

基于光学成像的棉花异性纤维检测方法研究进展

陈亚军^{1*}, 吴婷荣¹, 史书伟², 赵博³, 杨舒涵¹

¹西安理工大学印刷包装与数字媒体学院, 陕西 西安 710054;

²中华全国供销合作总社郑州棉麻工程技术设计研究所, 河南 郑州 450004;

³中国农业机械化科学研究院, 北京 100083

摘要 异性纤维是在棉花采摘、晾晒、运输和加工等环节中混入的非棉纤维性杂质,其含量较少,但带来的危害却很大。异性纤维的存在会降低棉花的品级,也会影响棉花的加工质量,使纺织布料出现色斑和染色不均等问题,进而导致棉制品的品质下降。因此,棉花中异性纤维的检测至关重要。本文分析了棉花中异性纤维产生的危害,以及检测中存在的问题,并归纳总结了现有异性纤维相关检测设备的使用情况;同时,从图像分割、特征选择和图像分类几个方面综述了近年来异性纤维检测技术与方法的研究现状及进展,并对今后的研究方向进行了展望。

关键词 图像处理; 光学成像; 图像分割; 特征选择; 图像分类; 异性纤维

中图分类号 TP391.41

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.1600007

Review of Cotton Foreign Fiber Detection Method Using Optical Imaging

Chen Yajun^{1*}, Wu Tingrong¹, Shi Shuwei², Zhao Bo³, Yang Shuhan¹

¹ Faculty of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

² Zhengzhou Cotton and Jute Engineering Technology and Design Research Institute, All China Federation of Supply and Marketing Cooperatives, Zhengzhou, Henan 450004, China;

³ Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China

Abstract Minute amounts of noncotton fiber impurities that mix with cotton fiber during cotton picking, drying, transportation, and processing are known as cotton foreign fibers. Foreign fibers reduce the cotton grade and affect the quality of cotton processing, causing problems such as stains and uneven dyeing of textile fabrics, leading to quality decline of the final product. Therefore, detecting foreign fiber in cotton is essential. In this paper, we analyze the harm due to foreign fiber in cotton and problems associated with its detection and summarize the foreign fiber-related detection equipment. Simultaneously, a summary of the recent studies and progress in foreign fiber-detection technologies and methods with regard to image segmentation, feature selection, and image classification, and prospects for future research directions is discussed in this paper.

Key words imaging processing; optical imaging; image segmentation; feature selection; image classification; foreign fibers

OCIS codes 110.2990; 100.2000; 100.3008

收稿日期: 2021-04-25; 修回日期: 2021-05-21; 录用日期: 2021-06-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700400)、陕西省重点研发计划资助项目(2019GY-080)、陕西省教育厅科学研究计划项目(20JY053)

通信作者: * chenyj@xaut.edu.cn

1 引 言

棉花是纺织工业的主要原材料之一,对促进农业发展和国民经济具有重要作用。然而异性纤维的存在会对棉花的色泽和染色质量产生影响,会降低棉产品的品质,影响产品的使用性能,最终不利于棉花及棉产品的销售。因此,在棉花加工过程中,对异性纤维的检测是十分有必要的,旨在及时发现、及时处理异性纤维,将其不良影响降到最低。综上,异性纤维的检测对于棉纺织业来说,具有重要意义。

针对棉花中异性纤维的检测,Zhang 等^[1]和师红宇^[2]综述了计算机视觉技术的基本概念、组成和图像采集方式,介绍了异性纤维图像处理和分析的进展;陈振等^[3]介绍了异性纤维检测过程中提高图像处理与识别效率的主要方法。本文分析了异性纤维产生的危害以及检测中存在的问题,对异性纤维检测设备的使用情况进行了总结,综述了相关检测技术与方法的研究进展,并对未来的研究方向进行了简单展望。

2 异性纤维产生的原因及危害

异性纤维是指在棉花生产过程中混入的非棉纤维性杂质。常见的异性纤维主要有毛发、布块、纸块、塑料绳、塑料膜块及线绳等,如图 1 所示。



图 1 常见异性纤维

Fig. 1 Common foreign fibers

异性纤维的混入主要发生在棉花采摘、晾晒、存储、运输和加工等环节。采摘时,可能会混入地膜,且有时采用化纤编织袋装纳棉花,并用塑料绳或麻绳封口,因此这些非棉纤维也可轻易混入;晾晒时,若地面尚未清理干净就直接摊晒棉花,则会混入动物毛发等异性纤维;存储、运输时,一些非棉纤维会因为监管不严格混入棉花中;加工时,工作人员的疏

忽和操作不当,会使衣物上的异性纤维混入,并随着生产进入后续加工工序^[4]。

虽然棉花中异性纤维的含量相对较少,但其带来的危害却非常大。首先,异性纤维的存在会对纺织品的质量产生影响。在实际生产中,异性纤维很难被完全清除,且极易在梳理工序中被撕碎、拉断,变成更细小的纤维,进而成为棉花原材料中的瑕疵点,在后续加工过程中会造成纱条互绊、断经、纺织布料出现色斑和染色不均等问题。其次,异性纤维的存在会降低棉花的等级,导致收购价格下降,棉农的经济收入减少。最后,异性纤维对棉花纺织品的品质产生负面影响,导致商家的信誉受到损害,进而降低我国棉纺织产品的国际市场竞争力和出口量,对我国经济的发展造成重大影响^[5]。

3 异性纤维检测中存在的问题

异性纤维的检测工作对整个棉花加工过程来说是必不可少的部分,然而目前异性纤维的检测大多是在开棉后进行的,这导致异性纤维被分梳,出现大量短、细纤维,并在棉花中随机分布,使得检测工作难度加大。归纳起来,异性纤维的检测主要存在以下几个方面的问题。

1) 人眼辨识能力有限。采用人工检测异性纤维时,必须保证光照度适中,棉花传送速度慢,且人眼对细节的分辨能力强。但一般情况下,人眼只能识别出颜色差异明显、体积大的异性纤维,对于颜色色差相对较小,或者细小的异性纤维,人眼很难分辨。而且人眼容易疲劳,易出现视觉误差,使得工作效率更低^[6]。

2) 与棉花颜色相近的异性纤维识别难度大。大量研究表明,若异性纤维颜色与棉花纤维颜色的色差低于 5%,则仅凭肉眼很难辨别^[7]。一些透明的丙纶丝,或者颜色与棉花纤维相近的布丝和化学纤维等很难被准确地辨别出来,进而无法及时清除,导致最终棉制品的品质受到影响。

3) 传统异性纤维清除机不具有自适应性^[8]。传统异性纤维清除机,即运用传统机器学习算法检测棉花异性纤维的机器,虽然在异性纤维检测问题上也取得了一定成果,但需要人工提取特征,然后再依据特征进行检测,这一过程比较复杂。而且当出现新型异性纤维时,需要重新设计样本特征,不具备自适应性。

4 异性纤维检测技术与设备

4.1 检测技术

4.1.1 检测方式

根据识别原理,异性纤维检测设备所用的检测方式主要可分为光电检测、超声波检测和光学检测^[9]。

光电检测是指将异性纤维与棉花之间的色差反映在光电二极管或者光电三极管上形成电流差,经过信号放大、处理来实现异性纤维的检测。光电检测原理简单、成本低,但对细小的、颜色与棉花相近的异性纤维的检测效果差,且光电管寿命短、稳定性差。

超声波检测是指利用超声波传感器发射超声波到棉花与异性纤维上,由于表面密度的不同,异性纤维反射回来的信号强于棉花,经处理比较可识别出异性纤维。超声波检测可识别出所有颜色的异性纤维;但对于面积相对较小的异性纤维的识别准确度较差,且超声波传送速度较慢,不能满足实时检测的要求。

光学检测是指在光源系统的照射下,利用工业相机采集棉流图像,并将图像信息传入计算机系统进行处理分析,发现异性纤维后驱动执行机构进行清除。光学检测对各类异性纤维都有不错的检测效果,检出率高,处理速度快,成本低,是目前广泛使用的技术。

4.1.2 成像技术

在异性纤维检测过程中,其与棉花的对比越明显,最终的检测精度就越高^[10]。当前,异性纤维的检测主要采用基于光学成像技术的检测方式,即在特定照明光源下采集传输通道中的棉流图像后,使用相关图像处理算法进行检测。然而,由于棉花中异性纤维的种类较多,特性也各不相同,因此运用不同成像方法所得的图像差异较大,进而对异性纤维检出效率的影响也较大。目前,常用的成像方法有紫外荧光成像法、X 光成像法、线激光成像法、红外光成像法、高光谱成像法、偏振光成像法和脉冲热成像法等。

1) 紫外荧光成像法

紫外荧光成像是用紫外线作为激发光源时,物体辐射荧光的能力和强度各不相同,用照相的方式可记录这种不同^[11]。由于棉花和异性纤维的分子结构不同,在紫外光的照射下,具有荧光特性的异性纤维与棉花的对比度得到增强,易于检出。但对

于没有荧光效应的异性纤维,该成像方法的检出率较低,需结合其他光源使用。

Zhou 等^[12]运用白光与紫外光交替成像的方法对异性纤维进行了检测。实验结果表明,该方法同时保留了白光成像和紫外荧光成像的优点,能够有效、实时地检测彩色和白色异性纤维。Mustafic 等^[13-14]则利用蓝光和紫外光激发了棉花中植物异性纤维和非植物异性纤维的荧光效果,进而实现了异性纤维的检测与分类。

2) X 光成像法

X 光成像是具有一定穿透力的 X 射线穿过密度和厚度不同的物质,被吸收后存在不一样的衰减现象,剩余的 X 射线经过显像后可得到 X 光图像。异性纤维与棉花在密度或者化学成分上的差异,可以使其在 X 射线的作用下获得有效的区别特征。

Pai 等^[15]利用 X 射线显微断层成像系统对棉花中存在的三类污染物进行了检测和分类;Pavani 等^[16]使用三维 X 射线显微层析成像系统生成了异性纤维的三维 X 光图像,并将其从背景中分割出来进行模糊分类;Dogan 等^[17]则运用 X 射线放射摄影成像技术检测了棉花中的异性纤维。X 射线可对不同棉层厚度的异性纤维进行成像,但成像速度较慢,且设备昂贵。

3) 线激光成像法

线激光成像是将线激光投射到物体表面后,可用相机采集经过物体表面形态调制的结构光条图像。棉花和异性纤维的表面形态存在差异,开松后棉花表面不平整,结构松散,对光的反射率较小;异性纤维表面致密、平整,对光的反射率较大。二者光学性能不同,易于区分。

在线激光的照射下,白色和塑料薄膜类异性纤维的成像效果较好,且成像速度快,不易受外界干扰。Liu 等^[18]采集了线激光照射下的截面图像,利用反射光的强度特征和棉花表面的绒毛特征,提出一种白色异性纤维的识别算法。王冬等^[19]也在 3 种不同波长的线激光照射下获取图像,实现了异性纤维的识别。张林等^[20-21]则提出了基于 LED 与线激光的双光源成像方法,实验结果表明,该成像方法的异性纤维识别率高于单独 LED 或单独线激光成像方法。

4) 红外光成像法

红外光成像是指在红外光的照射下,不同分子组成的材料对红外线的吸收效果存在一定差异,依

据物体辐射的红外线可进行成像。棉花纤维与异性纤维对特定波长的红外光吸收特性不同,可利用其中的差异进行成像,实现异性纤维的检测。

Fortier 等^[22]研究了基于傅里叶变换的近红外光谱技术,对不同类型的棉花杂质和异性纤维进行了鉴别。Tian 等^[23]建立了一套近红外高分辨率光谱成像系统,分析了原棉与无色异物的红外吸收特性。Cintrón 等^[24]使用配备了焦平面阵列检测器的傅里叶变换红外显微镜鉴定了 7 种常见的棉花污染物。蔡晓霞等^[25]也在近红外波段对混有 12 种异性纤维样本的棉花进行了扫描成像并检测。由于同时利用了图像和光谱信息,红外光成像法可有效提高异性纤维的检出率,且傅里叶变换红外光谱技术的检测灵敏度高、速度快。

5) 高光谱成像法

高光谱成像技术是一种基于非常多窄波段的影像数据技术,是成像和光谱的结合,其将图像在光谱维度上进行细致的分割,所得图像含有被测物体的空间信息和全波段连续谱的光谱信息^[26]。依据异性纤维与棉花光谱图像的差异,可实现检测任务。

Jiang 等^[27]开发了一种基于推扫式的高光谱成像系统,用于获取棉花中 15 种常见异物的高光谱图像。Zhang 等^[28]研究了短波近红外高光谱成像系统对各类棉花异物检测和分类的有效性。Mustafic 等^[29]探讨了高光谱荧光成像的可行性,选取了 7 种异物的最佳特征,并经 LDA 验证进行分类。刘巍等^[30]则建立了反射、透射和反透射 3 种模式的高光谱成像系统,用于识别皮棉中的杂质。但是,由于高光谱成像仪的价格高昂,目前该成像方法在实际生产中应用较少。

6) 偏振光成像法

偏振光成像是指光波在物体表面反射或折射产生偏振态的变化,以此可得物体的光波偏振信息,经过处理便可形成偏振光图像^[31]。偏振光成像法对于反射特性较强的异性纤维具有良好的成像效果,且透明薄膜类异性纤维在偏振光的照射下呈现彩色,易于检测。

Peng 等^[32]考虑了异性纤维多重散射和照射光传播的各向异性,提出一种彩色偏振成像方法,实验结果表明,该方法在不同棉层厚度下的检测效果均较好。张晨等^[33]在紫外光路上增设偏振光源,在不增加相机的情况下,利用光测弹性的干涉效应,增强了棉花中透明薄膜的检出率。然而,当遇到反射性强的异性纤维时,偏振光成像法易受反射光的影响,

出现耀斑和反光等问题,因此需要对偏振片进行调整,减少反射光的影响。

7) 脉冲热成像法

脉冲热成像是指在一定时间间隔内向被测物体施加热脉冲,由于材料特性的影响,物体表面会形成不同的温度分布,经过处理分析便可用伪彩的形式成像出来。棉花与异性纤维具有不同的热学特性,在热源的激励下,所呈现的热像图存在差异,进而有益于异性纤维的检测。

Kuzy 等^[34]构建了一套脉冲热成像分析系统,提取了手工制作的波形特征和频域特征,利用支持向量机与 LDA 判别分析实现了棉花异物的检测和分类。与紫外荧光和高光谱成像法相比,脉冲热成像法能够确定在紫外线照射下不显示强荧光的异性纤维特性,且成本低于高光谱成像法,其分析产生的数据对棉花异物的检测和鉴定具有重要意义。

光学成像技术的不断发展,使得棉花异性纤维的检出效率明显提高。然而,由于各类异性纤维特性的不同,适用于多种异性纤维同时检测的成像系统并没有出现。单一的成像系统仅对特定的几种异性纤维具有较好的检测效果,缺乏普适性。异性纤维的成像质量对检出率的影响很大,而成像质量主要取决于成像方法。因此,可考虑多相机和多光源的成像技术,减少多成像系统串联检测的时间,并通过合理调整光源安装角度和顺序,避免光源之间产生干扰,有效提高棉花中异性纤维的成像质量。

4.2 检测设备

针对棉花检测的研究,国外起步早、技术成熟,但设备较昂贵,且不同于我国对于棉花中非植物性杂质(异性纤维)的研究,国外更注重植物性杂质的研究,因此其研究成果并不完全适合我国的生产情况。我国 2001 年前后才开始异性纤维检测设备的研究,无论是在检出率、实时性,还是工艺要求方面都与国外的设备存在一定差距^[35]。但随着高速处理器和高性能摄像机的涌现,以及相关硬件设备成本的下降,我国基于光学成像技术的异性纤维检测系统越来越成熟,检出率也越来越高。目前,国内外都有完整成形的异性纤维检测设备,如德国 Trutzschler 公司生产的 T-SCAN TS-T5 和北京经纬纺织机械股份有限公司生产的 JWF0020 异纤分检机等(图 2)。通过对现有异性纤维检测设备特点的归纳,表 1 列举了国内外相关机构的最新型异性纤维清除系统及其技术特点。



图 2 异性纤维检测设备。(a)Trutzschler 生产的 T-SCAN TS-T5;(b)北京经纬纺织机械股份有限公司生产的 JWF0020
Fig. 2 Foreign fiber detection equipments. (a) T-SCAN TS-T5 producing by Trutzschler; (b) JWF0020 producing by Beijing Jingwei Textile Machinery Co., Ltd.

从表 1 可以看出,基于 CCD 摄像机的光学成像检测技术是目前异性纤维检测中常用的方式。异性纤维的成像质量是检测效果的重要影响因素,为了提高各类异性纤维的检出率,多个机构在清除系统中采用组合光源进行照明,以增强异性纤维的对比

度,提高成像质量。此外,依据异性纤维与棉花特性的不同,基于光谱分析的检测方法也可较好地完成异性纤维检测工作,但目前基于高光谱方式的异性纤维检测方案存在成本高、难以落地的问题,因此仍需进一步研究。

表 1 国内外棉花异性纤维清除系统

Table 1 Cotton foreign fiber removal system at home and abroad

No.	Company	Machine model	Lighting system	Detection method	Apply process	Production rate / ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)	Detection indicator	Functional features
1	Switzerland Loepfe	YarnMaster PRISMA	Multi-angle combined light sources	Four sensors	Foreign fiber electronic yarn clearer on the winder	-	Detection of colored foreign fibers and white and transparent PP	Dual sensor detection technology
2	Italy Loptex	EXA system	Multiple light sources	Embedded color CCD camera	Opening and cleaning processes	800	Detection of colored foreign fibers and white PP	Automation; minimal loss of pollution-free cotton
3	Germany Trutzschler	T-SCAN TS-T5	536 LED lamps with special lens	Camera with polarized light source	Opening and cleaning processes	1200	Detection of colorless and opaque PP	Low energy consumption; can be used in combination with the existing cotton cleaning thread
4	Switzerland Jossi	The vision shield inspect 4	Fluorescent and ultraviolet light	Color CCD camera	Opening and cleaning processes	1200	Detection of white polypropylene fiber	Less spray cotton; "Magic Eye" accessories are upgrade options

续表

No.	Company	Machine model	Lighting system	Detection method	Apply process	Production rate / ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)	Detection indicator	Functional features
5	Belgium Barco	Cotton sorter	16 high frequency special lamps	CCD line scan camera	Opening and cleaning processes	1200	Detection of colored foreign bodies	It can monitor the cotton flow speed and accurately calculate the time when the foreign matter reaches the nozzle
6	Shanghai Uster Technologies AG	USTER® JOSS I VISION SHIELD 2	4 fluorescent lamps, 2 background light strips	Spectral imager	Opening and cleaning processes	1200	Detection of light-colored and hair-like foreign fibers	The detection speed can be adjusted automatically; the spectral imager is combined with VTECT
7	Beijing Jingwei Textile Machinery Co., Ltd.	JWF0020 foreign fiber sorter	LED lamp	Color CCD camera	Opening and cleaning processes	1200	Detection of plastic films and black foreign fibers	The new water cooling system solves the problem of high temperature; good tightness
8	Jiangsu Premier Textile Electronics Co., Ltd.	Qmax2	Visible, infrared and ultraviolet light	Ultrasonic wave	Opening and cleaning processes	1200	Detection of transparent foreign fibers and white PP	Dual-core high-speed parallel image processing; automatic and manual calibration
9	Shaanxi Changling Textile Electromechanical Technology Co., Ltd.	CS810 cotton foreign fiber cleaner	LED lamp	Imported camera	Opening and cleaning processes	1000	Detection of hairline and white polypropylene fiber (detection rate $>90\%$)	Polarization detection technology; professional light board type LED light source; online remote debugging

续表

No.	Company	Machine model	Lighting system	Detection method	Apply process	Production rate / ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)	Detection indicator	Functional features
10	Beijing Daheng Image Vision Co., Ltd.	Surpasser-A	Mixing and customizing light sources	Color CCD camera	Opening and cleaning processes	1000	Detection of light-colored and fine foreign fiber	A part of the cotton passage through the blowing and carding unit; small footprint, convenient installation and maintenance
		Surpasser-M	Mixing and customizing light sources	Color CCD camera and customized camera	Opening and cleaning processes	800	Detection of light-colored and fine foreign fiber	Equipped with independent cotton feeding and opening devices; built-in fan, strong adaptability to working conditions
11	Dalian Guiyou Advanced Technology Co., Ltd.	CS-5 foreign matter detector	Visible light and ultraviolet light	Linear CCD camera	Opening and cleaning processes	—	Detection of colored foreign fibers and white polypropylene fiber	Independent dual detection channels; photoelectric integrated automatic detection mode
12	Luoyang Fangzhi Measure and Control Co., Ltd.	YQ600 series	LED lamp	CCD camera	Opening and cleaning processes	—	Detection of white polypropylene fiber	Power on automatic detection, crash automatic reset; remote automatic diagnosis
13	Wuxi Hengjiu Electrical Technology Co., Ltd.	CCH-III Multi-channel detection of foreign fiber sorter	White light and ultraviolet light	CCD camera and ultrasonic wave	Opening and cleaning processes	<800	Detection of white and colored foreign fibers (detection rate >85%)	No additional devices need be added; integrated a variety of detection methods
14	Wuxi Saitehua Weaving Electronic Instrument Co., Ltd.	STH-2008 foreign fiber cleaner	Fluorescent lamp	High-speed line scan camera	Opening and cleaning processes	400-800	Detection of colored and colorless polypropylene fiber (detection rate >85%)	Have perfect self-check system; fluorescent lamps have long service life

续表

No.	Company	Machine model	Lighting system	Detection method	Apply process	Production rate / ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	Detection indicator	Functional features
15	Taiwan Mingzheng Machinery Industry Co., Ltd.	DG-2000A	8 high frequency high brightness lamp tubes	Super HAD Color CCD camera	Opening and cleaning processes	1200	-	The sensitivity of designed camera is better than that of traditional cameras; surface scanning increases the chance of scanning foreign fibers

5 异性纤维视觉检测方法研究现状及进展

针对棉花中存在的异性纤维,国内外学者已开展相关检测、研究工作多年,主要采取的方法是利用成像系统采集含有异性纤维的棉花图像,然后经过图像处理和单元获取异性纤维的属性,最后依据属性实现异性纤维的相关视觉检测工作,检测流程如图 3 所示。

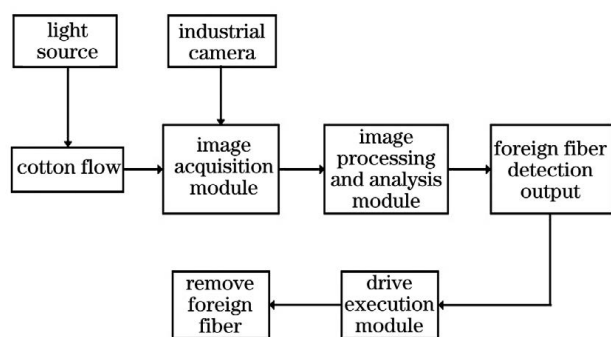


图 3 异性纤维视觉检测流程

Fig. 3 Visual detection process of foreign fiber

图像处理和单元分析是视觉检测的核心环节,主要包括图像预处理、图像分割、特征选择和图像分类等。通过处理和单元分析,可以得到图像中异性纤维的形状、轮廓、面积、位置和标识等信息,进而利用这些信息完成检测任务。

5.1 异性纤维图像分割方法

图像分割是图像处理的关键环节,具体是指把图像分成各具特殊意义的区域并提取出感兴趣部分的过程,其中感兴趣的部分即为目标区域,其余部分则为背景区域。针对异性纤维图像的分割方法,可

根据纹理、灰度和颜色等来实现,其目的在于将异性纤维从棉花背景中分离出来,为后续图像分析及特征提取等工作打下基础,所以异性纤维图像分割的好坏直接影响着最终的检测结果。目前,用于异性纤维图像分割的方法有阈值分割、边缘检测、显著性图像分割和小波变换等。

5.1.1 阈值分割

棉花异性纤维图像可以看作是由若干个像素点组合而成,阈值分割就是指将所有像素点的强度值与所选阈值作对比,然后依据对比结果将图像分为异性纤维区域和棉花区域^[36]。

阈值分割实现过程简单,计算量小,通过选取合适的阈值即可完成处于不同灰度级范围的异性纤维与棉花背景的分割。其中,Otsu法是一种自适应阈值分割法,其依靠方差衡量图像的灰度分布均匀性,不易受图像亮度和对比度的影响。但考虑到一般情况下,异性纤维在棉花图像中所占比例较小,若采用基础的Otsu法直接对整幅图像进行分割,容易漏掉部分浅色或细小异性纤维。因此,Fang等^[37]将目标检测方法与自适应阈值分割方法相结合,先用贝叶斯分类器检测出包含地膜的区域,然后运用Otsu算法进行区域分割;Wu等^[38]和Wang等^[39]将图像进行分块处理,用Otsu法对预判含有异性纤维的块进行分割,然后将分割后的块合并起来;Yang等^[40]则将二维Otsu法从穷举法改进为迭代法,并提出了二次分割的方法。相比于其他分割方法,阈值分割方法虽然无需大量计算,具有一定的稳定性能,但对于灰度差异不明显或者灰度值有重叠的异性纤维,其分割效果较差,无法做到有效分割,且当图像中背景棉花占比过大时,最优阈值的确定

易受影响。

5.1.2 边缘检测

图像的边缘是图像中不同区域的分界线,存在于背景与目标或者目标与目标之间。边缘检测是指利用某种特定的算子提取出异性纤维与背景棉花之间的分界线,进而完成分割^[41]。

边缘检测通过异性纤维和背景棉花之间像素灰度值的不连续变化来获得异性纤维的边缘信息,然后依此完成分割。所以,如何精确获得异性纤维的边缘信息是进行分割的关键步骤,传统的边缘检测通常采用 Roberts、Sobel、Prewitt、Laplacian、LoG 和 Canny 算子等来获取目标的边缘信息。Zhang 等^[42]和卢绪凤等^[43]通过 Laplacian 算子对图像进行边缘提取,识别和定位了原棉中混有的异性纤维,并利用喷嘴清除。实验结果表明,对于常见的异性纤维,该方法的检出率较高,可达到设计要求。

虽然传统边缘检测算子的检测速度快,易于实现,但对噪声较为敏感,抗噪与检测精度之间存在矛盾,难以兼顾。形态学在图像处理过程中具有独特优势,其抗噪性能好,平滑度高,能够很好地检测图像边缘,并在抗噪性和准确性上保持一致性。Zhang 等^[44]提出一种棉花异性纤维高分辨率彩色图像的快速分割方法,利用形态学在图像边缘检测上的优势和图像的色彩信息,采用改进的形态学边缘检测算子对图像进行分割。党士许^[45]则提出多结构元素加权融合的改进形态学算子,在自动化棉流中实现了异性纤维图像的分割。

5.1.3 显著性图像分割

显著性图像分割最先由 Koch 和 Ullman 提出,Itti 等^[46]则对计算模型进行了改进,并以算法的形式实现。作为图像中重要的视觉特征,显著性体现了人眼对图像中某些区域的重视程度,处理过程中则会优先考虑这些区域,并在最短的时间内获取信息。

棉花中异性纤维的种类繁多,颜色和形状各不相同,且总是在棉花大背景下分散分布。显著性的引入,可以从颜色、亮度和纹理等特征出发,通过计算图像中各个子区域与周围相邻区域的对比度得出该区域的显著性,显著值高的区域则被认为是异性纤维区域。Yang 等^[47]提出了一种基于显著性的彩色图像分割方法,由 R、G、B 显著图融合得到颜色显著图后,从中分割出彩色异性纤维;然后将 RGB 图像转换为灰度图像得到亮度显著图,再从中分割出

灰色异性纤维图像。为了进一步增强异性纤维的显著度,师红宇等^[48-49]在显著性检测 Itti 模型的基础上,结合棉花特性,仅选择灰度特征进行分解,构建了 Itti 改进模型,使显著图中异性纤维与背景棉花的对比度得到了明显提高。总之,通过显著性计算可以合理分配资源,去除冗余的背景数据,提高检测准确率,但处理算法相对复杂、耗时,因此高效且高质量的显著性处理算法仍需进一步探索、研究。

5.1.4 小波变换

小波变换在时间域和频率域同时具有良好的局部性质,其多尺度的特性能够在不同尺度上对信号进行分析。在异性纤维图像分割方面,小波变换通过低通和高通滤波器将图像信息一层一层剥离分解,可最大限度地减小或消除所提取信息之间的相关性,且其对噪声不敏感,但运用时需选取合适的滤波器。

在进行棉花异性纤维图像分割时,区分真正的噪声和目标边缘是分割难题之一。经过对图像的多尺度分解,小波变换可以在高频部分对噪声进行处理,在低频部分提取图像的细节信息,然后进行重构得到高质量的图像。基于小波变换在图像处理方面的潜力和优势,刘双喜等^[50]提出了一种基于多通道小波分解、重构的异性纤维图像分割方法,分别对 R、G、B 三通道图像进行小波分解后,图像两两作差,然后将作差得到的图像进行小波逆变换得到重构图像。实验结果表明,该方法可以将微弱异性纤维准确分割出来。

5.1.5 其他方法

除上述方法外,还有许多其他方法被用于异性纤维图像的分割。

颜色空间是人们为了方便研究颜色而建立的一种数学模型,也可用来具体描述异性纤维的颜色。Xie 等^[51-53]在 RGB 颜色空间建立了一种判断异物的检测模型,以实现棉花与异物的快速分割。Wang 等^[54]基于 HSV 颜色空间,增强了异性纤维图像的 S 通道值,进而实现了异性纤维的分割。郑鹏^[55]则将标准棉花的 RGB 空间模型投影于 RG、GB、BR 三大平面上,实现了空间模型到二维图像的转换,并运用不同坐标轴下的棉花阈值分割图像。

均值漂移(mean shift)算法用于异性纤维图像的分割是基于对图像像素的最优化求解,它把收敛于同一极大值的所有点归为一类,并把符合条件的类进行合并,具有较强的鲁棒性。传统的自适应阈值分割法虽然能够通过变换阈值较好地完成异性纤

维图像分割任务,但仍存在分割不完整和噪声点没有完全消除的问题,因此, Ji 等^[56]提出了一种基于自适应阈值的均值漂移分割算法,对棉花图像中的异性纤维区域进行分割;罗永恒^[57]也提出了一种基于均值漂移分割的棉花异性纤维识别方法。结果表明,均值漂移分割算法在分割质量和时间上都优于普通分割算法,且其不需要先验知识,运行速度快,但对于面积较小或与背景棉花对比度较低的异性纤维来说,其分割效果较差。

综上所述,为了实现异性纤维图像的分割,学者们提出了多种分割方法,且效果良好。其中,阈值分割方法的实现简单,但对于灰度差异不大的异性纤维分割效果差;边缘检测方法的速度快,但检测精度与抗噪性能难以同时保证;显著性分割方法能够提高异性纤维的显著度,使其凸显出来,但处理过程较耗时;小波变换方法可在不同尺度对图像进行处理,抑制噪声并提取细节信息。然而,这些分割方法没有一种可适用于所有异性纤维的检测,且对于颜色与棉花相近的、透明的异性纤维分割难度较大。异性纤维图像的精确分割,有助于特征提取与分析,可有效提高检测精度,因此仍需不断研究、开发合适的异性纤维分割方法,提高分割质量。

5.2 异性纤维图像检测与分类特征选择算法

图像特征的选择是图像处理过程中一个重要环节,具有准确提取有效信息、压缩特征空间的作用,其可以减少特征维数,降低问题的复杂度,在保证一定分类精度的前提下,使分类器实现更加快速准确的分类。

颜色、纹理和形状特征是图像的基本特征,常被用作异性纤维分类的依据。其中,颜色和纹理特征是全局特征,描述了异性纤维的表面性质;形状特征则描述了异性纤维的整个形状轮廓。但异性纤维种类多样,颜色形态各异,仅使用一类特征很难完成区分任务,所以需要通过对特征选择方法将各种分类能力较强的特征组合起来,提高异性纤维分类的准确度。目前,用于异性纤维图像检测与分类特征选择的算法有粒子群优化算法、蚁群优化算法和遗传算法等。

5.2.1 粒子群优化算法

粒子群优化算法(PSO)源于鸟群捕食行为特性^[58],其基本思想是通过群体中个体之间的协作与信息共享,不断迭代、搜索,以寻求最优解。

对分割后的异性纤维进行特征提取,可以得到描述异性纤维的初始特征集合,这些特征是完成分

类的关键和基础,但其中大量特征是无关或冗余的,它们的存在可能会降低分类精度,提高结果的复杂性。对此, Li 等^[59]提出了一种基于粒子群优化算法的快速特征选择方法,结合颜色、纹理和形状特征,用 75 维特征向量表示异性纤维的特征。结果表明,通过运用粒子群优化算法搜索特征,减少了分类器训练次数,降低了计算复杂度。然而,虽然基于粒子群优化的特征选择算法可以搜索出最优特征集,但其存在较高的过拟合风险,且计算量大,因此 Zhao 等^[60]提出了将信息增益和离散粒子群优化相结合的两阶段异性纤维特征选择方法,该方法同时考虑了滤波式和捆绑式特征选择方法的优点,能够找到规模更小、准确率更高的特征子集。

综上所述,用于棉花异性纤维的特征选择时,粒子群优化算法有助于图像特征的优化,能够提取出最优的图像特征集,且容易与其他算法结合,但迭代的过程中容易陷入局部极值点。

5.2.2 蚁群优化算法

蚁群优化算法(ACO)是一种人工模拟蚁群在寻找食物的过程中通过释放、感知信息素来发现最短路径的算法,用于解决复杂的组合优化问题^[61]。

对于异性纤维特征选择问题,蚁群优化算法可将该问题模拟为求解搜索图最小路径的问题,其利用正反馈原理,可以加快进化过程,进而提高有效特征的选择效率。为了提高异性纤维在棉花中的识别性能, Zhao 等^[62]提出了一种基于蚁群优化的异性纤维特征选择算法;同时,考虑到异性纤维在线检测中精度和速度的重要性,又对蚁群优化特征选择算法进行了改进^[63],引入群体约束来限制子集的构造过程和概率转移,减少无效子集的影响,进一步提高了搜索效率。实验结果表明,改进后算法有更好的搜索能力,能够获得区分度较高且规模较小的异性纤维最优特征集。

作为一种仿生随机搜索算法,蚁群算法具有很强的鲁棒性,可通过与其他算法结合来提高性能。然而,该算法的运行需要较长搜索时间,涉及的参数较多,且容易出现“停滞现象”,因此实际用于异性纤维有效特征选择时需针对存在问题作出改进。

5.2.3 遗传算法

遗传算法(GA)是一种以种群遗传进化理论为基础的随机化搜索方法^[64],可用于模拟生物进化机制,其通过选择、交叉和变异筛选适应性强的个体。

在进行异性纤维特征选择时,遗传算法会采用群体搜索策略,一代一代逐步进化,直至收敛到最优

解。然而,基础的遗传算法局部搜索能力差,全局搜索速度较慢,且对适应度函数的依赖性较强,所以,学者们针对这些缺点提出了许多改进。Yang 等^[65]提出将染色体分成几段实现局部管理,运用交叉和变异算子分段进行操作,有效地从多组特征中选出异性纤维最优特征子集。实验结果表明,与简单遗传算法相比,该算法具有更好的搜索能力和收敛速度。Yang 等^[66]则采用二进制对染色体进行编码,随机生成初始群体,运用交叉和变异算子根据适应度值对染色体进行操作,进而完成棉花异物的最优特征子集选择。

5.2.4 其他算法

由于异性纤维具有复杂多样性,单用一个或两个特征很难实现识别和分类的目标。为了精确识别 5 种常见的异性纤维,杨程午^[67]基于颜色、形状和纹理,全方位提取了异性纤维的 21 个特征。张云等^[68]则利用共生矩阵和 Gabor 滤波器在纹理描述方面的优势,提取灰度共生矩阵纹理特征和 Gabor 纹理特征来表征异性纤维的图像内容。

Fisher Score 是一种有监督的滤波式特征选择方法,其依据 Fisher 准则对特征进行评分后,选取分值最高的 K 个特征作为最优特征子集。为了获得较优的识别分类精度,Zhao 等^[69]先在实验中运用 Fisher Score 寻找异性纤维的最优特征子集,然后又分别运用 FisherFS、ReliefFS、ChiFS 和 GiniFS 4 种方法对比寻找具有较强识别能力的特征集^[70]。

最小冗余最大相关(mRMR)方法是一种基于互信息的特征选择方法^[71],其基本思想是最大化特征与分类变量之间的相关性,最小化特征之间的相关性,选择出与分类变量有最高相关度的前 K 个特征组成最优特征子集。Jiang 等^[72]和 Zhang 等^[73]运用 mRMR 特征选择方法,从高光谱成像数据中选择出最佳波长、波段,用于棉花异物的分类。

从异性纤维的原始特征集合中选择出分类能力最强的特征子集是完成分类任务的前提和保障,该过程可以有效降低特征向量的维数,进而简化分类器的设计,提高分类速度和精度。各种特征选择算法的运用,则有利于提高异性纤维最优特征集的搜索速度。其中,粒子群优化算法易于实现,搜索速度快、收敛效率高,但存在容易陷入局部最优的问题;蚁群算法鲁棒性较强,但参数设置复杂,搜索时间长;遗传算法能够求出全局最优解,但容易陷入“早熟”,稳定性差。由于异性纤维种类多样,大小、颜色、形状和纹理各不相同,现在的一些特征选择方法

具有片面性,并不通用,故仍需进一步开展研究,寻求更加有效的异性纤维特征选择方法。

5.3 异性纤维图像分类方法

图像分类是计算机视觉领域的核心问题之一,其基本思想是给定一个图像,正确给出该图像的所属类别。简单来说,就是输入一个图像并返回一个图像分类标签。具体实现时需要利用手工提取特征或特征学习方法对整个图像进行描述,然后使用分类器判断类别。异性纤维图像分类是指依据所提取的异性纤维的颜色、形状等特征,对棉花中的毛发、布块、纸块、塑料绳及线绳等常见异性纤维进行分类。研究异性纤维图像分类方法,不仅有助于实现异性纤维的检测与剔除,对棉纺织行业利用异性纤维分类结果来改进加工工艺也具有重要意义。近年来,用于异性纤维图像分类的方法有 K-近邻算法、支持向量机方法和深度神经网络方法等。

5.3.1 K-近邻算法

K-近邻算法(KNN)是一种常见的分类算法,其以所有已知类别的异性纤维样本为参照,基于某种距离度量找出待分类异性纤维的 K 个最近邻样本,并进行投票,进而预测出其类别属性^[74]。

K-近邻算法理论简单,易于理解,不需要进行训练即可进行棉花异性纤维分类,其分类效果很大程度上取决于度量的距离和选择的 K 值,合适的 K 值可以提高分类精度,且不容易过拟合。Ouyang 等^[75]建立了棉花图像样本库和异性纤维图像样本库,运用 K-近邻分类方法,采用欧氏距离对棉花和异性纤维进行了有监督分类的识别。实验结果表明,该算法虽然设计简单,但基本能够满足准确性的要求。然而,当异性纤维样本与棉花样本不平衡时,K-近邻算法的预测偏差较大;当数据量较大时,K-近邻算法的运行需要大量存储空间,且每次都需要计算待分类样本与参照样本的距离,所消耗的时间较长。

5.3.2 支持向量机

支持向量机(SVM)方法是在统计学理论基础提出的一种机器学习方法,它会在高维空间获取一个最优分类超平面,使不同类别异性纤维的特征在此超平面上的分类间隔达到最大化。

支持向量机结构简单,泛化能力强,可有效避免过拟合问题,对小样本、非线性及高维问题具有良好的解决效果,但对参数和核函数的选择较为敏感。刘杰^[76]和王欣等^[77]在提取颜色、形状和纹理特征后,基于特征数据,使用径向基核函数支持向量机实

现了异性纤维的分类。然而异性纤维种类多样,基础的支持向量机只能进行两类分类,为了准确、快速地进行多类异性纤维分类识别,可将多个两类支持向量机按照不同的策略组织起来。Li 等^[78]和 Yang 等^[79]在提取异性纤维的颜色、形状和纹理特征组成特征向量后,分别构造出基于决策树的一对多 MSVM(多类支持向量机)、基于投票的一对一 MSVM 和基于有向无环图的一对一 MSVM 等分类方法。实验结果表明,对比于简单的支持向量机,多类支持向量机的分类精度明显较高。然而,面对大规模的训练样本时,支持向量机分类算法需要消耗较长时间,效率较低,难以满足要求。

5.3.3 深度神经网络

深度神经网络(DNN)是一种判别模型,本质上是学习大量输入与输出之间的映射关系,其具有局部连接、权值共享和多任务处理的特点,可自动提取异性纤维的特征,且对新样本具有自适应性。

深度神经网络运用分层抽象的概念,可以逐层提取特征信息,学习具有代表性和判别性的特征。然而,随着网络的加深,一些细节信息会丢失。为了充分利用深度神经网络浅层和中间层的信息,使其也能对分类结果产生一定影响,Cai 等^[80]改进了 VGG 16 的结构,对每一层的输出进行深度可分离卷积处理,使特征更加丰富,再用点卷积连接特征,并在全连接层进行整合。对比实验结果得出,改进后的网络可有效提高棉花中异性纤维的分类准确率。

基于 Faster-RCNN,何晓昀等^[81-83]实现了对籽棉图像中异性纤维的识别。然而,由于异性纤维的尺寸呈现多样性,原始 Faster-RCNN 模型的候选框尺寸与部分异性纤维不符,容易造成小尺寸异性纤维无法参加预训练及难检出的问题,对此,杜玉红等^[84]和董超群^[85]分别用 ResNet-50 和 Inception-ResNet-V2 代替原有的 VGG 16 来提取异性纤维的特征,并运用 K-means++ 算法对候选框尺寸和数量进行改进,实现了异性纤维的分类与定位。通过对比结果,改进后的模型精确率、精度、召回率和 F_1 分数均有明显提高。

此外,针对异性纤维检测实时性较差的问题,巫明秀等^[86]引入 MobileNets 网络,构建了 MobileNets-YOLOv3 模型来检测棉花中的异性纤维。MobileNets 采用的深度分离卷积可显著减少计算量,提高检测速率,使改进后的模型既能保证较高的检测精度,又能保证检测效率,满足实时性检测的

要求。

棉花中异性纤维的准确分类,不仅有助于实现异性纤维含量的预测,也可为后续清除工序的安排提供依据,进而有效提高棉花加工质量。多种分类方法已成功应用于异性纤维的检测识别任务,但棉花中各类异性纤维的特征具有多样性,个别异性纤维存在类内差距大、类间差距小的特点,导致分类效果较差。事实上,异性纤维分类效果的优劣主要取决于所提取特征的辨别能力和分类能力。深度神经网络在图像处理方面的优势,为棉花中异性纤维的检测、分类提供了新途径。与传统机器学习方法相比,神经网络可自动获取图像的特征信息,并拥有较强的特征学习能力和泛化能力,进而能够获得更高的分类准确率。

6 未来研究方向

随着机器视觉技术的不断发展,棉花中异性纤维的检测工作取得了可喜的成果,但仍有进一步提升的空间。未来棉花异性纤维检测领域的研究方向可归纳如下:

- 1) 进行棉花异性纤维检测相关研究所用图像数据库的建立与共享,目前缺乏此类标准的数据库,一定程度上阻碍了棉花异性纤维检测技术的发展;
- 2) 基于高光谱、偏振光、紫外光和可见光等成像技术,实现诸如透明丙纶丝等异性纤维的检测,并建立成本较低的多光谱异性纤维检测仪;
- 3) 颜色与棉花相近的、透明的、细小的异性纤维检测算法研究,以及自适应学习算法研究;
- 4) 目前大部分研究侧重于皮棉中异性纤维的检测,未来需要将异性纤维检测技术应用到籽棉加工过程,提高现有机械缠绕、风吹等传统籽棉异性纤维剔除设备的智能性,从棉花前期加工环节剔除异性纤维,减少皮棉清除环节的含杂情况;
- 5) 为了提高籽棉中异性纤维和杂质的检出率,可进一步研究基于深度学习的籽棉异性纤维与杂质识别方法,开发籽棉含杂图像的智能识别与分析算法。

7 总 结

棉花中异性纤维的存在会降低棉花的等级,导致收购价格下降,也会在加工过程中造成染色不均、纱线易断裂等问题,影响棉制品的品质,进而导致商家信誉受损。因此,异性纤维的精确检测是棉花加工过程中不可缺少的环节。然而,由于异性纤维大

多短而细,随机分布在棉花中,且部分异性纤维与棉花纤维颜色相近,难以辨别,因此异性纤维的检测识别工作难度较大。

本文分析了异性纤维带来的危害,及其检测中存在的问题;介绍了异性纤维检测技术,并归纳总结了国内外相关机构的最新型异性纤维清除系统。同时,依据图像分割、特征选择和图像分类的概念,本文还综述了近年来国内外学者针对异性纤维图像的检测技术与方法的研究现状及进展,并对未来棉花异性纤维检测领域的研究方向进行了简单展望。基于光学成像的异性纤维检测技术,无接触、无损伤、易实施,可发挥巨大作用,是棉花异性纤维检测的有效途径。随着计算机视觉技术的发展,图像处理和新的算法不断被提出,但针对异性纤维检测的难题依然存在。为了满足棉花加工生产线的要求,寻找、开发更为有效的异性纤维检测算法尤为重要,同时要保证检测效率,同步提高检测速度与精度。

参 考 文 献

- [1] Zhang H, Li D L. Applications of computer vision techniques to cotton foreign matter inspection: a review[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2014, 109: 59-70.
- [2] Shi H Y. Application of computer vision technology in cotton foreign fiber detection [J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2018, 15 (24): 127-128.
师红宇. 计算机视觉技术在棉花异性纤维检测中的应用综述 [J]. *科技创新导报*, 2018, 15 (24): 127-128.
- [3] Chen Z, Xing M J. Study development of cotton foreign fiber inspection method [J]. *Cotton Textile Technology*, 2016, 44(9): 77-81.
陈振,邢明杰. 棉花异性纤维检测方法研究进展[J]. *棉纺织技术*, 2016, 44(9): 77-81.
- [4] Wang W Z. Discussion on testing technology of cotton foreign fiber content [J]. *China Cotton Processing*, 2019(3): 24-25.
汪文忠. 浅谈棉花异性纤维含量检验技术[J]. *中国棉花加工*, 2019(3): 24-25.
- [5] Chen B. Research on the testing technology of cotton foreign fiber content [J]. *Modern Business Trade Industry*, 2018, 39(30): 185-186.
陈彪. 棉花异性纤维含量检验技术探究[J]. *现代商贸工业*, 2018, 39(30): 185-186.
- [6] Shao Y T, Chen Y J, Ge C Y. Discussion on testing the content of foreign fiber in cotton[J]. *Chinese & Foreign Entrepreneurs*, 2019(36): 201.
- [7] Qiu J H. Pay more attention and strengthen to the foreign fiber testing in cotton [J]. *China Fiber Inspection*, 2020(9): 40-41.
邱吉辉. 重视和加强棉花异性纤维含量的检验[J]. *中国纤检*, 2020(9): 40-41.
- [8] Cai Y Y. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master in engineering[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2019.
蔡月月. 基于深度学习的棉花异性纤维分类研究 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2019.
- [9] Yue X. Research on multi-parameter optimization of heterogeneous fiber sorting machine detection rate based on neural network[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2020.
岳新. 基于神经网络的多参数优化异纤分拣机检出率研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2020.
- [10] Dong C Q, Du Y H, Ren W J, et al. Research progress in optical imaging technology for detecting foreign fibers in cotton [J]. *Journal of Textile Research*, 2020, 41(6): 183-189.
董超群,杜玉红,任维佳,等. 应用光学成像技术检测棉花中异性纤维的研究进展[J]. *纺织学报*, 2020, 41(6): 183-189.
- [11] Song X H, Qi Q, Zhou X R, et al. Detection of foreign fibers in cotton based on ultraviolet fluorography and image processing [J]. *Shanghai Textile Science & Technology*, 2019, 47(10): 86-88, 92.
宋小红,祁庆,周小蓉,等. 基于紫外荧光成像与图像处理技术的原棉异纤检测[J]. *上海纺织科技*, 2019, 47(10): 86-88, 92.
- [12] Zhou F, Ding T H. Detection of cotton lint trash within the ultraviolet: visible spectral range [J]. *Applied Spectroscopy*, 2010, 64(8): 936-941.
- [13] Mustafic A, Li C Y, Haidekker M. Blue and UV LED-induced fluorescence in cotton foreign matter [J]. *Journal of Biological Engineering*, 2014, 8: 29.
- [14] Mustafic A, Li C Y. Classification of cotton foreign matter using color features extracted from fluorescent images[J]. *Textile Research Journal*, 2015, 85(12): 1209-1220.
- [15] Pai A, Sari-Sarraf H, Hequet E F. Recognition of cotton contaminants via X-ray microtomographic image analysis [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2004, 40(1): 77-85.
- [16] Pavani S K, Dogan M S, Sari-Sarraf H, et al. Segmentation and classification of four common cotton contaminants in X-ray microtomographic

- images[J]. Proceedings of SPIE, 2004, 5303: 1-13.
- [17] Dogan M S, Sari-Sarraf H, Hequet E F. Cotton trash assessment in radiographic X-ray images with scale-space filtering and stereo analysis [J]. Proceedings of SPIE, 2005, 5679: 276-287.
- [18] Liu F, Su Z W, He X C, et al. A laser imaging method for machine vision detection of white contaminants in cotton[J]. Textile Research Journal, 2014, 84(18): 1987-1994.
- [19] Wang D, Yin B B, Liu X, et al. Laser line scan imaging method for detection of white foreign fibers in cotton[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9): 310-314.
王冬, 尹伯彪, 刘翔, 等. 棉花中白色异性纤维的线扫描激光成像检测方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 310-314.
- [20] Zhang L, Wei P, Wu J B, et al. Detection method of foreign fibers in cotton based on illumination of line laser and LED [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(15): 289-293.
张林, 韦平, 伍剑波, 等. 基于线激光与 LED 的棉花中异性纤维检测方法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(15): 289-293.
- [21] Wei P, Zhang L, Liu X, et al. Detecting method of foreign fibers in seed cotton using double illumination imaging[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(4): 32-38.
韦平, 张林, 刘翔, 等. 籽棉中异性纤维的双光源成像检测方法[J]. 纺织学报, 2017, 38(4): 32-38.
- [22] Fortier C A, Rodgers J E, Cintrón M S, et al. Identification of cotton and cotton trash components by Fourier transform near-infrared spectroscopy[J]. Textile Research Journal, 2011, 81(3): 230-238.
- [23] Tian L X, Fu W S, Liu J Y, et al. Methods of foreign fiber detecting based on PCA analyzing of infrared spectral images [J]. Proceedings of SPIE, 2014, 9142: 914213.
- [24] Cintrón M S, Rodgers J E. Identification of common cotton contaminants using an FTIR microscope with a focal plane array detector [J]. AATCC Journal of Research, 2017, 4(6): 12-17.
- [25] Cai X X, Wu L L, Liang H F, et al. Cotton foreign fiber detection based on near-infrared imaging technology[J]. Cotton Textile Technology, 2021, 49(4): 6-10.
蔡晓霞, 吴玲玲, 梁海锋, 等. 基于近红外成像技术的棉花异纤检测[J]. 棉纺织技术, 2021, 49(4): 6-10.
- [26] Liu L X, He D, Li M Z, et al. Identification of Xinjiang jujube varieties based on hyperspectral technique and machine learning[J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(11): 1111002.
刘立新, 何迪, 李梦珠, 等. 基于高光谱技术与机器学习的新疆红枣品种鉴别[J]. 中国激光, 2020, 47(11): 1111002.
- [27] Jiang Y, Li C Y. Detection and discrimination of cotton foreign matter using push-broom based hyperspectral imaging: system design and capability [J]. PLoS One, 2015, 10(3): e0121969.
- [28] Zhang R Y, Li C Y, Zhang M Y, et al. Shortwave infrared hyperspectral reflectance imaging for cotton foreign matter classification [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 260-270.
- [29] Mustafic A, Jiang Y, Li C Y. Cotton contamination detection and classification using hyperspectral fluorescence imaging [J]. Textile Research Journal, 2016, 86(15): 1574-1584.
- [30] Liu W, Shi Y, Tian H Q, et al. Detection method for ginned cotton impurities based on hyperspectral reflection, transmission and reflection-transmission imaging mode [J]. Advanced Textile Technology, 2019, 27(5): 44-49.
刘巍, 史勇, 田海清, 等. 高光谱反射、透射和反透射成像模式的皮棉杂质检测方法研究[J]. 现代纺织技术, 2019, 27(5): 44-49.
- [31] Wang L, Fang Y, Wang S C, et al. Line-structured light imaging method of rail profile based on polarization fusion[J]. Acta Optica Sinica, 2020, 40(22): 2211001.
王乐, 方玥, 王胜春, 等. 基于偏振融合的钢轨廓形线结构光成像方法[J]. 光学学报, 2020, 40(22): 2211001.
- [32] Peng B, Huang S L, Li D J. Detection of colorless plastic contaminants hidden in cotton layer using chromatic polarization imaging [J]. Chinese Optics Letters, 2015, 13(9): 092901.
- [33] Zhang C, Sun S L, Shi W X, et al. Design and test of foreign fiber removal machine based on embedded system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(8): 43-52.
张晨, 孙世磊, 石文轩, 等. 基于嵌入式系统的异纤清除机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 43-52.
- [34] Kuzy J, Li C Y. A pulsed thermographic imaging system for detection and identification of cotton foreign matter [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2017, 17(3): E518.
- [35] Wu M H. Research on recognition algorithm of cotton foreign fibers based on image[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
吴明会. 基于图像的棉花异性纤维识别算法研究

- [D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- [36] Li L. Overview of research status of image segmentation [J]. *Information Technology and Informatization*, 2015(3): 85-87.
李磊. 图像分割研究现状概述[J]. *信息技术与信息化*, 2015(3): 85-87.
- [37] Fang J J, Jiang Y, Yue J, et al. A hybrid approach for efficient detection of plastic mulching films in cotton[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 58(3/4): 834-841.
- [38] Wu Y T, Li D L, Li Z B, et al. Fast processing of foreign fiber images by image blocking[J]. *Information Processing in Agriculture*, 2014, 1(1): 2-13.
- [39] Wang X, Yang W Z, Li Z B. A fast image segmentation algorithm for detection of pseudo-foreign fibers in lint cotton [J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2015, 46: 500-510.
- [40] Yang C, Zhang Z. Research on image recognition method of foreign fibers in lint [C] // 2015 Seventh International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), March 27-29, 2015, Wuyi, China. New York: IEEE Press, 2015: 52-56.
- [41] Zhang H X, Wang C, Liu X, et al. Image edge detection algorithm and its new development [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2018, 54(14): 11-18.
张红霞, 王灿, 刘鑫, 等. 图像边缘检测算法研究新进展[J]. *计算机工程与应用*, 2018, 54(14): 11-18.
- [42] Zhang Q, Yang J C, Teng T, et al. Design of raw cotton foreign fibers detecting and clearing on line system [C] // 2012 7th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), July 14-17, 2012, Melbourne, VIC, Australia. New York: IEEE Press, 2012: 1223-1225.
- [43] Lu X F, Yang J C. Online inspection technology study for foreign fiber based on visual sensor [J]. *Cotton Textile Technology*, 2018, 46(2): 5-8.
卢绪凤, 杨建成. 基于视觉传感器的异纤在线检测技术研究[J]. *棉纺织技术*, 2018, 46(2): 5-8.
- [44] Zhang X, Li D L, Yang W Z, et al. A fast segmentation method for high-resolution color images of foreign fibers in cotton [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 78(1): 71-79.
- [45] Dang S X. Research and implementation on automation detection technology of foreign fiber in cotton flow based on machine vision [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016.
党士许. 基于机器视觉的自动化棉流异纤检测技术的研究与实现[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [46] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [47] Yang W Z, Li D L, Wang S L, et al. Saliency-based color image segmentation in foreign fiber detection [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 58(3/4): 852-858.
- [48] Shi H Y, Guan S Q. Cotton foreign fibers detection based on visual attention computational model [J]. *Journal of Donghua University (Natural Science)*, 2016, 42(3): 400-405.
师红宇, 管声启. 基于视觉注意计算模型的棉花异性纤维检测[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(3): 400-405.
- [49] Shi H Y, Guan S Q. Cotton foreign fibers detection based on visual data driven [J]. *Journal of Silk*, 2017, 54(5): 36-42.
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.
- [50] Liu S X, Wang J X, Zhang H, et al. Research on the multi-channel wavelet segmentation method of faint cotton foreign fibers [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2016, 37(S1): 60-66.
刘双喜, 王金星, 张茜, 等. 微弱棉花异性纤维图像的多通道小波分割方法研究[J]. *仪器仪表学报*, 2016, 37(S1): 60-66.
- [51] Xie T T, Gu Y L, Sha T, et al. A method for detection of foreign body in cotton based on RGB space model [C] // 2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), August 8-10, 2011, Dengfeng, China. New York: IEEE Press, 2011: 31-33.
- [52] Chen Y J, Zhang E H, Mou Y Q. Online detecting method for foreign fibers based on color space model and connected area analysis algorithm [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2013, 49(19): 162-166.
陈亚军, 张二虎, 牟永强. 基于空间模型及连通域分析的异纤维在线检测[J]. *计算机工程与应用*, 2013, 49(19): 162-166.
- [53] Xie T T. Cotton foreign fiber detection method based on RGB spatial model [J]. *Modern Industrial Economy and Informationization*, 2019, 9(1): 67-68.
谢婷婷. 基于 RGB 空间模型的棉花异纤检测方法[J]. *现代工业经济和信息化*, 2019, 9(1): 67-68.
- [54] Wang Q X, Li Z B, Wang J X, et al. A fast processing method of foreign fiber images based on HSV color space [M] // Li D L, Chen Y Y. *Computer and computing technologies in agriculture VI*. IFIP

- advances in information and communication technology. Heidelberg: Springer, 2013, 392: 390-397.
- [55] Zheng P. The design and implementation of automatic detection system of foreign fiber in cotton based on multi pattern classification algorithm [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2017.
郑鹏. 基于多模式分类算法的棉花异性纤维自动检测系统的设计与实现 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.
- [56] Ji R H, Li D L, Chen L R, et al. Classification and identification of foreign fibers in cotton on the basis of a support vector machine [J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2010, 51(11/12): 1433-1437.
- [57] Luo Y H. Research on yarn defect model and detection and recognition technology of multi-type different foreign fiber [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2015.
罗永恒. 多类异性纤维纱疵模型和检测识别技术的研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2015.
- [58] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C]//Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks, November 27-December 1, 1995, Perth, WA, Australia. New York: IEEE Press, 1995: 1942-1948.
- [59] Li H B, Wang J X, Yang W Z, et al. Feature selection for cotton foreign fiber objects based on PSO algorithm [M]//Li D L, Chen Y Y. *Computer and computing technologies in agriculture V*. IFIP advances in information and communication technology. Heidelberg: Springer, 2012, 370: 446-452.
- [60] Zhao X H, Li D L, Yang B, et al. A two-stage feature selection method with its application [J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2015, 47: 114-125.
- [61] Dorigo M, Maniezzo V, Coloni A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 1996, 26(1): 29-41.
- [62] Zhao X H, Li D L, Yang W Z, et al. Feature selection based on ant colony optimization for cotton foreign fiber [J]. *Sensor Letters*, 2011, 9(3): 1242-1248.
- [63] Zhao X H, Li D L, Yang B, et al. Feature selection based on improved ant colony optimization for online detection of foreign fiber in cotton [J]. *Applied Soft Computing*, 2014, 24: 585-596.
- [64] Goodman E D. Introduction to genetic algorithms [C]//Proceedings of the fourteenth international conference on Genetic and evolutionary computation conference companion-GECCO Companion'12, July 7-11, 2012, Philadelphia, Pennsylvania, USA. New York: ACM Press, 2012: 671-692.
- [65] Yang W Z, Li D L, Zhu L. An improved genetic algorithm for optimal feature subset selection from multi-character feature set [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(3): 2733-2740.
- [66] Yang J W, Wang S L, Chen Y Y, et al. Feature subset selection based on the genetic algorithm [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 774/775/776: 1532-1537.
- [67] Yang C W. Research on key techniques for detection of foreign fiber content in cotton [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2018.
杨程午. 棉花中异性纤维含量检测关键技术研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2018.
- [68] Zhang Y, Xu J C, Wang Z W, et al. Optimization of cotton heterosexual detection technology based on machine vision [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(9): 61-65.
张云, 许江淳, 王志伟, 等. 基于机器视觉的棉花异性纤维检测技术优化研究 [J]. *中国农机化学报*, 2018, 39(9): 61-65.
- [69] Zhao X H, Li D L, Yang B, et al. An efficient and effective automatic recognition system for online recognition of foreign fibers in cotton [J]. *IEEE Access*, 2016, 4: 8465-8475.
- [70] Zhao X H, Guo X Y, Luo J, et al. Efficient detection method for foreign fibers in cotton [J]. *Information Processing in Agriculture*, 2018, 5(3): 320-328.
- [71] Peng H C, Long F H, Ding C. Feature selection based on mutual information criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(8): 1226-1238.
- [72] Jiang Y, Li C Y. mRMR-based feature selection for classification of cotton foreign matter using hyperspectral imaging [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 119: 191-200.
- [73] Zhang M Y, Li C Y, Yang F Z. Classification of foreign matter embedded inside cotton lint using short wave infrared (SWIR) hyperspectral transmittance imaging [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 139: 75-90.
- [74] He Y, Wang J F. Rapid nondestructive identification of wood lacquer using Raman spectroscopy based on characteristic-band-Fisher-K nearest neighbor [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(1): 013001.

- 何亚, 王继芬. 基于特征波段-Fisher-K 近邻的木器漆拉曼光谱的快速无损鉴别[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(1): 013001.
- [75] Ouyang L, Peng H T, Wang D Y, et al. Supervised identification algorithm on detection of foreign fibers in raw cotton [C] // 2012 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), May 23-25, 2012, Taiyuan, China. New York: IEEE Press, 2012: 2636-2639.
- [76] Liu J. Study of the content fast testing system of cotton foreign fibers [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015.
刘杰. 棉花异性纤维含量快速检测系统的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [77] Wang X, Li D L, Yang W Z, et al. Lint cotton pseudo-foreign fiber detection based on visible spectrum computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 7-14.
王欣, 李道亮, 杨文柱, 等. 基于可见光机器视觉的棉花伪异性纤维识别方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 7-14.
- [78] Li D L, Yang W Z, Wang S L. Classification of foreign fibers in cotton lint using machine vision and multi-class support vector machine [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 74(2): 274-279.
- [79] Yang W Z, Lu S K, Wang S L, et al. Fast recognition of foreign fibers in cotton lint using machine vision [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54(3/4): 877-882.
- [80] Cai Y Y, Wu J, Zhang C. Classification of trash types in cotton based on deep learning [C] // 2019 Chinese Control Conference (CCC), July 27-30, 2019, Guangzhou, China. New York: IEEE Press, 2019: 8783-8788.
- [81] He X Y, Su Z W, Deng B Y, et al. An artificial intelligence method for detecting foreign fiber in seed cotton [J]. Cotton Textile Technology, 2018, 46(7): 49-52.
何晓昀, 苏真伟, 邓斌攸, 等. 一种人工智能检测籽棉中异性纤维的方法 [J]. 棉纺织技术, 2018, 46(7): 49-52.
- [82] He X Y, Wei P, Zhang L, et al. Detection method of foreign fibers in seed cotton based on deep-learning [J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(6): 131-135.
何晓昀, 韦平, 张林, 等. 基于深度学习的籽棉中异性纤维检测方法 [J]. 纺织学报, 2018, 39(6): 131-135.
- [83] Zhang D. Research on seed cotton foreign fiber sorting recognition algorithm based on deep learning [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2019.
张冬. 基于深度学习的籽棉异纤分拣识别算法研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
- [84] Du Y H, Dong C Q, Zhao D, et al. Application of improved Faster RCNN model for foreign fiber identification in cotton [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(12): 121007.
杜玉红, 董超群, 赵地, 等. 改进 Faster RCNN 模型在棉花异性纤维识别中的应用 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(12): 121007.
- [85] Dong C Q. Research on foreign fiber classification method based on improved Faster R-CNN model [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2020.
董超群. 基于改进 Faster R-CNN 模型的异纤分类方法研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2020.
- [86] Wu M X, Wu J, Zhang C, et al. Detection of foreign fiber in cotton based on improved YOLOv3 [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2020, 35(11): 1195-1203.
巫明秀, 吴谨, 张晨, 等. 基于改进 YOLOv3 的棉花异性纤维检测 [J]. 液晶与显示, 2020, 35(11): 1195-1203.