

점군의 기울기벡터 히스토그램에 의해 형성된 구속상자를 이용한 표면실장 솔더페이스트의 3 차원 Metrology

신동원* (금오공과대학교 기계공학부)

Three Dimensional Metrology of Surface Mounted Solder Pastes Using Bounding Box Formed by Histogram of Gradient Vectors of Point Cloud

Dongwon Shin (School of Mech. Eng., Kumoh National Institute of Tech.)

ABSTRACT

This work presents a method of point-to-surface assignment for 3D inspection of solder pastes on PCB. A bounding box enclosing the solder paste tightly on all sides is introduced to avoid incorrect point-to-surface assignment. The shape of bounding box for solder paste brick is variable according to geometry of measured points. The surface geometry of the bounding box is obtained by using five peaks selected from the histogram of normalized gradient vectors for measured points. By using the bounding box enclosing the solder paste, the task of point-to-surface assignment is successfully executed. Subsequently, the geometrical features are obtained via surface fitting.

Key Words : Metrology(측정학), Point Cloud(점군), Solder Pastes(솔더페이스트), Histogram(히스토그램), Gradient(기울기), Bounding Box(구속상자), Surface Fitting(표면맞춤)

1. 서론

최근에 많은 인쇄회로기판(PCB)은 고밀도의 조립성능을 가지는 표면실장형이다. 이러한 PCB 위에 스크린인쇄기가 솔더페이스트를 인쇄한 후에 다양한 IC 부품들이 솔더페이스트의 점착력을 통해 PCB 위에 고정되게 된다 (Fig. 1 참조). 이후 부품이 실장된 채로 PCB 는 고열의 리플로우(Reflow) 공정을 거치게 되고 납은 용해와 응결을 통해 PCB 와 부품들을 견고하게 고정하게 된다.



Fig. 1 Component mounted on PCB by solder pastes

최근 비접촉식으로 물체의 3 차원 데이터를 획득하는 장치가 개발되어 많은 관심을 끌고 있다. CMM (Coordinate Measuring Machine)과 같은 접촉식의 측정장비는 많은 점을 측정하기에는 프로브의 이동시간이 많이 소요되는 반면 비접촉식 측정장비

는 한번에 많은 점들의 위치데이터를 획득할 수 있고 접촉식으로 불가능한 복잡한 기하학적 형상에 대하여 위치정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이들은 광학과 삼각법을 이용한 방식이 주종을 이루고 있으며 광원을 레이저 혹은 백색광을 사용하느냐에 따라 매우 많은 종류가 있고 개개마다 다양한 정밀도와 측정속도를 가지고 있다. 사용자는 대상물의 측정 정밀도에 따라서 적합한 3 차원 획득 장치를 선택하여야 한다¹.

현재 시장에는 3 차원 스캐너를 이용한 솔더페이스트의 검사장비가 있기는 하나, 단순한 체적검사 정도의 수준에 머물고 있다². 이에 본 연구는 3-D 측정학(Metrology)을 이용하여 솔더페이스트의 다양한 항목의 검사 및 분석을 행하였다. 솔더페이스트의 불량은 면적, 체적, 위상기하(Topology), 표면형상 등에서 부적합한 형태로 나타난다. 이들 결함들은 미납, 부품정렬오차 등을 유발하여 불량률의 PCB 조립을 초래할 수 있다. 예를 들어, 체적의 부족은 약한(weak) 납접합을 야기할 수 있고, 부품의 리드가 장착되는 두개의 솔더페이스트 간에 최대 z 값이 다르면 리플로우 과정에서 부품이 한쪽으로 기

올어지는 현상이 발생할 수 있다.

솔더페이스트로부터 3 차원 스캐닝 장비가 획득한 3 차원의 점들은 그 개수가 매우 많아 흔히 점군(Point Cloud)이라고 불리운다 (Fig.2 참조). 이러한 점군은 벽돌과 같이 생긴 솔더페이스트의 모양을 나타내고는 있지만 단순한 점들의 모임일 뿐, 어느 점들이 어느 표면에 속해있는지, 각 표면의 면적은 얼마인지, 상위면의 기울기는 얼마인지 등의 중요한 기하학적 정보는 포함하고 있지 않다. 최근에 3 차원의 점들을 해석하여 유용한 데이터를 알아내는 3D 측정학에 대하여 많은 연구가 행해지고 있다^{1,3,4}.

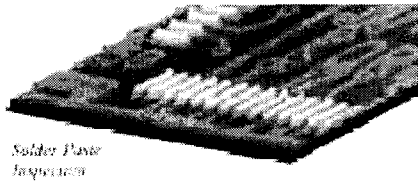


Fig. 2 Solder pastes measured by 3D scanner

측정점들은 단순히 3 차원점들의 집합에 불과하므로 어느 점이 어느 표면에 속해있는지에 대하여는 알 수가 없다. 이러한 것을 알기 위해 기준모델의 어느 표면에 측정점들이 해당하는가를 배정해주는 작업이 점-표면배정 작업이다. 해당표면에 배정된 측정점들을 이용하여 표면맞춤을 적용하면 측정점들로 이루어진 표면의 기하학적 정보에 대하여 알 수 있다. 이러한 일련의 작업 모두 측정점들을 3 차원 CAD 모델과 같은 기준모델과 비교해석함으로써 행하여진다^{1,3}.

본 논문은 솔더페이스트에 대한 점-표면배정 작업에 대하여 집중적으로 거론한다. 한 점에 대한 배정작업은 기준모델의 해당하는 표면을 찾는 것이다. 만약 측정된 좌표값들이 기준모델의 좌표값과 근접해 있다면 모든 측정점들은 기준모델의 해당표면으로 손쉽게 배정될 것이다. 그러나 측정 좌표값들이 기준모델의 좌표값과 상당한 차이를 가진다면 어떤 점들은 잘못된 표면으로 배정될 수 있다. 이러한 잘못된 배정의 문제를 해결하기 위해 솔더페이스트를 모든 면에서 밀착하여 둘러싸는 구속상자(Bounding Box)라는 새로운 개념을 도입하였다⁴.

2. 점-표면 배정에서의 문제점

표면실장 PCB 에 인쇄된 솔더페이스트의 이상적인 모델은 보통 육면체의 벽돌모양이다. 이 육면체의 6 개의 면 중에서 바닥면은 PCB 의 면과 동일하므로 고려대상에서 제외한다.

솔더페이스트의 측정점들이 스캐닝장비로부터

획득되어진 후 이러한 점들은 3D 측정학을 이용하여 해석되어질 수 있다. 우선 측정점들을 기준모델의 해당 표면으로 배정함으로써 점들이 어떠한 면에 속해있는가를 알아야 한다. 이러한 점-표면배정 작업은 측정데이터의 한 점으로부터 기하학적인 수직거리가 가장 가까운 기준모델의 표면을 찾아 배정하는 작업으로 모든 측정점들이 기준모델의 한 표면으로 배정이 된다.

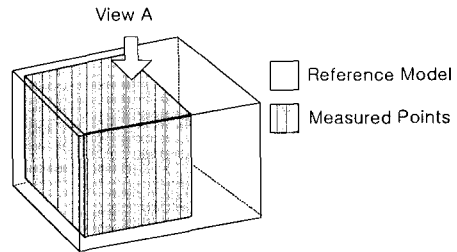


Fig. 3 Reference model and measured points when measured geometry differs from target geometry

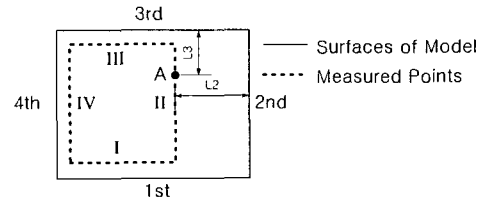
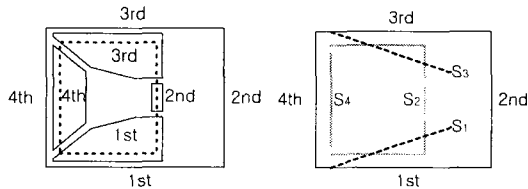


Fig. 4 Model surfaces and points in 2D when measured geometry differs from reference geometry

그러나, Fig. 3 와 같이 측정좌표값들이 기준모델의 좌표값과 상당히 차이가 있는 경우에는 배정에 문제가 발생한다. 이를 View A 에서 바라보면 2 차원의 형상을 Fig. 4 와 같이 구할 수 있다. Fig. 4 에서 Section II 에 있는 점 A 로부터 2nd 와 3rd surface 까지 거리를 각각 L_2 , L_3 라고 하자. 점 A 는 실제적 기하학적인 관점으로 보면 2nd surface 에 배정이 되어야 하지만, 점-표면배정 알고리즘에서는 L_3 가 L_2 보다 작기 때문에 점 A 는 3rd surface 로 배정이 된다. Section I, II, III, IV 에 있는 점들에 대하여 행해진 표면배정작업이 최종 결과를 도시하면 Fig. 5(a) 와 같다. Section II 에 있는 일부의 점들은 1st 와 3rd surface 로 잘못 배정이 되는 결과가 나온다. 이러한 부정확한 배정결과를 이용하여 최소자승맞춤(least squares fitting)을 하면 Fig. 5(b)에 나온 것과 같이 잘못된 표면맞춤 결과를 초래한다.

실제적인 검사라인에서 Fig. 3 와 같이 기준모델과 측정 데이터 간에 큰 차이가 발생할 수 있다. 이러한 경우 기존의 배정작업은 부정확한 배정과 아울러 부정확한 표면맞춤 결과를 초래한다. 그렇

다면 이렇게 잘못된 배정이 발생하는 원인은 무엇인가? 그것은 측정데이터들은 임의의 변동가능한 값으로 들어오는 반면 기준모델의 형상은 늘 고정되어 있다는 점이다.



(a) Incorrect alignment (b) Incorrect surface fit
Fig. 5 Results when measured geometry differs from reference geometry

만약에 점-표면배정 작업 시에 다양한 측정데이터 따라서 기준모델의 형상 및 크기가 유연성 있게 변한다면 이러한 부정확한 배정은 발생하지 않을 것이다. 이러한 측정데이터에 따라 변하는 기준모델을 통상의 “기준모델”과 구분하기 위하여 “가변모델”이라고 호칭한다⁴. Fig. 5 에서 기준모델의 2nd Surface가 Section II 에 있는 점들이 있는 좌측방향으로 가깝게 이동하여 가변모델을 구성한다면 Section II 에 있는 모든 점들에 대한 배정은 이동한 2nd Surface 로 잘 이루어질 것이다.

3. 구속상자

솔더페이스트의 측정데이터에 따라 변화하는 가변모델을 만들기 위해서 솔더페이스트의 모든 면을 밀착하여 둘러싸는 구속상자라는 새로운 개념을 제시한다. 구속상자의 모양은 실제 솔더페이스트의 모양과 매우 흡사한 박스형태로 각 면은 평면의 형태를 가진다. 구속상자의 크기는 측정점에 따라 크거나 작게 조절될 수 있다. 이러한 구속상자를 가변모델로 정하여 점-표면배정 작업을 행하면 부정확한 배정문제는 더 이상 발생하지 않는다.

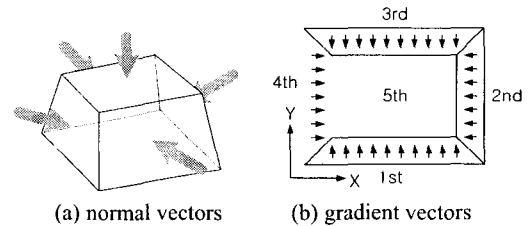
솔더페이스트의 모든면을 가능한 한 밀착하여 둘러싸는 구속상자를 구성하기 위해서는 구속상자의 5 개의 평면의 방정식을 구해야 한다.(바닥면은 PCB 면과 동일하므로 고려하지 않는다) 구속상자의 각 평면의 방정식을 구하기 위해서는 평면을 지나 한 점과 평면의 법선벡터를 알아야 한다. 솔더페이스트의 측정점에 대한 법선벡터의 집합(N_p)은 기울기 벡터로부터 구할 수 있고, 구속상자의 5 개의 평면에 해당하는 법선벡터의 집합(N_s)를 구하기 위해서는 N_p 에서 5 개의 대표법선벡터 N_5 를 분류추출해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 측정점들의 기울기 벡터에 대한 히스토그램을 이용하

여 5 개의 대표적인 그룹을 분류하고 이로부터 구속상자의 각 평면의 법선벡터와 지나는 한점을 구한다.

3.1 측정점의 기울기 벡터

솔더페이스트의 측정점들의 모양이 박스형태일 때 각 평면의 법선벡터를 구하면 Fig. 6(a)와 같이 5 개의 분명한 값들로 구분되고, 기울기 벡터의 경우에도 마찬가지이다. 여기서 기울기 벡터 $[G_x, G_y]$ 는 점의 z 값의 x 와 y 에 대한 일차미분값으로 계산한다.

반면 솔더페이스트가 곡면의 또는 울퉁불퉁한 표면을 가지고 있다면 기울기 벡터가 많은 서로 다른 값들을 가지게 되나 점군의 모양이 여전히 육면체의 형태를 띠고 있다면 이들 기울기 벡터들 역시 5 개의 대표적인 그룹으로 분류가 될 것이다. 따라서 실제 점군의 다양한 기울기 벡터들을 분류하는 작업이 이어서 행해져야 한다.



(a) normal vectors (b) gradient vectors
Fig. 6 Categories of normal and gradient vectors of solder paste

3.2 기울기 벡터의 히스토그램

측정점들의 기울기 벡터를 시각적으로 분류하기 위해서 기울기 벡터의 x, y 값을 이용하여 2 차원 히스토그램을 사용한다. 히스토그램의 x 축과 y 축은 각각 측정점의 기울기 벡터의 x 성분(G_x), y 성분(G_y)으로 구성되어 있고, z 축은 같은 기울기 벡터 값을 가지는 점들의 개수이다. 실제 기울기 벡터값은 광범위의 실수에 해당하므로 이들 모두를 히스토그램 축에 표시하기란 어려우므로 실수의 기울기 벡터 $[G_x, G_y]$ 를 $[1, N]$ 의 범위내에서 정규화하여 표시하였다.

측정점 x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$)에 대한 기울기 벡터를 $[G_x, G_y]$ 에 대한 정규화된 히스토그램 함수는 식(1)와 같다.

$$X_k = \text{round} \left(\frac{N-1}{\max G_x - \min G_x} (G_x - \min G_x) + 1 \right) \quad \text{for } 1 \leq X_k \leq N$$

$$Y_k = \text{round} \left(\frac{N-1}{\max G_y - \min G_y} (G_y - \min G_y) + 1 \right) \quad \text{for } 1 \leq Y_k \leq N$$

여기서 $\max G_x$ 와 $\min G_x$ 는 G_x 의 최대, 최소값에 해당하고, G_y 의 경우에도 마찬가지이다. round 함수는 어떤 실수값의 가장 가까운 정수를 구하는 함수이다.

3.3 히스토그램 행렬을 이용한 정점의 분류

전절에 기술한 방법을 이용하여 parabolic 형태의 상위면을 가지는 솔더페이스트에 대한 히스토그램을 Fig. 7 에 도시하였다. 이 데이터는 컴퓨터에서 생성해 낸 데이터로 x,y 간격은 $50 \mu\text{m}$ 이고, (x,y,z) 의 단순 조합형태로 이루어진 ascii 포맷이다.

솔더페이스트의 각 표면에 해당하는 히스토그램상의 정점은 "o"로 나타내었다. 이 그림으로부터 알 수 있는 사실은 일반적으로 솔더페이스트의 옆면에 해당하는 4 개의 정점은 항상 히스토그램의 가장자리를 따라서 위치하고 상위면에 해당하는 가장 높은 정점은 히스토그램의 중앙에서 "o"로 표시된다는 점이다.

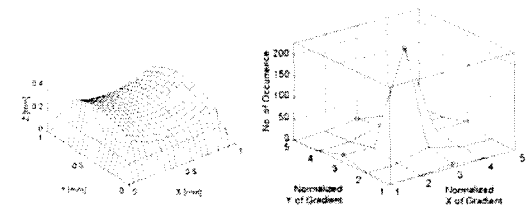


Fig. 7 Five peaks in the histogram for solder pastes with parabolic top surface

3.4 구속상자의 구축 및 점-표면배정

히스토그램의 정점에 대한 법선벡터와 지나는 점의 정보를 이용하면 Fig. 8 과 같은 구속상자를 구할 수 있다⁴. 그림에서 굵은 실선이 구속상자이며 간혹 선이 나타나지 않은 모습은 측정점의 메쉬(mesh)와의 간섭에 의한 것이다.

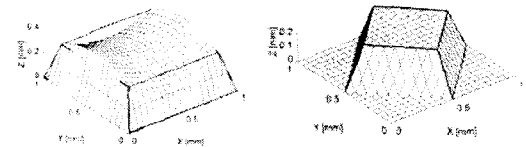


Fig. 8 Bounding boxes for several shapes of solder pastes

그림에서와 같이 구속상자는 솔더페이스트의 모든 면에서 밀착하여 감싸고 있는 형태를 취하고 있어서 측정점의 형상을 아주 흡사하게 닮은 꼴로 나타난다. 즉, 구속상자는 측정점의 기하학적인 정보의 많은 부분을 담고 있고, 솔더페이스트의 모양에 따라 그 형상을 탄력적으로 바꾸며 대응하고 있는 것을 알 수 있다.

이렇게 구한 구속상자를 이용하여 점-표면배정 작업을 행한 결과와 표면맞춤 작업을 행한 후에 기하학적 형상정보를 구한 결과를 Fig. 9 에 도시하였다. 작업자는 이러한 기하학적인 형상정보에 다양한 조건을 적용하여 솔더페이스트의 양불량검사를 행할 수 있다.

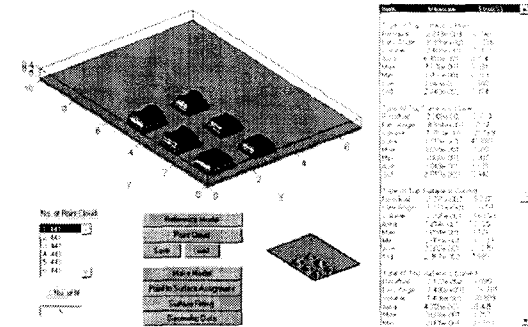


Fig. 9 Point to surface assignment and geometric feature

4. 결론

본 연구는 PCB 의 솔더페이스트의 기하학적 특징을 검사하기 위한 3D 측정학에 대하여 연구하였다. 솔더페이스트를 모든 면에서 밀착하여 둘러쌀 수 있는 구속상자의 개념을 도입하여 점-표면배정시의 문제점을 해결하였다. 이러한 구속상자를 구하기 위하여 측정점들에 대한 정규 기울기에 대한 히스토그램을 이용하였다. 본 연구는 임의의 모양을 가지는 Box 형상의 6 면체에 대하여 언급하였으나 상면이 있는 기타의 다면체에 대하여도 쉽게 적용이 가능하다. 또한 이와 유사한 형상을 가지는 MEMS(Micro electro mechanical System) 요소의 측정하여 형상을 분석하는 데에도 사용할 수 있다.

참고문헌

1. Andre A. Claudet, "Analysis of Three Dimensional Measurement Data and CAD Models," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Tech., 2001.
2. SVS 8300SPI Solder Paste Inspection System Data Sheet, GSI Lumonics, 2002..
3. Tucker, Thomas M., "A New Methods for Parametric Surface Registration," Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology, 2000.
4. 신동원, "가변구속상자를 이용한 점-표면배정 방법에 의한 표면실장 솔더페이스트의 3 차원 해석 및 검사," 한국정밀화학 논문집 제 20 권 제 3 호, pp.210-220, 2003.