

# PVC 튜브 검사의 자동화를 위한 이진화 임계값 결정과 패턴모델의 설정

양정석, 이철우  
전남대학교 컴퓨터공학과

## Thresholding and Finding Pattern Model in A Visual Inspection for Printing Detects on PVC Tube

Jeong Seok, Yang, Chil Woo, Lee  
Dept. of Computer Engineering, Chonnam National University  
E-mail : island33@image.chonnam.ac.kr, leecw@chonnam.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 비닐 튜브의 결합검사에 이용하기 위한 이진화 임계치의 자동 결정방법과 패턴매칭에 이용되는 패턴 모델의 자동 결정방법에 대하여 기술한다. 256 Gray 영상을 받아 들여 이진화 임계치를 결정하기 위해서, 휘도치 분포 곡선에서 2개의 극대값을 찾고, 두 극대 위치의 중간위치를 이진화 임계치로 결정하는 방법을 이용하였다. 그리고 패턴 모델을 생성하기 위하여는 수직, 수평 방향의 누적합(Profile)을 이용하였다. 이 방법은 인쇄물 검사 시스템뿐 아니라 비슷한 휘도치 분포를 갖는 반도체 자동 검사 시스템을 비롯한 일반적인 검사 시스템에 적용이 가능하다.

### 1. 서론

현대 산업사회는 제조 기술의 급속한 발달과 더불어 생산량을 중요시하던 양의 시대에서 경박단소를 기본으로 하는 질의 시대로 급격히 변화하고 있다. 아울러 소비자의 요구가 다양화됨에 따라 여러 종류의 물품을 소량으로 단기간에 생산할 수 있는 체제가 요구되고 있으며 이를 위해서는 생산설비를 신속히 개조하여 새로운 제품 생산에 대응할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 이러한 요구에 부응하기 위해서는 생산시설의 자동화와 지능화가 필수적으로 필요하다. 하지만 제조 물품이 다양화되고 복잡해짐에 따라 종래의 인간의 시각에 의존한 제품검사로선 생산 효율성과 품질관리 목표를 달성할 수 없게 되었다. 생산의 효율성과 제조상품의 품질관리는 열린 세계시장에서 국제경쟁에 기업이 살아남기 위한 요소이므로 생산시설의 자동화와 지능화에 따른 검사 자동화는 현대 제조공정에서는 필수적이라 할 수 있다. 그러나 검사 전용장비들은 구입 비용이 고가인 탓으로 소수의 기업을 제외하고는 이러한 장비를 구입하기가 어렵고 국내의 생산현장에는 적용의 애로점이 있었다. 또한

이를 대체하기에는 종래의 PC는 처리속도가 늦고 기억용량이 부족하여 영상처리와 같은 대규모 데이터를 처리하는 응용분야에서는 거의 사용되지 않았다. 하지만 근래에 들어 컴퓨터 기술의 급속한 발달에 힘입어 개인용 컴퓨터를 기반으로 한 각종 응용 시스템 제작이 가능하게 되었다. 과거에는 자동 검사 시스템을 구성하기 위해서는 고가의 영상 장비와, 전용 하드웨어가 필요하였으나, 최근에는 개인용 컴퓨터와 저가의 영상 보드만을 이용한 시각검사 시스템의 구현이 가능하게 되었으며 국내에서도 이를 응용하여 영상 검사 시스템의 개발과 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 산업 현장에서 이용되고 있는 검사 시스템의 분야는 제품의 외형이나 변형, 또는 흠집 등을 찾아내는 검사, 또는 칩이나 기타 대상에 대한 인쇄검사 등에 이용되고 있으며 뿐만 아니라 제품의 생산성 향상과 품질 향상을 위해 사람의 시각으로는 분간하기조차 어려운 제품들의 미세한 부분의 검사, 색상 검사 등의 다양한 분야에 응용되고 있다.

본 논문은 이러한 시각검사 시스템에서 필수적인 이진화 과정에서 이용될 임계치를 결정하는 방법과

패턴 매칭을 이용할 때 이용할 패턴 모델을 생성하는 방법에 대하여 기술한다. 시각 검사 시스템에서 일반적으로 임계치를 결정하는 방법으로 가장 많이 쓰이고 있는 방법은 Otsu가 제안한 방법이다.[1] 이 방법은 휘도치 히스토그램의 무게 중심을 찾는 방법으로 배경과 인쇄부분의 비율이 비슷하지 않은 검사 대상에 적용하기에는 알맞지 않다. 여기서는 일반적으로 검사 대상의 샘플이 배경과 인쇄부를 중심으로 그림1과 같이 정규 분포를 갖는다는 점을 이용하여 이 극대점의 위치를 찾고 이의 중간 지점을 이진화의 임계치로 사용하였다. 패턴 모델을 설정하기 위하여 일반적으로 문자인식분야에서 문자열 분리에 이용하는 방법인 수직, 수평 누적합(Vertical, Horizontal Profile)을 구하여 패턴 모델을 결정하였다.

본 논문의 2장에서는 인쇄 과정 중에 발생하는 7가지 종류의 불량에 대하여 기술한다. 3장에서는 영상의 입력에서 에러의 판단에 이르기까지 시스템의 전 과정의 흐름에 대하여 기술하였다. 4장에서는 이진화의 자동화에 대하여 기술하고 5장에서는 패턴모델의 생성에 대하여 기술하고 6장에서는 현장 적용 결과 및 결론에 대하여 기술한다.

## 2. 인쇄불량의 종류

튜브에는 제품의 제조회사, 정격, 전원의 극성 등 전자제품의 제조에 매우 중요한 정보가 기록되어 있다. 그러나 부품이 차츰 소형화되어감에 따라 표시 문자의 크기가 작아지고 다품종화 되면서 인쇄불량을 검사하는 과정은 점점 어려워지고 있다. 대표적인 불량은 그림 1과 같다

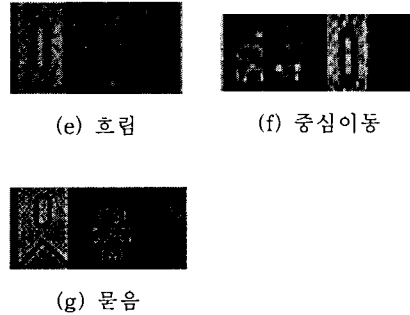
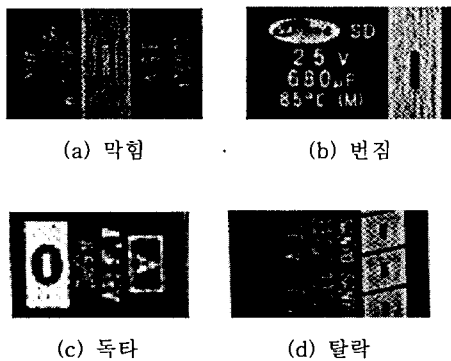


그림 1. 인쇄불량의 종류

- (a) 막힘: 잉크의 과다로 인하여 글씨의 중심이 막힘
- (b) 번짐: 잉크의 과다로 글씨가 번짐
- (c) 독타: 인쇄기의 조종 불량으로 가느다란 선이 생김
- (d) 탈락: 잉크부족 또는 인쇄 형판의 과 건조로 인하여 글씨가 중간 중간에 탈락
- (e) 흐림: 잉크부족 또는 인쇄 평판의 과 건조로 인하여 글씨 전체가 흐릿해짐
- (f) 중심이동: 튜브의 뒤틀림 또는 흔들림으로 글씨 전체의 중심이 벗어남
- (g) 문음: 잉크를 제거하는 장치의 마모로 튜브의 전체에 잉크 줄이 생김

## 3. 검사 과정

256 색상의 흑백 영상을 CCD카메라를 이용하여 입력 받은후 Median filter를 이용하여 영상을 평활화하는 전처리 과정을 거친 후 4장에 소개되는 이진화 방법을 이용하여 영상을 이진화 하게 된다. 이진화후 적절한 Opening, Closing과정을 거친 후 표준 모델과 차분 모델을 생성하기 위해 사용되는 Key 모델의 설정, 영상 차분에 이용될 표준 모델의 설정 그리고 부정확하고 크기가 일정치 않은 인쇄물의 유동적인 검사에 대처하기 위해 사용하는 주변 마스크의 생성 과정을 거친 후 계산량 많은 패턴 매칭의 범위를 줄여 실행 속도를 높여주기 위하여 패턴 검사 범위를 설정하게 된다. 검사 과정 중에는 Key 모델을 이용하여 차분 모델을 결정한 후 이 차분모델과 표준 모델을 영상 차분 연산 한 후 남아있는 불량점의 면적을 검사하여 특정 값 이상이면 에러로 판정하게 된다. 그림2는 전 시스템의 흐름을 나타내는 순서도이다.

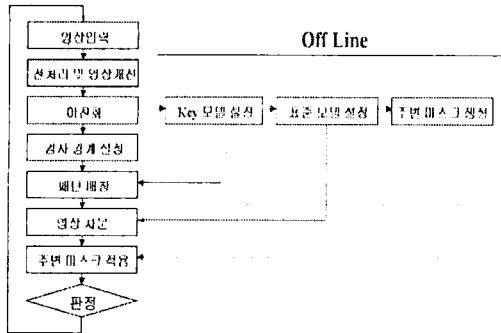


그림 2. 시스템의 순서도( Flowchart )

#### 4. 임계치(Threshold)의 결정

조명상태에 따라 변화하는 적절한 문턱치를 찾기 위해서 개발 초기에는 Otsu가 제안한 문턱치 결정방법을 이용하였으나, Otsu가 제안한 방법이 히스토그램의 비율이 일정하지 않은 본 시스템에 적합하지 않아, 다음과 같이 문턱치 결정 방법을 개선하였다.

휘도치 히스토그램이 인쇄부분과 비 인쇄 부분을 중심(평균)으로 하여 Gaussian 분포를 가짐을 알 수 있다. 이 두 극대점을 구해서 적절한 위치를 결정해주는 방법을 택하였다.

두 극대 점을 구하기 위하여 일차미분, 이차미분을 이용하였다. 일차 미분값이 양에서 음으로 바뀌고 이차 미분값이 0인 지점을 찾아서 극대지점을 찾을 수 있다. 그림3의 히스토그램은 지역 극대값이 발생하는 것을 막기 위해 히스토그램을 평활화 한 것이다. 이진화의 정확성을 결정하는 요소는 인쇄부의 주변장(Perimeter)주위의 화소가 된다. 이들의 화소는 C부분에 주로 분포하게 되고, Otsu[1]의 알고리즘을 이용할 경우 이쪽 부분을 섬세하게 계산하기 힘들다. A는 그림3의 검정바탕 부분이고 B는 배경과 인쇄부이다. A와 B의 극대점을 나타내는 지점은 식(1)과 식(2)의 조건을 동시에 만족하는 부분이다.

$$f(x-1) > 0 \text{ and } f(x+1) < 0 \quad (1)$$

$$f'(x) = 0 \quad (2)$$

그림3은 지역 극대값을 피하기 위해 평활화에 사용한 오퍼레이터와 일차미분과 이차 미분을 구하기 위하여 사용된 미분 오퍼레이터를 각각 나타내고 있다. 우선 지역 극대값을 피하기 위하여 평활화 오퍼레이

터를 지역 극대값이 발생하지 않을 때 까지 히스토그램에 적용한다. 일차 미분을 구하기 위하여 그림3의 (b)의 오퍼레이터를 적용한다. 그리고 2차 미분을 구하기 위하여 1차 미분 오퍼레이터를 한 번더 적용하게 되는데 그림3 (b)오퍼레이터를 그대로 적용할 경우 평활화에 의하여 히스토그램이 부드러운 곡선이기 때문에 인 지점이 여러 곳에서 발생하게 된다. 그래서 미분 오퍼레이터의 방향을 바꾸어 미분을 구한 후 0이 아닌 최대값을 나타내는 부분을 탐색하는 방법을 이용하였다.

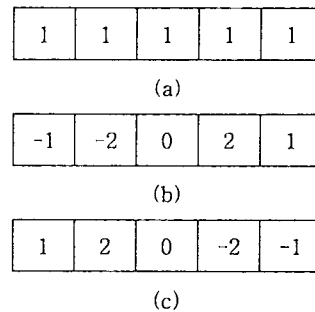


그림 3. 미분 오퍼레이터 (a) 평활화 오퍼레이터 (b)미분오퍼레이터 (c)역방향 미분오퍼레이터

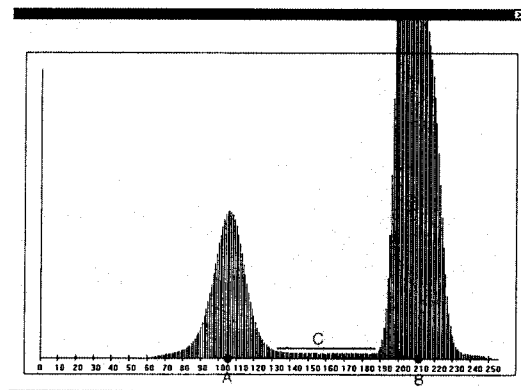


그림 4. 평활화된 히스토그램

A와 B의 위치가 구해지면 문턱치(Threshold)는 식(3)에 의해서 구해진다.

$$Threshold = A + \frac{(B-A)}{2} \quad (3)$$

#### 5. 검사모델의 결정

휘도치 기반 상관도(correlation)에 의한 패턴 매칭

에 의하여 표준 모델과 비교될 차분모델을 생성하게 된다. 이 때 패턴을 찾기 위해 이용되는 키 모델과 차분을 위해 이용되는 표준모델을 설정하는 과정에서 모델을 자동으로 찾기 위한 방법을 기술한다. 이 시스템에서는 검사의 효율을 위해서 샘플 2개를 동시에 검사한다. 그림5는 검사 대상 영상에서의 좌선, 우선 그리고 표준모델과 키 모델을 나타낸다. 여기서 좌선과 우선은 표준 모델의 수평방향 경계로 사용되었다. 그리고 수직방향 경계를 구하기 위하여 수평방향 누적합을 이용하였다.

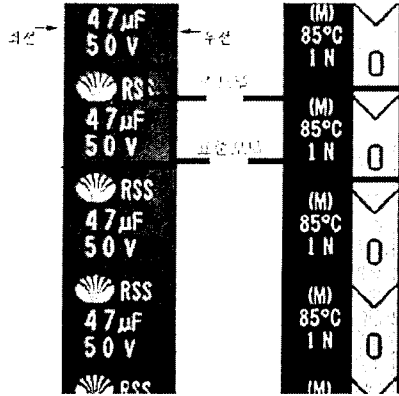


그림 5. 키모델과 표준모델

### 5.1 좌선 우선의 설정

모델을 생성하기 위해서는 입력된 영상의 이진화 후 콘텐서 외피 부분만을 선택할 필요가 있다. 본 논문에서는 콘텐서 외피 영역을 좌선과 우선을 사용하여 제한한다. 좌선은 좌측에서의 콘텐서 외피와 배경의 경계선이고 우선은 우측에서의 콘텐서 외피와 배경의 경계선을 일컫는다. 검사 영역이 튜브의 양면을 동시에 검사하는 것이므로 두 개의 좌선과 두 개의 우선의 검출이 필요한데 좌선과 우선을 결정하기 위해 라인 x의 화소값을 읽어 들인다. 읽어 들인 화소값이 급격히 변하는 부분을 기록하여 첫 번째와 마지막으로 화소값이 변하는 부분으로 좌측 콘텐서 외피의 좌선과 우측 콘텐서 외피의 우선을 구할 수 있다. 이와 같은 과정을 통하여 얻어진 콘텐서 외피 양면의 범위를 구한 후 검사 대상인 두 개의 콘텐서의 외피의 넓이가 같음에 착안하여 좌측 좌선과 우측 우선의 중간 위치로부터 다시 모델의 또 다른 좌선과 우선을 추적하는 방법을 사용하였다. 그 과정은 그림 6와 같다.

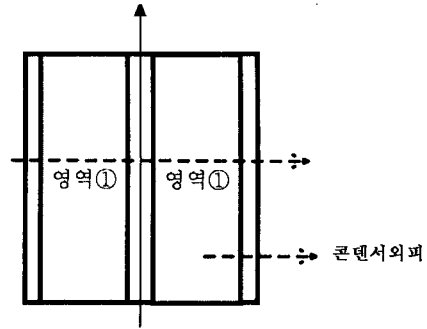


그림 6. 입력 모델의 좌선과 우선의 설정

### 5.2 표준 모델 생성

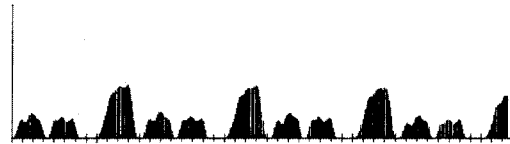


그림 7. 그림5의 왼쪽 인쇄물의 Vertical Profile

세로 띠(극성부)가 없는 왼쪽 인쇄물의 경우 먼저 좌선과 우선을 찾는다. 그리고 좌선과 우선 사이의 Vertical Profile을 이용하여 차분 모델을 생성한다. 인쇄부분들의 Profile에서 빈공간의 길이가 길게 나타나는 부분과 짧게 나타나는 부분이 있다. 표준 모델은 긴 공간 사이의 좌표에 존재한다. 이 위치로 수직 위치를 결정하고 수평 위치는 좌선과 우선의 위치를 이용했다. 그림6는 띠(극성부)가 없는 인쇄물의 수평 Profile을 나타낸다.

세로로 띠(극성부)가 있는 오른쪽 인쇄물의 경우 빈공간이 나타나지 않는다. 이런 샘플은 충분한 길이의 공간이 나타날 때까지 히스토그램을 반복적으로 깎아 내려간다. 그리고 극성부가 없을 때와 같은 방법으로 공간의 위치정보를 이용하여 모델의 수직 위치를 결정한다.



그림 8. 그림5의 오른쪽 인쇄물의 Profile

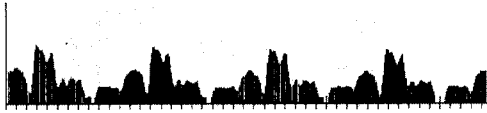


그림 9. 그림5의 오른쪽 인쇄물의 Profile을 깎아 내린 결과

이 방법에 의하여 생성된 표준 모델이 그림10에 나타나 있다. (a)는 극성부가 없는 검사 대상의 경우를 보여 주며 (b)는 극성부가 있는 샘플의 경우로 히스토그램을 사이 공간이 일정 개수 이상 나올때 까지 깎아내려서 구한 결과를 나타내고 있다.



그림 10. (a) 왼쪽 모델의 차분 모델  
(b) 오른쪽 모델의 차분모델

### 5.3 키 모델 생성

키 모델은 표준 모델에서 불량 레이블링과 불량 분석을 통해서 위치를 결정한다. 키 모델을 하나의 불량으로 설정하는 경우 하나의 표준 모델안에 키 모델이 두 개 이상 존재하는 경우가 있다. 예를 들면, 그림10의 (a)의 경우 S에 해당하는 불량을 키 모델로 설정할 경우 패턴 매칭에 의해서 두개의 S가 찾아 지고 이럴 경우 차분 모델을 추출할 수 없게 된다. 이를 피하기 위해서 2개의 불량을 키 모델로 지정하는 방법을 이용하였다. 아래의 a, b, c의 순서로 우선권을 부여하여 키 모델을 설정하였다.

- a. 수직위치가 같은 연속하는 두 개의 불량을 지정
- b. 수평위치가 같은 연속하는 두 개의 불량을 지정
- c. 조건을 만족하는 불량이 없을 경우 마지막 불량 하나만을 지정

아래의 그림11은 그림10의 표준 모델에 대하여 생성된 키 모델을 나타내고 있다. 그리고 그림12에 다른 표본 영상에 적용하여 얻어진 결과를 보여 주고 있다. 이진화는 변위값 없이 제안된 알고리즘에 의해 얻어진 값을 그대로 사용하였다. 그림12의 (e)

의 키 모델은 원단의 표준 모델 내에 수평 위치, 수직위치가 같은 불량 존재하지 않아, 하나의 불량을 키 모델로 설정한 경우이다. 수직위치나 수평위치가 같은 불량이 존재하는 것처럼 보이지만 입력 원단이 기울어 있어 수직 수평 위치를 구할 경우 위치가 다른 불량으로 인식된다.



그림11 (a)왼쪽 모델의 키 모델  
(b)오른쪽 모델의 키 모델

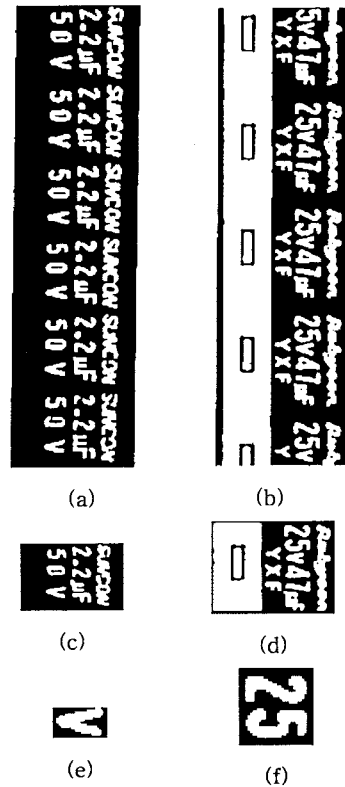


그림 12. (a) 극성부 없는 영상표본. (b) 극성부 있는 영상표본. (c) (a)의 표본모델. (d) (b)의 표본모델. (e) (a)의 키 모델. (f) (b)의 키 모델.

### 6. 결론

종래에 사용되던 이진화 알고리즘[1]을 이용할 경

우 20~30픽셀 정도의 보정이 필요 했다. 이 알고리즘을 이용할 경우 보정과정을 거치지 않고도 만족할 만한 이진화 결과를 보이는 경우가 대부분이었고, 다양한 원단에 대해서도 2~3픽셀 이하의 보정이 필요할 뿐이었다. BGA나 반도체등의 시각 검사시 이진화에 의한 검사를 많이 수행하고 있으며 현재까지도 70년대에 Otsu에 의해서 소개된 방법을 대부분 사용하고 있다. 이 방법을 이용할 경우 Otsu의 방법보다 정확한 이진화 임계치를 얻을 수 있다. Otsu의 방법은 휘도치 히스토그램의 무게중심을 구하여 이것을 임계치로 사용하기 때문에 휘도치의 분포에 민감하지만, 여기에 제안된 방법의 경우 두 개의 극대점에만 의존하기 때문에 휘도치의 분포에 관계 없이 정확한 임계치를 얻을 수 있다. 현장 도입 결과 표준모델과 키 모델의 생성의 경우 30~40여종의 샘플에 대하여 극성부가 없는 검사 대상의 경우 100%, 극성부가 존재하는 경우 80%정도의 성공률을 나타내고 있으며 실패한 20%의 경우엔 마우스를 이용하여 수동으로 키 모델과 표준 모델을 설정하도록 하였다.

**[참고문헌]**

[1] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

[2] Rafael C. Gonzalez Richard E. Woods Digital Imaging Processing, Addison Wesley, pp. 583-586 1993

[3] E. A. Chemaly, "Feature Inspection Using Normalized Cross Correlation and Mathematical Morphology," Motorola

[4] Ming-Ching Chang, Hsien-Yei Chen Chiou-Shann Fuh, Fast Search Algorithms for IC Printed Mark Quality Inspection IAPR Workshop on Machine Vision Application pp. 183-187, Nov. 17-19. 1998