

基于机器视觉的细纱管分类检测

高 畅, 刘浩克, 刘基宏

(江南大学 生态纺织教育部重点实验室 江苏 无锡 214122)

摘要: 为实现自动络筒机中纱管输送装置的余纱量检测与纱管分类, 文章提出一种基于机器视觉的纱管分类方法。将采集的纱管图像分割为若干区域, 以各分区前景、背景和凸包面积为基础构建反映目标形态和对称性的几何特征; 利用 Gabor 滤波器组增强目标纹理信息, 随后通过主色提取和色差计算构建各分区的纹理特征。采用多分类支持向量机利用提取特征进行分类, 将输入样本归为空管、残纱管和有纱管三类。分类算法交叉验证结果表明, 在多种参数水平下, 分类器对各种管壁颜色的棉纱纱管的分类准确率达到 96% 以上。多品种纱线试验表明, 分类器对不同细度和颜色纱线的纱管分类真阳性率达到 92% 以上。

关键词: 细络联; 纱管分拣; Gabor 滤波; 主色提取; 支持向量机

中图分类号: TS103.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-7003(2019)01-0028-05

引用页码: 011105

Bobbin inspection and classification based on machine vision

GAO Chang, LIU Haoke, LIU Jihong

(Key Laboratory of Eco-Textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To achieve residual yarn detection and bobbin classification of bobbin conveying device in automatic winder, a method of bobbin classification based on machine vision was proposed. The image of bobbin was captured and then divided into several areas. In each partition, geometric features representing the shape and symmetry of corresponding partition were constructed based on the sizes of foreground, background and convex hull area. The Gabor filter bank was used to enhance the target texture information, and the texture features of each partition were constructed by the dominant color extraction and color difference calculation. The classification was conducted by utilizing features extracted with multi-classification support vector machine. The samples were classified into three types: empty bobbins, yarn bobbins and residual-yarn bobbins. The cross-validation results of the classification algorithm showed that the classification accuracy of the cotton yarn bobbins with various tube wall colors by the classifier reached more than 96% under various parameter levels; the tests of multi-species yarns showed that the classification true positive rate of yarn bobbins with yarns of different fineness and color reached more than 92%.

Key words: combined spinning and winding frame; bobbin sorting; Gabor filter; dominant color extraction; support vector machine

基于机器视觉的工业检测技术在纺织领域具有广阔应用前景, 其在织物疵点检测^[1]、异纤检测^[2]和

染色评价^[3]等工序都已有广泛研究和较为成熟的解决方案。与传统的人工检测相比, 机器视觉技术可大幅提升检测速度与稳定性; 与现有的机械式检测手段相比, 则具有更简单可靠的硬件架构, 同时对品种变动适应性更强。现有配备细络联的自动络筒机中, 传送轨道上包含多种余纱量的纱管, 对纱管的分类主要由机械式检测装置实现, 其与纱线或管壁存在接触, 可能对纱线品质造成不利影响。而针对这

收稿日期: 2018-05-22; 修回日期: 2018-11-14

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发(2014)37号); 江南大学自主科研项目(JUSRP51417B)

作者简介: 高畅(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为纺织智能检测技术。通信作者: 刘基宏, 教授, liujihongtex@hotmail.com。

一应用场景的非接触式技术方案当前还相对匮乏,于是本文提出一种基于机器视觉的纱管分类方法,对待测纱管的几何特征与纹理特征进行提取,并采用支持向量机作为分类器,实现对不同形态纱管的检测。

1 检测装置与方法

1.1 试验材料与装置

试验用纱管为 210 mm 塑料材质细纱管,包含多种工厂中常见的颜色,通过人工退绕产生不同的余纱量。纱管由搭建的图像采集装置捕获整根纱管图像以进行处理,图像采集系统的主要组成部分包括相机(SONY IMX219)、光源(Nan Guang CN-Lux560 LED)及背景板。图 1 展示了部分试验用纱管的拍摄图像。

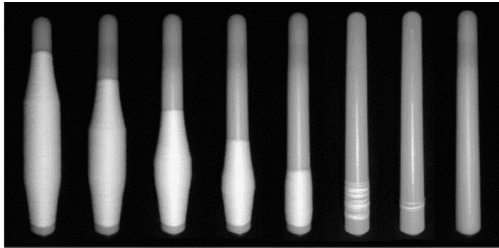


图 1 不同余纱量纱管

Fig. 1 Bobbins with various residual yarn

1.2 融合特征提取

非接触式纱管余纱量检测面临的挑战主要来自两个方面:第一,现实场景中的纱管管型、颜色种类繁多,且管纱随余纱量的不同外形也会有明显改变,简单的特征提取不能满足复杂多变的应用场合;第二,包缠极少量纱线的纱管,即残纱管,其外形与空管相近,现有检测方案不易做出准确区分。为克服上述困难,提出融合外形与表面纹理的特征提取方案。

1.2.1 图像预处理

图像采集获取图像后,首先需要对其进行角度校正,使纱管处于竖直状态;随后剔除背景区域,仅保留前景最小外接矩形。现有的特征提取方法可概括为三类:整体特征,如灰度共生矩阵和矩特征;区块特征,如灰度梯度直方图(histogram of oriented gradient, HOG)和 Haar 特征;点特征,如局部二值模式(local binary patterns, LBP)和 Gabor 滤波等。在纱线、纱管颜色多变、光照强度多变的应用场景中,整体特征波动较大,可靠性差;将采集图像分区,提取

区块特征,则能较好地克服这些不确定因素带来的不利影响。

1.2.2 几何特征提取

竖直的纱管左右对称,利用这一特点,将图像沿纱管中轴平分为两列,并沿纵向均分为若干行。设定 n 为分区数,定义区块特征向量 F_1 为:

$$F_1 = \uplus_i \left(\frac{S_i + S_{i+1}}{2S_B}, \frac{4S_i S_{i+1}}{(S_i + S_{i+1})^2} \right) \quad (1)$$

式中: S_B 为单个分区像素数; S_i 为各区块前景像素数 $i=1, 3, 5, \dots, n-1$; 符号 \uplus 表示将全部特征顺序连接为单一向量。

F_1 是对管纱直径与对称性的离散量化表征,对余纱量的变化能够提供较好的区分度。满管与空管的 F_1 特征较为相近,因此还需引入表征整个纱管外形特征的向量 F_2 :

$$F_2 = \left(R, \frac{\sum S_i}{S_c} \right) \quad (2)$$

式中: R 为纱管外接矩形宽高比; S_c 为纱管凸包像素数 $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

1.2.3 Gabor 滤波器组滤波

几何特征能够判别包缠较多量纱线的纱管,而对于残纱管与空管的区分则需要考虑二者表面显著的纹理差异。本文采用二维 Gabor 滤波器对全部分区进行滤波:根据极大响应原则^[4]构建滤波器组,设定滤波器波长与中心频率比值为 4.8,选择多个不同的波长值,产生多组滤波响应,以满足对不同细度纱线的适应性,同时削弱噪声干扰。二维 Gabor 滤波器具有方向性,为加快计算效率,仅选用与纱线走向相同的滤波器,同时仅计算 Gabor 虚部输出,以强化纱管和纱线交界处的响应,如图 2 所示。

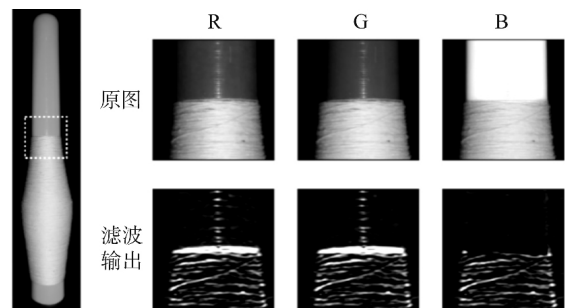


图 2 Gabor 滤波器组输出示意

Fig. 2 Example diagram of Gabor filter output

1.2.4 纹理特征提取

滤波响应维度较高,需要精简特征。对滤波结果分析发现,滤波前后各个像素点各通道梯度变化

幅度显著,因此可将这种差异作为表征特征。由于每个像素均存在上述幅值差异,为使特征选取更具代表性,首先提取每个分区原图和各个滤波后图像的主色彩,随后计算彼此色差,以此作为各分区纹理特征。目前的主流主色彩提取方法包括均值偏移^[5]与聚类^[6-7]和量化分区^[8]等,这类方案计算相对复杂,同时需要人工设定分类数。而本文面临的是小范围、多分区的单一主色提取,因此设计了更为简单快速的提取算法,其流程如图 3 所示。

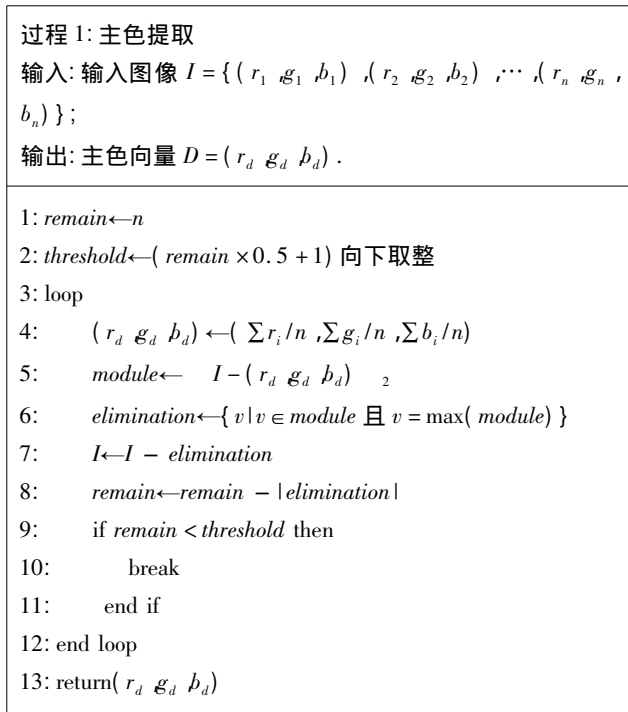


图 3 主色提取算法

Fig. 3 Algorithm of dominant color extraction

计算出各滤波图像主色彩后,需计算各分区输出响应与原图之间色差。令 k 为滤波器数, D_i 为第 i 分区主色彩, G_{ij} 为第 i 分区第 j 个滤波输出的主色彩,定义纹理特征 F_3 如下:

$$F_3 = \bigoplus_{i,j} (E(D_i, G_{ij}) - E(D_i, D_{i+2}) - E(G_{ij}, G_{i+2,j})) \quad (3)$$

式中: $E(\cdot)$ 表示求色差,其计算过程采用 CIE DE2000 色差公式 $i=1, 2, 3; \dots, n; j=1, 2, 3; \dots, k$ 。

图 4 演示了从纱管原图和一个滤波输出图像中计算主色彩并构造特征的过程。

1.3 纱管分类识别

支持向量机是具有良好泛化能力的二元分类器,通过设置不同的核函数可以实现线性或非线性分类。单个样本经过特征提取后产生 F_1 、 F_2 、 F_3 三组向量,将三者连接即可将原始数据映射至高维空

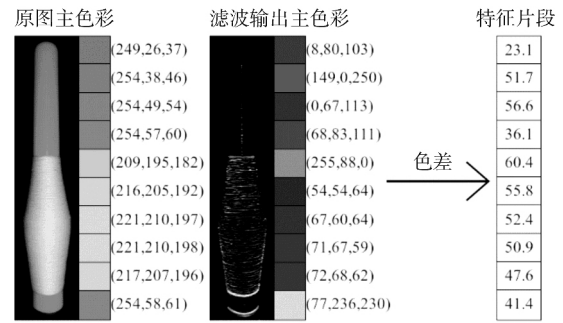


图 4 构造纹理特征过程示意

Fig. 4 Diagram of texture feature construction procedure

间,并作为支持向量机的输入数据。纱管分拣需要将管纱按照余纱量分为空管、残纱管和有纱管三类,为使支持向量机实现多分类,本文采用“一对一”训练方案^[9],即对每两个分类进行二分类训练;在分类时将数据投入每个分类器中,根据分类结果投票产生样本标签。

2 结果与分析

2.1 参数设定对比试验

纱管分类方案的参数包括分区数、滤波器数及各滤波器中心频率大小,为探究不同参数水平下的分类效果,本文构造了如表 1 所示的 30 个分类器并对其性能进行试验。用于测试的样本为不同余纱量的 18.2 tex 白色棉纱,测试图像共 1 085 张,管纱类别由人工标定,其中空管图像 164 张,残纱管 356 张,有纱管 565 张,各类别均囊括了红、黄、蓝、绿、白五种纱管颜色。本文分类检测算法基于 OpenCV 和 Sci-kit-Learn 实现,并在 Intel Core i5-6200U 处理器下进行试验。

试验采用 k 折交叉验证法^[10],其步骤为:将测试样本随机分为 k 折,选取 $k-1$ 折作为训练集喂入支持向量机进行训练,对剩余 1 折做分类测试,以正确分类数占该折样本总数比例,即准确率作为本次分类的评价指标;之后再选取 1 折进行上述测试,如此重复 k 次,得到每折样本的分类准确率,取均值作为试验评价指标,便完成一次交叉验证。与一般的训练集—测试集分类相比,交叉验证使每个样本都有机会成为训练样和测试样,一定程度上避免了分类模型的过拟合和欠拟合,评估结果可信度高。本试验中设定 $k=10$,并对每个分类器进行 10 次交叉验证,统计 10 次测试的准确率均值、标准差均值及运行时间作为评价指标,测试结果如图 5 所示。

表 1 分类器参数设定

Tab. 1 Parameters settings of classifiers

编号	分区数	中心频率 σ	编号	分区数	中心频率 σ	编号	分区数	中心频率 σ
1#	10	{2 3 4}	11#	10	{2 3 4 5}	21#	10	{1 2 3 4 5}
2#	20	{2 3 4}	12#	20	{2 3 4 5}	22#	20	{1 2 3 4 5}
3#	30	{2 3 4}	13#	30	{2 3 4 5}	23#	30	{1 2 3 4 5}
4#	40	{2 3 4}	14#	40	{2 3 4 5}	24#	40	{1 2 3 4 5}
5#	50	{2 3 4}	15#	50	{2 3 4 5}	25#	50	{1 2 3 4 5}
6#	60	{2 3 4}	16#	60	{2 3 4 5}	26#	60	{1 2 3 4 5}
7#	70	{2 3 4}	17#	70	{2 3 4 5}	27#	70	{1 2 3 4 5}
8#	80	{2 3 4}	18#	80	{2 3 4 5}	28#	80	{1 2 3 4 5}
9#	90	{2 3 4}	19#	90	{2 3 4 5}	29#	90	{1 2 3 4 5}
10#	100	{2 3 4}	20#	100	{2 3 4 5}	30#	100	{1 2 3 4 5}

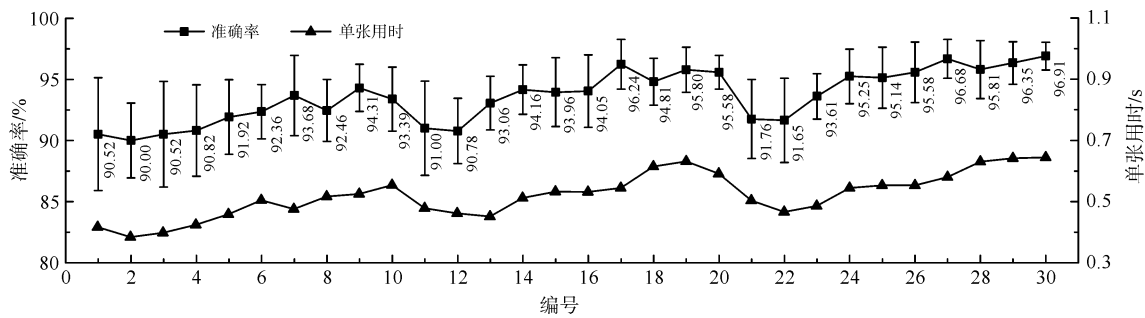


图 5 不同参数下分类器测试结果

Fig. 5 Test results of classifiers with different parameters

由图 5 可知 随着分区数和滤波器数量的增加,交叉验证的分类准确率呈现上升走势,同时标准差总体上逐渐缩小,说明分类器泛化能力逐渐增强。此外 随着分区数和滤波器数的上升,处理图像所需时间也相应增加。全部分类器中,30 号分类器效果最为理想,准确率达到 96.91%,标准差为 1.13%,其处理时间也最长,平均单张用时 0.644 s。综合而言,分区数大于等于 70、滤波器中心频率为 {2 3 4 5} 和 {1 2 3 4 5} 时,分类器检测效果较好。

2.2 多种类纱线分类测试

为探究本文纱管分类算法对不同种类纱线的检测鲁棒性,选用包缠如表 2 所示的几种纱线的残纱

管进行分类试验。纱管包含红、黄、蓝、绿四种颜色,测试用分类器为表 1 中分类性能较为理想的 17、18、19、20 和 27、28、29、30 号。采用检测残纱管的真阳性率(true positive rate, TPR) 作为检测评价指标^[11],真阳性率的定义为:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

式中: TP 表示实际为残纱管,预测标签也为残纱管的样本数; FN 表示实际为残纱管,预测标签为空管的样本数。

TPR 取值范围为 0 ~ 100%,越高说明分类效果越好。试验结果如表 2 所示。

表 2 不同纱线类型下分类准确性

Tab. 2 Classification accuracy under different yarn types

纱线类型	残纱管 样张数	FN								TPR/%							
		17#	18#	19#	20#	27#	28#	29#	30#	17#	18#	19#	20#	27#	28#	29#	30#
7.3 tex 白棉纱	123	6	7	8	6	5	4	2	3	95.12	94.31	93.50	95.12	95.94	96.75	98.37	97.56
4.8 tex 白棉纱	127	8	9	7	6	7	7	6	6	93.70	92.91	94.49	95.28	94.49	94.49	95.28	95.28
18.4 tex 黑涤纶纱	150	11	9	5	7	9	8	6	5	92.67	94.00	96.67	95.33	94.00	94.67	96.00	96.67
18.4 tex 黄涤纶纱	115	5	3	3	4	2	4	2	1	95.65	97.39	97.39	96.52	98.26	96.52	98.26	99.13
18.4 tex 蓝涤纶纱	115	6	4	6	4	5	5	5	4	94.78	96.52	94.78	96.52	95.65	95.65	95.65	96.52

分类算法采用了多级 Gabor 滤波器,保证了不同纱线细度下的纹理特征提取;分区提取主色彩能够有效降低不同颜色纱线与纱管的特征维度;基于色差向量化的策略对于未在训练过程中出现的纱线细度和颜色也能做出正确的拟合,保证分类鲁棒性。这种基于相对差异构造的分类器能够在一定程度上减少训练所需样本数,同时增强对未知样本的预测准确率。由表 2 可知,分类器对不同细度和颜色纱线的纱管分类真阳性率达到 92% 以上。

3 结 论

本文提出了一种基于机器视觉的纱管分类方法,通过相机采集待测纱管图像,利用设计的特征提取方法完成对输入数据的向量化,随后通过多分类支持向量机实现样本分类。试验表明,该分类方法能够对空管、残纱管和有纱管做出准确分类;检测准确性不受纱线类型和纱管颜色的影响;在光照波动环境下,该方法也能保持较好地稳定性。该方法分类精度高,计算负荷小,具备实时在线检测的可行性,具有一定的应用前景。

参考文献:

- [1]李文羽,程隆棣. 基于机器视觉和图像处理的织物疵点检测研究新进展[J]. 纺织学报, 2014, 35(3): 158-164.
LI Wenyu, CHENG Longdi. New progress of fabric defect detection based on computer vision and image processing [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(3): 158-164.
- [2]师红宇,管声启. 基于视觉数据驱动的棉花异性纤维检测[J]. 丝绸, 2017, 54(5): 36-42.
SHI Hongyu, GUAN Shengqi. Cotton foreign fibers detection based on visual data driven [J]. Journal of Silk, 2017, 54(5): 36-42.
- [3]ZHANG Jianxin, YANG Chong. Evaluation model of color difference for dyed fabrics based on the support vector machine [J]. Textile Research Journal, 2014, 84(20): 2184-2197.
- [4]傅一平,李志能,袁丁. 用于多类型边缘提取的最佳 Gabor 滤波器设计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004, 38(7): 839-844.
FU Yiping, LI Zhineng, YUAN Ding. Design of optimized Gabor filter for multi-edges detection [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2004, 38(7): 839-844.
- [5]TAO W, JIN H, ZHANG Y. Color image segmentation based on mean shift and normalized cuts [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2007, 37(5): 1382-1389.
- [6]YANG N C, CHANG W H, KUO C M, et al. A fast MPEG-7 dominant color extraction with new similarity measure for image retrieval [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2008, 19(2): 92-105.
- [7]STEHLING R O, NASCIMENTO M A, FALCÃO A X. An adaptive and efficient clustering-based approach for content-based image retrieval in image databases [C]// Database Engineering and Applications, 2001 International Symposium on IEEE. 2001: 356-365.
- [8]JIANG J, WENG Y, LI P J. Dominant colour extraction in DCT domain [J]. Image and Vision computing, 2006, 24(12): 1269-1277.
- [9]HSU C W, LIN C J. A comparison of methods for multiclass support vector machines [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002, 13(2): 415-425.
- [10]RODRIGUEZ J D, PEREZ A, LOZANO J A. Sensitivity analysis of k-fold cross validation in prediction error estimation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(3): 569-575.
- [11]DAVIS J, GOADRICH M. The relationship between precision-recall and ROC curves [C]// Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning, ACM. 2006: 233-240.