

SMD 및 PCB의 방향과 위치 탐지

(Detection of Orientation and Position of the SMD and PCB)

丁 鴻 奎*, 朴 來 弘**

(Hong Kyu Chung and Rae Hong Park)

要 約

본 논문에서는 고정밀도로 SMD의 방향과 위치를 탐지하는 알고리즘 및 PCB의 기울어진 방향과 위치를 보정하는 알고리즘을 제안하였다. 첫번째 주제에 대한 제안한 알고리즘은 두 단계 과정으로 나뉜다. 첫번째 단계는 전처리 단계로 SMD의 코너점을 구하고 그 코너점으로부터 그룹핑과 직선 근사화와 정을 거쳐 대략적인 방향을 얻어내는 단계이다. 두번째 단계는 주처리 단계로 전처리 단계에서 구한 대략적인 위치를 기준으로 제한된 각도 범위의 휘지 Hough 변환을 이용하여 SMD의 방향을 정밀하게 탐지한다. SMD의 위치는 4개의 코너점으로부터 계산된다. 두번째 주제에 대한 제안한 알고리즘은 template matching 방법을 이용하여 PCB의 회전 각과 위치이동 파라미터를 구하는 알고리즘이다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의하면 제안한 방법이 여러 기존 방법에 비해 정밀한 결과를 나타냈으며, 빠르고 정밀한 자동 검사 시스템에 적용될 수 있다.

Abstract

In this paper, a high-resolution algorithm for detecting the orientation and position of the SMD and an algorithm for compensating the position and skew angle of the PCB are proposed. The proposed algorithm for the first topic consists of two parts. Its first part is a preprocessing step, in which corner points of the SMD are detected and they are grouped. Then the coarse angle of the principal axis is obtained by line fitting. The second part is a main processing step, in which the fuzzy Hough transform over the limited range of angles is applied to the corner points to detect precisely the orientation of the SMD. The position of the SMD is determined by using its four corner points. The proposed algorithm for the second topic is the one which detects a rotation angle and translation parameters of the PCB using a template matching method. The computer simulation shows that the parameters obtained by proposed algorithms are more precise than those by the several conventional methods considered. The proposed algorithms can be applied to the fast and accurate automatic inspection systems.

1. 서론

* 準會員, ** 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)

* 본 연구는 제어계측 신기술연구센터 (ERC)의 연구비지원에 의해 이루어졌습니다.)

接受日字 : 1993年 2月 23日

공장 자동화의 결과로 여러 산업현장에서 칩 장착기 (chip mounter)가 부품의 자동 장착을 위해서 사용되며 칩의 장착뿐 아니라 기판위에 납땀까지 일괄처리하는 기기도 이용된다. 최근의 추세는 이러한

칩 장착기에 비전 시스템을 장착하여 SMD (Surface Mounting Device)의 자동 검색 및 자동 조립을 행하는 추세이며, 부품의 결함 여부, 위치 및 방향을 자동적으로 판별하여 제어 로봇에 추출된 정보를 전달하여 보정하는 기능이 필수적이다. 최근의 SMD는 0.5mm 이하로 pitch 간격이 점점 줄어들며, 단자의 수는 점점 많아지며, 소자의 크기는 점점 줄어들고 있는 추세이다.¹ 이렇게 소형, 경량화되는 부품을 정밀하게 검색하기 위해서는 인간의 육안으로는 불가능하며 카메라를 이용한 고속의 비전 알고리즘이 요구된다.

시각장치를 이용한 검색 작업²의 예로는 반도체 소자용 다이본딩 (die bonding) 작업³, 마이크로 회로의 VLSI 마스크 검색 작업⁴, 인쇄회로기판 검색 작업⁵, 수학적 형태론을 이용한 부품검색⁶ 등 여러가지가 있으며, 실제로 DSP 보드를 이용하여 SMD의 부품검색 및 위치정합을 실시간으로 처리하는 방법도 있다.⁷

본 논문에서는 SMD를 인쇄회로기판에 탑재하는 표면 실장 부품 시스템에서 시각장치를 이용하여 부품 소자의 방향 및 위치를 탐지하는 알고리즘과 인쇄회로기판이 기울어지거나 이동되어서 입력되었을 경우 보정 파라미터를 구하는 알고리즘을 제안하였다.

부품 소자의 방향 및 위치를 탐지하는 기존의 방법으로는 물체의 관성 모멘트 (moment)⁸를 이용하여 물체의 경사도 및 중심을 찾는 방법이 있다. 이 방법은 소자에 해당되는 모든 화소에 대하여 1차 및 2차 모멘트를 구하여 관성 주축을 지나는 직선을 찾는 방법이며, Horn⁹이 제안한 투영 기법은 영상을 x축, y축, 직선 $y = x$ 에 각각 투영시킨 결과로부터 물체의 방향 및 위치를 찾아내는 방법이다. 이 방법은 Hu¹⁰의 방법에 비하여 계산 속도가 빠른 장점이 있으나 물체가 여러개 놓인 경우 투영 데이터가 겹쳐서 생성되면 정확한 각도를 찾을 수 없는 단점이 있다. 또한 Hough 변환에 의한 방법¹¹은 소자의 윤곽선을 찾은 후 각 윤곽선에 대하여 Hough 변환을 하여 파라미터 영역에서 가장 빈도수가 큰 셀 (cell)을 찾아 방향을 결정하는 방법이다. 이 방법은 잡음에 강한 특성을 가지나 처리 시간이 길어지는 단점이 있다. 코너 (corner)점에 의한 Hough 변환 방법¹²은 SMD의 코너점을 탐색한 후 코너점만 Hough 변환하는 방법이다. 이 방법은 전 윤곽선에 대한 Hough 변환 방법에 비해 처리 시간이 상당히 단축되는 기법이다.

제안한 방법은 기존의 방법에 비해 빠른 계산 속도를 가지며 정밀한 해상도의 휘지 Hough 변환을 행

하여 기울어진 각도와 중심의 위치를 계산하는 방법이다.¹³ 제안한 방법은 두단계로 나뉘어지는데 첫번째 단계는 전처리 단계로, 체인 코딩 (chain coding)에 의하여 SMD의 외곽선과 코너점을 찾은 후 코너점들의 직선근사화를 거쳐 대략적인 기울기를 구하는 단계이며, 다음 단계는 주처리 단계로 전처리 단계에서 구한 각도를 기준으로 Hough array의 해상도를 실수화시키며 이의 해상도를 높여 Hough 변환의 계산된 실수값을 중심으로 주변 Hough array에 가중치를 주는 방식이다. 이렇게 Hough array를 실수화하여 이웃 array에 1보다 작은 가중치를 주는 fuzzy Hough 변환 방법은 영상에 잡음이 있을 때 좋은 성능을 보인다. 이러한 두 단계 과정을 거쳐 주축의 기울어진 방향을 판단할 수 있으며, 4 꼭지점의 대각선의 중점을 물체의 중심으로 판단하는 기법이다.

기판 보정은 SMD를 장착할 PCB (Printed Circuit Board)가 기울어져 입력되었을 경우 비전 시스템에 근거한 인식기법을 이용하여 로봇 제어부에 기울어진 정보를 전송하여 기판을 보정하는 방법이다. 본 논문에서는 회전불변 모멘트 방법을 통한 정합 (matching) 방법을 사용하여 기울어지지 않은 기준 영상의 fiducial mark을 미리 데이터베이스에 기억시키고, 기울어져 입력된 영상의 fiducial mark와의 정합을 통해 기판의 기울어진 각도와 수평, 수직 방향의 변위를 찾아 기판을 보정하는 방법을 제안하였다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. II절에서는 SMD의 방향 및 중심을 탐지하는 알고리즘을 제안하였고, III절에서는 기판 보정 기법에 관해서 논하였다. IV절에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해서 제안한 방법과 여러 알고리즘들과의 성능을 비교하였으며 마지막으로 V절에는 결론을 내렸다.

II. 제안한 SMD의 방향 및 중심 탐지

본 논문에서 제안한 SMD의 방향 및 위치탐지 알고리즘은 그림 1의 흐름도에 보인 것처럼 전처리 단계와 주처리 단계로 구성된다. 전처리 단계는 주축의 대략적인 방향을 알아내는 단계이며, 주처리 단계에서는 휘지 Hough 변환을 이용하여 세밀하게 최종적인 방향 및 위치를 탐지한다.

1. 전처리 단계

전처리 단계는 네단계로 구성된다. 먼저 SMD의 외곽선을 따라가며 체인코딩한 후 이로부터 SMD의

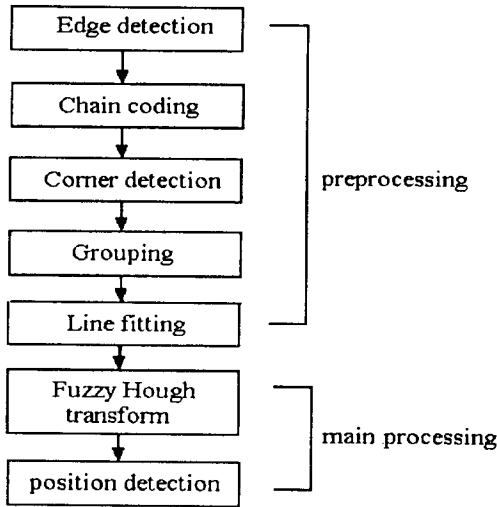


그림 1. SMD 방향 및 위치 탐지 알고리즘 흐름도
 Fig. 1. Flowchart of the proposed detection algorithm of SMD orientation and position.

코너점을 추출한다. 이러한 코너점 추출을 통하여 SMD의 리드(lead)의 꺾인 부분에서의 좌표값을 얻어낼 수 있다. 그 후 코너점의 좌표값으로부터 lead 별로 두 그룹으로 그룹핑하여 각 그룹에 대해서 구해진 코너점에 대하여 관성 모멘트를 이용한 직선근사화를 통하여 소자의 대략적인 방향 및 위치를 얻어낸다. 각 단계를 간단히 언급하면 다음과 같다.

1) 체인 코딩

먼저 입력 영상에 대해서 고립 잡음을 제거한 후 영상에 대해서 외곽선을 따라가면서 체인 코딩을 행한다.¹² 생성된 체인 코드(chain code)는 그림 2

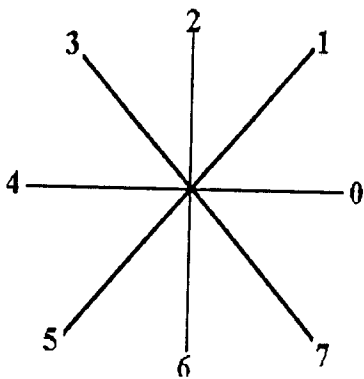


그림 2. 8방향 체인 코드
 Fig. 2. 8-directional chain code.

와 같은 8 방향에 대해서 생성되며, 현재의 체인 코드의 진행 방향을 기준으로 오른쪽에서 왼쪽으로 탐색하여 연결된 화소를 찾는다.

2) 코너점 추출

체인 코드로부터 코너점을 찾는 방법은 여러가지 방법이¹³⁾ 있으나, 본 논문에서는 SMD 영상의 lead 부분에서 약 90도 정도로 꺾임을 이용하여 화소들 사이의 각도를 벡터(vector)화하여 그 벡터의 각도로 코너점을 탐색하여 구현하였다. 그림 3에 있는 알고리즘을 간단히 설명하면 다음과 같다. x_i 를 한 점 P_i 에서 체인코드값이라고 할 때 만일 다음 조건, $|V[P_{i-q}] - C[x_i]| > 45$ 와 $|V[P_{i-q}] - V[P_{i+q}]| > 45$ 이 만족할 때 P_i 를 코너점으로 판별한다. 단 $C[x_i]$ 는 P_i 에서의 체인코드 값에 45를 곱한 값으로 45를 곱하는 이유는 체인코드를 각도로 바꾸게 하기 위함이다. 여기서 $V[P_{i-q}]$ 는 P_{i-q} 와 P_i 사이의 각도를 나타내며 $V[P_{i+q}]$ 는 P_{i+q} 와 P_i 사이의 각도를 나타낸다. p 는 잡음의 영향을 고려하여 실험적으로 선택하였으며 실험에서는 실험 영상의 코너점 사이의 간격에 따라 4에서 12사이로 정하고 이용하였다.

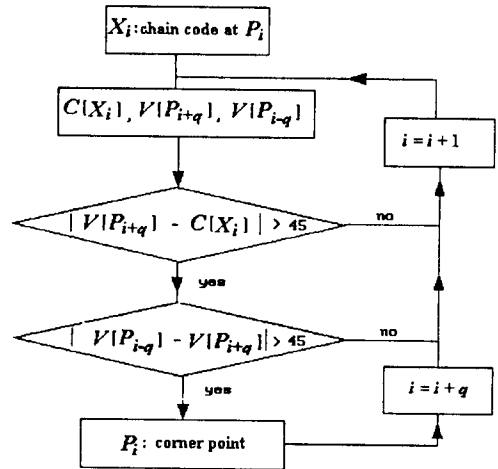


그림 3. 코너점 추출 알고리즘 흐름도
 Fig. 3. Flowchart of the corner detection algorithm.

3) 그룹핑(grouping)

전 단계에서는 SMD의 특징점인 코너점을 체인 코드로부터 얻었다. 이번 단계에서는 전 단계에서 구한 코너점을 리드별로 두부분으로 그룹핑한다. 그 후 각 그룹을 관성 모멘트를 최소로 하는 직선근사화 과정을 거쳐 주축의 방향을 추출한다. c_i 를 추출된 코너점 일 때, $1 \leq i \leq I$. $V(c_{i-1})$ 를 현재 코너점 c_i 와 다음 코너점 c_{i-1} 사이의 각도일 때 그룹핑하는 알고리즘을

다음과 같이 나타낼 수 있다.

- (1) i 를 초기화한다.
- (2) $V(c_{i,j})$ 를 계산한다.
- (3) 계산된 $V(c_{i,j})$ 가 메모리에 저장된 그룹핑 벡터들을 비교하여 다를 때 이를 새 그룹으로 결정한다.
- 4) 관성모멘트를 이용한 직선근사화¹²

여기서 추출된 주축의 방향은 직선근사화 과정을 거치면서 생긴 잡음에 의한 오류의 가능성 때문에 주축의 대략적인 방향으로 사용한다. 즉 전처리 단계에서 생성된 대략적인 방향은 주처리 단계의 Hough 변환 단계로 입력되어 정확한 방향을 산출하는데 이용한다. Hough 변환은 직선근사화 방법에 비해 잡음에 강한 성질을 가지고 있으므로 최종적인 방향 탐지는 주처리 단계의 Hough 변환으로 결정한다. 앞단에서의 그룹핑을 통하여 두 그룹으로 분리된 각 코너점은 그림 4(a)와 같이 두줄로 나타나게 된다. 여기에 최소 자승법에 의한 직선 근사화 방법을 사용하면 정확한 결과를 산출하지 못한다. 본 논문에서는 두줄로 평형하게 생긴 코너점에 대한 직선근사화를 한번에 수행하기 위해서는 관성모멘트를 이용하는데 (\bar{j})차 모멘트는 식 (1)과 같이 정의된다. 여기서 $f(x,y)$ 는 영상의 그레이 값을 나타내며 (x_0, y_0) 는 무게중심을 나타내며 식 (2)와 같이 주어진다.

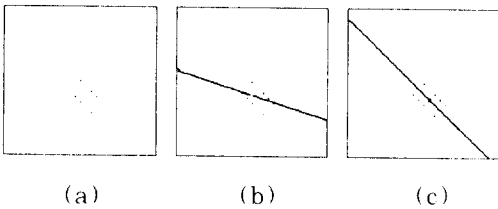


그림 4. 추출된 코너점과 주축 방향 탐지

- (a) 코너점
- (b) 최소자승법에 의한 직선근사화
- (c) 모멘트 방법에 의한 직선근사화

Fig. 4. Extracted corner points and detection of principal axis.

- (a) Corner points.
- (b) Line fitting by the least squares method.
- (c) Line fitting by the moment method.

$$M_{ij} = \sum_x \sum_y (x - x_0)^i (y - y_0)^j f(x,y) \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{\sum_x \sum_y x f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)} \quad (2a)$$

$$y_0 = \frac{\sum_x \sum_y y f(x,y)}{\sum_x \sum_y f(x,y)} \quad (2b)$$

이를 통하여 코너점들의 관성 모멘트를 목적 함수인 (3)식을 x 축과 y 축 방향으로 최소화하게 전개하면 (4)식과 같은 기울기를 얻을 수 있다.¹¹ 여기서 d 는 구하려는 직선과 점 (x,y) 가 이루는 수직 거리이다.

$$E = \sum_x \sum_y d^2(x,y) f(x,y) \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2M_{11}}{M_{20} - M_{02}} \quad (4)$$

최소 자승법에 의한 방법은 그림 4(b)에 나타나 있다. 그림 4(a)와 같은 코너점에 관성 모멘트방법을 적용한 결과가 그림 4(c)에 나타나 있는데 그림 4(b)의 최소 자승 법에 비해 기울기가 올바르게 구해짐을 볼 수 있다.

2. 주처리 단계

전처리 단계에서는 주축의 방향을 대략적으로 산출하였다. 주처리 단계에서는 잡음에 강한 회지 Hough 변환을 이용하여 주축의 방향을 더욱 세밀하게 찾으며, 중심의 위치도 찾아낸다.

1) 회지 Hough 변환을 통한 주축방향 탐지

먼저 Hough 변환에 대해서 살펴본다. Hough 변환은 전처리된 에지 영상의 각 점에 대해서, 특징을 찾고자하는 도형 방정식으로 표현된 변환식을 이용하여 파라미터 값을 계산한 후, 그 값에 대해 파라미터 영역에 대응되는 셀들의 값을 하나씩 증가시켜, 누적된 값이 가장 큰 셀의 파라미터 값이 도형 방정식의 파라미터로 선택되는 기법이다. Duda와 Hart는 직선의 파라미터 영역에서 기울기가 무한대인 직선의 표현을 위하여 Hough 변환의 식을 (5)식과 같이 제안하였다.¹⁵ 그림 5의 Hough 변환 개략도에서 보인 바와 같이 ρ_n 은 한 직선과 원점 사이의 수직 거리를 나타내며, θ_m 은 그 직선에 내린 수직선과 x 축이 이루는 각도를 나타낸다.

$$\rho_n = x_i \cos \theta_m + y_i \sin \theta_m \quad (5)$$

영상 영역의 좌표 (x_i, y_i) 는 파라미터 영역을 이산화시킨 좌표 (ρ_n, θ_m) 으로 사상(mapping)된다. 여기서 입력 영상의 크기가 $D_x \times D_y$, 파라미터 영역의 ρ 와 θ 의 이산화 레벨을 각각 ρ_q, θ_q 라 하면, 파라미터 n, m 의 범위는 다음과 같다.

$$-\frac{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}{\rho_q} \leq n \leq \frac{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}{\rho_q}, \quad 0 \leq m < \frac{180}{\theta_q} \quad (6)$$

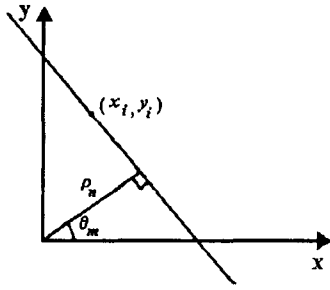


그림 5. ρ, θ 파라미터 공간으로의 Hough 변환
Fig. 5. Hough transform to the ρ, θ parameter space.

기존 Hough 방법에서 변환된 결과 ρ 가 실수이더라도 Hough array (ρ, θ)를 정수화 했기 때문에 가장 가까운 array에 1을 더하는 방식이었다. 그러나 제안한 휘지 Hough 변환은 Hough array (ρ, θ)를 실수화시켜 식 (5)에서 계산된 결과를 실수값으로 저장하게 하였다. 그림 6에는 이러한 실수화된 휘지 Hough 변환의 개략도를 보였다. 여기서 ρ 는 ($i-1$)과 i 번째 셀 (cell) 사이에 있다고 가정하였다. 식 (6)에서 계산된 결과 ρ 는 실수값이며 가중치 1을 준다. 그리고 주변의 셀에는 멤버십 (membership function) 함수와 같은 가중치를 1보다 작게 준다. 잡음이 섞인 경우에는 휘지 Hough 변환이 정수화된 기존의 Hough 변환보다 더 좋은 성능을 보인다. 멤버십 함수를 주는 방법은 여러가지가 있을 수 있는데 본 논문에서는 삼각형꼴로 주었으며 그 길이 $\Delta\rho$ 는 실험적으로 5로 설정하였다.

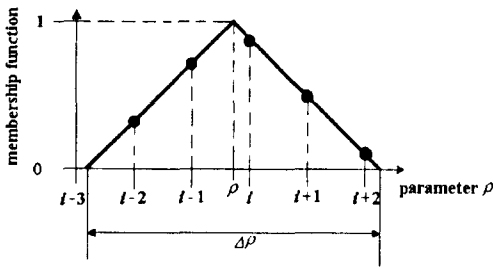


그림 6. 휘지 Hough 변환
Fig. 6. Fuzzy Hough transform.

본 논문에서 제안한 방법은 전처리 단계에서 대략적인 방향 탐지를 하였으므로 주처리 단계에서 Hough 변환을 할 때는 파라미터 영역의 θ 축의 해상도를 각각 0.05, 0.02, 0.01도로 높이며 탐색 영역도 전 단계에서 구한 대략적인 방향을 중심으로 \pm

2도 이내에서 Hough 변환을 한다. 또한 Hough 변환할때 전처리 단계에서 생성된 코너점만 Hough 변환을 한다. 코너점만 Hough 변환을 행하므로 계산 시간이 단축되며 변환 및 탐색 영역이 줄었으므로 메모리의 절감과 계산 시간이 줄어드는 장점이 있다.

2) 중심위치 탐지

중심의 위치는 전처리 단계의 그룹핑 과정에서 생긴 결과를 이용하여 소자의 네 꼭지점을 찾아낸 후 대각선으로 바라보는 꼭지점 연결선의 교차점으로 중심의 위치를 결정하였다.

Ⅲ. 기판 보정 기법

SMD 소자를 올바르게 장착하기 위해서는 입력된 기판이 기울어져 있을 경우에 그 기판을 보정할 필요가 있다. 본 논문에서는 기울어지지 않은 기준 영상을 미리 가지고 있으며, 입력되는 기판영상을 카메라로 획득하여 이 두 영상을 기반으로 기판 보정을 수행하여, 기울어진 각도와 수평, 수직 방향의 이동 변위를 구하는 보정 알고리듬을 개발하였다. 제안한 알고리듬은 기준 영상과 입력 영상의 기판 위에 찍혀 있는 fiducial mark간의 모멘트 불변 정합을 통하여 기준 영상과 입력 영상의 fiducial mark의 좌표를 얻고 이의 비교를 통하여 기판의 기울어진 각도와 수평, 수직 방향의 이동 변위를 구한다.

1. Fiducial mark

부품장착시에 발생하는 미세한 위치 오차도 불량을 만들어 내므로 정교한 방식의 비전 알고리듬이 필요하다. 그러므로 PCB 위에 정확한 위치에 부품을 장착시키기 위해서 위치를 표시하는 기준 영상에서 fiducial mark가 존재하는 좌표를 미리 기억시켜 놓는다. 그림 7에는 본 논문에서 사용된 fiducial mark의 종류를 보였다.



그림 7. Fiducial 마크
Fig. 7. Fiducial marks.

2. 모멘트 정합 방법을 사용한 기판보정

Template 정합방법중 회전불변인 특징량으로 원형 창틀을 사용하는 모멘트 방법을 사용한다.¹⁰⁾ 그 이유는 원형 창틀 내부의 그레이 값들은 회전이 되어도 그 원형 창틀 내부에서의 각 모멘트량은 같기 때

문이다. 즉 앞 절에서 구한 fiducial mark의 좌표에서 임의의 크기의 원형 창틀을 씌워 그 내부의 불변 모멘트를 식 (7)과 같이 구하고, 이로부터 식 (8)의 정규화된 불변 모멘트를 구한다. 그리고 각 fiducial mark 에서 (8)의 정규화된 불변 모멘트부터 정규화된 상관계수를 구하여 정합점을 구한다. 여기서 A_i , B_i 는 각각 기준 영상과 입력 영상의 정규화된 불변 모멘트를 나타낸다. 식 (7)의 M_{ij} 는 식 (1)에 주어져 있으며, 식 (8)의 정규화된 불변 모멘트는 식 (1)의 모멘트에 스케일 인수 (scale factor)인 $[2/(N+1)]^m$ 를 곱한 것을 말한다. 여기서 N 은 원형 창틀 내부의 총 화소수를 나타낸다. 상관계수의 범위는 -1 에서 1까지의 범위를 가지며 1에 가까울수록 정합 정도가 높다.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= M_{30} + M_{02} \\
 a_2 &= (M_{30} - M_{02})^2 + 4M_{11}^2 \\
 a_3 &= (M_{30} - M_{12})^2 + (3M_{21} - M_{03})^2 \\
 a_4 &= (M_{30} + M_{12})^2 + (M_{21} + M_{03})^2 \\
 a_5 &= (M_{30} - M_{12})(M_{30} + M_{12})[(M_{30} + M_{12})^2 - 3(M_{21} + M_{03})^2] + (3M_{21} - M_{03}) \\
 &\quad (M_{21} + M_{03})[3(M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2] \\
 a_6 &= (M_{30} - M_{02})[(M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2] + 4M_{11}(M_{30} + M_{12})(M_{21} + M_{03}) \\
 a_7 &= (3M_{21} - M_{03})(M_{30} + M_{12})[(M_{30} + M_{12})^2 - 3(M_{21} + M_{03})^2] + (M_{30} - 3M_{12}) \\
 &\quad (M_{21} + M_{03})[3(M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2] \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \sum \sum f(x,y) & A_1 &= [2/(N+1)]^2 a_1 \\
 A_2 &= [2/(N+1)]^4 a_2 & A_2 &= [2/(N+1)]^6 a_2 \\
 A_3 &= [2/(N+1)]^6 a_3 & A_3 &= [2/(N+1)]^{12} a_3 \\
 A_4 &= [2/(N+1)]^8 a_4 & A_4 &= [2/(N+1)]^{12} a_4 \\
 A_5 &= [2/(N+1)]^8 a_5 & A_5 &= [2/(N+1)]^{12} a_5
 \end{aligned} \quad (8)$$

3. 회전각과 수평, 수직 방향 변위 추출

위에서 계산된 정합점으로부터 입력 기판의 회전각과 수평, 수직 방향의 변위를 구한다. 식 (9)은 회전각과 위치 이동이 있을 경우의 변환 행렬이다.

$$\begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서 (X_f, Y_f) 는 기준 영상의 fiducial mark의 좌표이며, (x_f, y_f) 는 입력기판 영상의 좌 표이다. (9)식의 미지수 파라미터 θ , T_x , T_y 를 구하기 위해서는 정합이 정확히 된 3쌍의 좌표가 필요하다. 즉 세계의 연립 방정식으로부터 보정 파라미터를 구한다. 그러나 완벽하게 정합이 되지 않은 결과에 대해서는 일반

적으로 least squares 기법을 사용 하여 가능한한 정합점을 많이 구하여 정합점들 사이의 거리의 합이 최소화되게 파라 미터를 구하는 기법이 있다.^[17]

본 논문에서는 fiducial mark를 특징점으로 사용하였기 때문에 실험에 사용한 기판의 fiducial mark의 개수인 5개를 정합점으로 이용하였다. 또한 이러한 fiducial mark가 일직선상에 있는 것을 이용하여 회전 입력 영상의 정합점 $\{(x_i, y_i), 1 \leq i \leq 5\}$ 의 직선 근사화를 통해 기울기를 구한 후 기준 영상의 정합점 $\{(X_i, Y_i), 1 \leq i \leq 5\}$ 의 직선근 사화와의 차이를 구해서 θ 를 구하였으며 T_x , T_y 는 식 (9)를 변형하여 회전 입력 영상의 정합점 $\{(x_f, y_f), 1 \leq i \leq 5\}$ 을 대입하여 나온 결과인 (T_x, T_y) 쌍 5개의 평균으로 구하였다.

IV. 실험 결과 및 토의

실험은 MIPS workstation에서 C언어로 수행하였으며, 입력 영상의 크기는 512 × 512 화소이며 그림 8에는 실험에 사용한 8가지 영상을 나타내었다. 실험 영상 1에서 4까지는 14핀 직사각형 형태이며 각 영상들은 수평으로부터 각각 0도, 5도, -6도, 7도 기울어져 있는 영상들이다. 또한 중심의 좌표는 각각 (226, 253), (238, 241), (202, 274), (249, 268)이다. 실험 영상 4에서 실험영상 8까지는 정사각형 형태인 80핀짜리 QFP (Quad Flat Package)소자이다. 각 영상들은 수평으로부터 각각 3도, -1도, 1도, -4도 기울어져 있는 영상들이다. 또한 중심의 좌표는 각각 (274, 281), (272, 240), (251, 281), (266, 283)이다.

그림 9는 그림 8의 각 영상에 대하여 전처리 단계의 코너점 찾기 과정을 거쳐 얻은 영상이다. 결과는 SMD 다리 부분이 무더진 경우 코너점이 주축 방향의 일직선에서 약간씩 벗어나 있는 것을 볼 수 있다. 다음 단계는 코너점에 대한 그룹핑 및 직선 근사화 단계로 그림 9에 나타난 코너점에 대해서 수행해 얻은 전처리 단계의 최종 결과를 표 1에 나타내었다. 여기서 전처리 단계의 최종 결과는 각각 그룹핑된 왼쪽 리드 그룹과 오른쪽 리드 그룹의 결과의 평균을 택하였다. 여기서 보면 원래의 SMD결과와는 차이가 있는데 이것은 코너점에 의하여 모멘트 직선근사화를 했기 때문에 약 간씩 오류가 발생했기 때문이다.

제안한 방법으로 SMD의 주축의 방향을 탐지한 실험 결과를 표 2에 나타내었다. 그림 10에는 최종적인 중심의 위치를 흰 점으로, 방향을 직선으로 나타내었다. 여기서 Hough 변환 방법을 통한 결과는 최빈값들의 평균으로 구했다. 실험 결과를 보면 제안한 방

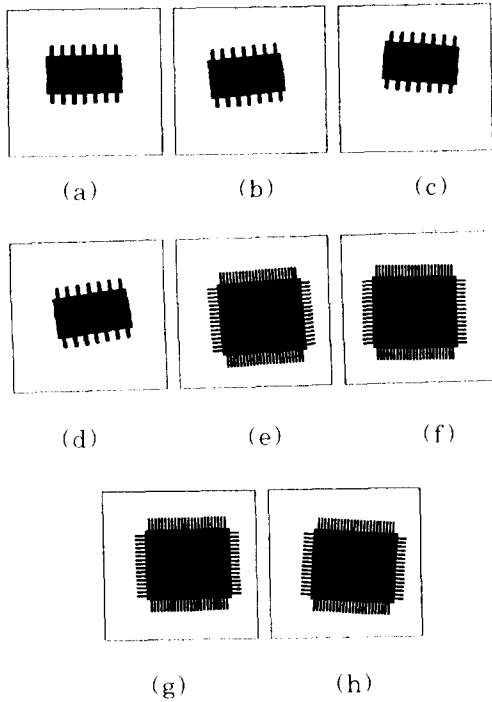


그림 8. 실험 영상들

- (a) 실험영상 1 (b) 실험영상 2
- (c) 실험영상 3 (d) 실험영상 4
- (e) 실험영상 5 (f) 실험영상 6
- (g) 실험영상 7 (h) 실험영상 8

Fig. 8. Test Images.

- (a) Test image 1. (b) Test image 2.
- (c) Test image 3. (d) Test image 4.
- (e) Test image 5. (f) Test image 6.
- (g) Test image 7. (h) Test image 8.

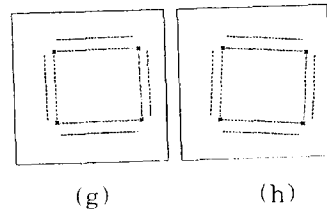
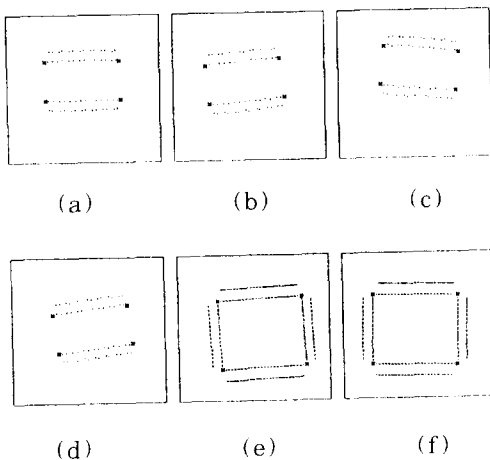


그림 9. 추출된 코너점

- (a) 실험영상 1 (b) 실험영상 2
- (c) 실험영상 3 (d) 실험영상 4
- (e) 실험영상 5 (f) 실험영상 6
- (g) 실험영상 7 (h) 실험영상 8

Fig. 9. Extracted corner points.

- (a) Test image 1. (b) Test image 2.
- (c) Test image 3. (d) Test image 4.
- (e) Test image 5. (f) Test image 6.
- (g) Test image 7. (h) Test image 8.

표 1. 전처리 단계에서의 직선근사화 결과 (단위:도)

Table 1. Line fitting results in preprocessing step (unit: degree).

실험 영상 \ 각도	추출	기준
1	0.682	0
2	5.349	5
3	-5.349	-6
4	7.519	7
5	3.023	3
6	-0.912	-1
7	0.806	1
8	0.445	-4

범중 취지 Hough 변환을 사용한 경우가 더 좋은 결과를 얻었다.

컴퓨터 모의 실험 결과, 영상의 윤곽선 전체에 대해서 Hough 변환을 실행하는 기존의 방법은 계산 시간이 많이 걸리며 제한한 방법에 비하여 정확한 값을 찾아내지 못함을 알 수 있었으며, 모멘트 방법과 투영에 의한 방법은 QFP와 같은 실험 영상에 대해서는 관성 추측의 방향을 제대로 찾지 못하는 단점이 있다. 그 이유는 완전한 대칭인 QFP인 경우에는 관

표 2. 추측방향 탐지 결과 (단위: 도)

Table 2. Detection results of principal axis (unit: degree).

방법		실험 영상	1	2	3	4	5	6	7	8	
모멘트 ^(a)			0.738	5.702	-5.264	7.696	2.912	-5.273	-0.779	-3.772	
투영 ^(b)			0.098	5.094	-6.056	7.119	-0.953	-5.279	-3.146	-7.528	
Hough	예지	1	1.000	5.750	-5.250	8.000	3.500	-1.250	1.250	-4.125	
		코너점	1	1.000	6.000	-6.500	7.725	3.500	-1.250	-1.500	-4.000
	제한한	회지 사용	0.01	0.190	5.040	-5.780	7.340	3.030	-1.175	1.010	-4.030
			0.02	0.124	5.040	-5.770	7.340	3.040	-1.180	1.020	-4.030
		회지 안함	0.05	0.125	5.250	-5.750	7.200	3.100	-1.175	1.050	-4.025
			0.01	0.005	5.030	-5.920	7.150	3.010	-1.050	1.010	-4.000
pi-1 방법	회지 사용	0.02	0.050	5.100	-5.920	7.140	3.020	-1.060	0.980	-4.000	
		0.05	0.125	5.200	-5.850	7.150	3.100	-1.100	0.980	-4.010	
		기준 각도	0.0	5.0	-6.0	7.0	3.0	-1.0	1.0	-4.0	

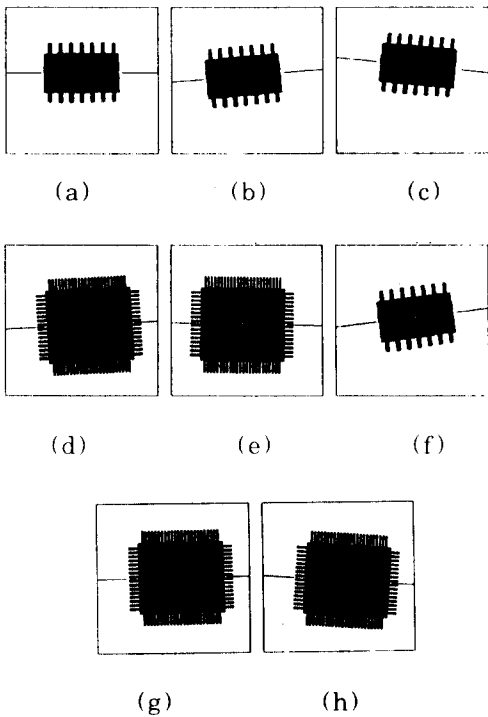


그림 10. 추출된 방향 및 위치

- (a) 실험영상 1 (b) 실험영상 2
- (c) 실험영상 3 (d) 실험영상 4
- (e) 실험영상 5 (f) 실험영상 6
- (g) 실험영상 7 (h) 실험영상 8

Fig. 10. Detected orientation and position.

- (a) Test image 1. (b) Test image 2.
- (c) Test image 3. (d) Test image 4.
- (e) Test image 5. (f) Test image 6.
- (g) Test image 7. (h) Test image 8.

성 주축의 방향은 대각선 방향이 되기 때문이다. 실험 영상 4의 경우는 완전한 대칭인 QFP가 아니기 때문에 완전하게 대각선 방향을 찾지 못했으며 모멘트 방법과 투영방법은 원래의 방향과는 다른 결과를 보인다 그러나 제안한 방법은 QFP를 포함한 실험 영상 모두에 대해서 정확한 결과가 나오는 것을 볼 수 있었다. 다만 부품의 극성을 따지지 못하기 때문에 직사각형 SMD는 180도의 주기성을 가지며 QFP는 90도의 주기성을 가진다. 그러므로 직사각형 SMD는 주축의 방향은 -90도에서 90도 이내로 제한되며, QFP는 주축의 방향이 0도에서 90도 이내로 제한된다.

제안한 방법으로 SMD의 중심 위치를 탐지한 실험한 결과를 (x, y) 좌표상으로 표 3에 표시하였다. 실험결과를 원영상의 좌표값과 비교해 보면 제안한 방법의 성능이 다른 방법에 비해 좋은 것을 알 수 있다.

계산 시간의 비교는 표 4와 같다. 모의 실험은

표 3. 중심의 위치 탐지 결과

Table 3. Results of center point detection.

방법	모멘트 ^(a)	투영 ^(b)	제한한 방법 (fuzzy)	기준위치
실험 영상 1	(225,252)	(225,253)	(226.88,253.14)	(226,253)
2	(239,241)	(239,241)	(238.10,241.02)	(238,241)
3	(201,274)	(201,274)	(202.01,274.00)	(202,274)
4	(249,268)	(249,268)	(249.01,268.05)	(249,268)
5	(120,136)	(120,136)	(120.20,136.00)	(120,136)
6	(272,241)	(272,241)	(272.02,240.01)	(272,240)
7	(251,281)	(251,281)	(251.00,281.03)	(251,281)
8	(265,283)	(266,283)	(266.01,283.03)	(266,283)

표 4. 계산시간 비교(단위: 초)

Table 4. Comparison of computation time (unit: sec.).

Hough 방법	모멘트 ^(a)	투영 ^(b)	Hough변환 (edge)	Hough변환 (코너점)	제한한 방법	
					회지 사용 안함	회지 사용
시간	0.32	0.29	8.02	2.10	0.17	0.42

Hough 변환의 해상도를 0.05도, 0.02도, 0.01도로 주면서 제한된 범위인 전처리단계의 결과를 기준으로 4도 내외에서 수행하였는데, 표에서 알 수 있듯이 제안한 방법의 계산 시간이 기존의 Hough 방법에 비해 훨씬 단축됨을 알 수 있으며, 모멘트에 의한 방법과 투영에 의한 방법에 비해서는 조금 계산 시간이 많이 걸리지만 QFP에도 적용할 수 있는 방법이다. 제안한 방법은 코너점만 전 각도에 대해서 Hough 변환과 비교하여 이 경우 계산 시간이 오래 걸리지만, 수행할 각도 범위를 줄인다면 큰차이는 없을 것이다. 즉 전처리 단계에서의 결과를 기준으로 1도 내외에서 수행하면 계산시간을 보다 줄일 수 있다.

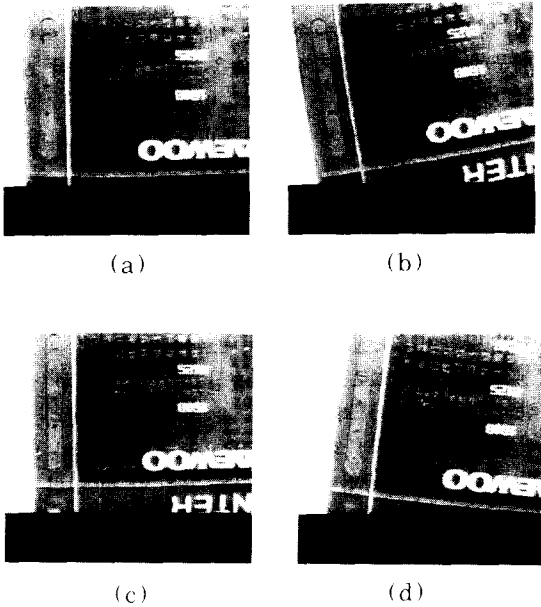


그림 11. 실험 기판 영상

- (a) 기준 기판영상 (b) 실험 기판 영상 1
- (c) 실험 기판영상 2 (d) 실험 기판영상 3

Fig. 11. Test PCB images.

- (a) Reference PCB image.
- (b) Test PCB image 1.
- (c) Test PCB image 2.
- (d) Test PCB image 3.

회전된 기판의 기울기 및 변위 추출에 관한 실험 결과를 설명하면 다음과 같다. 그림 11에는 기준이 되는 입력 기판과 입력된 회전 기판을 보여주고 있다. 영상의 크기는 256 × 256 화소이다. 표 5에는 그림 11(a)의 fiducial mark와 회전된 입력 기판의 영상인 그림 11(b), 11(c), 11(d)의 fiducial mark를 모멘트 방법을 이용하여 정합한 결과를 보여주고 있다. 실험 결과 원형 창들의 반지름이 어느

표 5. 기준 영상과 입력 영상의 정합점

Table 5. Matching points with test and reference images.

정합점 위치	1		2		3	
	추출	기준	추출	기준	추출	기준
(31,46)	(32,29)	(32,29)	(16,49)	(16,50)	(68,18)	(69,18)
(57,46)	(59,35)	(56,37)	(42,50)	(42,50)	(63,47)	(62,47)
(88,46)	(90,43)	(90,43)	(73,49)	(73,50)	(64,75)	(64,77)
(119,46)	(123,44)	(122,44)	(102,49)	(103,50)	(60,106)	(60,105)
(150,46)	(148,49)	(148,49)	(133,50)	(133,50)	(57,137)	(57,137)

표 6. 최소 자승법을 사용한 결과 (단위: 도)
Table 6. Results by least squares line fitting (unit: degree).

실험 영상 \ 각도	추출	기준
1	98.97	99.0
2	90.02	90.0
3	85.20	86.0

표 7. 최종 보정 파라미터

Table 7. Final compensation parameters.

실험 영상 parameters	1	2	3
θ	-8.87	0.02	4.8
(T_x, T_y)	(-7,20)	(-3,15)	(-18,17)

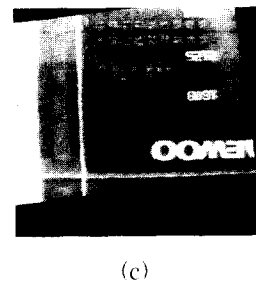
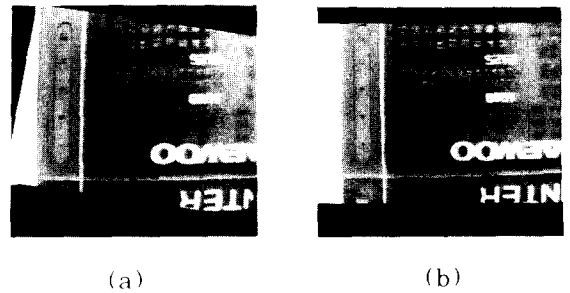


그림 12. 추출된 파라미터로 보정된 영상

- (a) 실험 기판영상 1
- (b) 실험 기판영상 2
- (c) 실험 기판영상 3

Fig. 12. Compensated PCB image based on detected parameters.

- (a) Test PCB image 1.
- (b) Test PCB image 2.
- (c) Test PCB image 3.

정도 커야 성능이 좋았는데 이것은 넓은 영역에서의 모멘트를 이용하면 좋기 때문이다. 본 논문에서는 원형 창들의 반지름을 19로 고정하고 실험한 결과, 정합한 결과가 가장 좋았다. 창들의 반지름이 너무 크면 계산시간이 많이 걸리게 되며, 오히려 잘못된 결과를 나타내었다. 올바른 정합을 위해서는 그레이 값의 분포가 회전 영상의 분포와 기준 영상의 분포가 비슷해야 하는데 본 논문의 실험영상에서는 조명의 변화나 주변 상황이 영상에 잡힐 때 조금씩 달라지기 때문에 오차가 발생한 것으로 추측된다. 이러한 점들을 최소 자승법을 통해서 기울기를 구한 결과가 표 6에 나타나 있다. 결과를 보면 기울기가 원 영상과 다른 것을 볼 수 있는데 이것은 조명이나 주변상황이 조금씩 달라지기 때문에 정합이 약간씩 잘못되었기 때문이다. 표 7에는 식 (9)를 이용하여 최종적으로 θ , T_x , T_y 를 구한 결과가 나타나 있다. 이러한 결과는 로봇트 제어부로 전송될 수 있으며, 그림 12에는 이러한 최종 결과가 타당한지를 보이기 위해서 표 7에 나온 결과를 컴퓨터로 회전 및 수평, 수직 방향으로 이동하여 만든 영상을 보였다. 이를 기준 영상인 그림 11(a)와 비교해 보면 거의 일치함을 알 수 있다.

V. 결론

SMD를 인쇄회로기판에 장착하기 전에 SMD가 얼마나 기울어져 있는지 혹은 중심이 원점에서 얼마나 떨어졌는지 시각 장치를 이용하여 탐색하는 방법을 제안하였다. 제안한 SMD의 방향 및 중심 탐지 방법은 체인 코딩을 통하여 코너점을 찾은 다음, 코너점들을 모멘트법에 의하여 기울기를 근사화하여, 주처리 단계에서 Hough 변환의 해상도를 증가시켜 코너점만 휘지 Hough 변환하였다. 제안한 방법에서는 Hough array를 실수화하여 가중치를 주며, 해상도를 늘이기 때문에 더 세밀한 각도로 놓여진 방향을 탐지할 뿐 아니라 코너점만 Hough변환을 행하므로 계산 시간도 단축되며 잡음에 강한 장점이 있다.

또 기판의 위치 보정에 관한 연구에서는 기준 기판과 회전 입력 기판의 fiducial mark를 회전불변 모멘트 방법에 의해서 정합함으로써 보정 파라미터를 구할 수 있었다. 이러한 방법은 비전 시스템을 장착하여 보정이 필요한 경우에 적용될 수 있는 일반적인 알고리즘이 될 수 있다.

추후의 연구 과제로는 SMD 영상에 잡음이 섞였을 때와 영상의 윤곽선이 무디게 취득되었을 때의 문제점 해결 및 하드웨어 구현에 관한 연구 등을 들 수 있다.

參考文獻

- [1] 최 종수, "SMT에서의 부품장착 및 검사용 영상처리 알고리즘," 제 2회 제어계측신기술연구센터 WORKSHOP, pp. 55-81, 1992년 11월.
- [2] R. T. Chin and C. A. Harlow, "Automated visual inspection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-4, pp. 557-573, Nov. 1982.
- [3] B. J. You, Y. S. Oh, and Z. N. Bien, "A vision system for an automatic assembly machine of electronic components," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. IE-37, pp. 349-357, Oct. 1990.
- [4] D. B. Shu, C. C. Li, J. F. Mancuso, and Y. N. Sun, "A line extraction method for automated SEM inspection of VLSI resist," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-10, pp. 117-125, Jan. 1988.
- [5] Y. Hara, H. Doi, K. Karasaki, and T. Iida, "A system for PCB automated inspection using fluorescent light," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-10, pp. 69-77, Jan. 1988.
- [6] 우 상찬, 권 준식, 장 태규, 최 종수, "수학적 형태론에 의한 SMD위치 및 불량검색," 제 5회 신호처리 합동학술대회 논문집, pp. 617-621, 1992년 9월.
- [7] 전 병환, 윤 일동, 김 용환, 황 신환, 이 상욱, 최 종수, "SMT 자동화를 위한 시각 시스템의 실시간 구현," 전자공학회논문지, 제 27권 제 6호, pp. 129-138, 1990년 6월.
- [8] B. K. P. Horn, *Robot Vision*. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 46-61, 1986.
- [9] 차 국찬, 박 일수, 최 종수, "SMT에서 정합 및 부품검사 알고리즘에 관한 연구," 전자공학회논문지-B, 제 29권 B편 제 1호, pp. 76-84, 1992년 1월.
- [10] H. K. Chung and R. H. Park, "Vision based orientation and position detection of IC's and PCB's," in *SPIE Proc. Intelligent Robots and Computer Vision*

- : *Algorithms and Techniques*, vol. 2005, pp. 106-117, Boston, Mass., U. S.A., Sep. 1993.
- [11] H. K. Chung and R.-H. Park, "Orientation and position detection of SMD's and PCB's using the high precision fuzzy Hough transform" to be published in *Optical Engineering*, vol. 33, 1994.
- [12] R. C. Gonzalez and P. Wintz, *Digital Image Processing*, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co., pp. 392-394, 1977.
- [13] H. C. Liu and M. D. Srinath, "Corner detection from chain-code." *Pattern Recognition*, vol. 23, pp. 51-68, Jan. 1990.
- [14] Z. Hussain, *Digital Image Processing*, Ellis Horwood, pp. 165-166, 1991.
- [15] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures." *Commun. ACM*, vol. 15, pp. 11-15, Jan. 1975.
- [16] A. Goshtasby, "Template matching in rotated images," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-7, pp. 338-343, May 1985.
- [17] C. A. Groen, C. Sanderson, and J. F. Schlag, "Symbol recognition in electrical diagrams using probabilistic graph matching." *Pattern Recognition Letters*, vol. 3, pp. 343-350, Sep. 1985.

著者紹介

丁 鴻 奎(準會員) 第 29 卷 B編 第 10 號 參照
현재 삼성전자 근무

朴 來 弘(正會員) 第 23 卷 第 6 號 參照
현재 서강대학교 전자공학과 교수