

시각 장치를 이용한 직물 결함 검사에 관한 연구

경계현, 고명삼, 이상욱, 이범희  
 서울대학교 공과대학 제어계측공학과

A Study on The Visual Inspection of Fabric Defects

Kye Hyun Kyung, Myoung Sam Ko, Sang Uk Lee, Bum Hee Lee  
 Dept. of Control & Instrumentation Eng. College of Engineering.  
 Seoul National University

ABSTRACT

This paper describes an automatic visual inspection system for fabric defects based on pattern recognition techniques. The inspection for fabric defects can be separated into three sequences of operations which are the detection of fabric defects[1], the classification of figures of fabric defects, and the classification of fabric defects. Comparing projections of defect-detected images with the predefined complex, the classification accuracy of figures of fabric defects was found to be 95.3 percent. Employing the Bayes classifier using cluster shade in SGLDM and variance in decorrelation method as features, the classification accuracy of regional figure defects was found to be 82.4 percent. Finally, some experimental results for line and dispersed figures of fabric defects are included.

1. 서론

직물 생산 공정에서 직물 결함의 발견 및 분류작업은 반복적이면서도 숙련성을 필요로 하는 복잡한 작업으로 국내에서는 전 작업이 숙련공에 의해 수행되고 있어 일관성과 신뢰성의 길여를 수반한다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 컴퓨터 비전 기술과 패턴 인식의 방법을 사용하여 직물 결함 검사를 수행하였다.

본 연구에서 직물 결함 검사는 계층 구조에 의한 패턴 분류(pattern classification) 기법으로 수행하였는데 그 구조는 그림1.과 같다. 즉 먼저 직물 결함을 검출하고, 검출된 결함을 그 결함의 형태에 따라 분류(classify)한 뒤, 마지막으로 결함의 종류를 판정하는 방법이다. 직물 결함의 형태는 수직선(vertical line) 형태, 수평선(horizontal line) 형태, 면(region) 형태 및 흩어진(dispersed) 형태의 네 종류로 분류하였다.

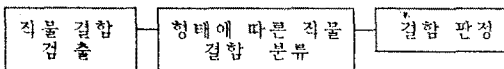


그림1. 직물 결함 검사 계층 구조

직물 결함 검출은 직물이 영상 처리 측면에서 고해상도의 texture이므로 texture 해석 방법으로 수행하였다.[1] 즉, spatial gray level dependence method(SGLDM)[2], generalized co-occurrence matrix(GCM)를 사용한 texture 해석 방법[3], Law의 texture 측정 방

법[4], decorrelation 방법[5] 등의 컴퓨터 비전 기법 직물 결함에 적용하여 학습(learning)에 의해 직물 결함 검사에 유용한 알고리즘을 찾고, 그 알고리즘들을 이용하여 각 window로부터 추출한 feature 값들을 본포를 갖는다는 가정하에서 간단하면서도 효율적인 패턴 인식 방법으로 직물 결함을 검출하였다. 검출된 결함의 형태에 따른 분류는 결함의 검출된 모든 이루어진 영상에서 결함이 포함되었다고 판단된 window 영역에는 '1'을 할당하고, 결함이 포함되지 않은 정상 직물로 판단된 window 영역에는 '0'을 할당하여 얻어진 이진 평면을 X와 Y축으로 부사시켜 휴리스틱(heuristic)한 방법으로 수행하였다.[6] 마지막으로 각 결함의 형태 내에서 직물 결함의 결정은 다음의 세가지로 나누어 수행하였다. 첫번째, 면형 결함의 분류는 직물 결함 검출에 사용한 feature와 Bayes 분류기를 사용하여 수행하였으며, 두번째, 흩어진 형 결함의 분류는 형태에 따른 결함 분류형과 같은 방법으로 수행하였다. 마지막으로 수직선 형태와 수평선 형태의 분류는 이 형태의 결함들이 외견상으로는 분류가 극히 힘들어 영상 처리 방법은 이 형태의 결함을 분류하는데 부적당한 것으로 판단되었다.

2. 형태에 따른 직물 결함 분류

직물의 결함은 그 형태에 따라 수직선형, 수평선형, 면형, 그리고 흩어진 형의 네 종류로 분류할 수 있다. 그림2.는 각 형태에 따른 직물 결함의 예이다.

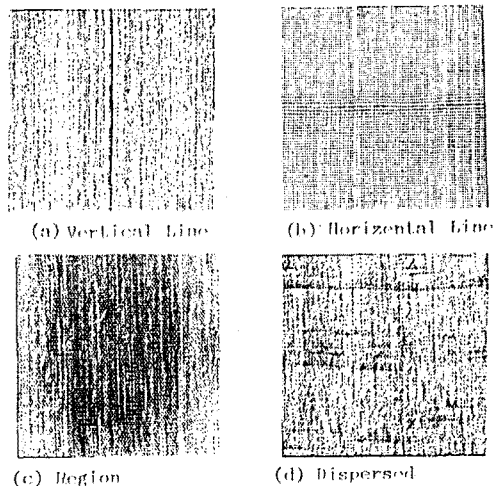


그림2. 각 형태에 따른 직물 결함



3. 직물 결함 분류

계측 구조에 의한 직물 결함 검사의 마지막 단계는 검출된 결함을 형태에 따른 네 가지 부류—수직선형, 수평선형, 변형, 흩어진형—로부터 구체적인 각 결함으로 결정하는 일이다.

3.1 선(수직선, 수평선)형 결함의 분류

이들 두 형태의 각 종류의 결함들은 그림4.에 나타난 것과 같이 첫째, 같은 종류의 결함들도 결함의 정도에 따라 그 형태나 크기가 변하고 둘째, 서로 다른 종류의 결함들 사이에 많은 유사성을 보여 의견상으로 그 분류가 부적당한 것으로 판단된다.

3.2 변형 결함의 분류

변형 결함의 분류는 패턴 인식 방법으로 수행하였다. 변형 결함 분류에 사용한 feature는, 이 형태의 각 결함들이 결함의 밝기 분포와 결함 내의 직물 조직에서 차이를 갖게되며, 이와 같은 특징들은 직물 결함 검출에서 사용한 SGLDM과 decorrelation 방법의 각 feature들에 의해 묘사될 수 있으므로 이 두 방법의 여러 feature들을 사용한 학습을 통해 결정하였다. 그 결과는 SGLDM의 cluster shade와 decorrelation의 본산의 두 feature로 구성된 2차원의 feature 벡터가 변형 결함 분류에 효과적인 것으로 판단되었다.

패턴 인식을 위한 분류기는 Bayes 분류기를 사용하였는데 Bayes 분류기는 잘못 분류할(misclassification) 확률을 극소화(minimize)하는 것을 목적으로 하는 분류기이다. Bayes 분류기의 구분 함수는 (1)식으로 표시될 수 있다.

$$G_i(X) = \log g_i(X) = \log P(X | w_i) + \log P(w_i) \quad (1)$$

식(1)에서 X는 feature 벡터를 나타내며,  $w_i, \dots, w_c$ 는 c개의 부류(class)를 나타낸다.

이 때 식(1)에서  $P(X | w_i)$ 가  $N(\mu_i, \Sigma_i)$ 의 정규 분포를 갖는다고 가정하고 a priori 확률이 각 직물 결함에 대해 같다고 가정하면 (1)식은 (2)식으로 표현될 수 있다.

$$G_i(X) = -\frac{1}{2}(X-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1}(X-\mu_i) - \frac{1}{2} \log |\Sigma_i| \quad (2)$$

식(2)에서  $\mu_i$ 와  $\Sigma_i$ 는 각 직물 결함으로부터 추출된 feature의 평균과 covariance matrix를 나타내며 maximum likelihood estimator(MLE)로 추정하였다.

변형 결함의 분류는 검출된 결함으로부터 추출한 cluster shade와 본산의 두 feature로 feature 벡터를 구성하고 식(2)에 따라 구분 함수  $G_i(X), \dots, G_c(X)$ 를 계산하여 가장 큰 구분 함수 값을 갖는 직물 결함으로 검출된 결함을 분류하는 방법으로 수행하였다.

표3.에는 이와 같은 방법으로 수행한 변형 결함 분류의 결과를 나타내었는데, 약 82.4%(14/17)의 정확도로 분류가 이루어짐을 알 수 있다.

표3. 변형 직물 결함 분류 결과

		computer classification										
v e r i f i e d	c l a s s i f i c a t i o n	부 류	결 자	오 염	소 기 자	종 사 이 자	저 타 자	포 제	계 결	지 합 불 량	위 사 결	계
		부 직	1		1		1		1		1	
		결 자		2								2
		오 염			4	1						5
		소 기 자				1						1
		종 사 이 자					1					1
		저 타 자						1				1
		포 제							1			1
		계 결								1		1
		지 합 불 량									1	1
		위 사 결										1
		계	1	2	4	2	2	1	2	1	1	17

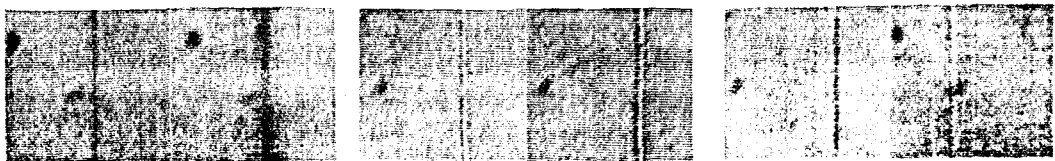
3.3 흩어진형 결함의 분류

흩어진형 결함의 분류는 이 형태의 결함들을 다시 그림5.와 같이 짧은 선(small line), 점 선(dashed line), 그리고 흩뿌린 선(dispersed line)형의 세 가지로 분류한 뒤, 검출된 결함을 이 세 형태 중의 하나로 분류하는 방법으로 수행하였다. 그 분류 방법은 형태에 따른 직물 결함 분류 방법과 같다. 흩어진형 결함의 분류를 위한 complex는 다음의 네 가지 특징들로 구성된다.

- Pmax : 무사(projection)의 최대 크기(magnitude)
- X#localmax : 크기 2이상의 X축 무사의 갯수
- Y#localmax : 크기 2이상의 Y축 무사의 갯수
- # group : 무사 중 단절된 그룹(group)의 수

표4.는 complex를 정의하기 위하여 흩어진형 결함의 세 가지 종류의 형태에 대한 무사의 특징들을 나타낸 것으로, 이것으로부터 구한 complex는 다음과 같다. 이 때 XOR는 exclusive-OR를 의미한다.

- 짧은 선(small line) 결함 ;  
[Pmax=<High][X#localmax XOR Y#localmax=1][# group=2]
- 점 선(dashed line) 결함 ;  
[X#localmax XOR Y#localmax=1][# group=More than 2]
- 흩뿌린 선(dispersed line) 결함 ;  
[X#localmax=More than or equal to 2][Y#localmax=More than or equal to 2]

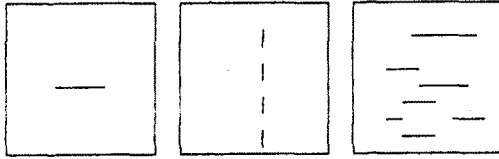


(a) 종사오

(b) 종사절

(c) 종사이

그림4. 디지털이진 선형 직물 결함의 예



(a) small line (b) dashed line (c) dispersed line

그림 5. 흩어진 형 결함의 재분류

표 4. 흩어진 형 결함 분류를 위한 부사의 특징 비교

High : 부사가 가질 수 있는 최대 크기  
 ° : don't care

	Pmax	X#localmax	Y#localmax	# group
small line	Less than High	1	0	2
		0	1	
dashed line	°	1	0	More than two
		0	1	
dispersed line	°	More than or equal to two	More than or equal to two	°

표 5. 는 입력 영상으로부터 구한 부사를 위에서 정의한 complex에 대입하는 방식으로 수행한 흩어진 형 직물 결함 분류 결과 결과를 나타내며, 그 결과는 8개의 결함을 정확하게 정의된 형태로 분류함을 볼 수 있다. 그런데 흩어진 형 직물 결함 분류를 이와 같이 다시 그 형태를 재분류하는 방식으로 수행한 이유는 선형 결함과 마찬가지로 각 결함들 사이에 많은 유사성이 존재하고, 또 같은 결함 간에도 상대적인 많은 차이가 존재하기 때문이다.

표 5. 그외의형 직물 결함 분류 결과

v e r i f i e d c l a s s	computer classification			
	small line	dashed line	dispersed line	total
small line	2	0	0	2
dashed line	0	1	0	1
dispersed line	0	0	5	5
total	2	1	5	8

4. 결 본

시각 장치를 사용한 직물 결함 검사에 관해 연구하였다. 시각 직물 결함 검사는 직물 결함 검출, 결함의 형태에 따른 직물 결함 분류, 그리고 마지막으로 결함 판이들 중 결함 검출은 최고 98.7%의 인식율을 나타냈으며[1], 일종의 preicate인 complex를 이용한 직물 결함의 형태 분류는 95.3%의 정확성을 나타냈다. 마지막으로 결함 판정은 먼 형 결함의 경우 82.4%의 인식율을 나타냈으나, 그 밖의 형태를 갖는 결함의 판정은 결함의 분류가 거시적으로 보이는 직물의 외관만으로는 불가능하여, 영상 처리 방법으로는 적당하지 않은 것으로 판단된다.

• 참고 문헌 •

- (1) 강계현, 고명삼, 이삼욱, 이범희, "시각 장치를 이용한 직물 결함 결함 인식에 관한 연구," 대한전기학회 창립 40주년 기념 학술 대회 논문집.
- (2) R.M.Haralick, K.Shanmugam, and Its'hak Dinstein, " Textural Features for Image Classification," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol.SMC-3, No.6, pp. 610-621, nov. 1973.
- (3) L.S.Davis, S.A.Johns, and J.K.Aggarwal, " Texture Analysis Using Generalized Co-occurrence Matrices," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.PAMI-1, No.3, pp.251-258, July 1979.
- (4) O.D.Faugeras and W.K.Pratt, " Decorrelation Methods of Texture Feature Extraction," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.PAMI-2, No.4, pp.323-332, July 1980.
- (5) M.Pietikainen, A.Rosenfeld, and L.S.Davis, " Experiments with Texture Classification Using Averages of Local Pattern Matches," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol.SMC-13, No.3, pp.421-426, May/June 1983.
- (6) I.N.Kanal and A.Rosenfeld, Progress in Pattern Recognition, North-Holland Publishing Company, 1981.