영상분석을 이용한 생분해성 용기의 결함검출시스템*

김성진○ 이석룡
한국외국어대학교
{iise_jin○, sllee}@hufs.ac.kr

Defect detection system of natural starch containers using image analysis

Sung-Jin Kim○ Seok-Lyong Lee
School of Industrial and Management Eng., Hankuk University of Foreign Studies

요 약

기존에 널리 이용되고 있는 일회용 용기가 가지고 있는 환경 오염 문제로 인하여 천연 고분자로 만들어진 생분해성 일회용 용기의 사용이 점점 증가하고 있다. 본 논문에서는 생분해성 용기 제작시 중요한 단계인 양품 및 불량품 판정을 위하여 비젼 시스템으로부터 획득된 용기 이미지로부터 용기 내부면 및 테두리에서 발생하는 결함을 검출하는 알고리즘을 제안한다. 구현한 시스템을 통한 실험 결과 제안한 알고리즘은 실시간 제약 조건을 만족시키면서 다양한 형태의 결함을 효과적으로 검출하였다.

1. 서 론

"1980년대까지 머신비젼 기술은 주로 기계부품조립, PCB 결함 검출 등과 같은 공장자동화(factory automation) 분야에 주로 응용되었다" [1]. 머신비젼시스템을 활용한 자동화 검사는 제품 생산 중간 및 최종 단계에서 발생하는 불량으로 인한 최종제품의 오작동 혹은 불량으로 인한 손실과 고객불만을 방지할 수 있다. 또한 제품과 부품이 소형화됨에 따른 육안검사의 한계를 극복하고, 검사자(inspector)가 접근하기 어려운 오염된 환경이나 열악한 환경에서의 검사한계를 극복할 수 있으며 빠르고 정확한 검사를 제공한다는 점에서 생산공정에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 본 논문에서는 생분해성 용기 생산공정에서 용기표면에 나타나는 결함 검출을 위한 빠르고 정확한 영상분석 알고리즘을 제안하는 것을 목표로 한다.

전분을 이용한 생분해성 일회용 전분용기는 비변성 전분, 펄프 섬유 파우더 등으로 구성되는 조성물을 가열 가압하여 성형된 용기 성형물의 내부면에 생분해성 필름을 부착한 용기를 말하며[2], 제작과정에서 용기 내부면과 테두리에 흑점(black point), 작은 구멍(pinhole)과 같은 결함이 발생하게 된다. 기존에는 제품검사를 검사자의 육안에 의존하는 경우가 대부분이어서 발생된 결함을 검출하기 어렵고, 위치, 유형 등의 정보를 빠르고 정확하게 파악하기가 매우 힘들었다. 또한 용기가 컨베이어를 타고 빠른 속도로 지나가기 때문에 육안검사는 한계를 지니고 있다고 할 수 있다. 따라서 제품검사와 검사결과를 활용한 2차 분석을 위해서는 검사자의 판단에 의존하기 보다 머신비젼시스템을 이용한 자동화 검사 시스템이 요구된다. 본 논문에서는 미리 구현된 비젼시스템을 통하여 획득한 용기 이미지로부터 용기의 내부면과 테두리에 발생하는 흑점형태의 결함을 검출해내는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 결함 검출 시스템 및 결함 검출에 관한 영상 기법에 대한 기존의 연구를 소개한다. 3절에서는 영상에서 흑점형태의 결함을 빠르게 발견하기 위한 영상처리 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 기법에 대한 단계별 효용성에 대해 논한다. 4절에서는 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 구현한 시스템을 소개하고 실제 획득한 이미지를 사용하여 실험한 결과를 제시한다. 마지막으로 5절에서는 결론과 함께 향후 연구 방향에 대해 제시한다.

2. 관련연구

표면결함이라 함은 제품을 생산할 때 제품 또는 제품을 구성하는 부품의 표면에 나타나는 구멍(hole), 이물질(substance), 긁힘(scratch) 등이 최종제품의 안정성에 영향을 미치는 것을 말한다. 제조에 있어 표면의 질은 제품

• 본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비지원으로 수행되었습니다.

의 형태, 기능에 영향을 줄 수 있어 중요하다. 표면결함은 제품과 제조환경에 따라 그 종류와 형태가 매우 다양하고 결함을 검출하는 방법 또한 매우 다양하다 [3].

본 연구에서 다루고자 하는 용기에서의 결함 검출은 활용분야가 넓고, 많은 잠재력을 지녔음에도 불구하고 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이와 같은 관련 연구의 제한으로 인해 이 절에서는 생분해성 용기 자체의 결함 검출 보다는 본 연구에서 제안하고자 하는 방법의 주된 목적인 결함검출에 대한 기법이 널리 응용되고 있는 분야의 자동검출방법에 대해 살펴보기로 한다.

최근 TFT-LCD(thin film transistor-liquid crystal display) 장치는 평판 디스플레이(flat panel display) 시장의 경쟁이 심화됨에 따라 제품의 질은 매우 중요한 경쟁요소가 되었다. 이에 따라 TFT-LCD의 생산과정에서 발생하는 결함 검출에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. [4]에서는 TFT 패널 표면에 발생하는 작은 구멍, 긁힘, 지문을 SVD (singular value decomposition) 방식을 이용하여 검출하였다. TFT 패널 표면에 발생하는 결함 중 Mura 결함은 액정(liquid crystal) 물질이 고르지 못하게 분포되었거나 액정에 이물질이 포함되어 밝기가 일정하지 못한 영역이 나타나 발생하는 결함으로 복수 개의 화소에 걸쳐 나타난다. Mura의 종류에는 Spot-Mura, Line-Mura, Region-Mura가 있는데 [5]에서는 Region-Mura를 변형된 회귀진단(modified regression diagnostics) 방법과 임계값 결정방법을 사용하여 검출하였다.

[6]에서는 TFT 패널 표면에 발생하는 얼룩 형태(spot-type)의 결함을 적응적 다치 임계값(adaptive multilevel threshold)방법을 사용하여 검출하였다. 얼룩 형태의 결함을 두 가지로 나누어 검출 하였는데 방울 형태(blob-type)의 결함은 크기와 모양이 육안으로도 식별이 가능할 정도의 결함으로써 낮은 해상도 영상을 사용, 전체 TFT 패널의 휘도(brightness) 비균일에 의한 영향을 줄여주기 위해서 휘도 평활화(brightness normalizing)를 거친 후 적응적 다치 임계값 방법을 사용하여 결함영역을 결정하였다. [7]에서는 LCD용 편광 필름에 나타나는 쿠닉(cunic), 이물, 기포 및 피트(pit) 결함을 검출 하였는데 우선 5 × 5마스크를 이용한 미디언 필터링(median filtering)을 수행하여 입력된 영상에 잡음을 제거 한 후, 임계값에 의한 이진화 영상을 만들고, 이 이진화 영상에 형태론 적 기법인 침식과 팽창 기법을 적용하였다.

머신비젼시스템은 산업분야뿐만 아니라 농업분야에서도 활용되고 있다. [8]에서는 결함을 검출함으로써 사과의 등급을 자동으로 결정해 주는 시스템을 제안하였다. 사과의 특성상 영상에 표시되는 꼭지부분(stem-calyx)은 물체의 질감을 표현하는데 유용한 기하학적 차원(fractal dimension)과 신경회로망(neural network)을 사용하여 결함과 구분하였다.

[9]에서는 이물질에 의한 컵의 내면불량 자동검사에 적합한 영상처리 알고리즘을 제안하였다. 이 연구에서는 이물질이 포함되지 않은 양품의 종이컵 영상과 이물질이 포함된 영상과의 영상 차감법(image subtraction method)을 통하여 이물질을 검출하였다. 검사의 전처리 과정으로 영상획득과정에서 종이컵의 바닥 면과 벽면에 빛이 반사되어 생기는 영상의 잡음을 제거하기 위해 미디언 필터링을 사용하였고, 샤프닝 필터링(sharpening filtering)을 이용해 영상의 특징이 사라지는 것을 방지하였다. 또한 종이컵의 구조적 특징상 내면 전체에 일정한 조명을 가할 수 없어 전체적으로 고른 영상을 획득하기에 어려움이 따르기 때문에 컵 내면 전체를 화소의 명암 값의 분포 특성과 외부 테두리와 내부테두리의 중심좌표를 이용하여 4개의 영역으로 분할하고 분할된 각각의 영역에 서로 다른 임계값을 적용하였다.

본 논문에서 다루는 결함 검출은 컨베이어를 빠른 속도로 지나가는 용기의 결함을 검출해야 하는 검사 환경의 특성상 실시간 제약 조건에 적합해야 하므로 위에 언급된 결함 검출 방식은 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 잡음 제거 등을 위해 사용되는 전처리 과정을 거치지 않으면서 주어진 시간 안에 신속하게 결함을 검출해 내는 알고리즘을 제시한다.

3. 결함검출과 영상 세그멘테이션

생분해성 일회용 용기는 원재료를 가열 가압하여 용기의 모양을 성형하는 과정과 성형된 용기의 내부면에 생분해성 필름을 부착하는 과정을 거치게 된다. 이때 용기 내부면과 테두리에 흑점, 작은 구멍 등의 결함이 발생하게 된다. 작은 구멍은 용기에 나타나는 아주 미세한 구멍을 말하며 크기가 매우 작아 육안으로 검출하기 힘들고, 획득한 영상에도 나타나지 않는다. 흑점은 영상에 나타나지만 그 크기가 육안으로 구분하기 힘든 것부터 쉬운 것까지 다양하고, 결함이 생기는 위치 또한 용기 전체에 걸쳐 불규칙 적이다. 그림 1은 비젼 시스템을 통하여 획득한 생분해성 용기의 이미지이고 그림 2는 용기의 (a) 내부면과 (b) 테두리에 생긴 흑점결함을 보여준다.

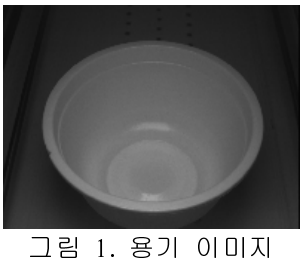
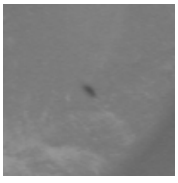


그림 1. 용기 이미지



(a) 용기 내부면

(b) 용기 테두리

그림 2. 흑점 결함

여기서 용기 내부면 흑점은 결함의 주위가 비결함면으로 둘러싸인 것을 말하고, 테두리 흑점은 이미지 상에서 용기와 배경이 맞닿아 있는 위치에 나타나는 것으로 배경과 구분하기 힘든 결함을 말한다. 본 연구에서는 용기 내부면과 테두리에 나타나는 흑점 형태의 결함을 앞서 언급한 특성에 따라 각각 다른 알고리즘을 적용하여 검출 하였다. 내부면 결함 검출 과정에서는 검사대상 화소와 일정 거리 떨어진 화소의 명암 값 차이를 사용하여 검출 하고, 내부면 결함이 발견되지 않으면 배경과 용기를 분리한 이진영상을 생성하여 결함이 없는 기준 영상과 차감법을 사용하여 테두리 결함을 검출한다.

3.1 내부면 결함 검출

결함을 검출해야 하는 용기는 구조적 특징상 내면 전체에 일정한 조명을 가할 수 없어 전체적으로 고른 영상을 획득하기에 어려움이 따른다. 또한 결함을 구성하는 화소의 수가 매우 작으면서 주변 화소와 뚜렷한 차이를 보이지 않을 경우 필터링 또는 블록화를 거치면 잡음과 같이 사라진다. 따라서 획득한 영상에 나타나는 결함은 위치에 따라 일정하지 않은 명암 값을 가지는 결함을 검출하기 위해서 검사 대상 화소와 일정거리 떨어진 인접 화소의 명암 값과의 차이를 이용하였다. 제안된 알고리즘에서는 영상을 배열로 받아들인 후 검사 화소의 명암 값 $I(x, y)$와 상, 하, 좌, 우 네 방향으로 일정거리 $Dist$ 만큼 떨어진 화소와의 차이가 $Diff$ 이상이면 결함 화소로 판단한다. 그림 4는 내부면 결함을 검출하기 위한 알고리즘이 기술되어 있다.

Algorithm: 내부면 결함 검출

Input: 원영상 $I(x, y)$
Output: Boolean, 이진결함영상 $BI'(x, y)$
// TRUE는 정상, FALSE는 결함영상
***Step* 0:**
$Upper$, $Dist$, $Diff$, T 값 결정
DN=0 // DN 은 결함 화소 개수
***Step* 1:**
용기 중심 계산
용기의 MBR 영역 좌표값 계산
***Step* 2:** //내부면 결함 판정 및 이진 영상 생성
do
if ($I(x, y) \le T$) then
$BI'(x, y)$ = 0
else $BI'(x, y)$ = 255
end if
if($I(x, y)$ in MBR)
if ($I(x, y) \le Upper$) AND
$|I(x \pm Dist, y) - I(x, y)| \ge Diff$ AND
$|I(x, y \pm Dist) - I(x, y)| \ge Diff$) then
DN++ //결함 화소 개수 증가
end if
end if
until (all pixels in Image are investigated)
***Step* 3**: //Output report
if (DN) then
return FALSE and $BI'(x, y)$
else return TRUE
end if

그림 4. 내부면 결함 검출 알고리즘

획득한 영상의 배경에서 검출하고자 하는 결함과 유사한 화소가 발견되기도 하고, 알고리즘이 수행시간을 줄이기 위해 Step 2의 결함 검출 과정에서는 Step 1에서 계산한 용기의 중심점을 이용해 용기의 MBR(minimum bounded rectangle)에 한하여 알고리즘이 수행된다. 또한 알고리즘의 실행을 위해서 환경변수 $Upper$, $Dist$, $Diff$, T의 초기 값의 설정이 필요하다.

- $Upper$: 결함 화소는 특정 명암 값 이상의 값을 가지지 않기 때문에 $Upper$ 이상의 값은 비교하지 않아 알고리즘 수행 시간을 줄인다.
- $Dist$: 검사 대상이 되는 화소로부터 거리 $Dist$ 만큼 떨어 진 주변 화소의 명암값을 비교하게 된다.
- $Diff$: 검사 대상 화소보다 주변 네 방향 화소의 명암 값이 모두 $Diff$ 이상 크게 되면 검사 화소는 결함 화소가 된다.
- T: 테두리 검사를 위해 영상을 배경과 분리하기 위한 임계값이다.

3.2 테두리 결함 검출

테두리의 흑점 결함은 배경과 인접하여 있고 화소의 명암값이 매우 흡사하여 임계 값에 의한 영상 분할시 배경영역에 포함되게 된다. 따라서 획득한 영상의 크기가 일정하다면 테두리 결함을 포함하지 않은 기준 영상 $BI(x, y)$과 결함을 포함한 영상 $BI'(x, y)$는 식 (1)와 같이 결함의 크기만큼 차이 $OI(x, y)$를 가지게 된다.

$$OI(x, y) = BI(x, y) - BI'(x, y) \quad (1)$$

이때 생성된 이진화된 용기의 모양이 영상에서 타원의 형태로 나타나게 되는데 이 타원들은 크기는 비슷하나 전체 영상 내에서 위치가 다르므로, 기준이 되는 영상의 중심을 정하고 결함 영상의 중심을 이와 일치되도록 이동시켜야 한다. 영상 내에 결함이 존재할 경우 영상 차감법의 결과로 생성된 $OI(x, y)$의 영상에는 255 의 명암값을 가지는 화소가 군집을 이루며 나타나게 된다. 그림 5는 테두리 결함 검출 시스템으로써, 차감 연산한 후, 30×30크기의 마스크를 사용하여 마스크내의 255의 명암값을 가지는 화소의 개수가 임계값을 넘을 경우 결함 영역으로 판단하여 그 부분을 표시한 영상이다.

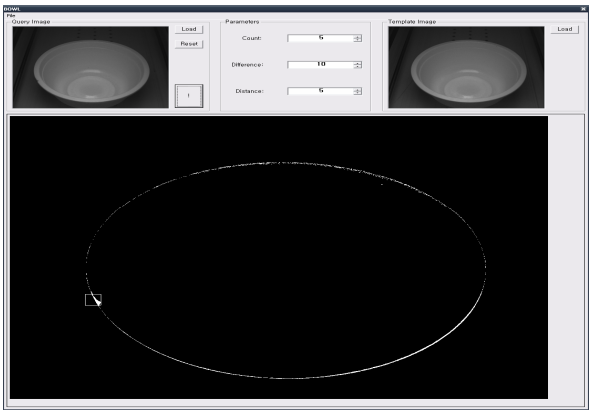


그림 5. 테두리 결함 검출 시스템

4. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 총 227장의 미리 획득한 1024×772 크기의 BMP영상에 대해 용기의 내부면 결함 및 테두리 결함을 검출하기 위하여 결함 검출 시스템을 구현하였다. 제안한 알고리즘은 C++언어로 개발하였고 Pentium(R) 4 CPU 3.20GHz의 컴퓨터를 사용하였다.

내부면 결함 검출을 위한 초기 설정 값은 휴리스틱 방식에 의하여 적절하다고 판단되는 구간, 즉 *Dist* 범위 [5,10], *Diff* 범위[5,15], 내에서 조합하여 반복 실험하였다. 총 영상 중 내부면 결함만 포함된 이미지는 62장으로 그림 6은 *Dist*=5일 때 *Diff* 값이 변함에 따른 실험 결과를 나타낸다. *Dist*=5, *Diff*=10일 때 가장 좋은 결과를 보이지만 Recall=1을 만족 하지는 않았다. 이는 검출 되지 않은 결함의 경우 육안으로 구분하기 어려울 정도이고 실제로 비결함이라 해도 무방할 정도의 결함이었다.

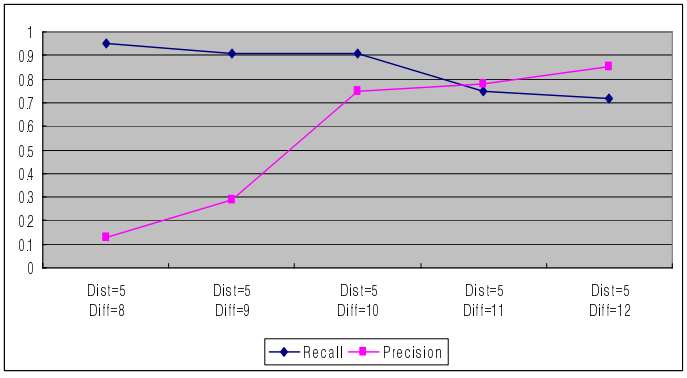


그림 6. 내부면 결함 검출 실험 결과

한편 테두리 흑점 결함의 검출 실험은 결함을 포함한 21장의 이미지에 대해 제안한 알고리즘을 적용하여 정확성 측면에서 확인한 결과, 5장의 이미지에 대해서만 정확한 결함의 위치를 검출해 내었고 나머지는 결함의 위치를 제대로 찾지 못하였다.

5. 결론 및 향후 연구방안

본 논문에서는 생분해성 용기 제작과정에서 발생하는 용기 내부 흑점 및 테두리 결함을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 최대한 빠른 시간 내에 영상내의 결함을 검출해내기 위해 전처리 과정 없이 결함을 검출하는 알고리즘을 제안 하였고, 이를 직접 구현하여 알고리즘을 평가 하였다. 구현된 시스템을 이용한 실험 결과, 내부면 흑점 결함의 경우는 거의 모든 결함을 검출 하는 것을 알 수 있었다. 검출 되지 않은 결함의 경우에는 영상획득 과정에서 주변의 정상적인 영역과 결함 간의 차이가 매우 미세하여 제안한 알고리즘으로 검출하지 못하였다. 테두리 흑점의 경우 제안한 방법으로는 결과가 좋지 못하였는데 이는 영상 획득과정에서 좀더 일관되고 결함이 강조된 영상을 획득 하거나 정규화 과정을 거치면 해결될 것으로 판단된다.

6. 참고 문헌

[1] 권인소, 이왕헌, “머신 비젼 연구의 동향과 전망”, 제어·자동화·시스템공학회지, 제9권, 제1호, p30-34, 2003

[2] “생분해성 전분용기 및 그 제조 방법”, 공개특허 10-2006-0004493

[3] M.A.Coulthard, “Image processing for automatic surface defect detection”, Image Processing and its Applications, Third International Conference on, p192-196, 1989

[4] Chi-Jie Lu, Du-Ming Tsai, “Defect inspection of patterned thin film transistor-liquid crystal display panels using a fast sub-image-based singular value decomposition”, International Journal of Production Research, Vol. 42, No. 20, p4331-4351, 2004

[5] Jae-Young Lee, Suk-in Yoo, “Automatic detection of region-mura defect in TFT-LCD”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No. 10, p2371-2378, 2004

[6] Woo-Seob Kim, Dong-Min Kwak, Young-Chul Song, Doo-Hyun Choi, Kil-Houm Park, “Detection of Spot-Type Defects on Liquid Crystal Display Modules”, Key Engineering Materials, Vols. 270-273, p808-813, 2004

[7] 박종성, 정규원, 강찬구, “비젼시스템을 이용한 LCD용 편광 필름의 결함 검사에 관한 연구”, 한국공작기계학회, p164-169, 2002

[8] Qingzhong Li, Maohua Wang, Weikang Gu, “Computer vision based system for apple surface defect detection”, Computer and Electronics in Agriculture, 36, p215-223, 2002

[9] 엄기복, “종이컵 내면 불량 검사를 위한 영상처리 알고리즘의 구현”, 동국대학교 대학원, 2002