

CAD 정보를 이용한 PCB 자동 시각 검사 시스템

박병준[†], 한광수^{**}

요 약

영상 학습은 컴퓨터를 이용한 자동 시각 검사에서 매우 중요하고 어려운 문제이다. 최근 생산되는 인쇄 회로 기판(PCB : Printed Circuit Board)은 부품의 크기가 작아지고 회로 패턴이 점점 복잡해져서 신제품의 개발 주기가 짧고 다양한 제품들을 검사해야 하는 분야에서 어렵고 복잡한 학습 과정은 큰 문제가 되고 있다. 본 논문은 CAD(Gerber: 거버)파일을 이용하여 PCB 자동 시각 검사의 기준이 되는 참조 영상을 생성하였다. Gerber 파일로 생성된 참조 영상은 결함이 없는 PCB 패턴을 보장한다. 시스템의 구현과 실험을 통하여 Gerber 파일을 이용하여 PCB 자동 시각 검사 시스템의 학습 과정을 손쉽게 할 수 있는 방안을 제시하였다.

Automated Visual Inspection System of PCB using CAD Information

Byung-Joon Park[†], Kwang-Soo Hahn^{**}

ABSTRACT

Image training is a very important yet difficult state for automated visual inspection using computers. Because the size of parts for the recently produced PCB (Printed Circuit Board) becomes smaller and circuit patterns gradually become more complex, a difficult and complex training process is becoming a big problem within an industry where development cycle for new products is short and various products must be inspected. This research produced a reference image by using CAD (Gerber) file which becomes a standard for PCB automatic visual inspection. Reference image from a Gerber file guarantees PCB patterns with no defects. Through system implementation and experimentation, Gerber file is used in order to propose a plan which allows an easy training process for PCB automatic visual inspection system.

Key words: PCB Inspection(PCB 검사), Image Study(영상 학습), Image Subtraction(영상 차감법), Automated Visual Inspection(자동 시각 검사), Image Processing(영상 처리)

1. 서 론

PCB는 텔레비전, 냉장고, 컴퓨터 등의 모든 가전 제품에 사용되며 고집적화를 통한 고성능화를 실현하기 위한 필수적인 부품이다. 이용범위가 다양하고 이용하는 제품의 개발 속도가 빠르기 때문에 지속적인 기술투자과 적기에 대규모의 설비투자를 필요로 한다.

우리나라는 세계적인 IT경기의 부진으로 2001년

에 생산 규모가 많이 감소하였으며, 이후 2002년에 우리나라는 약 21억 달러 정도의 PCB를 생산했고, 2003년부터 2006년에 걸쳐서 지속적으로 생산 규모가 증가하여 현재는 일본, 미국, 중국, 대만에 이은 세계 5위의 PCB 산업 국가로 세계 PCB 생산량의 약 11%를 생산하고 있다[1]. 국내 PCB 산업은 2004년도에는 4조 400억 규모에서 2007년 5조 5천억 규모로 성장하면서 연평균 성장률이 15%에 이르렀고, 2008년에는 전년대비 약 6.0%의 성장이 예상되고 있

※ 교신저자(Corresponding Author) : 박병준, 주소 : 서울특별시 성북구 정릉동 861-1(136-702), 전화 : 02)910-5104, FAX : 02)910-4868, E-mail : romad38@hanmail.net
접수일 : 2008년 10월 19일, 완료일 : 2009년 1월 20일

[†] 국민대학교 대학원 전산과학과 박사과정

^{**} 정희원, 국민대학교 컴퓨터학부 교수
(E-mail : kshahn@kookmin.ac.kr)

다. 세계 PCB 산업의 생산 규모는 IT 산업이 급격히 침체 하였던 2001년을 제외하고는 지속적으로 증가하고 있는 부가가치가 높은 기술과 산업이다[2,3].

우리나라의 PCB 산업은 일본, 미국에 대해서는 기술면에서 경쟁력이 약하고 대만이나 중국에 대해서는 가격 경쟁력이 뒤지는 어려움이 있다. 이 문제를 극복 하고자 가치가 높은 고부가 제품의 비중을 강화하기 위하여 활발한 설비투자를 진행하고 있다. 장비 및 원재료의 국산화와 저가격화를 위한 새로운 기술의 개발로 가격 경쟁력을 확보해야 하며, 머신 비전을 이용한 자동 검사를 통한 불량률을 감소시키고 고밀도화를 위한 기판 기술을 확보하여 경쟁력을 높여야 한다. 그림 1은 국내 PCB 생산 규모이다[3].

복잡한 PCB 패턴의 검사는 품질 불량과 생산성 저하 등 여러 가지 문제점을 도출하고 있다. 산업체에서는 이 문제를 해결하기 위하여 컴퓨터 시각을 이용하여 더욱 정밀한 검사 과정을 요구하고 있으며 다양한 접근 방법으로 검사를 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

선진 각국에서는 제품 검사의 정확한 판정 및 수정을 위해서 자동 시각 검사 시스템을 개발하여 생산 라인에 투입하고 있으며 핵심 기술인 영상 인식 기술의 메커니즘은 원천적으로 보호하며 고가격화 정책으로 무기화를 하고 있어 국내 전자 정보 산업의 보호 측면과 PCB의 국제적 경쟁력을 확보하기 위해 필수적으로 개발해야 되는 기술이다.

기존의 연구 결과들을 살펴보면 결함이 없는 참조 영상과 검사 대상의 영상을 화소 단위로 비교하는 영상 차감 방법, 영상 전체를 모두 비교하지 않고 영상에서 도선의 길이, 폭, 홀, 패드의 지름 등의 특징을 추출하여 비교하는 특징 비교 방법, 도선의 경계(edge)를 미리 정의해 놓은 기본요소의 집합으로 표

현하여 문법관계를 살펴보는 구문론적 접근(syntactic approach) 그리고 영상을 분할하고 해석하여 이미 세워둔 회로 구성 규칙과 비교하여 결함을 찾아내는 규칙 기반 접근(rule-based approach) 방법 등이 있다[4-7].

이들 중에 영상 차감 방법은 결함을 빠짐없이 찾아내고 빠른 속도로 검사할 수 있으며 원리가 간단하다는 장점들을 지니고 있어 산업용 검사 시스템에 많이 응용되고 있다. 하지만 이 방법은 참조 영상(reference image) 즉 끝된 영상이라 불리는 결함이 없는 제품 영상을 필요로 하는데, 그 참조 영상 획득에 많은 어려움이 있다. 특징 비교 방법 또한 참조 영상만을 통해 패턴의 특징을 찾는 것은 적절한 특징 선정이 쉽지 않고 패턴의 위치와 크기의 특징 값을 영상을 통하여 직접 학습 시키고자 한다면 많은 시간이 소요되고 오류의 가능성도 크게 된다[8,9].

본 논문에서는 결함을 빠짐없이 찾아내고 빠른 속도로 검사를 할 수 있으며 원리가 간단한 장점을 지니고 있는 영상차감법의 알고리즘으로 PCB를 검사했다. 검사의 기준이 되는 학습은 PCB 제품 설계 시 가장 많이 쓰이는 Gerber 파일에서 각 패턴의 특징을 추출하여 학습 모델을 생성하였다.

논문의 구성은 2장에서는 PCB 결함 및 검사 방법과 Gerber 파일에 대하여 서술하였고, 3장에서는 시스템 구현에 관하여 설명하였고 4장에서는 실험결과 및 분석에 관하여 논하였고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대하여 서술하였다.

2. 연구 배경

이 장에서는 PCB 제조 과정 중 발생 가능한 결함 및 결함 검사 방법과 본 논문의 학습 모델 생성에 사용하는 Gerber 데이터 형식에 대하여 서술하였다.

2.1 PCB 결함유형

PCB의 결함은 제조, 패키징, 유통 및 조립할 때 발생할 수 있다. 폐기 비용을 절감하기 위해서는 가능한 한 공정초기에 결함을 발견해야 폐기되는 기판 수를 최소화 할 수 있다. 제조업체나 조립업체들이 폐기하는 결함 기판들을 보면 많은 기판들이 외관상 결함의 문제로 인하여 불합격 판정을 받아 폐기되고 있다.

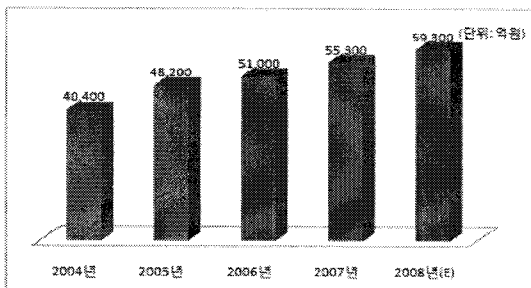


그림 1. 국내 PCB 생산 규모

전자 제품의 핵심구성 요소인 PCB는 생산 과정에서 먼지나 낡은 필름, 부식 등에 의한 형태의 결함이 발생할 수 있다. 또한 PCB 패턴은 구리로 제작되어 쉽게 손상을 입을 수 있고 변색될 수 있다. PCB에 발생하는 결함은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. (1) PCB의 도선 영역(Conductor Region)에 발생하는 결함으로 도선의 패임(Mousebite), 일률적인 수축(over-etching), 단락(Open), 내부 상의 흠(pin hole) 등의 결함이 있다. 둘 째, 절연체 영역(Insulator Region)에 발생하는 결함으로 도선 돌출(Sput), 도선의 일률적인 팽창(under-etching), 도선 사이의 쇼트(Short) 등의 결함이 있다. 셋 째, 홀과 패드에 해당하는 결함으로 홀이나 패드의 크기 및 위치에 따른 결함이 있다. 이외에는 긁힘(scratch), 이물질로 인해 발생하는 결함들이 있다. 그림 2는 PCB 패턴 결함의 모습이 보이는 것으로 (a)는 결함이 없는 PCB 패턴이며 (b)는 결함이 발생된 모습이다. 표 1은 각 결함의 명칭이다[4].

2.2 PCB 자동 시각 검사 방법

PCB 검사는 지금까지 많은 방법들이 연구되었고

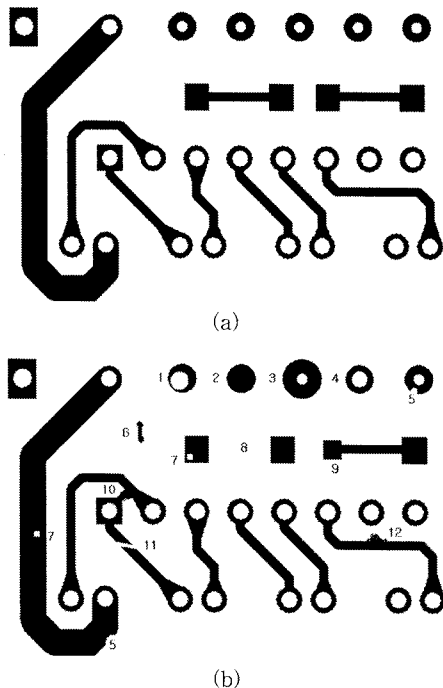


그림 2. PCB 패턴 결함의 예

표 1. 결함 명칭

1	Breakout	7	Pin Hole
2	Missing Hole	8	Missing Conductor
3	Underetch	9	Overetch
4	Wrong Size Hole	10	Short
5	Mousebite	11	Open
6	Spurious copper	12	Spur

계속해서 연구 중에 있다. PCB 검사 방법에는 크게 영상차감법(Image Subtraction)과 특징 비교법(Feature Matching Method)이 있다. 영상차감법은 참조 비교(Reference Comparison)방법을 이용한 PCB 검사에 가장 널리 사용되는 방법으로 결함이 없는 참조 영상과 검사 대상 영상과의 차이를 두 영상간의 뺄셈 연산을 통해 찾아 결함으로 추출하는 방법이다. 이 방법은 구현이 쉽고 수행 속도가 빨라 PCB 검사 이외에도 여러 비전 시스템에서 많이 사용되고 있다. 하지만 단점으로는 두 영상간의 완벽한 정렬을 필요로 하여 PCB 같은 복잡한 대상의 참조 영상을 획득하는 것에 많은 어려움이 있다.

특징비교법은 참조 비교인 영상차감법의 확장된 접근 방법이라고 볼 수 있다. 특징비교 방법은 참조 영상과 검사 대상 영상의 화소를 하나씩 직접 비교하지 않고 각 영상에서 특징(Feature)들을 추출하고 이 특징들만을 비교함으로써 결함을 검출해 낸다. 특징으로는 도선의 길이나 폭, 홀, 패드 지름, 이웃도선 사이의 거리 등이 있다. 두 영상에서 구한 특징들의 차이를 판단해 설정된 기준치를 초과하면 그 특징을 결함으로 추출한다. 처리할 데이터의 양을 크게 감소시키고 잡음에 대한 민감도를 줄일 수 있으며 처리 속도가 빠르다. 하지만 적절한 특징 선정이 어렵고 다른 영역으로의 확장성이 부족하다는 단점이 있다.

2.3 Gerber 데이터

PCB를 이용하여 참조 영상을 제작 시 PCB 자체의 결함이나 조명, 반사 등 외적인 문제로 인하여 완전한 참조 영상 생성이 어렵다. 이를 해결할 수 있는 방법으로 PCB를 제작할 때 이용한 Gerber 파일을 이용하여 참조 영상을 제작하였다[10].

Gerber 파일 형식은 포토 플로터(Photoplotter)의 준형식이며 1960년대에 정의된 규격으로 RS-274D

로 표준화(호환) 되었다. 현재까지 가장 보편적으로 많이 이용되는 RS-274X는 1990년대에 새로이 정의된 위치 데이터 외에 Gerber 매개변수와 아파처 데이터를 포함하는 규격이다.

포토 플로터로 광원의 모양을 결정하는 아파처를 모아 놓은 아파처 휠(Aperture Wheel)이라는 직경 30cm 가량의 원형 휠과 광원 그리고 광원과 휠을 X, Y 축의 방향으로 이동시키는 축으로 구성되어 있다. Gerber 포맷은 아파처의 선택 및 광원의 상태 (X, Y)좌표를 지시하는 일련의 명령들로 구성되어 있다.

Gerber 파일의 데이터 구성은 단순한 형태의 벡터 포맷을 기준으로 하고 있다. 데이터는 시작점과 끝점의 좌표와 굵기 그리고 모양의 3요소가 기본으로 구성되어 있으며 추가로 모양을 만들어 내기 위한 간단한 명령들로 구성되어 있다.

Gerber 파일은 좌표 데이터와 현재 좌표 값의 특성이나 아파처 파일에서의 참조를 나타내는 D-Code와 간단한 모양 및 명령을 수행하기 위한 G-Code와 M-Code로 구성되어 있다. Gerber 파일의 특성은 사용의 제한성을 최소화하여 사용자 에게 표현 방법의 유연성을 최대한 제공한다는 점이다. 그러나 형태만을 표현하기 때문에 PCB의 특성 및 기능과 장착 부품에 대한 정보를 전혀 알지 못한다는 단점이 있다. 또한 사용자에게 표현 방법의 유연성을 최대한 제공하기 때문에 동일한 모양의 패턴을 여러 가지 방법으로 표현이 가능하며 최종적으로 PCB 상에 그려진 점과 선의 데이터들을 종합 하여 장착점 추출에 필요한 데이터를 얻을 수 있는 문자 인식 시스템을 구성하면 장착 부품에 대한 일부 정보를 추출할 수 있다. Gerber 데이터는 사용자들의 데이터 이해도를 높이기 위해 단순한 벡터포맷으로 이루어져 있고, 사용의 제한성을 최소화 하여 사용자에게 표현 방법의 유연성을 최대한 제공한다는 장점이 있다. 단점으로는 하나의 PCB를 표현하기 위해 데이터의 양이 상당히 크게 되어 개발 당시의 컴퓨터로는 데이터를 다루기가 상당히 어려웠기 때문에 소수점 생략, 0의 생략, 중복 좌표 생략 등의 압축 방법을 도입하게 되었다. Gerber 데이터는 플로터를 구동하기 위한 기초적인 정보를 갖는 파일 매개변수와 패턴의 시작점과 끝점의 좌표 값을 표시하는 X/Y 좌표 데이터, 플로터가 한 좌표에서 다음으로 움직이거나 다음 지점에 도착할 때의 상태 (아파처 선택, 서터 명령 등)를 제어하

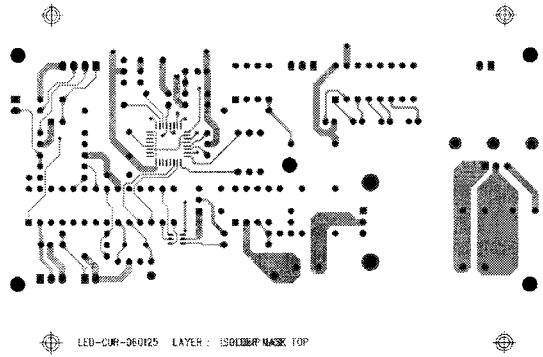


그림 3. Gerber 파일로 생성된 참조 영상

는 기능 명령으로 구성된다[11]. 그림 3은 Gerber 파일을 이용하여 생성한 참조 영상이다.

3. 시스템 구현

본 논문은 시스템의 검사 과정을 네 가지 단계로 나누어 PCB의 결함을 검사를 실시하였다. 첫 번째는 Gerber 파일을 이용한 영상 학습 모델을 생성, 두 번째는 검사 대상 PCB 영상의 획득, 세 번째는 영상 인식을 위한 전처리 과정, 마지막 네 번째는 검사 대상 PCB의 결함을 검출하는 단계로 구성되어 있다. 검사 하고자 하는 PCB는 그림 4와 같은 배선과 홀 및 패드 공정을 완료하고 실크 인쇄를 하지 않은 120mm × 60mm 크기의 단층 PCB이고 입력된 영상의 전체 크기는 3000 × 1500 화소이다. 학습에 사용될 CAD 파일은 RS-274X 파일 형식을 사용한 Gerber 파일이다. 검출 하려는 결함은 PCB 제작 과정에서 발생 가능한 대표적 결함인 도선 패턴의 오버 애칭, 언더 애칭, 쇼트, 오픈, 핀 홀 등과 홀의 누락, 위치 및 크기 결함, 패드의 누락 및 크기 결함 등이다. 개발 언어는 Visual C++ 언어를 이용하였다.

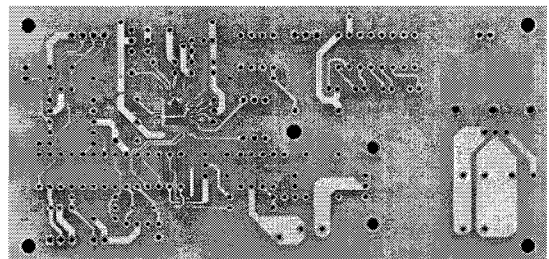


그림 4. 검사 대상 PCB

3.1 영상 획득부 설계

영상 처리 시스템은 처리해야 하는 데이터가 많기 때문에 입력 영상이 좋으면 더욱 정확한 검사가 가능하고 영상 처리 알고리즘이 간단해지며 시스템의 제작비용도 낮출 수 있다. 그러므로 입력 영상의 질을 좌우하는 시각 인식부의 설계는 매우 중요하다. 영상의 획득은 대상 물체의 제한 조건에 알맞게 설계되어야 한다.

본 논문은 그림 5와 같은 일차원 선형 구조 센서를 라인 단위로 스캔 하여 이차원 영상을 획득하는 라인 스캔 카메라를 이용하여 영상을 획득하였다. 라인 스캔 카메라는 센서의 수직축을 따라 영상을 얻을 수 있으며 고속으로 움직이는 물체의 영상 획득과 고해상의 영상을 획득 하는데 효과적인 카메라 이다. 또한 반사가 심한 PCB의 재질에 따른 적절한 조명장치를 필요로 한다[12]. 영상 획득에 이용된 장치는 메트로록사의 Meteor CL을 이용 하였고 카메라는 6144개의 센서가 있는 4M60 Gray Scale 라인 스캔 카메라를 사용하였다. 라인 스캔 카메라는 고정된 위치에서 연속적으로 일 차원 영상을 획득 하므로 스캔 과정에서 오브젝트를 이송해 주는 스테이지의 속도와 카메라의 영상 획득과의 동기화가 매우 중요하다. PCB 영상의 전체 가로 크기를 150mm로 하고 카메라와 PCB와의 거리를 180mm로 설정하였다. 하나의 화소의 가로와 세로의 크기는 $150 / 6144 = 0.0244\text{mm}$ 이고 오브젝트의 이송 속도를 70mm로 하고 주파수는 3000Hz로 설정하였다[13].

3.2 필터링

결함 검출을 위해 입력된 PCB 영상은 노이즈 제

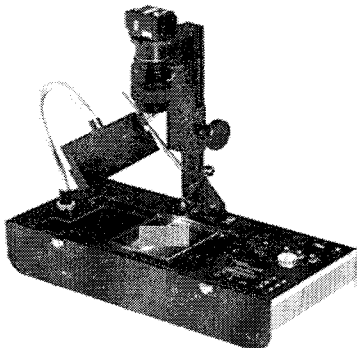


그림 5. 라인 스캔 카메라

거, 히스토그램 분석, 이진 영상 변환, 영상 정렬의 적절한 전처리 과정을 거친다.

획득된 PCB 영상은 카메라의 고유 특성으로 인하여 미세먼지 등의 아주 작은 이물질로 인한 밝은 점 형태의 잡음이 포함되어 있다. 영상에 남아있는 잡음은 결함 검사 과정에 많은 악 영향을 미치므로 전처리 과정에서 제거하여 정확한 검사가 이루어지도록 한다.

잡음의 제거는 잡음의 농도와 그 주변 농도와의 급격한 농도 차가 있다는 점과 잡음의 성질을 이용하여 필터링을 한다. 에지(Edge) 부분도 급격한 농도차가 있기 때문에 이 에지의 잡음 부분을 어떠한 방법으로 분리하여 잡음만을 제거하는가 하는 것이 잡음 제거 과정의 핵심이 된다.

노이즈는 중간값 필터(Median Filter)를 이용하여 효과적으로 제거할 수 있다[14]. 중간값 필터는 화소의 명암값을 마스크 내의 화소들 가운데 중간 값으로 대체하는 것이다. 특별한 밝기들을 가진 점들이 그들 주변 점들과 좀 더 같아지도록 강제하는 것으로 모서리들과 다른 날카로운 세부 사항들을 흐리게 하는 것을 방지하며 노이즈를 제거할 수 있다. 그림 6의 영상은 노이즈가 포함된 영상과 3×3 중간값 필터를 적용하여 도선의 경계가 흐릿하게 변하지 않고 그대로 유지되면서 노이즈가 제거된 영상이다.

3.3 영상의 이진화

영상 처리에서 이용하는 영상의 데이터는 칼라 영상과 그레이 영상 그리고 이진 영상으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 영상의 경계값을 이용하여 흑과 백의 두 가지 색만을 가지고 있는 이진 영상 데이터를 사용하였다.

영상의 이진화는 영상 분할에 있어서 가장 중요한 방법 중에 하나이다. 이진화의 방법은 크게 전역적 이진화(Global Thresholding) 방법과 지역적 이진화(Local Thresholding) 방법으로 나눌 수 있는데 전역적 이진화 방법은 영상 전체를 분석하여 결정된 하나의 임계값을 모든 화소에 적용하여 이진화를 하는 방법이고 지역적 이진화 방법은 하나의 화소를 이진화 하기 위해서 그 화소 주위의 일정한 영역을 참조하여 임계값을 결정하는 방법이다. 본 논문에서는 전역적 이진화 방법으로 홀과 도선의 이진영상을 구하기 위하여 그림 7과 같이 히스토그램 분석을 하여

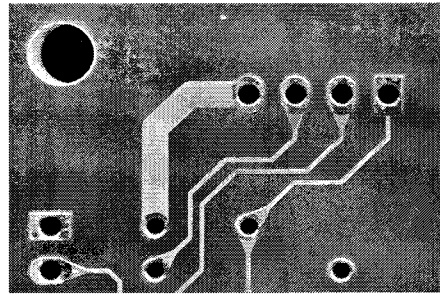
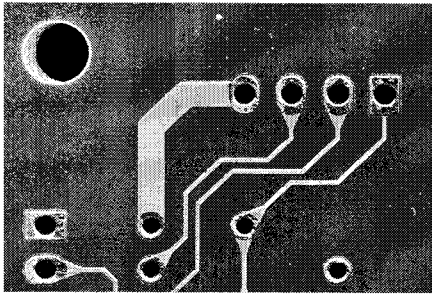


그림 6. 노이즈가 포함된 영상과 노이즈가 제거된 영상

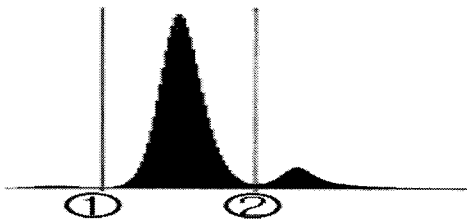


그림 7. 히스토그램 (Histogram)

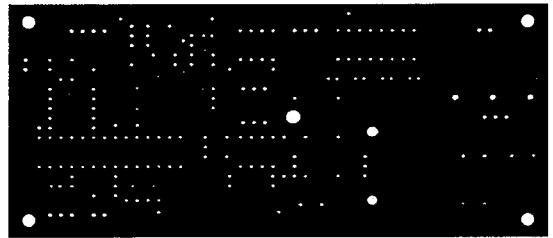


그림 9. 홀 패턴의 이진화 영상

임계치의 값을 구하고 각 화소들을 검사할 영상과 배경으로 구분하였다[15]. 히스토그램에서 가로 방향은 화소의 명암값(0 ~ 255)이며, 세로 방향은 해당 값을 갖는 화소의 수이다. 모양에 따라 두 개의 경계를 구하며 ①의 임계치는 홀 패턴의 영상을 구하는 값이며, ②의 임계치는 도선 패턴의 영상을 구하는 값이다. 그림 8과 그림 9는 그림 7의 히스토그램에서 계산된 임계치의 값으로 생성한 도선 패턴과 홀 패턴의 이진 영상이다.

3.4 영상의 정렬

두 영상 사이의 상대적 위치를 결정하는 영상의 정렬은 영상 처리 인식 분야에서 매우 중요한 부분이다. 정확한 검사를 위해서는 영상 정렬 알고리즘을 이용하여 두 영상의 좌표축을 정확히 일치시켜야 한

다. 실제로 작업장에서는 제품을 컨베이어 위에 놓을 때 컨베이어 맨 앞쪽에 있는 가이드에 밀착시켜 이송하며 영상을 획득하기 직전에 제품을 가이드라인 쪽으로 밀어주고 클램프를 이용하여 제품을 눌러서 고정시켜 주지만 미세한 오차로 인하여 수평과 수직 좌표의 보정을 필요로 한다[16].

Gerber 파일을 이용하여 생성된 참조 영상과 라인 스캔 카메라에서 획득된 PCB 영상은 제작 과정에서 생기는 오차로 인하여 전체적으로 정확한 정렬 좌표를 찾기가 어렵다. 정렬을 하기 위한 과정을 설명하면 다음과 같다.

- (1) 학습을 통해 생성된 참조 영상은 이진 영상이므로 입력된 영상을 히스토그램 분석을 통해 이진 영상으로 변환한다.
- (2) 각 영상내의 윤곽선들을 찾는다.
- (3) 찾아낸 각 윤곽선을 이루는 좌표와 방향값 등을 저장한다.
- (4) 임의의 최대 이동 값(Max Shift)을 정한다.
- (5) (3)의 과정에서 찾아낸 좌표와 방향 값을 중심으로 최대 이동하는 범위 내에서 참조 영상의 방향 값과의 정합도를 계산한다.
- (6) (5)의 결과 중 가장 큰 값이 특정 임계치보다 크면 그 경우의 x, y값을 참조 영상과의 x, y축 이동거리로 계산한다.

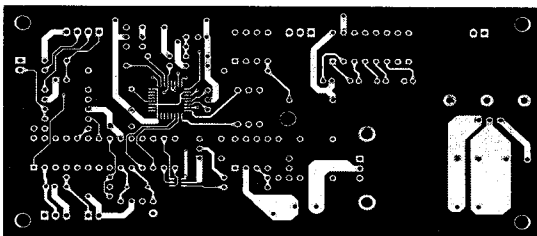


그림 8. 도선 패턴의 이진화 영상

위의 과정에서 윤곽선 검출은 소벨(Sobel) 연산자를 이용하였다.

3.5 학습 과정

본 논문은 기존 PCB 자동 시각 검사 시스템에서 학습의 어려움을 해결하기 위한 것으로 사용자에게 의한 학습을 편리함이 목적이다. 사용자는 검사 영상의 해상도 및 정렬 좌표 그리고 Gerber 파일의 입력만으로 검사를 위한 학습을 완료할 수 있도록 구현하였다. 사용자에게 의해 입력된 정보를 이용하여 검사에 필요한 참조 영상 생성 및 각 패턴의 특징을 추출한다. 학습에 사용될 Gerber 파일은 PCB의 패턴들을 벡터 형식으로 저장하고 있으므로 각 패턴의 특징을 쉽게 접근할 수 있도록 자료 구조에 저장하였다. Gerber 파일은 아파처 정보와 데이터 형식에 관한 정보 그리고 좌표 데이터 정보를 포함하고 있다. 따라서 이 정보를 저장할 수 있는 구조체를 정의하여 데이터를 저장하였다. Gerber 파일의 정보 중 좌표 데이터는 실제 패턴을 생성하는 주요 정보이다. 좌표 데이터는 D코드(표 2)가 가리키는 광원 노출 정보에 따라 선과 플래시의 패턴 생성이나 좌표 이동으로 구분할 수 있으며, 패드의 지름, 도선의 두께 등과 같은 패턴 크기나 형태는 아파처 번호를 통해 알 수 있다. 모든 좌표 데이터 순차적으로 처리 되며 그 수는 제한이 없다. 따라서 좌표 데이터들은 연결 리스트 구조체로 저장하였다.

모든 데이터가 추출되면 비트맵 영상을 생성한다. 검사를 위해 도선, 패드, 홀의 영상을 구별하여 생성

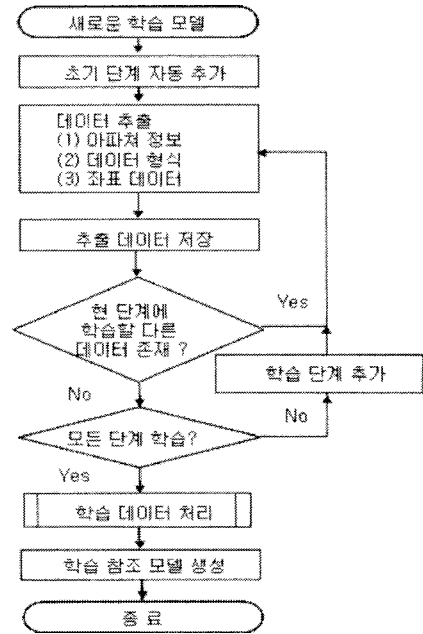


그림 10. 학습 과정 순서도

하며 각각의 패턴을 조합한 영상을 만들 수 있도록 하였다. 영상은 검사할 제품 영상과 동일한 해상도로 생성되며 사용자의 편의를 위하여 확대 및 축소가 가능하도록 하였다. 그림 10은 학습 과정 순서도이다.

3.6 검사 과정

학습 과정에서 참조 영상이 생성되면 카메라를 이용하여 결함 검사를 위한 PCB 영상을 획득한다. 획득된 영상은 전처리 과정에서 잡음 제거, 히스토그램

표 2. D 코드 명령어 체계

구분	코드	설명
서터 상태 지정 코드군	D01	서터를 연다(Drawing)
	D02	서터를 닫는다(Blanking)
	D03	플래시 동작 실행
점선 지정 코드군	D04	점선 플로팅(선을 1/8인치, 여백을 1/8인치)
	D05	점선 플로팅 해제
	D06	점선 플로팅(선을 1/5인치, 여백을 1/8인치)
	D07	중심선으로 점선 플로팅(중심선은 1/8인치)
아파처 선택 코드군	D10~D19	각각 아파처 1번부터 10번을 지정
	D70~D71	아파처 11번과 12번을 지정
	D20~D29	각각 아파처 13부터 22번을 지정
	D72~D73	아파처 23번과 24번을 지정

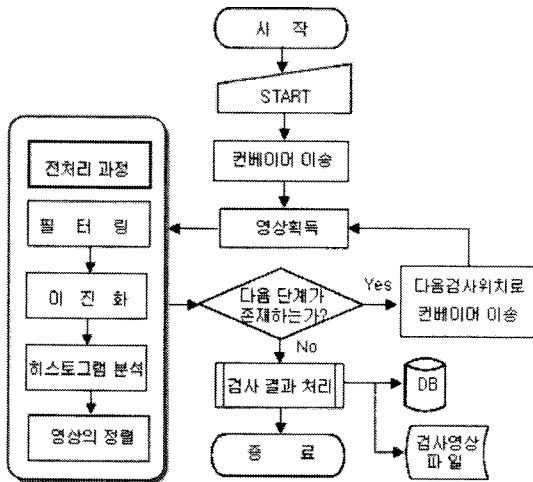


그림 11. 검사 과정 순서도

분석, 이진 영상 변환, 영상 정렬 등의 작업을 한다. 그 후 PCB의 특성에 따라 도선과 패드로 나누어 각각의 결함을 검출한다. 영상차감법 적용을 위해 먼저 두 영상을 정렬 알고리즘을 이용하여 정확히 정렬시킨다. 그 후 두 영상간의 차 영상을 구하면 결함이 있는 부분은 임계치와 다른 영역을 갖게 된다. 결함이 없는 부분에도 가는 선 혹은 좁은 영역이 나타날 수 있는데 이는 회로설계 패턴과 PCB 영상간의 미세한 정렬 오차 때문에 발생된다. 이러한 오차는 결함 분석 시간을 증가시키며 결함으로 오인될 가능성이 있으므로 열림(open)과 닫힘(close)의 모폴로지 연산을 적용하여 오차로 인한 영역을 제거한다[17]. 라벨링을 통하여 차영상에 남은 개체의 크기, 위치 등을 분석하여 임계치 이상이 되면 결함으로 판별한다[18]. 그림 11은 검사 과정 순서도이다.

4. 실험 및 결과분석

결함이 포함된 PCB의 수가 매우 적어 실험을 위해 PCB 제조 과정에서 발생 가능한 일부 대표적인 결함들을 인위적으로 만들어 실험하였다. 결함이 포함된 PCB 수가 매우 적어 실험을 위해 PCB 제조 과정에서 발생 가능한 대표적인 결함들을 인위적으로 만들어 실험하였다. 검출 가능한 결함과 검출하지 못한 결함을 분석하여 CAD 데이터를 이용한 검사방법의 가능성을 실험하였다[19,20]. PCB의 결함을 검출하기 위해 3장에서 제안한 방법으로 실험하였다.

4.1 도선 패턴 검사

검사를 위해 입력된 영상은 홀과 패드 가공이 완료된 제품이기 때문에 참조 영상과 입력 영상간의 차영상은 홀과 패드의 패턴이 남아 있다. 홀과 패드의 패턴은 후에 따로 검사를 하기 때문에 도선 패턴 검사에 영향을 주지 않아야 한다. 홀과 패드의 패턴을 제거하기 위해 참조 영상과의 차영상에서 CAD 파일로부터 생성된 홀과 패드의 영상을 뺄셈 연산하였다.

그림 12는 도선 패턴에서 결함이 포함된 PCB 영상이고, 그림 14는 그림 12의 표시 영역을 모폴로지 연산을 한 후 획득한 차영상의 결함 부분이다. 그림 12를 보면 결함이 발생된 부분은 임계치 보다 넓은 두께와 큰 면적을 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 결함이 아닌 부분에서도 가는 선이나 좁은 영역이 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 회로 설계 패턴과 제작된 패턴과의 차이와 두 비교 영상간의 미세한 정렬 오차 때문에 발생한다. 이러한 오차는 결함 분석 시간을 증가시키며 결함으로 오인식이 될 수 있으므로 모폴로지 연산을 통해 제거한다. 그림 14의 차영상을 보면 그림 13에서 동그라미로 표시된 결함은 정확히 인식을 하지만 네모로 표시된 얇은 끊어진 결함은 검출하지 못하였다.

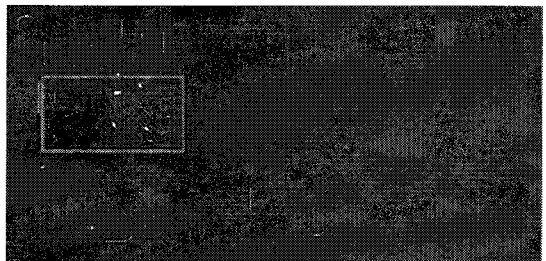


그림 12. 모폴로지 연산 전 차영상

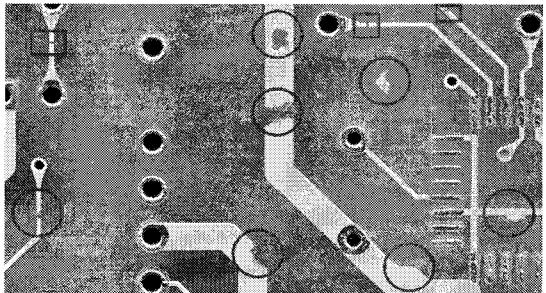


그림 13. 도선 결함이 있는 PCB

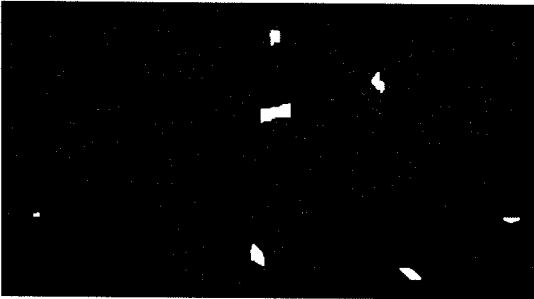


그림 14. 모폴로지 연산 후 차영상

4.2 패드 패턴 검사

다른 부품과의 납땀을 위한 패드는 금속의 재질로 인해 빛의 반사가 심하고 표면은 고르지 못하여 빛의 반사에 의하여 히스토그램 값이 넓게 분포하여 이진 영상 획득을 어렵게 한다. 영상에서 넓은 명암값 분포를 보여 8비트 흑백 영상으로는 정확한 패드 패턴의 이진 영상을 획득하기 어렵다. 이 문제를 해결하기 위하여 PCB 컬러 영상의 데이터를 받아서 HSI 칼라 공간에서 [식 1]과 같이 채도 성분을 구하여 그림 15와 같이 채도 성분을 256단계의 영상으로 나타내었다.

사람은 컬러 객체를 볼 때, 그 컬러의 색상(Hue), 채도(saturation), 명도(brightness)에 의해 묘사하는 경향이 있다. 색상은 순수 칼라를 묘사하는 속성이고, 채도는 순수 칼라가 백색에 의해 희석된 정도에 대한 척도를 제공한다. 명도는 무색의 밝기에 대한 개념을 표현한다. 위와 같은 HIS 칼라 공간은 인간이 컬러 인식에 가장 적합한 방법으로 영상 처리 방법에 이상적인 도구이다[21].

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad [식 1]$$

그림 15에서 패드를 나타내는 화소를 채도의 값이 낮은 것을 볼 수 있다. 채도 영상으로 부터 이진 영상을 구하기 위해 히스토그램 분석으로 임계치를 구하여 그림 16과 같은 패드의 이진 영상을 획득하였다. 패드의 이진 영상이 생성되면 도선 패턴 검사와 같은 방식으로 참조 영상과의 차영상을 구하고 제작 과정의 오차와 미세한 정렬 오차를 제거하기 위해 역시 모폴로지 연산을 수행한다. 라벨링을 통하여 차영상에 남은 개체의 크기와 위치를 분석하여 임계치 이상이 되면 결함으로 판별한다.

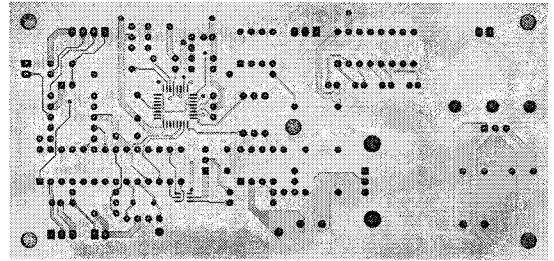


그림 15. 채도 영상

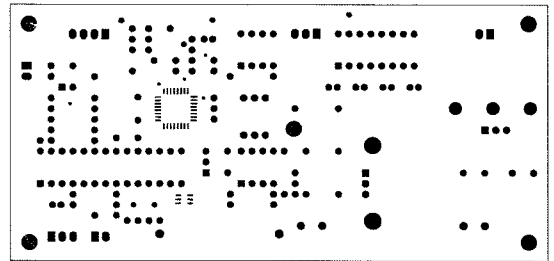


그림 16. 패드 패턴의 이진 영상

본 논문은 패드가 찍혀있거나 누락된 제품의 영상을 이용하여 실험하였다. 그림 17은 결함이 있는 PCB 영상이고 그림 18은 참조 영상과의 차영상이다. 그림 17의 동그라미로 표시된 부분은 정확히 결함이

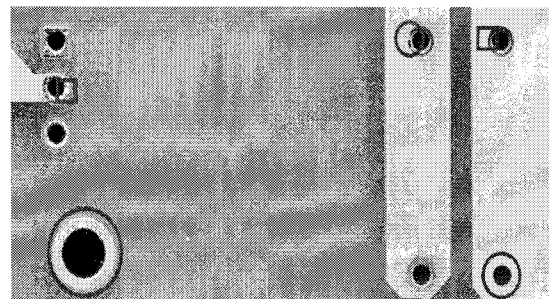


그림 17. 결함이 있는 PCB 영상

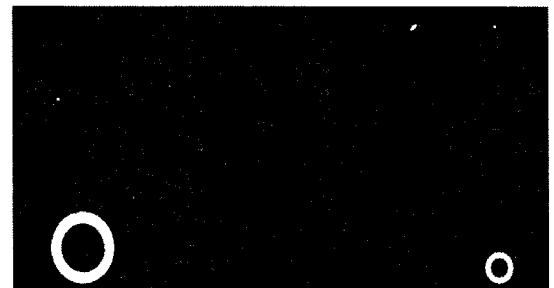


그림 18. 패드의 결함이 검출된 차영상

검출 되는 것을 볼 수 있다. 네모로 표시된 부분은 라벨링을 통하여 얻은 개체의 크기가 기준치 이하의 크기 이므로 결함으로 구별을 하지 않았다. 결함의 기준이 되는 크기는 조절이 가능하다.

4.3 홀 패턴 결함 검사 결과

홀은 PCB의 다른 패턴과 달리 형태가 모두 원형이므로 입력된 영상에서 홀의 중심 좌표, 지름, 넓이 등의 몇 가지 특징만 추출이 되면 쉽게 결함의 여부를 판단할 수 있다. 패드 패턴 검사에서 생성된 홀의 이진 영상은 라벨링을 통해 각 개체를 분리하여 개체별로 번호를 부여한다. 분리된 각 개체를 분석하여 중심 좌표, 크기, 면적 등의 특징을 추출하여 저장한다.

Gerber 파일에서 추출된 홀 패턴의 위치와 크기 정보를 이용하여 홀의 이진 영상에서 패턴에 해당하는 영역을 추출하여 영역 안에 개체의 유무를 판별한다. 드릴링 과정에서 홀이 뚫리지 않았거나 PCB 표면 처리 과정에서 염료에 의해 홀이 막히는 경우 등으로 개체가 발견되지 않는 경우 결함으로 판별할 수 있다. 홀의 면적이 설계 데이터의 면적보다 70%이하 이거나 110%이상이면 결함으로 판별하였다.

홀의 결함 여부는 패턴의 특징으로 판별한다. 실험을 위해 10개의 PCB중 결함 없는 홀의 면적을 구하여 설계 데이터의 면적과 비교하였다. 표 3은 결함 없는 홀의 데이터이다.

표 3. 결함 없는 홀의 자료

Gerber 파일 자료		검사 제품	비율
지름	면적	면적	
12	113	80 ~ 98	0.71 ~ 0.87
16	201	152 ~ 197	0.76 ~ 0.98
21	346	244 ~ 360	0.71 ~ 1.04
22	380	271 ~ 391	0.88 ~ 1.03
23	415	336 ~ 419	0.81 ~ 1.01
24	452	355 ~ 484	0.79 ~ 1.07
25	490	416 ~ 502	0.85 ~ 1.02
27	572	430 ~ 575	0.75 ~ 1.01
37	1075	979 ~ 1081	0.91 ~ 1.01
63	3115	2973 ~ 3172	0.95 ~ 1.02
82	5278	3984 ~ 5264	0.75 ~ 1.00

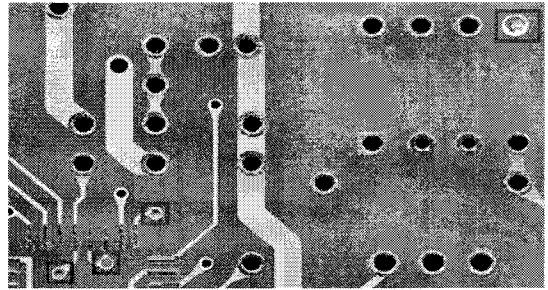


그림 19. 홀 결함 영상

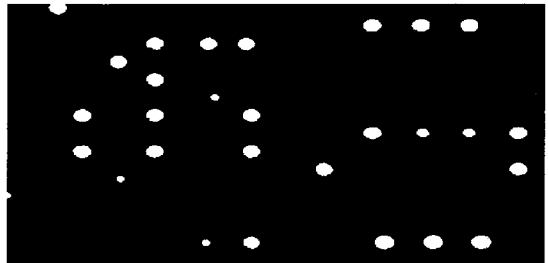


그림 20. 홀 결함 영상과의 차영상

그림 19는 홀의 결함을 포함한 PCB 영상이다. 표시된 부분은 결함의 모습으로 홀이 염료나 이물질로 인하여 막히거나 홀 크기가 잘못된 결함이다. 그림 20은 결함이 포함된 PCB의 홀 이진 영상으로 홀의 결함을 정확히 찾는 것을 볼 수 있다.

4.4 검사 결과

본 본문의 PCB 자동 검사 시스템은 기존 시스템의 학습의 어려움을 보완하기 위한 연구로 시스템 구현에 있어 사용자에게 의한 학습을 간편하게 하는 것이 목적이다. 기존의 검사 방법에서는 참조 영상 즉 골든 영상이라 불리는 결함이 없는 PCB의 영상을 필요로 하는데 이에 많은 시간이 소요되며, 학습 데이터 제작 과정에서 외부의 잡음이 삽입될 수 있어 무결성을 보장하기가 어려운 문제점이 있다. 이에 비해 Gerber 파일을 이용한 학습 데이터 제작은 Gerber 파일의 입력과 영상의 해상도 및 정렬 좌표의 입력만으로 검사를 위한 시스템의 학습을 완료할 수 있다. 사용자에게 의해 입력된 정보는 검사에 필요한 참조 영상 생성 및 각 패턴의 특징을 추출한다. 표 4는 Gerber 파일로부터 학습데이터의 제작과 결함이 없는 PCB 영상에서의 학습 데이터 제작의 시간을 10회 반복하여 나온 시간의 평균값이다. Gerber 파일

표 4. 학습 데이터 제작 시간 (단위 : sec)

	PCB 학습 10회 반복 평균시간
Gerber 파일에서의 학습	1.32
PCB 영상에서의 학습	2.44

표 5. PCB의 결함 검출률

결함 번호	PCB 결함					
	1번	2번	3번	4번	5번	6번
결함 검출률	100%	100%	100%	100%	100%	100%
결함 번호	7번	8번	9번	10번	11번	12번
결함 검출률	100%	100%	100%	100%	70%	100%

에서의 학습 방법이 PCB 영상에서의 학습 방법보다 빠른 것을 볼 수 있다. PCB 영상에서의 학습은 입력된 PCB 영상의 전처리 과정에서 계산의 양이 많기 때문에 Gerber 파일에서의 학습에 비하여 학습 시간이 느리다.

검사 시스템의 결함 검출 성능을 알아보기 위하여 표 1의 결함이 있는 PCB를 종류별로 10회씩 검사하였다. 대부분의 결함에 대하여 100%의 결함 검출률(표 5)을 보였지만 도선 결함 중에서 얇은 끊어짐 현상이 있는 불량(11번 : Open)은 미 검출이 발생하였다. 참조 영상과 입력된 PCB 영상과의 차영상에는 PCB 제조 과정에서 발생하는 Gerber 데이터와의 차이와 약간의 정렬 오차로 인하여 많은 세선을 포함하고 있다. 이러한 세선을 제거하기 위하여 모폴로지 연산을 하는데 그 과정에서 세선의 결함도 같이 제거된다. 즉 모폴로지 연산의 구조적 요소보다 얇은 결함은 검출하지 못하는 것이다. 알고리즘의 개선과 보정을 통하여 해결해야 할 문제이다.

5. 결 론

본 논문에서는 Gerber 파일을 이용한 학습 방법으로 PCB 검사에 필요한 참조 영상을 생성하였다. PCB의 영상은 라인 스캔 카메라를 이용하여 획득한다. 이러한 검사 방법으로 얻을 수 있는 이점으로는 첫째, 새로운 제품의 검사마다 사람이 직접 참조 영상을 찾아 등록해야하는 학습의 과정을 자동화함으로써 비전문가도 시스템을 쉽게 운영할 수 있게 한다. 둘째, 참조 영상의 불확실함을 해소함으로써 신

뢰성 있는 검사 결과를 얻을 수 있다. 라인 스캔 카메라는 고해상도 PCB 영상의 획득이 가능하여 정확한 도선 영상의 획득은 가능 하지만 모폴로지 알고리즘의 구조적인 문제로 인하여 얇은 결함을 검출하지 못하였다. 알고리즘의 개선과 보정을 통하여 해결해야 할 문제이다. 반사가 심한 패드 패턴은 영상 획득의 어려움이 발생했다. HSI 칼라 공간에서 채도 성분을 이용하여 반사가 거의 없는 PCB 영상을 획득 하였지만 조명장치를 개선하여 영상을 획득 한다면 더욱 정확한 반사가 없는 PCB영상을 획득 할 수 있을 것이다.

본 논문에서 이용한 영상차감법 외에 더욱 효과적인 검사 방법에 관한 연구가 필요하며 이를 통해 더욱 다양한 결함을 검사할 수 있도록 해야 할 것이다. 더 나아가 단순히 결함의 유무만을 찾는 것에 그치지 않고 결함의 유형을 분류하여 데이터베이스화 한다면 효율적인 공정 관리가 가능하며 결함 및 공정 관련 지식을 축적해 갈 수 있는 지식기반 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Hayao Nakahara, "2004년 PCB 산업전망," KPCA 세미나 자료, 2003. 10.
- [2] 정태성, "PCB(인쇄회로기판) 산업전망" 전자 부품연구원 전자정보센터, 2002, 10.
- [3] 이효은, 강희일 "위기를 맞고 있는 국내 PCB 업계 동향" IITA 정보통신연구진흥원 2008, 6.
- [4] R. T. Chin, and C.A. Harlow, "Automated Visual Inspection: A Survey," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-4, No.6, Nov. 1982.
- [5] Darwish, "A Rule Based Approach for Visual Pattern Inspection," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.1, Jan. 1982.
- [6] A. M. Darwish, A K. Jain, "A Rule Based Approach for Visual Pattern Inspection," IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.1, Jan. 1988.
- [7] Y. N. Sun, C. T. Tsai "A New Model-Based Approach for Industrial Visual Inspection,"

Pattern Recognition, Vol.25, No.11, pp. 1327-1336, 1992

[8] Y. Hara, N. Akiyama, and K. Karasaki, "Automatic Inspection System for Printed Circuit Boards," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol. PAMI-5, No.6, Nov. 1983.

[9] M. Ejira, T. Uno, M. Mese, and S. Ikeda, "A Process for Detecting Defects in Complicated Patterns," Comput. Graphics Image Processing, Vol.2, pp. 326-339, 1973.

[10] S. T. Barnard, "Automatic Visual Inspection of Printed Circuit Boards," Advanced Systems for Manufacturing: Conference on Production Research and Technology, pp. 423-429, 1986.

[11] 홍순관, "PCB 제조를 위한 CAM 기술, 홍릉과학출판사," chap 4, 2003.

[12] 나현찬, 노병욱, 유영기, 조형석, "인쇄회로기판의 패턴 검사용 조명장치설계," 대한기계학회논문집(A), 제21권 1호, pp. 1~11, 1997.

[13] M. Moganti, F. Ercal, C. H. Dagli, and S. Tsunekawa, "Automatic PCB Insection Algorithms: A Survey," Computer Vision and Image Understanding, Vol.63, No.2, Mar. 1996.

[14] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd Ed., Prentice-Hall, 2002.

[15] A. Rosenfeld, A.C. Kak, Digital Picture Processing. 2nd Edition, Academic Press, 1982.

[16] 한광수, "고속 고정도 영상 정렬 알고리즘," 한국정보과학회, 제 26권, 1호, pp. 609-611, 봄, 1999.

[17] MilanSonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle, Image Processing Analysis and Machine Vision, International Thomson Publishing Inc. 1998.

[18] 강동중, 하종은, Visual C++을 이용한 디지털

영상 처리, 사이텍미디어, chap 11, 2003.

[19] J. F. Jarvis, "A Method for Automating the Visual Inspection of Printed Wiring Boards," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol.PAMI-2, No.1, Jan. 1980.

[20] C. A. Harlow, S. E. Henderson, D. A. Rayfield, R. J. Johnson, and S. J. Dwyer, "Automated Inspection of Electronic Assemblies," Computer, pp. 36- 45, Apr. 1975.

[21] 강윤석, "HSI 모델을 이용하여 CCD Camera에서 획득한 Color Image의 Color 보상 및 교정," 고려대학교 의용과학대학원 석사논문, 2002.



박 병 준

2000년 고려대학교 전자정보공학부 졸업 (학사)
 2002년 고려대학교 대학원 의료정보기기학과 졸업 (석사)
 2005년 국민대학교 대학원 전산학과 박사과정 (수료)

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 패턴인식, etc.



한 광 수

1978년 서울대학교 공업교육과 졸업 (학사)
 1986년 Texas Tech University 대학원 전산학과 졸업 (석사)
 1989년 Texas Tech University 대학원 전산학과 졸업 (박사)

1990년~1992년 현대전자 산업전자연구소 수석연구원
 1992년~1993년 수원대학교 전임강사
 2004년~현재 국민대학교 컴퓨터학부 교수
 관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 패턴인식, etc.