

PCB 필름의 스케일러블 템플릿 기반 검사

진성아, 주문원
성결대학교 멀티미디어 학부

The Scalable Template-Based Inspection of PCB Film

Seong Ah Jin, Moon Won Choo
Division of Multimedia, Sungkyul University
E-mail : solideo@sungkyul.edu,

요 약

PCB관련 제품의 최종 제작단계에서 defect 검사 과정은 제품의 질을 유지하기 위해 필수적인 단계이다. PCB 자동화 검사 시스템은 사람에 의해 이루어지는 품질검사에서 발견되는 비용을 절감하고, 신뢰성있는 제작 프로세스를 유지하기 위해 적극적으로 개발되고 있다. 이 논문에서는 PCB 필름의 defect를 검사하기 위하여 적응적 템플릿 기반 검사 방법을 제시하고자 한다. 고정된 템플릿은 구현하기 편리하고 속도면에서 이점을 발휘할 수 있으나, 강력한 센서의 선택에 제약이 있을 환경 하에서 100%에 근접하는 오류검출률 defect detection rate이 요구되는 고정된 템플릿을 제작하는 것에 문제가 있을 수 있다. 여기서는 템플릿 모델에 유연성을 부여하기 위하여 템플릿의 이미지를 목표 이미지들의 상태에 따라 템플릿을 적응적으로 구축하여 검사과정에 동적으로 적용하는 기법을 개발하고자 한다.

1. 서론

PCB관련 제품의 최종 제작단계에서 defect 검사 과정은 제품의 질을 유지하기 위해 필수적인 단계이다.

PCB 자동화 검사 시스템은 사람에 의해 이루어지는 품질검사에서 발견되는 비용을 절감하고, 신뢰성있는 제작 프로세스를 유지하기 위해 적극적으로 개발되고 있다.

PCB의 패턴은 공통적 특징을 갖고 있는 반면, 일반적으로 대단히 복잡하다. 적용되는 응용 분야에 따라 표준적으로 적용될 수 있는 검사방법을 구현하는 것도 그다지 현실성이 있어 보이지 않는다. 왜냐하면, PCB의 특성상 공통적으로 요구되는 지역적 특징들이

리고 제작이나 검사가 실행되는 환경도 제작사, 비용, 응용에 따라 변화될 수 있기 때문이다.

많은 컴퓨터 비전 관련 기술들이 PCB 검사 기술로 활용되고 있다. 그레이 스케일 혹은 컬러 검사 기술[5]이 대체적인 기술의 유형으로 구분될 수 있다[2]. 세부적으로 morphological filtering[5], index space method[4], wavelet [1]를 사용하여 검사시스템을 구축하고 있다. 특히, 검사 환경이 통제된 환경에서는 템플릿 기반 방식이 많이 연구되어 적용되고 있다. 템플릿 기반 방법[3]은 목표 이미지를 참조 이미지와 비교하여 defect의 위치와 유형을 분류하는 기법으로, 자동화 시스템에서 요구하는 처리 시간의 제

약을 극복할 수 있는 장점이 있다. 그러나 일반 CCD 카메라를 사용하는 시스템에서 센서의 해상도나 잡음에 의하여 검사의 목표 이미지가 일관성있게 녹취되지 않으며, 참조 이미지를 마스크화하여 템플릿으로 만드는 과정도 이미지의 미세한 변화나 조명의 영향으로 인하여 신뢰성있는 마스크를 제작하는 것에도 문제가 발생할 수 있다. 따라서 템플릿을 고정시키는 작업에 있어 원래의 CAD 데이터를 활용하는 방법이 널리 활용되고 있다. 그러나 이 경우에도 목표 이미지가 일관성 있는 픽셀값을 가진다는 것을 전제로 하므로 문제점이 없는 것은 아니다.

이 논문에서는 PCB 필름(그림. 1)의 defect를 검사하기 위하여 새로운 템플릿 기반 검사 방법을 제시하고자 한다. 고정된 템플릿은 구현하기 편리하고 속도면에서 이점을 발휘할 수 있으나, 강력한 센서의 선택에 제약이 있을 환경 하에서는 100%에 근접하는 오류검출률 defect detection rate이 요구되는 고정된 템플릿을 제작하는 것에 문제가 있을 수 있다. 여기서는 템플릿 모델에 유연성을 부여하기 위하여 템플릿의 이미지를 목표 이미지들의 상태에 따라 템플릿을 실시간으로 구축하여 검사과정에 동적으로 적용하는 기법을 개발하고자 한다.

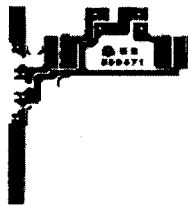


그림 1. PCB film

2. Defect 유형

표1.은 PCB에서 전형적으로 검출되는 defect 유형의 일부이며, 이 논문에서 다루는 PCB 필름에서 검출해야할 결함의 유형이기도 하

다. 이러한 결함이 최종 불량으로 판정받기 위해서는 각 유형의 특징에서 측정되는 두께, 크기, 넓이, 위치, 들뜸과 관련된 문턱값에 의존하게 된다.

유형	특징
short circuit 회로단선	
cutting circuit 회로단락	
mouse bite/ protuberance 도선폭 감소/확대	
pin hole 도선결함	-
dirty/scattering copper 잔류구리	
VIA hole/hole missing	
cover lay 의 들뜸	

표1. defect 유형의 일부

그림 2.에서는 defect가 특정 문턱치를 넘어 불량품으로 판정된 예를 보여주고 있다. 이러한 defect를 검출하여 불량인지 아닌지를 검사하는 과정은 회로단선이나 회로단락의 경우, 미세한 결함도 불량으로 처리해야 하며, 도선의 폭의 감소/확대는 도선 폭의 20% 이상, pin hole은 도선길이 방향으로 0.4mm 이상, 잔류 구리는 도선길이 방향의 0.4mm 이상과 옆 도선 폭선이 1/6이상 이라는 문턱값을 확인하는 절차라고 할 수 있다.

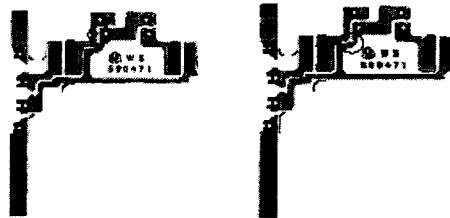


그림 2. 원으로 표시된 부분. (a) 이물질, (b) 회로단락 (c) 도선 폭 감소/확대.

3. Image Processing Algorithm

불량품 검사를 위한 프로세스는 크게 세부분으로 구분된다.

- (1) preprocessing: 목표 이미지의 전처리 단계로 이미지에 잔류하는 잡음제거와 검출에 요구되는 이미지와 배경이미지를 격리하는 단계.
- (2) defect detection: 목표 이미지의 segmentation, 참조 이미지와 목표 이미지와의 픽셀값의 차이를 검출하여 불량여부를 판단하는 과정.
- (3) defect classification: 불량품으로 판정된 경우, defect의 유형과 위치 등을 판정하는 단계.

여기서는 템플릿 기반 방식을 적용하는 두 번째 단계에 중점을 두고 설명하기로 한다. 이 단계는 PCB 필름에 내재하는 결함을 탐지하기 위하여 다음과 같은 검사 흐름을 통과하게 된다.

3.1 Segmentation & Registration

센서에 의해 감지된 목표 이미지는 무오류의 참조 이미지와 비교되기 위해 불필요한 배경 이미지와 격리되며, 참조 이미지와 동일한 크기의 이미지로 절삭된다.

여기서 처리되는 PCB 필름에는 참조용 기준 포인트가 존재하지 않으므로, 별도의 registration 처리과정이 필요하다. 이를 위하여 이미지의 특성상 trinary gray level(base, metallic surface, background) 이미지(그림.3)로 변환한다. 이는 원래 이미지가 담고 있는 픽셀 분포의 특징을 registration 과정에 활용할 수 있기 때문이다.

Registration 과정은 목표 이미지를 참조 이미지와 대응되는 픽셀을 찾는 과정으로 다양한 invariant features 사용하여 해결할 수 있다. Affine transformation 이 필요하고, 이

미지의 복잡성이 낮은 경우 Hough Transform[8] 과 같은 방법으로 translation 과 rotation 파라미터를 결정할 수 있다.



그림 3. trinary gray-level 이미지

또한 검사환경이 통제될 수 있는 경우, normalized correlation 방법을 채택하는 것이 처리 속도나 비용 측면에서 효과적일 수 있다. 여기서 사용되는 normalized correlation[6]은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$c(x,y) = \frac{\sum_i \sum_j f(x+i, y+j) \cdot g(i,j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j f^2(i,j) \cdot \sum_i \sum_j g^2(i,j)}}$$

여기서 $c(x,y)$ 는 목표 이미지 $f(x,y)$ 와 참조 조각 이미지 $g(x,y)$ 와의 correlation 결과치 공간이다. 각 좌표값은 0에서 1사이의 값을 갖는다. 참조 이미지의 특정 조각을 correlation 테스트 이미지로 사용하여, 두 개의 참조 포인트를 추출하면, translation으로 대응되는 한쌍의 포인트 좌표를 일치시킬 수 있다. 그리고 두 벡터의 inner product를 값으로 rotation 각을 계산할 수 있다. 즉, $u=p-q, v=p'-q'$ 이라고 하면,

$$\theta = \frac{u \cdot v}{|u| |v|}$$

식에 의해 rotation angle이 간단히 구해질 수 있을 것이다. 그러나 rotation이 필요한 경우, 목표 이미지 해상도가 확장되므로 별도의 프로세스가 필요하다.

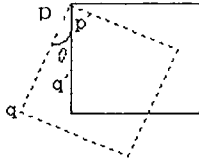


그림 4. registration 프로세스

다시 말하면, $\pi/2 \leq \theta \leq \pi$ 인 경우,

$$N = N \cos(\theta - \pi/2) + M \cos(\pi - \theta)$$

$$M = N \cos(\pi - \theta) + M \cos(\theta - \pi/2)$$

의 식과 같이 목표 이미지의 크기 $N \times M$ 가 $N' \times M'$ 으로 확장된다. 따라서 대응되는 픽셀의 위치를 결정하는데 배경을 제외한 PCB 필름 영역만을 추출하여 transform, rotation 을 시켜야 할 것이다.

3.2 Calculation of Differential Image

목표 이미지와 참조 이미지와의 registration 작업이 끝나면, 두 이미지와의 픽셀값의 차이를 구하게 된다. 이 알고리즘의 전제는 registration 과정에서 대응되는 픽셀의 위치가 정확히 결정되고, 참조 이미지와 목표 이미지의 센서입력이 일관성을 유지한다는 것이다. 그러나 다양한 소스의 에러가 목표 이미지에 포함되므로, 그림 5에서 보이는 바와 같이 defect만이 추출되지 않는다. 이러한 이유에서 참조 이미지와 더불어 이러한 에러 픽셀을 제거시킬 수 있는 별도의 마스크 이미지가 참조 이미지에 부가될 필요가 있다.

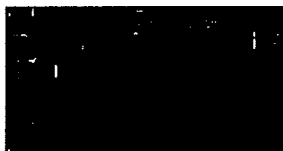


그림 5. 참조 이미지(그림 1)와 목표 이미지(그림 2(c))의 differential image 상단부분.

3.3 Scalable Template

참조 이미지는 초기에 임의로 구성되어 검사 과정이 진행됨에 따라 다양한 에러를 수용하는 유연한 템플릿으로 진화되어가는 것이 바람직하다. 주어진 에러 픽셀과 이전 참조 이미지의 edge는 nearest neighbor interpolation, bilinear interpolation, 혹은 bicubic interpolation[7] 과 같은 방식으로 템플릿의 크기는 비례적으로 축소되거나 확대될 수 있다.

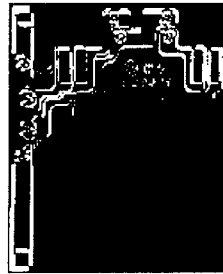


그림 6. adaptive template

3.4 Detection of Defects



(b)

그림 7. final differential image(a)와 detected defect(b)

최종적으로 목표 이미지는 재구성된 템플릿과의 대응 픽셀값 차이를 구하게 되고(그림 7(a)), morphological filtering를 적용하여 defect를 찾아내게 된다(그림 7(b)). 이렇게 탐지된 결함부분도 false alarm 을 제거하기 위해 불량조건에 따른 픽셀 개수와 위치 등을 점검하여 최종 불량품으로 판정하게 된다. 여기서 제시된 실험 이미지는 scalable

factor를 결정하기 위해 nearest neighbor interpolation 방식을 사용했으며, 최종 결합 추출을 위하여 erosion filter를 적용해 보았다.

4. 차후 과제

여기에서 제시한 각 단계별 검사 방법은 아직은 이론적 수준에 머물고 있다. 실용화를 위해 좀더 상세한 알고리즘의 개발이 요구된다. 특히, 템플릿의 유연성을 확장하기 위해 fuzzy 템플릿 개발을 고려하고 있다. 무엇보다도 검사 환경에 대한 제약사항을 충분히 고려하면, 좀 더 적절한 기법의 도입이 바람직할 수도 있을 것이다.

of defects on chicken meat," Image & Vision Computing 15, 1997, pp.549-556

[6] Milan Sonka & V. Hlavac, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision," PWS Pub., 1998 -658, Nov. 1990

[7] Rafael Gonzalez & R. Woods, "Digital Image Processing," Addison Wesley Pub., 1992

[8] V.F. Leaves, "Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform," Springer-Verlag, 1992

[참고문헌]

[1] A. Latif-Amet, et. al, "An efficient method for texture defect detection: sub-band domain co-occurrence matrices," Image and Vision Computing, vol. 18, 2000, pp. 543-553

[2] Hilario Haruomi Kobayashi, "Hybrid Defect Detection Method Based on the Shape Measurement and Feature Extraction for Complex Patterns, IEICE TRANS. INF. & SYST., vol. E83-D, NO. 7, July 2000

[3] Kenneth W. Tobin, et. al, "Inspection in Semiconductor Manufacturing," Webs. Ency. of EEE. vol. 10, pp.242-262. Wiley & Sons, NY, NY, 1999

[4] K. Tanimizu, et. al, "High-speed defect detection method for color printed matter," IECON'90 Proc., vol 1, pp. 653

[5] M. Barni, et. al, "Colour-based detection