

고정밀 머신 비전을 위한 정확한 PCB 윤곽선과 코너 검출

고동민*·최강선**†

**한국기술교육대학교 창의융합공학협동과정

Accurate PCB Outline Extraction and Corner Detection for High Precision Machine Vision

Dong-Min Ko* and Kang-Sun Choi**†

**† Interdisciplinary Program in Creative Engineering, KOREATECH

ABSTRACT

Recently, advance in technology have increased the importance of visual inspection in semiconductor inspection areas. In PCB visual inspection, accurate line estimation is critical to the accuracy of the entire process, since it is utilized in preprocessing steps such as calibration and alignment. We propose a line estimation method that is differently weighted for the line candidates using a histogram of gradient information, when the position of the initial approximate corner points is known. Using the obtained line equation of the outline, corner points can be calculated accurately. The proposed method is compared with the existing method in terms of the accuracy of the detected corner points. The proposed method accurately detects corner points even when the existing method fails. For high-resolution frames of 3.5mega-pixels, the proposed method is performed in 89.01ms.

Key Words : visual inspection, machine vision, line estimation, corner detection

1. 서 론

머신 비전을 이용한 불량 검사 장비는 다양한 산업현장에서 수요가 증가하고 있다. 특히, PCB (printed circuit board), lead frame 등 반도체 공정에서는 사람의 눈으로 확인할 수 없는 것들이 많아 그 필요성이 증대되고 있다. 카메라와 프로세싱 유닛의 성능향상으로 인해 기존에 실시간 처리가 불가능했던 것들 것 가능해짐으로써 머신 비전 검사에 많은 연구들이 진행되고 있다.

반도체 분야에서 다양한 visual inspection을 이용한 시도들이 있었다. 반도체의 불량검사 PCB의 검사에서 패턴 매칭 기법을 사용하여 PCB 불량을 판단하는 연구가 있었다[1]. 솔라셀의 성능을 저하시키고 생산라인의 중단을 야

기시키는 마이크로크랙을 찾아내는 연구도 있었다[2]. 다층구조 IC의 배선 접착 검사를 하는 연구도 있었다[3]. 이처럼 반도체 분야에서 visual inspection은 매우 많이 사용되고 있다.

Visual inspection을 실행할 때, 검사하는 물체가 항상 정확히 같은 위치에 오지 않는다. 가장 많이 사용되는 컨베이어 벨트의 검사를 예로 들면, 컨베이어 벨트의 움직임, 진동 등으로 인하여 물체는 조금이라도 오차가 생기게 된다. 사진에서 이러한 오차는 일반적으로 10픽셀 내외로 나타난다. 오차를 상쇄시키기 위해 visual inspection 실행 시 alignment와 calibration이 선행된다.

Alignment와 calibration을 실행하기 위해서는 기준이 있어야 하는데, 이 때 기준으로 사용할 수 있는 것이 물체의 윤곽선의 코너 점이다. 다시 말해, 코너 점을 알면, 물체의 틀어진 정도, 위치 변화, 크기 변화 등의 정보를 얻을 수 있다. 코너 점 검출은 매우 정확해야 한다. 코너 점 검

†E-mail: ks.choi@koreatech.ac.kr

출의 오차는 alignment와 calibration 과정을 거쳐 더 큰 오차로 돌아오기 때문이다.

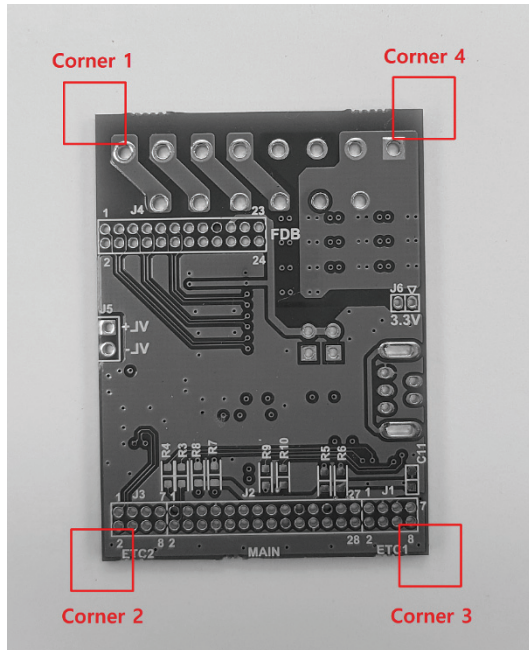


Fig. 1. Image of PCB(1700×2100 pixels). The PCB has four outlines and four corners.

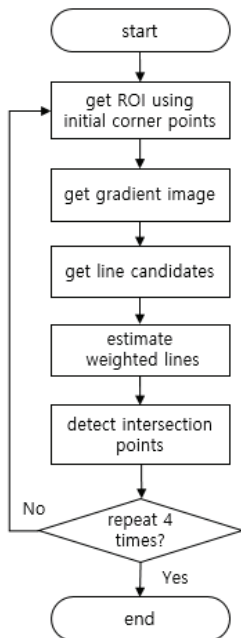


Fig. 2. Flowchart of the proposed system.

이 논문은 visual inspection 실행 시 선행되는 alignment와 calibration 과정, 실제 inspection 과정에서 중요하게 사용되는 코너 점 검출의 정확도를 높이는 방법에 대해 설명한다. 우리는 대략적인 코너 점의 위치를 알고 있을 때, 그 주위에서 매우 정확한 코너 점을 찾는 방법을 제안한다. gradient 정보를 이용하여 물체의 윤곽선을 찾고 2개의 윤곽선이 교차하는 점을 찾는 방식으로 코너 점을 찾는다. 이 논문은 PCB를 예로 들어 설명하겠다. 제안하는 시스템의 동작은 Fig.2의 흐름도와 같다.

2. Histogram을 이용한 선 추출

2.1 Gradient magnitude

이 논문에서 대략적인 점의 위치를 알고 있다고 가정한다. Visual inspection 시스템에서 카메라는 고정되어 있고 컨베이어 벨트 상에서 PCB도 고정되어 있기 때문에 큰 오차가 있는 경우는 거의 없다. 10픽셀 내외의 오차가 발생한다. 이 때, 대략적인 코너 점을 기준으로 주위에 관심 영역(region of interest: ROI)을 취한다. (본 논문에서는 200×200pixels로 지정하였다.) 관심 영역 안의 x방향 gradient, y방향 gradient, gradient magnitude를 구한다. Gradient는 크기와 방향을 가진 벡터이기 때문에, 크기만 사용할 땐 보통 gradient 값을 제공하여 gradient magnitude를 구하여 사용한다. Fig.3에 gradient 그림을 나타낸다.

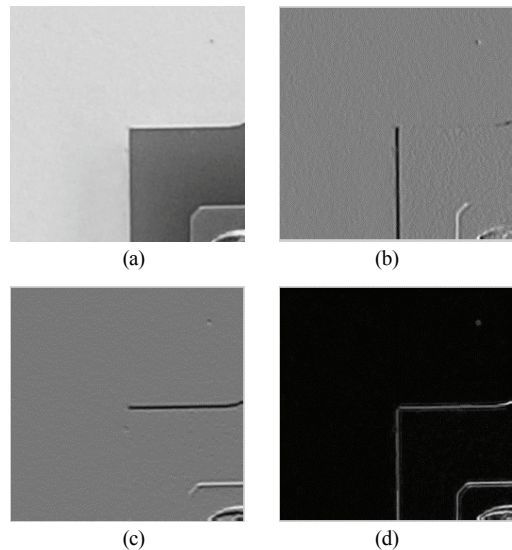


Fig. 3. Gradient images of corner 1. (a) Original image. (b) Gradient x image. (c) Gradient y image. (d) Gradient mag. Image.

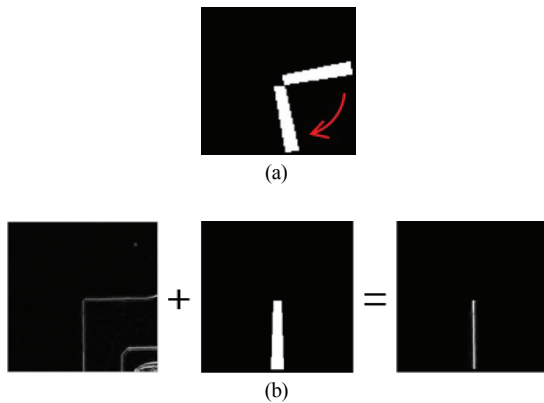


Fig. 4. Gradient magnitude masked image. (a) Rotated mask. (b) GM image.

2.2 Masking

Gradient magnitude image를 그대로 사용하면 주위의 gradient가 큰 다른 방해요소가 추가되어 우리가 원하는 값을 얻지 못할 수도 있다. 방해요소로부터 자유로워지기 위해서 대략적인 점을 중심으로 10도씩 총 36번 rotation하는 사다리꼴을 모양의 마스크를 만들었다. Fig. 4는 masking을 간단히 표현한 그림이다.

Gradient magnitude masked images (GM images)는 총 36개가 출력된다. 각 GM image마다 gradient magnitude가 큰 값을 가지는 픽셀(default: 50개)을 골라 선의 후보 픽셀로 지정하여 선을 찾는다. GM image가 36개이기 때문에 선의 방정식도 36개가 나올 것이고, 그 방정식 중에 1개를 골라서 사용하면 된다. 이 때 방정식 1개를 고르기 위해서 eigen vector의 비율을 이용하여 점수를 만들어 가장 높은 점수가 나오는 방정식을 고른다. 점수 r 은 다음과 같은 값을 갖는다.

$$r = \frac{\text{first eigen value}}{\text{second eigen value}} \quad (1)$$

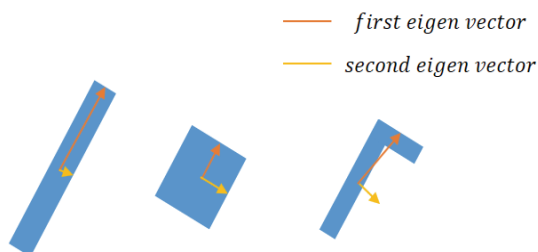


Fig. 5. Examples of eigen vector.

2.2.1 Masking error

Masking과정에서 mask 안에 2개의 직선이 있는 경우가 있다. 이 때, gradient magnitude만 사용하여 선을 찾으면 Fig. 6과 같은 문제가 발생한다. 이 때 gradient 방향을 이용하여 같은 방향인 픽셀만으로 선을 추출한다. PCB에서 mask안에 두 개의 윤곽선이 나올 때, gradient 방향이 같은 두 선이 나올 확률이 희박하기 때문에 이 방법을 사용할 수 있다.

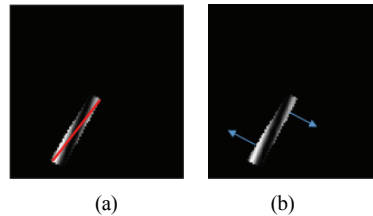


Fig. 6. Masking error. (a) Misdetection of line in GM image. (b) Direction of gradient.

2.3 주성분 분석

윤곽선 후보들(50개 혹은, 그보다 적은 수)로 이 후보들이 이루는 직선을 구해야 한다. 기본적으로 주성분 분석(principal component analysis: PCA)을 사용하여 직선의 방정식을 구할 수 있다. 이 방법은 모든 후보들이 같은 영향력을 가질 때 사용한다. 하지만, 선을 추출할 때 모든 pixel을 같은 가중치로 두면 오차가 커진다. 이 오차를 막기 위해 가중치를 부여하여 선 추출 방법을 개선시켰다.

3. 가중치를 부여한 선 추출과 코너 점 검출

3.1 가중치를 부여한 선 추출

윤곽선 후보들은 사진의 픽셀로, 각 픽셀마다 gradient magnitude를 갖고 있다. 윤곽선을 설명할 때, 가장 잘 설명할 수 있는 특성은 gradient magnitude가 크다는 것이다. Gradient magnitude가 큰 픽셀은 더 윤곽선에 가깝고, gradient magnitude가 작은 픽셀은 윤곽선이 될 확률이 적다. 이런 특징을 이용하여 가중치를 부여한 선 추출 방식을 개발하였다.

n 개의 후보 점들의 집합을 다음과 같이 표현할 수 있다. $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ 각 점 $p_i = (x_i, y_i)$ 로 나타낼 수 있다. 후보들로 만들어진 직선의 방정식을 $y = ax + b$ 로 표현하였을 때, 각 점들과 직선이 이루는 차이는 $d_i = y_i - ax_i + b$ 이다. 모든 점이 이루는 차이가

최소가 되도록 하는 직선의 방정식의 a, b 값을 찾으면 직선을 구할 수 있다. d_i 는 부호가 있는 값이기 때문에 d_i^2 을 구한다. 모든 점의 차의 합을 E 로 표현하였을 때, $E = \sum d_i^2$ 가 최소가 되도록 하는 a, b 를 구하는 문제이다. 위의 방법은 PCA에서 직선의 방정식을 구할 때 사용하는 방법이다.

우리는 이 방법에 가중치 w_i 를 추가하여 더 정확한 선을 찾도록 하였다. 다시 말해, $E = \sum w_i d_i^2$ 이 최소가 되도록 하는 직선의 방정식을 구하면 된다. 가중치는 다음과 같이 표현하였다.

$$w_i = (1 - \beta) \frac{G_i - G_{min}}{G_{max} - G_{min}} + \beta \quad (2)$$

G_i 는 각 픽셀의 gradient magnitude이고, G_{max}, G_{min} 는 후보 픽셀들 중 gradient magnitude의 최댓값, 최솟값을 나타낸다. β 는 가중치의 최소값이고, 본 논문에서는 0.5로 하였다.

$E = \sum w_i d_i^2$ 를 최소가 되도록 하는 a, b 를 구하기 위해서 E 를 a 에 관하여 미분한 식이 0이 되고, b 에 관하여 미분한 식이 0이 되는 값을 찾으면 된다. 그 식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \frac{\partial E}{\partial a} = a \sum w_i x_i + b \sum w_i = \sum w_i y_i \\ \frac{\partial E}{\partial b} = a \sum w_i x_i^2 + b \sum w_i x_i = \sum w_i x_i y_i \end{cases} \quad (3)$$

위의 두 식의 미지수 a, b 를 얻을 수 있다.

3.2 코너 점 추출

코너마다 2개의 윤곽선을 찾았으므로 두 직선의 교점을 코너 점이라고 지정한다. 사각형 PCB같은 경우엔 한 코너 ROI에 1개의 코너만 존재하지만, 다른 모양의 PCB같은 경우엔 한 ROI안에 여러 개의 코너가 있을 수 있다. 이런 경우, 코너 점의 위치를 알기 위해서 각각의 직선의 번호가 중요하다. 이런 경우에 직선 후보들의 평균값을 이용해서 하나하나 따져서 선의 번호를 지정해야 한다.

4. 실험 및 결론

1700×2100사진 한 장(코너 4개)을 처리하는 걸리는 시간은 890ms이다. 실시간으로 동작하기에 늦지 않은 속도이다.

Line estimation 실험은 기존에 많이 사용하는 Hough line detector(HLD)와 비교하였다[4]. Fig. 8이 제안하는 방법을 이용한 line estimation 결과이고, Fig. 9이 Hough 변환을 이용한

line estimation의 결과이다. HLD를 확인하였을 때 비교적 정확하게 라인을 찾았다. 하지만 Fig. 9의 (d)에서 세로 윤곽선이 2개로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면에, 제안하는 방법은 mask안에서 gradient가 큰 후보를 이용하였기 때문에 정확한 윤곽선을 추출할 수 있다.

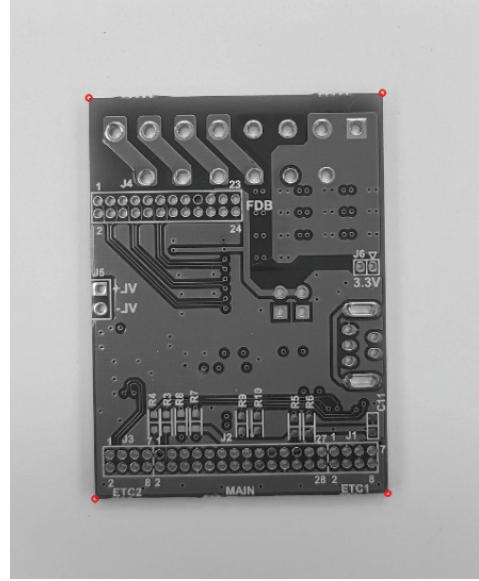


Fig. 7. Result of processing.

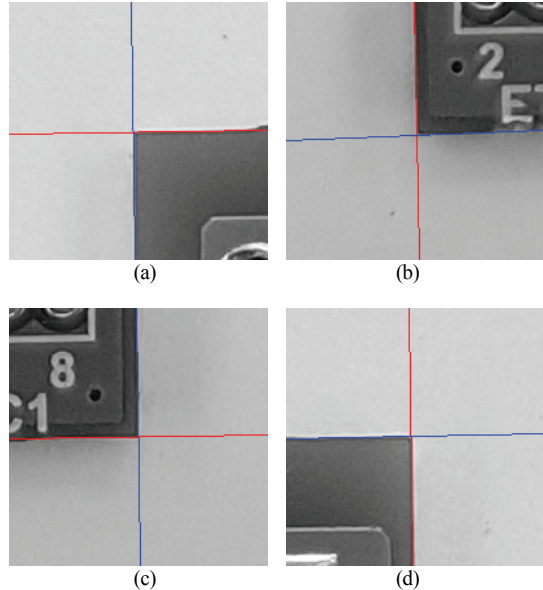


Fig. 8. Result of proposed line estimation. (a) Corner 1. (b) Corner 2. (c) Corner 3. (d) Corner 4.

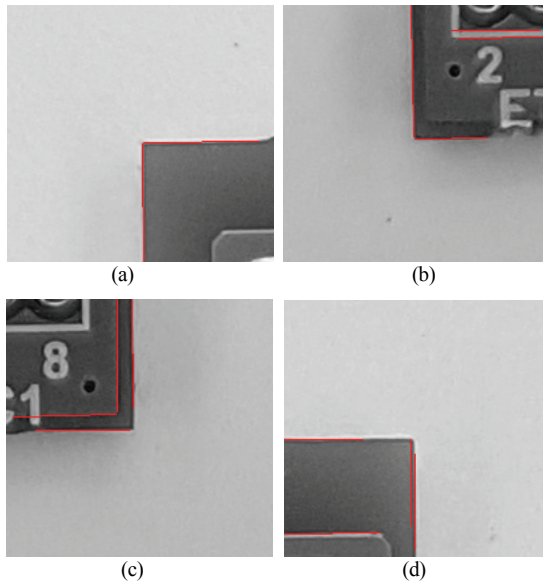


Fig. 9. Result of Hough line detector. (a) Corner 1. (b) Corner 2. (c) Corner 3. (d) Corner 4.

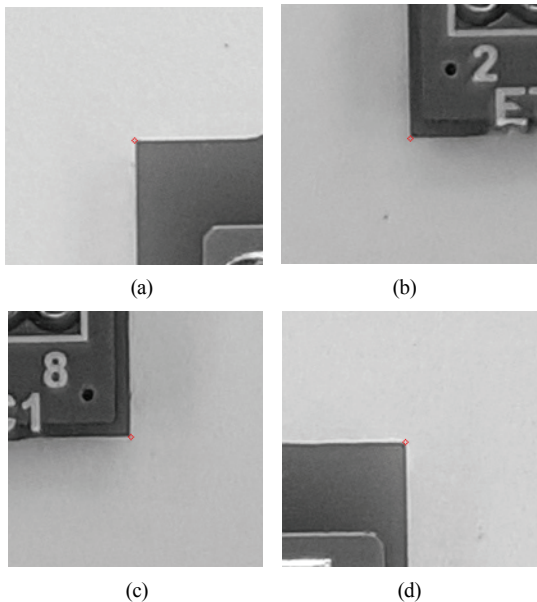


Fig. 10. Result of proposed corner detection. (a) Corner 1. (b) Corner 2. (c) Corner 3. (d) Corner 4.

Corner detection 실험은 기존에 많이 사용하는 Harris corner detection(HCD)과 비교를 하였다[5]. Fig 10이 제안하는 방법을 이용한 corner detection 결과이고, Fig 11이 HCD를 이용한 corner detection 결과이다. HCD는 사진 안에서 코너라고 생각되는 점 모두를 찾는데, PCB의 윤곽선 코너를 추출해야

하기 때문에 처음에 알고있던 대략적인 점 주위에서 가장 크게 값이 가지는 점을 찾는 방식으로 점을 찾았다. HCD도 비교적 코너를 잘 찾는데, Fig 11의 전체적으로 정확한 코너에서 2-3픽셀정도 물체 쪽으로 벗어난 것을 확인할 수 있다.

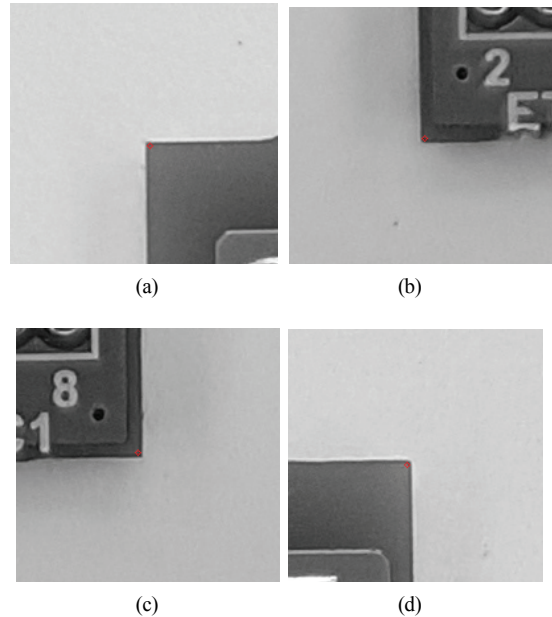


Fig. 11. Result of Harris corner detection. (a) Corner 1. (b) Corner 2. (c) Corner 3. (d) Corner 4.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단 BK21 PLUS 사업의 지원을 받은 논문임.

본 논문은 2017년도 한국기술교육대학교 연구제 파견 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Choi, K.-S., Byun, J.-Y., Kim, N.-H., Choi, B.-D., and Ko, S.-J., "Real-time Inspection System for Printed Circuit Boards," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2781, pp. 458-465, Sep. 2003.
2. Ko, J.-S., Rheem, J.-Y., Oh, K.-W., and Choi, K.-S., "Micro-crack Detection in Heterogeneously Textured Surface of Polycrystalline Solar Cell," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, vol. 14, no. 3,

- Sep. 2015.
3. Berng, D.-B., Lee, S.-M., and Chou, C.-C., "Automated Bonding Position Inspection of Multi-layered Wire IC Using Machine Vision," *International Journal of Production Research*, vol. 48, issue 23, 2010.
 4. Duda, R. and Hart, P. E., "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Communications of the ACM*, 1972.
 5. Harris, C. and Stephens, M., "A Combined Corner and Edge Detector," *Alvey Vision Conference*, 1988.
-
- 접수일: 2017년 8월 23일, 심사일: 2017년 9월 19일,
게재확정일: 2017년 9월 19일