

모아레 영상에서 3차원 형상정보의 특성과 위상차에 의한 솔더영역 검출 및 높이 계산

송준호¹, 이은주^{2*}

¹(주)인텍플러스, ²한밭대학교 컴퓨터공학과

Solder Region Detection and Height Calculation by the Characteristics and Phase Difference of the 3D Profiles in Moire Images

Jun Ho Song¹, Eun Joo Rhee^{2*}

¹INTEKPLUS Co., Ltd.

²Department of Computer Engineering, Hanbat National University

요약 SMT에 의한 PCB 조립에서 발생하는 가장 큰 불량 원인은 솔더의 도포이다. 기존의 솔더 도포의 검사 방법은 신뢰도가 낮고 검사 속도가 느리며 가격이 높다. 본 논문에서는 2차원 영상을 추가로 획득하지 않고, 3차원 형상정보에서 PCB 위의 솔더영역을 검출하고 높이를 계산하는 방법을 제안한다. 솔더영역은 3차원 형상정보에서 측정점과 PCB 전체의 위상평균의 상대적 위상에 의하여 추출한다. 또 솔더영역의 높이를 신뢰도 높게 측정하기 위하여, 솔더영역의 높이는 반복능과 신뢰도를 적용한 측정점들의 위상평균으로 계산된다. 제안한 방법에 대한 측정실험 결과 검사시간에서 17.5%, 높이계산에서 29%의 반복능 향상을 보였으며, SPI장비 가격 인하 및 검사시간 단축 효과가 있다.

Abstract The cause of defects in the PCB SMT assembly is mostly solder paste deposits. Conventional inspection methods for solder paste deposits suffer from slow speed, low reliability and high cost. Therefore, this paper proposes a method for calculating the height and region of solder paste on PCB using the 3D profiles without measuring the 2D image. The solder paste region is detected by the phase difference in the measurement points and the average phase on the whole surface of PCB. The high reliable height of the solder paste region is computed by the average of the measurement points' phase with repeatability and reliability. The experimental results revealed improvements of 17% in inspection time and 29% repeatability in the height calculation of the solder paste region, resulting in a high speed and less expensive system.

Key Words : 3D profiles, Moire images, SMT(Surface Mount Technology), Solder region and height, SPI(Solder Paste Inspection)

1. 서론

특정 물체를 측정하여 3차원 형상정보를 얻기 위한 연구와 개발이 산업용 비전 분야에서 활발히 진행되고 있다. 3차원 형상정보가 산업용 비전으로 본격적인 관심을 받게 된 것은 고밀도 전자제품을 생산하면서부터이다. 현재 전자 제품을 생산하는데 있어서 대표적으로 널리

사용되는 생산라인은 SMT(Surface Mount Technology) 라인이다. SMT는 부품의 리드를 PCB의 구멍에 삽입하지 않고 땀납재 등으로 표면에 부착시키는 실장법이다 [1,2].

현재 SMT 라인에서 발생하는 불량유형 중 50~65% 이상의 불량 원인은 솔더(solder)의 도포에서 생기는 문제로 알려져 있다[3]. 따라서 도포된 솔더의 상태를 검사

*Corresponding Author : Eun Joo Rhee(Hanbat Nat. Univ.)

Tel: +82-42-821-1205 email: ejrhee@hanbat.ac.kr

Received April 23, 2014

Revised May 13, 2014

Accepted August 7, 2014

하는 것이 중요하며, 솔더의 정상도포를 검사하는 SPI(Solder Paste Inspection) 장비의 필요성이 대두되었다.

초기의 SPI는 솔더의 검사에 2차원 이미지를 사용하는 경우가 많았다. 그러나 2차원 즉 평면으로 볼 때, 솔더가 정상적인 모양으로 도포되었어도 만약 부피가 크다면 솔더 위에 칩이 실장 되었을 때 칩에 의해 솔더가 옆으로 흘러내릴 수 있다. 따라서 검사에서 솔더의 높이와 부피의 측정이 중요하며, 3차원 형상정보 측정에 관심을 가지게 되었다[3-6].

3차원 형상을 획득하는 방법으로는 슬릿빔(Slit Beam) 이용법[3], 스테레오 영상 기반법[4], 모아레 무늬를 이용한 방법[5-7] 등이 있다.

이와 같이 3차원 형상을 측정하는 검사장비들은 높은 분해능을 가진다. 하지만 높은 분해능이 믿을 수 있는 측정값만을 갖는다는 것을 의미하지 않는다. 비접촉 3차원 측정방식들은 측정된 3차원 형상정보에 2차원 영상에 비해 부분적으로 반복능이 좋지 않은 영역들이 존재한다. 그 이유는 물체와 광학계 사이가 멀기 때문에 그 사이에서 발열, 진동, 그림자, 노이즈 등의 환경적인 문제들이 발생할 수 있고, 이들은 측정된 3차원 형상을 왜곡시킬 수 있기 때문이다. 따라서 측정값의 반복능을 높이기 위해 측정장비에 2차원 카메라를 추가로 설치하여 2차원 영상을 획득하는 경우가 많다[8,9].

B. Luo[8] 등은 위상 측정, 펼침 및 그림자 처리를 위하여 위상천이 격자영사 간섭법에 의한 3차원 스케일과 2차원 이미지 특징을 융합하였다. 문헌 [9]에서는 위상천이 모아레 간섭법에 의해 획득한 3차원 형상정보와 2차원 영상을 이용하여 솔더를 검출하고 높이를 계산하는 방법을 제안하였고, 신뢰도 높은 검사를 가능하게 했다.

그런데 이 방법들은 3차원 형상정보와 별도로 2차원 영상을 획득하므로 조명과 컨트롤러 등이 필요하여, 광학계 구조가 복잡하여 지고 추가 비용이 발생한다. 또 이 구조의 시스템은 2차원 영상을 추가로 획득하므로 검사 시간이 길어진다.

본 논문은 3차원 형상정보를 사용하는 방법과 추가로 2차원 영상을 획득하는 장비의 단점 보완에 관한 것이다. 본 연구에서는 3차원 형상정보 외에 추가로 2차원 영상을 획득하지 않고, 3차원 형상정보로부터 2차원 영상을 생성하여 솔더영역을 검출하고, 위상정보에 의하여 솔더 높이를 계산하는 방법을 제안한다.

제안한 방법에서, 2차원 영상은 3차원 형상정보의 위

상평균과 측정점의 위상차에 의해 예비솔더영역을 검출하므로 1차적으로 생성된다. 검사의 반복능을 높이기 위하여, 우리는 1차적으로 구한 2차원 영상에서 예비솔더영역을 제외한 PCB 영역만의 위상평균에 의해 정확도 높은 2차원 영상을 다시 생성한다.

솔더의 높이는 검출된 솔더영역의 위상평균으로 정의하고, '기하학적 가중치'와 '밝기와 가시성 가중치'를 적용한 위상평균으로 계산한다. 솔더 높이계산에서 가중치는 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 3차원 형상정보의 신뢰도를 평가하여 측정에 반영한 것이다.

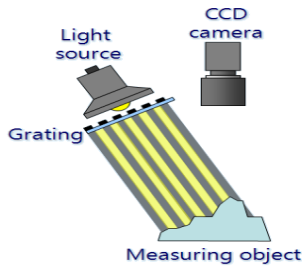
또 형상의 신뢰도는 측정 방법에 따라서 그 법이 갖는 특성으로 표현될 수 있기 때문에, 본 연구에서는 3차원 형상정보 획득을 모아레 무늬를 이용한 3차원 측정법으로 한정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모아레 무늬를 이용한 3차원 형상정보 획득을 기술한다. 3장에서는 모아레를 이용하여 획득한 3차원 형상정보로부터 2차원 영상을 생성하고, 4장에서는 이 영상을 이용하여 솔더를 찾는 방법을 기술한다. 5장에서는 솔더의 높이를 측정하는 방법을 다루고, 6장에서는 기존의 검사장비와의 비교 실험과 실험 결과에 대하여 고찰한다. 끝으로 7장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

2. 모아레 무늬를 이용한 3차원 형상정보 획득

이 장에서는 측정대상 물체의 3차원 정보를 얻기 위하여 사용되는 모아레의 원리 및 이를 이용하여 위상을 얻기 위한 과정을 설명한다. 모아레 무늬는 비슷한 주기를 갖는 두 개의 격자 모양이 겹치게 되면 발생한다. 모아레 무늬를 발생시키는 방법에는 그림자식 모아레, 영사식 모아레, 반사식 모아레 등이 있으며, 모아레 무늬를 해석하는 방법과 용도가 다양하게 발전해 왔다[5].

본 연구에서는 광위상 간섭법[10]을 모아레 무늬 해석에 적용한 위상천이 모아레 간섭법(Phase shifting moire interferometry)을 사용한다[5-7]. 제안한 방법에서는 Fig. 1과 같은 광학계의 조명 앞에 격자패턴을 두어 물체 위에 격자 영상을 투영시키고, 이 격자를 움직여 모아레 무늬를 발생시킨다.

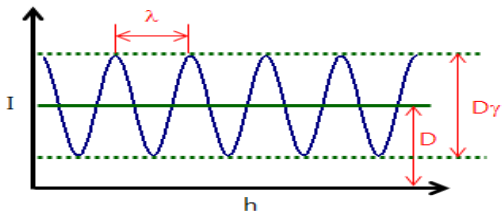


[Fig. 1] A moiré fringe generation optical system.

모아레 무늬는 먼저 형상이 없는 평평한 물체를 기준 면이라 하고 평평한 물체에 격자를 투영하여 기준격자 영상을 만들고, 측정대상 물체에 격자를 투영시켜 얻은 영상과 조합하면 얻을 수 있다. 이러한 모아레 간섭무늬는 물체의 움직임을 증폭시켜 나타나는데, 여기서는 물체가 고정되어 있으므로 물체의 높이가 증폭되어 나타난다. 물체에 투영된 모아레 격자무늬의 픽셀 변화는 식 1과 같이 코사인 패턴으로 가정된다.

$$I_j = D[1 + r \cos(2kh + \delta_j)] \quad (\text{식 } 1)$$

여기서 I 는 한 픽셀에 대한 밝기 변화, D 는 DC 광강도, r 은 가시성, h 는 연고자 하는 측정점의 높이를 나타낸다. 실제로 한 픽셀에 대한 변화는 Fig. 2와 같은 코사인 형태의 패턴이다.

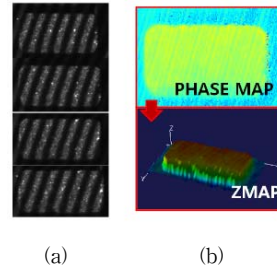


[Fig. 2] Change in intensity of pixel.

식 1에서 얻어야 하는 값은 측정점의 높이인 h 이다. 하지만 이 식에는 “ D , r , h ”와 같이 미지수가 3개로 h 값을 얻을 수 없다. 그래서 이 미지수 중에서 2개를 없애기 위하여 4장의 격자가 이동된 영상($\delta_1= 0^\circ$, $\delta_2= 90^\circ$, $\delta_3= 180^\circ$, $\delta_4= 270^\circ$)을 얻은 후 높이 h 에 대하여 식을 정리하면 식 2가 된다[5,7].

$$h = \tan^{-1} [(I_2 - I_4)/(I_1 - I_3)]/2k \quad (\text{식 } 2)$$

Fig. 3은 모아레 무늬를 이용하여 위상을 3차원으로 표현한 예이다. Fig. 3(a)처럼 격자를 물체 위에 투영하고, 격자를 이동시키면서 4장의 영상을 획득하고, 식 2를 적용하면 Fig. 3(b)와 같은 위상맵(Phase map)을 구할 수 있다. Fig. 3(b)에서의 ZMAP은 위상맵의 위상을 3차원으로 표현한 것이다.



[Fig. 3] Phase measurement using the phase shifting. (a) Grid projection image. (b) Phase map.

3. 형상정보에 의한 2차원 영상 생성

본 절에서는 3차원 형상정보를 이용하여 2차원 영상을 생성하고 이 영상을 이용하여 솔더를 검출하는 방법을 기술한다. 3차원 형상정보에서 검출하려는 솔더는 PCB 위에 있고, PCB를 평면으로 보았을 때 솔더는 평면보다 높은 위상을 갖는다. 우리는 이와 같은 위상차에 의해 3차원 형상정보로부터 2차원 그레이 영상을 생성하고, 솔더의 영역을 추출한다. 2차원 그레이 영상에서 밝은 영역은 높은 위상을 의미하므로, 이 영역은 솔더영역이 될 것이다.

3.1 위상평균에 의한 2차원 영상 생성

본 연구에서는, 3차원 형상정보에서 위상에 따라 화소값을 계산하여 솔더의 위치를 결정하기 위한 2차원 영상을 만든다. 위상의 높이에 따라 그레이 영상의 화소값을 결정할 때, 화소값이 0~255를 갖는 유한한 그레이 영상으로는 존재할 수 있는 범위가 무한대인 형상정보의 모든 위상을 표현할 수 없다.

따라서 우리는 형상정보 내에서 전체 위상평균을 구하고, 위상평균을 중심으로 일정범위에 있는 위상값을

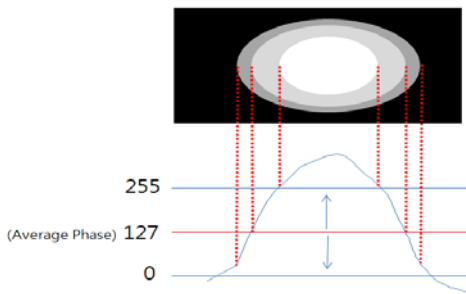
위상범위로 한정한다. 여기서 2차원 영상에서의 위상 표현범위는 알고자 하는 위상 분해능과 위상 범위를 고려하여 결정하면 될 것이다. 이 영상은 PCB와 솔더를 구분하기 위한 것이므로, PCB와 솔더가 구분될 정도의 위상 범위만 포함하면 된다.

식 3은 형상정보의 위상에 의해 2차원 그레이 영상을 생성하기 위하여 화소값을 계산하는 식이다. 여기서 p' 은 만들고자 하는 2차원 그레이 영상의 각점을 나타낸다. p 는 형상내의 위상 측정점들을 의미하며, N 은 측정점의 수이다. a 는 위상을 그레이 레벨로 변환할 때, 명도(Intensity) "1"이 얼마만큼의 위상을 의미할 것인지를 나타내는 2차원 영상의 위상 분해능이다. 또 ϕ 는 해당 측정점의 위상을 나타낸다.

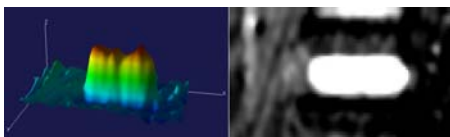
$$p'(x,y) = (\phi_{xy} - \phi_{avg})/a \quad (식 3)$$

$$\phi_{avg} = \sum \phi_p / N$$

Fig. 4는 위상 평균을 이용한 2차원 그레이 영상의 생성 원리를, Fig. 5는 솔더의 3차원 형상정보에 의하여 생성된 그레이 영상의 예이다.



[Fig. 4] 2D gray scale image generation using phase average.



[Fig. 5] Example of 2D gray scale image generated by the phase average.

3.2 솔더영역 추출

솔더영역은 생성된 2차원 그레이 영상의 이진화와 이진화 영상의 라벨링에 의하여 추출된다. 위상차에 의하

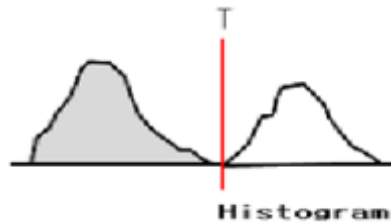
여 생성된 2차원 그레이 영상은 Otsu법을 사용하여 영역 분할을 위한 문턱치를 구하고, 솔더영역을 High로 솔더 이외의 평면 영역을 Low로 이진화한다[11]. 솔더영역 추출을 위한 라벨링은 솔더와 평면 영역이 구분된 이진화 영상에, 2-Scan 라벨링[12]으로 High값을 갖는 연속된 영역을 찾는 것이다.

Otsu법에 의한 문턱치 결정은 식 4와 같이 먼저 영상의 명도 평균값을 구하고, 각 화소별로 평균값과 떨어진 거리 즉 명도차를 구한다. 그리고 히스토그램을 이분하여 두 그룹에 속한 화소들의 거리의 합이 가장 작아지는 부분을 문턱치로 한다. 이 방법은 Fig. 6에 보인 것과 같이 영상의 히스토그램 분포에서 가장 이상적으로 이분할 수 있는 문턱치를 찾을 수 있다. Fig. 7은 이 문턱치를 이용하여 이진화한 영상의 예이다.

$$|\min(\sigma(p(i) \leq T) + \sigma(p(i) > T))$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (p(i) - \text{mean})^2}{N}} \quad (식 4)$$

$$\text{mean} = \frac{\sum_{i=0}^N p(i)}{N}$$



[Fig. 6] Threshold Selection by Otsu.

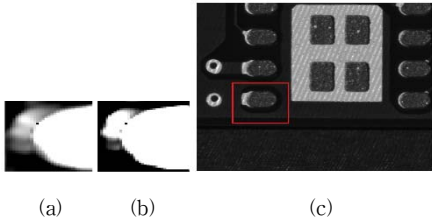


[Fig. 7] Example of binarization by Otsu

여기서 Fig. 7을 보자. 솔더영역이 High값으로 PCB영역이 Low로 표현되었다. 이 솔더영역의 추출은 솔더영역을 포함한 PCB 전체의 위상평균에 의하여 수행된 것으로, 정확히 솔더 부분을 추출하지 못한다. 예를 들면,

이진화 대상 영상에 솔더가 없거나 솔더영역이 매우 작을 경우, 솔더 부분을 PCB로부터 구분하는 문턱치가 평면 즉 PCB 영역을 좀 더 포함하는 값으로 선택될 것이다. 즉 전체 위상평균을 이용할 경우 솔더영역을 구분하는 문턱치가 전체 영역에서 평면이나 솔더영역의 비율에 따라 영향을 받는다. 이와 같은 이유에서, 우리는 위에서 추출한 솔더영역을 예비솔더영역이라 하고, 이 영역의 추출은 반복능이 높은 솔더영역 계산에 이용되는 중간절차에 불과하다.

Fig. 8에서는 위상평균을 사용하여 PCB 내의 솔더 측정을 반복한 결과영상을 보인다. Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)는 Fig. 8(c)의 PCB에 4각으로 표시된 솔더를 반복 측정된 영상이며, 반복능이 좋지 못함을 쉽게 알 수 있다.



[Fig. 8] Variation in images on repeated measurement of solders by whole phase average. (a) and (b) Variation in repeated measurements of solder. (c) PCB image.

3.3 PCB영역 위상평균에 의한 2차원 영상 생성

2차원 영상에서 검출된 솔더 라벨인 예비솔더영역을 PCB 전체의 위상평균에 의해 계산된 대략적인 솔더의 위치이다. 앞 절에서 기술한 바와 같이 이 솔더 라벨은 정확히 솔더 부분만을 가리지 못하고 솔더 측정시 반복능도 좋지 못하다. 따라서 솔더영역이 추출된 2차원 영상은 반복능이 높은 2차원 영상의 재생성에 이용되며, 검사를 위한 솔더영역도 다시 생성된 반복능이 높은 2차원 영상에서 검출한다.

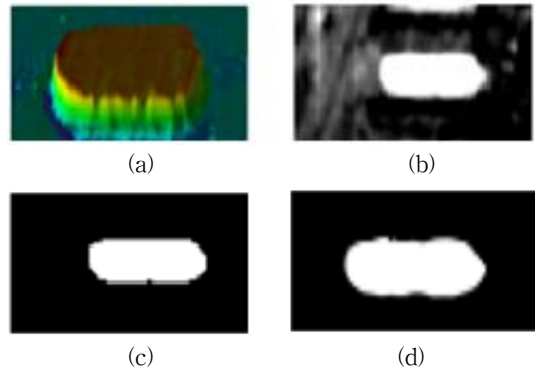
반복능이 높은 2차원 영상은 식 5에 의하여 생성되며, PCB 전체의 위상평균으로 생성된 영상에서 예비솔더영역을 제외한 PCB 영역의 위상평균을 기준위상으로 한다.

$$p'(x,y) = (\Phi_y - \Phi_{avg_PCB}) / \alpha \quad (식 5)$$

$$\Phi_{avg_PCB} = \sum \Phi_p / N_{PCB}$$

여기서 Φ_{avg_PCB} 는 대략적으로 구한 예비솔더영역을 제외한 PCB영역의 위상평균, N_{PCB} 는 이 영역의 측정 점수를 의미한다. 식 5는 PCB 영역의 위상평균인 Φ_{avg_PCB} 를 기준위상으로 하고, 솔더는 PCB 평면보다 높은 위상을 가지므로 기준 위상과 위상차를 이용하여 형상정보로부터 2차원 영상을 생성할 수 있다. 또 Φ_{avg_PCB} 는 PCB의 평면영역으로 간주되는 영역의 위상을 평균한 것으로, PCB 전체 위상평균을 기준으로 한 영상에 비해 영상의 반복능이 좋다.

Fig. 9는 전체 위상평균에 의해 생성된 2차원 영상과 PCB 영역만의 위상평균에 의해 생성된 2차원 영상의 예이다. 여기서 Fig. 9(c)는 PCB 전체 위상평균에 의해 생성된 2차원 영상을 보인다. Fig. 9(d)는 Fig. 9(a)의 위상 데이터에서 Fig. 9(c)의 예비솔더영역을 제외한 PCB로 간주되는 영역의 위상평균에 의해 생성된 2차원 영상이다. Fig. 9(d)에서 보인 솔더영역이 Fig. 9(c)에 비하여 Fig. 9(a)의 위상정보와 더 유사함을 알 수 있다.



[Fig. 9] 2D image generated from 3D profiles. (a) Phase information. (b) 2D image generated from whole phase average of PCB. (c) Binarized image of (b). (d) 2D image generated from phase average of PCB excluding solders.

4. 검사 솔더영역 검출

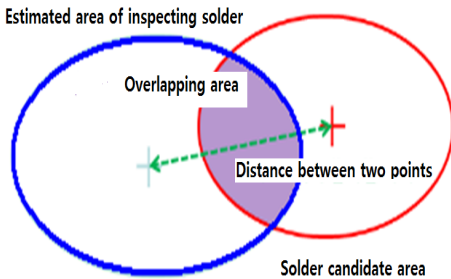
일반적으로 검사 대상 PCB에는 많은 솔더가 있다. 여기서 솔더영역을 검출한다는 것은 PCB 내에서 검사하고자 하는 도이면 특정한 솔더를 검사 대상 PCB의 2차원 영상에서 찾아내는 것이다. 솔더영역을 찾기 위해 반복능 높은 2차원 영상을 이진화한 후 라벨링을 한다.

PCB를 생산할 때는 언제나 PCB의 도면정보가 주어진다. 솔더의 검사는 도면정보의 각 솔더에 고유의 번호를 부여하고, 도면정보를 기준으로 검사 대상 PCB의 2차원 영상에서 해당 솔더를 찾아서 측정하는 것이다. 검사 대상 솔더는 PCB 도면으로부터 솔더의 예상 위치, 크기와 모양 등을 개략적으로 알 수 있다. 측정장비는 도면정보를 이용하여 이 정보와 가장 유사한 솔더를 선택하면 될 것이다.

우리는 안정적으로 검사 대상 솔더를 선택하는 기준을 아래와 같이 정의하고, Fig. 10에 보였다. 알고리즘 1은 이 기준을 이용하여 검사 대상 솔더를 선택하기 위한 절차이다. 또한 이 절차는 동일 솔더를 반복 측정할 경우 항상 같은 솔더가 선택되어야 한다.

(솔더영역 검출 기준)

- ① 솔더의 예상위치 영역과 중복된 영역 크기
- ② 솔더의 예상위치 영역과 떨어진 거리
- ③ 솔더의 예상크기와의 차이



[Fig. 10] Parameters for the detection of the solder region.

제안한 방법은 검사대상 솔더를 검출하기 위하여 우선 각 솔더영역의 점수를 검출기준 점수와 가중치 “ W_i ”의 곱으로 계산한다. 검사 대상 솔더는 검출된 N개의 솔더에서 점수가 가장 큰 솔더영역이 된다.

여기서 $Area_s$ 는 도면의 예상 솔더영역의 크기, $Area_L$ 은 검색 중인 솔더의 크기이다. $OverlapArea_L$ 은 예상영역과 검색 중인 솔더영역과 겹치는 영역이다. $Dist_L$ 은 예상영역 중심에서 검색 솔더 중심까지의 거리, $Dist_M$ 은 최대 떨어질 수 있는 거리로 예상 솔더의 장축과 같은 길이이다. 여기서 솔더 하나가 사이에 들어갈 만큼 거리가 나다면 $Score_2$ 에 0을 할당한다.

(알고리즘 1) 검사 대상 솔더 검출

```

for L = 1, N
{
    Score1 =  $\frac{Area_s - OverlapArea_L}{Area_s}$ 
    Score2 =  $\frac{Dist_L}{Dist_M}$ 
    Score3 =  $\frac{Area_s - Area_L}{Area_s}$ 
    ScoreL = Score1 * W1 + Score2 * W2 + Score3 * W3
    if (ScoreL > ScoreM)
    {
        Selected - Solder = L
        ScoreM = ScoreL
    }
}
    
```

5. 솔더 높이 계산

본 장에서는 3차원 형상정보를 이용하여 솔더영역의 높이를 계산하는 과정을 설명한다. 솔더 높이는 특정 솔더영역의 모든 측정점의 높이 평균이다. 측정점의 높이는 PCB로부터 솔더의 위상이 Z방향으로 얼마만큼 떨어져졌는지를 측정하면 된다. PCB의 위상은 이미 3장의 2차원 영상 생성에서 측정되었다.

그런데 솔더 높이계산에서, 솔더영역의 모든 측정점 높이를 계산에 그대로 사용하면 얻어진 솔더높이의 반복능이 좋지 않은 현상을 볼 수 있다. 그 이유는 높이계산에 포함되어서는 안 되는 노이즈와 반복능이 좋지 않은 측정점이 있기 때문이다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 각 측정점의 신뢰도를 나타내는 가중치를 구하고, 이 가중치에 따라 해당 측정점이 얼마나 솔더에 기여할 것인가를 결정한다.

5.1 기하학적 가중치

일반적으로 물체의 형상화 과정에서, 물체의 경계 부분은 값의 변화가 심한 영역으로 픽셀 분해능에 의해 반복능이 좋지 못하다. 본 연구에서는 솔더 높이계산에서 이와 같이 반복능에 악영향을 주는 경계영역의 문제를 해결하기 위해, 솔더의 경계부분 형상정보에 대하여 가중치를 낮추어 주는 기하학적 가중치를 정의하였다.

Fig. 11을 보자. 솔더 내부의 측정점에는 인접 측정점의 수가 많고, 경계 영역의 측정점에는 인접 측정점의 수

가 적다. 여기서 인접 측정점의 수는 경계로부터 측정점의 위치를 나타낼 수 있으며, 우리는 측정점 주변에 인접한 측정점의 수에 따라 기하학적 가중치를 부여하도록 하였다. Fig. 11은 기하학적 가중치가 솔더의 경계에서 중심으로 갈수록 높게 설정됨을 보인다.



[Fig. 11] Geometric weighting factor.

알고리즘 2는 제한한 기하학적 가중치의 계산과정이다. 여기서 $P(x, y)$ 는 이치화된 2차원 영상에서 현재의 측정점으로, $P(x, y)$ 가 0이면 솔더가 아닌 PCB 영역을, 1이면 솔더영역이 된다. 기하학적 가중치는 솔더영역의 관심점에 $(n \times n)$ 마스크를 씌우고 인접화소의 수를 계산하는 것으로, G_p 는 현재 측정점 P 의 기하학적 가중치이다.

(알고리즘 2) 기하학적 가중치

```

if( $P(x, y) = 1$ ) then
{
  for  $x' = (x - \text{int}(n/2))$  to  $(x + \text{int}(n/2))$ 
  for  $y' = (y - \text{int}(n/2))$  to  $(y + \text{int}(n/2))$ 
     $G_p = G_p + P(x', y')$ 
}
    
```

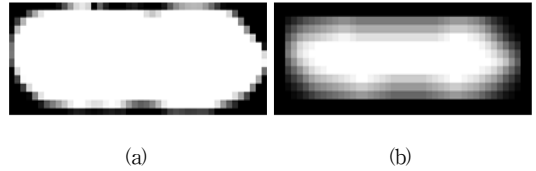
Solder Region						Calculated Weight					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	5	7	7	5	0
0	1	1	1	1	0	0	6	9	8	5	0
0	1	1	1	0	0	0	5	8	7	5	0
0	0	1	1	0	0	0	0	5	4	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(a) (b)

[Fig. 12] Example of the geometric weighting factor calculation.

(a) Image of solder region. (b) Geometric weighting factor calculated.

Fig. 12는 마스크를 3×3 으로 했을 때 평가된 기하학적 가중치이다. Fig. 12(a)에서 픽셀값 1은 솔더영역을, 0은 PCB 영역을 나타낸다. Fig. 12(b)는 솔더영역의 평가된 기하학적 가중치로, 경계에서 멀수록 가중치가 커짐을 보인다. 또 Fig. 13은 평가된 가중치를 추출된 솔더영역에 적용한 예이다.



[Fig. 13] Application of geometric weighting factor. (a) Image of solder region. (b) Result of applying geometric weighting factor.

5.2 밝기와 가시성 가중치

밝기와 가시성 가중치는 측정된 솔더 높이의 신뢰도를 높이기 위하여 모아레 특성을 반영한 가중치이다. 모아레 무늬를 이용하여 획득한 3차원 형상정보에는 측정시 발생한 난반사와 그림자 등으로, 계산되지 못했거나 계산되었어도 값을 신뢰할 수 없는 노이즈 영역이 포함되어 있다. 밝기와 가시성 가중치는 노이즈로 판단되어 신뢰할 수 없는 영역에 대하여 가중치를 낮추어 평가된 솔더 높이의 신뢰도를 높이기 위함이다.

첫째로, 신뢰할 수 없는 노이즈 영역은 모아레 무늬로 측정된 영상에서 밝기가 너무 밝은(Saturation) 부분이다. 이 영역은 난반사에 의해 영상이 밝게 된 것이다. 본 연구에서 사용한 광학계는 조명의 영상각과 PCB 내의 패턴 각도가 일치하는 경우 등 난반사 일어날 여지가 있다. 난반사 영역은 실제 높이가 높지 않은 패턴임에도 높은 높이로 잘못 측정이 된다.

둘째, 모아레 무늬를 이용한 영상측정은 측정대상 물체에 격자를 투영한 후 격자를 이동하며 여러 장의 영상을 얻는다. 측정된 영상에서 측정점의 밝기는 2장의 식 1과 같다. 모아레 특성은 반복 측정된 측정점의 밝기 변화가 크면 가시도가 높음을 나타낸다. 반면에 한 측정점에 대한 모아레 격자 영상들의 화소값 변화폭이 작다면 격자무늬의 가시성이 좋지 않음을 내타낸다. 예를 들면 물체의 높이에 의해 그림자 영역이 발생한 경우이다. 이 영역은 측정에서 격자무늬가 투영되지 못하여 영상에 격자무늬가 맺히지 못하게 된다. 따라서 이 영역의 측정점은

모아래 격자 영상들의 화소값 변화폭이 매우 작게 되고 측정값은 신뢰할 수 없게 된다.

본 연구에서는 광학계의 특성인 밝기와 가시성을 고려하여, 특정 밝기 이상인 측정점과, 화소값 변화가 일정값 이하인 측정점에는 낮은 가중치를 부여한다.

알고리즘 3은 밝기와 가시성 가중치 평가 방법이다. 여기서 M_p 는 측정점 P 의 밝기와 가시성 가중치이다. 또 $Intensity_p$ 는 측정점 P 의 밝기를, $Intensity_threshold$ 는 측정점 밝기의 한계값, $W_{p_intensity}$ 는 측정점 P 의 밝기 가중치를 나타낸다. $Variation_p(I)$ 는 측정점 P 에서 4위상 “ $\delta_1=0^\circ, \delta_2=90^\circ, \delta_3=180^\circ, \delta_4=270^\circ$ ”의 밝기(2장의 식 1 참조) 변화량이다. 또 $W_{p_visibility}$ 는 측정점 P 의 가시성 가중치를 나타낸다.

(알고리즘 3) 밝기와 가시성 가중치

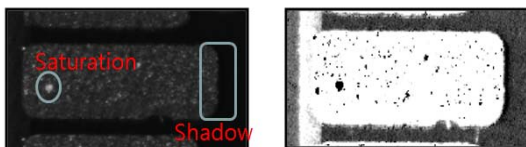
```

{
  if(Intensityp > Intensitythreshold)
    then Wpintensity = 0
    else Wpintensity = 1

  Wpvisibility = Variationp(I)δ=0° to 270° step 90°

  Mp = (Wpintensity * Wpvisibility)
}
    
```

Fig. 14는 알고리즘 3에 의해 평가된 밝기와 가시성 가중치의 예를 보인다. Fig. 14(a)는 밝기가 특정값 이상인 영역과 화소값 변화가 일정값 이하인 영역을 가진 측정 영상이다. Fig. 14(b)는 밝기와 가시성을 고려하여 계산된 가중치를 나타낸 것이다. 여기서 어두운 부분은 밝기와 가시성을 고려하여 가중치를 낮게 평가한 영역이다.



[Fig. 14] Application of intensity and visibility weighting factor. (a) Original image. (b) Result of applying weighting factor.

5.3 솔더 높이 계산

본 연구에는 솔더의 높이를 검출된 솔더영역의 위상 평균으로 정의하였다. 또 우리는 위상평균 계산에서 측정 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 3차원 형상정보의 신뢰도인 기하학적 가중치와 밝기와 가시성 가중치를 평가하여 반영한다. 즉 솔더의 모든 측정점의 위상값은 동일한 가중치로 위상평균 계산에 참여하지 않고, 기하학적 가중치와 밝기와 가시성 가중치를 가지고 위상평균 계산에 참여한다.

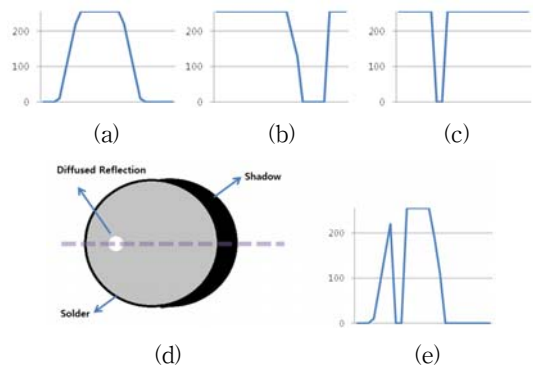
알고리즘 4는 솔더 높이의 계산 절차이다. 여기서 N 은 검사대상 솔더영역의 측정점의 수, G_p 는 기하학적 가중치를 나타낸다. 또 M_p 는 밝기와 가시성 가중치, W_p 는 결합가중치이고, ϕ 은 특정 위치의 위상을 나타낸다.

(알고리즘 4) 솔더 높이 계산

```

{
  for p = 0 to N
  {
    Wp = (Gp * Mp)
    Sum1 = Sum1 + (ϕp * Wp)
    Sum2 = Sum2 + Wp
  }

  Height = Sum1 / Sum2
}
    
```



[Fig. 15] Combining the weighting factors for calculating height. (a) Geometric weighting factor. (b) Visibility weighting factor. (c) Intensity weighting factor. (d) Solder image with saturation and shadow. (e) Combination of all weighting factors.

Fig. 15는 Fig. 15(d)와 같이 솔더영역에 난반사와 그림자가 있을 때, 솔더의 단면에 가중치들을 그래프 형태로 나타낸 것이다. 제안한 가중치는 솔더영역의 위상평균 즉 높이계산에서 난반사 영역은 제외시키고, 그림자 영역과 솔더의 경계부분은 계산에 덜 기여하게 하여 계산 결과의 신뢰를 높인다.

6. 실험 및 고찰

본 장에서는 제안한 방법의 유용성을 검토하기 위한 실험과 그 결과를 논의한다. 우리는 제안한 알고리즘을 탑재한 테스트 장비에 대하여 PCB 결합 검사를 실시하고 검사속도와 반복능 및 검출력을 측정하여 기존장비[9]와 성능을 비교하였다. 비교대상 기존장비는 PCB검사에 3차원 형상정보와 추가로 2차원 영상을 획득하는 검사장비이다.

한편 좋은 검사기의 판별은 일반적으로 ‘검출력’과 ‘반복능’이 기준이다. 검출력이란 불량품을 불량으로 정상품을 정상으로 판별해야 한다는 것이다. 반복능은 같은 측정물을 여러 번 반복 측정했을 때도 그 결과가 항상 반복적이어야 한다는 것이다. 결과가 반복적이지 못하고 값이 큰 폭으로 변화한다는 것은 현재 계산된 결과를 신뢰할 수 없다는 것이다[13].

Table 1은 PCB 검사 속도에 대한 비교이다. 제안한 방법이 기존 장비보다 검사 속도에서 17.5% 향상되었음을 보인다. 또 실험 결과는 본 알고리즘을 탑재한 장비가 검사 대상 PCB의 FOV(Field of View) 수가 많을수록 검사 속도에서 더 유리함을 보인다.

[Table 1] PCB inspection time.

Model	FOV	Inspection Time(Sec.)	
		Suggested System	Used System
1	28	14.2	19.5
2	24	12.2	13.16
3	19	9.3	10.6

Table 2는 약 2000개의 솔더가 있는 PCB를 검사장비에 30번 투입하며 반복측정을 하고, 반복능을 평가한 결과이다. Table 2는 제안한 방법이 기존 방법보다 솔더 높이계산에서 29% 반복능이 향상되었음을 보인다.

본 논문에서는 검사장비의 반복능을 3시그마(3 Sigma)를 이용하여 평가하였다. 또 시그마란 무결점으로 부터 얼마나 떨어졌나를 뜻하는 통계적 수치로, 여기서 3시그마로 얻은 반복능은 95%정도 실제 반복능과 일치함을 의미한다.

[Table 2] Mean, minimum and maximum of 3 sigma.

	Item	3 Sigma		
		Avg.	Min.	Max.
Suggested System	Area	0.87	0.07	8.94
	Height	1.02	0.10	4.99
Used System	Area	1.61	0.06	11.57
	Height	1.44	0.24	7.54

Table 3과 4는 검출력의 비교 결과이다. 우리는 불량 솔더를 가진 두 종류의 PCB를 대상으로 불량 솔더의 검출력을 비교하였다. Table 3은 PCB Model BN41_01170D, Table 4는 PCB Model 1157A_BOT에 대한 불량솔더 검출결과이다. 여기서 Overkill은 불량미 아닌 솔더를 불량으로 검출한 오류를 의미한다.

[Table 3] Detection rate on BN41_01170D.

	Defective in PCB	Suggested System	Used System
Height	3	3	0
Area	1	1	0
Volume	5	5	3
Overkill		0	5

[Table 4] Detection rate on 1157A_BOT.

	Defective in PCB	Suggested System	Used System
Height	0	0	0
Area	2	2	2
Volume	6	6	3
Overkill		0	0

제안한 방법에서 검사 속도가 개선된 이유는, 본 방법은 3차원 형상정보 외에 추가로 2차원 영상을 측정하지 않으므로 2차원 영상측정 시간만큼 검사 속도가 향상되기 때문이다.

또 반복능과 검출력이 향상된 이유는 다음과 같다. 첫째는 3차원 형상정보로부터 2차원 영상생성을 위해 제안

한 정확한 기준위상의 설정방법이다. 정확한 기준위상의 설정은 정확한 2차원 영상생성과 솔더영역 추출력을 향상시킨다. 둘째는 물체의 경계 등 반복능이 낮은 영역과 모아레 특성으로 난반사와 그림자 등 신뢰도가 낮은 영역에 대한 가중치 제안이다. 제안한 방법은 신뢰도나 반복능이 낮은 영역의 측정점에는 낮은 가중치를 부여하므로, 측정된 솔더 높이의 신뢰도를 높이기 때문이다.

7. 결 론

본 논문에서는 2차원 영상을 추가로 획득하지 않고 3차원 형상정보로부터 PCB 위의 솔더를 검출하고 높이를 측정하는 새로운 방법을 제안하였다.

비접촉식 3차원 미세측정장비에는 광학계와 물체 사이의 공간에 발열, 진동과 그림자 등의 불안요소가 있다. 또 이러한 불안요소들은 3차원 형상 측정 결과에 왜곡을 발생시킨다. 3차원 형상정보는 이 왜곡으로 2차원 영상보다 분해능이 높음에도 불구하고, 부분적으로 반복능이 낮은 영역을 포함한다. 이에 따라 3차원 측정장비들은 3차원 형상정보 외에 추가로 2차원 영상을 획득하는 경우가 많다. 또 이 장비들은 2차원 영상을 추가로 측정하므로 광학장치가 복잡해져서 장비의 가격이 높아지고, 검사시간이 길어진다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 2차원 영상을 추가로 측정하지 않고 3차원 형상정보의 오류를 보정하여 2차원 영상을 생성한다. 3차원 형상에서 2차원 영상을 생성한다는 것은, 기준위상을 중심으로 특정 범위의 위상을 2차원 영상화하는 것이다. 이때 기준위상의 반복능이 좋지 않다면 그 기준으로 생성한 2차원 영상의 반복능 역시 좋을 수 없다.

우리는 이 기준위상의 반복능을 높이기 위해 3차원 형상정보에서 대략적인 PCB 평면을 구하고, 이 평면의 위상평면을 기준위상으로 정의한다. 또 우리는 이 기준위상을 중심으로 2차원 영상을 생성하고 솔더영역을 검출한다.

다음은 솔더 높이측정으로, 제안한 방법에서는 모아레 특성을 이용하여 3차원 형상정보의 신뢰도를 평가하고, 신뢰도만큼 각 측정점이 솔더 높이에 계산에 참여한다. 이렇게 하여 본 방법은 2차원 영상을 추가로 측정하지 않고, 단지 3차원 형상정보만으로 반복능과 검출력 높게 솔

더영역을 추출하고 높이를 측정할 수 있다.

제안한 방법에 대한 측정실험 결과, 검사시간에서 17.5% 향상과 솔더 높이계산에서 29%의 반복능 향상을 얻어, 제안한 방법의 유용성을 확인하였다.

본 방법은 3차원 형상정보 외에 추가로 2차원 영상 획득하지 않으므로 SPI장비의 광학계가 단순하다. 그러므로 이 방법은 장비의 가격 인하와, 영상획득 시간의 단축으로 빠른 검사가 가능하다.

향후 과제는 다양한 형상에 대하여 반복능 높게 솔더를 추출할 수 있도록 다양한 패턴에 대한 실험과 연구이다. 또한 현재 사용되는 광학계의 한계인 난반사와 그림자로 인하여 3차원 측정이 불가능한 영역이 발생하는 문제에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] Y. M. Kim, H. J. Kim, S. C. Um, H. T. Kong and C. S. Kim, "The surface mounting technology to prevent improper fine chip insertions by using fiber sensors," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 12, No. 9, pp. 4138-4146, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.9.4138>
- [2] S. M. Bae, S. H. Son, S. H. Kwon, H. S. Lee, Y. M. Heo, M. J. Kang and S. H. Yoo, "Development of Knowledge Sharing Platform for Digitization of Surface Mount Technology," *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-5, 2011.
- [3] J. J. Lee, B. G. Lee and J. C. Yoo, "3-D Solder Paste Inspection based on B-spline Surface Approximation," *KSIAM IT series*, Vol. 10, No. 1, pp. 31-45, 2006.
- [4] F. Cheng and X. Chen, "Integration of 3D Stereo Vision Measurements in Industrial Robot Applications," *Proceedings of the IAJC-IJME International Conference*, pp34-43, 2008.
- [5] Y. B. Choi, *Phase-shifting Moire Topography for Precision Measurement of 3-Dimensional Profiles*, Doctoral Thesis in KAIST, Korea, 1997.
- [6] Y. B. Choi and S. W. Kim, "Phase-shifting grating projection moire' topography," *Optical Engineering*, Vol. 37, No. 3, pp. 1005 - 1010, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/1.601934>
- [7] M. S. Jeong, *3-D Profile Measurement of Human Bodies Using Moire Topography*, Doctoral Thesis in KAIST, Korea, 2002.

[8] B. Luo and L. Y. Zhang, "SMT Solder Paste Deposit Inspection based on 3D PMP and 2D Image Features Fusion," *IEEE International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, pp. 190 - 194, July 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICWAPR.2010.5576321>

[9] INTEKPLUS Co., Ltd., *Optical Measurement System the Shape of an Object and Measurement method using the Same*, Patent No. : 010126370000, Korea, 2011.

[10] Y. Y. Cheng and J. C. Wyant, "Two-Wavelength Phase Shifting Interferometry," *Applied Optics*, Vol. 23, No. 24, pp. 4539-4543, 1984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.23.004539>

[11] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. on Systems*, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>

[12] L. He, Y. Chano and K. Suzuki, "A Linear-Time Two-Scan Labeling Algorithm," *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2007)*, Vol. 5, pp. 241-244, San Antonio, Sep. 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2007.4379810>

[13] J. H. Song, *The Solder Region Detection and Height Calculation using 3D Profiles in Moire Images*, Master's Thesis in Computer Engineering, Hanbat Nat. Univ., Korea, 2010.

이 은 주(Eun Joo Rhee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1989년 8월 : 공주교육대학교 전임강사
- 1989년 8월 ~ 현재 : 한밭대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

영상처리, 패턴인식, 컴퓨터비전, 인공지능

송 준 호(Jun Ho Song)

[정회원]



- 2005년 2월 : 한밭대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 ~ 현재 : (주)인텍플러스 책임연구원

<관심분야>

영상처리, 산업용 비전개발, 지능형시스템