DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.036

梳棉内层杂质高光谱图像检测*

郭俊先[1]　应义斌[2]　饶秀勤[2]　李俊伟[1]　亢银霞[1]　石　砦[1]

(1. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029)

【摘要】 以梳棉内部深度 1 ~ 6 mm 处的多种杂质为研究对象,研究了高光谱成像技术检测效果和可行性。在波长 460 ~ 900 nm 范围内,提取高光谱图像中杂质和棉花的像素光谱。采用二次判别分析分类像素,构造分割二值图像,使用面积过滤器和形态学组合方法剔除二值图像中的噪声点和伪目标,统计杂质检测效果。结果表明可以检测棉网内一定深度的普通杂质(植物性杂质)、彩色丙纶丝、有色线和有色布块,能够检测部分黑色毛发和灰色丙纶丝。其中,普通杂质的检测效果最佳,正确检测率超过 80%。

关键词: 梳棉　高光谱图像　杂质　异性纤维　检测

中图分类号: TS101.3; TP181　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2012)12-0197-07

Detection of Trashes in Combed Cotton Using Hyper-spectral Images

Guo Junxian[1]　Ying Yibin[2]　Rao Xiuqin[2]　Li Junwei[1]　Kang Yinxia[1]　Shi Zhai[1]

(1. *Mechanical and Traffic College*, *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*

2. *College of Biosystems Engineering and Food Science*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310029, *China*)

Abstract

This research focused on the detection of trashes at the depth of 1 ~ 6 mm in the cotton using hyper-spectral imaging and pixels classification. In the wavelength range of 460 ~ 900 nm, the detection algorithms were developed based on pixel's spectra of hyper-spectral image, pixel classification by quadratic discriminate analysis, and binary images post-processing by combining area filter with morphologic process. The results indicated that hyper-spectral imaging was able to detect some trashes at certain depths in the cotton, such as natural trashes, color polypropylene fibers, color yarn and fragments of cloth. And it also can detect some black hair and gray polypropylene fibers. In particular, the detection effect for natural trashes was the best. The detection rates for natural trashes were over 80%.

Key words　Combed cotton, Hyper-spectral images, Trashes, Foreign materials, Detection

引言

棉花杂质检测是一个极其重要的研究领域。在棉包定价、纺织清理和加工的每个环节,研究棉花杂质快速准确检测以及分拣技术,对于提高棉纺织品质量和效率都具有十分重要的意义。目前国内外学者采用机器视觉技术、断层 X 光摄影和紫外荧光成像等技术,能够有效检测棉花中着色较深、面积较大和含有荧光物质的部分杂质。但是,对棉花内部的常见杂质研究较少,检测效果不佳[1~4]。李碧丹等[5]采用透射成像方式,取得一定效果。其他学者[6~8]采用微断层 X 光摄影技术检测棉网内与棉花密度不同的杂质,茎皮、种皮碎片和聚丙烯杂质的正确识别率可达 96%,皮杂、叶子、种皮和聚丙烯的分类准确率达到 89%,但成像速度低。高光谱成像技术在 21 世纪初开始被应用于农畜产品品质检测,表现出巨大的优势。目前已开始应用于皮棉表面异性纤维的高光谱图像检测,结果表明可以检测一些

收稿日期: 2011-11-17　修回日期: 2012-01-16

*国家自然科学基金资助项目(61005022、30825027)

作者简介: 郭俊先,副教授,博士,主要从事农产品品质无损快速检测研究,E-mail: junxianguo@163.com

通讯作者: 饶秀勤,副教授,博士,主要从事农产品品质快速检测的机器视觉技术研究,E-mail: xqrao@zju.edu.cn

浅色和白色的异形纤维,但是以单一波长或者数个波长图像进行杂质分割,效果不佳[9],没有发挥出高光谱图像的信息量大的优点。有学者[10~11]采用像素分类分割图像,检测效果较好。

本研究基于高光谱成像系统,以梳棉内部不同深度的杂质为研究对象,采用像素分类方法,评价高光谱图像检测棉网内部杂质的效果。

1 材料和方法

1.1 实验材料

皮棉样本和异性纤维由中国棉花机械成套装备有限公司和新疆协力棉纺公司提供。开松棉网内放置的杂质包括普通杂质(植物性杂质)、丙纶丝、毛发、有色线和碎布块等,基本特征如表 1 所示。依据轧花后皮棉中这些杂质实测尺寸确定样本长度范围。

表 1 杂质样本特征

Tab. 1 Characteristics of trashes in cotton

杂质类型	颜色	长度/mm
毛发	黑色和白色	10 ~ 40
丙纶丝	透明、浅灰色、白色、黄色、青色、红色、棕色	3 ~ 35
有色线和布块	绿色、青色、棕色、红色	2 ~ 40
普通杂质	普通杂质,即叶、茎秆、铃壳、苞叶、籽皮等	

1.2 高光谱成像系统和数据采集

实验采用浙江大学 985 生物图像与生物光电实验室的高光谱成像系统,详细信息参见文献[1]。遵循谱信号无饱和及图像不失真,通过初步实验,确定移位台速度为 0.575 mm/s,镜头到梳棉表面的距离(即物距)为 460 mm,采集曝光时间为 14 ms。采集的原始高光谱图像维数 1 344 × 800 × 956(像素 × 像素 × 波段数),波长范围是 422.3 ~ 982.4 nm。鉴于图像两端波长噪声过大和空间上光照不均匀,分割原图像为 400 × 200 × 750(像素 × 像素 × 波段数)的子图像,波长范围为 460 ~ 900 nm。

在棉网内深度 1 ~ 2 mm 处(即 1 层棉网的近似厚度),随机撒放不同杂质,共采集高光谱图像 35 幅,分割为 140 个子图像;在棉网内深度 3 ~ 4 mm 处(即 2 层棉网的近似厚度),随机撒放不同杂质,共采集高光谱图像 23 幅,分割为 90 个子图像;在棉网内深度 5 ~ 6 mm 处(即 3 层棉网的近似厚度),撒放普通杂质,采集高光谱图像 6 幅,分割为21 个子图像。其中,子图像中部分有严重光照不均匀的被剔除。后续分析时,子图像随机 3∶1划分为训练集和验证集。

1.3 高光谱图像数据处理

基于高光谱图像中单一波长或者数个波长图像,采用 PCA 或波段运算方法获取转换后图像,再结合阈值分割图像,此方法已被广泛应用[12~13]。但目标与背景光谱信息差异较小时,一个或数个特征波长图像,经 PCA、ICA 转换或灰度平均,仍不能有效区分棉层表面的一些难检杂质与棉花背景[9],需要借助高光谱图像的信息量大的优点。因此,本文数据处理中,基于丰富的光谱信息,采用像素分类分割图像[10~11]来区分棉花内部杂质与棉花背景。数据分析流程如图 1 所示。包括 3 个主要步骤:①高光谱图像校正和像素光谱提取。②构造像素分类器。采用训练集子图像中目标和背景像素点的光谱信息,构造像素判别分类器。③基于像素分类器分割图像,获取二值图像后继续处理以检测出杂质。

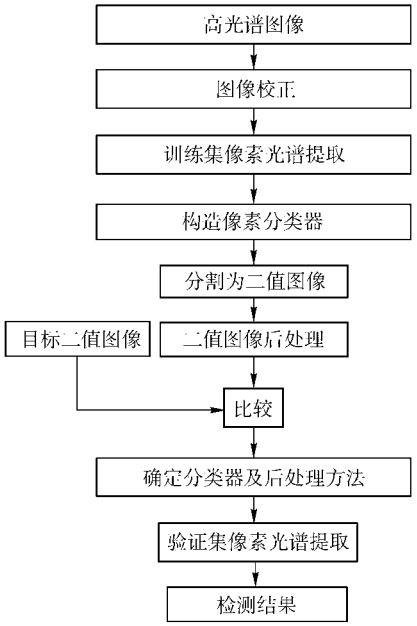

图 1 高光谱图像数据分析流程图

Fig. 1 Flow chart of data processing for hyper-spectral image

1.3.1 图像校正和光谱提取

在标准白板(聚四氟乙烯长方形白板)和关闭镜头盖情况下,分别获得标定白板反射光谱和暗电流反射光谱,图像校正方程为

$$R = (R_{in} - R_{ref}) / (R_{ref} - R_{dark})$$

式中 R——校正后样本反射光谱图像

R_{in}——样本原始反射光谱图像

R_{ref}——标定白板反射光谱图像

R_{dark}——暗电流反射光谱图像

考虑到高光谱成像系统的光谱分辨率为2.75 nm,光谱维以 5 个波长进行合并操作。随后,提取每类杂质空间区域(即感兴趣区域)的所有像素光谱。

1.3.2　像素分类器构造

使用训练集子图像中提取的目标和背景全部像素点的光谱，采用一次判别分析（linear discriminate analysis，简称 LDA）、二次判别分析（quadratic discriminate analysis，简称 QDA）和马氏距离判别分析（discriminate analysis，简称 DA）3 种方法分别构造像素分类器，对比像素分类结果后确定最佳方法。其中，像素样本按照 3∶1 随机划分为训练集和验证集，训练集采用 K-fold 方法（$K=10$）进行交叉验证，光谱无预处理，使用全波长变量，波长数为 150 个。

1.3.3　二值图像后处理

采用全波长变量，像素光谱无预处理，以最佳像素分类器，分类训练集子图像中所有像素，构造分割后的二值图像。

针对二值图像中含有大量的误判像素点、簇以及目标孔洞，采用常见面积过滤器和形态学处理，剔除二值图像中的伪目标和噪声点。鉴于不同的后处理方法具有不同的噪声点剔除效果，初步构造 3 种后处理方法：①采用面积过滤器。设定区域像素面积阈值，区域像素面积小于该阈值即剔除，大于该阈值即保留。区域面积阈值 T 采用经验法获得。②腐蚀加膨胀的形态学处理。经验法选择较好的结构元素 S_e，利用腐蚀加膨胀的开运算剔除较小的杂散噪声点。③面积过滤器和形态学处理组合方法。首先采用小面积阈值剔除较小的疑似误判区域，主要是针对与目标不相连的小面积误判区域。其次，一些误分割的较大区域具有孔洞多的特点，增加区域的欧拉数，设定阈值剔除这类区域。然后，采用形态学中的腐蚀加膨胀的开运算，结构元素设定较大，剔除其他面积较大的杂散噪声区域。最后采用填充形态学处理，填充保留下来的所有区域孔洞。对比以上 3 种二值图像后处理方法，确定最佳方法。

1.3.4　验证集异性纤维检测和识别

采用上述分析中确定的分类器和二值图像后处理方法，判别分类验证集子图像中每个像素，构造二值图像，经二值图像后处理统计杂质的识别率。评价指标包括杂质检测率、异形纤维检测率和误判率。

2　结果与讨论

2.1　棉花和杂质的像素光谱分析

提取有代表性高光谱子图像中棉花和杂质的 10 个像素的平均光谱，绘制棉网内深度 1 ~ 2 mm 处的棉花和杂质光谱，如图 2 所示。因为通过人眼视觉不能发现透明丙纶丝准确位置和轮廓，因而没有绘制其像素光谱。图示结果表明，在棉网内深度 1 ~ 2 mm处，白色丙纶丝与棉花光谱曲线相近，不易区分。黄色丙纶丝与棉花光谱曲线也较为相近。灰色丙纶丝、纤细的黑色毛发受表面棉花反射信息的影响，光谱之间差异较小。彩色丙纶丝、有色线因其色度特征，在可见光波长范围，其光谱与棉花之间存在很大差异。普通杂质（植物性杂质）的光谱与棉花差异也较大。显然，在该波长范围，杂质的颜色特征仍然是影响光谱曲线变化的主要因素。理论上，着色较深的杂质与棉花可以有效区分，而着色较浅的杂质不能很好区分。

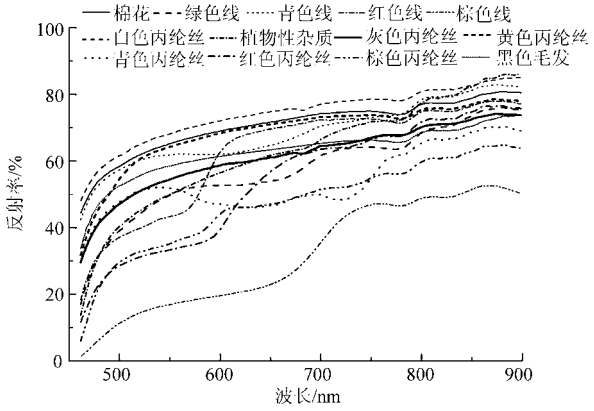

图 2　棉花和其内层深度约 1 ~ 2 mm 的杂质反射率

Fig. 2　Trashes and cotton spectra of sub-images with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton

在棉网内深度为 3 ~ 4 和 5 ~ 6 mm 处，杂质光谱（图略）受棉花光谱的影响增大，各种杂质的光谱曲线与棉花之间差异变小，着色较深的杂质仍然具有很好的视觉可分性。普通杂质的光谱与棉花光谱之间的差异较大。灰色丙纶丝和黑色毛发与棉花光谱非常相近。

2.2　像素分类器建立

训练集子图像中，分别提取不同深度的棉花和杂质像素光谱，构造不同的像素集合。使用 3 种判别函数判别分析的像素分类结果见表 2。结果表明，在棉网内深度 1 ~ 2 mm 处，多类杂质的像素判别准确率低于单类杂质，QDA 的像素分类效果要好于其他 2 种分类器。像素分类准确率由高到低排序为：普通杂质、有色线和布块、彩色丙纶丝、黑色毛发、灰色丙纶丝、全部杂质和白色丙纶丝。在棉网内深度 3 ~ 4 mm、5 ~ 6 mm 处，QDA 的像素分类效果也要好于其他 2 种分类器。因此，选择 QDA 构建像素分类器。

2.3　基于 QDA 像素分类的杂质分割

针对不同深度的杂质分割，采用 QDA 像素分类方法，使用单独像素样本集合和全部像素样本集合，构造二值图像，其训练集典型子图像杂质分割结果如图 3 所示。图中图像由上至下依次为：普通杂质、灰色丙纶丝、白色丙纶丝、彩色丙纶丝、黑色毛发、有

色线和布块。结果表明:①使用单独像素样本集合,像素判别结果要好于使用全部像素样本集合。采用单独像素样本集合,目标分割效果较好,但误判像素点也较多。而采用全部像素样本集合,背景像素误判较少,目标像素误判较多,分割效果较差,准确度低。②白色丙纶丝和黑色毛发在分割中效果最差,二值图像中误判像素点较多,直接影响后处理方法的选择。显然,颜色仍然是主导因素,异性纤维横径也直接影响杂质的分割结果。③着色较重的杂质容易产生目标区域的扩大。目标像素扩大的杂质是红色丙纶丝和红色有色线。因此,初步选择单独像素样本集合进行后续分析。

表 2 梳棉内深度 1 ~ 2 mm 处的杂质像素不同判别函数的分类结果

Tab. 2 Pixels classification using different discrimination function for sub-images with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton %

类型	判别函数	像素误判率		
		训练集	交叉验证	验证集
普通杂质	LDA	4.13	3.17	2.95
	QDA	0.77	0.97	0.88
	DA	1.07	1.03	0.97
灰色丙纶丝	LDA	5.96	6.14	6.11
	QDA	4.39	5.35	5.27
	DA	4.39	5.34	5.31
白色丙纶丝	LDA	11.69	12.27	12.17
	QDA	6.52	15.31	15.04
	DA	6.64	15.15	14.42
彩色丙纶丝	LDA	5.63	5.48	5.49
	QDA	1.67	1.93	2.18
	DA	1.93	2.06	2.25
黑色毛发	LDA	5.50	4.90	4.84
	QDA	3.41	4.30	4.40
	DA	7.36	7.44	7.84
有色线和布块	LDA	4.12	3.82	4.04
	QDA	1.47	1.72	1.69
	DA	1.71	1.92	1.90
全部杂质	LDA	13.94	12.16	12.14
	QDA	13.53	11.61	11.93
	DA	8.69	8.04	7.97

2.4 二值图像后处理

采用 3 种不同的二值图像后处理方法,剔除二值图像中疑似噪声点的区域,在棉网内深度 1 ~ 2 mm 处,杂质分割结果如图 4 所示。图中图像由上至下依次为:普通杂质、灰色丙纶丝、白色丙纶丝、彩色丙纶丝、黑色毛发、有色线和布块。鉴于版面原因,其他深度的后处理杂质分割结果图略。在形态学方法腐蚀加膨胀的处理过程中,确定结构元素 S_e 为圆盘形状,半径为 1;在组合方法中,采用经验阈值 $T_1 = 5$,剔除小于该阈值的疑似误判区域。其次,增加区域的欧拉数,设定阈值 $T_2 = 0$,剔除小于该阈值的区域,然后确定结构元素 S_e 为圆盘形状,半径为 3,采用腐蚀加膨胀的开运算处理。最后,采用填充形态学处理,填充保留下来的所有区域孔洞。

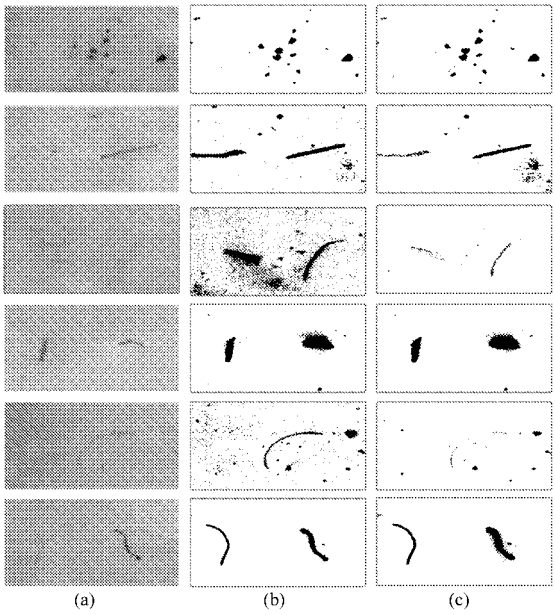

图 3 梳棉内深度 1 ~ 2 mm 处的杂质像素分类分割二值图像

Fig. 3 Binary images based on QDA pixels classification for sub-images with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton

(a) 高光谱某波长图像 (b) 单独像素集合分割效果 (c) 全部像素集合分割效果

图 4 结果表明:3 种二值图像后处理方法中,面积滤波方法确定的面积过滤器的异性纤维识别率高,但是容易剔除小面积的普通杂质,使总的杂质识别率过低。形态学方法杂质识别率最高,异性纤维识别率处于其他两种方法之间,误判数多。组合方法杂质识别率低于形态学方法结果,异性纤维识别率与形态学方法结果相近,而误判数最少。普通杂质、彩色丙纶丝、有色线和布块的识别效果较好,灰色丙纶丝和黑色毛发随着其在棉网内深度的增加,检测效果降低。白色丙纶丝检测效果较差,像素判别时产生大面积的误判像素点,透明丙纶丝不能分割。综合考虑,采用组合方法用于二值图像后处理。

2.5 验证集杂质检测和识别

采用 QDA 像素分类方法,面积过滤器和形态学处理的组合方法剔除二值图像中噪声和伪目标。验证集子图像分析结果如表 3 ~ 5 所示。典型子图像

杂质分割如图 5 ~ 7 所示。图 5 图像由上至下依次为:普通杂质、灰色丙纶丝、白色丙纶丝、彩色丙纶丝、黑色毛发、有色线和布块。图 6 图像由上至下依次为:普通杂质、灰色丙纶丝、彩色丙纶丝、黑色毛发、有色线和布块。图 7 图像由上至下依次为 2 个不同普通杂质样本。

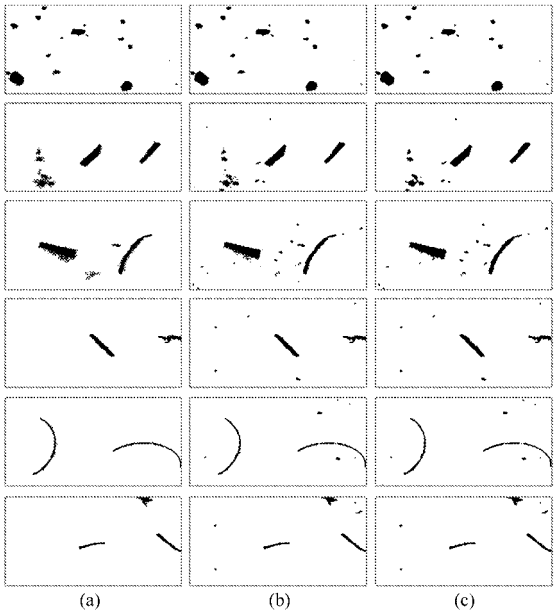

图 4　梳棉内深度 1 ~ 2 mm 处杂质二值图像不同后处理方法分割结果

Fig. 4　Segmentation results of binary images using different post-processing methods for sub-images with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton

(a) 面积滤波　(b) 形态学处理　(c) 组合后处理

表 3　验证集梳棉内深度 1 ~ 2 mm 处的杂质检测结果

Tab. 3　Detection results of trashes in test set with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton　%

杂质类型	杂质检测率	异性纤维检测率	误判率
普通杂质	95.5		13.4
灰色丙纶丝	88.0	100	30.0
白色丙纶丝	76.9	40.0	315.4
彩色丙纶丝	90.2	90.9	24.4
黑色毛发	82.9	83.3	55.7
有色线和布块	87.1	100	6.5
全部	87.8	81.9	52.1

表 4　验证集梳棉内深度 3 ~ 4 mm 处的杂质检测结果

Tab. 4　Detection results of trashes in test set with trashes at depths of 3 ~ 4 mm in cotton　%

杂质类型	杂质检测率	异性纤维检测率	误判率
普通杂质	80.7		12.3
灰色丙纶丝	70.7	80.0	48.3
彩色丙纶丝	84.7	73.7	27.1
黑色毛发	84.1	47.4	36.5
有色线和布块	75.0	72.7	27.8
全部	79.5	60.6	30.8

表 3 ~ 5 和图 5 ~ 7 说明,在波长 460 ~ 900 nm 范围内,采用全波长 QDA,分类验证集子图像中像

表 5　验证集梳棉内深度 5 ~ 6 mm 处的普通杂质检测结果

Tab. 5　Detection results of trashes in test set with trashes at depths of 5 ~ 6 mm in cotton　%

杂质类型	杂质检测率	异性纤维检测率	误判率
普通杂质	82.6		13.0

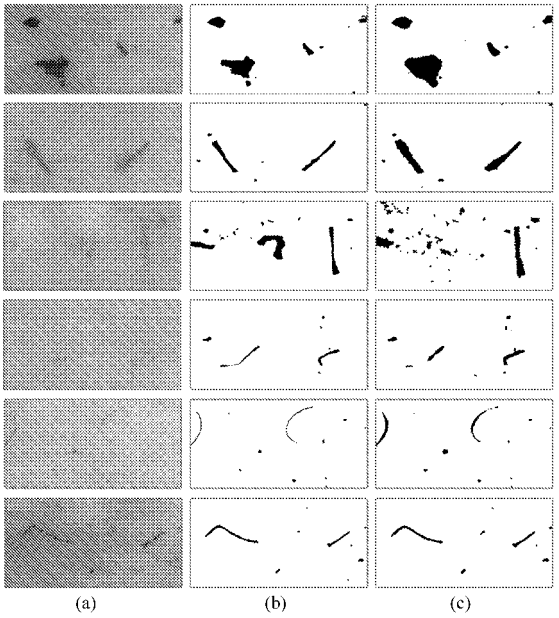

图 5　验证集梳棉内深度 1 ~ 2 mm 处的杂质分割结果

Fig. 5　Segmentation results of trashes in test set with trashes at depth of 1 ~ 2 mm in cotton

(a) 高光谱某波长图像　(b) 目标二值图像　(c) 二值后处理图像

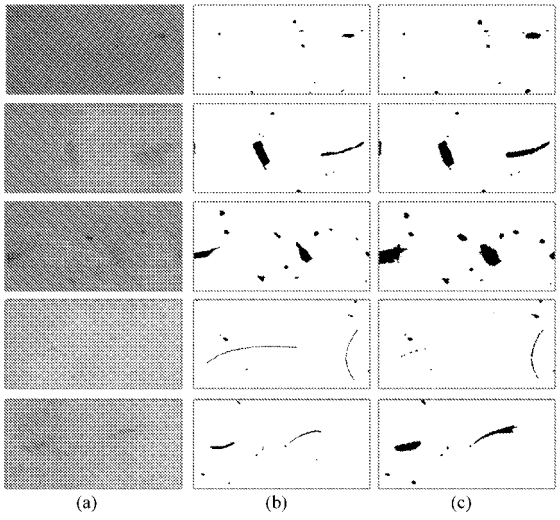

图 6　验证集梳棉内深度 3 ~ 4 mm 处的杂质分割结果

Fig. 6　Segmentation results of trashes in test set with trashes at depths of 3 ~ 4 mm in cotton

(a) 高光谱某波长图像　(b) 目标二值图像　(c) 二值后处理图像

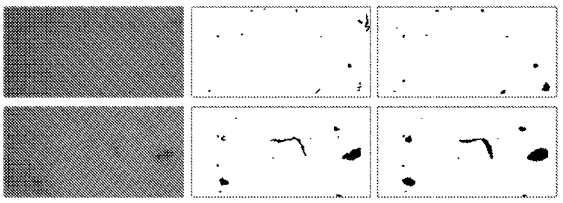

图 7 验证集梳棉内深度 5 ~ 6 mm 处的普通杂质分割结果

Fig. 7 Segmentation of trashes in test set with natural trashes at depths of 5 ~ 6 mm in cotton

(a) 高光谱图像 (b) 目标二值图像 (c) 二值后处理图像

素点,构造二值图像,应用面积过滤器和形态学结合方法处理二值图像,3 种不同深度的杂质总检测率分别为 87.8%、79.5% 和 82.6%。其中,块状、片状、着色较深的杂质检测效果最佳,特别是普通杂质。在棉网内深度 1 ~ 2 mm 和 3 ~ 4 mm 处,异性纤维的检测率分别为 81.9% 和 60.6%。白色丙纶丝识别仅为 40%,在棉网内深度 1 ~ 2 mm 处,纤细的黑色毛发检测率高于 80%,而在棉网内深度为 3 ~ 4 mm 处,其检测率仅为 47.4%。分析其原因:①在此波长范围内,棉网内杂质颜色是影响像素分类和杂质分割效果的主要因素。棉网内白色丙纶丝,其光谱信息与背景棉花差异较小(图 2),其大部分像素不能有效与背景像素区分。棉网内黑色毛发,因高光谱图像的空间分辨率为 0.135 mm/像素,黑色毛发直径统计值为(0.126 2 ± 0.018 8)mm,所以棉网内黑色毛发在直径方向像素数约为 1 ~ 3 个,同时,随着毛发在棉网内放置深度增加,受到棉花光谱影响增大,逐渐缩小其像素光谱与背景棉花的差异,造成分类中像素误判,使检测率较低。②普通杂质在波长 460 ~ 900 nm 范围具有明显的特征吸收峰[14],而白色丙纶丝等检测率低的杂质没有特征吸收峰[15~16],是检测率低的另外一个主要因素。③本实验系统在波长 840 nm 后响应较差,光谱噪声较大,可能也是一个关键的问题。

3 种不同深度的杂质目标误判数占总杂质数的 52.1%、30.8% 和 13.0%。白色异性纤维以及色浅的灰色丙纶丝误判数最多,是误判的主要原因。产生的原因:①这些杂质与背景棉花像素光谱相近,误判多。②这类杂质与光照不均匀产生的亮斑或暗区光谱相似度也较高,使得这类区域被误判为目标,同时部分杂质被误判为背景。

像素分类器直接影响像素分类和杂质检测效果。研究采用二次判别分析分类像素,针对杂质和棉花光谱对比大的像素能够准确分类,而针对对比度小的像素分类较差,见表 2 所示,需要在后续研究中继续深入探索。

因而,针对以上问题,今后研究侧重 4 个方向:①为了能够有效检测棉网内常见杂质,需要减薄棉网厚度,提高棉网内诸如白色异性纤维、黑色纤细毛发的检测效果。②在波长 460 ~ 900 nm 范围,一些杂质缺少特征波长,需要扩展成像光谱范围,增加短波近红外波长范围,找到梳棉与这类异性纤维光谱差异更大的特征波长。例如,杨文柱等[16]提出波长范围 780 ~ 1800 nm 有利于异性纤维的分割和识别;Böhmer 等[17]提出近红外波长 1 520 nm 和 1 720 nm 是检测聚丙烯和聚乙烯杂质的最佳波长。此外,Jia 等[18]提出的 850 nm 也是一个重要的波长。③采用透射成像模式,增加杂质吸收性能,增大杂质与梳棉光学吸收差异,提高这些杂质的像素分类和检测效果。④像素分类的质量直接影响杂质检测的最终结果,改进像素分类算法,提高像素分类的准确率。同时,采用更精确的特征优选的算法,获得更少、更具有代表性的波长,为今后多光谱成像在线检测设备中滤波片选择提供更准确的依据。

尽管杂质在棉网不同深度检测效果有一些差异,也有一些杂质检测效果不佳,但是结合文献[9]中采用图像阈值分割和灰度平均融合能够检测棉网表面多类杂质的结果,可以实现采用高光谱图像同时检测棉花表面和一定深度的杂质。

3 结束语

综上所述,在波长 460 ~ 900 nm 范围,提取高光谱图像中像素光谱,采用二次判别分析分类高光谱图像中每个空间像素,构造杂质分割二值图像,使用面积过滤器和形态学组合方法剔除二值图像中的噪声和伪目标,能够用于棉网内一定深度杂质的检测,可以有效检测部分块状、片状和条状着色较深的杂质。3 种深度的杂质总检测率分别为 87.8%、79.5% 和 82.6%,接近或超过 80%。随着异性纤维在棉网内放置深度增加,其检测率下降较快。所有杂质检测中,普通杂质的检测效果最佳,3 种不同深度下其检测率均超过 80%。尽管一些诸如白色丙纶丝杂质检测效果不佳,但是使用高光谱图像检测棉网内不同深度的常见和难检杂质是一种新的尝试。

参 考 文 献

1 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)

2 郭俊先. 基于高光谱成像技术的棉花杂质检测方法的研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
Guo Junxian. Study on detection of cotton trashes by hyperspectral imaging[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011. (in Chinese)

3 李国辉,苏真伟,夏心怡. 基于不规则成像机器视觉的棉花白色异纤检测算法[J]. 农业机械学报,2010, 41(5): 164 ~ 167.
Li Guohui, Su Zhenwei, Xia Xinyi. Algorithm for inspection of white foreign fibers in cotton by machine vision with irregular imaging function[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 164 ~ 167. (in Chinese)

4 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于改进遗传算法的棉花异性纤维目标特征选择[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 173 ~ 178.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Feature selection for cotton foreign fiber objectives based on improved genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 173 ~ 178. (in Chinese)

5 李碧丹,丁天怀,郊东耀. 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, Jiao Dongyao. Design of asophisticated foreign fiber separator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(1): 107 ~ 110. (in Chinese)

6 Ajay P, Sari-Sarraf H, Senior Member, et al. Recognition of cotton contamination via X-ray micro-tomographic image analysis [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2004, 40(1): 77 ~ 85.

7 Pavani S K. Segmentation and classification of four common cotton contaminants in X-ray microtomographic images[D]. Lubbock, Texas Tech University, 2004.

8 Dogan M S, Sari-Sarraf H, Hequet E F. Cotton trash assessment in radiographic X-ray images with scale-space filtering and stereo[C]// Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging. Machine Vision Applications in Industrial Inspection XIII, San Jose, California, USA, 2005, 5679: 276 ~ 287.

9 郭俊先,应义斌,成芳,等. 皮棉表面多类异性纤维的高光谱图像检测[J]. 农业工程学报,2010, 26(10): 355 ~ 360.
Guo Junxian, Ying Yibin, Cheng Fang, et al. Detection of foreign materials on the surface of ginned cotton by hyper-spectral imaging[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 355 ~ 360. (in Chinese)

10 Nakariyakul S, Casasent D P. Fast feature selection algorithm for poultry skin tumor detection in hyperspectral data[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94(3): 358 ~ 365.

11 Wallays C B, Missotten J D, Baerdemaeker J D, et al. Hyperspectral waveband selection for on-line measurement of grain cleanness[J]. Biosystems Engineering, 2009, 104(1): 1 ~ 7.

12 Xing J, Bravo C, Jancsók P T, et al. Detecting bruises on 'Golden Delicious' apples using hyper-spectral imaging with multiple wavebands[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(1): 27 ~ 36.

13 Williams P J. Near infrared hyperspectral imaging for evaluation of whole maize kernels: chemometrics for exploration and classification[D]. Matieland: Stellenbosch University, 2009.

14 Taylor R A, Godbey L C. Using digital images to measure and discriminate small particles in cotton[J]. Optics in Agriculture, 1990, 1379: 16 ~ 27.

15 Feldhoff R, Wienke D, Cammann K, et al. On-line post consumer package identification by NIR spectroscopy combined with a fuzzy ARTMAP classifier in an industrial environment[J]. Applied Spectroscopy, 1997, 51(3): 362 ~ 368.

16 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于光谱分析的棉花异性纤维最佳波段选择方法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 186 ~ 192.
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Selection of optimal band for detecting foreign fibers in lint cotton using spectroscopic analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(10): 186 ~ 192. (in Chinese)

17 Böhmer S, Budzier H, Krause V, et al. Two channels NIR camera system to detect foreign matter in raw cotton[C]// Proceedings of QUIRT, Padova, Italy, 2006.

18 Jia D Y, Ding T H. Detection of foreign materials in cotton using a multi-wavelength imaging method[J]. Measurement Science and Technology, 2005, 16(6): 1 355 ~ 1 362.