

## 솔더 페이스트 자동검사를 위한 2-D/3-D 복합 알고리즘

조상현(인텍플러스), 이상윤(인텍플러스), 임쌍근(인텍플러스), 최흥문(경북대)

### 2-D/3-D Combined Algorithm for Automatic Solder Paste Inspection

S. H. Cho(INTEKPLUS), S. Y. Lee(INTEKPLUS), S. G. Lim(INTEKPLUS),  
H. M. Choi(Electronics Eng. Dept., KNU)

#### ABSTRACT

In this paper, we present the combined 2-D and 3-D algorithms for automatic solder paste inspection. For automatic inspection, optical system for the combined inspection and driving unit is made. One-pass run length algorithm that has fast and efficient memory space is applied to the input image for extracting solder paste patterns. The path of probe movement is then calculated for an automatic inspection. For a fast 3-D inspection, the phase shift algorithm based on Moiré interferometry is also used. In addition, algorithms used in this paper are coded by MMX™. A probe system is manufactured to simultaneously inspect 2-D and 3-D for 10mm×10mm field of view, with resolutions of 10 μm for both x, y axis and 1 μm for z axis, and then, experiments on several PCBs are conducted. The processing times of 2-D and 3-D, excluding an image capturing, is 0.039sec and 0.047sec, respectively. The credible result with ±1μm uncertainty can be also achieved.

**Key Words:** Optical (광학), Run Length (연속길이), Moiré (모아레), MMX™(확장 멀티미디어:Extended Multimedia)

#### 1. 서 론

휴대폰, 노트북 컴퓨터, PDA 로 대표되는 휴대용 전자제품 시장의 급속한 팽창과 더불어 BGA (Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), DCA (Direct Chip Attach) 등 새로운 반도체 패키징 기술들[1] 이 점차 중요 기술로 대두 되고 있다. 이러한 패키징 기술들은 기존의 일차원 적이었던 리드 배열에서 벗어나 칩 밑면 전체에 리드를 이차원 적으로 배열을 함으로써, 패키지의 소형화, 집적화와 함께 전기적인 성능 향상을 가능케 하였다. 반면, 제품 불량 의 주된 요인 중에 하나인 솔더 접합 부위의 결함 검사의 경우, 이러한 새로운 패키징 기술로 인하여 더욱 더 어렵게 되었는데, 이는 모든 접합 점들이 IC 부품들 아래에 존재하므로 직접적인 비전검사가 사실상 불가능 하기 때문이다. 비전 검사의 대안으로 X-선을 이용한 검사 방법이 있기는 하지만[2], 이러한 검사 장비들은 값이 비싸고 처리 시간이 많이 소요되며, 검출할 수 있는 결함의 종류가 제한되어 있다는 단점이 있다. 다행히, 대부분 솔더 접합의 결함은 솔더 페이스트의 과다 또는 과소 도포에 의한 합선이나 오픈이 발생된다. 따라서, IC 부품들을 올리기 전에 솔더페이스트의 부피, 높이 등의 삼차원 검사와 면적, 등록, 얼룩 여부 등의 이차

원 검사를 병행함으로써 미연에 방지 할 수 있다.

솔더페이스트 검사를 위한 필요 조건으로는 PCB 어셈블리 라인에서의 처리량을 만족시키는 측정 시간과 약 500mm×500mm×5mm 넓은 측정 영역에 대한 수 입방 마이크로 정도의 부피 측정 정확도를 들 수가 있다. 그러나, 현재 마이크로 또는 매크로 크기의 물체 측정에 대해서는 많은 삼차원 검사 기술들이 있지만, 중간 크기의 영역에서 앞서 언급한 목표들을 달성할 수 있는 만큼의 효율적이고 충분한 검사 방법은 아직 알려진 바가 없다. 예로써, 단색 또는 백색광 간섭계는 나노미터 이상의 정확성을 갖고 있으나[3,4], 수 밀리미터 이상의 큰 영역을 측정하기에는 쉽지 않다. 또한, 측정 속도가 너무 느려 요구조건을 만족시키지 못한다. 반면에, 광 삼각법 기술들[5]은 충분한 측정 속도와 측정 영역을 갖고 있으나, 수 입방 마이크로 수준의 부피 측정 정확도를 제공하지 못한다.

따라서, 본 논문에서는 솔더페이스트의 이차원 와 삼차원 자동 검사하는 복합 알고리즘을 제안하고자 한다. 자동검사를 위해서 솔더페이스트 패턴 추출에 적합한 광학계와 구동 유닛을 구성하고, 입력된 영상으로부터 제안한 One-pass Run Length 알고리즘을 적용하여 솔더 페이스트의 빠른 추출과 이차원 및 삼차원 검사를 위한 최적의 프로브 이동 경로를 구한다. 앞에서 전술한 삼차원 검사에서의

문제점들을 극복하기 위해, 격자 투영식 모아레 간섭계[6]에 기반한 솔더페이스트의 삼차원 측정방법을 제안하고, 본 논문에서 사용된 알고리즘들을 MMX™ 코딩으로 구현하여 빠른 검사를 가능케 한다.

## 2. 이차원 및 삼차원 복합 자동검사 알고리즘

### 2.1 솔더페이스트 추출을 위한 광학계

솔더페이스트 자동 추출을 위한 소프트웨어적인 접근 방법은 인쇄회로 기판 위의 다양한 형태의 솔더페이스트와 그외의 여러가지 패턴과 잡음이 혼재하므로 패턴 매칭이나 영상의 단순한 이진화를 이용하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 처리 시간 또한 많이 걸린다. 이를 막기 위해, 하드웨어적인 접근 방법으로 그림 1 과 같이 광학계를 구성하였다. 이는 LED 집합으로 구성된 두 개의 링 조명과 영상렌즈, CCD 카메라로 구성되어 있다.

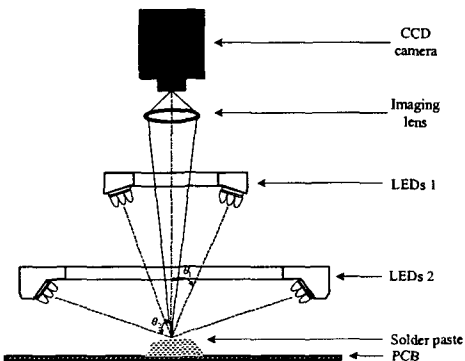


Fig. 1 Optical structure for extracting a solder paste

LEDs 1 조명은 관심 물체 또는 영역을 광축에 거의 수직인  $\theta_1$  각도로 빛을 비추며, LEDs 2 조명은 광축에 거의 수평 방향인,  $\theta_2$  로 빛을 비춘다. 또한, 영상렌즈가 있어 반사된 빛을 CCD 카메라에 집중시킨다. 솔더페이스트는 둥근 알갱이로 구성된 것으로 LEDs 1 에서 획득된 영상은 주 반사된 빛이 거의 수평방향으로 흩어져 물체 표면이 어둡게 나타난다. 반면에, LEDs2 조명에서는 주 반사된 빛이 카메라 렌즈 쪽으로 향하여 물체가 밝게 나타난다.

### 2.2 솔더페이스트 추출 및 프로브 이동경로 설정

언급한 각각의 조명에서 얻어진 영상들로부터

$$I_{out}(x, y) = |I_{LEDs2}(x, y) - I_{LEDs1}(x, y)| \quad (1)$$

와 같이 차영상을 구하게 되면 솔더페이스트만을

강조한 영상을 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 차영상으로부터 레이블링하여 솔더페이스트 추출과 프로브 이동경로 설정을 그림 2 과 같이 구성하였다.

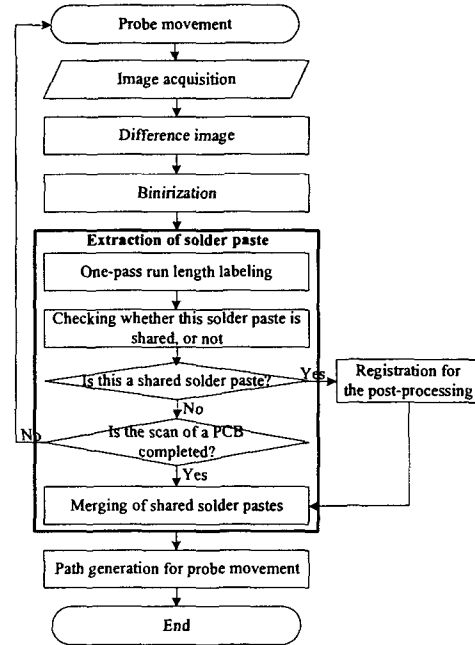


Fig. 2 Flow chart of solder paste extraction for automatic 2-D/3-D inspection

솔더페이스트 추출을 위하여, 본 논문에서는 One-Pass Run Length 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 솔더페이스트 위치와 그에 관련된 정보(무게중심, 면적, 최외각 테두리 등)를 추출한다. 제안한 방법은 기존 Tow-pass Run Length 알고리즘과 국부 테이블을 이용한 Two-pass 알고리즘[7]을 혼합한 알고리즘으로, 기존 Tow-pass Run Length 알고리즘에 비해 처리속도 향상과 더불어  $N \times N$  인 영상에 대해서 최대  $N$  개의 RUN 구조체를 저장할 수 메모리와 물체들의 윗쪽 부분에 있는 Convex 수만큼의 등가 테이블(Equivalent table)을 저장할 수 있는 메모리만 필요하다. 하나의 FOV(Field of view)영역에 있는 솔더페이스트들의 정보를 추출하고, 전체 인쇄회로 기판에 대해 이러한 과정을 프로브가 이동하면서 획득된 각 영상에 대해 반복 수행하게 된다. 이런 과정에서 FOV 사이에 공유되는 솔더페이스트가 존재하므로 스캔이 끝난 후에 이러한 것들을 병합한다. 또한, 인쇄회로 기판에는 솔더페이스트가 임의로 분포되어 있으므로 빠른 처리를 위하여 최적의 프로브 이동경로를 설정한다.

## 3. 삼차원 검사를 위한 투영 모아레 광학계

그림 3 는 본 연구에서의 투영 모아레 간섭계를 구현하기 위한 전체적 광학도이다.

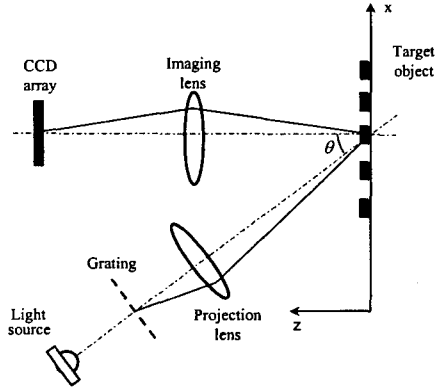


Fig. 3. Optical layout for 3-D measurement

일정한 라인 형태의 격자는 표적 물체에 투영되고 그의 변형된 형태가 영상 렌즈를 통하여 CCD 배열에 나타난다. 영상 광학축과 투영 광학축 사이에 각도가 제한돼 있어 x 축과 높이 변화에 대해 표적위에 밝고 어두운 줄무늬를 만든다.

격자가 단일한 정현 투과율을 가진다고 가정하면 모아레 줄무늬는

$$I(x, y) = I_0 + \gamma \cos[k_z h(x, y) + k_x x] \quad (2)$$

과 같이 표현될 수 있다. 여기서,  $I(x, y)$  는 표적 물체 표면위의 임의 점  $x, y$  에서의 명암도를 의미한다.  $I_0$  는 평균 명암도,  $\gamma$  은 모아레 줄무늬의 가시도,  $h(x, y)$  는 측정 물체의 높이,  $k_z$  와  $k_x$  각각  $z$  방향과  $x$  방향으로의 모아레 파동수이다.

식 (2)은 단색 간섭계의 식과 비슷하며 잘 알려진 위상 천이 기술들이 식(2)에서 코사인의 위상 항을 구하는데 이용될 수 있다.

$$K_z h(x, y) + k_x x \quad (3)$$

모아레 파동수  $k_z$  와  $k_x$  는 측정물체에 대해 독립 변수지만 기울기 각도, 격자 간격, 투영 및 영상광학의 확대된 이온(ions)과 같은 시스템의 변수에만 의존한다.

이것은 그러한 변수들이 상수로 생각될 수 있고, 그의 값은 적당한 보정에 의해 쉽게 얻을 수 있다는 것을 나타낸다. 본 연구에서 이용된 보정 방법은 두 단계로 구성되어 있다. 첫 번째로, 평면

기준 물체를 이용함으로써, 즉  $h(x, y)$  는 상수, 위상 정보를 측정할 수 있고, 식 (3)로부터  $k_x x$  을 얻을 수 있다. 두 번째, 알려진 높이의 스텝 게이지를 갖고  $k_z$  가 보정될 수 있다. 그리고 나서 식 (3)를  $k_x x$  와  $k_z$  로 대체함으로써, 우리는 표적 물체의 높이  $h(x, y)$  를 구할 수 있다.

#### 4. 실험 결과

실험에 사용된 프로브 시스템은 솔더페이스트 자동 추출 및 이차원 검사를 위하여 여러 개의 LED 로 구성된 두 개의 크기가 다른 링 조명과 삼차원 물체 검사를 위해서는 하나의 LED 로 구성된 광원이 사용된다. 또한, 투영과 영상 광학을 위한 상업적 CCTV 렌즈, 1000×1000 해상도와 초당 30 프레임 을 가지는 디지털 CCD 카메라와 위상 천이를 위한 piezoelectric 동작기가 영상 획득을 위해 이용되었다. 프로브의 소형화를 위해 그림 3 에서와 같이 불필요한 전체 투영광학 모듈을 기울이는 대신에 적당한 각  $\theta$  를 제공하기 위하여 투영 렌즈의 끝에 경사 거울이 삽입되어 있다. 또한, 1:1 배율을 위해 렌즈와 CCD 카메라 사이에 확장 튜브가 영상광학에 삽입되었다. 시각영역은  $10\mu\text{m}$  의 해상도를 가지는  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$  이다. 그리고, 카메라, PZT, 3 개 조명의 동기화를 위해 마이컴을 제작하고 이를 이용하였다. 그림 4 는 실제로 제작된 프로브 시스템이며, 그림 5 는 프로브 시스템이 장착된 실제 측정 장비를 나타낸다.

그림 6(a)은 LEDs 1 조명(그림 1 에서)에서 얻어진 영상으로 비아홀의 외곽테두리, 심벌마크, 레전드 등은 밝게 빛나며, 솔더페이스트를 포함한 나머지 영역은 어둡게 나타난다.

그림 6(b)은 LEDs 2 조명(그림 1 에서)에서 얻어진 영상으로, 솔더페이스트, 심벌마크, 레전드 등은 밝게 나타나며, 나머지 등은 어둡게 나타난다. 솔더페이스트가 밝은 영상에서 어두운 영상을 빼면 솔더페이스트가 강조된 영상 6(c)을 얻을 수 있다. 이를 이진화한 영상이 그림 6(d)가 된다. 여기서, 이용된 임계값은 실험에 의해 구해진 값이다. 이진화된 영상을 one-pass Run Length 로 레이블링한 결과가 그림 6(e)이며, 여기서 솔더페이스트에 그려진 사각형은 그것의 외곽테두리에 해당된다.

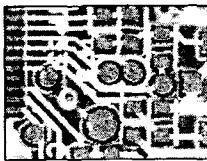
얻어진 솔더페이스의 위치 및 그에 관련된 정보들과 프로브 이동경로를 데이터베이스에 등록하는 Auto-teaching 후, 이차원 및 삼차원 자동검사를 수행한다. 삼차원 검사에서는 4-버킷 알고리즘을 사용하였으며, 그림 7 은 인쇄회로 기판위에 투영된 Moiré 무늬와 삼차원 프로파일을 각각 나타낸다.



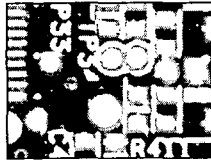
Fig. 4 Actual probe system



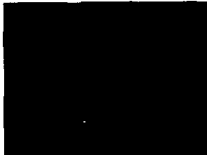
Fig. 5 Actual measurement system



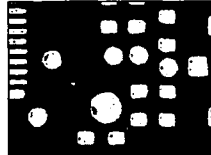
(a) From the LEDs 1



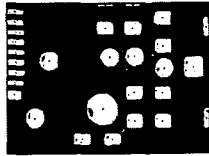
(b) From the LEDs 2



(c) Difference image



(d) Thresholded image



(e) Blobbed image

Fig. 6 Solder extraction and 2-D inspection

테이블 1 은 한 FOV 를 검사하기 위한 필요한 6 프레임 을 얻기 위한 캡처된 시간과 이차원 및 삼차원 검사에 소요되는 시간을 각각 나타낸다. 여기서, 사용된 검사 알고리즘들은 MMX™ 코딩하였다.

Table 1 Consumed-time for each FOV on the Pentium-III 866MHz [msec]

	Images capturing	2-D inspection	3-D inspection
Consumed - time	198	39	47
Total time	284		

## 5. 결론

본 논문에서는 솔더페이스트의 이차원 및 삼차원 자동 검사하는 복합 알고리즘을 제안하였다. x 와 y 축에 10 μm, z 축에 대해 1 μm 의 해상도를 가지는 10mm×10mm 영역을 이차원 및 삼차원 검사를 위한 광학계를 단일 프로브 시스템으로 콤팩트하게 제작하여 실험한 결과, 솔더페이스트의

이차원 및 삼차원 검사에 각각 0.039sec 와 0.047sec 의 처리시간이 소요되었으며, ±1 μm 내의 오차범위의 신뢰성 있는 측정 결과로 현장에서의 요구조건을 충족시키며 현장에 바로 적용 가능함을 확인하였다. 앞으로, 이 논문에 적용된 기술들을 리드 프레임의 등평면성(coplanarity) 측정에 수정 적용할 예정이다.

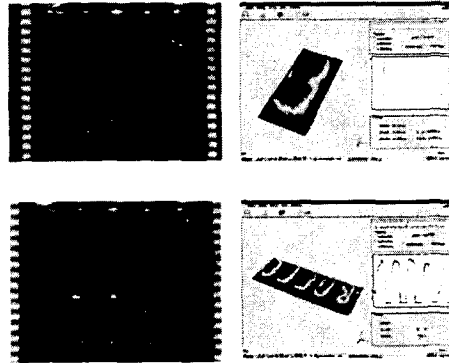


Fig. 7 Moiré fringe images and 3-D profiles of solder Pastes

## 참고문헌

- [1] Sjeff van Gastel, "The Impact of Product Miniaturization on Next Generation SMD Placement Technology," Proc. APEX 2001, San Diego (USA), AT1-1, 2001.
- [2] Ray Prasad *et al.*, "Design and Assembly Process Implementations for BGAs," IPC, Illinois, pp.54-57, 2000.
- [3] B. Bhushan, J. C. Wyant, and C. L. Koliopoulos, "Measurement of Surface Topography of Magnetic Tapes by Mirau Interferometry," Appl. Opt. 24, pp. 1489-1497, 1985.
- [4] L. Deck and P. de Groot, "High-speed Noncontact profiler based on scanning white-light interferometry," Appl. Opt. 33, pp. 7334-7338, 1994.
- [5] Y. Sato, H. Itagama and H. Fujita, "Shape Measurement of Curved Objects Using Multiple Slit-ray Projections," IEEE Tran. Pat. Anal. Mach. Intel. Vol. 4, pp. 614-646, 1982.
- [6] S.W. Kim, Y.B. Choi, and J.T. Oh, "Three-dimensional Profile Measurement of Fine Objects by Phase-Shifting Shadow Moiré Interferometry," SPIE, Boston (USA), pp. 28-36, 1996.
- [7] Rober M. Haralick and Linda G. Shapiro, "Computer and Robot Vision," Addison Wesley, Vol. 1, pp. 28-48, 1992.