

## PCB의 3차원 검사

조 홍 주, 박 현 우, 이 준 제

동서대학교 인터넷공학부

전화 : 051-320-1724 / 핸드폰 : 011-9404-2723

### 3D Inspection of Printed Circuit Boards

Hong Ju Cho, Hyun Woo Park, Joon Jae Lee  
Division of Internet Engineering, Dongseo University  
E-mail : jilee@dongseo.ac.kr

#### Abstract

In manufacture of printed circuit boards, one important issue is precisely to measure the three-dimensional shape of the solder paste silk-screened prior to direct surface mounting of chips. This paper presents the 3D shape reconstruction of solder paste using the optical triangulation method based on structured light or slit beam and the measurement algorithm for height, volume, area, and coplanarity on component pads from the 3D range image. Furthermore, statistical process control function is incorporated for process capability analysis.

#### I. 서론

SMT(Surface mounting technology) 제조공정에서 발생하는 불량은 다음의 세 공정, 즉, 납(solder)의 프린팅, 부품의 정위치 장착, 그리고 납을 녹여서 접합하는 과정(reflowing)에서 일어난다. 검출된 납땀의 50% 이상이 납의 프린팅시 일어난다고 알려져 있다. 이것은 납땀이 서로 갈라지거나, 우뚝 솟은 형태, 그리고 연결부분이 끊어지거나 서로 붙은 것들에 해당한다. 이러한 결점을 프린팅과정에서 많은 변수와 어떻게 관련되었나를 이해하는 것이 모든 제조업자들이 맞고 있는 문제이다.

지금까지 많은 제조업자들은 납의 프린트 과정에서 문제를 해결하기 위해 두가지 방법에 의존하고 있다. 하나는 납을 녹이기 전에 납의 형상(solder paste)을 검사하는 사전검사 방법과 납을 녹여서 접합한 후에 검사하는 사후검사 방법이다. 사전검사에서 납 형상의 높이 및 체적을 측정하는 것은 결함의 수를 최소로 줄일 수 있는 중요한 부분이다. 만일 납량이 너무 많다면 두 라인이 서로 연결되며, 너무 적다면 open joints의 수가 증가한다. 더구나 BGA 같이 비교적 값이 비싼 부품이 증가함에 따라 사전검사의 중요성이 더욱 커지고 있다.

납의 높이, 체적은 물론 3차원적인 형상 정보를 추출하기 위한 방법으로 점형의 레이저빔을 2차원적으로 스캐닝하는 방법[1], 선형의 빔을 1차원적으로 주사하는 방법[2], 위상 차등을 이용하는 방법 등이[3],[4] 사용되고 있으나 현장 적용성, 속도 및 경제성을 고려하여 본 연구에서는 선형의 레이저빔을 이용하는 방법을 택하였다. 개발된 레이저 카메라 센서는 원리적으로 광삼각 방식을 택하고 있으며, 측정부위를 가시화하기 위하여 670 $\mu$ m 파장의 적색 가시광 다이오드 레이저를 광원으로 하는 선형 레이저 빔 발생 광학계와 CCD 센서에 레이저빔을 결상시키는 영상 광학계로 구성된다. 표준 사용 거리 60 $\mu$ m, 측정범위 3x4mm, 측정정밀도 5 $\mu$ m 이내의 센서를 개발하기 위하여, 정밀 레이저 빔 발생 광학계와 영상 광학계를 광경로추적(ray tracing) 방식을 사용하여 설계 해석하고 센서부를 정밀 제작하였다. 센서로부터의 2차원 영상에서 3차원 정보를 추출하기 위한 프로그램은 영상을 획득하고 획득된 영상에

서 조사된 레이저 선이 정확한 중심선을 찾는 영상처리 알고리즘과 구해진 레이저 중심선으로부터 3차원 데이터를 추출하고 다수의 레이저 빔으로부터 3차원 형상을 재구성하는 전처리 과정이 있다

다음, 얻어진 3차원 데이터로부터 부품영역에 대한 각 납 형상의 높이, 면적, 체적을 계산하는 알고리즘을 기준면으로부터 구한다. 여기서 부품의 회전, 이동, 기울어짐에 무관한 값을 얻기 위해서는 이에 대한 보정이 필요하며 특히 베이스 기준면을 계산하고 이로부터 직교 거리를 구하는 과정이 매우 중요하다. 또한 이런 데이터들이 공정능력 분석을 위해 실시간으로 처리되어 구조화되고, 공정관리 프로그램으로 연결된다.

따라서 본 논문에서는 3차원 solder paste 검사장치의 설계, 제작, 그리고 측정 알고리즘, 통계적 공정관리를 포함한 소프트웨어 구성 및 기능에 대해 제시한다.

## II. 시스템 구성

3차원 solder paste 검사 장치는 크게 3차원 레이저 센서부와 X-Y 이송장치를 포함한 검사용 작업대, 그리고 컴퓨터로 구성된다. 동작은 레이저 빔 발생부에서 선형 레이저 빔을 검사용 작업대 위에 있는 PCB 기판위의 SMD 납에 주사하고, 이송장치를 이동시키면서 CCD 카메라로부터 영상을 획득하여 컴퓨터로 보내면 이를 컴퓨터에서 처리하여 3차원 데이터를 구한 후 화면으로 표시해 준다. 그림 1은 개발한 3차원 납 형상 장치를 보여준다.

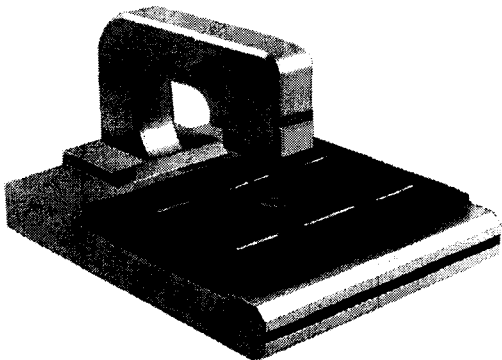


그림 1. Solder paste 3차원 검사장치

3차원 센서의 구성은 선형의 레이저 빔 발생 광학계, 레이저 빔 영상 광학계, 레이저 정전류 제어부, 및 CCD 카메라로 구성된다. 광삼각방식의 레이저 측정 센서의 기본 원리는 다음 그림 2와 같다. 그림 2는 점형의 레이저 빔에 대한 것으로 선형의 레이저 빔에 대해서는 2D CCD 센서의 각 화소에 대하여 그림 2의

원리를 적용하여 대상체의 높이 정보와 배율을 구하여 3차원 정보를 구하게된다. 그림에서 피 측정체에 조사된 레이저 광은 입사 레이저 빔 축과 기울어진 렌즈에 의해 CCD 센서면에 상을 맺는다. 물체의 높이가 그림과 같이  $p$  방향으로 바뀌면, CCD 센서에 결상된 레이저 광점의 위치가  $q$  만큼 바뀌게 된다.  $q$  값을 측정하여, 구성된 광학계의 변수들을 대입 환산하여 대상 물체의 높이  $p$  를 측정할 수 있다. 물체까지의 높이  $p$  와 CCD에서 레이저 광점의 위치  $q$  는 비선형적으로 구해지는데 식 (1) 과 같게 된다[1].

$$p = \frac{q \cos \phi (s - f)}{f \sin \theta + q \cos \phi \cos \theta} \quad (1)$$

여기에서,  $f$  : 영상렌즈의 초점 거리

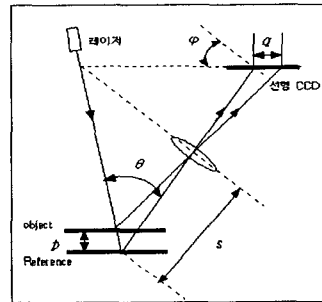


그림 2. 광삼각 측정의 기본원리

광학계 설계의 목표는 표준 사용거리가 60mm이고 측정범위가 3x4 mm이며 높이방향의 측정의 화소분해능이 5μm로 설계하였다.

## III. 영상처리

영상처리는 CCD에 결상된 영상 신호를 분석하여 레이저빔이 주사한 위치의 정확한 화소를 추출하는 것이다. 이상적으로는 레이저 빔이 한 화소에만 결상되면 좋으나 물리적으로 그렇게 만드는 것은 불가능하다. 그러나 레이저 빔이 결상점에서 멀어질수록 신호가 가우스 형태의 프로파일을 가지므로 이의 중심 화소를 추출하면 된다. 레이저빔의 중심선 추출은 거리측정 정밀도와 직접적인 관련이 있는 부분으로 이를 정확히 추출하는 것이 매우 중요하다. 이의 순서도는 그림 3과 같다.

### 3.1 레이저 빔 영역 추출

알고리즘은 먼저 처리 속도 및 정밀도를 높이기 위

해 640x480 영상에서 레이저 빔이 주사한 영역만을 추출한다. 이 영역의 선택은 세로축으로 누적한 분포함수(vertical projection)를 구한 후 이진화 한다. 이진 영상에서 영역채색(blob coloring)을 하면서 영역이 작은 화소는 잡음으로 간주하여 제거한다.

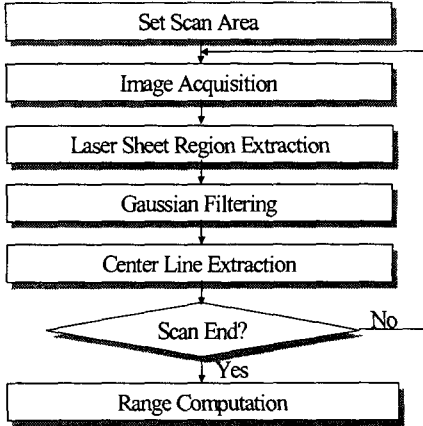


그림 3. 3차원 데이터 추출과정

3.2 방향성 가우스 필터링

다음 3(H)x7(V) 방향성 가우스 필터링을 취한다. 이는 레이저의 집속성 에너지에 의해 표면에 따라 난반사가 많이 생기므로 이를 제거하기 위해 평활화 과정을 거친다.

3.3 중심선 추출

가우스 필터링한 영상으로부터 미리 설정된 문턱치로 이진화를 한 후 가장 빈도수가 많은 영역에 대해 무게중심법(center of gravity)으로 중심값을 구한다. 이의 평균으로 중심값을 취한다.

$$y' = \frac{\sum f(y) \cdot y}{\sum y} \quad (2)$$

따라서 이 중심위치의 값은 수십분의 부화소(sub-pixel) 해상도로 얻어진다.



그림 4. 레이저 빔 영역 인식 및 중심선 추출

3.4 잡음 제거

opening, closing의 1차원 모폴로지 연산으로 잡음을 제거한다.

3.5 3차원 거리 계산

캘리브레이션(calibration) 모델 M이 영상의 좌표(i,j)를 실 좌표(y,z)로 변환하는데 사용된다. 여기서 영상좌표(i,j)에 해당하는 실좌표  $z = f(i, j)$ 는 캘리브

레이션 막대를 정밀하게 이송시키면서 실험 데이터를 일정한 간격에서 획득하고, 이에 대한 최소 오차법에 의해 캘리브레이션 변수를 얻는다. 여기서 사용된 f는 여러 가지 함수들 중에서 광학렌즈의 왜곡과 레이저 빔의 특성을 고려하여 2차함수를 선택하여 식(3)처럼 모델화 하였고, 가우스 소거법을 통해 M을 얻는다[2].

$$[x^2 \ y^2 \ xy \ x \ y \ 1] M = z \quad (3)$$

IV. 3차원 거리 영상 생성 및 처리

4.1 잡음제거

전 절에서 얻은 3차원 데이터는 가로축으로는 잡음 제거 필터링을 수행하였으나 역시 세로 축으로 발생하는 임펄스 잡음을 제거하기 위해 y축 모폴로지 필터링을 한다.

4.2 재샘플링에 의한 거리 영상 획득

이런 3차원 데이터는 x,y,z가 규칙적인 배열로 구성되어 있지 않다. 즉, dx, dy 가 다 같지 않으므로 이를 3차원 상에서 직접처리 하면 데이터 량의 증가와 처리 시간이 증가 된다. 따라서 이를 B-spline으로 근사화 해서 재샘플링을 거치면 규칙적인 배열의 거리 영상이 된다. 그림 5는 이렇게 해서 얻은 거리 영상을 OpenGL로 보여준 화면이다.

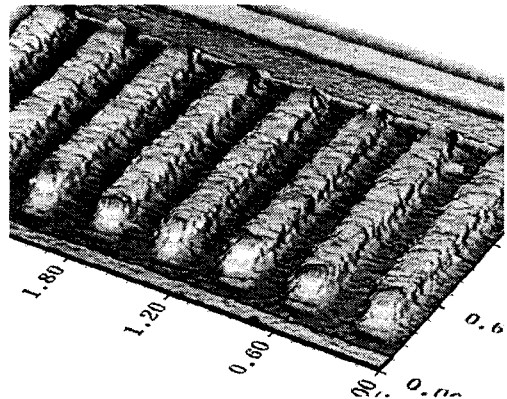


그림 5. 3차원 영상

4.3 높이, 면적, 체적, Coplanarity 측정

3차원 거리영상으로부터 부품영역에 대한 각 solder의 높이, 면적, 체적을 계산하는 알고리즘을 기준면으로부터 구한다. 여기서 부품의 회전, 이동, 기울어짐에 무관한 값을 얻기 위해서는 이에 대한 보정이 필요하며 특히 베이스 기준면을 계산하고 이로부터 직교 거리를 구한다. 또한, 각 부품의 패드에 장착되는 칩의 다리

는 무게중심을 기준으로 세 점만이 한 평면을 형성하고 다른 패드는 다 평면 위에 존재한다. 각 패드가 이 평면 위에서 떨어진 직교거리 중 가장 긴 거리에 해당하는 값을 들뜸(coplanarity)라 정의하면 이것이 크면 칩을 장착한 후에 용착과정에서 도포된 납의 부착부분이 적어서 불량이 발생할 경우가 많으므로 이의 측정값이 매우 중요하다. 여기서 베이스면 위에는 측정 대상체의 solder 이외에 여러 영역이 존재하게 되는데 이것은 영역채색(blob coloring)을 통해 제거한다.

### V. 사용자 인터페이스 및 소프트웨어 구성

사용자 인터페이스는 대화형 방식으로 측정하고자 하는 납 형상기준 데이터를 설정할 수 있으며 다양한 도구바로 구성되어 있다. 이 소프트웨어의 주요기능은 레이저점 빔의 인식과 높이 정보 자동 추출, 레저 빔과 기준 형상을 비교하고 오류율 및 양불 판단 기준 형상의 이동 및 회전 기능, 마우스 이동에 따른 특정 납 높이 데이터 디스플레이 등이다. 그림 6은 사용자 인터페이스이다.

- Live Mode  
CCD로 입력받은 영상이미지를 보여주고 스캐닝시 스캔영역 내부의 납 형상 높이 값을 추출한다.
- Motion Control  
Working Table의 위치와 CCD의 조명을 제어한다.
- Range Mode (그림 6의 좌상단)  
추출된 높이 데이터로 생성된 이미지를 보여주며 측정영역의 설정과 편집 기능을 제공한다.
- 3D Mode (그림 5)  
OpenGL 인터페이스를 이용한 mesh, pseudo coloring, gray map 등 다양한 표현 기법 제공한다.
- Data Sheet (그림 6의 우상단)  
측정한 각 대상체의 높이, 체적, 면적, 휨(warpage), 들뜸(coplanarity)데이터를 저장 및 표시한다.
- SPC Chart (그림 6의 좌하단)  
측정된 데이터의  $\bar{x}$ (표본평균)와  $\bar{R}$ (범위평균)의 관리도를 표시한다.
- Process Capability (그림 6의 우하단)  
AOI 데이터의 공정능력을 계산 및 표시한다.

### VI. 결론

본 논문에서는 SMD 기판에 도포된 납의 형상을 off-line 으로 검사하기 위해 레이저 센서를 광경로 추적방식에 의해 설계하고 구성하였으며, 획득된 영상으

로부터 3차원 데이터를 추출하여 PCB 검사의 중요요소인 solder paste의 높이, 넓이, 체적, 휨 및 들뜸을 측정하는 알고리즘을 개발하였다. 개발한 시스템은 센서의 측정 정밀도가 5 $\mu$ m 이내 임을 보여 레이저빔의 중심선 추출 알고리즘의 정확성과 강인성을 검증하였고, 3차원 데이터 처리와 공정관리 능력을 갖추게 되어 SMD 조립 라인에서 문제가 되고 있는 납량 및 납형상의 검사 장치에 효율적으로 활용되고 있다. 나아가 In-line 장치로의 개발을 위해 여기에 사용된 방법과 알고리즘을 확장하여 자동으로 기준면을 선택하고 이로부터 패드의 영역을 분할하고 인식하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

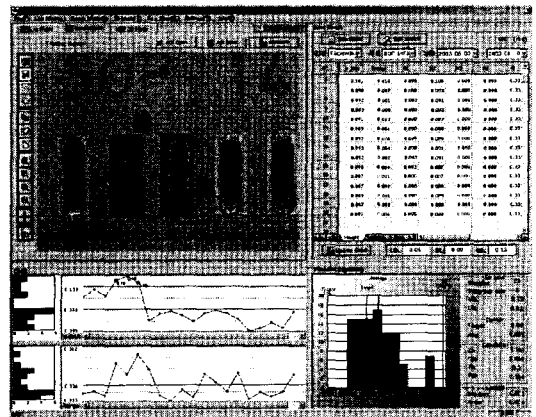


그림 6. 사용자 인터페이스 및 소프트웨어 구성

### 참고문헌

- [1] Tan Huimmg, Geng Yuzhi, "Laser non contacting displacement measuring", Proc. of SPIE, Vol.1230, pp.427-428, 1990.
- [2] D. W. Wanthey, K.N.KnappII, D.Y.Lee, "Calibration of a laser range finding coordinate measuring machine," Optical Engineering, Vol.33, No.10 pp. 3372-2280, October 1994.
- [3] L. D. Stefano, F Boland, "Three-dimensional inspection of printed circuit board using phase profilometry," Proc. of EUSIPCO-96, September 10-13, 1996.
- [4] S.W. Kim, Y. B. Choi and T.J.Oh, "Projection moire for 3D inspection of printed circuit board," SPIE, Vol. 3023, pp.129-138, 1997.

\*이 연구는 (주)파미의 연구비에 의해 수행되었음.