

종이컵 내면불량 검사를 위한 영상처리 알고리즘 응용에 관한 연구

엄기복*, 김 용*, 이규훈**, 권순도***, 윤석호****
 *동국대학교, **스마트비전텍, ***대림대학, ****김천대학

A Study on the Application of Image Processing Algorithm for Paper-cup Inner Defect Inspection

Ki-Bok Eom*, Yong Kim*, Kyu-Hun Lee**, Soon-Do Kwon***, Suk-Ho Yoon****
 *Dongguk University, **Smart Vision Tech, ***Daelim College, ****Kimcheon College

Abstract - In this paper, We propose an Image processing algorithm for a paper-cup inner defect inspection. First, we devide a cup image to four sections considering the characteristic of a cup and filter noises limit by using the flood-fill algorithm and median filter. Second, to obtain the clearer inspection result of the edge point inner cup, We apply the sharpening convolution filer to the objected inspect the edge points by using the LOG edge detector. Third, executing sub-pixel operation with the original image, we find the defect parts in the cup. Finally, denoting the inspected defect parts as rectangular, we recompose the images of the defected ones.

기존의 윤곽선은 좀더 상세하게 보존할 수 있는 미디언 필터를 사용하였다. [2]

마스크 윈도우가 2차원일 때 미디언 필터는 식(2.1)과 같다.

$$y_{ij} = med \{ x_{i+r, j+s} ; (r, s) \in A \} \quad (i, j) \in R^2 \quad (2.1)$$

med { } : 중앙 순번에 해당하는 값을 가지는 화소

r : X축 방향의 $\frac{1}{2}n$ (n은 해당 데이터 수)

s : Y축 방향의 $\frac{1}{2}n$

x_i : X축의 중앙값에 해당하는 입력

y_i : Y축의 중앙값에 해당하는 입력

y_{ij} : 2차원의 출력

R : 실수의 집합

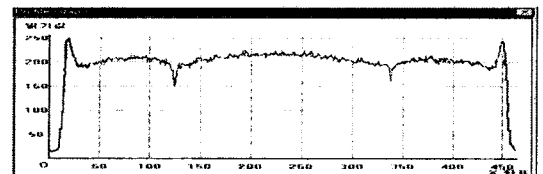
A : $A \subset R^2$ 이며, 중심화소를 기준으로 하는 이웃화소의 집합

1. 서 론

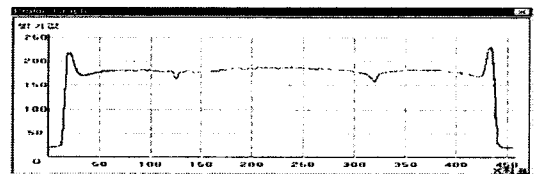
종이컵의 생산과정에서 발생하는 불량률의 대부분은 컵 내면의 이물질에 의한 것이다. 현재 현장에서의 검사는 숙련된 검사자의 경험적 판단을 기초로 하는 시각 검사에 의존하고 있는데 이러한 검사방법은 낮은 검사율과 검사의 정확도가 떨어지는 단점이 있어 자동검사기의 도입이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 CCD 카메라를 이용하여 종이컵의 생산과정에서 발생하는 불량처리에 적합한 영상처리 알고리즘을 제안하였다.

전처리 과정에서는 영상획득 과정에서 발생한 잡음을 제거하기 위하여 미디언 필터를 사용하였고, 이 과정에서 희미해진 영상의 윤곽선을 강조하기 위해 샤프닝 필터를 적용하였다. 전처리 마지막 단계에서는 효율적인 검사를 위하여 컵의 중심점을 구하고 이를 기준으로 4개의 영역으로 분할하였다. 검사과정에서는 분할된 영역의 특성에 맞게 적절한 DoG 윤곽선 검출기의 σ_1/σ_2 값을 선택하여 윤곽선을 추출한 후 이물질이 포함되지 않은 기준 영상과 뺄셈 연산을 하여 이물질 부분만을 사각형으로 표시하여 불량영상을 재구성하였다. 채우기 알고리즘을 이용하여 사각형으로 표시된 이물질의 크기를 계산하고 그 결과를 자료화하여 더욱 세밀하고 정확한 검사를 할 수 있다. 제안된 알고리즘은 영상을 분할하여 각각을 다르게 필터링하고 불량을 포함하는 영상만을 재구성함에 따라 데이터의 양을 줄일 수 있으므로 보다 빠르고 정확한 생산성의 향상을 기대할 수 있다. [1]

그림 1은 원 영상과 미디언 필터링을 거친 영상을 비교한 것으로서 미디언 필터링을 거친 영상은 고주파 잡음성분이 제거되어 영상의 평활화가 이루어짐을 알 수 있다.



(a) 원 영상의 프로파일



(b) 미디언 필터링을 수행한 영상의 프로파일

그림 1. 원 영상과 미디언 필터링 영상의 비교

2. 본 론

2.1 전처리 과정

2.1.1 미디언 필터

종이컵에 조명을 비추게 되면 바닥 면과 벽면에서 반사되는 빛들이 산란을 일으켜 고주파 잡음과 임펄스 잡음이 포함된다. 이 결과 좁은 범위에서 화소 밝기의 차가 심하게 변하므로 이러한 잡음성분을 제거하기 위해 원 영상의 특성을 유지하면서 선명한 윤곽선을 보존하고

2.1.2 샤프닝 콘볼루션 필터

미디언 필터링은 영상 내에 존재하는 잡음을 제거하지만 화소들의 밝기 차이가 뚜렷하게 구별되지 않는 블러링 현상 때문에 윤곽선검출이 잘 되지 않는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 영상의 국부 대조도를 증가시켜 상세한 부분들을 더욱 강조하는 효과를 가지는 샤프닝 콘볼루션 필터를 사용하였다. [2] [3]

원 영상이 M 개의 행과 N 개의 열을 갖고, 마스크가 m 개의 행과 n 개의 열을 가질 때 샤프닝 콘볼루션 실행의 출력영상을 수식으로 표현하면 식(2.2)와 같다.

$$Q(i, j) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 I(i+k, j+l) M(i+k, j+l) \quad (2.2)$$

I_{ij} : 원 영상의 화소 M_{ij} : 마스크

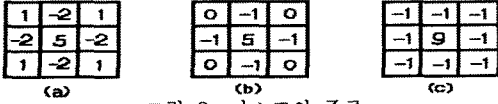


그림 2. 마스크의 종류

본 논문에서는 그림 2의 (b)번 마스크를 적용하였다. 그림 3은 샤프닝 필터링을 통해 저주파 성분이 제거되어 영상의 상세한 부분이 강조되었음을 나타낸다.

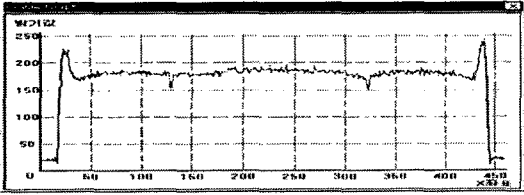


그림 3. 샤프닝 영상의 프로파일

2.1.3 영상의 영역분할

컵의 특성상 내면 전체에 일정한 조명을 가할 수 없고, 전체적으로 고른 영상을 얻기가 힘들기 때문에 정확한 검사를 할 수 없다. 따라서, 컵 내면 전체를 4개의 영역으로 분할하고 분할된 각각의 영역에 존재하는 이물질들을 검출하였다. 그림 4에서 보듯이 컵 영상의 화소 값들은 컵의 내부와 외부테두리에서 값이 급격하게 변하는 것을 볼 수 있다. 영역분할은 이 부분의 화소 값을 이용하여 중심점을 구하고 이 점을 기준으로 그림 5와 같이 컵의 특성을 고려한 4개의 영역으로 분할하였다.

$$C(x, y) = \left(\frac{x_r - x_l}{2}, \frac{y_u - y_d}{2} \right) \quad (2.3)$$

여기서,

$C(x, y)$: 중심좌표

x_r : x축 최대 화소 값의 오른쪽 좌표

x_l : x축 최대 화소 값의 왼쪽 좌표

y_u : y축 최대 화소 값의 위쪽 좌표

y_d : y축 최대 화소 값의 아래쪽 좌표

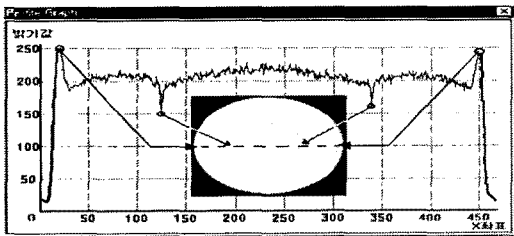


그림 4. 컵 영상의 종단면 프로파일

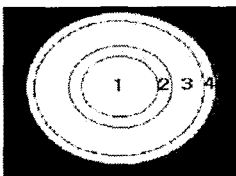


그림 5. 컵 영상의 영역분할

제 1 영역 : 조명을 직접 받기 때문에 밝기 데이터가 가장 높게 분포한다.

제 2 영역 : 조명을 직접 받기는 하지만, 안쪽 면보다 빛의 양이 적기 때문에 제 1 영역보다 밝기 데이터가 약간은 낮다.

제 3 영역 : 밑면에서 반사되는 빛과 조명에서 비추는 빛이 만나는 부분으로 밝기 데이터들이 일정하게 분포하지 않는다.

제 4 영역 : 컵의 외곽테두리를 기준으로 배경과 구분되는 부분으로 이 영역에 조명을 너무 강하게 비추면 이물질을 검사하기 어렵다.

2.2 검사과정

2.2.1 윤곽선 검출 알고리즘

윤곽선은 영상내부에서 화소 값이 변하거나, 불연속을 이루는 지점을 의미한다. 윤곽선은 입력된 영상에서 물체의 특징을 찾거나, 형태를 인식하는 역할을 하므로 정확한 윤곽선의 검출은 검사과정에서 가장 중요하다. [4] 이상적인 윤곽선 검출기는 윤곽선의 중심에 위치한 임의의 점을 찾아야 한다. 하지만 영상처리 과정에서 포함되는 잡음과 물체와 배경과의 명암차이가 현저하지 못하거나 조명의 상태에 따라 실제 존재하는 것보다 더 많은 윤곽선을 검출하게 된다. [1] 이러한 단점을 해결하기 위해서 먼저 분할된 영역의 화소 평균값을 임계값으로 사용하여 윤곽선의 크기가 임계값 이상일 경우에만 임의의 윤곽선으로 결정한 다음, 여기에 잡음에 덜 민감하고 계산 시간이 비교적 짧은 DoG(Difference of Gaussian) 윤곽선 검출기를 사용하여 정확한 윤곽선을 검출하였다. DoG 윤곽선 검출기는 다른 σ 를 가진 두 개의 가우시안 마스크를 차연산한 마스크로 영상을 희산함으로써 수행하는데, σ_1/σ_2 의 값을 변화시킴으로써 검출할 윤곽선의 넓이를 조정할 수 있다.

DOG 윤곽선 검출기는 식(2.4)로 표현된다. [3]

$$DoG(x, y) = \frac{e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}}}{2\pi\sigma_1^2} - \frac{e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}}}{2\pi\sigma_2^2} \quad (2.4)$$

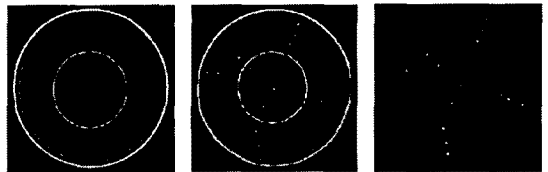
σ_1, σ_2 : 표준편차

2.2.2 뿔셈연산

뿔셈연산(Sub-Pixel)은 두 영상 사이의 차이를 찾기 위한 방법으로, 두 영상을 구성하는 화소 값들의 차이를 구하여 원하는 정보만을 얻는다. 본 논문에서는 검출된 윤곽선들 중에서 불량부분만을 분류하기 위해서 사용한다. 뿔셈연산을 수식으로 표현하면 식(2.5)와 같다. [3][4][7]

$$\text{Out Image}(x, y) = \text{Image}_1(x, y) - \text{Image}_2(x, y) \quad (2.5)$$

그림 6은 원 영상과 이물질이 포함된 영상의 뿔셈연산 수행을 통해 이물질 부분만을 추출한 결과를 나타낸다.



(a)원 영상 예지 (b)불량 영상 예지 (c)뿔셈연산 결과

그림 6. 윤곽선 영상의 뿔셈연산

2.2.3 채우기 알고리즘

채우기 알고리즘(flood-fill algorithm)은 경계색으로 닫혀진 영역 내부를 빈틈없이 채우는 방법으로 그림 7은 채우기 알고리즘의 수행과정을 나타낸다. 먼저 알고

리즘을 실행할 임의의 시작점을 결정하고 이 점을 기준으로 좌우로 진행하면서 영역을 채우고 각 화소의 밝기, 끝점의 좌표를 저장한다. 이렇게 하나의 라인에 대한 처리가 끝나면 시작점을 다음 라인으로 이동시켜서 이전에 실행한 절차를 반복 실행하여 영역전체에 대한 정보를 저장한다.[6]

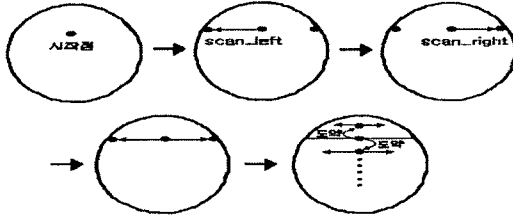


그림 7. 채우기 알고리즘의 실행 순서

2.3 시스템 구성 및 검사결과

2.3.1 시스템 구성

컵은 구조적 특성 때문에 내면을 한꺼번에 검사하기 어려운 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 알고리즘 부분에서 영역을 분할하고, 각 영역의 특성을 고려하여 서로 다른 DoG필터의 σ_1/σ_2 값을 사용하는 영역분할 기법으로 해결하였고 시스템 부분에서는 다음과 같은 방법으로 해결하였다.

- 첫째, 광각렌즈를 사용하여 컵의 내면 영상을 펼쳐서 획득하였다. 이를 통해서 일반렌즈를 사용하는 것 보다 고른 영상을 획득할 수 있었다.
- 둘째, 조명을 2단으로 제작하여 컵 전면에 일정한 조명이 가해지도록 하였다. 이를 통해서 보다 정확한 밝기정보를 갖는 영상을 획득할 수 있었다.

실험에 사용된 시스템의 구성은 다음과 같다.

- (1) 영상 획득 보드
 - ▶ Real Time Image Processing Board
 - 해상도 : 1280×1024×8bit (Gray Scale)
 - 잡음제거필터 내장
- (2) 카메라
 - 유효화소 : 640×480
 - 셔터속도 : 1/30 ~ 1/10000 sec
 - 무결점 CCD 채용
- (3) 렌즈
 - 광각렌즈
 - WD(working distance) : 8mm ~ 10mm
- (4) 조명
 - LED 확산 원형조명(Ring light)

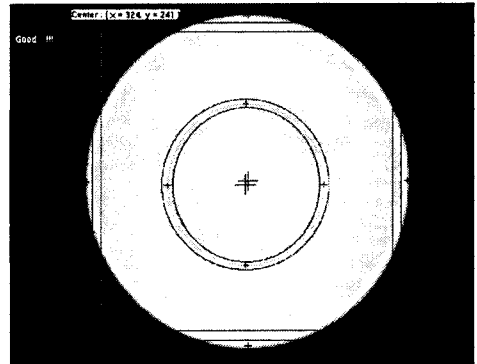
2.3.2 검사결과

제안된 알고리즘은 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였다. 이물질이 포함되지 않은 컵 영상을 기준영상으로 설정하고, 검출할 이물질의 크기와 각각의 분할영역에 적용할 DoG 윤곽선 검출기의 σ_1/σ_2 값을 결정한 다음 카메라를 통하여 입력되는 영상에 2.2절에서 제안한 알고리즘을 적용하여 이물질을 검출하였다.

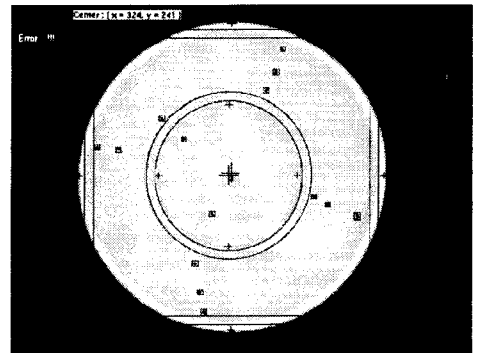
검출된 불량부분은 이물질을 구성하는 화소의 상하좌우 끝점을 잇는 사각형으로 표시하였다. 본 실험에서는

DoG 윤곽선 검출기의 σ_1/σ_2 값을 $\sigma_1/\sigma_2 = 4$ 와 $\sigma_1/\sigma_2 = 2.3$ 로 설정하여 이물질을 검출하였다.

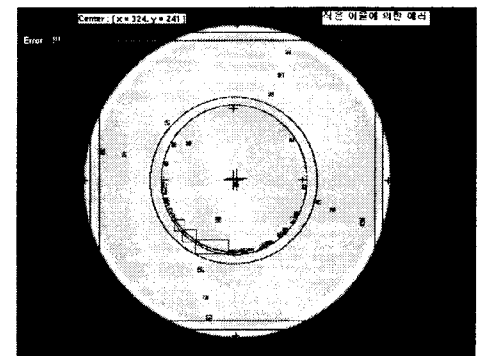
그림 8의 (b)는 DoG 윤곽선 검출기의 σ_1/σ_2 값을 $\sigma_1/\sigma_2 = 4$ 로 설정하고, (c)는 $\sigma_1/\sigma_2 = 2.3$ 으로 설정하여 이물질을 검출한 결과이다. 그림 (b)에서는 육안으로도 쉽게 관찰할 수 있는 이물질을 검출하였음을 볼 수 있고, 그림 (c)에서는 육안으로 쉽게 관찰할 수 없는 미세한 이물까지도 검출하였음을 볼 수 있다.



(a) 불량검출을 위한 기준영상



(b) 이물질 검출 결과영상 I



(c) 이물질 검출 결과영상 II

그림 8. 기준영상 및 검사 결과 영상

3. 결 론

본 논문에서는 CCD카메라를 이용한 종이컵 내면 불량검사 알고리즘을 구현하였다. 영상의 전처리 과정에서 정확한 윤곽선 검출을 위해 잡음성분을 제거하고, 검출된 윤곽선 정보에서 분할영역을 토대로 불량부분만을 분류하여 불량영상을 재구성하였다. 이러한 과정을 통해서 처리 데이터 양이 감소되어 검사속도가 향상되었다. 또한 채우기 알고리즘을 이용하여 검출된 불량부분의 정보를 자료화하기 때문에 더욱 정확한 검사와 분석을 할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1]신석범, 김학범, 이양범, "알루미늄 표면처리 검사를 위한 영상처리 알고리즘 응용에 관한 연구", 울산대 공학연구 논문집, 제30권 2호, pp553-556, 1999
- [2]최용엽, 윤동한, "X-Band 영상의 Edge 검출 및 개선에 관한 연구", 금호공대 생산기술연구소 논문집, 제4호, 1988
- [3]Gonzales, "Digital Image Processing", pp192-206
- [4]Milan Sonka, Vaclav Hlavac, roger Boyle, "Image Processing, analysis, and Machine Vision, PWS Publishing, 1998
- [5]Randy Crane, "Simplified Approach to Image Processing", 홍콩과학출판사, pp85-127, 176-178
- [6]이재규, "C로 배우는 알고리즘", 세화출판사, pp1065-1075
- [7]장동혁, "디지털 영상처리의 구현", 정보게이트, pp64-66