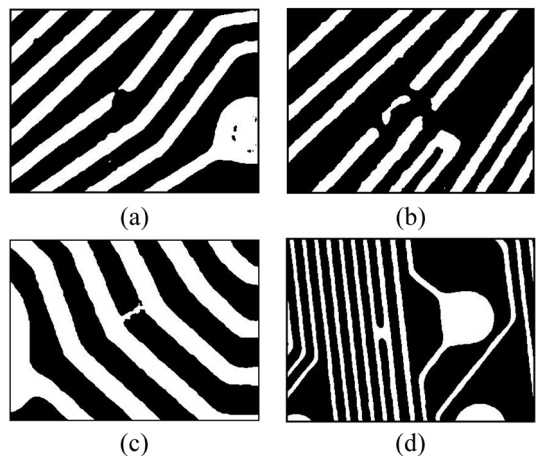


Fig. 5. Results of median filter.

에는 한계가 있었다. 즉, 크기가 큰 임펄스 잡음을 제거하기 위해 형태학적 처리를 수행한 결과 Fig. 4(a)(b)의 잡음은 제거되었지만 Fig. 4(c)에서 돌기에 의한 단락 결함이 제거되었고, 회로 선폭이 비교적 적은 Fig. 4(d)에 대해서는 원래의 회로선이 끊어지는 결과가 발생하였다.

임의의 모든 영상에 대해 임펄스 잡음만을 제거하기 위해 본 연구에서는 5×5 그룹의 중간값(median) 필터를 사용하였다. 5×5 그룹의 입력에서 픽셀 밝기가 중간값인 13번째 픽셀을 출력으로 하여 임펄스 잡음을 제거하고 또한 대상체인 회로선의 거친 표면을 매끄럽게(smoothing) 만들었다. Fig. 5는 Fig. 4에서 보인 영상을 중간값 필터링한 결과 영상을 보인다.

2.4. 연결 성분 분류를 이용한 단선 검출

PCB의 단선 불량을 검출하기 위해 중간값 필터링한 영상에 대해 연결 성분 분석을 한다. 연결 성분 분석을 위해 본 연구에서는 레이블링(labeling) 방법을 사용한다. 연결 성분 분석을 통해 영상에 있는 각 연결 성분을 둘러싸는 사각형(bound box)의 좌상 좌표(C_{left}, C_{top})와 우하 좌표(C_{right}, C_{bottom})를 구할 수 있다.

연결 성분 패턴이 영상의 경계를 가로지르는 6가지 유형과 이에 따른 연결 성분의 좌상과 우하 좌표는

Table 1. 연결 성분 패턴이 영상의 경계를 지나는 6가지 유형과 연결 성분의 좌표.







6가지 유형	연결 성분의 좌상 좌표 (C_{left}, C_{top})	연결 성분의 우하 좌표 (C_{right}, C_{bottom})
1 	(0, 0)	(x, y)
2 	(x, y)	(X, Y)
3 	(x, 0)	(X, y)
4 	(0, y)	(X, y)
5 	(0, y)	(x, Y)
6 	(x, 0)	(x, Y)

Table 1과 같다. 소문자 x와 y는 임의의 값을 가지는 변수이고, 대문자 X와 Y는 영상의 가로 크기와 세로 크기를 나타내는 상수이다.

Fig. 5의 영상을 연결 성분 분석한 결과를 Table 1의 6가지 유형과 좌표 비교하여, 각 연결 성분이 6가지 유형에 속하면 그 연결 성분의 패턴은 양호하다고 판단한다. Table 2는 Fig. 5(a)의 영상에 대해 연결 성분 분석 후, 좌표에 따른 유형 분석 결과를 나타낸다. Fig. 5(a) 영상의 크기는 (X, Y)가 (387, 286)이다. 모두 9개의 연결 성분 패턴이 있는데, 연결 성분 5번과 6번은 유형 분류가 되지 않는다. 둘 다 영상의 경계선이 아닌 곳에서 도선이 갑자기 끝난다.

Table 2. Fig. 5(a)의 영상에 대한 연결 성분의 좌표와 그 유형 분류.

Connected components	좌상좌표-우하좌표	유형분류
1	(0, 0) - (24, 22)	1
2	(0, 0) - (92, 88)	1
3	(0, 0) - (161, 151)	1
4	(0, 0) - (228, 215)	1
5	(166, 0) - (288, 131)	defect
6	(0, 126) - (166, 272)	defect
7	(29, 0) - (387, 286)	2
8	(114, 46) - (387, 286)	2
9	(205, 134) - (387, 286)	2

Fig. 6은 연결 성분 패턴, 즉 회로선 패턴이 6가지 유형에 속하지 않아 단선으로 검출된 결과 영상이다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(b) 영상만 단선 불량으로 검출되고, Fig. 5(c)와 Fig. 5(d)는 단선이 없는 것으로 통과된다.



Fig. 6. Detections of open circuit defects.

2.5. 연결 성분 분류를 이용한 단락 검출

PCB 회로의 단락을 검출하기 위해서 앞의 단선 검출 방법과 유사한 방법을 사용한다. 다만 단락이 단선

의 역인 것처럼, 입력 영상을 반전(complement) 처리한 후, 연결 성분 분석을 통해 연결 성분을 유형별로 분류하여 단락을 판별한다. Fig. 7은 Fig. 5의 영상을 반전 처리한 것을 보인다. 흰색에 대한 연결 성분 분석과 유형별 분류이므로 Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)의 흰색 연결 성분들은 모두 Table 1의 6가지 유형으로 분류된다.

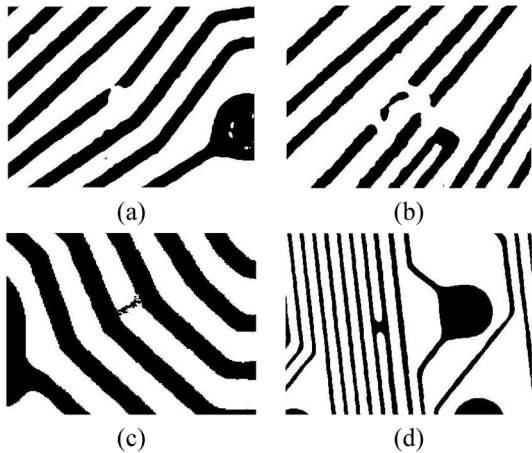


Fig. 7. Complement images of Fig. 5.

Table 3은 Fig. 7(d)의 영상에 대해 연결 성분 분석 후, 좌표에 따른 유형 분류 결과를 나타낸다. Fig. 7(d) 영상의 크기는 앞과 마찬가지로 (X, Y)가 (387, 286)이다. 모두 14개의 연결 성분 패턴이 있는데, 연결 성분 8번과 14번은 유형 분류가 되지 않는다. 둘 다 영상의 경계선이 아닌 곳에서 갑자기 끝난다. 반전된 영상에서 흰색은 PCB 배경을 의미하는 데, 배경이 영상의 경계선이 아닌 곳에서 끊어졌다는 것은 회로 패턴의 단락에 의한 것이다. Fig. 8은 연결 성분 패턴, 즉 PCB 배경 패턴이 6가지 유형에 속하지 않아 단락으로 검출된 결과 영상이다. Fig. 5(c)와 Fig. 5(d) 영상만 단락 불량으로 검출되고, Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 단락이 없으므로 통과된다.



Fig. 8. Detections of short circuit defects.

Table 3. Fig. 7(d)의 영상에 대한 연결 성분의 좌표와 그 유형 분류.

Connected components	좌상좌표-우하좌표	유형분류
1	(0, 0) - (21, 203)	1
2	(0, 0) - (40, 233)	1
3	(0, 0) - (71, 286)	1
4	(47, 0) - (90, 286)	6
5	(66, 0) - (109, 286)	6
6	(85, 0) - (128, 286)	6
7	(104, 0) - (147, 286)	6
8	(123, 0) - (148, 135)	defect
9	(143, 0) - (189, 286)	6
10	(167, 0) - (240, 286)	6
11	(190, 0) - (345, 286)	6
12	(236, 0) - (387, 286)	2
13	(359, 0) - (387, 161)	3
14	(141, 152) - (165, 286)	defect

3. 결 론

본 연구에서는 PCB 제조공정 상에서 발생할 수 있는 회로선의 단선, 단락의 결함을 자동으로 검출하기 위한 비전 검사 방법을 제안하고, C언어로 구현하여 임베디드 리눅스 시스템에서 실험하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 참조 영상을 전혀 사용하지 않고 대상 영상만을 분석하여 회로 패턴의 결함을 검출하는 새로운 시도이다. 따라서 참조 영상 획득과 생성, 영상 정렬 등에서 발생하는 노력과 오류를 제거할 수 있었다. 제안한 방법으로는 회로 패턴 단자의 양, 부를 판별할 수는 없지만 연결 성분의 위치와 이웃간 거리 측정을 통해 회로 패턴이 도선의 일부인지 단자인지 판별하고, 단자일 경우에는 특징 추출을 통해 중심점 좌표와 무게 중심, 둘레길이 등을 통해 단자의 양, 부를 판별하는 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2008학년도 상명대학교 연구비 지원으로 연구되었습니다.

참고문헌

1. "PCB Brief Information," 사단법인 한국전자회로산

- 업협회, 2011.
2. R. T. Chin, and C. A. Harlow, "Automated Visual Inspection: A Survey," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-4, No. 6, 1982.
 3. M. Moganti, F. Ercal, C.H. Dagli, and Shou Tsunekawa, "Automatic PCB Inspection Algorithm: A Survey," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 63, No. 2, 1996.
 4. 이철수, 고은희, "컴퓨터 비전에 의한 PCB 검사를 위한 정보 생성 시스템 개발," 산업공학, 제11권, 제2권, pp. 79-92, 1998.
 5. 박병준, 한광수, "CAD 정보를 이용한 PCB 자동 시각 검사 시스템," 멀티미디어학회논문지, 제12권, 제3호, pp. 397-408, 2009.
 6. 박병준, 한광수, "CAD 데이터를 이용한 PCB 패턴 시각 검사 시스템에 관한 연구," Vol. 34, No. 1, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, pp. 446-449, 2007.
 7. 문순환, 김경범, 김태훈, "머신비전검사를 위한 기하학적 특징 기반 지능 패턴 정합," 한국콘텐츠학회논문지, 제6권, 제6호, pp. 1-8, 2006.
 8. 문순환, 김경범, "동적 세그먼트 기반 PCB패턴의 적용 검사 알고리즘," 한국정밀공학회지, 제23권, 제3호, pp. 102-109, 2006.
 9. N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
 10. Gregory A. Baxes, "Digital Image Processing, Principles and Applications," John Wiley & Sons, pp. 127-137, 1994.
-
- 접수일: 2011년 2월 28일, 심사일: 2011년 3월 11일,
 게재확정일: 2011년 3월 15일