

타포린 원단의 함침 자동 검출 시스템 개발

오 춘 석[†] · 이 현 민^{††}

요 약

머신 비전 시스템은 품질의 우수성과 결함 없는 제품에 대한 소비자 요구의 증가로 그 필요성이 확대되고 있다. 특별히 타포린(Tarpaulin) 제조 공정에서 함침의 발생 여부를 자동 검사하는 것은 중요한 문제이다. 본 논문에서는 모폴로지클 사용된 함침 검사는 수행하였다. 모폴로지클을 이용한 변환들 중의 하나인 톱 햇(Top hat) 변환을 사용하였으며, 이 변환은 원단하게 불균일한 배경에서 급격한 변화를 기지는 물체를 추출하는데 탁월한 성능을 가진다. 함침 검출을 위한 자동검사 시스템이 라인 스캔 카메라부, 조명부, 영상 획득부, 구동장치부로 나누어 개발되었다. 이 시스템은 대상 물체가 최대 20m/분 이동하는 중에 0.1mm~0.5mm 크기의 핀홀 결함을 검출할 수 있는 우수한 성능을 갖는다.

Automatic Visual Inspection System Development for Tarpaulin's Pinholes Defect Detection

Choonsuk Oh[†] · Hyun-Min Lee^{††}

ABSTRACT

Driving the need for machine vision system is growing consumer demand for quality and defect-free products. Especially it is the most important in tarpaulin's manufacturing process achieves automatically by machine vision instead of by man vision. In this paper pinholes detection is performed by using morphology algorithms. Top hat transform is one of morphology applications. This transform take high performance of defect detection in the case that unexpected changes occur in some non-uniform background. For pinholes defect, automatic visual inspection system has been developed, which was composed by a line-scan camera, illumination, a frame grabber, a motor driver and control units. This system has excellent capacity to detect pinholes to the 0.1 mm by 0.5 mm in size and to work in moving objects by maximum 20 m/min in speed.

1. 서 론

타포린은 섬유 직물에 PE나 PVC 코팅을 한 것으로 각종 임시 구조물의 외피나 광고 재료, 구멍 장비 등에 사용된다. 타포린 제조 공정에서 많은 종류의 결함이 발생할 수 있다. 생산 환경으로부터 발생하는 오물, 잡물 유입도 있을 수 있으며 공정 자체 문제에서 발생하는 가소제 드롭이나, 코팅 불균일, 함침 발생 등이

있을 수 있다. 타포린의 용도에 따라 허용할 수 있는 결함의 종류나 정도에 차이가 있겠지만 여기서 다루고자 하는 함침은 구멍 장비의 재료로 사용될 경우에는 치명적인 것이 될 수 있다. (그림 1)은 함침의 실제 영상의 예를 보여준다.

함침은 PVC나 PE 압착 코팅 과정에서 발생하게 된다. 직물 내에 있던 기포가 압착 과정에서 코팅물 속으로 침투한 후, 타포린에 가해진 열에 의해 터짐으로써 생기게 된다.

(그림 2)는 함침을 중심으로 한 국소 영역의 명암도 분포를 보여준다. 타포린 함침 검사 장비에서 실제로

† 중신회원 · 선문대학교 전자정보통신공학부 교수

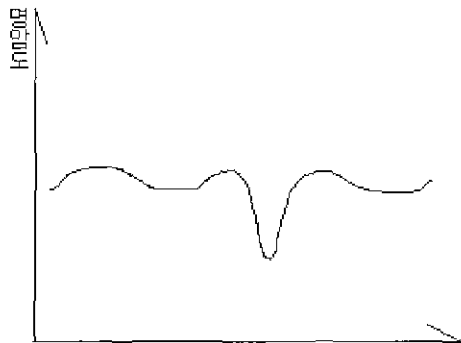
†† 준 회 원 · 선문대학교 대학원 전자공학과

논문접수 : 2000년 4월 4일, 심사완료 : 2000년 5월 25일

검출해야 할 부분은 (그림 2)의 그래프에서 보여지는 깊게 패인 골 부분이다. 본고에서는 모폴로지를 이용하여 간단하게 함침을 추출하고자 한다.



(그림 1) 원 내의 타포린 함침 영상



(그림 2) 함침 부근의 명암도 분포

2. 모폴로지

Matheron과 Serra를 주 주장자로 하는 모폴로지는 1960년대 후반에 개발되기 시작하여 영상 분석에서 한 축을 형성하고 있다[1, 2]. 모폴로지는 물체의 모양을 피연산자로 하는 비선형 연산자의 대수에 기반하며 여러 면에서 컨벌루션의 선형 대수 체계를 대신한다. 모폴로지는 진저리니 물체의 모양을 이용한 영역 구분 그리고 물체 특징화 같은 여러 작업에서 표준적인 접근들보다 더 잘 빠르게 동작한다. 모폴로지 연산은 다음의 목적을 위해 주로 사용된다.

- 영상 전처리
- 물체 구조 강화
- 배경으로부터의 물체 분리
- 물체의 정량적인 묘사

모폴로지 연산은 이진 모폴로지 연산과 256 레벨의 명암값 모폴로지 연산으로 나누어진다. 명암값 모폴로지 연산은 이진 모폴로지 연산의 확장이다[5, 6].

2.1 이진 모폴로지

모폴로지 연산의 근간을 이루는 연산은 2가지가 있다. 하나는 Dilation이라 하여 보통 팽창 연산이라 부르는 것이고, 다른 하나는 Erosion이라 하여 침식 연산이라 부르는 것이다

2.1.1 팽창연산(Dilation)

이 연산은 벡터합을 이용하여 두 화소 집합을 결합한다. 연산 기호는 \oplus 로 표기하며 정의는 다음과 같다.

$$X \oplus B = \{p \in \epsilon^2 : p = x + b, x \in X \text{ and } b \in B\} \quad (1)$$

여기서 X 는 이진 영상의 화소값이 1인 벡터의 집합이며 B 는 구조 요소의 집합이다. ϵ 은 정수 집합을 나타내며 이의 제곱은 정수 좌표 집합을 나타낸다. 팽창 연산의 결과는 X 와 B 의 각 원소들끼리의 가능한 모든 벡터합이 된다

2.1.2 침식연산(Erosion)

이 연산은 원소끼리의 맥터차를 이용해 두 화소 집합을 결합하는 연산이며 팽창 연산의 짝을 이루는 연산이다

$$X \ominus B = \{p \in \epsilon^2 : p + b \in X \text{ for every } b \in B\} \quad (2)$$

이 식은 어떠한 모든 점이 테스트된다는 것을 알려준다. 침식 연산의 결과는 모든 가능한 $p + b$ 화소가 집합 X 의 원소가 되는 p 화소들의 집합임을 알 수 있다

2.1.3 열림연산(Opening)

팽창 연산과 침식 연산은 역변환 관계가 아니기 때문에 하나의 영상에 두 연산이 적용되면 원래의 영상이 얻어지는 것이 아니라 더 단순화된 영상이 얻어진다. 그리고 어느 연산이 먼저 적용되느냐에 따라 결과

영상이 달라진다.

열림(Opening) 연산은 침식 연산을 행한 후에 팽창 연산을 행하는 것이다. 원래 이미지를 X라 하고 구조 요소를 B라 하면 열림 연산은 다음과 같다.

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

영상 X가 구조 요소 B를 가지고 열림 연산을 수행했을 때에 변화가 없으면 B에 대해서 열려있다고 한다

등방성 구조 요소를 사용한 열림 연산은 영상에 적용되었을 때에 구조 요소보다 작은 부분들을 깎아내서 영상의 물체를 단순하게 만드는 효과가 있다

열림 연산이 특정한 구조 요소 B에 의해 X에 대해 행해진 결과에 대해서 한번 더 B를 가지고 열림 연산을 행해도 영상에는 변화가 없다.

$$X \circ B = (X \circ B) \circ B \quad (4)$$

2.1.4 닫힘연산(Closing)

닫힘(Closing) 연산은 팽창 연산을 행한 후에 침식 연산을 행하는 것이다. 원래 이미지를 X라 하고 구조 요소를 B라 하면 열림 연산은 다음과 같다.

$$X \cdot B = (X \oplus B) \ominus B \quad (5)$$

영상 X가 구조 요소 B를 가지고 닫힘 연산을 수행했을 때에 변화가 없으면 B에 대해서 닫혀있다고 한다.

등방성 구조 요소를 사용한 닫힘 연산은 영상에 적용되었을 때에 물체의 일부분이 아닌 구조 요소보다 작은 부분들을 채워 넣어서 영상의 물체를 단순하게 만드는 효과가 있다.

닫힘 연산이 특정한 구조 요소 B에 의해 X에 대해 행해진 결과에 대해서 한번 더 B를 가지고 닫힘 연산을 행해도 영상에는 변화가 없다.

$$X \cdot B = (X \cdot B) \cdot B \quad (6)$$

2.2 명암값 모폴로지

최대 및 최소 연산을 통해서 이진 모폴로지를 256레벨의 명암값 모폴로지로 확장할 수 있다[3]

입의 명암 영상은 좌표 x, y 와 화소의 밝기 z를 통해 3차원 공간상에 나타낼 수 있다. 이렇게 했을 경우 물체의 각 좌표에서의 밝기값 z는 물체의 표면이 된다. 물체의 표면을 다음과 같이 정의한다. A는 영상

의 좌표와 밝기를 나타내는 3차원 벡터이다.

$$T[A] = \max \{z, (x, y, z) \in A\} \quad (7)$$

위의 식에서 $(x, y) \rightarrow z$ 인 대응 f를 구할 수 있다. 그리고 물체가 위치하는 좌표 (x, y) 의 집합을 F로 정의한다. 그러면 곧 물체의 표면의 (x, y) 평면에 대한 그림자를 다음처럼 정의한다. F는 A의 xy 평면에 대한 프로젝션 집합이다.

$$U[f] = \{(x, y, z) \in F \times \varepsilon, z \leq f(x, y)\}$$

2.2.1 명암값 팽창연산

앞에서 얻은 그림자의 이진 팽창 연산의 결과를 얻고 그것의 표면을 위해 256레벨의 명암값 팽창 연산을 정의한다.

$$f \oplus k = T\{U[f] \oplus U[k]\} \quad (9)$$

이러한 정의를 실제로 구현하기 위한 정의를 다시 하도록 한다. 이 때에 최대값 획득 연산을 사용하게 된다. 정의는 다음과 같다.

$$(f \oplus k)(x) = \max \{f(x-z) + k(z), z \in K, x-z \in F\} \quad (10)$$

2.2.2 명암값 침식연산

256레벨의 명암값 침식연산은 동일한 방법으로 그림자 집합을 취한 다음에 이진 침식 연산을 수행한다.

$$f \ominus k = T\{U[f] \ominus U[k]\} \quad (11)$$

마찬가지로 실제 구현을 위한 정의는 다음과 같다.

$$(f \ominus k)(x) = \min \{f(x+z) - k(z), z \in K\} \quad (12)$$

2.2.3 열림 및 닫힘연산

명암 영상의 열림 및 닫힘 연산은 이진 영상의 경우와 마찬가지로 팽창 및 침식 연산이 동일한 방법으로 조합되어 구성된다.

3. 합침의 추출

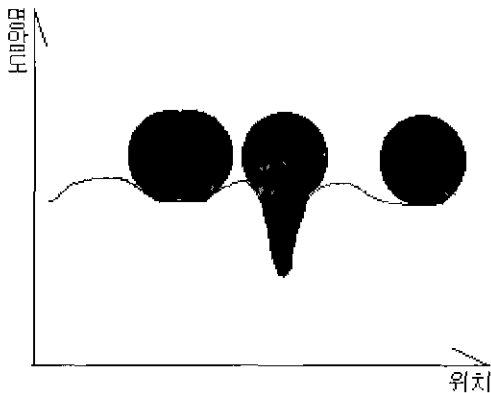
합침을 추출하기 위해서 여기서는 모폴로지의 대표적인 응용 변환인 탑 햇(Top hat) 변환을 수행한다[4]. 획득 영상에서 타포린을 배경이라고 보고 합침을 물체라고 보았을 때에 타포린 영상은 타포린 내의 직물 배

문에 균일하지가 못하다. 그러한 가운데서 합침을 찾아내는 것은 모폴로지를 이용하면 상당히 용이하다.

본 논문에서는 검출하려는 물체가 배경보다 어두우므로 탑 햇(Top hat) 변환의 변형 변환을 사용하였으며 다음과 같이 정의하였다. Y는 결과 영상이며, X는 입력 영상, K는 구조 요소이다.

$$Y = (X \cdot K) - X \quad (13)$$

(그림 3)은 구 형태의 구조 요소를 사용하여 명암 영상에 열림 연산을 수행하는 과정을 보여준다. 합침이 존재하는 부분인 깊게 패인 골(narrow)이 채워지는 것을 볼 수 있다.



(그림 3) 구(Ball) 구조요소에 의한 타포린 명암도의 열림 연산

식 (13)에 의해서 열림 연산이 수행된 결과 영상에서 원래 영상을 빼면 합침 부분을 추출할 수 있다.

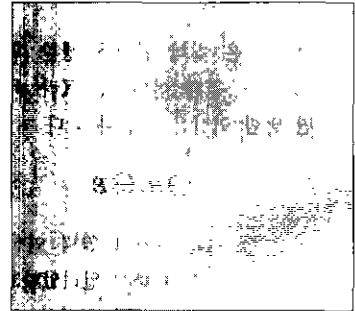
4. 실험 구성

실험은 타포린 영상을 얻기 위한 각종 장치와 타포린의 이동을 위한 장치 그리고 컴퓨터 등을 이용해 이루어졌다.

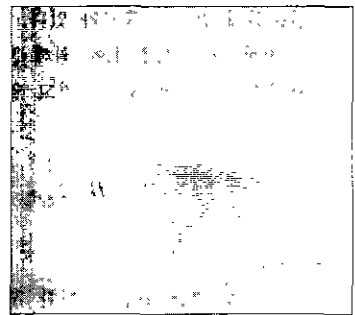
사용된 컴퓨터는 인텔의 펜티엄3(450MHz) CPU를 사용하는 IBM 호환 컴퓨터이며, 운영체제는 비전 보드가 Windows NT만을 지원하는 관계로 이를 사용하게 되었다.

4.1 장치 구성

실험 장치는 실제 생산 현장과 유사하게 꾸미게 된다. 동력원으로는 LG 산전의 직류 모터(FMD-E40EA)



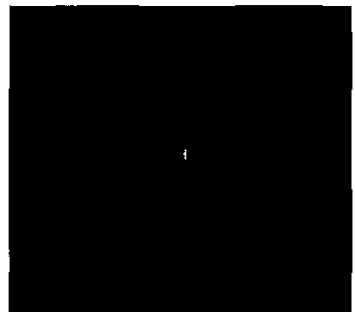
(a) 원래 영상 X



(b) 열림 연산 X * K



(c) (X * K) - X



(d) (그림 4(c))의 이진화

(그림 4) 실제 합침 추출 프로세스의 예

와 드라이버(FDD-106PD)가 사용되어 속도 제어를 가능하게 하였다. 타포린을 감기 위한 롤 및 기구들은 외주 제작하였다

카메라는 DALSA에서 제조된 SP-12-02K40-10E 모델을 사용하였다. 부착된 렌즈는 아남 정밀에서 나온 50mm NF-mount 렌즈이며 영상 획득에 이용된 비전 보드는 Matrox사의 Meteor2/dig/2/L이다.

조명은 한라 옵티컬 엔지니어링의 광섬유 가이드를 가지는 할로겐 등을 사용하였다.

4.2 장치 설정

타포린의 이동 속도는 현장의 생산 속도가 평균 분당 15m이며 최대 속도가 분당 20m이므로 이에 맞추어 분당 20m로 설정하였다. 이 경우 초당 33.4cm를 이동하게 된다.

본 실험에서 원하는 영상의 해상도는 250DPI이다. 그러므로 그에 맞추어 카메라 렌즈를 조정하는 것이 필요하다. 사용된 라인 스캔 카메라의 CCD 셀의 크기는 $14\mu\text{m} \times 14\mu\text{m}$ 이며 픽셀 수는 2048이다. 검출하고자 하는 함침의 최소 크기가 $200\mu\text{m}$ 이므로 2 픽셀을 최소 크기 $200\mu\text{m}$ 에 대응시키려고 하면 $200 \div 14 \div 2 = 7.14$ 배율로 설정하면 된다. 이 때 획득된 영상이 지배할 수 있는 실제 영역의 폭은 $2048 \times 14\mu\text{m} \times 7.14 = 204.8\text{mm}$ 가 된다.

카메라의 스캔 속도율을 어떻게 설정해 주느냐에 따라서 얼마만큼 길이의 타포린 영상을 획득하느냐를 결정하게 되므로 중요하다. 역으로 스캔 속도율을 어떻게 설정하느냐가 획득 영상의 세로 방향 왜곡을 결정하게 된다. 그리고 라인 스캔 카메라가 노출 제어 모드로 작동하지 않은 경우 영상의 밝기는 스캔 속도율에 반비례하게 된다.

타포린의 이동 속도가 초당 33.4cm이므로 가로 : 세로의 비율이 1 : 1인 영상을 얻기 위해서 타포린 원단의 이동 속도를 원하는 라인당 실제 간격으로 나누어 스캔 속도율 결정한다. 본 실험에서 사용된 원단의 이동 속도가 0.334%이고 원하는 라인당 간격은 $100\mu\text{m}$ 이다. 그러므로 스캔 속도율은 $0.334\% \div 100\mu\text{m} = 3.34\%$ 이다

카메라의 노출 제어 모드는 사용하지 않았으며 영상

의 밝기는 조명에만 의존하였다. 제작한 실험 장비의 사진이 (그림 5)에 있다.



(그림 5) 실험 장치

4.3 구조 요소의 선택

실험에서 사용된 샘플 영상은 250DPI의 해상도를 가진다. 그러므로 검출하려고 하는 함침의 직경이 0.2mm부터 0.5mm까지임을 감안하여 모폴로지 연산에서 사용할 구조 요소를 반경 10화의 원으로 결정할 수 있다.

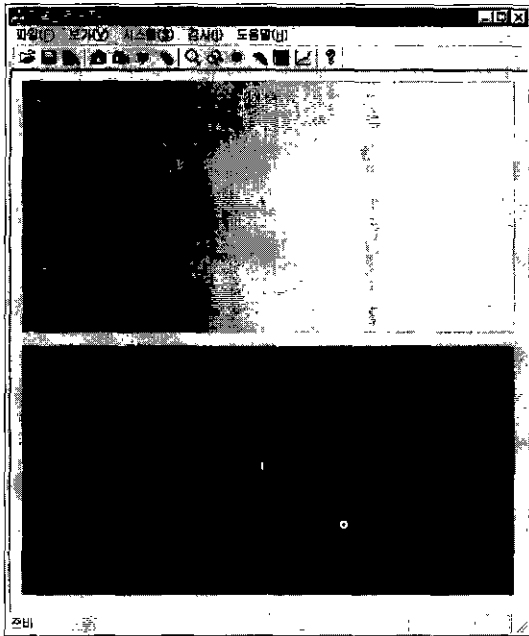
구조 요소의 선택에 있어서 구조 요소를 임의의 다각형으로 하였을 경우 모폴로지 연산의 복잡도가 선형 컨벌루션과 같다는 특성 때문에 계산량이 엄청나게 증가한다는 문제가 있다.

그리고 이미지 획득에 사용한 장치가 라인 스캔 카메라이므로 상당히 정밀한 컨베이어 시스템이 아니면 타포린의 이동 속도가 균일하다는 것을 보장할 수 없다. 그러므로 항상 수평 성분만 고려할 수 있도록 구조 요소를 선택해야 한다

본 실험에서는 그러한 요건을 만족하도록 하기 위해 1화소의 높이에 10화소의 너비를 가지며 화소값이 1인 구조 요소를 선택하였다[7].

5. 실험 결과 및 고찰

샘플들을 사용하여 직접 검사 루틴을 실행시킨 결과 대상 크기였던 0.2mm부터 0.5mm 크기의 함침은 모두 추출할 수 있었다.



(그림 6) 함침 추출 데모 프로그램

함침 추출 프로세스를 하는 동안 주어진 모폴로지 연산만큼 가지고는 (그림 4(c))에 보이는 결과를 모두 얻을 수는 없었다. 이는 함침의 깊이와 관련되는 문제로 함침의 깊이가 얇을 경우 열림 연산을 수행한 결과에서 원 영상을 뺀 때 이진화에서 결과를 얻기 위한 충분한 밝기가 나오지 않는다. 그래서 본 처리에서는 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)를 수행하여 밝기 분포를 보정하였다[8].

평활화 수행 후 이진화한 결과에 깨소금 잡음이 발생하는 경우가 많았다. 이 때문에 이진화 후의 결과에 이진 열림 연산을 수행하여 잡음을 제거하였다[6].

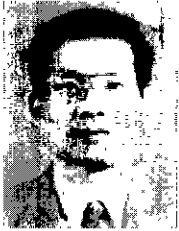
모폴로지를 사용한 함침 검사에서 검출할 함침의 크

기를 결정하는 문제는 프로세스의 수행 시간과 밀접한 관계를 가지므로 수행 시간을 최적화하기 위해 검출하려는 함침의 크기에 맞추어 결정하여 같은 크기의 함침을 검출하더라도 최소의 화소수로 할 수 있도록 구조 요소의 크기를 최대한 작게 할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

탐 햇(Top hat) 변환 이외에 평활화와 이진 열림 연산을 사용하여 수행 시간이 상당히 증가하였다. 실제 생산 공정에서는 수행 시간이 관건인 경우가 많으므로 이의 개선을 위해 모폴로지 연산과 스무딩(smoothing)을 동시에 처리하여 잡음을 제거할 수 있는 알고리즘의 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] G. Mathcron, *Random Sets and Integral Geometry*. Wiley, New York, 1975.
- [2] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, London, 1982
- [3] R.M. Haralick and L.G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Volume I, Addison-Wesley, Reading, MA, 1992
- [4] F. Meyer, *Contrast Feature Extraction*, In J-L Chermant, editor, *quantitative Analysis of Microstructures in Material Science, Biology and Medicine*, Riederer Verlag, Stuttgart, Germany, 1978, Special issue of *Practical Metallography*.
- [5] Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision 2nd Ed.*, Ch 11, pp 559-575, Thomson 1998
- [6] Henning Bassmann and Philipp W. Besslich, *Ad Oculos*, Ch 8, pp 217-238, Thomson 1995.
- [7] Harley R. Myler and Arthur R. Weeks, *Computer Imaging Recipes in C*, Ch 9, pp.107-135, Prentice Hall 1993
- [8] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. *Digital Image Processing*, Ch 4, Addison Wesley, 1992.



오 춘 석

e-mail . csoh@omcga.sunmoon.ac.kr

1980년 서강대학교 전자공학과
졸업(학사)

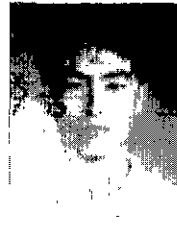
1986년 Marquette University
컴퓨터공학과(석사)

1992년 University of Arizona
컴퓨터공학과(박사)

1980년~1993년 전자통신연구원 선임연구원

1993년~현재 선문대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야 : 화상처리, 자동검사, 광학시스템, 신호처리



이 현 민

e-mail . raster@omcga.sunmoon.ac.kr

2000년 선문대학교 전자정보통신
공학부졸업(공학사)

2000년~현재 선문대학교 전자정
보통신공학석사과정

2000년~현재 (주)비전택 연구원 근무

관심분야 : 머신비전, 생체인식, 운영체제