

基于不规则成像机器视觉的棉花白色异纤检测算法*

李国辉 苏真伟 夏心怡

(四川大学制造科学与工程学院, 成都 610065)

【摘要】 基于不规则成像机器视觉系统,提出一种棉花白色异性纤维检测的图像分割算法:采用 Gabor 算子提取多个方向的特征向量,融合成特征图,由此增大背景与目标之间的对比度;然后基于特征图的统计规律进行二值分割,最后应用形态特征分离目标与背景。实验结果表明,该算法抗噪能力强、能检出白色异性纤维。

关键词: 棉花 白色异性纤维 机器视觉 不规则成像 图像分割

中图分类号: TP391.41; S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)05-0164-04

Algorithm for Inspection of White Foreign Fibers in Cotton by Machine Vision with Irregular Imaging Function

Li Guohui Su Zhenwei Xia Xinyi

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract

It is difficult to detect white foreign fibers in cotton by traditional machine vision systems and image segmentation methods, because the color of the targets and background is very close. To solve the problem, an image segmentation algorithm for a machine vision system with an irregular imaging function was presented. Using Gabor operator to extract the orientation feature vectors of an image, combined them into a feature map, thus the contrast between the background and targets was improved by the algorithm. Then a threshold was calculated according to the statistical characteristics of the feature maps. Finally, the white foreign fibers were separated from cotton in the binary image, and the image noises were eliminated by a morphological operation. The experimental results indicated that the algorithm is anti-noise and capable of detecting the targets.

Key words Cotton, White foreign fiber, Machine vision, Irregular imaging, Image segmentation

引言

棉花中的异性纤维目标小、种类多,其物理机械性能,特别是染色性能与棉花有很大差异。统计表明,每吨棉花中混入的异性纤维平均不到 25 g,但对棉纺织品的质量影响极大,是目前影响我国棉纺织品品质提高的瓶颈问题^[1]。目前主要采用人工分拣法剔除异性纤维,但主观性强,劳动成本高,且白色异性纤维的检出率比较低^[2]。

国内外学者对棉花异性纤维的图像识别算法进行了广泛研究^[3-10],主要采用灰度阈值法识别目

标^[5-6]。由于目标在整个图像中所占的比例非常小,且多与背景颜色相似,灰度直方图呈单峰特性^[6]。分割前尽管辅以图像增强方法和预处理算法^[5-8]提高对比度,但与棉花颜色相近的异性纤维检出率仍很低^[7]。近年来,丁天怀等根据棉纤维与异性纤维的红外波段吸收特性,选用红外光源照明^[9-10],再利用图像分割技术识别异性纤维,但短期内还难以实时在线应用^[3]。

棉花中异性纤维检测的难点之一在于:传统的机器视觉系统只能按照选定的相机像素和预设的速度采集图像。图像数据大部分用于背景描述,小目

收稿日期: 2009-09-27 修回日期: 2009-12-25

* 国家自然科学基金资助项目(60875022/F030410)

作者简介: 李国辉,博士生,主要从事机器视觉系统研究,E-mail: oncelee@sina.com

通讯作者: 苏真伟,教授,博士生导师,主要从事机器视觉系统研究,E-mail: zhenweisu99@hotmail.com

标的检测信息不足。若采用高速、高分辨率相机,图像中大量的冗余数据将占用系统资源,而在线检测要求速度快,白色异性纤维的高效识别十分困难。为此,文献[11~12]提出了一种具有不规则成像功能的新型机器视觉系统,并提出了可疑目标区域的算法。初步的实验表明,这种新型的机器视觉系统在实验室条件下能够识别棉花中 91.38% 的可疑目标区域,去除 77.5% 的图像冗余数据^[12],为采用更合理的算法识别白色异性纤维提供了必要条件。作为上述研究的延伸,本文主要研究从可疑目标区域图像中分割出异性纤维,包括白色异性纤维。其基本思想是:根据异性纤维在图像中的形态,采用 Gabor 算子提取方向特征,由特征图增大背景与目标之间的对比度,最后采用阈值分割和形态学算法分割出目标。

1 异性纤维检测算法

棉花中常见的异性纤维如图 1a 所示,目标在图像中所占的比例非常小,颜色与背景相近,直方图呈单峰特性,没有明显的分割特征;此外,棉层厚度不匀,图像中存在大量的阴影,灰度分割比较困难。但从形态观察,轧花前的棉花中,棉花纤维细小,呈云雾状,而异性纤维比较粗大,为长线条型,边缘有阴影。其算法流程如图 2 所示。

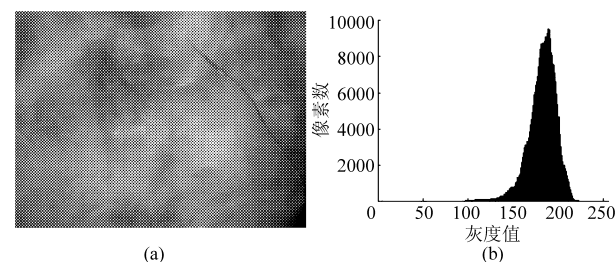


图 1 异性纤维图像及其灰度直方图

Fig. 1 Image of cotton with foreign fibers and its histogram

(a) 原始图像 (b) 灰度直方图

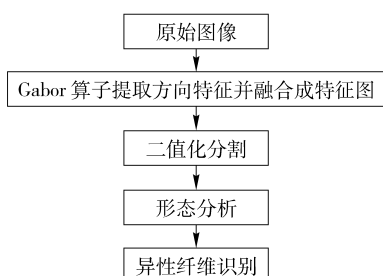


图 2 棉花异性纤维检测算法流程图

Fig. 2 Flow chart of the algorithm for identification of foreign fibers

1.1 提取特征图

Gabor 算子具有提取方向特征的能力,在面部识别等方面已经得到了很好的应用。根据异性纤维

的长线条型与棉花纤维的云状形态之间的区别,利用 Gabor 算子提取并形成方向特征图,可以在轧花前识别棉花中的各色异性纤维。

二维 Gabor 函数^[13]可看作高斯包络线被复正弦函数调制的结果,即

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\left(\frac{x'^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{2\sigma_y^2}\right)\right) \cdot \exp(j2\pi f(x' + y')) \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} x' = x\cos\theta_k + y\sin\theta_k \\ y' = -x\sin\theta_k + y\cos\theta_k \end{cases}$$

式中 f ——中心频率,决定图像变换的精细程度

σ_x, σ_y ——高斯包络沿 x 轴和 y 轴方向的标准偏差,通常 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$

θ_k ——预先设定的方向参数,决定特征的方向

本文采用 Bovik 方法^[14]计算图像的傅里叶变换,使用简单的峰值算法确定频率 $f = 1/7$ 。

参数 σ 的求解过程为

$$B = \text{lb} \frac{\pi f \sigma + \alpha}{\pi f \sigma - \alpha} \quad (2)$$

其中 B 为 Gabor 函数的半峰带宽(倍频程),通常取值在 $0.6 \sim 2.0$ ^[15]之间, $\alpha = \sqrt{\ln 2/2}$,因此

$$\sigma = \frac{\alpha(2^B + 1)}{\pi f(2^B - 1)} \quad (3)$$

选取 $B = 1.5$,得 $\sigma = 2.39$ 。

θ_k 定义为

$$\theta_k = \frac{\pi}{q}(k-1) \quad (k=1, 2, \dots, q; q \in \mathbf{N}) \quad (4)$$

其中 q 表示方向特征个数。Fdez-Valdivia^[16]从生物学的角度,认为 4 个滤波器就足够了解图像空间频率的变化。根据式(4), $\theta_k = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 就可以提取图像的水平、垂直、左右对角方向的特征。

此外,若 Gabor 算子窗口选择过大,不利于提取图像的局部特性;若过小,容易受噪声干扰。根据统计分析,选取滤波器窗口为 $11 \times 11 (M \times N)$ ^[17]。

令 H_k 为 θ_k 方向的 Gabor 滤波器,给定图像 I 的方向特征向量 O_k 计算过程为

$$O_k(x, y) = \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} H_k(m, n) I(2x+m, 2y+n) \quad (5)$$

对 Gabor 算子提取的多个方向特征向量 O_k 作线性加,获得特征图为

$$F = N \left(\sum_{k=1}^q O_k \right) \quad (6)$$

式中 $N(\cdot)$ ——归一化算子

原始图像和特征图如图 3 所示,特征图中目标

呈线状,背景呈点状。

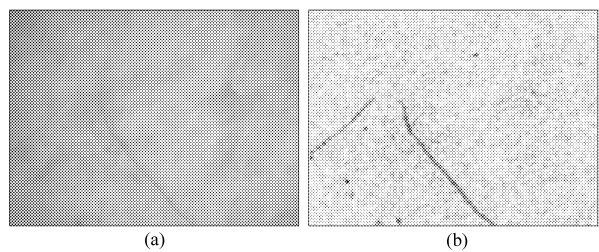


图 3 原始图像及其特征图

Fig. 3 Original image and its feature image

(a) 原始图像 (b) 特征图

1.2 二值化分割

低通滤波可以去除特征图中的小点,同时也会削弱目标信息。特征图中的小点反映棉花背景灰度随机变化,呈正态分布 $N(\mu, \sigma)$, 其中 μ 为均值, σ 为标准差。特征图直方图如图 4a 所示, 其中异性纤维和背景噪声(小点)分布在直方图的左侧。实验发现, 特征图的二值化阈值可以按 $\mu - 3\sigma$ 计算。即: 先求特征图均值 μ 和标准差 σ ; 再计算 $T = \mu - 3\sigma$; 然后以 T 为阈值对特征图二值化分割, 其结果如图 4b 所示。它符合概率统计中的 3σ 原则: 偶然性因素发生概率为 99.73%, 异常发生概率为 0.27%。

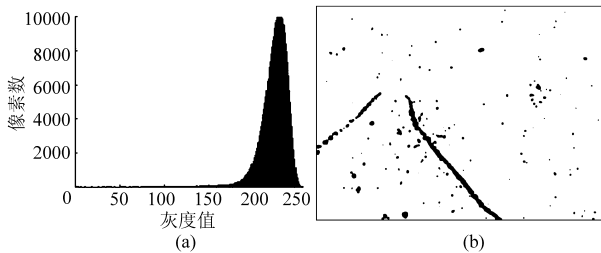


图 4 特征图的直方图和二值图像

Fig. 4 Histogram and binary image of feature image

(a) 特征图的直方图 (b) 二值图像

1.3 基于形态学的目标识别

二值图像中异性纤维呈条状, 面积较大; 背景噪声呈点状, 面积较小; 可以利用如下的形态学方法识别: 求 4 连通域; 如果连通块的面积与长径比大于设定值, 则为异性纤维, 否则作为背景噪声删除。

根据实验, 面积阈值取 60, 长径比阈值取 2。

2 实验

棉花中的白色异性纤维图像及其处理结果如图 5 所示。

结果表明, 棉花背景和噪声被排除, 白色异性纤维可以被正确分割和识别。结果图像中异性纤维不连贯, 原因之一是部分异性纤维在棉花图像中受棉团阻隔。原因之二是算法影响。改进算法, 通过膨

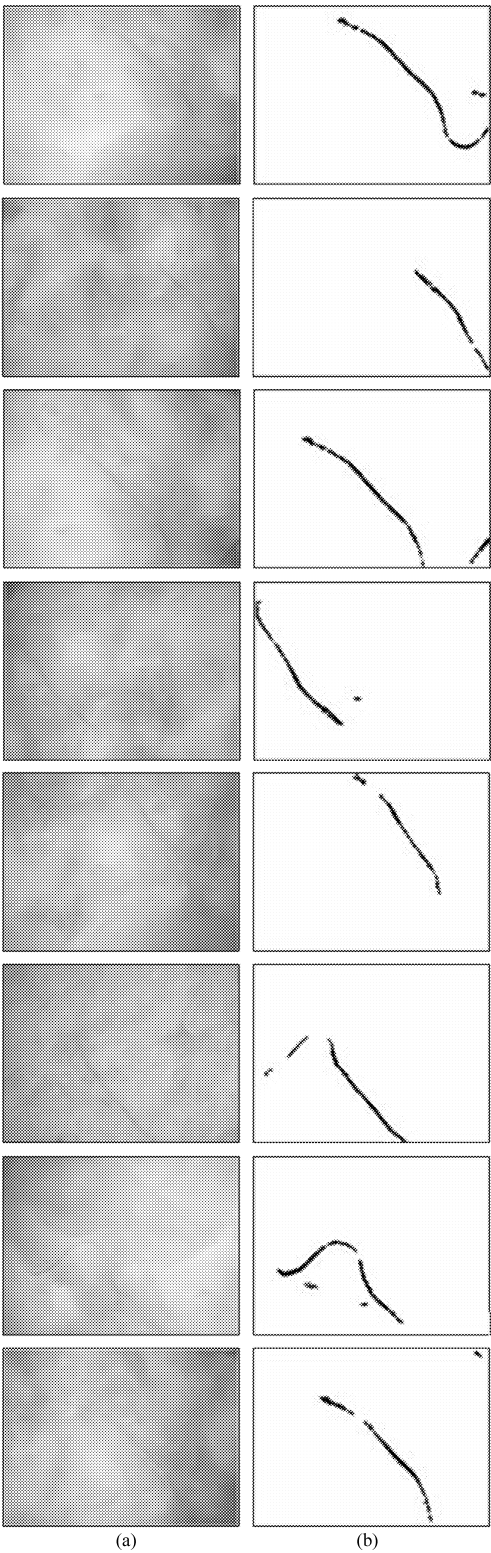


图 5 算法结果图

Fig. 5 Result images using the algorithm

(a) 原始图像 (b) 处理结果

胀、腐蚀等可以使其相连, 但耗时多, 影响实时检测速度。

3 结束语

提出了一种识别棉花中的白色异性纤维的新方

法:首先根据异性纤维和棉纤维的形态区别,利用 Gabor 算子提取异性纤维的方向特征,然后基于特征图的统计规律,实现二值化分割;最后,根据目标和噪声的形态区别分割棉花中的白色异性纤维。实时检测时,Gabor 算子提取方向特征的编程计算步骤较复杂,还必须进一步简化、提高。棉花中异性纤维的识别算法还处于实验室研究阶段,其所涉及的工程实际问题仍需进一步解决。

参 考 文 献

- 1 王新龙,李娜. 棉花中异性纤维专题综述[J]. 中国棉花加工,2002(5): 29 ~ 30, 48.
- 2 Gillian N H. Non-wool contamination in carbonized wool[R]. CSIRO, Report G73, Australia, 1992.
- 3 李碧丹,丁天怀,郑东耀. 皮棉异性纤维剔除系统设计[J]. 农业机械学报,2006,37(1): 107 ~ 110.
Li Bidan, Ding Tianhuai, Jia Dongyao. Design of a sophisticated foreign fiber separator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(1): 107 ~ 110. (in Chinese)
- 4 郭俊先,应义斌. 皮棉中杂质检测技术与检出装备的研究进展[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 107 ~ 113, 106.
Guo Junxian, Ying Yibin. Progress on detecting technique and sorter of raw cotton foreign matters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 107 ~ 113, 106. (in Chinese)
- 5 贾婷婷. 数字图像处理在原棉异物识别应用中的研究[D]. 上海: 东华大学, 2007.
- 6 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 棉花异性纤维图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 156 ~ 160, 171.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Toward image segmentation of foreign fibers in lint[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 156 ~ 160, 171. (in Chinese)
- 7 符宝鼎,袁建畅,郭彩霞. 基于 RGB 颜色模型棉花杂质的识别算法[J]. 北京纺织,2005, 16(5): 48 ~ 51.
Fu Baoding, Yuan Jianchang, Guo Caixia. Distinguished arithmetic for cotton impurity based on RGB color model[J]. Beijing Textile Journal, 2005, 16(5): 48 ~ 51. (in Chinese)
- 8 丁天怀,郑东耀. 利用多颜色空间特征融合方法检测近似目标[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(2): 176 ~ 179.
Ding Tianhuai, Jia Dongyao. Detection of similar targets using multiple color space feature fusion[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(2): 176 ~ 179. (in Chinese)
- 9 郑东耀,丁天怀. 纤维红外吸收特性及其在皮棉杂质检测中的应用[J]. 农业工程学报, 2004,20(3): 104 ~ 108.
Jia Dongyao, Ding Tianhuai. Infrared absorption characteristics of fibers and their application in detection of foreign fibers in cotton[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(3): 104 ~ 108. (in Chinese)
- 10 郑东耀,丁天怀. 利用纤维红外吸收特性的皮棉杂质检测新方法[J]. 红外与毫米波学报,2005,24(2): 147 ~ 150.
Jia Dongyao, Ding Tianhuai. Novel method of detecting foreign fibers in lint by fiber's infrared absorption characteristic [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2005, 24(2): 147 ~ 150. (in Chinese)
- 11 Su Zhenwei, Wang Jinwei, Huang Mingfei, et al. A machine vision system with an irregular imaging function[C] // Proceedings of the 5th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis. Istanbul, Turkey, 2007: 458 ~ 463.
- 12 李国辉,苏真伟,晏开华,等. 可疑目标区域的机器视觉检测算法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010,42(1): 233 ~ 237.
Li Guohui, Su Zhenwei, Yan Kaihua, et al. Algorithm for identification of suspicious target region in machine vision inspection[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2010,42(1): 233 ~ 237. (in Chinese)
- 13 Daugman J G. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two dimensional visual cortical filters[J]. Journal of the Optical Society of America A, 1985, 2(7): 1 160 ~ 1 169.
- 14 Bovik A C, Clark M, Geisler W S. Multichannel texture analysis using localized spatial filters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(1): 55 ~ 73.
- 15 吴高洪,章毓晋,林行刚. 分割双纹理图像的最佳 Gabor 滤波器设计方法[J]. 电子学报, 2001, 29(1):48 ~ 50.
Wu Gaohong, Zhang Yujin, Lin Xinggang. Optimal Gabor filter design for bi-textured image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2001, 29(1):48 ~ 50. (in Chinese)
- 16 Fdez-Valdivia J, Garcia J A, Martinez-Baena J, et al. The selection of natural scales in 2D images using adaptive Gabor filtering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(5): 458 ~ 469.
- 17 曹林,王东峰,刘小军,等. 基于二维 Gabor 小波的人脸识别算法[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(3): 490 ~ 494.
Cao Lin, Wang Dongfeng, Liu Xiaojun, et al. Face recognition based on two-dimensional Gabor wavelets[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(3): 490 ~ 494. (in Chinese)
- 18 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于自动视觉检测的棉花异性纤维分类系统[J]. 农业机械学报,2009,40(12):177 ~ 181,227.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. AVI system for classification of foreign fibers in cotton[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):177 ~ 181,227. (in Chinese)