

Queue 구조를 이용한 실시간 전해 콘덴서 외관 검사 시스템 구현

정희원 강유선*, 노경완*, 김충원*

A Real-Time Inspection System for Electrolytic Capacitors using Queue Data Structures

Yousun Kang*, Kyeongwan Roh*, Choongwon Kim* *Regular Members*

요약

본 논문은 Tapping시에 발생하는 전해 콘덴서의 불량률을 실시간으로 검사하는 비전 시스템에 관하여 기술한다. 이 시스템은 Tapping 되는 콘덴서의 입력 영상을 처리하여 콘덴서의 각종 치수와 모양 그리고 위치 등을 검사함으로써 불량품을 찾아낸다. 또한 Queue 구조를 사용하여, 오퍼레이터가 손쉽게 뽑아낼 수 있는 위치에 불량품이 왔을 때 Tapping 기계를 멈추게 하고 Queue에 저장했던 불량품의 영상과 불량 항목별 정보를 보여주며, 연속해서 불량품이 발생하는 경우에도 정확하게 동작하였다. 구현한 비전 시스템을 생산 현장에 적용한 결과 업체에서 원하는 불량 항목을 정확하게 검사하였으나 노이즈로 인하여 양품이 불량품으로 잘못 분류되는 경우가 간혹 있었다. 노이즈 문제만 해결된다면 훌륭한 실시간 전해 콘덴서 검사 시스템이 될 수 있을 것으로 생각한다.

ABSTRACT

This paper proposes a system to visually inspect in real-time the malfunctions of electrolytic capacitor during tapping. This system processes an input image of a tapped electrolytic capacitor and inspects the dimension, pattern and position of the electrolytic capacitor in order to locate the malfunctioning capacitor. Using Queue data structures, the tapping machine is stopped when a defective capacitor comes into a position where the operator can easily remove the flawed capacitor. The system displays the image of the defective capacitor, as well as items of information concerning the malfunction, storing them in Queue. When defective capacitors are found in any frequency, the visual system is still able to accurately inspect each one. After field testing, this visual inspection system for detecting defective capacitors experienced some problems with noise due to mismatches between functioning and malfunctioning capacitors. With the solving of the noise problem, this problem, this system will be a viable and effective real-time inspection system for electrolytic capacitors.

1. 서론

공장 자동화는 산업계의 생산과 관련된 자동화로서 생산원가 절감·품질의 안정 등에 따른 생산성 향상을 최대의 목적으로 한다. 조립 생산 현장에서는 자동화 라인의 효율성을 향상시키기 위해 제품

의 외관 검사 기술 부문에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1], [3] 제품의 생산라인에서의 불량품 외관 검사도 그 일환이라 할 수 있을 것이다. 자동화된 생산라인에서의 불량품 외관 검사는 제품의 조립·공정이 끝난 후 포장 전 단계에서 외관검사를 실시하여 불량품은 제외하고 양품만 포장 단계

* 조선대학교 컴퓨터공학과(archmun@Cholian.net)

논문번호 : 98400-0910, 접수일자 : 1998년 9월 10일

※ 본 논문은 1998년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

로 넘겨야 한다.

기존의 콘덴서 공장에서 불량품에 대한 외관 검사는 오퍼레이터가 제품을 포장하면서 일일이 눈으로 확인하여 불량품을 찾아냈기 때문에 정확한 외관 검사가 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 실제 우리 나라 콘덴서 공장의 생산라인에 설치되어 있는 기존의 Tapping 기계에 외관 검사 시스템을 추가하여 낮은 비용으로 설치할 수 있는 실시간 콘덴서 외관 검사 시스템을 개발하였다.

이 외관 검사 시스템은 Tapping 된 콘덴서 하나 하나의 영상을 CCD 카메라를 통해 입력받아 여러 가지 영상 처리를 거쳐 불량품임을 판정하여 운행 중인 Tapping 기계를 멈추고 오퍼레이터가 불량품을 제거 할 수 있도록 하였다. 외관 검사 도중 불량품이 발생할 경우 바로 Tapping 기계를 멈추는 것이 아니라 일단 그 모든 정보를 Queue에 저장해 두고 계속 검사를 하다가 불량품이 오퍼레이터가 불량품을 쉽게 제거할 수 있는 일정 위치에 오면 Tapping 기계를 멈추고 저장해 놓았던 불량 항목에 대한 정보와 영상을 꺼내어 오퍼레이터에게 보여준다. 이때 오퍼레이터는 비전 시스템에 의해 인식된 불량품을 확인한 후 제거하고 멈추었던 Tapping 기계를 다시 운행하여 검사가 계속 이루어질 수 있도록 한다. 비전 시스템을 이러한 방식으로 운영하기 위하여 Queue를 사용하여 불량품에 대한 모든 영상과 정보들을 관리한다. 특히 연속해서 불량품이 발생할 경우 Tapping 기계와 비전 시스템간에 일어나는 신호적 문제점을 해결하기 위해 Queue를 조사하여 카메라의 트리거 신호를 따로 관리하여 해결하였다.

본 논문에서 구현한 비전 시스템을 생산 현장에 직접 적용한 결과 불량품을 정확하게 가려냈으며 특히 기존의 Tapping 기계를 조작하던 오퍼레이터들이 손쉽게 비전 시스템에 적용할 수 있어 편리하고 저렴한 실시간 외관 검사 시스템을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 2장에서는 전체적 시스템을 구현한 환경에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 제안한 Queue 구조에 대하여, 4장에서는 실험 결과를, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술하였다.

II. 시스템 구현 환경

1. 전해 콘덴서의 검사 방법

이 비전 시스템에서 사용되는 전해 콘덴서의 dimension은 그림 1과 같다. dimension은 머신 비전에서 많이 사용되고 있는 여러 알고리즘을 이용하여 다음과 같이 측정하였다.

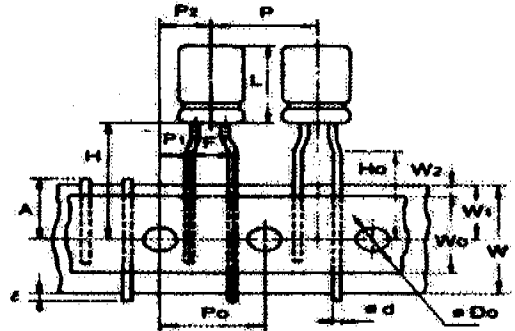


그림 1. 전해 콘덴서의 Dimension
Fig. 1 Dimension of electrolytic capacitor

콘덴서와 콘덴서 사이의 Hole을 인식하기 위해서 Blob Analysis를 사용하며 Hole의 유무와 중심 위치를 체크하였다. 이 Hole을 중심으로 P0, P1, P2, H0 치수들을 에지 검출 알고리즘을 이용하여 간격을 측정, 실제 거리를 구하였다. 특히 F 치수는 실제 납땜업체에서 정확성을 요구하는 치수들이기 때문에 엄격히 계산하였다. 계산한 간격 거리는 콘덴서의 Tapping이 정확히 이루어졌는지를 검사하며 측정된 간격들의 실제 값이 오차 한계치를 벗어 날 경우 불량품으로 간주한다.

콘덴서 머리 부분에는 Pattern Matching 기법을 적용하여 Hole 사이에 콘덴서가 존재하는지, 머리의 각도가 휘었는지 그리고 폭파된 불량품이 없는지를 확인하였다. 검사하는 모든 항목들 중 어느 한 곳에 서라도 에러가 검출될 경우 그 콘덴서는 불량품으로 간주하고, 불량품의 영상과 에러 정보는 Queue를 써서 관리한다.

2. Queue가 사용되는 이유

외관 검사 결과 불량품일 경우에는 오퍼레이터가 불량품을 제거 할 수 있도록 Tapping 기계를 정지 시켜야 하고, 불량품을 제거한 다음에는 Tapping 기계를 다시 운전하여 외관 검사가 계속 이루어지도록 해야 한다. 이를 위해 Tapping 기계내의 PLC와 비전 시스템의 상호간을 연결하는 인터페이스 회로를 제작하였다. 8255PPI를 사용하는 인터페이스 보드는 PC내에 장착되어 PLC를 정지시키기 위한 신호를 출력한다. 이를 포함한 전체적인 시스템 개요는 그림 2와 같다.

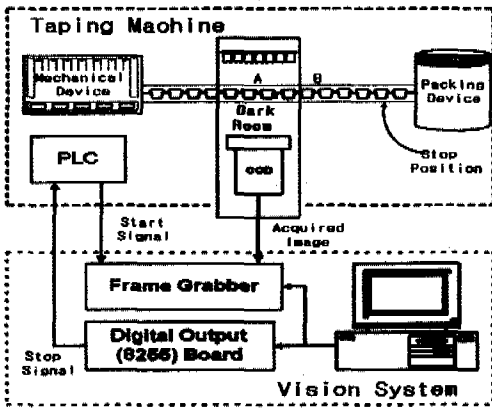


그림 2. 비전 시스템의 전체적 개요
Fig. 2 Overall of vision system

이 그림에서 알 수 있듯이 Tapping 기계를 멈추고 오퍼레이터를 호출하는 시점을 고려해 주어야 한다. 외관 검사는 암실(Dark room) 안에 있는 CCD 카메라에 의해 제품의 영상을 입력받아 실시되므로 불량품은 암실을 나와 오퍼레이터가 제거할 수 있는 일정 위치까지 이동한 다음 오퍼레이터에 의해 제거되어야 한다. 이미 Calibration을 끝내고 모든 조명과 위치가 고정되어 있는 암실을 개방할 수는 없기 때문이다.

Tapping 기계를 멈추고 오퍼레이터를 호출할 때는 불량품 판정을 받은 제품의 불량 항목에 대한 정보와 영상도 컴퓨터 모니터에 함께 디스플레이 해주어야 한다. 오퍼레이터는 디스플레이 된 내용을 보고 불량품을 확인하여 제거한 다음 정지된 Tapping 기계를 다시 운전시켜 작업이 계속 이루어질 수 있도록 한다. 이를 위해 본 논문에서는 Queue 구조를 제안하여 암실 안에서 불량품 판정을 받은 제품의 위치와 그의 영상, 그리고 각 항목에 대한 검사 결과를 임시로 저장하였다가 일정 시간이 지난 후 불량품에 대한 정보를 다시 꺼내어 볼 수 있는 FIFO(First Input First Out) 구조를 사용하였다.

III. 제안한 Queue 구조

1. 큐의 표현

사용되는 큐의 저장 공간의 용량은 연속으로 불량품이 검출될 경우를 대비하여 암실 안 CCD 카메라 앞에 놓여 검사되는 제품부터 정지해야 할 위치까지 존재하는 콘텐서의 개수(=MAX)+ 1 이상이다.

/* 제안한 큐 구조와 용량 */

```
long HoleNum[MAX+1];
struct tag ErrorState[MAX+1];
ImgAlloc ImageBuf[MAX+1];
```

```
int front, rear = -1;
```

모두 세 가지 큐가 운영되는데 멈춰야 할 위치를 체크하기 위해 불량품의 Hole 수를 저장하는 HoleNum, 불량품의 불량 항목에 대한 정보를 갖는 구조체 ErrorState, 불량품의 입력 영상을 저장하기 위해 사용하는 이미지 버퍼 ImageBuf 이다. 멈춰야 할 위치를 체크하기 위해 콘텐서의 개수를 세지 않고 Hole 수를 세는 이유는 콘텐서를 Tapping 하지 않는 경우 제품이 없는 Empty Hole이 존재하기 때문이다. 이렇게 사용되는 큐의 포인터 front와 rear 는 세 가지 큐를 모두 함께 운영하는 포인터로 사용된다.

2. 큐의 입력

불량품이 발견되면 세고 있던 Hole 수를 큐에 입력하기 전에 입력하고자 하는 노드의 자리가 마지막인지 확인하여, 마지막이면 rear에 0을 마지막이 아니면 포인터 rear의 값을 증가시킨다. 제거되기 전에 불량이 검출되면 rear값은 계속 증가하고 front 값은 증가하지 않는다. 첫 번째 큐에는 불량품으로 판정된 제품의 현재 Hole 값을 저장시키고 제품에 대한 이미지와 검사했던 항목들의 Error 유무를 담고 있는 Tag를 다음 큐에 차례로 저장한다. 입력 알고리즘에서는 환영(Circle) 큐와 같은 운영을 보이고 있다. 과잉 상태(Overflow) 여부는 큐에 입력을 시작하여 MAX 번째 후에는 반드시 제거가 되므로 별도로 체크하지 않았다.

[알고리즘 1] 큐 입력 알고리즘

```
enqueue( )
{
    if (rear == MAX)
        rear = 0;
    else rear = rear + 1;
    HoleNum[rear] = Num_Of_Hole;
    Input_ErrorState(rear);
    Input_ImageBuf(rear);
}
```

3. 큐의 삭제

다음은 큐에 입력된 값들을 제거하는 알고리즘이다. front와 rear 값이 같지 않다는 것은 큐에 어떤 Hole 값이 입력되어 rear가 증가했다는 말이다. 이때 입력되어 있는 Hole 값은 MAX개만큼 Hole이 이동한 후 큐에서 반드시 제거되어야 한다. 제거 될 때는 Tapping 기계를 멈추는 신호를 발생하고 불량품에 대한 정보와 이미지들도 함께 보여준다. 환영 큐 구조이기 때문에 제거하는 노드가 마지막 자리인지 확인하여 Hole 수를 체크하고 있다.

[알고리즘 2] 큐 제거 알고리즘

```

dequeue( )
{
if (front != rear){
if (front == MAX)
{
if(Num_Of_Hole==(queue[0]+MAX))
{
front= 0;
SendStop_Signal_ToPLC( );
Output_ErrorState(front);
Output_ImageBuf(front);
}
}
else
{
if(Num_Of_Hole==(queue[front+1]+MAX))
{
front = front +1;
SendStop_Signal_ToPLC( );
Output_ErrorState(front);
Output_ImageBuf(front);
}
}
}
}

```

4. 연속으로 불량품이 발생할 경우 입력 신호

불량품이 연속해서 발생할 경우 Tapping 기계 역시 연속해서 멈추어야 한다. 그러나 연속해서 정지 신호가 주어지면 Tapping 기계는 정확히 멈추는 것이 아니라 브레이크가 미끄러지는 현상에 의해 다음 영상 신호를 놓치게 된다. 이를 해결하기 위해 Queue를 조사하여 연속일 경우에는 먼저 처리할 영상을 잡아 놓은 다음 정지 신호를 보내게 된다. 다

음 알고리즘에는 정지신호와 영상의 Grab 관계를 나타내었다.

[알고리즘 3] 영상의 Grab과 정지 신호의 관계

```

if (Continue_Error_State == FALSE)
{
ImageGrab(Camera, Image1);
// 연속불량이 아닐 경우에만 Capture를 한다.
Num_Of_Hole++;
}
Continue_Error_State = FALSE;
:
:
if (queue_buf[front] -
queue_buf[front-1] == ONE)
{
Continue_Error_State = TRUE;
ImageGrab(Camera, Image1);
Num_Of_Hole++;
}
SendStop_Signal_ToPLC( );
:
:

```

IV. 실험 및 고찰

영상 획득에 사용되는 CCD 카메라는 흑백 Pulex 제품으로 수평방향과 수직 방향의 해상도가 640 × 480이다. 영상 획득을 위해서 Meteor (Matrox, Canada) 또는 Pulsar (Matrox, Canada) 시스템을 사용한다. Meteor 시스템은 Frame Grabber로서의 호스트 의존도가 높기 때문에 펜티엄급 이상의 PC가 요구된다. Pulsa 시스템은 저렴한 영상 장치를 다양하게 구성할 수 있게 되어있다.

입력되는 영상을 Tapping 기계와 동기(Synchronize) 시키기 위하여 Tapping 기계내의 PLC와 Frame Grabber 입력을 서로 연결시켜 주는 외부 회로를 설계하였다. 이 회로는 제품 하나를 Tapping할 때마다 발생하는 PLC 신호가 Frame Grabber의 동기 입력 신호에 연결되어 하나의 제품에 대한 Tapping이 이루어질 때마다 그에 따른 영상처리 또한 이루어지도록 설계하였다.

조명은 검사하고자 하는 제품이 지나가는 곳에 암실을 만들고 붉은 색 LED와 셀로판지를 사용하

여 제품의 효과적인 실루엣이 영상에 입력될 수 있도록 준비하였다.

컴퓨터 모니터에는 암실 안에서 검사가 실시되는 제품의 영상과 불량품의 영상 그리고 불량 항목 별 처리 결과를 그림 3과 같이 디스플레이 해준다. 검사 도중 불량품이 발견 될 경우 그 영상과 에러 정보를 큐에 입력하게 되고 오퍼레이터에게 알리기 위해 정지시킬 때는 큐에 입력되어 있던 영상과 정보를 다시 꺼내어 모니터에 디스플레이 해 준다. 그림 3에서 왼쪽 상단에 보이는 영상은 현재 암실 안에서 처리되고 있는 콘텐서의 모양이다. 왼쪽 하단에 보이는 것은 불량품이 발생되어 Queue 안에 저장되어 있다가 오퍼레이터가 알 수 있는 위치에 와서 멈춰있는 불량 콘텐서의 처리 영상이다. 오른쪽에 보이는 표는 멈춰 있는 불량 콘텐서의 불량 항목별 정보이다.

구현한 시스템을 생산 현장에서 직접 테스트 한 결과 이 비전 시스템은 20,000개의 콘텐서 중 6개의 불량품이 발견되어 Tapping 기계가 6번 멈추었다. 그 중 5개는 정확히 오퍼레이터가 원하는 위치에서 멈추었고 나머지 1개는 약간 미끄러워서 정지했는데 이것은 Queue의 문제가 아니고 전기적 노이즈나 기계 자체의 브레이크에 의해 발생된 현상으로 보여진다. 펜티엄 200MHz PC에서 평균처리 속도는 300ms/ea이고 Tapping 기계의 tapping 속도는 360ms/ea 이므로 비전 시스템이 적재되더라도 추가적인 생산성의 저하 없이 실시간으로 품질 관리를 할 수 있다.



그림 3. 외관 검사 결과 화면 구성
Fig. 3 Display of inspection result

V. 결론

본 논문에서는 우리 나라 콘텐서 공장 생산라인

에서 실제로 사용하고 있는 콘텐서 Tapping 기계에 외관 검사를 실시간으로 처리할 수 있는 비전 시스템을 구현하였고, Tapping 기계를 관리하는 오퍼레이터와 비전 시스템간의 효율적인 자료 구조를 위하여 Queue를 제시하였다. 본 연구에서 구현된 결과는 저 비용으로 콘텐서뿐만 아니라 다른 제품들의 외관 검사를 실시간으로 처리할 수 있는 다양한 비전 시스템 구현 시 활용할 수 있을 것이다. 향후 이 비전 시스템의 발전 방향은 외관 검사 실시 과정 중 제품의 불량품 판정을 위해 사용되었던 각종 2차원적인 알고리즘을 3차원을 이용하여 실시하는 외관 검사 시스템에 적용함으로써 발전적인 비전 시스템으로 나아갈 것이다.

참고 문헌

- [1] Joseph W. Foster, G. Kemble Bennett, and Paul M. Griffin, "Automated visual inspection : Quality control techniques for the modern manufacturing environment," in IEEE Integrated Systems Conference Proceedings, pp. 135-140, 1987.
- [2] Madhav Moganti and Fikret Ercal, "Automatic PCB Inspection Algorithms : A Survey", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 63, No. 2, pp. 287-313, March, 1996.
- [3] Roland T. Chin, "Automated Visual Inspection : A Survey", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. Pami-4, pp. 557-570, 1992.
- [4] R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1987.
- [5] H. Freeman, Machine Vision : Algorithms, Architectures, and Systems, Academic Press, pp. 161-185, 1988.
- [6] Joseph W. Foster, G. Kemble Bennett, and Paul M. Griffin, "Automated visual inspection : Quality control techniques for the modern manufacturing environment," in IEEE Integrated Systems Conference Proceedings, pp. 135-140, 1987.
- [7] Stephen T. Barnard, "Automatic visual inspection of printed circuit board", in Advanced Systems for Manufacturing :

