

논문 2004-41SP-3-15

솔더 페이스트의 고속, 고정밀 검사를 위한 이차원/삼차원 복합 광학계 및 알고리즘 구현

(An Implementation of 2D/3D Complex Optical System and its Algorithm for High Speed, Precision Solder Paste Vision Inspection)

조 상 현*, 최 흥 문**

(Sang Hyun Cho and Heung Moon Choi)

요 약

본 논문에서는 솔더페이스트의 이차원 및 삼차원 자동검사를 함께 할 수 있는 복합 검사 광학계와 그 구동유닛을 단일 프로브 시스템으로 구현하고, 그를 위한 효과적인 비전검사 알고리즘을 제안하였다. 솔더페이스트의 이차원 검사에는 One-pass Run Length 레이블링 알고리즘을 제안하여 입력 영상으로부터 솔더 페이스트 형상을 효과적으로 추출하도록 하였고, 고속 검사를 위한 프로브의 최적 이동 경로도 구하였으며, 삼차원 검사에는 기존의 레이저 슬릿빔(slit-beam) 방식 대신 격자 투영식 모아레 간섭계에 기반한 위상이동 알고리즘을 도입하여 고정밀 검사가 가능토록 하였다. 전체 소프트웨어 구현에는 MMX 병렬처리방법도 적용함으로써 더욱 고속화 하였다. $10mm \times 10mm$ 의 단위 측정영역(field of view: FOV)에 대하여 x, y 축으로 $10 \mu m$, z 축으로 $1 \mu m$ 의 분해능을 가지는 이차원 및 삼차원 복합 광학 검사 시스템을 제작하여 실험한 결과, 한 FOV에 대한 솔더 페이스트의 이차원 및 삼차원 검사를 영상포착 후 각각 평균 $11msec$ 와 $15msec$ 의 짧은 시간에 처리할 수 있었고, $\pm 1 \mu m$ 의 두께 측정 정밀도를 얻을 수 있었다.

Abstract

A 2D/3D complex optical system and its vision inspection algorithm is proposed and implemented as a single probe system for high speed, precise vision inspection of the solder pastes. One pass run length labeling algorithm is proposed, instead of the conventional two pass labeling algorithm, for fast extraction of the 2D shape of the solder paste image from the recent line-scan camera as well as the conventional area-scan camera, and the optical probe path generation is also proposed for the efficient 2D/3D inspection. The Moire interferometry-based phase shift algorithm and its optical system implementation is introduced, instead of the conventional laser slit-beam method, for the high precision 3D vision inspection. All of the time-critical algorithms are MMX SIMD parallel-coded for further speedup. The proposed system is implemented for simultaneous 2D/3D inspection of $10mm \times 10mm$ FOV with resolutions of $10 \mu m$ for both x, y axis and $1 \mu m$ for z axis. Experiments conducted on several PCBs show that the 2D/3D inspection of an FOV, excluding an image capturing, results in high speed of about $0.011sec/0.015sec$, respectively, after image capturing, with $\pm 1 \mu m$ height accuracy.

Keywords: Solder paste, Optical system, Run length, Moire, MMX

I. 서 론

휴대폰, 노트북 컴퓨터, PDA 등으로 대표되는 휴대용

정회원, LG전자기술원

LG Electronics Institute of Technology)

* 정회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

접수일자: 2003년9월1일, 수정완료일: 2004년4월19일

소형 전자제품 시장의 급속한 팽창과 더불어 BGA (ball grid array), CSP(chip scale packaging), DCA (direct chip attach) 등 새로운 반도체 패키징 기술들^[1]이 도입되고 있다. 이러한 패키징 기술들은 칩 밑면 전체에 리드를 이차원적으로 배열함으로써, 패키지의 소형화, 집적화와 함께 전기적인 성능 향상을 가능케 하고 있다. 그러나 이러한 새로운 패키징 기술로 인하여 인쇄 회로기판(PCB)상에 IC들을 일단 실장하고 나면 솔더

접합점들이 IC패키지 아래에 가려지므로, 제품 불량률의 주요 요인 중의 하나인 솔더 접합 부위의 결함에 대한 직접적인 시각검사는 사실상 불가능하게 되었다. 그래서 직접적인 시각 검사의 대안으로 X-선을 이용한 검사 방법^[2] 등이 있기는 하지만, 이러한 검사 장비들은 값이 비싸고 검사속도도 느리며, 검사할 수 있는 결함의 종류도 제한되어 있다. 다행히, 솔더 접합의 결함은 페이스트의 과다 또는 과소 도포에 의한 단락이나 개방이 대부분이어서, PCB에 IC 부품들을 실장하기 전에 솔더 페이스트의 면적, 얼룩, 존재 여부 등의 이차원 검사와 부피, 높이 등의 삼차원 검사를 사전에 병행함으로써 문제를 해결하고 있다.

솔더페이스트 검사장비에 대한 요구 조건으로는 PCB 조립 생산 라인에서의 처리량(throughput)에 부합되는 검사속도와 약 $500\text{mm}\times 500\text{mm}\times 5\text{mm}$ 정도의 넓은 측정 영역에 대한 수 입방 마이크로미터(μm^3) 정도의 부피 측정 정밀도가 요구되고 있다. 현재 마이크로 또는 매크로 크기의 물체 측정에 대해서는 많은 삼차원 검사 기술들이 있으나, 중간 크기(meso-scale)의 영역에서 앞서 언급한 요구조건들을 충분히 만족시킬 수 있을 만큼의 효율적이고 충분한 검사 방법은 아직 알려지지 않았다. 예로써, 단색 또는 백색광 간섭계는 나노미터[nm] 수준의 정밀도를 갖고 있으나^[3,4], 수 밀리미터[mm] 이상의 큰 영역을 측정하기는 쉽지 않고 또, 측정 속도도 너무 느려 상기 요구조건을 만족시키지 못한다. 반면에, 광 삼각법 기술들^[5]은 측정 속도와 측정 영역의 크기는 만족시키나, 수 입방 마이크로미터[μm^3] 수준의 부피 측정 정밀도를 제공하지 못한다. 또 이차원 검사장비와 삼차원 검사장비가 별도로 제작 판매되고 있어서 종합 검사속도가 더 느려지는 원인이 되고 있다.

본 논문에서는 솔더페이스트의 이차원과 삼차원 자동 검사를 같이 할 수 있는 복합 광학계와 복합검사 알고리즘을 제안하였다. 복합 자동검사를 위해서 이차원 및 삼차원 솔더페이스트 형상추출에 적합한 광학계와 구동 유닛을 구성하고, 기존의 two-pass 알고리즘 대신 고속의 One-pass Run Length 레이블링 알고리즘을 제안 적용함으로써 고속으로 솔더페이스트 형상을 추출하도록 하였고, 고속 검사를 위한 프로브의 최적 이동 경로도 구하였다. 또한, 기존 삼차원 검사에서의 문제점들을 극복하기 위해, 격자 투영식 모아레 간섭계^[6]에 기반한 솔더페이스트의 삼차원 측정방법을 도입하여 고정밀 두께 측정이 가능토록 하였으며, 일부 알고리즘들을 MMX로 구현하여 고속화 하였다.

$10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 의 단위 측정영역에 대하여 x, y 축으로 $10\mu\text{m}$, z 축으로 $1\mu\text{m}$ 의 분해능을 가지는 이차원 및 삼차원 복합 광학 검사 시스템을 제작하여 여러 PCB에 대해 실험한 결과, 이차원 단위 측정영역에 대한 솔더페이스트의 이차원 및 삼차원 검사를 영상포착 후 각각 평균 11msec 와 15msec 의 짧은 시간내에 $\pm 1\mu\text{m}$ 의 두께 측정 정밀도로 검사함을 확인하였다.

II. 본 론

솔더페이스트의 자동 복합 검사는 검사 대상 PCB에 대해서 각 솔더페이스트 위치, 크기, 면적 및 프로브 이동 경로 등을 학습(training)시킨 후 검사를 수행한다. 학습 단계에서는 프로브가 PCB위를 이동하면서 두가지 조명으로부터 얻은 영상들의 차영상을 이진화하여 제안한 One-pass Run Length Labeling을 적용하여 각 솔더 페이스트들의 크기, 면적, 위치 등을 추출하였고, 최적의 프로브 검사 경로를 구하였다. 검사단계에서는 프로브 검사 이동경로를 따라 학습된 정보에 대해 솔더 페이스트들의 크기, 면적, 위치 등의 이탈 정도와 존재 여부 등의 이차원 검사와 함께 두께를 측정하여 규정두께와 비교하는 삼차원 검사를 수행하였다.

1. 이차원 솔더페이스트 형상 추출을 위한 광학계

PCB 위의 솔더페이스트는 그 형태가 다양할 뿐만 아니라 페이스트 이외의 여러 가지 패턴 및 잡음이 혼재하므로, 솔더페이스트 자동추출을 소프트웨어적으로 해결하려 할 경우, 패턴 매칭이나 영상의 단순 이진화 방법들은 사용하기에도 어려울 뿐만 아니라 처리 시간도 많이 걸린다. 따라서, 본 연구에서는 이차원 솔더페이스트 형상을 효과적으로 추출하기 위하여 LED 집합으로 된 두 가지의 환형 조명과, 영상렌즈 및 CCD 카메라로 그림 1과 같이 광학계를 구성 하였다.

2. 솔더페이스트 자동 검사를 위한 이차원 형상 추출 및 프로브 이동경로 설정

LEDs1 및 LEDs2 각 조명으로부터 얻어진 I_{LEDs1} 및 I_{LEDs2} 영상들로부터

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

와 같이 차영상을 구하면 솔더페이스트만을 강조한 영상을 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 차영상을 레이블링

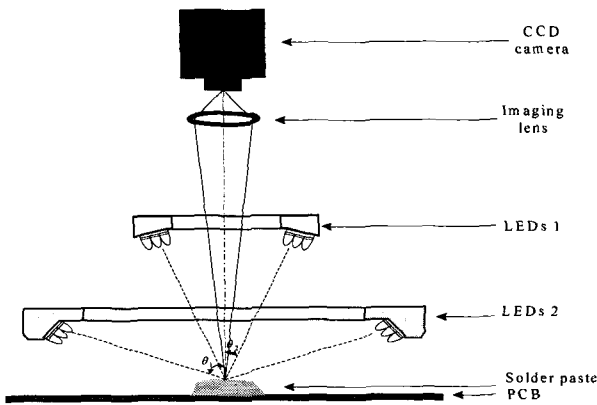


그림 1. 이차원 솔더페이스트 형상 추출을 위한 광학계
 Fig. 1. Optical system for extracting the 2D shape of the solder paste.

하여 이차원 솔더페이스트 형상을 추출하였고, 효율적인 검사를 위한 프로브 이동경로도 설정하였다.

3. One-pass Run Length 레이블링 알고리즘의 제안

영상 분석이나 컴퓨터 비전 분야에서 영상내에 포함된 연결된 각 영역들에 대해 하나의 유일한 레이블을 할당해 주는 기존 레이블링 방법들은 대부분 획득된 영상에 대해 two-pass 이상의 스캔을 해야하는 면적 스캔(area scan) 카메라방식이며, 화소단위로 연산을 하기 때문에 영상내에 포함된 배경이나 물체의 형태에 따라 레이블링 시간도 달라진다. 그 중 국부 테이블을 이용한 two-pass Run Length 알고리즘^[8]은 수직 또는 수평방향으로 물체를 이루는 화소들의 연결정보를 이용하므로 영상의 형태에 따라 처리시간이 거의 일정하고 속도도 빠른 알고리즘으로 알려져 있으나, 이것 또한 면적 스캔 카메라 방식이다. 더욱이, 검사 대상 물체가 커지는 최근의 추세에서는 기존의 면적스캔 방식으로는 경제성이나 생산성 등에 한계가 있어서 점차 라인스캔(line scan) 타입 카메라의 시장성이 커지고 있다. 따라서, 이에 적합하게 면적스캔 방식뿐만 아니라 라인스캔 카메라에도 적용하여 라인별로 처리 가능한 레이블링 알고리즘의 개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 기존보다 한 패스를 줄여 라인스캔 방식에서 활용할 수 있는 좀 더 효율적인 One-Pass Run Length 레이블링 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 솔더페이스트의 위치와 그에 관련된 무게중심, 면적, 최외각 테두리 등의 정보들을 효과적으로 추출하였다. 제안한 One Pass Run Length Labeling 알고리즘은 아래와 같다.

Step 1. 초기화 (영상의 첫번째 열에서)

(i) Run 테이블 초기화

영상의 첫번째 열을 스캔하여 각 Run의 시작점과 끝점 및 Run 레벨값으로 구성된 Run 테이블을 만든다. 이때 Run 레벨값은 1부터 시작하여 새로운 Run이 나타날 때 마다 1씩 증가하며, 이는 등가 테이블을 가르키는 주소가 된다.

(ii) 등가(Equivalent) 테이블 초기화

Run 레벨과 같은 등가 레벨값을 저장하는 등가 테이블을 만든다.

Step 2. Run 테이블 구성

새로 발생한 Run을 1증가한 Run 레벨로 Run 테이블에 추가한다. 이때 Run 테이블의 크기는 이전 열과 현 열의 Run들을 포함할 수 있으면 된다.

Step 3. 등가 테이블 확장

새로 발생한 Run을 등가 테이블에 추가한다.

Step 4. 연결성 조사

Run의 시작 및 끝 위치 정보로부터 이웃의 상위 열의 Run들과의 연결성을 조사한다.

조건 1. 연결성이 없을 경우에는 Step 2로 간다.

조건 2. 연결성이 있을 경우에는 이웃하는 상위 열의 Run들이 가르키는 등가 레벨값들 중 최소값으로 상위 열의 등가 레벨값과 자기 자신의 Run 레벨값 및 등가 레벨값을 교체한다.

Step 5. 스캔이 끝날 때까지 Step2에서 Step 4까지 반복 수행한다.

그림 2는 그 데이터 구조와 솔더페이스트 합성영상에 대한 레이블링 예를 표시한 것이다. Run에 대한 데이터 구조는 그림 2(b)에서와 같이 화소의 시작 위치(ColStart) x_s , 화소의 끝 위치(ColEnd) y_s , 그리고 Run 레이블(RunLabel) $r(i)$ 로 구성하고 $r(i)$ 는 등가 테이블을 가르키는 주소로 이용하였다. 그리고 등가 테이블은 등가 레이블(EqLabel) $e(i)$ 로 구성하였다. 여기서, i 는 Run 첨자(index)이다.

그림 2(a)에서와 같이 영상에서 나타나는 Run순서대로 첨자 i 가 각 Run의 초기 Run 레벨 값인 RunLabel $r(i)$ 가 되며, 이는 등가 테이블을 가르키는 주소 및 등가 레벨인 EqLabel $e(i)$ 가 된다. 그림 2(a)의 첫번째 열에 있는 Run 1, 2, 3, 4를 그림 2(b)에서와 같이 등가 테이블의 $e(i)$ 에 저장함과 함께 Run 테이블의 RunLabel $r(i)$

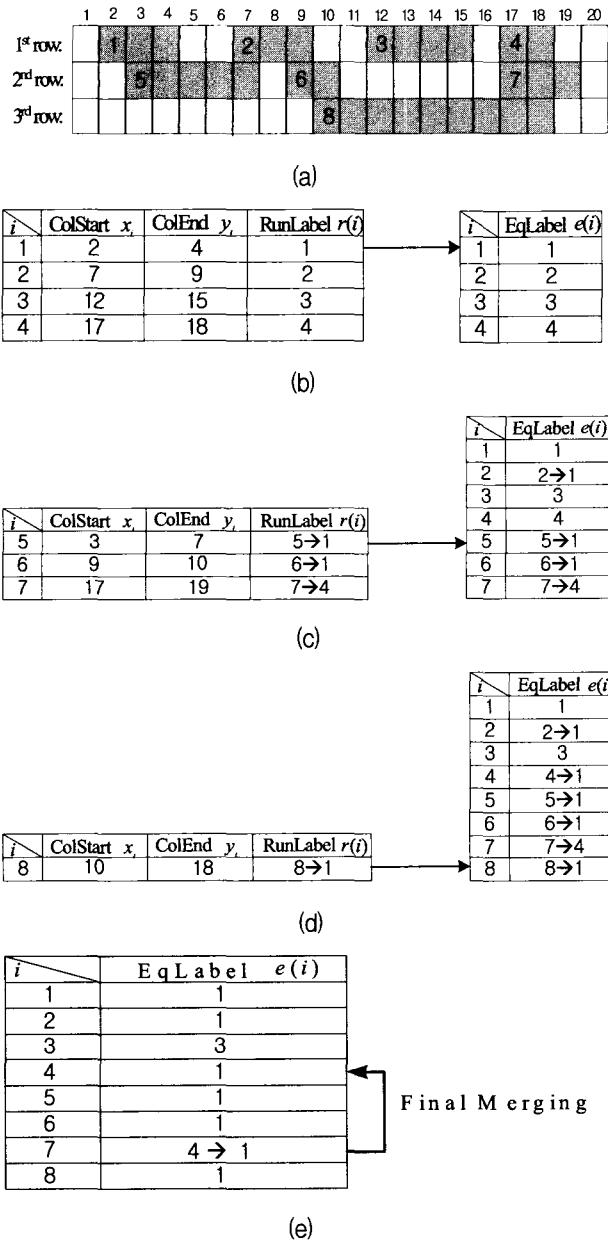


그림 2. One-pass Run length 알고리즘 구현을 위한 데이터 구조와 지문 합성 영상에서의 처리에 (a) 합성 영상, (b) 첫 번째, (c) 두번째 및 (d) 세번째 열을 처리한 Run 및 등가 테이블, (e) 최종 등가테이블

Fig. 2. Data structures for implementing the One-pass Run Length algorithm for synthetic solder paste image. (a) Synthetic image, (b) Run and equivalent tables for the first row, for (c) the second, and for (d) the third rows, (e) the final equivalent table.

에 저장한다. 두번째 열을 첫번째 열과 비교할 때 Run 5는 Run 1, 2와 연결 요소이므로 연결된 Run들 중 최소 등가 레벨값인 $l(= \min\{e(1), e(2)\})$ 로 자기 자신의 Run 레벨 $r(5)$ 와 등가 레벨 $e(5)$ 를 바꿈과 동시에 첫

번째 열의 등가레벨 $e(2)$ 도 바꾼다.

이런 과정을 수행하면 그림 2(c)와 같이 $r(6)$, $r(7)$ 과 $e(6)$, $e(7)$ 이 각각 1, 1, 4로 바뀐다. 마지막 열에서는 하나의 Run 이 존재하며 이는 Run 6, 7번과 연결되어 있어 최소 등가 레벨인 1로 Run 레벨 및 등가 레벨 값을 변경한다. 이때, 7번 Run은 두번째 열 처리시 Run 레이블이 4였으므로 그림 2(d)에 나타난 바와 같이 자기 자신의 등가 테이블 레벨을 변경하는 것이 아니라, 등가 테이블 $e(r(4))$ 를 1로 변경한다. 그림 2(e)의 최종 등가 테이블에서와 같이 등가 테이블 첨자와 등가 레벨값이 동일할 경우에는 독립된 연결 요소를 의미하며, 그렇지 않을 경우에는 종속된 연결 요소를 의미한다. 따라서, 최종 각 화소의 레벨은 $e(e(i))$ 가 된다.

등가 테이블의 데이터 구조에 물체에 대한 기하학적 정보인 최외각 테두리, 중심점, 물체의 화소수 등의 변수들을 추가할 경우 한번의 영상 스캔만으로도 물체들에 대한 이러한 정보들을 추출할 수 있다. 제안된 알고리즘에 사용되는 메모리는 mn 영상에서 이웃하는 두개의 라인에 존재하는 최대 RUN 수를 저장할 수 있는 공간 m 과 영상내에 존재하는 RUN 수만큼의 등가 테이블을 저장할 수 있는 공간 $(mn)/2$ 이 필요하다.

이 알고리즘은 현재와 같은 면적스캔 카메라에는 물론 라인스캔 카메라에도 이용할 수 있으며 이 경우 대용량의 데이터를 라인 단위로 실시간 처리할 수 있어, 스캔이 끝나는 순간에 레이블된 영상뿐만 아니라, 물체들에 대한 정보 추출도 같이 끝나기 때문에 대형 PDP 기관 등과 같은 큰 대상물체의 이차원 검사장비와 대상물체를 스캔하면서 삼차원 검사를 하는 광축식, slit-beam방식에 적용할 경우 빠르고 정확한 측정 결과를 얻을 수 있는 효과적인 알고리즘이다.

4. 투영 모아레 광학계에 기반한 삼차원 솔더페이스 트 형상 추출

그림 3은 본 연구에서 투영 모아레 간섭계를 구현하기 위한 전체적 광학도이다. 일정한 라인 형태의 격자 무늬가 표적 물체에 투영되고 그의 변형된 형태가 영상 렌즈를 통하여 CCD 배열에 나타난다. 영상 광학축과 투영 광학축 사이에 각도가 제한되어 있어 x축과 높이 변화에 대해 표적위에 밝고 어두운 줄무늬를 만든다.

격자가 단일한 정현 투과율을 가진다고 가정하면 모아레 줄무늬는

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

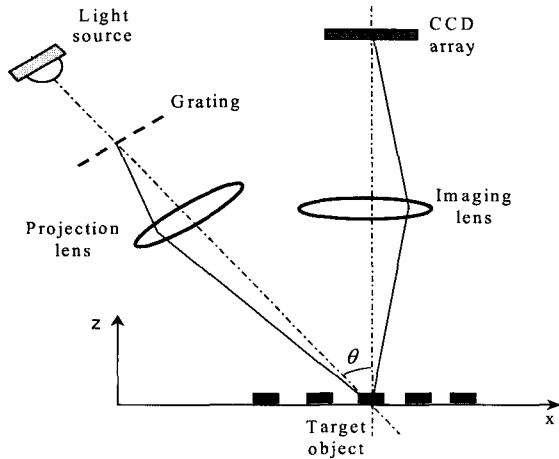


그림 3. 솔더페이스트 삼차원 검사를 위한 광학계
Fig. 3. Optical system layout for 3D inspection.

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, γ 는 모아래 줄무늬의 가시도, $h(x, y)$ 는 측정 물체의 높이, k_x 와 k_z 는 각각 x 방향과 z 방향의 모아래 파동수이다.

식 (2)는 단색 간섭계의 식과 비슷하며, 잘 알려진 위상 천이 기술들을 이용하여 식 (2)에서 역현 위상항

$$k_z h(x, y) + k_x x \tag{3}$$

을 구할 수 있다. 모아래 파동수 k_z 와 k_x 는 측정물체에 대해 독립 변수이지만 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 있음을 뜻한다. 본 연구에서 이용된 보정 방법은 두 단계로 구성되어 있다. 먼저, 평면 기준 물체를 이용하면, $h(x, y)$ 는 상수이고 위상 정보를 측정할 수 있으므로, 식 (3)으로부터 $k_x x$ 를 얻을 수 있다. 그 다음, 알려진 높이의 스텝 계이저를 가지고 k_z 를 보정할 수 있다. 그리고 나서, 식 (2)에 $k_x x$ 와 k_z 로 대입함으로써 표적 물체의 높이 $h(x, y)$ 를 구할 수 있다.

모아래 간섭계에서는 필연적으로 2π 모호성^[6]으로 위상 wrapping 현상이 나타난다. 본 연구에서는 삼차원 솔더페이스트 형상 측정에 적합한 위상 펼침(phase unwrapping) 알고리즘을 제안하였다.

그림 4(a)에서와 같이 wrapping된 삼차원 프로파일

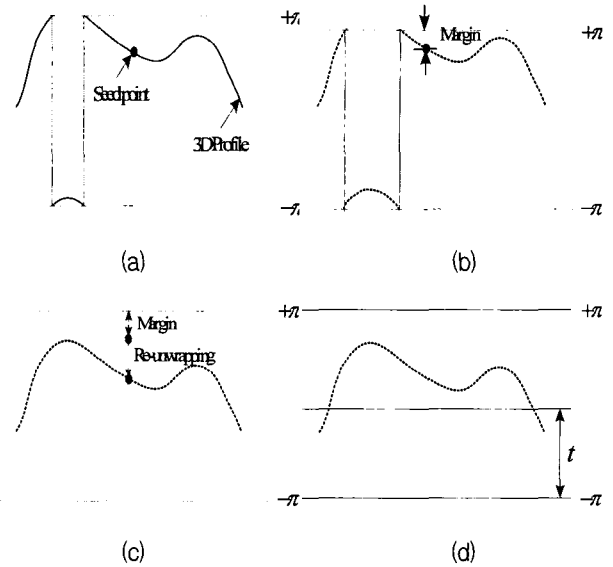


그림 4. 삼차원 솔더페이스트 형상의 wrapping 문제 해결
(a) wrapping된 삼차원 프로파일, (b) unwrapping,
(c) re-unwrapping, (d) 복원된 삼차원 프로파일

Fig. 4. Solving the wrapping problem of 3D solder paste profiles. The (a) wrapped 3D profiles, (b) un-wraped, (c) re-unwrapped, and (d) reconstructed 3D profiles.

을 복원하기 위하여 먼저 솔더페이스트의 무게 중심을 seed 점으로 간주하고 이를 기준으로한 일정영역에 대해 대표 높이값 Z_{Seed} 를

$$Z = \begin{cases} Sum_+ / Num_+, & \text{if } Num_+ > Num_- \\ Sum_- / Num_-, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

로 구하여 그림 4(b)와 같이 전체 프로파일을 Z_{Seed} 만큼 증가시킨다. 여기서, +는 양의 값이며, -는 음의 값을 의미한다. 이때 증가한 seed 점의 값을 기준으로 위에 존재하는 값들의 평균값 만큼 전체 프로파일을 그림 4(c)와 같이 감소시킨다. 이러한 과정을 반복하면서 그림 4(d)와 같이 wrapping된 프로파일을 복원하였다. 그리고 솔더페이스트 대표 높이를

$$Z = Sum_{z > t} / Num_{z > t} - Sum_{z < t} / Num_{z < t} \tag{5}$$

로 구하였다. 여기서 t 는 솔더페이스트와 PCB를 구분하는 임계값에 해당된다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 솔더페이스트 이차원 /삼차원 복합 자동검사를 위한 프로브 시스템과 이를 장착한 스테이지 및 구동부로 구성된 설계도이다. Z축에 있는 프로브는 X방향

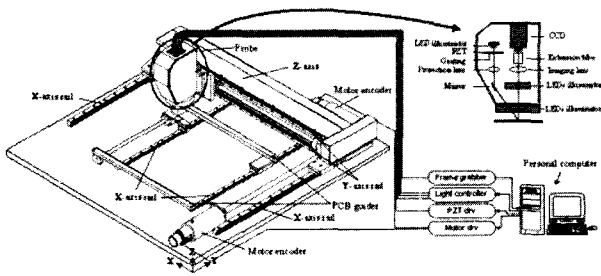


그림 5. 이차원 및 삼차원 자동 검사 측정 장비 계략도
 Fig. 5. Schematic diagram for automatic 2D/3D solder paste inspection system.

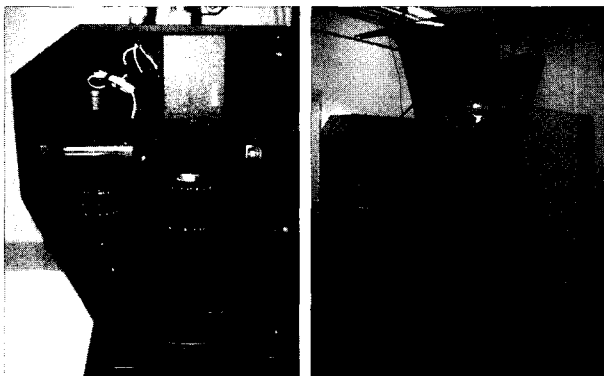
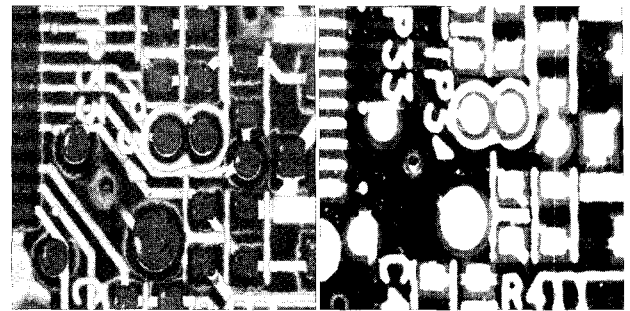


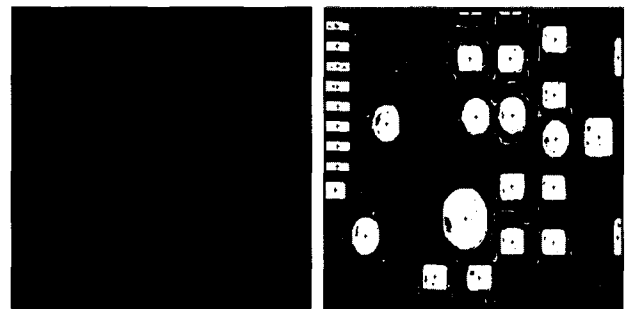
그림 6. 프로브 시스템 그림 7. 실제 검사 시스템
 Fig. 6. Actual probe system Fig. 7. Actual inspection system.

이동을 위하여 Z축에 장착된 두개의 X축 레일과 Y방향 이동을 위하여 스테이지 위에 두 개의 Y축 레일이 장착되어 각각 모터에 의해 구동 되도록 하였다. 또한, 여러 크기의 PCB를 장착할 수 있도록 고정된 PCB 가이드와 Y축으로 이동 가능한 가이드를 설치하였다. 프로브 내에 있는 CCD 카메라, PZT(piezoelectric transducer), 모아레 간섭계를 위한 LED 조명을 포함하여 3가지의 조명 및 스테이지 위에 있는 두개의 모터 등은 개인용 컴퓨터에서 조절할 수 있도록 하였다.

프로브 시스템의 구성도는 이차원 솔더페이스트의 형상 자동 추출 및 검사를 위하여 여러 개의 LED로 구성된 두 개의 크기가 다른 환형 조명을 사용하였고, 삼차원 검사를 위해서는 하나의 LED로 구성된 광원을 사용하였다. 투영과 영상 광학을 위한 상업적 CCTV 렌즈, 1000×1000 해상도와 초당 30 프레임의 디지털 CCD 카메라와 위상 천이를 위한 PZT를 영상 획득을 위해 사용하였다. 프로브의 소형화를 위해 그림 5와 같이 투영광학 모듈 전체를 기울이는 대신에 적당한 각 θ 를 제공하기 위하여 투영 렌즈의 끝에 경사 거울을 삽입하였다. 또한, 1:1 배율을 위해 렌즈와 CCD 카메라 사이에 확장 튜브를 광학계에 삽입하였다. 시각영역은



(a) (b)



(c) (d)

그림 8. 이차원 솔더 페이스트 형상 추출 및 검사: (a) LEDs1조명만으로 얻어진 영상, (b) LEDs2 조명만으로 얻어진 영상, (c) 차영상, (d) 이진화된 영상으로부터 각 솔더페이스트의 정보 추출 및 이차원 검사

Fig. 8. Extraction of 2D shapes of solder pastes and its 2D inspection: Images from the (a) LEDs1 illumination, (b) LEDs2 illumination, (c) their difference image, and (d) the labeled image for 2-D inspection from its binarized image.

10mm×10mm의 크기로 10 μ m의 해상도를 갖고, 카메라, PZT, 3개 조명의 동기를 위해 마이크로컴퓨터가 탑재된 동기화 보드를 제작하고 이를 이용하였다. 그림 6은 실제로 제작된 프로브 시스템, 그림 7은 이 프로브 시스템을 실장한 전체 측정 장비의 사진이다.

그림 8(a)은 LEDs1 조명만으로 얻어진 영상으로 전술한 바와 같이 비아홀(via hole)의 외곽테두리, 심벌마크, 레전드 등은 밝게 빛나며, 솔더페이스트를 포함한 나머지 영역은 어둡게 나타난다. 그림 8(b)은 LEDs2 조명만으로 얻어진 영상으로, 솔더페이스트, 심벌마크, 레전드 등은 밝게 나타나며, 나머지 등은 어둡게 나타난다. 솔더페이스트가 밝은 영상에서 어두운 영상을 빼면 8(c)와 같이 솔더페이스트가 강조된 영상을 얻을 수 있다. 이진화된 영상을 one-pass Run Length 알고리즘으로 레이블링한 결과가 그림 8(d)이며, 여기서 솔더페이스트에 그려진 사각형은 그것의 외곽테두리에 해당된다. 얻어진 솔더페이스트의 위치 및 그에 관련된 정보들과 프로브 이동경로를 학습시킨 후, 동일 인쇄회로

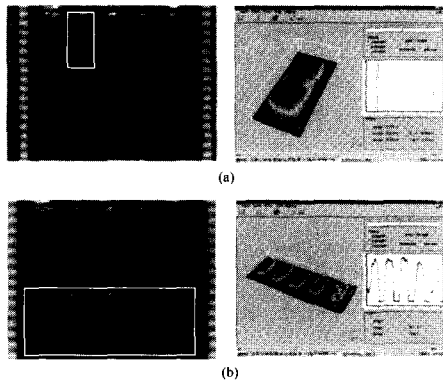


그림 9. 모아레 영상과 그로부터 얻은 삼차원 솔더페이스트 형상 (a) 하나의 솔더페이스트 형상, (b) 다섯 개의 솔더페이스트 형상

Fig. 9. Moiré fringe images and the 3D shape of (a) a single solder paste and (b) five solder pastes.

표 1. 866MHz 펜티엄III에 의한 각 FOV 2D/3D 검사 시간

Table 1. 2D/3D inspection time for each FOV on Pentium-III 866MHz. [msec]

	Image capturing	2D	3D	Total
Consumed-time	18	11	15	207

기판에 대해 이차원 및 삼차원 자동검사를 수행한다. 삼차원 검사에서는 4-버킷 알고리즘^[6]을 사용하였으며, 그림 9의(a) 및 (b)는 각각 PCB위에 투영된 모아레 무늬 및 관심영역에서의 삼차원 프로파일을 나타낸다.

표 1에는 하나의 FOV를 검사하기 위해 필요한 6 프레임 영상의 획득 시간과 이차원 및 삼차원 검사에 소요되는 평균시간을 각각 나타내었다. 여기서, 사용된 모든 검사 알고리즘들은 고속처리를 위하여 MMX로 구현하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 한 장비에서 솔더 페이스트의 이차원 및 삼차원 자동 검사를 함께 할 수 있는 복합 광학계와 그 구동유닛을 단일 프로브시스템으로 설계제작하고 효과적인 복합 검사 알고리즘을 제안하였다. 10mm×10mm FOV에 x 및 y축에 각각 10 μ m, z축에 대해 1 μ m의 해상도를 가지는 대하여 복합검사 광학계를 단일 프로브 시스템으로 제작하여 실험한 결과, 솔더페이스트의 이차원 및 삼차원 검사에 각각 평균 11msec와 15msec의 처리시간이 소요되었으며, $\pm 1\mu$ m 내의 정밀하고 신뢰성 있는 측정 결과를 얻어 산업현장에서의 요구조건을 충족시켜 현장에 바로 적용 가능성을 확인하였

다. 또한, 하나의 프로브로 이차원 및 삼차원 검사의 동시 수행이 가능하므로 이를 이용하면 시스템 제작 및 처리시간 면에서 효율적으로 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 제안한 One-pass Run Length 레이블링 알고리즘은 현재의 면적스캔 카메라뿐만 아니라 라인스캔 카메라에도 적용가능하며, MMX 병렬처리도 도입하여 대용량 데이터의 스캔 및 처리를 요하는 이차원 및 삼차원 복합 검사를 실시간 처리하는데 유용하게 활용될 수 있다.

앞으로, 이 논문에 적용된 기술들을 리드 프레임(lead frame)의 등평면성(coplanarity) 측정에 수정 적용할 예정이다.

참 고 문 헌

- [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. PAMI, 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. 2836, 1996.
- [7] D. Malacara, "Optical Shop Testing," 2nd ed., A Wiley-Interscience Publication, New York, 1992.
- [8] Rober M. Haralick and Linda G. Shapiro, "Computer and Robot Vision," Addison Wesley, vol. 1, pp. 28-48, 1992.
- [9] A. Peleg, S. Wilkie, and U. Weiser, "Intel MMX for Multimedia PCs," Communication of the ACM, vol. 40, no. 1, pp. 25-38, Jan. 1997.

저 자 소 개

조 상 현(정회원) 제 36권 12호 참조

최 흥 문(정회원) 제 36권 12호 참조