

## 시각센서를 이용한 SMT 부품장착상태 검사

### Placement Inspection of the SMT Components Using 3-D Vision

손영탁, 오형렬, 윤한중

LG 전자 생산기술센터 기술개발연구소 (Tel:0551-60-3679; Fax:60-3993; E-mail:perdgt@chollian.dacom.co.kr)

**Abstracts** The aim of this thesis is to develop a SMT-components placement inspection system equipped with a visual sensor. The visual sensor, which consists of a camera and 2-layer LED illuminator, developed to inspect the component placement state such as missing, shift, flipping, polarity and tomb-stone. on PCB in the reflow-process. In practical applications, however, it is too hard to classify component from images mixed pad on PCB, cream solder paste and component. To overcome the problem, this thesis proposes the 2-layer illumination method and the heuristic image processing algorithms according to inspection type. To show the effectiveness of the proposed approach, a series of experiments on the inspection were conducted. The results show that the proposed method is robust to visual noise and variations in component conditions.

**Keywords** SMT Component, Opening Method, Syntatic Method, Image Segmentation, Production Rules

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

SMT(surface mounting technology)부품은 지금까지 부품과 프로세스 양면에서 급속한 진보를 해왔다. 제품에 대한 소비자들의 소형화/고성능화 요구는 필연적으로 실장기술에 대한 미세화 및 고밀도화를 요구하게 되었다.

그 중에서 미세화/고밀도화에 큰 공헌을 한 것이 reflow-processor의 도입이다. 이전까지의 대량 용융납땜과 접촉에 의한 납땜은 크립납인쇄라는 납땜이 정밀공급기술을 실현하여 미세화/고밀도화에 큰 길을 열게 되었다. 그러나, reflow-processor의 실현은 미세하고 고밀도의 제품생산은 가능하게 하였지만 검사의 어려움이라는 새로운 문제를 야기시켰다. 부품의 미세화는 해를 거듭하여 발전하지만, 검사기술은 같은 수준으로 따라가지 못하고 있는 것이며, 이러한 실장부품들의 장착상태검사를 지금까지는 주로 육안으로 검사를 하여왔다.

이러한 검사를 육안으로 수행함으로써 작업자에 따라 판정기준이 상이할 뿐만 아니라 숙련도에 따라서도 검사능력이 다르므로 인하여 품질의 산포가 크며, 검사결과가 이전공정으로 feedback되기 어려워 전체적인 품질향상에 있어서 문제점으로 지적되고 있다.

### 1.2 연구 목표

본 연구에서는 검사공정에서 머신비전기술을 이용하여 자동으로, 생산되는 PCB의 전수검사를 수행하고 이 검사장치의 불량정보를 이용하여 불량품의 수선 및 불량발생 요인을 없애기 위하여 검사데이터를 통계적으로 분석하여 불량원인이 사전에 발견될 수 있는 검사/수선/분석 시스템을 구성함에 있어서 시각센서를 이용하여 영상을 획득하고 획득된 영상에서 화상처리 기법을 이용하여 SMT 부품장착상태검사를 하는 방법에 대하여 논하고자 한다. 특히, PCB 위에 SMT 부품장착시 발생하는 불량량의 대부분을 차지하는 부품무(missing), 부품섬(tomb-stone), 부품이동(alignment), 뒤집힘(flipping) 및 극성(polarity)불량등을 고속, 정확하게 검사하기 위한 강건한 영상처리알고리즘을 제안한다.

## 2. 시각센싱헤드의 개요

### 2.1 시각센싱헤드의 요구조건

PCB 위에 장착된 부품의 상태를 검사하기 위하여는, 조명을 특정방향으로 부품의 표면에 투사하고, 이로써 얻어진 영상을 이용하여 검사를 하여야 하므로 검사종류에 따라서 조명의 투사각도를 조정할 수 있어야 한다. 그리고 이러한 조건을 만족하기 위하여 본 연구에서는 2단의 LED조명을 이용하였다. 즉, IC류, transistor류 등의 lead로써 부품의 위치를 인식하기 위하여 Fig.1의 high light를 투사하여 영상을 획득하여야 하고, 표면의 mark로써 부품의 뒤집힘, 전극등을 검사하기 위하여서는 Fig.1의 low light로 영상을 획득하여야 한다.

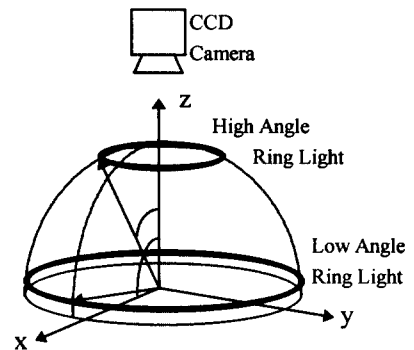


그림 1. 광학계의 구성  
Fig.1. Optical System

### 2.2 시각센싱헤드의 구성

이러한 요구조건을 만족하기 위하여 본 연구에서의 시각센싱헤드의 구성은 Fig.1과 같이 1개의 CCD(charge coupled device) camera와 2단의 LED(light emitting diode) 조명으로 구성되었으며 부품의 검사종류에 따라 2단의 조명중에 1개 또는 2개의 조명을 점등 및 밝기조절을 할 수 있게 구성하였다.

### 3. 검사 알고리즘

#### 3.1 Opening 적용

검사대상 영상에 포함된 노이즈를 제거할 목적으로 본 연구에서는 gray-scale opening morphological 기법을 적용하였다. 여기에서 gray-scale opening morphological 기법은 gray-scale erosion 기법을 적용한 후 gray-scale dilation 기법을 적용하는 방법으로서 작은 크기의 노이즈를 제거가능함은 물론이고 뒤에 영역분할을 수행할때 처리시간을 단축시켜준다. 아래 수식 (1)에서 보여주고 있는 gray-scale erosion 기법의 설명에서  $I(x, y)$ 는 입력화소값을  $O(x, y)$ 는 출력화소값을 나타낸다.

$$O(x, y) = \min \{ X + I(x, y), X_0 + I(x+1, y), X_1 + I(x+1, y-1), X_2 + I(x, y-1), X_3 + I(x-1, y-1), X_4 + I(x-1, y), X_5 + I(x-1, y+1), X_6 + I(x, y+1), X_7 + I(x+1, y+1) \} \quad (1)$$

그리고 아래에 있는 수식 (2)는 gray-scale dilation 기법에 대한 것으로서 입력화소들에서 최대값을 가지는 성질을 가지고 있다.

$$O(x, y) = \max \{ X + I(x, y), X_0 + I(x+1, y), X_1 + I(x+1, y-1), X_2 + I(x, y-1), X_3 + I(x-1, y-1), X_4 + I(x-1, y), X_5 + I(x-1, y+1), X_6 + I(x, y+1), X_7 + I(x+1, y+1) \} \quad (2)$$

이러한 기법이 적용된 영상을 순차적으로 Fig. 2, 3 및 4에서 보여주고 있다.

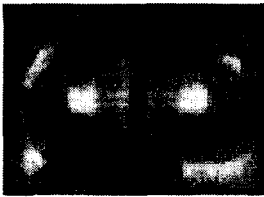


그림 2. 원화상  
Fig. 2. Original Image

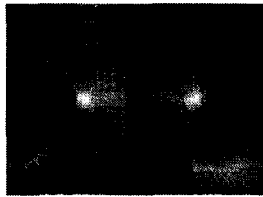


그림 3. 축소된 화상  
Fig. 3. Eroded Image

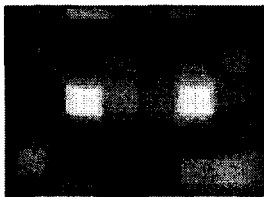


그림 4. 팽창된 화상  
Fig. 4. Dilated Image



그림 5. 이치화된 화상  
Fig. 5. Thresholded Image

#### 3.2 이치화

본 연구에서는 부품의 위치를 인식하기 위하여 반사성이 좋은 금속성 전극부를 찾고자 한다. 따라서 위에서 노이즈를 제거한 영상을 이치화하여 이치화된 영상에서 부품의 위치를 찾는다. 아래 수식 (3)은 이치화를 설명하고 있다.

$$O(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기에서  $I(x, y)$ 는 영상처리할 화소의 명도값이고  $O(x, y)$ 는 영상처리된 화소의 값이다. 그리고  $T$ 는 이치화를 위한 경계치값이다. 이렇게 이치화한 영상을 Fig. 5에서 보여주고 있으며 위치인식에 매우 좋은 조건임을 알 수 있다.

#### 3.3 영역분할

위에서 이치화된 영상에는 전극에 대한 정보뿐만 아니라 패드(pad)의 노출, 반사특성에 의한 노이즈가 많이 포함되어 있을 수 있으므로 이치화된 영상에서 영역분할을 통하여 전극의 후보점들을 구분하여야 한다. 그런데 화소단위의 영역분할을 할경우에 많은 시간이 소요되므로 본 연구에서는 처리시간을 단축하기 위하여 수정된 구분론적 영상처리기법(modified syntatic method)을 제안하여 적용하였다. 우선, 이치화된 영상 Fig. 6에서 run-length coding 방법으로 임의의 행에 대하여 run 들을 차례로 구하게 된다.

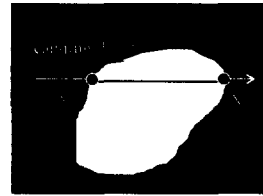


그림 6. 영역탐색  
Fig. 6. Image Scanning

이 방법에서는 각각의 화소단위로 영상처리를 하는데 필요한 소요시간을 줄이기 위해 화소정보를 라인 정보로 변환하고 라인정보를 이용하여 구분론적영상처리기법을 도입하여 영역정보를 찾아내는 방법을 이용하였다. 이러한 차원증가를 통하여 처리해야 할 연산을 급격히 줄이는 것이 가능하다.

즉, 위의 Fig. 6과 같이 화소가 가지는 영역에 대한 정보를 런-랜스 코딩을 통하여 영역의 시작점 ( $X_s$ )과 끝점 ( $X_e$ )으로 표현하게 된다. 이렇게 형성된 라인 정보에 의한 영역형성은 인접한 두개의 라인이 서로 교차점을 가질때 두 라인은 하나의 영역을 형성한다고 판단하는 것이다. 일반적인 영역분할 방법에서는 화소단위로 적용되는것에 비하여 이 개념은 라인단위로 적용된다는 것을 알 수 있다.

라인에 의한 영역형성을 다시 설명하면 아래 Table 1과 같은 프리미티브(Primitive)들을 미리 구축한 후 이 프리미티브들을 이용하여 앞에서 구한 런들을 표현하게 된다.

표 1. 프리미티브  
Table 1. Primitives

|          | LABEL              | REPRESENTATION |
|----------|--------------------|----------------|
| LINE     | L<br>(line)        | —              |
| JUNCTION | O<br>(overlap)     | —<br>—         |
|          | N<br>(not overlap) | —<br>—         |
|          | S<br>(side)        | — —            |

이러한 프리미티브들을 이용하여 표현한 스트링(String)을 이용하여 grouping을 수행하게 된다. 이 grouping을 위하여 생성규칙(production rule)들이 필요한데 이것은 Table 2에서 보여주고 있다. 이 생성규칙의 적용에 대한 설명을 하면 왼쪽에 있는 조건을 만족하면 짝게 표현된 부분에 대하여 L에서 G

이용하여 grouping을 수행하게 된다. 이 grouping을 위하여 생성규칙(production rule)들이 필요한데 이것은 Table 2에서 보여주고 있다. 이 생성규칙의 적용에 대한 설명을 하면 왼쪽에 있는 조건을 만족하면 질چه 표현된 부분에 대하여 L에서 G로 되어 하나의 그룹으로 합병(merging)을 하게 된다. 이러한 생성규칙을 반복적으로 수행하게 되면 같은 인접한 런들은 하나의 영역으로 모두 합병하게 된다.

표 2. 생성규칙  
Table 2. Production Rules

|        |                  |                  |
|--------|------------------|------------------|
| Rule 1 | L                | G                |
| Rule 2 | G<br>O<br>L      | G<br>O<br>G      |
| Rule 3 | G<br>OO<br>L S L | G<br>OO<br>G S L |
| Rule 4 | G<br>OO<br>G S L | G<br>OO<br>G S G |
| Rule 5 | G S L<br>OO<br>G | G S G<br>OO<br>G |

이 생성규칙들을 적용한 간단한 예들 Fig.7에서 설명하고자 한다. 우선 처음 얻어지는 런들의 형상이 1과 같을때 가장 먼저 생성규칙 1에 의하여 오른쪽 상단의 런이 그룹의 시작런이 된다. 이 런을 시점으로 하여 하나의 그룹이 시작되는데 그룹에 포함된것은 굵은 선으로 표현하였다. 그 다음 2에서는 생성규칙 2에 의해 앞의 그룹에 합병된다. 3에서도 2에서와 같이 생성규칙 2에 의하여 합병된다. 그 다음 4에서는 생성규칙 4에 의하여 앞의 그룹에 합병된다. 이러한 과정을 반복수행하여 영역의 분할을 하게 된다. 이러한 방식의 영역분할은 시간적인 측면에서 매우 큰 장점을 가지게 된다.

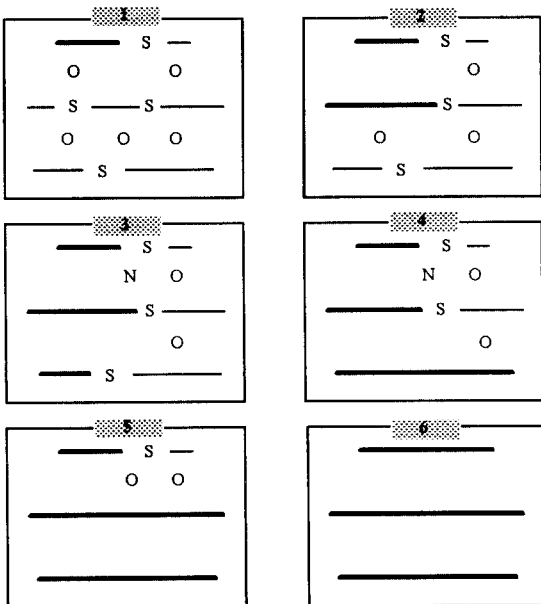


그림 7. 생성규칙의 적용 예  
Fig.7. The examples of the Production Rules

### 3.4. 부품 인식

노이즈가 포함되어있으리라 추정되는 영상에 생성규칙을 적용하여 구분되어진 영역들을 전극의 후보점으로 가정하고 수식(4)를 적용하여 각각 전극후보영역들의 이동량(shift), 길이(length), 방향

및 형상특징치(compactness)등을 고려한 비용( $E_i$ )을 계산하고 그 모든 전극후보영역들중에서 비용이 최소인 경우의 영역들을 전극이라고 판단한다.

$$E_i = W_S \left( \sum_{j=0}^1 \Delta x_{ij} + \sum_{j=0}^1 \Delta y_{ij} \right)^2 + W_L (l - l_i)^2 + W_\theta (\theta - \theta_i)^2 + W_C (\Delta C_i)^2 \quad (4)$$

여기에서,

$W_S, W_L, W_\theta, W_C$  등은 각각 이동량, 길이, 회전 및 compactness 등의 Weight이다.

$\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}$  등은  $i$  번째 후보영역 중심점과 실제부품위치와의 오차이다.

$l, l_i$  등은 실제 부품길이와  $i$  번째 후보 전극간의 길이이다.

$\theta, \theta_i$  등은 실제 장착방향과  $i$  번째 후보 영역간의 배치방향이다.

$\Delta C_i$  는 영역들간의 compactness 들의 차이이다.

### 3.5. 검사

검사항목에는 앞에서 언급한 바와같이 부품무, 이동, 부품섬, 뒤집힘 및 극성등이 있지만 부품무와 부품섬의 검사는 영역분할을 수행하였을때 일정크기의 영역이 없다면 발견가능하게 되어있으므로 이 단계 이전에 분류가 가능하다. 따라서, 검사할때는 먼저 부품에 대한 이동에 대한 검사를 수행하고 그 다음 뒤집힘과 극성검사는 검사대상부품에 한하여서만 수행한다.

#### 3.5.1 이동(Alignment) 불량 검사

먼저, 부품이동에 대한 검사는 위에서 구분된 전극의 영역 중심위치와 실제 부품이 있어야 할 위치와의 이동량을 수식(5), (6)과 같이 계산하여 그 이동량이 한계값보다 크게 되면 수식(7)와 같이 이동불량이라고 한다.

즉,

$$S_x^i = x_{ref} - x_{real} \quad (5)$$

$$S_y^i = y_{ref} - y_{real} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \text{if } S_x^i > S_x^{Th} \text{ or } S_y^i > S_y^{Th}, & \text{Shift Error} \\ \text{else} & \text{Not Error} \end{cases} \quad (7)$$

#### 3.5.2 뒤집힘(Flipping) 불량 검사

뒤집힘 검사는 부품의 표면에 문자등이 표기되어 있는 경우에 한하여 검사가 가능하도록 histogram variance를 이용하였다. 즉, 앞의 방법에 의해 부품의 중심이 구해지면 아래 그림과 같이 부품의 중심에 뒤집힘 검사 영역을 설정해 그 영역내의 밝기 분포를 구한다. 표기가 있을 경우와 없을 경우에는 Fig. 8과 같이 밝기 분산(histogram variance)이 큰 차이를 나타낸다.

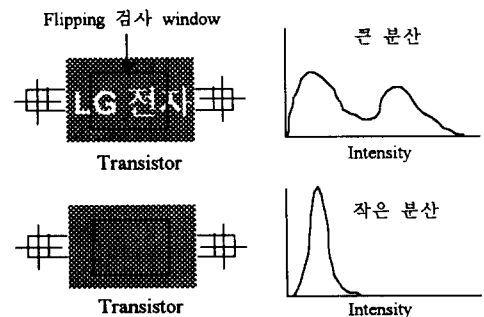


Fig. 8. 뒤집힘여부에 따른 Histogram Variance  
Fig. 8. The examples of the Histogram Variance

$$\begin{cases} \text{if } \sigma_i < \sigma_{\text{Threshold}}, \text{ Flipping Error} \\ \text{else} & \text{Not Error} \end{cases} \quad (8)$$

그러나 노이즈로 인하여 실제 mark 가 없는 경우에도 분산이 크게 될수 있으므로 여기서는 노이즈 필터를 이용하여 노이즈를 1차 제거한 결과의 밝기 분산을 이용하여 뒤집힘 여부를 판단하게 된다.

### 3.5.3. 극성(Polarity)불량 검사

극성검사부품의 경우에는 부품표면위에 극성을 표시하는 mark 가 표시되어 있으므로 이 mark 를 기준 template 과 matching 하는 방법으로 극성검사를 수행하고 검사전에 기준 template 을 티칭한 후 검사시 티칭한 데이터를 이용하여 이 mark 를 찾게되면 극성이 정상인 것으로 판단한다. Fig.9 에서 극성검사대상인 부품에 대하여 티칭 윈도우를 보여주고 있다.

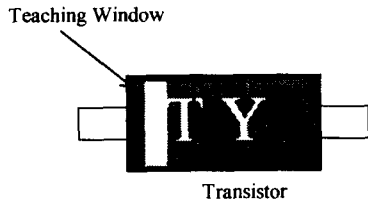


그림 9. 극성검사를 위한 티칭윈도우  
Fig. 9. Teaching Window for Polarity Inspection

## 4. 실험

### 4.1. 실험 목적

Reflow 공정에서의 부품장착상태검사에 대한 연구는 아직 시작단계이고 본 검사의 어려운점은 패드와 부품의 사이에 크림납(cream solder)이 존재하여 영상처리에 많은 어려움을 주고 있다. 다른 납땜공정에서 볼수 없는 부품섭에 대한 현상이 또한 특이하다. 여기에서는 모든 부품의 검사에 대한 알고리즘에 대하여 실험을 수행할 수 없지만 본 논문에서 제안한 몇 가지의 영상처리기법에 대하여 실험하고 그 결과로써 이 알고리즘에 대한 강건성을 언급하고자 한다.

### 4.2. 실험 및 실험결과

우선, 대표적인 종류의 부품에 대하여 위치인식을 위한 알고리즘적용에 대한 실험을 하고자 한다. 그 원영상과 알고리즘 적용후 인식된 결과를 보여주고자 한다.

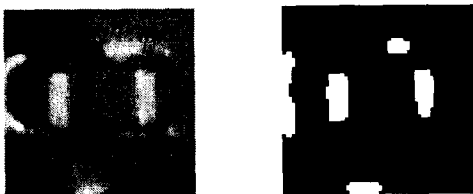


그림 10. 각침에 대한 영상처리 결과  
Fig. 10. The result of the image processing for rectangular chip



그림 11. 트랜지스터에 대한 영상처리 결과  
Fig.11. The result of the image processing for transistor

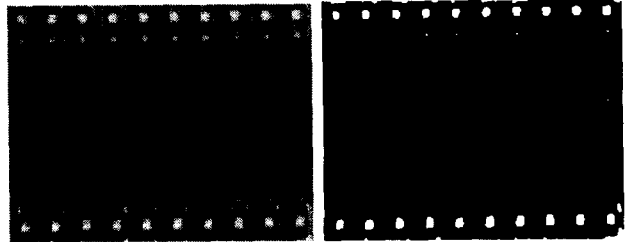


그림 12. IC에 대한 영상처리 결과  
Fig. 12. The result of the image processing for I.C.

실험결과는 Fig.10-12 에서 보여주고 있는데 이 결과들을 관찰하면 영역분할 및 부품인식을 통하여 부품의 검사를 어렵지 않게 할 수 있으리라 짐작할 수 있다. 본 논문에서는 지면 관계상 많은 결과를 보여줄 수 없지만 부품검사를 위한 결과로는 만족스럽다고 판단한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 시각센서를 이용한 SMT 부품장착상태검사를 위한 영상처리알고리즘을 제안하였으며, 그 알고리즘을 적용하여 노이즈가 포함된 영상에서 부품의 특징을 구분할 수 있었다. 이러한 영상처리기법으로 실험하여 양호한 결과를 얻었지만 실제 생산되는 공정에 투입하기 위하여는 여러 부문에서 보완되어야 할 것이며 많은 분들의 연구가 더 필요하다고 사려된다.

## 참고문헌

- [1] Ballard and Brown, *Computer Vision*, Prentice-Hall, New Jersey, 1982
- [2] G. Baxes, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, New York, 1994
- [3] H. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, Vol.1-2, 1992
- [4] Y. Takagi, S. Hata and W. Beutel, "Visual Inspection Machine for Solder Joints Using Tiered Illumination", *SPIE* vol.1386, pp.21-29, 1990