

칩 마운터에의 FIC 부품 인식을 위한 실시간 처리 알고리즘에 관한 연구 A Study on the Real Time Inspection Algorithm of FIC Device in Chip Mounter

°류경*, 김영기*, 문윤식*, 박귀태*, 김정민**

* 고려대학교 전기공학과(Tel:+82-2-927-3268; Fax:+82-2-921-1325; E-mail: lyou@eeserver.korea.ac.kr)

** 국립여수수산대학교 전기공학과(Tel:+82-662-650-0345; Fax:+82-2-921-1325; E-mail: kkm@eeserver.korea.ac.kr)

Abstracts This paper presents the algorithm of FIC inspection in chip mounter. When device is mounted on the PCB, it is impossible to get zero defects since there are many problems which can not be predicted. Of these problems, devices with bent corner leads due to mis-handling and which are not placed at a given point measured along the axis are principal problem in SMT(Surface Mounting Technology).

In this paper, we proposed a new algorithm based on the Radon transform which uses a projection to inspect the FIC(Flat Integrated Circuit) device and compared this method with other algorithms. We measured the position error and applied this algorithm to our image processing board which is characterized by line scan camera. We compared speed and accuracy in our board.

Keywords SMT, Radon transform, Projection, line scan camera.

1. 서론

생산 시스템의 자동화에 따라 최근 들어 정확도를 높이기 위해 기존의 방법 대신 비전(vision) 기술이 많이 사용되어 여러 분야에 적용되고 있다. 이에 따라 기판에 부품을 자동으로 장착하는 표면 실장 기술(Surface Mounting Technology)에 있어 리드의 수가 많아지고 리드 간격이 더욱 조밀해져 종전의 방법 대신 비전 기술이 필요하게 되었다. 표면 실장 기술은 표면 실장 부품의 처리시 고속성과 정밀성을 요구하게 되어 비전 시스템의 속도와 정밀도는 전체 공정에 있어 중요한 영향을 미친다.

일반적으로 표면 실장 기술에 있어 부품의 중심과 방향을 구하는 알고리즘은 모멘트를 이용한 방법[2], Hough 변환을 이용한 방법[7], 템플레이트 매칭을 이용한 방법[9], 수리 형태학을 이용한 방법[10]등이 제안되었다. 본 논문에서는 부품의 자동 장착시 발생하는 위치 및 방향 오차를 구하는 방법을 제안하여 다른 알고리즘과 비교해 보았다. 표면 실장 부품(Surface Mount Device)에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 리드가 존재하는 FIC(Flat integrated Circuit) 부품으로 한정되었다. 이는 FIC 부품의 리드 수가 많고 리드 간격이 조밀하여 정밀도를 요구하고 있으며, 기존의 부품들도 PCB 표면 위에 리드 삽입을 위한 구멍을 만들 필요가 없는 FIC 형태의 부품으로 바뀌어 가고 있기 때문이다.[8] 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 기존의 FIC 인식 알고리즘에 대해 살펴보고, 다음으로 제안된 라돈 변환을 이용한 부품의 검사 방법에 대해 기술하였으며, 이를 서로 비교 실험하여 고찰해 보았다.

2. 기존의 FIC 인식 알고리즘

부품은 칩 마운터 내에서 카세트에 담겨져 있다가 진공 노즐에 흡착되어 기판 위의 실장될 위치로 이동한다. 진공 노즐에 부품이 정확히 흡착이 되지 못하고 부품의 방향 및 위치 오차가 발생함에 따라 기판에 실장할 때 이를 보정해 주어야 한다.

그래서 부품을 기판 위로 이동할 때 밑에 카메라를 부착하여 부품에 위치 및 방향 오차를 보정하는 방법이 사용되고 있다.

이때 카메라에서 취득한 영상을 처리하여 부품의 위치 및 방향 오차를 관측할 수 있다.

2.1 모멘트를 이용한 방법^[5]

디지털 영상 $f(x, y)$ 에 있어서 모멘트는 다음과 같이 정의된다.

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j f(x, y) \quad (1)$$

부품의 무게 중심 \bar{x} 및 \bar{y} 는 0차 모멘트와 1차 모멘트를 이용해서 다음 식으로 구해진다.

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2), (3)$$

중심 모멘트(central moment)는 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j f(x, y) \quad (4)$$

대상체의 장축의 각도(orientation of major axis)는 수평축 기준으로 다음과 같이 계산된다.

$$\theta = -\tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02} + \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}} \right) \quad (5)$$

이 장축의 각도가 곧 부품의 비틀어진 각도가 된다.

2.2 허프(Hough) 변환을 이용한 방법^[7]

허프 변환을 통해 (x, y) 좌표계의 모든 점을 (ρ, θ) 좌표계로 옮긴 후 그 누적치를 계산하면 영상에 있어 각도 성분을 추출할 수가 있다. (x, y) 좌표계상의 직선 $y = ax + b$ 는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$y = ax + b = -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} x + \frac{\rho}{\sin \theta} \quad (6)$$

허프 변환을 통해 (x, y) 좌표계상의 모든 점을 (ρ, θ) 좌표계로 바꾼 후 그 결과 값을 누적 배열에 저장한 후 이 배열에 저장된 값을 소트(sort)하여 가장 큰 값이 영상에 있는 직선의 기울기와 거리가 된다.

허프 변환은 계산량이 많기 때문에 영상의 모든 점을 계산하면 상당한 시간이 걸린다는 단점이 있다. 그러므로 이를 보완하기 위해 영상의 부품에 있어 특징점을 추출한 후에 이 특징점만을

허프 변환을 통해 부품의 각도와 무게 중심을 계산하는 방법이 제안되었다. 이러한 특징점을 구하는 데에는 여러 가지 방법이 있을 수 있겠으나 본 논문에서는 간단한 방법으로 특징점들을 구해 위치 및 방향 오차를 알아낸 후 이 결과를 다른 방법으로 구한 결과와 비교해 보았다. 부품의 특징점은 부품의 리드에서 구하였다. 그림 1에서처럼 먼저 경계선 추적으로 부품의 경계선을 구한 다음 이 경계선의 정보로부터 리드의 위치를 판별하여 특징점들을 추출하였다. 일단 특징점을 추출한 후에 데이터량을 줄이기 위해 바깥쪽 리드의 특징점들을 제거하였다.

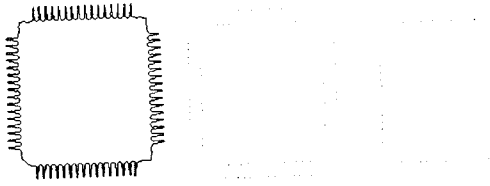


그림 1 실험 결과
 (a) 경계선 추적 영상
 (b) 특징점 추출
 (c) 바깥쪽 특징점 제거
 Fig.1 Result of experiments
 (a) edge followed image
 (b) extraction of specific pont
 (c) elimination of outer specific point

위의 영상을 얻은 후에 이 영상을 허프 변환을 통해 부품의 비틀어진 각도를 구하였다. 부품의 무게 중심은 허프 변환을 통해 나온 데이터를 가지고 4개의 직선의 방정식을 구한 후에 이 직선들로부터 중심을 구하였다.

2.3 십자 템플레이트(Cross Template)를 이용한 방법¹¹⁾

리드가 없는 각형 소자는 십자 템플레이트를 이용하여 중심과 방향을 구할 수 있다. 십자 템플레이트에서 양팔의 교점은 cross point라고 부르며 특히 이 양팔의 길이가 같을 때를 cross center라 한다. 일반적인 영상인 경우에는 cross center와 중심이 일치하지 않지만 FIC 부품과 같이 형태가 직사각형인 경우 cross center와 중심은 같은 값을 가진다. 십자 템플레이트를 이용한 방법은 초기에 cross point가 부품의 내부에 존재해야만 한다. Cross point가 부품의 내부에 존재한다고 가정했을 때 다음의 식에 의해 cross point $(X_p(k), Y_p(k))$ 는 cross center로 수렴한다.

Loop : DO

$$X_p(k) = X_p(k-1) + (L_3(k) - L_1(k))/2$$

$$Y_p(k) = Y_p(k-1) + (L_2(k) - L_4(k))/2$$

Until $|L_3(k) - L_1(k)| < \epsilon$ and $|L_2(k) - L_4(k)| < \epsilon$

ϵ : 양자화나 잡음의 영향을 고려한 한계치.

k : 반복횟수.

먼저 영상의 중심을 cross point로 잡은 후 위 식을 반복적으로 계산하면 cross point는 cross center로 수렴해 간다. 여기에서 영상의 중심이 부품 내부에 존재해야만 한다. 방향은 막대 십자 템플레이트 방법을 이용하여 그 평균값을 구할 수 있으며 부품과 막대 십자 템플레이트와 만나는 점들의 기울기의 평균으로 부품의 기울어진 정도를 판별한다.

2.4 수리 형태학(Morphology)을 이용한 방법¹¹⁰⁾

수리 형태학을 이용해 부품의 중심과 비틀어진 각도를 결정할 수 있다. 팽창(dilation)과 수축(erosion)을 실시해 부품의 리드를 제거한 다음 형태학적 골격(skeleton)을 이용해 부품의 네 모서

리를 구한 후 이 모서리로부터 부품의 중심과 각도를 결정하였다.

부품의 상태를 검사하는 순서는 다음과 같다.

- (1) Opening을 통해 리드 없는 영상을 얻는다.
- (2) 영상의 형태학적 골격을 통해 부품의 코너점을 찾는다.
- (3) 이 코너점으로부터 부품의 무게 중심과 비틀어진 각도를 검사한다.

Opening의 구성소는 그림 2와 같다.

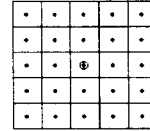


그림 2 Opening의 구성소
 Fig.2 Structuring element of opening

형태학적 골격을 구할 때 구성소는 그림 3과 같은 rhombus 구성소이다.

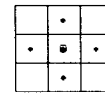


그림 3 Rhombus 구성소
 Fig.3 Structuring element of rhombus

형태학적 골격은 다음과 같이 다시 나눌 수 있다.

$$S(X) = \bigcup_{n=0}^{n_{max}} S_n(X) \quad (7)$$

$$S_n(X) = (X \ominus nG) / (X \ominus nG)_G \quad (8)$$

이때 부품의 모서리점은 집합 $S_0(X)$ 로부터 구할 수 있다. 이 모서리점으로부터 부품의 무게 중심과 방향을 계산하였다.

3. 라돈(Radon) 변환을 이용한 부품의 검사

3.1 방향 조사

본 논문에서는 수축과 라돈 변환을 이용하여 부품의 방향과 중심을 구하는 방법을 제안하였다. 먼저 방향은 수축 기법을 이용하여 부품의 경계선을 추출하였으며 수축은 앞절에서 설명하였고 이를 부품의 일부에만 적용하여 부품 경계선의 일부를 추출하였다. 이 경계선으로부터 부품의 방향을 구하였다. 수축의 구성소는 그림 4와 같다.

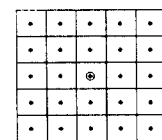
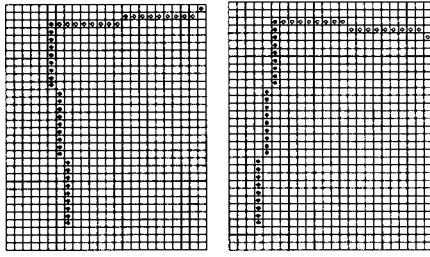


그림 4 수축의 구성소
 Fig.4 Structuring element of erosion

부품의 방향을 구하는 순서는 다음과 같다.

1. 영상을 래스터 주사하면서 부품을 만나면 다음의 과정을 시작한다.
2. 해당 화소에 수축을 실시하여 결과 값이 0(object)인지를 검사한다. 0이면 다음의 과정을 수행한다. 결과 값이 255이면 다음 화소를 계속 검사한다.
3. 값을 버퍼에 저장한 후 다음 라인으로 되돌아가서 1번의 과정을 다시 시작한다.
4. 버퍼의 크기가 일정 값을 넘으면 검사를 종료한다.

위의 과정을 거치면 부품의 방향에 따라 다음의 두 가지 경우가 성립하며 그림 5는 버퍼에 저장된 값을 보여준다.



(a) (b)

그림 5 수축 결과

- (a) 부품이 반시계방향으로 기운 경우
- (b) 부품이 시계방향으로 기운 경우

Fig.5 Result of erosion

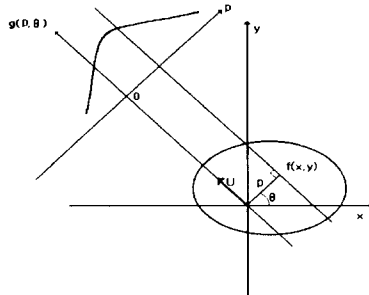
- (a) Rotated counterclockwise
- (b) Rotated clockwise

그림 5의 (a) 경우에는 버퍼에 저장된 값이 동일한 경계선을 나타내고 있지 않다. 그러므로 버퍼에 저장된 값 사이의 거리를 비교하여 일정 거리 미만이 될 때 이 점을 기준점으로 잡은 후 이 기준점부터 시작하여 버퍼에 저장된 값들의 평균 기울기를 구하였다.

3.2 Radon 변환을 이용한 부품의 검사

라돈 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$g(p, \theta) = \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - p) dx dy, \quad -\infty < p < \infty, 0 \leq \theta < \pi \quad (9)$$



p축으로의 투영

Projection to the p axis

회전된 좌표계 (p, u) 에서 변환식은 다음과 같다.

$$p = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad u = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (10)$$

Radon 변환은 (x, y) 좌표계에 있는 점들은 $g(p, \theta)$ 좌표계의 점들로 사상시킨다.

구한 θ 를 가지고 Radon 변환을 통해 $g(p, \theta)$ 를 구한 후 $g(p, \theta)$ 로부터 부품 및 리드의 위치를 판별하였다. 투영은 p축과 u축으로의 2가지를 이용하였다.

$$g(p, \theta) = \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - p) dx dy, \quad -\infty < p < \infty, 0 \leq \theta < \pi \quad (11)$$

$$g(u, \theta) = \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(-x \sin \theta + y \cos \theta - u) dx dy, \quad -\infty < u < \infty, 0 \leq \theta < \pi \quad (12)$$

앞절에서의 수축을 부품에 적용하면 그림 6에서 나타낸 p_{ref} 의

위치와 부품의 경계선이 된다. 즉 p_{ref} 의 바깥쪽 부분이 수축으로 인해 잘려 나가게 된다. 이렇게 구한 위치를 통해 리드의 위치를 판별하였다. 리드 위치 판별의 기준값은 그림 7에서 나타내는 것처럼 $g(p_{ref}, \theta)$ 로 선택하였다.

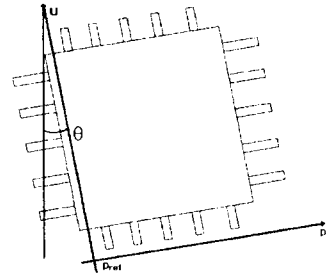


그림 6 p축으로의 기준점 설정

Fig.6 Determination of reference point to the p axis

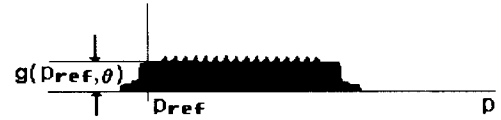


그림 7 $g(p_{ref}, \theta)$ 설정

Fig.7 Determination of $g(p_{ref}, \theta)$

부품 본체의 위치를 그림 8에서처럼 p_{min} 과 p_{max} 라고 할 때 이 값은 다음과 같이 결정하였다.

$$g(p_i, \theta) < t g(p_{ref}, \theta) \quad (13)$$

$$g(p_j, \theta) < t g(p_{ref}, \theta) \quad (14)$$

where $i < p_{ref}, j > p_{ref}$,

t : threshold value (=0.7)

$$p_{min} = \max(p_i) \quad (15)$$

$$p_{max} = \min(p_j) \quad (16)$$

여기서 t 값은 실험적으로 정하였다.

p축으로의 부품의 중심을 p_{mean} 이라 하면

$$p_{mean} = \frac{p_{max} + p_{min}}{2} \quad (17)$$

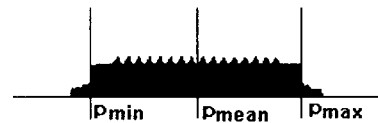


그림 8 p축으로의 부품의 중심 계산

Fig.8 Calculation of center to the p axis

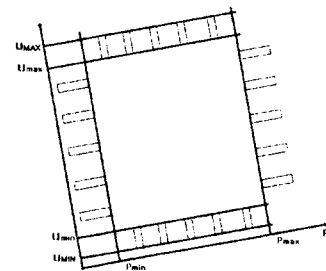


그림 9 u축으로의 투영

Fig.9 Projection to the u axis

u축으로 부품의 중심을 검사할 때 기준값 $g(u_{ref}, \theta)$ 을 구할 때는 p의 범위를 다음과 같이 제한하였다.

$$p_{\min} < p < p_{\max} \quad (18)$$

이렇게 p의 범위를 제한하면 u축으로의 투영은 그림 9에서처럼 p축과 평행한 리드를 제외하게 된다.

그러므로 x, y 좌표계에서의 중심 x_{mean}, y_{mean} 은 다음과 같이 계산한다.

$$x_{mean} = p_{mean} \cos \theta - u_{mean} \sin \theta \quad (19)$$

$$y_{mean} = p_{mean} \sin \theta + u_{mean} \cos \theta \quad (20)$$

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 기존의 방법과 제안된 방법을 비교하였다. 모든 방법은 일단 이치화를 거친 후에 각각의 방법을 적용하였다. 각각의 방법에 대하여 중심과 방향을 구하여 처리 속도를 비교하기 위해 먼저 486DX4-100에서 시뮬레이션을 하였고 이 결과를 논문 [14]에 실제로 제작한 보드에 적용하여 결과를 비교하였다.

실험 결과는 표 1과 표 2와 같다.

표 1 실험영상 (a)의 실험 결과 (실제 각도 1.67°)
Table.1 Result of experiment of test image (a)
(real angle 1.67°)

방법	중심	각도	DX4-100	DSP
모멘트	(322, 262)	(- 0.91 °)	1.32 sec	0.72 sec
허프 변환	(322, 262)	(- 2.55 °)	2.36 sec	2.34 sec
템플레이트 매칭	(322, 262)	(- 1.46 °)	2.47 sec	5.36 sec
수리 형태학	(322, 262)	(- 1.66 °)	4.71 sec	9.71 sec
프로젝션	(322, 262)	(- 1.44 °)	1.50 sec	1.88 sec

표 2 실험영상 (b)의 실험 결과 (실제 각도 1.71°)
Table.2 Result of experiment of test image (b)
(real angle 1.71°)

방법	중심	각도	DX4-100	DSP
모멘트	(258, 260)	(1.11 °)	1.31 sec	0.84 sec
허프 변환	(258, 260)	(1.90 °)	2.36 sec	2.38 sec
템플레이트 매칭	(258, 260)	(1.44 °)	2.41 sec	5.58 sec
수리 형태학	(258, 260)	(1.77 °)	4.75 sec	9.98 sec
프로젝션	(258, 260)	(1.46 °)	1.50 sec	2.08 sec



그림 10 실험영상
Fig.10 Test image

실험에서 템플레이트를 이용한 방법은 먼저 부품의 리드를 제거해야만 적용할 수 있기 때문에 수축을 이용하여 리드를 제거한 후에 적용하였다.

5 결론

이상으로 FIC 부품을 실장할 때 중심과 각도를 각 방법을 통해 비교해 보았다. 각 방법에 있어 중심은 모두 같은 값이 나왔으나 각도에 있어 약간씩 차이가 났는데 이는 조명의 영향으로 이치화 처리시 정확한 영상을 얻을 수 없기 때문이다.

각 방법에 있어 시간을 비교해 보면 모멘트가 가장 빠른 것을 알 수 있으나 이 방법은 리드의 위치를 알 수가 없어 리드의 위치 판별을 위한 다른 알고리즘이 필요하며 영상이 정확히 대칭이 되지 않는다면 각도에 있어 오차가 상대적으로 많이 발생한다. 허프 변환을 이용한 방법은 처리 시간에 있어 불리하고 허프 변환을 위해서는 누적 배열을 저장할 메모리가 필요하다. 템플레이트 매칭 방법은 리드가 없는 부품에 적용 가능하나 리드가 존재하는 부품에 대해서는 먼저 리드를 제거하기 위해서는 다른 방법을 적용해야 한다. 수리 형태학을 이용한 방법은 시간 면에서 가장 불리함을 알 수 있다. 제안된 방법은 모멘트를 이용한 방법을 제외하면 처리 시간이 가장 적게 걸렸으며 실제로 적용시 리드의 위치를 판별하여 리드의 불량률 검사해야 하기 때문에 모멘트를 이용한 방법은 추가로 리드의 위치를 판별하는 알고리즘이 필요하게 된다.

추후 조명의 영향에 대한 연구가 필요하며 리드 검사에 대한 상세한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1992.
- [2] Ramesh Jain and Brian G. Schunck and Rangachar Kasturi, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [3] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
- [4] Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, Chapman & Hall, 1993.
- [5] William K. Pratt, *Digital Image Processing, A Wiley-Interscience Publication*, 1991.
- [6] Edward Angel, *Computer Graphics*, Addison-Wesley, 1990.
- [7] 차국찬, 박일수, 최중수, "SMT에서 정합 및 부품 검사 알고리즘의 실시간 처리에 관한 연구", 전자공학회 논문집, 제 29권, pp.76-84, 1992.
- [8] 조용철, 김종현, 조형석, "시각 인식 장치를 이용한 표면 결함 시스템의 개발", 전기 학회지, 제 40권, pp.87-95, 1991.
- [9] 고국원, 박원식, 조형석, "생산 시스템 자동화 분야에서의 시각 인식 장치", 제어·자동화·시스템 공학회지, 제 2권, pp. 38-49, 1996.
- [10] 이상찬, 권준식, 장태규, 최중수, "수학적 형태론에 의한 SMD 위치 및 불량 검색", 제5회 신호처리 합동 학술대회 논문집, vol 5, no.1, pp. 617-621, 1992년 9월.
- [11] 최진형, "Vector segmentation을 이용한 SMD 불량 검색 알고리즘", 경북대학교 석사학위논문, 1995.
- [12] 조영혁, "SMD 자동 장착을 위한 시각 시스템에서의 각도 및 위치 검출", 경북대학교 석사학위논문, 1995.
- [13] 이상찬, "수리 형태학을 이용한 SMD의 위치 및 불량 검색", 중앙대학교 석사학위논문, 1993.
- [14] 류경, 김경민, 박귀태, "라인스캔 카메라 인터페이스를 갖는 실시간 영상 전처리 시스템의 개발", 제어·자동화·시스템 공학회지(계재예정)