

論文95-32B-1-8

# SMD의 위치와 방향 계산 및 검사 알고리즘 : 형태학적 방법과 Hough 변환 방법의 비교

## (Positioning and Inspection of SMD : Comparison of Morphological Method and Hough Transform Method)

權 俊 植 \* , 崔 宗 秀 \*  
(Jun-Sik Kwon, Jong-Soo Choi)

### 요 약

본 논문에서는 비전 시스템을 이용한 SMD의 위치와 방향 계산 및 부품 검사를 위한 새로운 형태학적 방법을 제안하고 Hough 변환 방법과 비교하였다. Positioning 알고리즘은 SMD의 중심 위치와 기울어진 방향을 계산하는 과정이며, 검사 알고리즘은 SMD의 부러지거나 휜 리드의 위치를 검출해내는데 사용된다. 비교될 Hough 변환 방법은 DSP 보드에 탑재될 알고리즘이며, 부품의 특징점(오목한 점)들을 찾아 Hough 변환을 이용해 중심점과 기울기를 구하는 방법이고, 제안하는 형태학적 방법은 형태학적 골격의 부분 집합으로부터 중심점과 기울기를 구하며 Hit-or-Miss 변환에 의해 코너 ID를 찾아내어 최종 방향을 결정하는 방법이다. 부품 검사에서도 두 가지 방법이 소개된다. 첫째는 형태학을 이용하여 중심과 방향 계산 전 수행되는 초기 검사 방법이며, opening과 closing이 사용된다. 둘째는 중심과 방향 계산 후 수행되는 정밀 검사 방법이며, 리드의 에지나 형태학적 골격에 ruler를 적용하여 검사하는 기법이다. 모의 실험에서 두 가지 방법의 비교를 통해 VLSI로의 실현이 용이한 형태학적인 방법이 보다 효과적임을 보였으며, SMT의 고속 실현을 위해 Hough 변환에 의한 알고리즘은 DSP 보드로 제작하여 실시간 처리가 가능함을 보였다.

### ABSTRACT

New morphological positioning algorithm and inspection method are presented and compared with a method by means of the Hough transform. The positioning algorithm is the process of finding the center and the rotated angle of the surface mounted device (SMD). The inspection method is capable of detecting the location of broken or bent leads. In order to obtain the center and the orientation of the SMD rapidly, the Hough transform method utilizes feature points (concave points) and is executed on a DSP board. The proposed morphological method is implemented by using the morphological skeleton subsets, and an ultimate orientation is decided by the Hit-or-Miss transform (HMT). In the inspection process, two inspection methods also are presented. The first method utilizes the morphological methods, i.e., opening and closing. It is performed before the positioning process and called an initial inspection. The second method follows the positioning process and is performed by an inspection of intersections of rulers and the lead edge (or the skeleton). It is a ruling technique which is referred to as a detailed inspection. We find the morphological approach is preciser and faster than the Hough approach by the comparison of the proposed algorithms.

\* 正會員, 中央大學校 電子工學科  
(Chung-Ang University, Department of Electronic

Engineering)  
接受日字 : 1994年 6月 4日

### I. 서론

전자 산업에 있어서 제품의 소형, 경량화 추세에 따라 표면실장기술(surface mounting technology : SMT)은 중요한 기술로 자리잡게 되었다. 여기서 표면실장기술이란 인쇄회로 기판(PCB)의 표면에 여러 종류의 표면 실장용 부품(surface mount device : SMD)을 자동으로 장착, 납땜, 검사하는 포괄적인 기술을 의미한다. SMD가 삽입형 부품의 대체품 이상으로 다양화, 소형화, 고집적화 됨에 따라 SMT 또한 복잡적이고 다기능화된 고도의 기술이 요구되고 있다. 수치 제어로 부품을 단순하게 장착하는 SMT 장비에서는 수치의 보정이 어렵기 때문에, SMD의 소형화는 기계의존도, 속도 및 정확성을 최대화하기 위해 비전 기술의 사용을 가속화하였다. SMT에서 요구되는 가장 중요한 사항은 정밀도와 고속성이다. 정밀도의 향상을 위해 SMT에 시각 시스템을 이용해 위치 보정의 과정이 추가된 장비 및 알고리즘이 개발되고 있으며, 실제로 컴퓨터 비전에 의한 SMT 장비는 정밀도의 향상을 가져왔다. 고속성은 영상 처리 과정에서의 계산량을 줄이거나 최적의 알고리즘을 수행할 하드웨어를 구현함으로써 가능해질 수 있다. 시각 시스템은 장착 과정에서 뿐만 아니라 목시 검사에 의존하던 PCB의 패턴과 thru-hole 등의 검사<sup>[1], [2], [3]</sup>, solder joint 검사<sup>[4]</sup> 및 납땜 상태의 검사<sup>[5], [6]</sup> 등에서도 유익하게 사용된다. 본 논문에서는 SMD 장착 및 장착전 검사에 대해 다루었다. 부품 장착 위치의 확인과 부품 검사는 여러 영상처리 알고리즘에 의해 자동화되어질 수 있다. N. S. Chang<sup>[7]</sup>은 리드 끝부분의 위치를 찾는 방법을 이용하였으나, 대칭성과 30° 이상 회전되지 않아야 한다는 단점을 지니고 있다. K. Iwata<sup>[8]</sup>는 세 개의 에지점으로 중심과 방향을 계산한다. 이는 세 에지점이 잘못 측정되면 SMD의 위치에 오차를 발생시킨다. 또한 밝기 파형 검출법<sup>[9]</sup>이 이용될 수 있으나, 이는 조명의 위치에 의해 쉽게 영향받을 수 있다. 또한 휘지 Hough 변환을 이용해 SMD의 방향을 구하고자 하는 방법<sup>[10]</sup>이 제안되었지만, SOP(small outline package)나 QFP(quad flat package) 등의 소자에서 코너 ID의 특징을 찾는 방법에 대한 고려가 되어 있지 않다.

본 논문에서는 SMD의 중심 좌표와 방향을 계산하는 방법 그리고 SMD의 리드를 검사하는 방법은 각각 두 가지씩의 알고리즘을 통해 제안된다. 첫번째 알고리즘<sup>[11]</sup>은 모토롤라사의 DSP56001(20MHz)로 제작된 DSP 보드에서 사용되도록 제안되었다. 에지 검출 후 계산량을 줄이기 위해 코너점 검출에 의한 특징점들

(볼록한 점들과 오목한 점들)을 구한다. 이들 중 플라스틱 패키지에 위치하는 오목한 점들만으로 Hough 변환하여 구한 직선들로부터 중심과 방향을 계산하는 방법이다. 이 과정에서 얻어진 에지로부터 리드의 검사도 행해진다. 둘째 알고리즘<sup>[12]</sup>은 형태학적 골격의 부분 집합으로부터 중심점과 방향을 구하며, Hit-or-Miss transform (HMT)를 통해 SMD의 특징인 코너 ID(pin1 ID)의 특징을 찾아내 최종적인 방향을 결정한다. 또한 형태학을 이용해 SMD를 검사하는 두 가지 방법 - 초기 검사와 정밀 검사 - 이 제안된다. 초기 검사에는 opening과 closing이 이용되며, 정밀 검사는 SMD 리드의 골격에 ruler를 적용하는 방법이다.

본 논문은 II장에서 SMD의 중심과 방향을 계산하는 두 가지 방법인 Hough 변환에 의한 방법과 형태학적 골격 및 HMT에 의한 방법이 기술된다. III장에서는 SMD 리드의 불량 유무를 검사하는 두 가지 방법 - 형태학에 의한 초기 검사와 리드의 에지나 형태학적 골격을 이용하는 ruling 기법인 정밀 검사 - 이 소개될 것이며, IV장에서는 제안된 알고리즘의 유효성을 컴퓨터 모의 실험을 통해 검증해 보일 것이다. 끝으로 결론과 앞으로의 연구 과제가 V장에서 언급된다.

### II. 중심과 방향 계산

로봇의 진공흡착기(end-effector)에 흡착되어 들어올려진 SMD의 영상을 취득한 후, 그 중심점의 위치

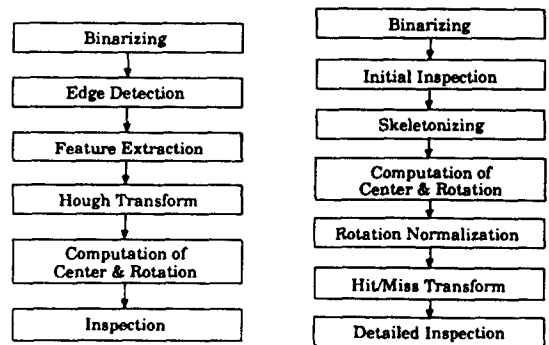


그림 1. 각 알고리즘의 블록도 : (a) Hough 변환에 의한 방법 (알고리즘 1), (b) 형태학에 의한 방법 (알고리즘 2)

Fig. 1. Block diagram of algorithms : (a) method by the Hough transform (algorithm 1) and (b) morphological method (algorithm 2).

와 방향을 계산하여 실장될 기판의 이동 위치와 진공

흡착기의 회전 각도를 결정하는 것이 본 알고리즘들의 목적이다. 본 절에서는 중심점의 위치와 방향 계산을 위한 두 가지 방법을 제안하였다. 그림 1에 이들 두 가지 방법의 개략을 블럭도를 통해 보이고 있다. 그 하나는 에지 정보에 의한 Hough 변환<sup>[13], [14]</sup>으로 구하는 방법이고, 또 하나는 형태학적 골격과 Hit-or-Miss 변환을 통해 구하는 방법이다.

부품의 정확한 장착을 위해서는 카메라의 보정이 필요하며, 장착될 기판의 위치와 로봇의 위치 정보 및 장착될 SMD의 기하학적 특징과 외관 사양이 요구된다. 카메라와 로봇은 시스템 설치 시 조정되며, 부품에 관한 정보는 시스템에 미리 입력될 것이다. 부품 장착 전 부품 자체의 결함이나 진공 흡착기에 집혀지는 과정에서 미끄러짐 등에 의한 위치 오차를 보정할 필요가 있으며, 이 과정에서 비전 시스템을 이용하게 된다.

1. 알고리즘 1 : Hough 변환 방법

본 방법은 모토롤라의 DSP56001(20MHz)로 제작된 DSP 보드에서 사용되도록 개발된 알고리즘이며, SMD의 중심과 방향을 구하는 방법의 근간은 Hough 변환이다. 이 과정에서 구해진 에지는 SMD 리드 검사 과정에서도 사용된다.

1) 특징점 추출

특징점은 에지를 검출한 다음 찾게 되는데, 에지 검출은 CCD 카메라에 의해 취득된 농담 영상을 적당한 문턱치화를 거쳐 얻어진 2치 영상에 대해 Laplacian 연산자를 적용하여 수행된다. 또한 체인 코드를 이용하여 SMD의 에지를 구성하는 점들의 좌표를 모두 구한다.

Hough 변환으로 직선을 찾아낼 경우 에지 상의 모든 점들을 대상으로 한다면 계산 시간이 상당히 길어지게 된다. 따라서 본 방법에서는 SMD의 리드에 의한 코너점인 오목한 점과 볼록한 점만을 찾아낸 후 Hough 변환에 이용하게 된다. 특징점의 추출 과정은 바로 SMD의 코너점만을 찾아내는 과정이다. 특징점 추출에 사용되는 방법은 분할 방법(splitting method)<sup>[15]</sup>이며 방법은 다음과 같다.(그림 2)

[과정 1] 윤곽선 상의 임의의 시작점 S와 윤곽선 상의 한 점(윤곽선 좌표 전체 중 중간점) M을 지나는 직선 L을 구해 식 (1)로 표현한다.

$$ax + by + c = 0. \tag{1}$$

[과정 2] S와 M 사이에 있는 윤곽선 상의 모든 점 (xn , yn)과 직선 L 간의 최장 거리 d를 식(2)로 구

하고, 그 최대값에 따라 특징점이 구해진다.

$$d = \frac{|ax_n + by_n + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}. \tag{2}$$

[과정 3] 특징점이 존재하면 구해진 특징점과 시작점 사이에서 과정 1, 2를 반복하고, 만일 특징점이 존재하지 않으면 S와 M 간의 간격을 넓혀 선정된 두 점에 대해 과정 1, 2를 반복해 모든 특징점을 구한다.

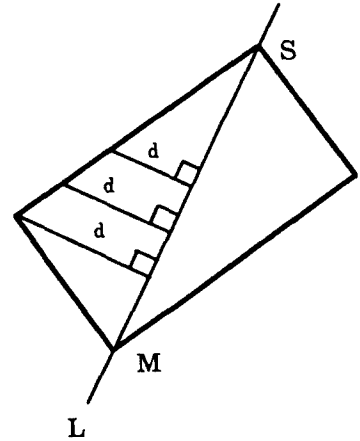


그림 2. 분할 방법  
Fig. 2. Splitting method.

이렇게 하여 찾은 특징점 중에서 다시 오목한 점만을 추출해낸다. 오목한 점은 플라스틱 패키지와 리드에 의해 만들어지는 특징이며, 패키지의 직선 성분 추출에 사용된다. 본 방법에서는 오목한 점을 찾기 위해 계산 시간이 적게 드는 간단한 방법을 사용하였다.

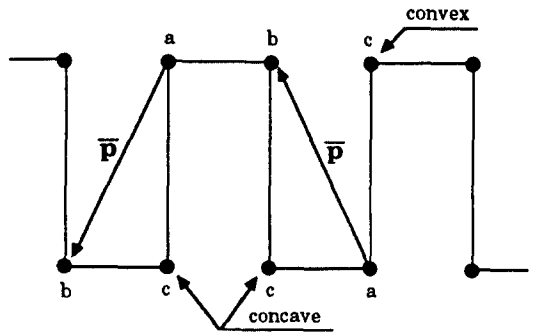


그림 3. 오목한 점 결정 방법  
Fig. 3. Concave point decision method.

그림 3의 예를 보면 현재의 특징점 c의 오목함 여부를 판단하기 위해 점 c의 이전 특징점 a와 다음 특징점 b를 고려한다. 즉 특징점 a에서 특징점 b로 향한 벡터 p를 결정하고, 특징점 c의 위치가 벡터 p의 좌측에 있으면 오목한 점으로, 우측에 있으면 볼록한 점으로 결정된다.

2) Hough Transform

m개의 점이 존재하는 영상에서 어떤 직선을 결정하고자 할 때  $m(m-1)/2 \sim m^2$ 개의 선들을 찾아야 하며  $m^2(m-1)/2 \sim m^3$ 번의 비교가 필요하다<sup>[16]</sup>. 이를 효율적으로 구하기 위해 Hough 변환이 사용되며, DSP56001을 이용할 때 특히 유용하다. 이는 DSP-56001에서의 cosine과 sine 함수는 표로 되어 있어 마치 데이터를 메모리에 옮겨 놓는 것처럼 프로그래밍과 처리가 가능하기 때문에 빠르다. x-y 좌표계에서 한 점  $(x_i, y_i)$ 는 식 (3)에 의하여 u-v 평면으로 옮겨질 수 있으며 Hough 분포를 구해 교점의 최대치를 구한다.

$$v = x_i \cdot \cos(u) + y_i \cdot \sin(u) \tag{3}$$

이렇게 하여 구해지는 직선의 수는 quad flat package (QFP)의 경우 각 측면에서 1개 이상 구해지므로 모두 4개 이상이 되는데, 이들로부터 타당한 4개의 직선만을 구하기 위해 다음 과정이 추가된다.

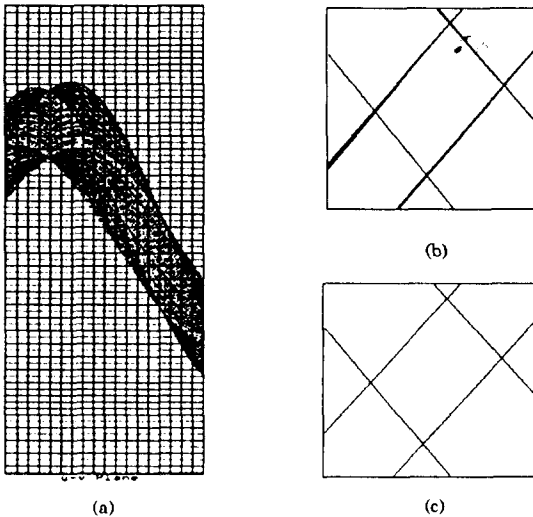


그림 4. Hough 변환에 의한 직선 추출 : (a) Hough 분포, (b) 임계치 이상의 모든 직선, (c) 추출된 4 직선

Fig. 4. Line extraction by the Hough transform : (a) Hough distribution, (b) lines over threshold, and (c) four extracted lines.

[과정 1] Hough 분포에서의 최대값이 가장 신뢰할 수 있는 값이며, 이 값으로부터 직선 k를 결정한다.

[과정 2] 직선 k와 가장 평행에 가까운 직선 j를 구한다.

[과정 3] 직선 k와 90°에 가장 가깝게 교차하는 직선을 찾아 i와 h로 정한다.

그림 4에 위 과정의 수행 결과를 나타내었으며, (a)에는 u-v 평면에서의 Hough 분포를, (b)에는 (a)에서의 누적값이 임계치를 넘는 모든 점에서 얻어진 직선을, (c)에는 위 과정을 통해 구해지는 최종 결과를 보였다.

3) 중심과 방향 계산

4개의 직선(h, i, j, k)를 구하면 네 직선으로부터 4개의 교점이 구해진다.<sup>[12]</sup> 중심점  $C(x_c, y_c)$ 는 네 개의 교점(p1, p2, p3, p4)의 무게 중심으로부터 얻어지며, SMD의 방향(회전된 각도)  $\theta$ 는 네 교점 중 가까운 두 점 사이의 중간점  $C1(x_1, y_1)$ 과  $C2(x_2, y_2)$ 를 지나는 직선의 기울기이며, 식 (4)와 같이 구해진다. (그림 5)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V}{H}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right) \tag{4}$$

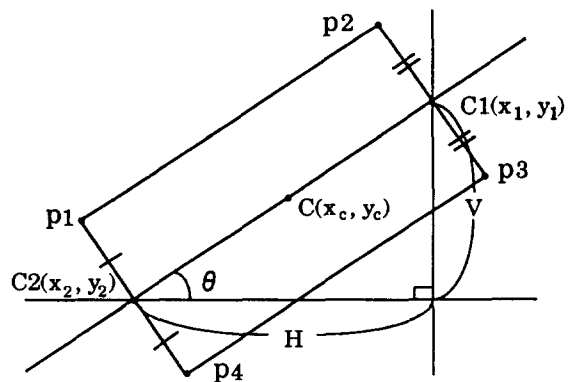


그림 5. 중심 좌표와 회전된 방향  
Fig. 5. Center and rotated orientation.

2. 알고리즘 2 : 형태학적 방법

본 방법은 수리형태학<sup>[17], [18]</sup>을 이용하는 알고리즘으로 골격 부분 집합으로부터 중심 좌표와 방향을 계산하며, HMT를 이용해 코너 ID를 확인해 최종 방향을 결정한다. 이 방법에서 구해진 골격은 SMD의 핀 검사 시 사용되기도 한다.

1) Opening 처리

SMD의 리드없는(leadless) 영상을 만들기 위해

opening 연산을 행하며, 5×5의 CIRCLE 구성소가 사용된다. 이는 각형(角形)의 리드없는 수동 소자와 마찬가지로 패키지형의 리드있는(leaded) 능동 부품인 QFP나 small outline package(SOP) 등에도 동일한 알고리즘이 적용될 수 있기 때문이며, 패키지형 부품에 있어서 패키지의 각 코너점만을 구하는데 리드없는 상태가 요구된다. 그림 7 (a)와 (b)의 왼쪽에 SMD의 2차화된 원영상과 가운데에 opening 연산 후의 영상을 보이고 있다.

2) 코너점 추출

물체의 코너점은 opening 연산 후 골격 부분집합 (skeleton subset)을 통해서 구해진다. 리드없는 영상에서의 골격은 원영상(X)을 opening 연산한 다음 리드없는 영상과의 집합의 차(set difference)인  $S_0$ 를 구한 후, 골격들의 부분 집합인  $S_n$ 이 식 (5)를 통해 차례로 구해진다. 이 때 얻어진 1차 골격 부분집합  $S_0$ 이 코너점이며, 사용되는 구성소는 3×3의 RHOMBUS나 5×5의 CIRCLE이다. 골격들의 전체 집합인 SK(X)는 식 (6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$S_n(X) = [ (X \ominus nB) \setminus [ (X \ominus nB) \cdot B ] ] \quad (5)$$

$$SK(X) = \bigcup_{n=0}^N S_n(X) \quad (6)$$

$$N = \max \{ n : (X \ominus nB) \neq 0 \}$$

여기서  $\ominus$ ,  $\cdot$  및  $\setminus$ 는 각각 erosion, opening 및 집합의 차(set difference)이다.

이 경우 4개의 코너점(1차 골격 부분집합)이 구해지지 않는 경우 2차 골격 부분집합  $S_1$ 을 구해야 한다. 골격의 특성상 물체의 중심으로 가면서 골격이 구해진다는 사실을 이용하며, SMD는 정형화된 형태를 지니므로 쉽게 1차 골격 부분 집합으로부터 코너점이 구해진다.

3) 중심점의 위치 및 방향 계산

4개의 코너점이 구해지면 그 코너점들로부터 중심점과 방향을 계산한다. 중심 좌표와 방향은 알고리즘 1에서와 동일한 방법으로 구해지며, 네 개의 교점 대신 코너점이 이용된다. 이렇게 식 (4)와 같이 계산된 기울기  $\theta$ 가 올바르게 구해진 기울기인가를 확인할 필요가 있으므로  $\theta$ 만큼 회전한 후 SMD의 1번 pin의 위치를 나타내는 코너 ID를 확인해야 한다. 이 때 좌표 변환이 수행되는 이유는 HMT에 사용될 구성소의 수가 현저히 감소되며, HMT의 연산 회수도 감소되기 때문이다. 만일 그렇지 않으면 상당히 많은 Hit 구성소와 Miss 구성소의 쌍을 가지고 있어야 하며, 계산

양과 시간이 늘어나게 된다. 회전은 각 화소 좌표  $(x, y)$ 의 새 좌표  $(x', y')$ 를 계산하여 구현하며, 좌표변환식은 식(7)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

구해진 새 영상에 대해 Hit-or-Miss 변환에 의해 코너점의 매칭 여부를 확인한다.

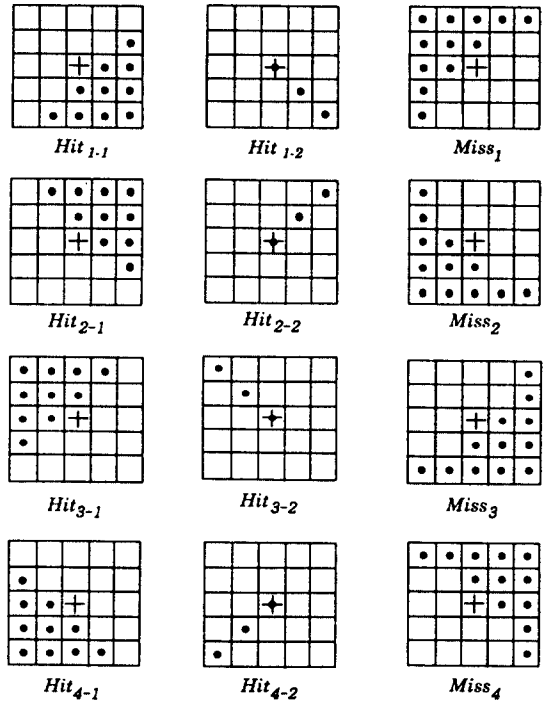


그림 6. 최종 방향 결정을 위한 hit SE와 miss SE

Fig. 6. Groups of hit SE and miss SE for determining an ultimate orientation.

이 경우에 사용되는 Hit 구성소와 Miss 구성소는 그림 6에 보인 5×5의 구성소들로 이루어지며, HMT는 식 (8) 및 식 (9)으로 행해진다. 구성소 B는 두 부분 집합  $B^1(Hit_{n-1})$ 이나  $Hit_{n-2}$ 과  $B^2(Miss_n)$ 로 구성되어 있다고 하면 구성소 B에 의한 X의 Hit-or-Miss 변환  $X \oplus B$ 은  $B^1$ 이 X에,  $B^2$ 가  $X'$ 에 포함되어 있는 모든 화소들의 집합이며, 다음 식 (8)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X \oplus B &= \{ x : B^1 \subset X ; B^2 \subset X' \} \\ &= (X \ominus B^1) \cap (X' \ominus B^2), \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $B^2(Miss_n)$ 는 보통  $B^1(Hit_{n-1})$ 이나  $Hit_{n-2}$ 의 차

보수(window complement)로 사용되며, 식 (9)와 같이  $T^i(Hit_{n-1})$ 이나  $Hit_{n-2}$ 과  $(T^i)^c(Miss_n)$ 로 표현된다.

$$X \otimes B = (X \ominus T^i) \cap (X^c \ominus (W \cap (T^i)^c)) \quad (9)$$

식 (9)에서 W는 일정한 크기의 창(window)을 나타내며, 본 논문에서는 5×5의 크기를 가진다.

$Hit_{n-1}$ 이나  $Hit_{n-2}$  구성소와  $Miss_n$  구성소에 의한 HMT 연산을 수행하여 코너 ID의 특징과 매칭되는 결과에 따라 n값이 결정되며, 최종적인 방행  $\theta'$ 는 식 (10)과 같이 얻어진다.

$$\theta' = \theta + \frac{n-1}{2} \pi, \quad n=1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

### III. 부품 검사

장착될 부품의 중심 좌표와 방향을 계산하는 과정과 함께 부품의 불량 여부(유무)를 검사하는 과정도 SMT의 중요한 부분이다. 이 과정은 양품만의 장착을 위해 장착 과정 이전에 미리 수행되는데, 리드없는 각형의 수동 소자에는 이 과정이 생략되며, QFP나 SOP같은 리드있는(leaded) SMD 리드의 휨이나 부러짐 등을 검사한다. 본 논문에서는 두 가지 검사 알고리즘이 제안된다. 첫째는 2진 형태학을 이용한 초기 검사 방법이며, 둘째는 리드의 골격이나 에지에 ruler를 이용하는 정밀 검사 방법이다.

#### 1. 초기 검사 (Initial Inspection)

이 검사 방법은 중심과 방행 계산에 앞서 수행되며, 형태학을 이용하는 알고리즘 2에 이용된다. 로봇의 진공 흡착기에 들어 올려져 카메라에 취득된 SMD의 불량 여부를 검사하는데 형태학적 연산자를 이용하는 방법으로는 핀 굵기에 따른 구성소로 opening과 closing 연산에 이용하게 되며, 구성소는 장착될 부품에 맞게 컴퓨터에 기억된 정보에 따라 자동으로 선택된다.

어떤 핀이 이웃한 핀과 닿아 있거나 근접할 정도로 휘어 있으면 opening 연산 후 붙어 있는 핀 부분이 그림 7(b)의 가운데 그림처럼 검출되어 나타난다. 또한 핀이 부러져 있거나 지나치게 휘어 있는 부분은 closing 연산 후 그림 7(b)의 오른쪽 그림과 같이 나타남을 알 수 있다. 이 때 사용되는 구성소는 opening 연산 시 5×5의 CIRCLE이, closing 연산 시 7×7의 CIRCLE이 각각 사용된다.

이러한 형태학적 검사는 부품의 중심점과 기울기를

구하기 전에 수행되는 초기 검사 (initial inspection) 방법이며, 이 과정에서 불량으로 판정되면 로보트는 부품을 버리고 새 부품을 집게 된다.

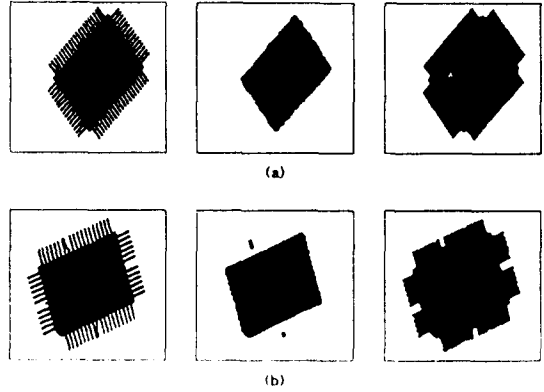


그림 7. 초기 검사 : (a) 정상 부품, (b) 불량 부품 (왼쪽 : 원영상, 가운데 : opening, 오른쪽 : closing)

Fig. 7. Initial inspection : (a) normal SMD and (b) inferior SMD. (left : original, center : opening, right : closing)

더 정밀한 검사 (detailed inspection) 방법은 부품의 중심 좌표와 방향을 구한 후 골격이나 에지에서의 ruling 과정을 통해 수행될 수 있다.

#### 2. 정밀 검사 (Detailed Inspection)

이 방법은 중심과 방행 계산 후 수행되며, 알고리즘 1과 2에 공히 적용되는 방법이다. 중심 좌표를 구하기 위해 쓰인 네 교점이나 코너점을 이용해 리드 검사에 사용할 ruler를 구성한다.

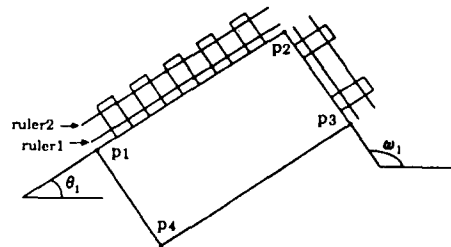


그림 8. 정밀 검사를 위한 ruler  
Fig. 8. Rulers for the detailed inspection.

QFP의 경우 두 가지 ruler가 네 측면에 각각 적용되는데 그림 8에서 보인 것처럼 두 교점(또는 코너점) p1과 p2가 이루는 각도  $\theta_1$ 에 평행한 직선을 리드 길이의 30%와 80% 되는 곳에 각각 적용해 ruler1과

ruler2로 한 다음 리드 간격(lead pitch)과 리드의 각도(orientation)를 측정한다. 이 때 일정한 리드 간격과 각도인지에 따라 불량 여부가 판단된다. 알고리즘 1에서는 이미 구해진 에지 영상을 이용하게 되며, 알고리즘 2에서는 리드만의 영상을 이용하게 된다. Ruling 기법의 개략을 그림 9에서 보이고 있다.

1) 에지 영상에서의 ruling

2.1.절에서 구한 에지 영상에 그림 8에서와 같은 한 쌍의 ruler를 각 측면에 적용해 ruler와 에지와의 교점들을 구한다. 각 교점 쌍의 중간점들을 연결해 각 리드의 기울어진 각도  $\varphi_n$ 를 구한다(그림 9(a)). 각 리드의 각도  $\varphi_n$ 은  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 의 평균인  $\omega$ 와 비교되며,  $\omega_1$ 은 p1과 p2가 이루는 각이고  $\omega_2$ 는 p3과 p4가 이루는 각이다. 리드 각도  $\varphi_n$ 이 ruler 각도  $\omega$ 의  $\pm 20\%$  내에 있는가에 따라 리드의 불량 여부가 결정된다.

2) 리드의 골격 영상에서의 ruling

리드 영상은 2.2.절에서 구한 2차화된 영상에서 리드없는 영상과의 차영상을 구하여 얻어지게 된다. 이 리드만의 영상에서 식 (5)와 (6)을 이용해 형태학적 골격을 구한 다음 그림 9(b)에서와 같이 두 개의 ruler와 교차하는 골격점을 찾는다. 그 골격점을 이어 각 리드의 기울어진 각도  $\varphi_n$ 을 구한 다음 1)절에서와 같이 ruler 각도  $\omega$ 와 비교해 불량 여부를 결정하게 된다.

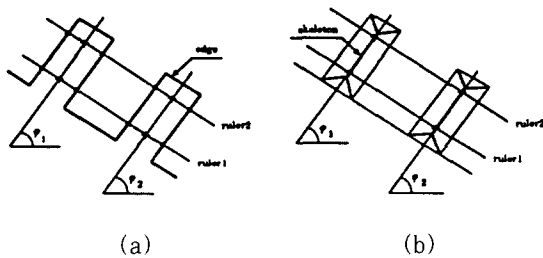


그림 9. 에지와 골격에서의 ruling 기법 : (a) 에지에서의 ruling, (b) 형태학적 골격에서의 ruling

Fig. 9. Ruling technique on edge and skeleton : (a) ruling on edge and (b) ruling on morphological skeleton.

IV. 실험 및 고찰

본 장에서는 연구에 사용된 실험 환경, 하드웨어 구성 및 그 실험 결과를 보인다. 두 알고리즘의 속도와

정확도가 실험을 통해 비교되며, 고찰을 통해 본 연구의 유효성을 입증해 보이고 있다.

1. 영상 취득과 실험 장치

실험에 사용될 SMD 영상 취득 시 조명은 상당히 중요한 변수가 된다. 가장 일반적으로 사용될 수 있는 조명 방법은 카메라와 광원을 다른 방향에 두는 방법이며, 적외선 LED를 사용해 배경으로부터 부품 리드와 솔더 패드 영상을 분리 취득하는 방법<sup>15)</sup>, LASER 광에 의한 structured-light를 이용하는 방법<sup>14)</sup> 등이 있으나, 본 연구에서는 할로겐 램프를 SMD를 집고 있는 진공흡착기의 가까운 후방에서 조명하는 방식으로 그림자(silhouette) 영상을 얻는 후방 조명 방법<sup>11)</sup>을 사용하였다. 이 방법은 농담 영상을 문턱치화 하여 2차 영상을 구하는 과정에서 데이터의 손실을 최소화하는 이점을 지니고 있다.

512×480×8 bit의 해상도를 지닌 영상이 취득되어 사용되며, 영상 처리 및 알고리즘의 수행은 SUN/4 워크스테이션에서 행해졌다. DSP 보드와 교호(交互 : interface)할 하드웨어 구현에 관한 실험은 32bit MC68030 CPU와 MC68882 수치 연산 프로세서를 채용한 Motorola사의 MVME 147 시스템을 사용하였다. MVME 147 시스템은 VME bus 구조를 가진 하드웨어 개발 시스템이며, UNIX를 OS로 하는 다중 확장 slot을 가진 다양한 기능의 시스템이다.

2. 하드웨어 구현 및 소프트웨어

MVME 147 시스템과 교호될 DSP 보드는 20MHz의 DSP 56001을 사용하여 제작되었으며, 2.1.절에서의 Hough 변환 방법을 이용한 알고리즘에 적절하도록 제작된 것이다.

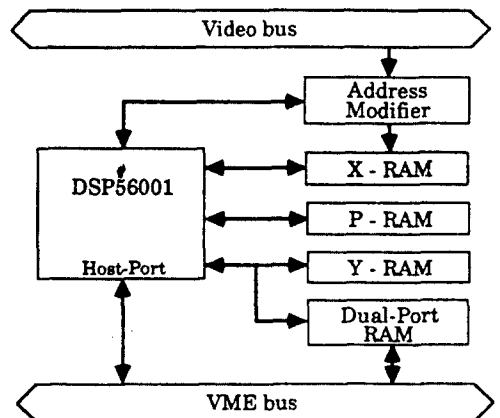


그림 10. DSP 보드의 블럭도  
Fig. 10. Block diagram of DSP board.

DSP 56001은 10.25 mips의 승산 속도와 56bit의 누산기 및 ALU를 가지고 있으며, 24bit의 데이터 버스 및 어드레스 버스를 가진 고성능 수치 연산 보조 프로세서이다. DSP 보드는 그림 10과 같이 구성되었으며, VME 버스 interface부, video 메모리부, dual-port RAM부, 프로그램 RAM부, X-data RAM부, Y-data RAM부 등으로 구성되었으며, 그림 11에 실제 제작된 보드와 MVME 147시스템을 보이고 있다. 또한 SUN 및 MVME 147은 UNIX를 OS로 하므로 C언어로 프로그램 되었으며, DSP 보드에는 DSP 56001 어셈블리어로 작성된 프로그램이 사용되었다.

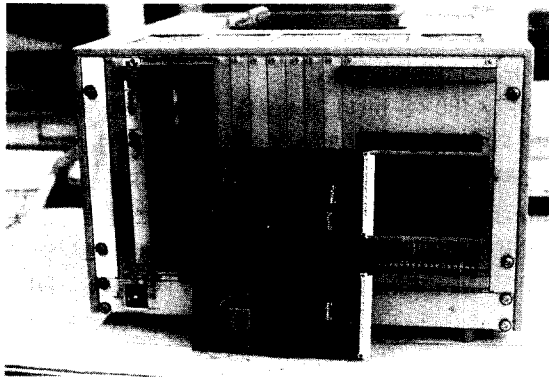


그림 11. 제작된 DSP 보드와 MVME 147  
Fig. 11. Developed DSP board and MVME 147.

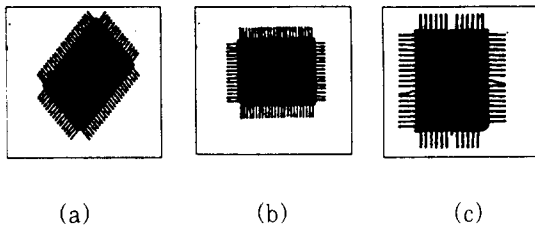


그림 12. 실험에 사용된 SMD 영상 : (a) 정상 80핀 SMD (영상 1), (b) 정상 80핀 SMD (영상 2), (c) 불량 62핀 SMD (영상 3)  
Fig. 12. SMD images used in experiments : (a) normal 80pin SMD (image 1), (b) normal 80pin SMD (image 2), and (c) inferior 62pin SMD (image 3).

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서의 실험은 실제 40×30mm의 크기에 512×480×8bit의 해상도를 갖는 영상을 대상으로 하

였으며, 화소 당 오차는 0.063~0.078mm인 비교적 높은 정밀도를 가지는 영상이다. 실험 대상의 SMD가 80핀의 정상 부품과 62핀의 불량인 제품이며, 부품 장착 전에 SMD의 중심점과 회전된 각도를 구하기 위해 제안된 알고리즘들 및 불량 여부를 검사하는 알고리즘들을 컴퓨터 모의 실험 및 DSP 보드에서의 수행 결과를 통해 비교하였다.

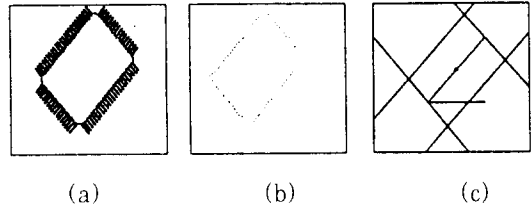


그림 13. 특징점의 Hough 변환에 의한 결과 (영상 1) : (a) 에지 영상, (b) 오목한 점들, (c) 중심과 방향  
Fig. 13. Experimental result by the Hough transform (image 1) : (a) edge image, (b) concave points, and (c) center and orientation.

실험 대상은 정상의 80핀 SMD와 불량 62핀 SMD이고, 그림 12에서 실험에 사용될 2치화한 영상들을 보이고 있다. (a)와 (b)는 정상의 80핀 SMD를 51.5° 회전된 상태 (영상 1)와 회전되지 않은 상태 (영상 2)에서 각각 취득한 영상이며, (c)는 불량 62핀 SMD를 90° 회전된 상태에서 취득한 영상 (영상 3)이다.

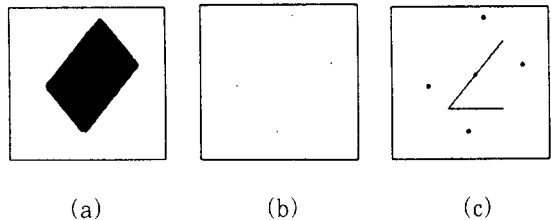


그림 14. 특징점의 Hough 변환에 의한 결과 (영상 2) : (a) 에지 영상, (b) 오목한 점들, (c) 중심과 방향  
Fig. 14. Experimental result by the Hough transform (image 2) : (a) edge image, (b) concave points, and (c) center and orientation.

그림 13~16에서는 영상 1과 영상 2에 대해 중심점의 위치와 회전된 방향을 구한 실험 결과를 나타내었으며, 그림 17~20에서는 영상 1과 영상 3에 대해 부품의 불량 여부를 검사한 실험 결과를 보이고 있다. 그림 13과 그림 14에서, (a)는 2치화된 영상에서 추출된



에지 영상이며, (b)는 추출된 에지에서 오목한 특징을 지니는 점들만을 찾아낸 특징점들의 영상이다. 그 점들에 대해 Hough 변환에 의해 찾아진 네 직선과 그 직선들의 교점에 의해 구해진 중심점의 위치와 회전된 방향을 구한 결과를 그림 13과 그림 14의 (c)에서 보이고 있다. 그림 15와 그림 16에서, (a)는 2치화된 영상에 5×5의 CIRCLE로 opening 연산을 하여 구해진 리드없는 영상이며, (b)는 골격 부분집합에 의해 얻어진 코너점들, (c)는 이 코너점에 의해 구해진 중심점과 회전된 각도를 보여주고 있다.

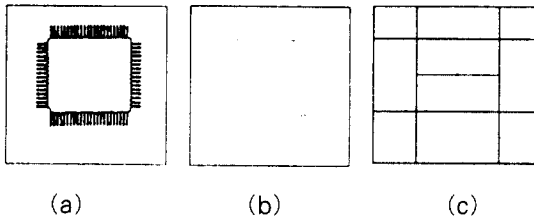


그림 15. 골격 부분집합에 의한 결과 (영상 1) : (a) 에지 영상, (b) 오목한 점들, (c) 중심점과 방향

Fig. 15. Experimental result by the morphological approach (image 1): (a) leadless image, (b) cornerpoints, and (c) center and orientation.

또한 그림 17과 그림 18에서는 추출된 에지에 대한 부품 검사 과정을 보이고 있다.

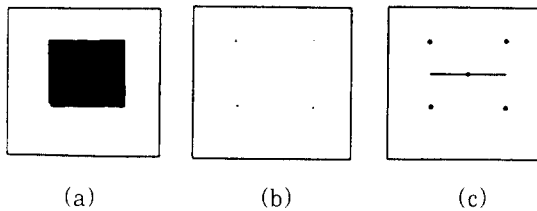


그림 16. 골격 부분집합에 의한 결과 (영상 2) : (a) 리드없는 영상, (b) 코너점들, (c) 중심점과 방향

Fig. 16. Experimental result by the morphological approach (image 2) : (a) leadless image, (b) cornerpoints, and (c) center and orientation.

두 그림에서 (a)는 추출된 에지 영상이며, (b)는 Hough 변환을 통해 계산된 교점과 방향으로부터 구한 ruler를 나타내고 있으며, (c)는 에지와 ruler의 교차점으로부터 구한 리드의 방향을 나타내었고, (d)는 리드의 방향으로 부터 구해진 불량 리드의 위치를 나타내었다. '·'는 부러진 핀의 위치를, 'o'는 휘어진 핀의 위치를 나타낸다.

위치를 나타낸다. 그림 19와 그림 20에서는 리드없는 영상과 2치화된 영상의 차영상에서 구한 리드 영상에 대한 부품 검사 과정을 보이고 있다. (a)는 구성소를 5×5의 CIRCLE로 하여 opening 연산을 행한 결과이며, (b)는 2치화된 영상에서 opening된 영상의 차영상을 구한 리드만의 영상이며, (c)는 리드의 형태학적 골격만을 구한 영상이다.

표 1. 각 알고리즘에 의한 계산 결과 (영상 1)  
Table 1. Experimental result for image 1.

	Measurement			Error		
	center (mm)		Angle (degree)	center (mm)		Angle (degree)
	x	y		x	y	
Morphological Method	21.328	14.375	51.709	0.028	0.025	0.209
Hough Method	21.202	14.340	50.026	0.098	0.060	1.474

( actual position  $\Rightarrow$  x : 21.3, y : 14.4,  $\theta$  : 51.5 )

(d)는 리드의 골격에 코너점의 위치와 방향으로부터 구해진 ruler를 적용한 것이며, (e)는 골격과 각 ruler의 교차점으로부터 구해진 리드의 방향을 나타내었으며, (f)는 실제 리드의 방향선에서 얻어진 불량 핀의 위치를 나타내었으며, '·'는 부러진 핀의 위치를, 'o'는 휘어진 핀의 위치를 나타낸다.

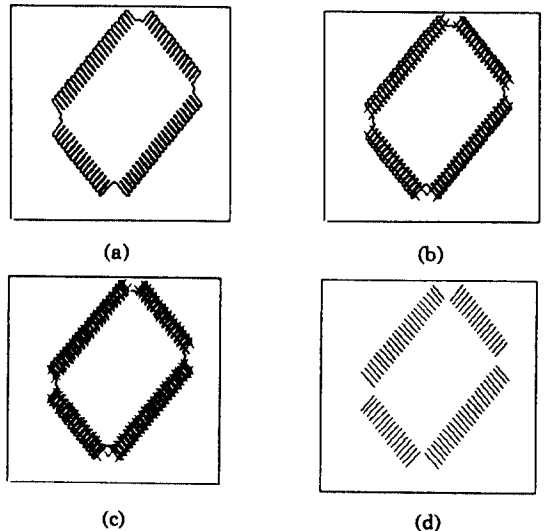


그림 17. 에지에서의 부품 검사 결과 (영상 1) : (a) 에지 영상, (b) 에지와 ruler, (c) ruler와 리드 방향, (d) 리드 방향

Fig. 17. Ruling results on edge (image 1) : (a) edge image, (b) edge and ruler, (c) ruler and lead direction, and (d) lead direction.

표 1과 표 2를 통해 Hough 변환에 근거한 컴퓨터 모의 실험 결과치와 수리형태학에 근거한 모의 실험

표 2. 각 알고리즘에 의한 계산 결과 (영상 2)  
Table 2. Experimental result for image 2.

	Measurement			Error		
	center (mm)		Angle (degree)	center (mm)		Angle (degree)
	x	y		x	y	
Morphological Method	20.820	14.063	0.00	0.020	0.037	0.00
Hough Method	20.390	14.063	0.00	0.410	0.037	0.00

( actual position  $\Rightarrow$  x : 20.8, y : 14.1,  $\theta$  : 0.0 )

결과치를 보이고 있으며, 표 3에서 각 알고리즘에 의한 수행 시간과 제작된 DSP 보드에서의 수행 시간도 나타내었다.

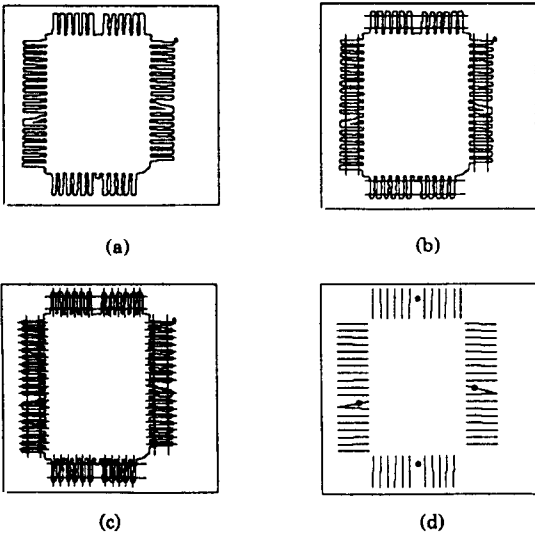


그림 18. 에지에서의 부품 검사 결과 (영상 3)  
: (a) 에지 영상, (b) 에지와 ruler, (c) ruler와 리드 방향, (d) 결함있는 리드

Fig. 18. Ruling results on edge (image 3)  
:(a) edge image, (b) edge and ruler, (c) ruler and lead direction, and (d) defective leads.

실험 결과에 의하면 수리형태학에 의한 방법이 Hough 변환에 의한 방법보다 더 작은 오차를 보이고 있으며, 수행 시간도 더 빠르다는 것을 알 수 있다. 또한 DSP 보드에서의 수행 시간을 보면 S/W에서의 실행에 의해 서만은 기대할 수 없는 실시간 처리를 가능케 함을 알 수 있었다. 이는 수리형태학을 이용한 비선형 파이프라인 프로세서(nonlinear pipeline processor : NPP)

에 의한 하드웨어의 구현 시 더 정밀하고 빠른 실시간 처리의 SMT를 가능케 할 것임을 보여준다.

표 3. 각 알고리즘과 DSP 보드에서의 수행 시간  
Table 3. Execution time of algorithms and DSP board.

Execution Time (sec)	Image 1	Image 2
Morphological Method (on SUN4)	3.2	3.3
Hough Method (on SUN4)	3.9	3.7
Hough Method (on DSP board)	0.310	0.294

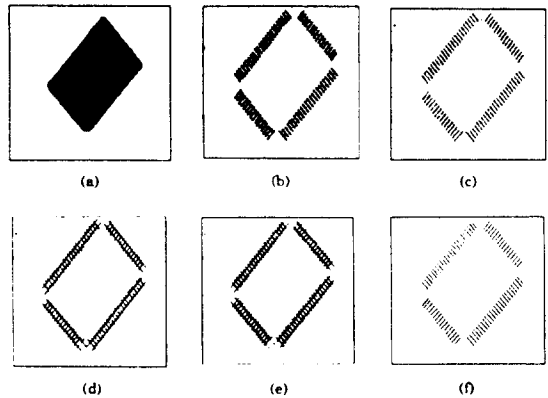


그림 19. 형태학적 골격에서의 부품 검사 결과 (영상 1) : (a) 리드없는 영상, (b) 리드 영상, (c) 리드의 골격, (d) 골격과 ruler, (e) ruler와 리드 방향, (f) 리드 방향

Fig. 19. Ruling results on morphological skeleton (image 1) : (a) leadless image, (b) lead image, (c) skeleton of leads, (d) skeleton and rulers, (e) rulers and pin direction, and (f) pin direction.

## V. 결 론

SMT 자동화에서 정밀도와 기계 의존도를 높이기 위해서는 기계 시각 시스템에 의한 여러 영상 처리 기술의 도입이 요구되었고, 이의 실시간 처리가 가능하도록 하기 위해서는 알고리즘의 하드웨어 구현이 가능해야 한다. 본 논문에서는 이러한 중요한 요인들을 만족하는 두 가지 알고리즘인 Hough 변환을 이용하는 방법과 형태학을 이용하는 방법이 제안 및 비교되었다.

첫번째 방법에서는 SMD의 특징점인 오목한 점들만을 찾아 Hough 변환하여 직선을 계산하며, 두번째 방법에서는 형태학적 골격 부분 집합에서 구해낸 코너점과 HMT에 의해 찾아지는 코너 ID에 의해 계산된 직

선으로부터 중심과 방향을 구하는 방법이다. 실험 결과에서 보듯이 형태학에 의한 방법이 Hough 변환에 의한 방법보다 작은 오차를 가지며, 수행 속도가 좀더 빠르다는 것을 알 수 있었다. 형태학적 방법은 초기 검사 과정을 추가하여 검사를 2원화 함으로써 불량 부품의 positioning 과정을 생략할 수 있어 보다 능률적이다. 또한 정밀 검사 과정에서는 두 가지 방법에서 모두 비슷한 결과가 얻어짐을 보여주었다.

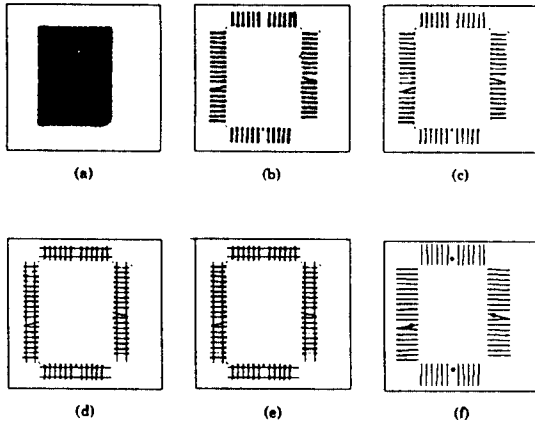


그림 20. 형태학적 골격에서의 부품 검사 결과 (영상 3) : (a) 리드없는 영상, (b) 리드 영상, (c) 리드의 골격, (d) 골격과 ruler, (e) ruler와 리드 방향, (f) 결함있는 리드

Fig. 20. Ruling results on morphological skeleton (image 3) : (a) leadless image, (b) lead image, (c) skeleton of leads, (d) skeleton and rulers, (e) rulers and lead direction, and (f) defective leads.

SMT의 고속화를 위해 Hough 변환에 근거한 DSP 보드를 제작하여 실행해봄으로써 실시간 처리가 가능함을 보여주었다. 따라서 형태학적 연산을 위한 비선형 파이프라인 프로세서 (NPP)<sup>[19]</sup>에 의한 VLSI를 구현하면 보다 빠르고 정확한 결과가 기대될 수 있을 것이다. 앞으로의 연구 과제로는 수리형태학을 이용한 SMT 자동화와 속도와 정밀도 면에서 좀더 좋은 결과를 보일 수 있는 NPP에 의한 범용 시스템 구축에 관한 연구가 될 것이며, 이를 통하여 제반 영상 처리 기술에 활용할 수 있는 연구가 행해질 것이다.

참 고 문 헌

[1] X. Wang and G. Bertrand, "Some Se-

quential Algorithms for a Generalized Distance Transformation Based on Minkowski Operations," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol. 14, no. 11, pp. 1114-1121 (Nov. 1992).

[2] Y. Hara, H. Doi, K. Karasaki, and T. Iida, "A System for PCB Automated Inspection Using Fluorescent Light," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol. 10, no. 1, pp. 69-78 (Jan. 1988).

[3] G. A. W. West, "A System for the Automatic Visual Inspection of Bare-PCB," IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, vol. 14, no. 5, pp. 767-773 (Sep./Oct. 1984).

[4] S. L. Barlett, P. J. Besl, C. L. Cole, R. Jain, D. Mukherjee, and K. D. Skifstad, "Automatic Solder Joint Inspection," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol. 10, no. 1, pp. 31-43 (Jan. 1988).

[5] D. W. Capson and R. M. C. Tsang, "Automated Visual Measurement of Surface Mount Device Placement," IEEE Trans. Robotics Automat., vol. 6, no. 1, pp. 44-52 (Jan. 1990).

[6] C. A. Keely and C. C. Morehouse, "Structured light technique applied to solder paste height measurement," Proc. SPIE, vol. 850, pp. 88-92, Cambridge Mass. (Nov. 1987).

[7] N. S. Chang, "SMV - A Computer Vision Program for Loading Surface Mount Components," Proc. SPIE vol. 557, pp. 76-80, San Diego, CA. (Aug. 1985).

[8] K. Iwata, K. Igura, T. Takahashi, T. Nemoto, M. Ida, and T. Izawa, "Inspection System of Surface-Mounted Components," Proc. Int. Workshop on Industrial Automat. Sys. IEEE, vol. TH0165-1, pp. 6-10, Tokyo, Japan. (Feb. 1987).

[9] K. Matsuzaki, M. Isobe, and K. Takeichi, "Compact Robot Vision System HV/-2 Series and Application for FIC Mounting Machine," Hitachi Review,

- vol. 39, no. 3, (Mar. 1990).
- [10] 정홍규, 박래홍, "SMD 및 PCB의 방향과 위치 탐지," 전자공학회논문지, 제26권 B편, 제3호, pp. 80-90, 1994년 3월
- [11] 차국찬, 박일수, 최중수, "SMT에서 정합 및 부품검사 알고리즘에 관한 연구," 전자공학회 논문지 제 29권 B편 제 1호, pp. 76-84, 1992년 1월.
- [12] J. S. Kwon and J. S. Choi, "Application Algorithm of Mathematical Morphology for SMT," Proc. SPIE, vol. 2094, pp. 171-182, Cambridge Mass. (Nov. 1993).
- [13] R. O. Duda and P. E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis, John Wiley & Sons, New York (1973).
- [14] D. H. Ballard and C. M. Brown, Computer Vision, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. (1982).
- [15] M. H. Han, D. Jang, and J. Foster, "Identification of Cornerpoints of Two-Dimensional Images Using A Line Search Method," Patt. Recog. vol. 22, no. 1, pp. 13-20 (Jan. 1989).
- [16] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, New York (1992).
- [17] G. Matheron, Random Sets and Integral Geometry, Wiley, New York (1975).
- [18] J. Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, London (1982).
- [19] A. C. P. Loui, A. N. Venetsanopoulos, and K. C. Smith, "Flexible Architectures for Morphological Image Processing and Analysis," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology, vol. 2, no. 1, pp. 72-83 (Mar. 1992).

저 자 소 개

權 俊 植(正會員)

1959年 12月 17日生. 1984年 8月 중앙대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1986年 8月 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학 석사). 1986年 10月 ~ 1987年 10月 현대전자. 1987年10月 ~ 1991年 8月 금성통신. 1991年 9月 ~ 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 (1995年 2月 공학 박사 취득 예정). 주 관심 분야는 패턴 인식, 영상 처리, 수리형태학 등임.

崔 宗 秀(正會員) 第 28卷 B編 第 5號 參照

현재 중앙대학교 전자공학과 교수