

論文96-33B-11-6

2차원 및 3차원 특징값을 이용한 납땜 시각 검사 (An Automated Visual Inspection of Solder Joints Using 2D and 3D features)

金泰顯*, 文泳植*, 朴成漢*

(Tae-Hyeon Kim, Young-Shik Moon, and Sung-Han Park)

요 약

본 논문에서는 효과적인 납땜 시각 검사 방법에 대해 기술한다. 서로 다른 조사 각도를 갖는 3단의 링형 LED 조명을 각각 한단씩 사용하여 연속적으로 세장의 영상을 얻은후, 영상으로부터 납땜 영역이 분할되고 2차원 특징값인 평균 밝기 값과 하이라이트의 비율이 추출된다. 오류 역전파 알고리즘에 기반하여 각 납땜은 이미 정의된 타입 중 하나로 분류된다. 만약 결과치가 신뢰구간 내에 있지 않으면 납땜 영역의 3차원 표면각도를 복원한 후, 그 각도의 상대적 비율을 특징값으로 하여 Bayes classifier를 이용하여 2차원으로 분류한다. 두번째 분류기는 3차원 정보를 이용하므로 우수한 성능을 보이는 반면 많은 계산시간을 요구한다. 제안하는 검사 시스템을 구현하여 다양한 SMD의 납땜 타입에 대해 적용해본 결과 인식 시간과 인식률에 있어 효과적임을 확인하였다.

Abstract

In this paper, efficient techniques for solder joint inspection have been described. Using three layers of ring shaped LED's with different illumination angles, three frames of images are sequentially obtained. From these images the regions of interest (soldered regions) are segmented, and their characteristic features including the average gray level and the percentage of highlights - referred to as 2D features - are extracted. Based on the backpropagation algorithm of neural networks, each solder joint is classified into one of the pre-defined types. If the output value is not in the confidence interval, the distribution of tilt angles - referred to as 3D features - is calculated, and the solder joint is classified based on the Bayes classifier. The second classifier requires more computation while providing more information and better performance. The proposed inspection system has been implemented and tested with various types of solder joints in SMDs. The experimental results have verified the validity of this scheme in terms of speed and recognition rate.

I. 서 론

표면 장착 기술의 발전에 따라 자동화된 검사 방법에 대한 요구는 날로 증가하고 있다. 전자 부품들은 점점 소형화되고 장착 보드내에서도 조밀화되고 있으며 자동화된 조립 장치들은 조립시 발생하는 결함들의 발

견을 더욱 어렵게 하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 시각 검사 장치가 연구되고 있다. 영상 정보를 이용한 여러 납땜 검사 시스템들에 관한 연구는 조명방식과 분류기법의 두가지 범주로 나누어 볼 수 있는데, 먼저 조명방식은 대부분 LED와 형광램프를 조명으로 하는 구조화된 조명을 이용하고 있고 일본 OMRON사 제품은 칼라영상을 이용한 칼라 하이라이트기법을 이용하고 있다.

Bartlet 등은 4개의 수직 형광 램프와 diffuser를 씌운 1개의 환형 형광 램프를 이용하여 그레이 영상을

* 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科

(Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University)

接受日字:1996年7月8日, 수정완료일:1996年10月30日

언어, 2개의 정상 타입과 7개의 불량 타입으로 판별하였다^[11]. 사용한 특징값으로는 기본 그레이레벨, 그레이레벨의 관성, 표면 면적, 표면 곡률, 이진 영역에 대한 특징값들이 있으며 최소 거리 분류기를 이용하여 분류를 하였다. 그러나 이 방법은 동일한 조명 상태에서 그레이 영상을 얻어 분석하였으므로 납땜의 3차원 형상에 대한 정보가 충분치 않아 성능이 그리 우수하지 않다.

Capson과 Eng은 조명 장치로서 빨강색과 파란색의 서로 다른 높이를 갖는 2단 원형 형광 램프를 사용하고 tree 분류기를 이용한 분류 알고리즘을 제안하였다^[12]. 사용한 특징값으로는 각 색깔 조명에서 얻은 영상에서의 영역, 평균 그레이레벨, 색상의 표준편차, 곡률, 중심 좌표등이 있다. 위의 방법 또한 검사 특징값들의 선택에 있어서 납땜의 3차원 형상에 대한 정보가 충분치 않아 성능에 대한 신뢰도가 그리 높지 않았다.

Park이 제안한 방법은 4 방향으로부터 조사 각도를 20°, 45°, 80°로 하는 3단의 점 조명과 분산 조명을 이용하고 fuzzy 함수에 근거한 분류 알고리즘을 이용하였다^[13]. 사용한 특징값은 크게 3범주로서 평균 밝기, 하이라이트의 갯수, 이진 영상의 연결 영역이다. 이 방법은 점조명을 사용하는데 조사각도에 대한 고정밀도가 요구되며 분류기를 설계하는 과정에서 membership 함수의 정의 방법등이 heuristic하고 매우 복잡하다.

한편, 조명 방식에 있어서 3차원적 특징을 추출하고자 하는 연구가 많이 진행되었다. 1988년 Sanderson 등에 의해 제안된 방법은, 여러개의 점조명과 하이라이트 영상을 이용하여 3차원 물체 표면의 높이와 방향을 추정하는 것을 목표로 하고 있다^[4]. 그러나 이 연구는 calibration (camera의 위치, point source의 위치 등)에 따라 결과가 크게 달라진다는 점과 처리 속도가 매우 느려 실제 공정과정에 적용하기에는 힘들다는 문제점이 있다.

1993년 Hata 등은 여러 개의 color stripe 조명과 이에 반사되어 나오는 컬러영상을 이용하여 3차원 물체 표면의 기울기와 높이가 그리고 볼록/오목(convex/concave)의 속성을 결정하였다^[5]. 그러나 이 연구는 이산적인 분포의 표면각도를 구하게 되므로 연속적으로 분포하는 정확한 표면 각도를 구할 수 없다는 문제점이 있다.

본 논문에서는, 납땜 시각 검사를 위하여 2차원 및 3

차원 특징값을 사용하는 두단계의 분류방법에 대해 기술한다. 조명으로는 3단계의 링형 LED조명을 사용하고, 각 납땜영역에 대해서 계산시간이 적게 걸리는 2차원 특징값들을 추출한후 1차적으로 분류한다. 1차분류 결과가 신뢰구간에서 벗어날 경우에는 3차원 형상 복구를 통해 납땜 표면의 각도분포를 계산한 후, 이를 기반으로 하여 정밀하게 분류한다.

II. 전체 시스템

검사할 납땜의 형태는 정상, 과다, 부족, 없음의 4가지 타입이다. 그림 1은 각 납땜의 단면을 보이는데 납땜의 위치는 부품의 리드(lead)와 PCB 표면의 납땜 패드(pad)부분 사이의 지점에 위치한다. 리드 끝부분으로부터 패드로 분포하는 납땜 부위는 그림 1에서 빗금으로 표시되어 있다. (a)는 정상으로서 부품의 리드부분에서 기판의 패드부분까지 납이 오목하게 잘 덮여있다. (b)는 납땜이 안된 것인데 금속 성분으로된 패드부분이 그대로 드러나 있고 다리가 패드부분에서 떠있는 상태가 된다. (c)는 부족으로서 납이 리드와 부품에 묻어있기는 하지만 소량이기 때문에 차후에 충격이 가해질 경우 떨어질 우려가 있어 불량인 타입이다. (d)는 필요이상으로 납이 많이 묻은 과다의 불량 타입이다.

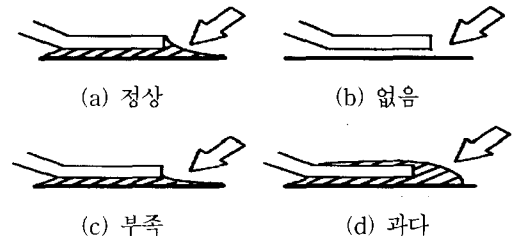


그림 1. 납땜 타입의 종류
Fig. 1. Types of solder joints.

납땜의 표면은 난반사 성질이 적고 대부분 전반사 성질을 갖기 때문에 조명의 입사각을 변화시키면서 조사를 하면 표면 형태에 따라 반사각도가 달라지게 된다.

그림 2는 조명 각도와 납땜표면 각도에 따른 반사특성을 나타낸다. 실선은 조명의 입사방향이고 점선은 카메라의 시선 방향이며, 굵은 선은 표면의 법선 벡터를 나타낸다. 전반사 특성을 갖는 물체의 경우, 반사특성은 빛의 입사각과 반사각을 법선 벡터가 양분하게 된다. 즉 그림 2에서 리드부분에 가까운 a부분은 법선 벡

터가 45도 정도이므로 수평에 가까운 각도에서 빛을 조사하여야 밝게 반사된다. 또한 패드에 가까운 b부분의 경우는 법선 벡터가 수직에 가까우므로 수직에 가까운 각도에서 조사하였을 때가 가장 밝게 반사가 된다. 이러한 원리를 이용하여 각 납땜의 특징값을 추출하게 된다.

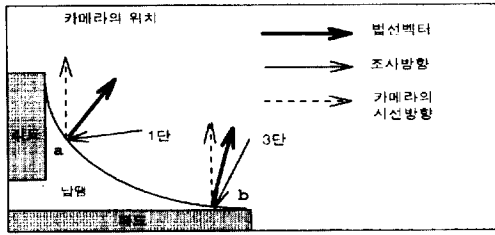


그림 2. 조명 각도에 대한 납땜의 반사특성
Fig. 2. Reflectance characteristics.

납땜 검사 시스템의 하드웨어 구조를 그림 3에 나타내었다. 3단의 링형 LED조명, 영상 취득 보드(image grabber), 카메라는 주 컴퓨터로부터 제어된다. 또한 조명 제어, 영상 취득, 검사 소프트웨어의 실행 등도 주 컴퓨터에서 동작된다.

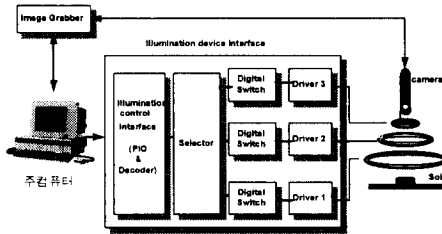


그림 3. 시스템 구성
Fig. 3. System configuration.

전체 검사 과정은 그림 4와 같다.

영상취득 과정에서 얻은 영상으로부터, 이진 영상을 구하고 이를 수평/수직방향으로 투사함으로써 납땜 영역을 분할 할 수 있다. 각 납땜 영역에 대해 평균 밝기 값과 하이라이트 비율의 2차원 특징값들이 추출되고 각 납땜들은 4가지 분류 타입중 하나로 분류된다. 만약 출력값이 신뢰구간 내에 있지 않다면 납땜 표면의 3차원 형상이 복구되며 이로부터 표면각도의 분포가 계산된다. 이를 Bayes classifier에 기반한 분류방법으로 분류하게된다.

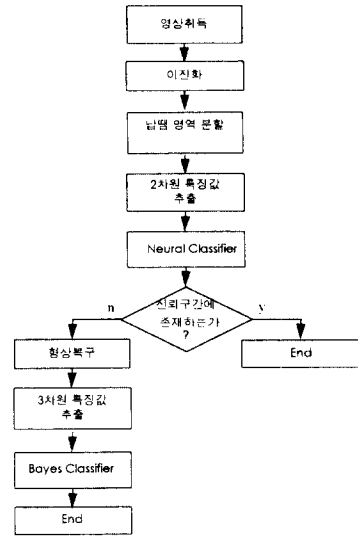


그림 4. 검사 과정
Fig. 4. Inspection procedure.

III. 전처리 과정

조사 각도를 달리하는 3단의 LED 조명을 연속적으로 하나씩 조사시키면서 3장의 영상을 얻는다. 그림 5는 SMD의 모양과 3단 조명으로부터 얻은 영상을 나타내고 있다.

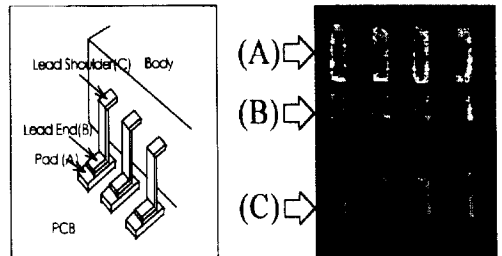


그림 5. SMD와 그 영상
Fig. 5. SMD and its image.

전처리의 목적은 그림 5에서 보는 바와 같이 패드(그림 5의 A부분)와 리드(그림 5의 B부분)사이의 어두운 부분인 납땜 영역들을 구분하는데 있다. 이를 위해 먼저 3단 조명으로부터 얻은 영상을 이진화한다. Threshold 값은 Otsu의 방법으로 계산하는데 이는 식(1)과 같이 $\sigma^2(T)$ 를 최소로 하는 T값을 정하는 방법이다¹⁷

$$\sigma^2(T) = \sum_{i=0}^T [i - \mu_1(T)]^2 \cdot P(i) + \sum_{i=T+1}^{255} [i - \mu_2(T)]^2 \cdot P(i) \quad (1)$$

여기서,

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^T i \cdot H(i)}{\sum_{i=0}^T H(i)}, \quad \mu_2 = \frac{\sum_{i=T+1}^{255} i \cdot H(i)}{\sum_{i=T+1}^{255} H(i)},$$

$P(i) = \frac{H(i)}{N_x N_y}$, $H(i)$ 는 영상의 히스토그램이다.

이와 같은 방법으로 이진화된 영상의 예는 그림 6과 같다.

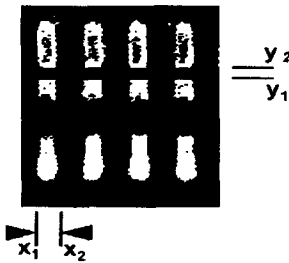


그림 6. 이진 영상
Fig. 6. Thresholded image.

납땜 영역을 분할하기 위해서는 먼저 이진 영상을 식 (2)와 같이 수직으로 투사하여 각 리드-패드쌍을 구별하는데 이는 그림 6의 x_1 과 x_2 사이 부분이다. 이로부터 다시 식(3)과 같이 수평방향으로 투사하여 그림 6의 y_1 과 y_2 사이의 실제 납땜 영역을 구분한다. 이와 같이 구분된 납땜 영역은 $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$ 의 사각형 영역이 된다.

$$V(x) = \sum_{y=0}^{y=N_y} u(x, y) \quad (2)$$

$$H(y) = \sum_{x=x_1}^{x_2} u(x, y) \quad (3)$$

$u(x, y)$: 이진화 영상

각 납땜 영역이 결정되면 그 영역에 대한 2차원, 3차원 특징값을 추출하여 분류과정을 거치게 된다.

IV. 특징값 추출

검사에 사용되는 각 납땜은 하나의 특징 벡터(vector)로 표현할 수 있는데, 벡터의 각 요소(element)들

은 납땜의 특징을 정량적으로 표현하는 수치이다. 우수한 특징값의 선정은 분류 알고리즘이 성공적으로 수행되기 위해 필수적인 요소이다. 특징값의 조건은 계산 시간이 빨라야하고 동일한 class에 속하는 개체들의 특징값은 서로 유사한 값을 가져야 하며 서로 다른 class의 것들은 값의 차이가 많이 나와야 한다. 또한 여러개의 특징값들을 이용하면 보다 신뢰성있는 분류가 가능하다. 본 논문에서는 2차원 특징값과 3차원 특징값을 함께 사용한다. k번째 단의 조명을 조사하여 얻은 영상을 I_k 라 할 때, 2차원 특징값으로는 I_1, I_3 의 평균 밝기 값과 I_1, I_2 의 하이라이트의 비율을 사용한다. 3차원 특징값은 표면 각도의 상대적 비율을 사용한다. 2차원 특징값은 계산시간은 적지만 정보의 양이 많지 않고, 3차원 특징값은 정보의 양은 많지만 계산시간이 길다는 특징이 있다.

1. 2차원 특징값

2차원 특징값은 I_1, I_3 의 평균 밝기 값과 I_1, I_2 의 하이라이트의 비율로 이루어져 있고 식(4)와 같이 표현된다.

$$\vec{X} = (X_1, X_2, X_3, X_4) \quad (4)$$

$$X_1 = \frac{1}{N} \sum I_1(x, y)$$

$$X_2 = \frac{1}{N} \sum I_3(x, y)$$

$$X_3 = \frac{1}{N} \sum u_1(x, y) \times 100$$

$$X_4 = \frac{1}{N} \sum u_2(x, y) \times 100$$

\vec{X} : 2차원 특징 벡터

$I_i(x, y)$: i 번째 단의 영상

N : 납땜 영역의 면적

$u_i(x, y) = 1$ if $I_i(x, y) \geq T$

0 otherwise

하이라이트 밝기값의 이진화 값인 T는 150으로 정하였다.

각단의 조명을 사용하여 취득한 영상을 그림 7에 나타내었는데 이를 이용하여 각 특징값들의 의미를 설명할 수 있다. I_1 의 평균 그레이 레벨값 X_1 은 정상과 과다에서 밝게 나타나고 없음과 부족은 어둡게 나타난다. I_3 의 평균값 X_2 는 정상과 과다인 경우 어둡게 나타나는

반면 납땜 부족이나 납땜 없음은 상대적으로 높다. 정상과 과다의 경우 리드에 가까운 부분은 1단에서 비치는 것이 가장 밝고 3단에서 비치는 부분은 가장 어둡다. I_1 의 하이라이트 비율 X_3 는 정상과 과다에서, I_2 의 하이라이트 비율 X_4 는 정상, 과다, 부족의 세 경우에 비교적 크게 나타나는데 정량적인 수치는 서로 다르다. 그림 8과 그림 9는 특징값 공간에서 나타나는 네가지 납땜 타입의 전형적인 분포이다. 대부분의 경우 2차원 특징값은 네가지 타입으로 분류하는데 충분한 정보를 가지고 있음을 볼 수 있다.

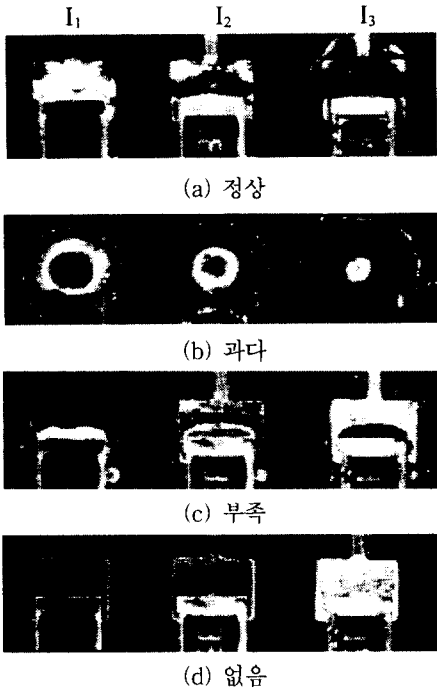


그림 7. 각 단의 조명을 조사한 결과
Fig. 7. 4 types of solder joint illuminated each layer.

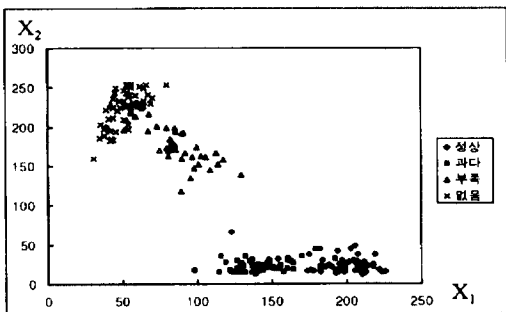


그림 8. 평균 밝기값의 분포
Fig. 8. Distribution of average gray level.

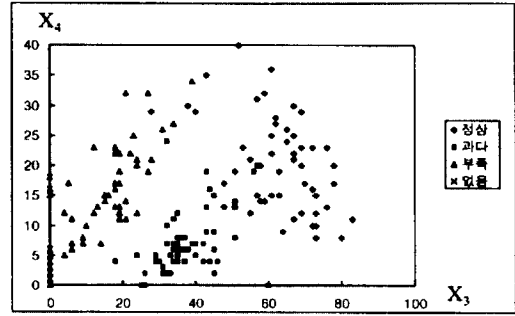


그림 9. 하이라이트 비율의 분포
Fig. 9. Distribution of the percentage of highlight.

2. 3차원 특징값

몇몇 특징 벡터는 다른 타입의 분포와 겹치는 것이 있는데 이러한 특징벡터는 신뢰구간에 존재하지 않는 것으로 간주하여 3차원 특징값을 사용한다.

먼저, 혼성 반사 모델을 이용하여 표면각도를 복구한다. 납땜의 표면은 전반사와 난반사의 반사 특성을 모두 가지고 있기 때문에, 물체의 반사성분을 전반사와 난반사 성분의 선형 조합으로 표현하는 혼성 반사 모델이 표면 각도를 복구하는데 사용된다. 혼성 반사 모델은 네개의 인자들을 갖는데 조명 벡터 \vec{i} , 표면 법선 벡터 \vec{n} , 시선 벡터 \vec{v} , 조명과 물체사이의 거리 r 을 이용하여 아래의 수식으로 표현된다^[9].

$$L_r(\vec{i}, \vec{n}, \vec{v}, r) = \rho_d L_d(\vec{i}, \vec{n}, \vec{v}, r) + \rho_s L_s(\vec{i}, \vec{n}, \vec{v}, r) \quad (5)$$

여기서 L_r 은 점광원에 대한 반사도이고 ρ_d 와 ρ_s 는 가중치이다. 난반사 성분 L_d 과 전반사 성분 L_s 은 아래와 같이 표현된다.

$$L_d = \frac{I_0}{r^2 \pi} \langle \vec{i}^T \vec{n} \rangle \quad (6)$$

$$L_s = \frac{I_0 e^{-k\alpha^2}}{r^2} \langle \vec{v}^T \vec{n} \rangle \quad (7)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\vec{h}^T \vec{n}), \quad \vec{h} = \frac{\vec{i} + \vec{v}}{\|\vec{i} + \vec{v}\|}$$

여기서 k 와 I_0 는 표면거침도와 조명원의 반사도를 나타낸다. " $\langle a \rangle$ "는 $\max[0, a]$ 를 나타낸다. \vec{v} 와 r 은 고정된 값이고 \vec{i} 는 이미 알고있는 세계의 조사각도 중 하나이므로, L_r 은 표면 법선벡터 \vec{n} 의 함수이다. 식 (5)(6)(7)은 하나의 점광원에 대한 식이므로 링형의 조

명인 경우에 반사도 L_r 은 방위각을 $[-\pi, \pi]$ 구간에서 적분해야 한다¹⁹⁾. 먼저 \vec{n} 과 \vec{i} 는 아래와 같이 직교좌표계에서 θ 와 ψ 로 표현할 수 있다.

$$\vec{n} = (\sin \theta_n \cos \phi_n, \sin \theta_n \sin \phi_n, \cos \theta_n) \quad (8)$$

$$\vec{i} = (\sin \theta_i \cos \phi_i, \sin \theta_i \sin \phi_i, \cos \theta_i) \quad (9)$$

적분은 방위각인 ψ 에 대해 계산하므로 식(6)(7)을 θ 와 ψ 를 이용하여 전개한다. 이를 L_d 에 대해 나타내면 식(10)과 같다.

$$L_d = \int_{-\pi}^{\pi} \frac{I_0}{r^2 \pi} \langle \sin \theta_n \sin \theta_i \cos \phi_d + \cos \theta_n \cos \theta_i \rangle d\phi_d \quad (10)$$

단 $\phi_d = \phi_n - \phi_i$

L_s 도 같은 방법으로 구하게 된다.

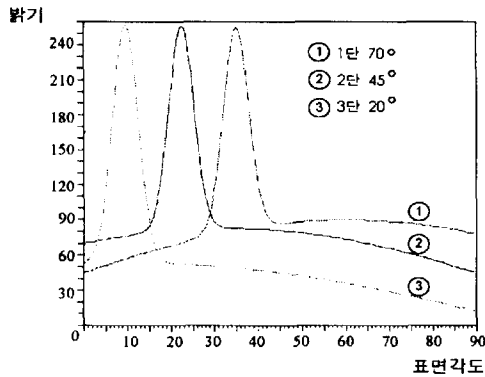


그림 10. Reflectance map
Fig. 10. Reflectance map.

그림 10은 20°, 45°, 70°의 세 각도를 갖는 반사함수의 예를 보인다. Reflectance map은 각 조명각도에 대한 천정각의 함수로써 그 밝기값을 나타낸다. 영상내 각 지점의 표면 각도를 계산하기 위하여 3개의 밝기값과 반사도가 사용된다. 반사도를 이용하여 하나의 밝기값에 대하여 후보각도들을 추출할 때 최대 4개의 값이 추출된다. 각 단의 후보값들을 모두 비교하여 최소의 오차를 갖는 최상의 조합이 표면각도의 추정치가 되고 표면각도로부터 다음과 같은 3차원 특징값이 추출된다.

$$\vec{Y} = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5) \quad (11)$$

$$Y_i = \frac{1}{N} \sum \phi_i(x, y)$$

$$\phi_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (i-1) \times 10 \leq \theta(x, y) < i \times 10 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

\vec{Y} : 3차원 특징벡터

$\theta(x, y)$: 표면각도

3차원 특징값은 전체 납땜 영역에 대한 표면각도의 분포를 나타낸다. 그림 11은 각 납땜타입에 대한 전형적인 예를 나타낸다.

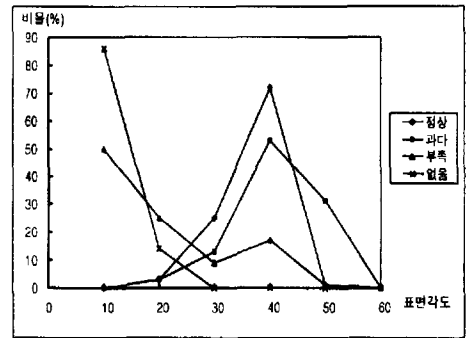


그림 11. 표면각도의 분포
Fig. 11. Distribution of tilt angles.

V. 분류

본 논문에서는 납땜검사를 위하여 2차원, 3차원 특징값을 이용한 두단계의 분류기를 제안한다. 첫번째 단계는 2차원 특징값을 이용한 신경망이고 두번째 단계는 3차원 특징값을 이용한 Bayes classifier이다.

첫번째 단계의 분류기로는 전형적인 3단의 오류 역전과 신경망을 이용한다. 입력층은 모든 2차원 특징값을 입력받도록 네개의 노드로 구성되어있고 출력층은 네개의 분류타입에 따라 출력결과를 내기 위하여 네개의 노드로 되어있다. 은닉층은 5개의 노드를 갖는다. 만약 출력값의 최대치가 0.7보다 작으면 이는 신뢰구간에 존재하지 않는 것으로 간주하여 3차원 특징값을 추출하여 Bayes classifier를 사용하여 2차적으로 분류한다. 이의 결정함수(decision function)는 아래의 수식으로 표현된다.

$$d_i(\vec{Y}) = (\vec{Y} - \vec{m}_i)^T \Sigma^{-1} (\vec{Y} - \vec{m}_i) \quad (12)$$

d_i : i번째 타입에 대한 결정함수값

\vec{Y} : 입력 벡터

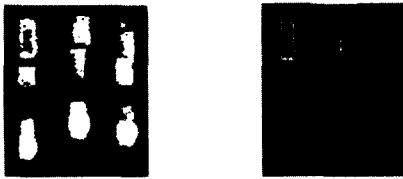
\vec{m}_i : 평균벡터

Σ : 5x5 covariance matrix

여기서 3차원 특징값인 \vec{y} 를 입력으로 했을때 네개의 출력값을 얻는다. 분류 결과는 이중 최대값을 출력하는 타입으로 정하게 된다.

VI. 성능평가

제안된 검사 시스템은 다양한 타입의 납땜을 사용하여 실험되었다. 검사에 사용한 주 컴퓨터는 IBM-PC Pentium, 영상취득 보드는 Matrox사의 Meteor보드, 카메라는 Sony사의 XC-75CX를 사용하였다. 검사 영상의 FOV(Field Of View)는 20mm x 17mm이고 해상도는 512(H) x 480(V)이다. 그림 12는 전처리의 결과를 보여주는데, 분할된 납땜영역은 수평선으로 표시되어 있다.



(a) 이진영상 (b) 납땜영역의 분할

그림 12. 전처리 결과
Fig. 12. Result of preprocessing.

실험은 표 1과 같이 204개의 학습데이터와 203개의 시험용 데이터를 사용하여 수행하였다.

표 1. 데이터 수
Table 1. The number of samples.

| | 학습 데이터 | 테스트 데이터 |
|----|--------|---------|
| 정상 | 52 | 52 |
| 과다 | 44 | 44 |
| 부족 | 58 | 57 |
| 없음 | 50 | 50 |
| 전체 | 204 | 203 |

제안된 분류기의 성능은 인식률과 실행시간에 따라 평가되었다. 그 결과는 표2와 같은데, 2차원 특징값만을 사용하였을 때는 인식률이 99.5%였고 여기에 3차원 특징값을 포함하였을 때는 100%로 증가하였다.

표 2. 분류결과
Table 2. Result of classification.

| 사용된 특징값 | 분류 타입 | 개수 | 결과 | |
|-------------------|-------|-----|------------|--------------|
| | | | Correct(%) | Incorrect(%) |
| 2 D 특징값 | 정상 | 52 | 98 | 2 |
| | 과다 | 57 | 100 | 0 |
| | 부족 | 44 | 100 | 0 |
| | 없음 | 50 | 100 | 0 |
| | 전체 | 203 | 99.5 | 0.5 |
| 2 D 특징값 + 3 D 특징값 | 정상 | 52 | 100 | 0 |
| | 과다 | 57 | 100 | 0 |
| | 부족 | 44 | 100 | 0 |
| | 없음 | 50 | 100 | 0 |
| | 전체 | 203 | 100 | 0 |

검사에 소요된 시간은 표3과 같다. 203개 데이터에 대해 3차원 특징값을 추출하는 시간은 19.83초가 걸렸는데 이는 2차원 데이터만을 사용한 경우의 10배에 해당하는 수치이다. 또한 2차원 특징값과 3차원 특징값을 혼용하여 사용한 경우 신뢰구간 내에 존재하지 않는 샘플데이터만 선택적으로 3차원 특징값을 계산하므로써 실행시간은 2.04초로 줄었다. 즉 제안된 분류기는 추가계산시간을 적게하면서 인식률을 높이는 효과를 얻었다.

표 3. 검사 시간
Table 3. Execution time.

| 특징값 | 처리시간 (sec / 203 samples) |
|-------|--------------------------|
| 2 D | 1.86 |
| 3 D | 19.83 |
| 2D+3D | 2.04 |

또한, 다양한 통계적 방법의 분류기와 신경회로망을 구현하여 각각의 성능을 비교하였는데 이는 표4에 나타내었다.

표 4. 다양한 분류기의 성능
Table 4. Performance of various classifiers.

| 분류기 | 특징값 | CC(%) | |
|------------------|-----|---------|---------|
| | | 2 D 특징값 | 3 D 특징값 |
| 최소거리 분류기 | | 93.1 | 96.1 |
| K - NN (K=3) | | 99.0 | 99.5 |
| Bayes Classifier | | 98.5 | 100 |
| BNN | | 99.5 | 99.5 |

최소거리 분류기는 구현이 쉽고 처리속도가 빠르지만 낮은 인식률을 보이는 단점이 있고, K-NN 방법(K=3)은 계산시간이 길고 많은 학습데이터를 요구하며 신경망은 학습시간이 긴 문제점이 있다. 그러나 학습시간은 검사과정에서 소요되는 시간과는 무관하므로 실제로는 큰 문제가 되지 않는다. 또한 Bayes classifier는 구현이 쉽고 빠른 처리 속도와 높은 분류효과를 보였다. 그러나 이는 샘플 데이터의 분포가 가우시안 분포일 때 높은 효과를 볼 수 있다.

각 2차원 특징값의 분류능력을 평가하기 위하여 2차원 특징값을 하나씩 줄이면서 그 인식률을 평가하였다. 그 결과를 표5에 나타내었는데 2개 이하의 특징값이 사용되었을 때 성능이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 2차원 특징값을 이용하여 최대의 성능을 얻기 위해서는 최소한 3가지, 또는 4가지 특징값을 모두 사용해야 한다.

표 5. 2차원 특징값의 수에 따른 성능

Table 5. The performance as a function of the number of 2D features.

| 2D 특징값의 수 | 2D 특징값의 집합 | 오인식률 (%) |
|-----------|------------------|----------|
| 4 | {X1, X2, X3, X4} | 0 |
| 3 | { X2, X3, X4 } | 3.5 |
| 2 | { X2, X3 } | 25.6 |
| 1 | { X1 } | 41.4 |

VII. 결 론

본 논문에서는 납땜 시각검사를 위한 효과적인 기법을 기술하였다. 2차원 및 3차원의 특징값을 제안하였고 이를 속도와 인식률의 면에서 효과적으로 적용될 수 있도록 두단계의 분류 방법을 제안하였고 성능향상을 확인하였다.

납땜의 3차원 형상 정보를 효과적으로 추출하기 위하여 링형의 3단 LED조명을 사용하였다. 평균 밝기 값과 하이라이트의 비율(2차원 특징값)은 각 샘플들을 분류하는데 대부분의 경우에 충분히 사용할 수 있음을 보였다. 다만 분류 결과가 불확실한 경우에는 계산량이 많은 3차원 특징값을 사용한다. 실험결과로부터 2차원 및 3차원 특징값을 사용하는 두단계의 분류기는 실행 시간 뿐만 아니라 인식률에 있어서도 높은 성능을 보

임을 알 수 있었다. 제안된 검사 시스템은 현재 생산라인에서 시험가동중이며 이를 통하여 개선점을 보완하여 성능을 향상시키도록 할 계획이다. 또한 실시간 검사가 가능하도록 병렬처리 H/W의 구성 및 그에 따른 병렬 알고리즘에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. L. Bartlet, P. J. Besl, C. L. Cole, R. Jain, D. Mukherjee and K. D. Skifstad, "Automatic Solder Joint Inspection," IEEE Trans. PAMI, vol. 10, no. 1, pp. 31-41, Jan. 1988.
- [2] D. W. Capson, S. K. Eng, "A Tiered-Color Illumination Approach for Machine Inspection of Solder Joints," IEEE Trans. PAMI, vol. 10, no. 3, pp. 387-393, May 1988.
- [3] J. S. Park, "A Reflectance Model-Based Approach to Highlight Separation and Surface Description for Inspection of 3-Dimensional Specular Objects," Ph.D Thesis, University of Florida, 1991.
- [4] A. C. Sanderson, L. E. Weiss and S. K. Nayar, "Structured Highlight Inspection of Specular Surfaces," IEEE Trans. PAMI, vol. 10, no. 1 pp. 44-55, Jan. 1988.
- [5] S. Hata, M. Nishiyama, "Shape Detection of Small Specular Surface using Multiple Images under Color Stripe Lighting," ISMCR'93 Session A, III-19, 1993.
- [6] S. Kobayashi, Y. Tanimura and T. Yotsuya, "Apparatus for Inspecting Printed Circuit Boards and the Like, and Method of Operating Same," United States Patent no. 5, 245, 671, 1993.
- [7] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," IEEE Trans. SMC, vol. SMC-9, pp. 62-66, 1979.
- [8] S. K. Nayar, K. Ikeuchi, and T. Kanade, "Surface Reflection : Physical and Geometrical Perspectives," IEEE Trans. PAMI, vol. 13, no. 7, July 1991.
- [9] E. J. Jung, I. D. Yun, S. U. Lee, "Recovery of 3-D Shape using Hybrid Reflectance Model," ICIIP-94, vol. 2, pp. 120-124, Nov. 1994.

— 저 자 소 개 —



金 泰 顯(正會員)

1972년 1월 16일생. 1994년 2월 한양
대학교 전자계산학과 졸업(공학사).
1996년 2월 한양대학교 대학원 전자
계산학과 졸업(공학석사). 1996년 3
월 ~ 한양대학교 전자계산학과 박사
과정 재학중. 주관심분야는 컴퓨터비

전, 영상 압축 및 코딩

文 泳 植(正會員) 第 33卷 B編 第 5號 參照

현재 한양대학교 전자계산학과 조교
수

朴 成 漢(正會員) 第 32卷 B編 第 11號 參照

현재 한양대학교 전자계산학과 교수