

〈논 문〉

머신비전을 이용한 SMD VR의 중심위치와 홈방향 정밀계측

장경영* · 김병엽** · 한창수* · 박종현* · 감도영***

(1997년 3월 17일 접수)

The Accurate Measurement of Center Position and Orientation of SMD VR by Using Machine Vision

Kyung-Young Jhang, Byung-Yup Kim, Chang-Su Han,
Jong-Hyun Park and Do-Young Gam

Key Words: Image Processing(화상처리), Machine Vision(머신비전), VR(가변저항), SMD(표면실장부품), Automation of Inspection(검사자동화)

Abstract

The automation of final inspection and tuning process in the manufacturing of electric products is hot issue now, because it is the only part that has not been wholly automatized yet, mainly due to the difficulties to handle so small size of VR which is the final tuning point in the most of electric products. For the automation of this process, at first the accurate measurement of position and orientation of SMD VR on PCB in real time is strongly needed. In this paper, a new image processing algorithm to detect the center position and orientation of target VR by using machine vision is proposed for automatic final tuning of the 8mm camcoder's performance. In the method, the outline feature of object is used actively. The usefulness of the proposed methods were tested by several experiments, and the results showed enough accuracy for both of position and orientation. Additively, we discussed about the total visual system construction and preprocessing of image.

1. 서 론

현재 생산되는 전자제품의 생산공정에서 PCB 제작, SMD의 장착, 완제품 상태로의 조립과정은 꾸준히 자동화가 진행되어 왔으나 검사조정과정은 아직 그 대부분을 수작업에 의존하고 있어 자동화가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 그 이유로는 검사

조정의 자동화를 통해서, 첫째, 안정되고 균일한 성능을 가진 제품을 생산할 수 있으며, 둘째, 작업 라인의 생산주기를 단축시킬 수 있고, 셋째, 제품의 설계 변경에 대해서도 용이하게 적응이 가능하다는 점 등 여러가지 장점이 있기 때문이다.

검사조정과정은 전자제품의 성능을 최적화하기 위한 튜닝과정이라고 할 수 있는데, 일반적으로 전자제품의 출력점을 선정하고, 이 출력점에 프로브를 접촉하여 원하는 파형이나 출력전압이 얻어질때까지 조정하여 제품의 정해진 성능을 구현하는 것을 말한다. 이 때 조립상태에서 출력의 조정이 가

*회원, 한양대학교 기계공학부

**한양대학교 대학원

***삼성전자(주) 생산기술연구센터

능한 부품으로 일반적으로 가변저항(variable resistance, VR)이 사용되고 있으며, 저항값을 조정함으로써 출력상태를 조절할 수 있도록 설계되고 장착된다.

이러한 VR의 조정작업을 자동화하기 위한 작업 순서는 크게, (1) 가변저항의 위치 및 비트를 삽입시킬 자세의 확인단계, (2) Actuator를 이용한 비트 삽입단계, (3) 출력을 모니터하면서 원하는 출력이 얻어질 때까지 비트를 회전시키는 단계의 세 단계로 구분할 수 있다.⁽⁴⁾ 본 연구는 제1단계과정, 즉 VR의 위치 및 비트삽입 자세의 계측을 머신비전(machine vision)을 이용하여 자동화하기 위한 화상처리 알고리즘의 개발을 목적으로 한다.

VR의 위치는 대개의 경우 PCB 설계시 이미 정해져 있음에 불구하고, 이를 다시 계측해야 하는 이유는 대상으로 하는 부품이 캠코더용 SMD 부품으로 매우 소형(직경 3 mm)이므로 실장과 납땀과정에서 발생하는 장착오차를 무시할 수 없기 때문이다. 일반적으로 비트삽입시 비트가 VR의 홈에 안착될 수 있게 하기 위하여는 VR중심과 비트중심사이의 상대위치편차를 $\pm 50 \mu\text{m}$ 이내가 되도록 요구하고 있는데 반해 장착오차는 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 로 이를 훨씬 초과한다. 또한 VR의 자세란 홈의 각도를 의미하는 것으로 비트안착을 위하여는 비트삽입전에 비트의 각도를 홈의 각도에 맞추어 주어야 한다.

여기서는 S사의 캠코더용 SMD VR을 대상으로 하였는데, 그 형상이 다음의 두가지 특징을 갖는다. 첫째는 외형이 일부분의 직선구간 외에는 원형으로 되어 있어 VR의 회전중심에 대해 비대칭이지만, 직선구간의 방향이 비트홈의 방향과 일치한다는 점이다. 둘째는 내부홈의 형상이 일부분을 제외하고는 원형으로 되어 있으면서 VR의 회전중심에 대하여 대칭적이라는 점이다.

본 논문에서는 이러한 VR의 형상특징을 적극적으로 이용하여 외형정보로부터 비트안착방향을, 내부홈 형상으로부터 회전중심좌표를 검출하고자 하였으며, 이동평균,⁽²⁾ 이진화,^(3,4) 블로빙(blobbing),^(5,6) 보더팔로잉(border following)^(5,6) 등의 전처리(preprocessing) 기술과 모멘트법,^(5,6) 코너 위치추출⁽⁷⁻⁹⁾ 등 특징분석(feature analysis) 기술이 응용되었다.

개발된 알고리즘의 유용성은 실제로 구성한 비전시스템을 이용하여 정밀도와 외란에 대한 강인성을 평가함으로써 검증되었다.

2. 비전시스템의 구성

비전시스템의 구성은 크게 광학계(조명과 CCD 카메라)와 화상정보처리부(비전보드와 PC)로 구성되며, Fig.1은 장치의 구성을 보여주고, Table 1은 구성요소들의 사양을 나타낸다.

여기서, 조명부는 관측대상이 되는 VR의 영상에 대한 양질의 이미지가 얻어질 수 있도록 VR의 표면반사 특성을 고려하여 제작되었으며, 적색의 초고휘도 LED를 2열 원환으로 배열하고 관측면으로부터의 거리와 원환의 직경을 VR 이미지가 가장 선명하게 얻어지도록 실험적으로 결정하여 사용하였다.^(10,11)

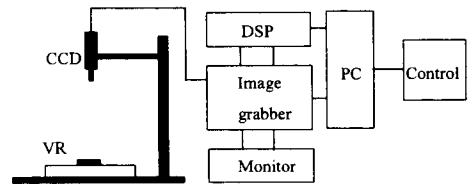


Fig. 1 Schematic diagram of vision system

Table 1 Component of vision system

	Model	Spec.
CCD	SONY CX-66	640×480 pixel
Illumination	Ultra High Brightness LED Array (Circular)	Led light 280~300 lux at 10 cm distance
Image grabber	MVB02(SAMSUNG)	640×480×8 bit×2 frame
DSP	TMS320C30	

3. 관측대상 VR의 외형적 특징

우선 관측대상이 되는 표면실장 VR의 외형에 대하여 위에서 내려다 보았을 때의 형태와 치수를 Fig. 2에 나타내었다.

그림에서 VR의 형상이 다음의 두가지 특징을 가짐을 알 수 있다. 첫째는 외형이 일부분의 직선 구간외에는 원형으로 되어 있어 VR의 회전중심에 대해 비대칭이지만, 직선구간의 방향이 비트홀의 방향과 일치한다는 점이다. 둘째는 내부홀의 형상이 일부분을 제외하고는 원형으로 되어 있으면서 VR의 회전중심에 대하여 대칭적이라는 점이다.

즉, 대상 VR은 내부홀이 직선부와 중앙 원형부로 되어 있고, -자형의 드라이버 비트를 직선부홀에 안착시켜 회전시키면서 저항값을 조절하도록 되어 있다. 그런데, 여기서 특징적인 것은 VR의 외곽 직선부가 내부홀의 직선부와 평행하다는 것이다. 따라서 홀의 방향(orientation)은 이 외곽의 직선부를 검출하여 측정할 수 있다. 물론 내부홀의 직선부를 직접 검출하여 이용할 수도 있으나, 내부홀은 외곽부의 그림자 등 광학잡음에 의해 홀의 내외부 경계부근의 이미지를 안정적으로 얻기 어려운 반면 외곽 직선부는 비교적 안정적인 검출이 가능하기 때문에 본 연구에서는 외곽 직선부를 검출하기로 하였다. 이렇게 함으로써 잡음제거 등의 절차를 간소화시킬 수 있고 처리시간을 줄일 수 있다.

한편 내부홀은 회전중심에 대하여 대칭구조로 되어 있다. 따라서 VR의 중심좌표는 이 내부홀 전체 이미지의 도심을 구함으로써 계속할 수 있게 된다. 이 방법은 앞서 밝힌 바와 같은 내부홀의 내외부 경계부근 이미지의 불안정요소를 흡수할 수 있

다는 장점이 있다.

또한 PCB 표면으로부터 VR 표면까지의 거리는 약 1.4 mm이며, VR 표면으로부터 홀의 저면까지의 높이는 약 0.5 mm이다. 따라서 VR 표면 이미지는 타부품보다 돌출된 급속성의 VR 표면이 밝고 PCB나 홀의 내부는 어두운 이미지가 될 것이며, 적절한 처리를 통하여 VR 표면 또는 홀의 내부를 분리추출할 수 있고 결과적으로 위에서 밝힌 외곽 직선추출과 내부홀의 도심검출을 수행할 수 있게 된다.

4. 이미지처리

4.1 이미지처리의 전체적인 구성

이미지 획득부로부터 획득되는 이미지는 NTSC 방식의 640×480 화소로 8비트의 분해능을 가진다. 이미지 데이터를 처리하기 위한 알고리즘은 크게, 노이즈제거 및 VR 이미지의 추출을 위한 전처리 과정과 추출된 VR의 이미지로부터 중심 및 휴방향을 추출하는 형태분석부(feature analysis)로 나누어진다.

본 연구에서 사용한 주요 이미지처리(image processing) 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 선처리과정 : 노이즈제거를 위한 이동평균, 적응적 이진화, VR 표면을 추출하기 위한 Blobbing, VR 표면의 외곽선을 추출하기 위한 Border Following.

(2) 형태분석 : VR 외곽선의 모서리추출, 직선부의 곡선맞춤에 의한 VR 홀의 방향추정, 면적모멘트법을 이용한 VR 중심좌표의 추정.

Fig. 3은 이러한 처리의 순서를 보여준다.

여기서, 선처리과정은 일반적인 것으로 그 상세 설명은 생략하고자 하는데, 단 이동평균은 3*3 행렬을 이용하였으며,⁽²⁾ 이미지는 계산량 저감을 위하여 이진화하여 처리하기로 하고, 이진화시 문턱값은 히스토그램을 이용하여 자동 설정하도록 하였다.^(3,4) 또한 Blobbing에서는 L-자형 템플릿(L-shaped template)를 이용하여 래스터주사(raster scan)하는 방법을 이용하였다.^(5,6)

VR 표면은 밝게 보이게 되고 배선이나 PCB 등과 잘 구별된다. 따라서 이동평균과 이진화에 의해 VR은 쉽게 추출할 수 있다. 그러나 남뿔부와 일부 배선은 VR과 비슷한 밝기를 가지기 때문에 제거되지 않는데, 이들의 면적은 VR 표면에 비하면

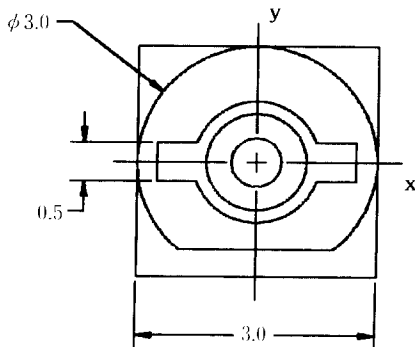


Fig. 2 Top view of target VR

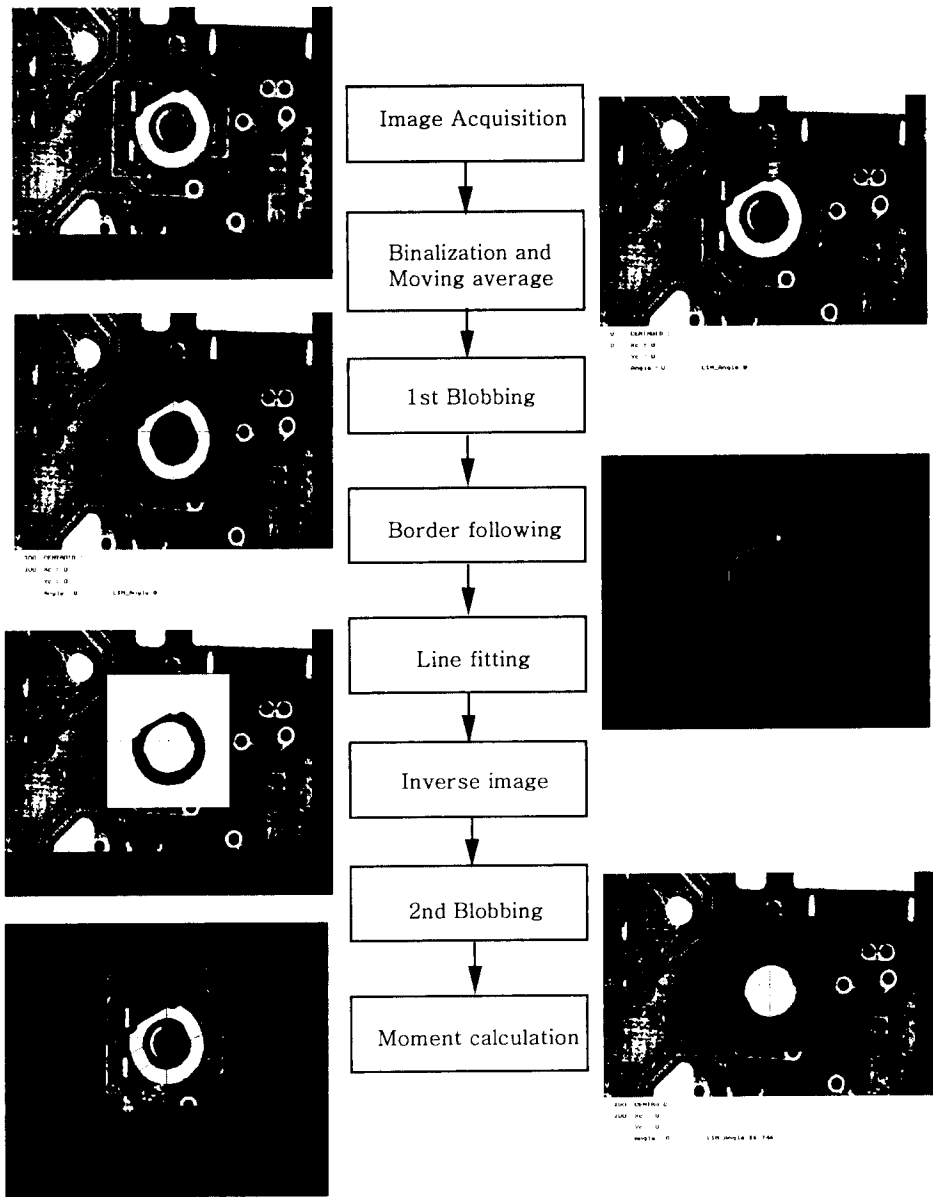


Fig. 3 Block diagram of total process of image processing

매우 작으므로 Blobbing 처리에 의해 제거하게 된다.

이러한 이미지처리는 DSP(TMS320C30)을 이용하여 수행하였는데, 한개의 VR에 대하여 약 1초 내외의 시간이 소요되었다.

4.2 VR 홈의 방향검출

4.2.1 VR 외곽의 코너추출

VR 홈의 방향을 검출하기 위하여는 Fig.1에서

모인 바와 같이 외곽 직선부의 방향을 검출하여야 한다. 이를 위하여 전처리과정에서 추출된 VR의 외곽경계를 따라 곡률이 급변하는 두 코너를 찾는 방법을 적용한다.^(7~9) 여기서, 곡률의 계산에는 현(chord)과 곡선경계로 둘러싸인 면적을 이용한다. 이 알고리즘은 Fig.4에 나타내는 바와 같이 시작 점을 P_1 라 하고 경계를 따라 i (cut length)번째까지 추적하여 P_1 와 $P_{i+cut\ length}$ 가 이루는 현과 호

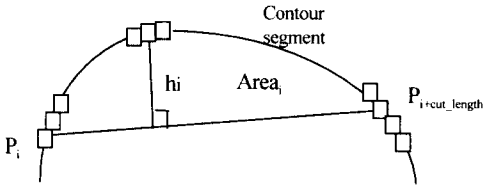


Fig. 4 Contour segment, chord and area

(contour segment) 사이의 면적을 구하게 되는데, 코너부에서는 이 면적이 최소의 값을 가지게 되는 것을 이용한 것이다. 여기서 cut length 값은 VR 외곽경계의 직선부분에 해당하는 길이이다.

이때 구해지는 면적은 다음과 같이 되며,

$$Area = \sum_{m=i}^{i+cut_length} h_m \quad (1)$$

여기서, h_m 은

$$h_m = \left| \begin{matrix} X_i & X_{m-1} & X_{i+cut_length} & X_i \\ Y_i & Y_{m+1} & Y_{i+cut_length} & Y_i \end{matrix} \right| \quad (2)$$

로, P_i, P_{i+cut_length} 가 이루는 호에서 현(chord)에 내린 수선의 길이에 해당된다. 이렇게 구해진 면적에 대해서 VR의 코너부는 최소의 값을 가지므로 Area값이 최소가 되는 i 와 $i+cutlength$ 에 해당되는 화소의 위치를 찾음으로써 VR의 코너를 검출할 수 있다.

4.2.2 비트홀의 각도추정

앞에서 양코너의 위치가 얻어지면 그 사이의 화소데이터에 대해 최소자승법을 이용한 직선맞춤을 실시한다. 즉, 구하고자 하는 직선이 $y = a_0 + a_1x$ 라고 하면 최소자승법에 의해 계수 a_0, a_1 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

여기서, x_i, y_i 는 i 번째 화소의 수평, 수직방향 위치좌표이며 \bar{x}, \bar{y} 는 x_i, y_i 의 평균값이다.

그러면 직선의 방향 Φ 는

$$\Phi = \tan^{-1}(a_1) \quad (4)$$

로 결정된다. 추출된 VR의 직선부에 대한 직선맞춤의 모식도를 Fig.5에 나타내었다.

그런데, 추출된 모서리부의 각도가 90° 에 가까울 때에는 평균자승오차는 이론적으로 무한대에 가까워진다. 이러한 오차는 직선맞춤의 신뢰성을 저하

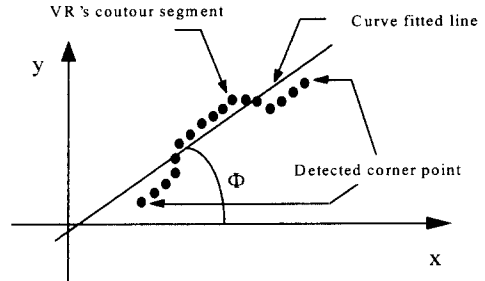


Fig. 5 Curve fitting of the flat part of the contour

시키고 예상과 다른 결과를 산출할 수 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 여기서는 추출된 모서리 직선부의 x축 사영길이가 임계값보다 작게 되면 좌표축 x, y를 치환하여 직선맞춤하고 결과좌표를 다시 치환하는 방법을 이용하였다.

4.3 VR 중심좌표의 계측

어떤 이미지의 중심을 구하기 위해서는 일반적으로 도심을 이용하며, 도심의 계산에는 모멘트법이 효과적이다. 그것은 계산 알고리즘이 단순하며, 속도가 빠르고 복잡한 형상의 도심을 구할 수 있기 때문이다. 이러한 모멘트법의 성능은 실험결과의 평가시 정량적으로 평가하여 처리결과의 강인성(robustness)을 확인하고자 한다.

한편 이진화된 이미지의 모멘트는

$$M_{pq}(R) = \sum \sum x^p y^q f(x, y) \quad (5)$$

로 정의된다. 여기서, $f(x, y)$ 는 화소(pixel)의 이진화값을 나타내고, p, q 는 모멘트의 차수를 나타내며, x, y 는 화소의 좌표를 나타낸다.

그러면 M_{00} 는 이미지의 전체 실량으로 1이라는 값을 갖는 화소수의 총합에 해당되며, 식 (5)로부터 $M_{10}=x, M_{01}=y$ 이고, 따라서 도심의 좌표(\bar{x}, \bar{y})는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (6)$$

5. 이미지처리 결과 및 평가

5.1 F.O.V.의 분석

F. O. V(Field of View)를 분석하기 위하여 Fig.6에서와 같은 면적이 약 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 인 사각패턴을 이용하여, 분해능이 0.01 mm 인 마이크로미터를 1 mm 씩 이동시키면서 이미지에서의 변화량을 측정

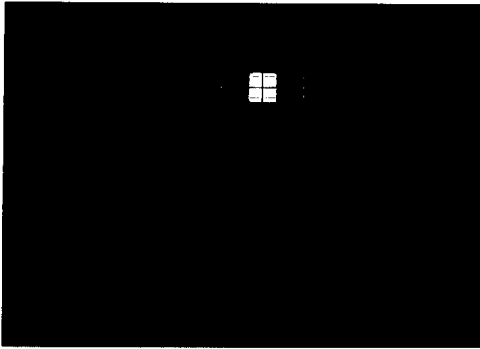


Fig. 6 Rectangle solid pattern used to determine the scale factors

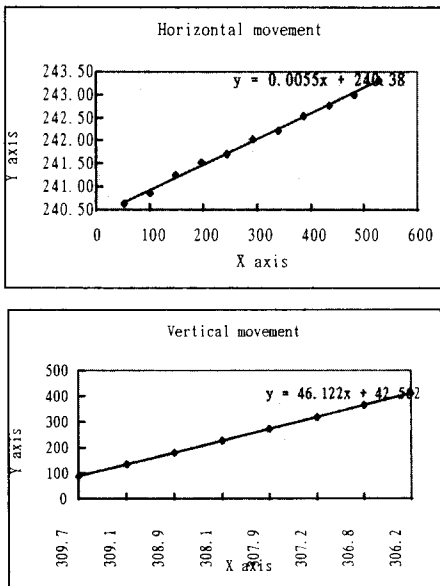


Fig. 7 Computed center positions of a solid rectangle as it incrementally moves with a size of 1mm in the horizontal and vertical direction

하였다. 이때 이미지상에서의 변화량은 형성된 사각패턴 이미지의 도심의 이동량으로 하였다. 수평방향과 수직방향에 대하여 연속적으로 사각패턴을 이동시키면서 실험하였고, 각각에 대하여 스케일 팩터(scale factor)를 구하였다.

Fig. 7은 그 결과를 보여주고 있으며, 이 결과를 직선맞춤시키면 수평방향 이동에 대하여 $y = 0.0055x + 241.04$ 이고, 수직방향 이동에 대하여 $y = 46.122x + 42.562$ 이다. 또한 이로부터 스케일 팩터는 수평방향에 대하여 47.7107 pixel/mm이고, 수직방향에 대하여 46.1235 pixel/mm임을 알 수

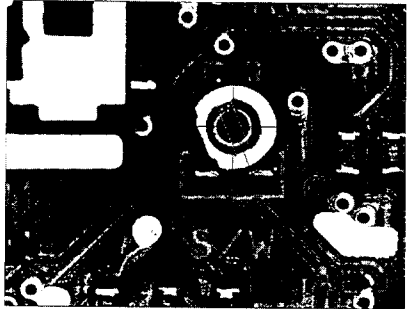
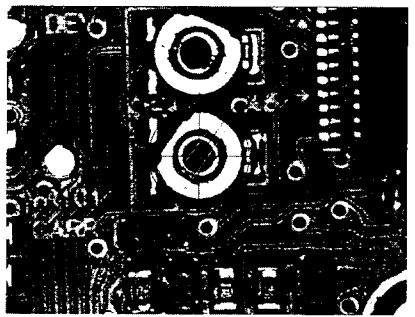
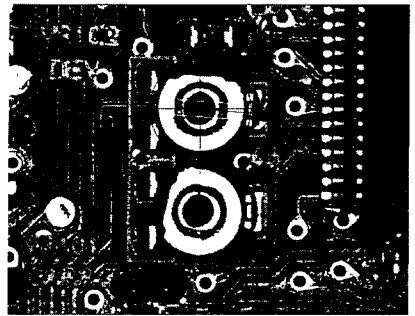
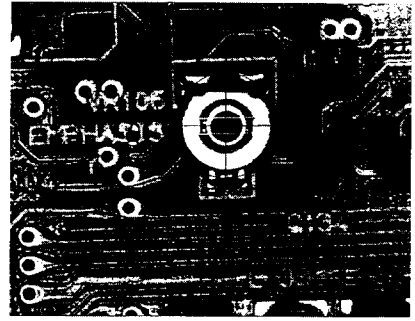


Fig. 8 Result of image processing

있다.

5.2 이미지처리 결과

세안된 이미지치리에 의한 중심 및 자세의 계산 결과는 Fig. 8과 같다. 이것은 하나의 PCB상의 VR을 무작위로 선택하여 처리한 것으로, 처리결

과에 의해 만들어진 삼입 비트형상을 원래 VR이 미지에 오버레이(overlay)함으로써 그 정확성을 판단할 수 있다. 그림에서는 추정된 중심좌표가 +자형 세선축의 중심으로 표시되었으며, 오버레이 형상은 직사각형의 세선 블록으로 표시되었다. VR이 단독 또는 두 개 존재하는 경우 모두에게 흠의 중심과 방향이 정확하게 추정되고 있음을 알 수 있다.

5.3 처리결과와 평가

5.3.1 조명광원에 대한 이미지 획득 안정도 및 처리결과와 강인성 평가

Fig. 9는 사용한 조명광원에서 얻어지는 이미지 안정성을 평가하고자 10분 간격으로 6회의 이미지를 얻어 각각에 대하여 VR 중심좌표와 내부흠의 방향을 검출한 결과를 나타낸다. 또 동시에 외란에 대한 강인성을 평가하고자 동일한 VR에 대하여 외란광이 있을 때와 없을 경우를 비교하였다. 여기서 외란광으로는 일반 실내 형광등 조명을 이용하였다.

그림에서 보듯이 시간의 경과에 따라 처리결과에 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

또한 외란광이 있을 경우와 없을 경우를 비교해 보면, (a)의 경우 x축 중심평균이 200.7476, y축 중심평균이 304.1002, 흠방향의 평균이 52.4072°인데 대하여 (b)의 경우 x축 중심평균이 200.7273, y축 중심평균은 304.0887, 흠방향의 평균은 52.3860°로서 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다. 이때 각각의 최대값과 최소값의 차이는 x축 중심에 대하여 0.0424 pixel이고, y축 중심에 대해서 0.0422 pixel이며, 흠방향에 있어서는

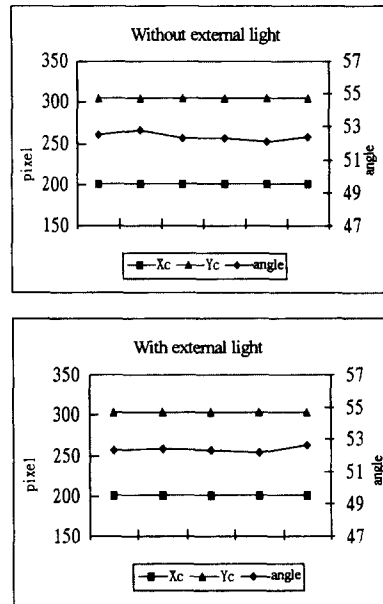


Fig. 9 Evaluation of image stability and the effect of external light conditions

0.4592°이다. 따라서 추출된 중심좌표와 흠방향은 외란광원의 영향에 관계없이 강인하게 추출되었음을 알 수 있다.

5.3.2 VR 중심의 계측정밀도 평가

VR 중심위치의 계측에 대한 정밀도를 평가하기 위하여 VR 위치를 수직 또는 수평방향으로 0.01 mm씩 미소 이동시켰을때 추정되는 VR 중심위치의 변화량을 측정하여 보았다. Table 2는 수평방향, Table 3은 수직방향의 측정결과이다. 여기서 VR의 미소이동에는 마이크로미터를 이용하였으며, 이미지상에서 검출된 이동량은 F.O.V. 분석에

Table 2 Detected translation of VR center position due to the translation of actual VR in the horizontal direction

Actual translation	Detected translation in image plane	Detected translation in object plane
0.00 mm~0.01 mm	0.54754 pixel	0.01147 mm
0.01 mm~0.02 mm	0.43748 pixel	0.00917 mm
0.02 mm~0.03 mm	0.45996 pixel	0.00964 mm
0.03 mm~0.04 mm	0.47477 pixel	0.00995 mm
0.04 mm~0.05 mm	0.47366 pixel	0.00993 mm
Average value	0.47868 pixel	0.01003 mm

* Horizontal scale factor=47.7107 pixel/mm

Table 3 Detected translation of VR center position due to the translation of actual VR in the vertical direction

Actual translation	Detected translation in image plane	Detected translation in object plane
0.00 mm~0.01 mm	0.41029 pixel	0.00890 mm
0.01 mm~0.02 mm	0.56451 pixel	0.01224 mm
0.02 mm~0.03 mm	0.36367 pixel	0.00789 mm
0.03 mm~0.04 mm	0.49837 pixel	0.01080 mm
0.04 mm~0.05 mm	0.44295 pixel	0.00960 mm
Average value	0.45594 pixel	0.00989 mm

* Vertical scale factor=46.1235 pixel/mm

서 얻은 스케일 팩터를 바탕으로 실좌표계로 변환되었다.

검출된 이동량을 실제 이동량인 0.01 mm와 비교해보면 수평방향과 수직방향에 대한 VR 중심계측 정밀도는 $\pm 2.5 \mu\text{m}$ 이내임을 알 수 있고, 따라서 구성된 비전 시스템 및 알고리즘에 의해서 추출되는 VR 중심에 대한 계측 분해능은 매우 고정도라고 할 수 있다.

5.3.3 VR 홈의 방향 계측정밀도

VR이 매우 소형이고, 미세한 곡면으로 형성되어 있기 때문에 실제로 계측되어야 할 각도의 참값을 측정하기가 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 각도 정밀도를 정량적으로 평가하지 않고, 처리결과로부터 삽입할 비트의 형상을 계산기에서 생성시킨 뒤 이를 원래 VR 이미지에 오버레이(overlay)시켜 비교함으로써 비트의 삽입 정확성을 정성적으로 확인하였다. 그 결과는 이미 Fig. 8에 나타낸 바와 같다. 여기서, 오버레이 비트형상은 이미지처리에서 검출된 홈의 각도와 중심좌표를 이용하여 계산기에서 생성시킨 것이며, 이들이 VR 내부홈과 정확히 일치하는 것으로부터 본 연구에서 제안한 처리 알고리즘의 유효성을 검증할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 PCB에 실장된 SMD VR의 검사 자동화를 위하여 VR의 위치와 비트홈 방향을 계측할 목적의 머신비전 화상처리 알고리즘을 제안하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 추적대상 VR의 형상특징을 적극적으로 이

용한 화상처리 알고리즘을 제안하였다. 먼저 VR 홈의 방향은, VR 외곽의 직선구간이 비트홈과 평행하다는 점으로부터 외곽 직선부를 콘터세그먼트(contour segment) 면적수법을 이용하여 검출하고, 그 방향을 직선맞춤에 의해 구하였다. 그리고 VR의 회전중심에 대하여 대칭적이라는 점으로부터 내부홈의 면적모멘트를 이용한 도심검출에 의해 구하였다.

(2) 제안된 알고리즘의 타당성은 실제로 구성된 비전시스템을 이용하여 검증하였다. 구성된 비전시스템의 스케일 팩터는 수평방향에 대하여 47.7107 pixel/mm, 수직방향에 대하여 46.1235 pixel/mm 이었고, 수평방향과 수직방향에 대한 VR 중심계측 정밀도는 $\pm 2.5 \mu\text{m}$ 이내로 나타났다. 비트홈방향의 검출 정확성은 원래의 VR 이미지에 처리결과를 오버레이(overlay)하여 정성적으로 확인할 수 있었다.

(3) 제안된 알고리즘은 시간변화에 대해 안정적이었으며 외란광에도 강인함을 보여 주었다.

참고문헌

- (1) 世戸 男, "フレキシブル自動検査・調整システム," 松下通信工業, pp. 1~29.
- (2) Galbati, L. J., *Machine Vision and Digital Image Processing*, Prentice Hall.
- (3) Reddi, S. S., Rudin, S. F. and Keshavan, H. R., 1984, "An Optimal Multiple Threshold Scheme for Image Segmentation," *IEEE Trns. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMO-14, No. 4.

- (4) Shapiro, V. A., 1994, "Optimal Binarization: A Robust Approximation Scheme," *The Third International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision*, Singapore.
- (5) Ballard, D. H. and Brown, C. M., 1982, *Computer Vision*, Prentice Hall, New Jersey.
- (6) Pitas, I., *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, New Jersey
- (7) Williams D. J. and Shah, M., 1992, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," *CVGIP, Image Understanding*, Vol. 55, No. 1, pp. 14~26.
- (8) Worring, M. I and Smeulders, A. W. M., 1993, "Digital Curvature Estimation," *CVGIP, Image Understanding*, Vol. 58, No. 3, November, pp. 366~382.
- (9) Hao, Z. and Lejun, S., 1995, "A Fast Corner Detection Algorithm Based on Area Deviation," *MVA '94 IAPR Workshop on Machine Applications*, Kawasaki, pp. 13~15.
- (10) Nayar, S. K., 1991, *Shape Recovery Using Physical Models of Reflection and Interreflection*, Carnegie-Mellon Univ.
- (11) 김병엽, 송재용, 장경영, 한창수, 박종현, 이영민, 1995, "비전을 이용한 SMD 부품의 위치 및 자세의 계측," '95년도 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 371~376.