

一种方向性纹理织物疵点的检测方法

刘伟斌¹, 郑力新², 周凯汀¹

(1. 华侨大学 信息工程与科学学院, 福建 厦门 361021;

2. 华侨大学 工学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 首先,利用 Hough 获取织物的纹理主方向及其正交方向,由 Gabor 滤波器沿着这两个方向分别进行滤波,取模值图像为输出;然后,应用最大熵对两个输出模值图像进行二值化分割,融合这两个分割后的图像并进行形态学处理和去除孤立点;最后,得到疵点图像检测结果.实验选取 5 种织物疵点进行验证,结果表明:该方法针对不同纹理方向的织物都有良好的检测效果,且滤波器数量少,无需事先学习.

关键词: 织物疵点; Hough 变换; Gabor 滤波器; 最大熵

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

织物疵点检测的方法有很多,其中与人视觉功能相似的小波和 Gabor 滤波器是近年来提出的两个重要的方法,两者都有多尺度、多分辨率的特性^[1],适用于针对不同特征的疵点检测. Gabor 滤波器作为一种方向性滤波器,在时域和频域都有着很好的局部性,适合用于具有方向的纹理检测^[2-5]. 由于布匹纹理有斜纹理和水平垂直纹理两大类,因此,在纹理方向不同的情况下,用一个方向的 Gabor 滤波器将导致检测结果不佳,而用多个方向的 Gabor 滤波器进行滤波则会降低算法的实时性. 最好的解决方法是让滤波器一开始就获得纹理方向, Hough 变换便可以解决这个问题. Hough 变换在织物纹理分析中,可针对已有的织物疵点图像,用于纹理的校正^[6]和测量织物纹理的能量主方向^[7]. 本文提出一种针对方向性纹理的织物疵点检测方法.

1 确定织物纹理主方向

Hough 变换是一种线性变换,其基本思想为点与线对应关系,是图像空间里的直线对应参数空间里的点^[7]. 在织物图像中,可以将织物纹理看作是一条条相互平行的直线,而直线的解析式为

$$y = ax + b. \quad (1)$$

采用参数空间表示形式 (ρ, θ) 来表示,其中: ρ 为原点到直线的距离; θ 为原点到直线的垂线与横轴的夹角. 则式(1)可以表示为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad \theta \in [0, \pi]. \quad (2)$$

纺织布匹是经纬纱线按照一定的纹路编织而成,存在着纹理的主方向等特征. 由于编织的周期性,这些纹理也具有周期性.

通过 Hough 变换可以确定出纹理的主方向,具体步骤如下:

1) 对织物图像(图 1(a))进行灰度化,提取灰度图之后进行骨架处理得到图 1(b);

2) 对骨架化处理的图像进行边界求导得到图 1(c),并进行 Hough 变换如图 1(d);

3) 通过设定阈值,保留参数空间中的某一角度上叠加程度高的点,这些点对应的角度便是织物纹理的向量角.

收稿日期: 2014-04-23

通信作者: 郑力新(1967-),男,教授,主要从事工业自动化技术和人工智能的研究. E-mail:1275373176@qq.com.

基金项目: 福建省科技创新平台建设项目(2013H2002)

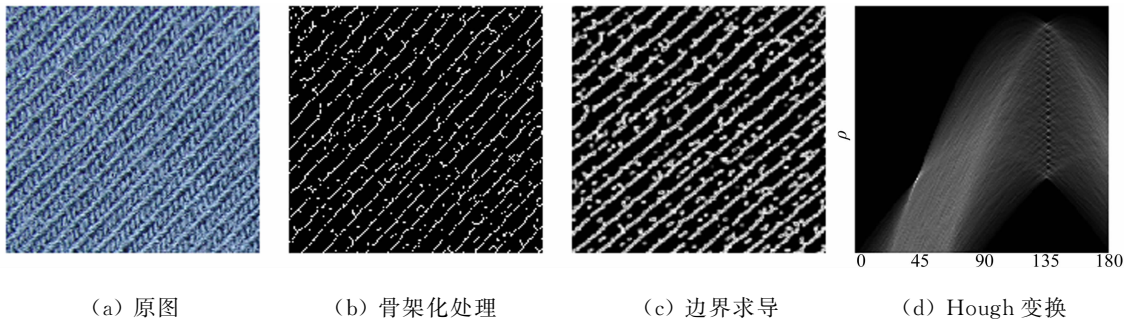


图 1 织物 Hough 变换

Fig. 1 Fabric Hough transform

由图 1(d)可以得出:斜纹理在向量角 $\theta=135^\circ$ 处,有强烈的重叠. 由于 Hough 变换时横坐标范围为 $(0^\circ, 180^\circ)$,而纹理主方向 ϕ 与向量角 θ 关系为

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \theta + 90^\circ, & \theta < 90^\circ; \\ \phi &= \theta - 90^\circ, & \theta \geq 90^\circ. \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

因此,可以得出该织物纹理的方向角为 $\phi=45^\circ$.

2 织物纹理的 Gabor 变换及最大熵分割

2.1 织物 Gabor 变换

Gabor 变换也称 Gabor 滤波器,由 Dennis Gabor 于 1946 年提出. 1980 年, Daugman 扩展该滤波器至二维,且将其首次用于图像表征. 2D Gabor 滤波器的表达式为^[8]

$$g(x,y) = \exp\{-[\frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2}]\} \times \exp\{2\pi j[u_0(x-x_0) + v_0(y-y_0)]\}. \tag{4}$$

式(4)中: (x_0, y_0) 为 Gabor 滤波器的中心位置; (α, β) 为 Gabor 滤波器中高斯函数的尺度因子; (u_0, v_0) 可确定滤波器的频率及方向. 式(4)可转化^[9]为

$$g(x,y) = \exp\{-[\frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2}]\} \times \exp\{2\pi j[\omega(x-x_0)\cos\phi + \omega(y-y_0)\sin\phi]\}. \tag{5}$$

式(5)中: ω, ϕ 分别表示 Gabor 滤波器的频率和方向, $\omega = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$, $\phi = \arctan(v_0/u_0)$, ϕ 代表纹理主方向及主方向的正交方向. 频率 ω 可以根据布匹的纹理疏密程度来确定其大小范围,当选择的频率与纹理的频率接近时,响应也就越大. 文献[10]研究了基于 Gabor 滤波器的疵点检测,证明了实 Gabor 滤波器(RGF)比虚 Gabor 滤波器(IGF)输出效果要好. 文中方法通过图 2 所示的测试,得出采用模值图像(MGF)比选择实部和虚部效果更佳,更适合于织物疵点的检测.

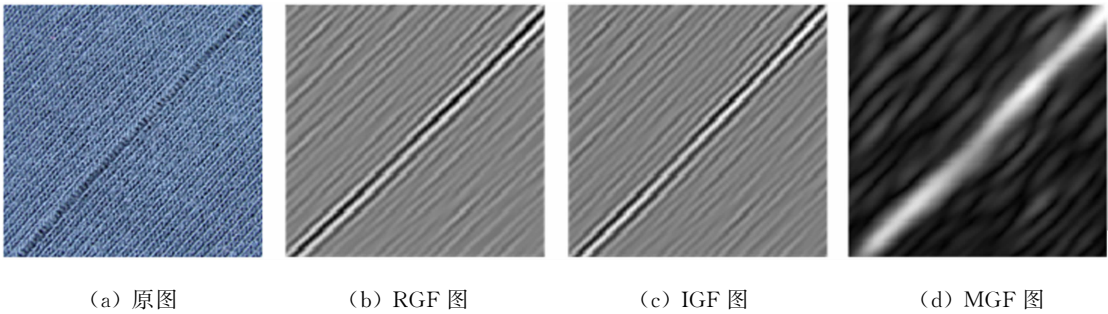


图 2 Gabor 模值图像测试

Fig. 2 Test of image by modulus Gabor filter

获取某织物的疵点图像 $\beta(x,y)$ (图 3(a)),并对图像进行直方图均衡化处理(图 3(b)),从而增加图像像素的动态范围,以减少打光不均匀所造成的影响;再对图像进行高斯滤波,获得平滑的图像. 利用

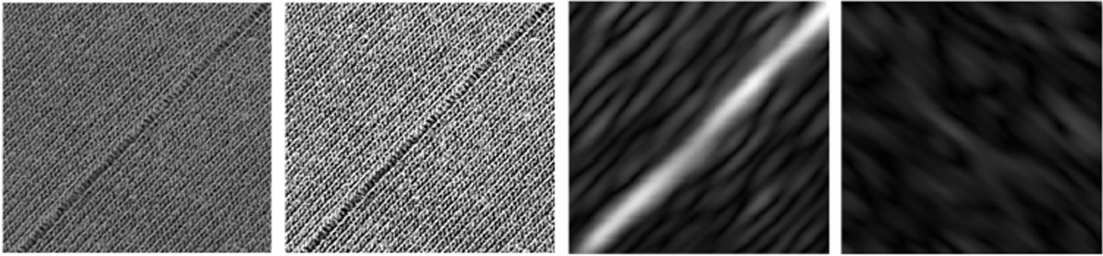
Gabor 滤波器 $g_f(x,y)$ 与 $\beta(x,y)$ 进行卷积,得

$$\beta_f(x,y) = \beta(x,y) \times \{ \exp\{-[\frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2}]\} \times \exp\{2\pi j[\omega(x-x_0)\cos \phi + \omega(y-y_0)\sin \phi]\} \}. \tag{6}$$

式(6)中: $f=1$ 和 $f=2$ 时,分别表示 ϕ 取布匹中的纹理主方向及其正交方向. 其中,卷积计算转换为频域乘积进行,对卷积后的结果取其模作为输出图像,即

$$B_f(x,y) = | \beta_f(x,y) |. \tag{7}$$

得到的图像如图 3(c),(d)所示.



(a) 灰度图 (b) 平衡化 (c) f_1 方向 (d) f_2 方向

图 3 织物 Gabor 滤波

Fig. 3 Fabric image filtered by Gabor filter

2.2 最大熵分割

熵由 Rudolf Clausius 提出,并应用在热力学中. 而在图像中,熵表示图像中信息量大小.

一幅 $M \times N$ 图像,熵的定义^[11]为

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{i,j} \ln P_{i,j}, \tag{8}$$

$$P_{i,j} = f(i,j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j). \tag{9}$$

式(8),(9)中: H_f 是 $M \times N$ 大小窗口的图像的熵,也称为局部熵; $P_{i,j}$ 是点 (i,j) 处灰度分布概率; $f(i,j)$ 是点 (i,j) 处灰度值.

式(8)中涉及两次二维求和,程序中便会有 4 层循环,需要消耗的内存很大. 因此,对式(8)进行优化,利用泰勒级数,舍去高次项,提高其运算效率^[12],优化后得

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{i,j} (P_{i,j} - 1) = 1 - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{i,j} P_{i,j}. \tag{10}$$

熵反映了图像灰度的离散程度^[13],在局部熵大的地方,图像灰度相对较均匀;局部熵小的地方,图像灰度离散性较大. 相对于背景来说,Gabor 滤波后的疵点(目标)灰度值大且比较均匀,相对变化较小,表现在连续的一块白色区域,其熵值会大;而背景中出现明暗变化非常频繁即灰度变化离散性大,所以其熵值会比较小.

文中算法利用最大熵,即 H_f 最大时,对应的灰度值 $f(i,j)$ 作为阈值进行分割图像,可以确保分割出目标. 文献[14-15]应用熵进行织物疵点检测,但都是基于局部熵的分析,当中的阈值选择涉及人工选择阈值的因素. 针对局部熵和最大熵分割进行实验,效果如图 4(a),(b)所示. 由图 4(a),(b)可以看出:局部熵分割存在较多的噪声,虽然可以分割出疵点,但存在的噪声干扰更大,而最大熵分割噪声更小.

对通过 Gabor 滤波后,含疵点的图像 $B_f(x,y)$ 采用最大熵进行分割,获得二值图像 $T_f(x,y)$. 对沿着纹理的两个主方向所处理后的分割图片,采用异或操作进行融合,得到图像如图 4(b)所示,融合后的图像表示为

$$R(x,y) = T_1(x,y) \oplus T_2(x,y). \tag{11}$$

由于分割融合后的图像可能存在不连续等现象,因此需要经过形态学处理中的腐蚀和膨胀操作,得到图像 $P(x,y)$ 如图 4(c)所示. 孤立点的去除操作采用判断周长和面积小于某一值舍去原则,可以得到比较理想的疵点分割图 $Q(x,y)$,如图 4(d)所示.

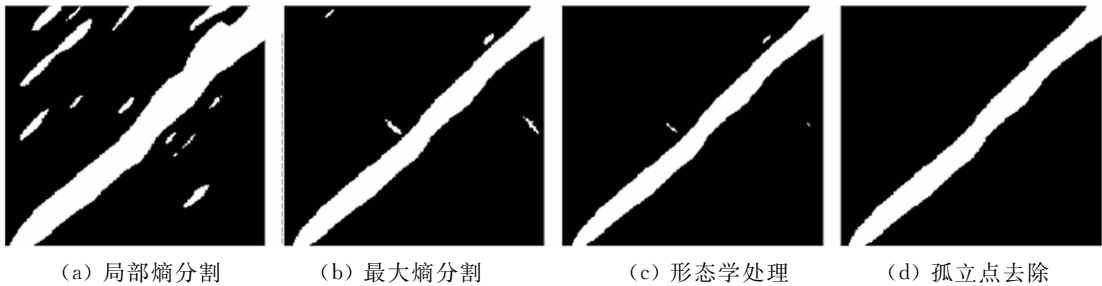


图 4 图像测试

Fig. 4 Test of image samples

3 实验结果及分析

本系统软件平台基于 OPENCV2.1 + Visual Studio 2010, 硬件环境为 Intel 2.6 GHz CPU, 2 G 内存的计算机. 分别对缺经、断纬、破洞、勾丝、油污等 5 类常见的疵点进行测试, 所选图像大小均为 512×512 , 测试结果如图 5~9 所示.

表 1 为算法各个模块的时间消耗(t). 由表 1 可知: Hough 模块耗时为 135 ms, 但获取纹理主方向只要执行一次, 因此不影响算法的实时性. 杨晓波^[16]采用中心频率自适应 Gabor 滤波器进行织物疵点实验, 同样选择大小为 512×512 的图像, 硬件环境为 Intel 1.8 GHz CPU, 1 G 内存的计算机, 同时应用多个方向上的 Gabor 滤波器进行滤波. 但是其采用 8 个方向 Gabor 滤波, 对单个疵点的检测所消耗时间为 8×293 ms, 可见滤波器的数量越多耗时也就随之倍增. 因此, 文中方法可以在保证较大限度响应疵点的同时, 采用更少的滤波器数量进行滤波, 在效率具有较大的优越性.

表 1 算法时效性

Tab. 1 Part-time inspection algorithms

算法模块	Hough 变换	Gabor 滤波	最大熵分割	形态学处理	孤立点去除	图像融合
t/ms	135	293	10	8	9	5

图 6~9 中: (a) 为均衡化后的图像; (b), (c) 分别为沿 $f=1$ 和 $f=2$ 方向上, Gabor 滤波后的模值图像; (d), (e) 分别为 (b), (c) 最大熵分割后的图像; (f) 为 (d), (e) 融合后的图像; (g) 为进行形态学操作和孤立点去除后的图像, 也是最终的疵点分割图像.

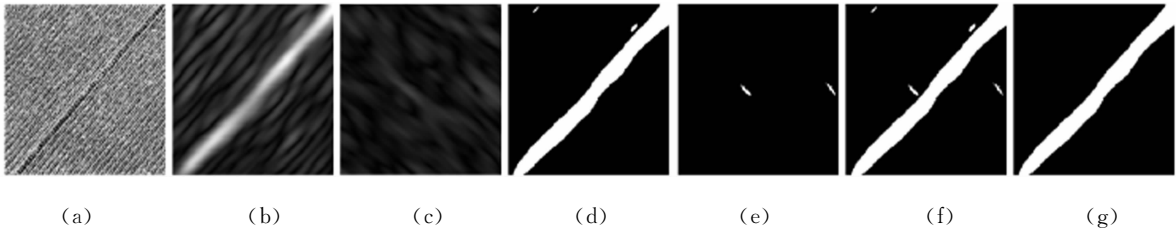


图 5 斜纹缺经疵点检测

Fig. 5 Diagonal grain broken ends defect detection

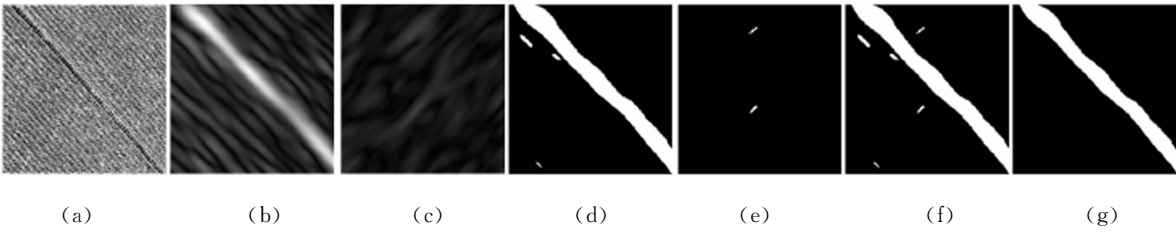


图 6 斜纹断纬疵点检测

Fig. 6 Diagonal grain broken picks defect detection

从实验所采用的这几类疵点可以看出: 算法针对纹理性疵点如缺经、断纬, 具有良好的效果; 但针对破洞和油污这两类非纹理性的疵点, 检测效果则比较一般. 原因在于破洞疵点的内部有着稀疏的纹理变化对 Gabor 滤波器的滤波产生了干扰, 而油污在方向上掩盖了原有的纹理. 由于油污基本可以看作是

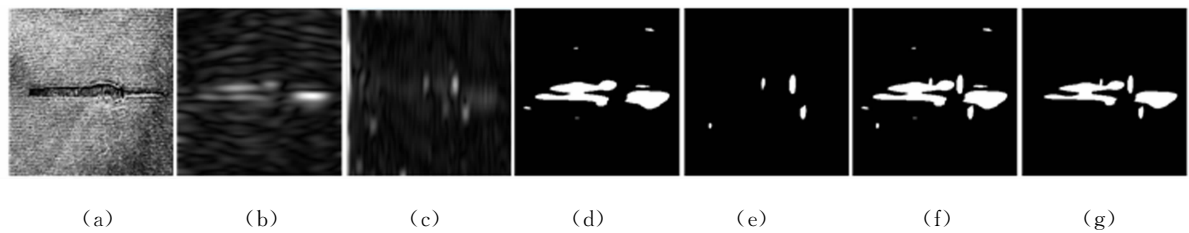


图 7 水平纹破洞疵点检测
Fig. 7 Horizontal texture hole defect detection

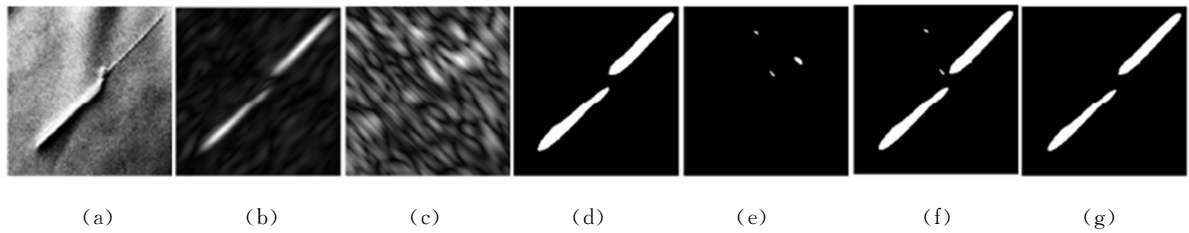


图 8 斜纹勾丝疵点检测
Fig. 8 Diagonal grain nep defect detection

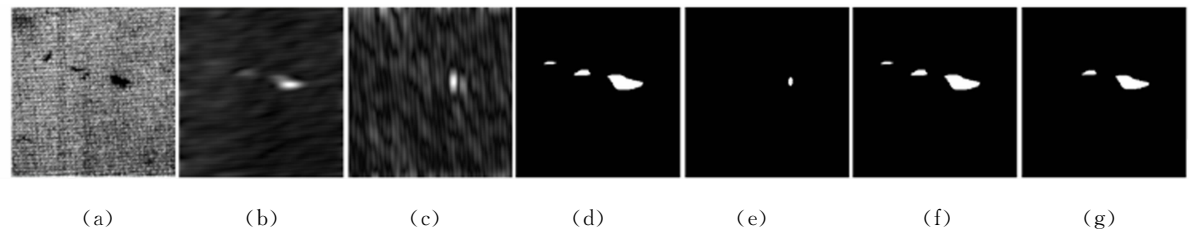


图 9 水平纹理油污疵点检测
Fig. 9 Horizontal texture oil strain defect detection

一块近似椭圆形的斑块,在方向上没有方向性,因此,检测出来的油污疵点大小也有着一定的畸变.在不要求精确的疵点大小尺寸测量的条件下,本算法仍然是能够使用且可以检测出油污和破洞疵点.而对于文中的勾丝疵点,由于疵点的中间部分有一段 90° 的扭曲,与纹理不在一个方向上.因此,在勾丝检测结果中出现了一段缺口,并没有联系在一起,而与纹理方向一致的部分被检测出来且效果良好.

4 结束语

引入 Hough 变换求解织物纹理的主方向角和正交方向角,将所得两个角度参数作为 Gabor 滤波器组的方向进行滤波,此时 Gabor 滤波器组便是一个尺度两个方向;在经过两个方向滤波之后产生了两个子图像,分别对这两个子图像进行最大熵分割,最大熵分割有利于避开局部的信息变化,在全局图像范围内能够准确的找到图像中信息变化量大的目标,适合用于寻找纹理产生的畸变即疵点;最后,利用图像融合的方法融合两个方向的子图像从而得到完整的疵点图像.通过将滤波器方向进行最大限度的限定从而减少滤波器组的数量,相对于通常情况下的多尺度多方向的 Gabor 滤波器组来说,该方法所耗时更少,在效率上有一定的提高.实验结果表明:文中算法能够准确的得出纹理的方向,并令 Gabor 滤波取得良好的滤波效果,对纹理进行有效的抑制,凸显出疵点的信息,能够较为准确的分割出疵点,证明了该算法具有良好的检测效果.

参考文献:

[1] NGAN H Y T,PANG G K H,YUNG N H C. Automated fabric defect detection: A review[J]. Image and Vision Computing,2011,29(7):442-458.
[2] MAK K L,PENG P,YIU K F C. Fabric defect detection using multi-level tuned-matched Gabor filters[J]. Journal of Industrial and Management Optimization,2012,8(2):325-341.
[3] RAHEJA J L,KUMAR S,CHAUDHARY A. Fabric defect detection based on GLCM and Gabor filter: A compari-

son[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(23): 6469-6474.

[4] SIVABALAN K N, GNANADURAI D. Efficient defect detection algorithm for gray level digital images using Gabor wavelet filter and Gaussian filter[J]. *Int J Eng Sci Technol*, 2011, 3(4): 3195-3202.

[5] BISSI L, BARUFFA G, PLACIDI P, et al. Automated defect detection in uniform and structured fabrics using Gabor filters and PCA[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2013, 24(7): 838-845.

[6] HU Luo-yan, LI Ke-jing. Image texture recognition based on median filtering and hough transform[C]// *International Conference on Industrial and Information Systems*. Haikou: IEEE Press, 2009: 267-270.

[7] 官声启. 方向性纹理织物疵点检测方向研究[J]. *计算机科学与工程*, 2011, 33(3): 73-76.

[8] DAUGMAN J G. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, 15(11): 1148-1161.

[9] 邬向前, 张大鹏, 王宽全. 掌纹识别技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 94-103.

[10] KUMAR A, PANG G K H. Defect detection in textured materials using gabor filters[J]. *IEEE Transaction Industry Applications*, 2002, 38(2): 425-440.

[11] 王东云, 牛正光. 改进的基于局部熵的织物疵点检测方法[C]// *第二十七届中国控制会议论文集*. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 208-211.

[12] WANG Dong-yun, NIU Zheng-guang. Improved method of fabric defects inspection based on local entropy[C]// *27th Chinese Control Conference*. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2008: 208-211.

[13] LI Peng-feng, ZHANG Huan-huan, JING Jun-feng, et al. Fabric defect detection based on local entropy[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 562-564: 1998-2001.

[14] 陈岩. 基于阈值分割的织物疵点检测技术研究 with 实现[D]. 北京: 北京工业大学, 2012: 29-31.

[15] 卿湘运, 段红, 魏俊敏. 基于局部熵的织物疵点检测与识别的研究[J]. *纺织学报*, 2004, 25(5): 56-57.

[16] 杨晓波. 基于 Gabor 滤波器的织物疵点检测[J]. *纺织学报*. 2010, 31(4): 55-58.

A Detection Method of Directional Texture Fabric Defects

LIU Wei-bin¹, ZHENG Li-xin², ZHOU Kai-ting¹

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;
2. College of Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Firstly, using the Hough transform to obtain the main direction and the orthogonal direction of texture, then taking these direction of texture as the direction of Gabor filter, the model image was taken as an output characteristics; and then using maximum entropy to segment these amplitude images, fusing the sub-images and morphology processing, removing the outlier detection; finally, the fabric defect image was achieved. The experiment select five types of fabric defects, the experimental results shows that the method has good detection effect for different texture of fabric, few filters were needed and without prior learning.

Keywords: fabric defects; Hough transform; Gabor filter; maximum entropy

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 吴逢铁)