

Line Scan Camera를 이용한 실시간 PCB 검사 시스템

하 종 수, 이 영 아, 이 영 동, 최 강 선, 고 성 제
고려대학교 전자공학과
전화 : 02-3290-3228 / 핸드폰 : 019-240-3228

Real-Time PCB Inspection System using the Line Scan Camera

Jong-Soo Ha, Young-A Lee, Young-Dong Lee, Kang-Sun Choi, Sung-Jea Ko
Dept. of Electronics, Korea University
E-mail : sjko@dali.korea.ac.kr

Abstract

This paper presents the real-time PCB(Printed circuit board) inspection system that can detect thin open/short error using the line scan camera. After a overall introduction of our system, the outline of our inspection methods are described.

The goal of our inspection system is the real time and detailed inspection using the line scan camera. To perform inspection processing in real-time, we utilize double buffering structure. In order to solve the problem of unexpectable pixels of PCB, we propose melting process which eliminates unexpectable pixels of PCB. The design and development of our prototype of PCB inspection system is discussed and test results are presented to show the effectiveness of the developed inspection algorithm.

I. 서론

과거에 비해 PCB(Printed circuit board)의 패턴이 세밀화됨에 따라 발생하는 결점(Defect) 또한 미세해지고 있다. 현재 산업현장에서는 결점이 있는 PCB를 걸러내기 위해 수작업을 하고 있으며, 자동화

된 시스템을 이용하는 경우에도 비실시간적인 시스템을 사용하고 있는 실정이다. 또한 기존의 검사 시스템이 크기가 큰 결점들을 대상으로 한 시스템임을 고려할 때, 점차 미세해 지고 있는 결점들을 자동으로 검출하는 시스템의 도입은 생산력 향상을 위해 필요하다.

본 논문은 Line scan camera를 이용하여 150um 이하의 선폭의 PCB를 실시간으로 검사하는 시스템을 구성하는 것으로서, 카메라를 통한 영상의 획득 부분, 영상을 왜곡없이 획득하기 위한 Linear motor의 control, 결점 검출을 위한 참조영상비교 알고리즘 [1], 고속처리를 위한 CPU기반의 대용량 데이터 처리기법을 이용한다. 처리과정의 실시간성을 보장하기 위해 검출하는 결점을 PCB에서 가장 많이 발생하는 Open 및 Short error에 국한하며, 본 시스템의 주요 알고리즘으로서 실시간 영상처리를 위한 버퍼링 구조를 이용하고 높은 해상도 및 여러 이유로 잘못 나타나는 선들을 선별적으로 지우는 Melting Process를 제안한다.

II. 시스템 구조

그림1은 제안하는 검사 시스템의 전체 알고리즘 블록도이다.

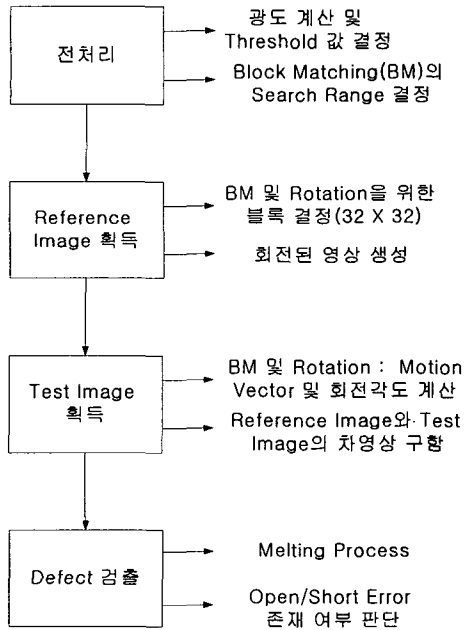


그림 1. 시스템 개념도

2.1 전처리

그림2의 Light intensity 부분에서 보듯이 LED조명의 광도(하단 윈도우 빨간색 부분)는 끝부분에서 낮아지는 blooming 현상이 발생한다. 따라서 카메라를 통해 얻어진 영상을 단일 문턱값(Threshold value)으로 이진화할 경우 영상 전체에 대해 만족할 만한 결과를 얻지 못한다. Blooming 현상을 보상하기 위해 식(1)을 통해 각각의 위치마다 알맞은 문턱값을 계산해 이용한다.

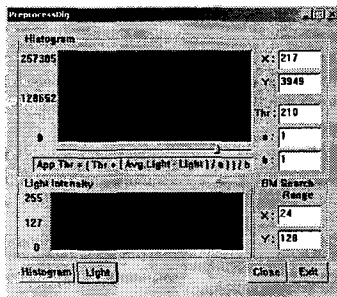


그림 2. 전처리 과정

$$T = T_{org} + (L_{avg} - L[i]) \cdot \alpha \quad (1)$$

T는 보정된 문턱값이며 T_{org}은 원래의 단일 문턱값이

다. L_{avg}는 광도의 평균값, L[i]는 각 점에서의 광도를 나타낸다. α는 가중치(본 논문에서는 1)이다.

2.2 참조영상 획득

효율적인 처리과정을 위해 참조영상 획득시 첫 번째 획득되는 영상에 대해 참조지점을 자동으로 선정하고, 빠른 Block matching [2]을 위해 2개의 블록에 대해 미리 영상을 회전시켜 놓을 필요가 있다. 그림 3은 자동으로 선정된 참조지점(빨간색), 그림 4는 2개의 블록을 -0.3도부터 0.1도씩 +0.3도까지 회전시킨 영상이다. 이 때 회전각도 [3]는 실험적으로 구한 범위이다. 참조지점은 미리 지정한 영상의 특징에 부합되는 지점을 탐색하여 정한다. 본 논문에서는 원과 대각선을 참조지점으로 한다. 회전은 아래의 회전 변환식(2)을 통해 수행한다.

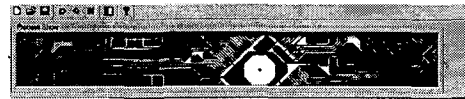


그림 3. 참조지점 자동선정

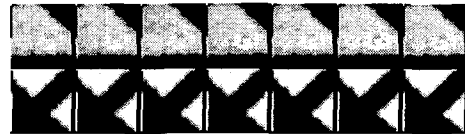


그림 4. 회전된 영상 블록

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2)$$

x, y는 원영상, x', y'은 변환된 영상, θ는 회전 각도를 나타낸다.

2.3 검사영상 획득 및 결점 검출

다음 장에서 제안하는 알고리즘을 통해 참조영상과 검사영상의 차영상을 구하게 되며, 이 영상에 대해 제안하는 Melting process를 한 다음, 결함 여부를 판정한다.

III. 더블 버퍼링 구조와

Melting Process

Line scan camera는 영상 획득 대상물을 선 단위로 scan하는 방식의 카메라이다. 선 단위로 영상을

획득하기 때문에 획득된 영상은 하나의 PCB를 기준으로 볼 때 일부분에 불과하므로 영상처리를 하기 위해서는 획득영상을 하나의 PCB 영상으로 조합하는 기법이 필요하다. 특히 영상의 획득과 동시에 영상의 조합 및 처리가 실시간으로 이루어져야 하므로 본 논문에서는 더블 버퍼링 구조를 이용한다.

결점 검출을 위해 사용되는 주 알고리즘은 참조영상 비교방법인데, Line scan camera의 높은 해상도와 그 외 여러 이유로 인해 잘못 나타나는 선들이 위 방법의 적용에 장애가 되고 있다. 본 논문에서는 이러한 장애를 제거하기 위한 방법으로 Melting Process를 제안한다.

3.1 더블 버퍼링 구조

본 시스템에서 쓰이는 Line scan camera는 해상도가 4096 pixel로서 프레임 그래버를 통해 512 lines 단위로 컴퓨터로 전송이 되므로 PCB(세로폭:509mm) 하나를 찍기 위해서는 31번(4096 x 15872 pixel)을 찍어야 한다. 이 때 8초의 시간이 걸리므로 그 시간을 영상을 획득하는 데만 소비한다면 영상처리를 실시간으로 하기는 어렵게 된다.

본 시스템이 카메라 사용 환경으로 쓰고 있는 Mil lite 6.0버전은 한 번 영상을 획득하는 동안 다른 처리를 할 수 있는 환경을 지원한다. 따라서 본 논문에서는 그림 5와 같이 처음 5번 영상을 획득하는 동안 참조영상과 검사영상의 정렬을 위한 Block matching(Search range : $x(\pm 12 \text{ pixels}), y(\pm 64 \text{ pixels})$)과 회전각(± 0.3 도) 추정과정을 수행하게 된다.

여기서 얻은 위치 및 각 이동값을 6번째 획득된 영상부터 적용하여 참조영상과 검사영상의 차영상을 구하며, 마지막 영상 획득이 끝난 후 앞서 처리하지 않았던 1부터 5까지의 영상에 대해 위 과정을 반복한다.

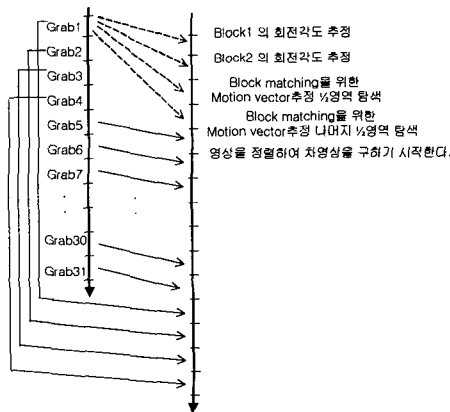


그림 5. 더블 버퍼링 구조도

3.2 Melting Process

그림 6은 본 시스템에서 구한 참조영상과 검사 영상의 차영상이다. 위치와 각 보정을 하였음에도 불구하고 그림 6에서는 예상하지 못한 영상차이를 나타내는 선들을 볼 수 있다.

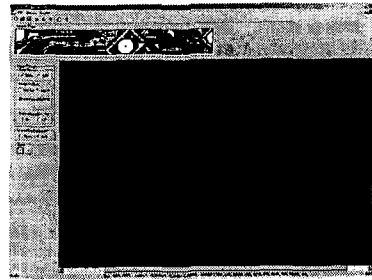


그림 6. Melting을 하지 않았을 때의 차영상

이는 패턴이 screen을 통해 Board에 프린트될 때 크기가 조금씩 변하거나, 또는 참조영상과 검사 영상을 획득할 때 조도에 약간의 차이가 생겨 발생된다. 흰 선은 잠재적인 결점(defect)이라 할 수 있으므로, 잘못 나타난 선들은 결함 여부를 결정할 때 큰 장애가 된다. 따라서 실제 결점은 제거하지 않고 이러한 선들만 제거하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 선들을 제거하고 결점만 남기는 알고리즘으로서 Melting process를 제안한다. 잘못 나타난 흰 선들은 패턴의 차를 구하면서 나타난 것으로서, 해당 위치의 참조영상에는 같은 형태의 패턴이 존재하게 된다. 이는 8개의 경우로 나눌 수 있는데 아래의 그림 7과 같다.

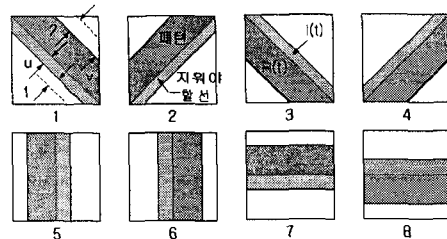


그림 7. 패턴의 8가지 경우

그러나 실제 선들은 위와 같이 매끈하게 나오지 않고 울퉁불퉁하게 나오게 된다. 따라서 화소별로 해당되는 경우를 판별해서 제거해주어야 한다. 식(3)은 화소를 제거하는 식을 나타낸다.

$$\sum_{t=-(u+1)}^2 P(t) = \sum_{t=-(u+1)}^2 I(t) - \sum_{t=v}^n R(t) \quad (3)$$

$$u + 3 = n - v \quad (4)$$

P(t)는 Melting의 결과영상 화소이며, I(t)는 Melt되어야 하는 검사영상의 화소, R(t)는 참조영상의 화소이다. u는 해당 화소에 나란히 붙어 있는 흰 색 화소의 개수이며, v는 해당 화소에 나란히 있는 참조영상 화소의 개수이다.

그런데 Open Error의 경우 참조영상과 Melt를 하게 되면 화소가 모두 사라지는 문제가 발생한다. 그래서 3(한쪽에 2, 다른 쪽에 1)만큼의 화소를 늘려 Melt를 함으로써 화소가 사라지는 것을 막는다. 그림 7-1, 3참조.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 구현한 시스템은 그림 8과 같다. 그림에서 흰 점은 Melting을 거친 후에 남은 결점이다. 이 점에서의 참조 영상의 패턴 존재 여부로 Open Error인지 Short Error인지 판별한다. 실시간성을 보장하기 위해 본 논문에서는 검출 Error를 PCB에서 가장 많이 발생하는 Open / Short Error로 국한하였으며, 예칭전 단계의 PCB를 검사함으로써 생산원가를 줄일 수 있게 한다.

본 시스템은 Linear 모터가 영상을 얻기 위해 한 번 왕복하는 시간 8초 동안 처리가 이루어진다. 이는 획득된 한 영상의 크기가 62Mbyte (4096 x 15872 pixel) 임을 감안할 때 실시간성을 보장해 준다고 할 수 있다.

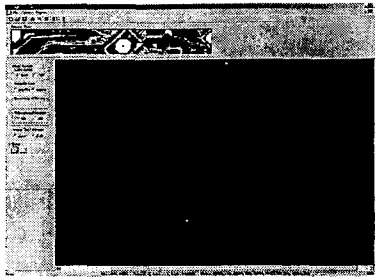


그림 8. 검출된 Open/Short Error

V. 결론

본 논문에서는 고해상도의 Line scan camera를 이용하여 미세한 결점을 검출하는 실시간 PCB 검사 시스템을 제안하였다. 선단위로 영상을 획득하기 때문에 영상 획득에만 상당한 시간이 걸리는 Line scan camera의 단점을 극복하기 위해 더블 버퍼링 구조를 사용하였으며, PCB 영상을 획득하는 과정에서 또는 PCB 자체의 생산 공정에서 발생하는 결점이 아닌 차이값들을 제거하기 위해 Melting Process를 제안하였다.

제안하는 실시간 PCB 검사 시스템은 아직도 수작업에 의존하거나, 또는 미세한 결점들은 검출하지 못하고 있는 전자 부품 생산 업계의 검사 시스템 자동화 및 실시간화에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] M.Moganti, F.Ercal, C.H.Dagli, and Shou Tsunekawa, "Automatic PCB inspection algorithms: A survey," *Comput. Vision and Image Understanding*, Vol.63, No.2, March 1996.
- [2] M.Brünig and W.Nichsen, "A fast full search block matching algorithm using subblocks", in *Proc. Eur. Signal Processing Conf. EUSIPCO '98*, Vol.2, Sept.1998, pp. 909-912.
- [3] D.E.Friendman, "Two-dimensional resampling of line scan image by one-dimensional processing," *Photo. Eng. Remote Sensing*, Vol.47, 1459-1467, 1981.