

文章编号:1001-9014(2005)02-0147-04

利用纤维红外吸收特性的皮棉杂质检测新方法

郑东耀¹, 丁天怀²

(1. 清华大学深圳研究生院, 广东深圳 510000; 2. 清华大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘要:为有效检测出与棉纤维形态、颜色极其相似的异性纤维杂质, 根据异性纤维与棉纤维近红外吸收特性的差别, 提出近红外光谱成像方法检测皮棉异性纤维杂质. 该方法分析近红外波段中异性纤维与棉纤维吸收特性差异随波长变化规律, 确定了区分棉纤维与多种异性纤维的最佳波段的范围, 建立红外光谱成像系统, 将异性纤维近红外吸收特性转化为近红外图像中异性纤维图像特征, 利用自适应图像增强和二值化图像处理, 从皮棉背景中提取异性纤维. 实验结果表明, 该方法获取的异性纤维图像特征明显, 检测结果与实际相符, 此方法可有效识别皮棉中异性纤维杂质.

关键词:异性纤维; 近红外波段; 吸收特性; 成像方法

中图分类号:TP535 **文献标识码:**A

NOVEL METHOD OF DETECTING FOREIGN FIBERS IN LINT BY FIBER'S INFRARED ABSORPTION CHARACTERISTIC

JIA Dong-Yao¹, DING Tian-Huai²

(1. Graduate school at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 510000, China;

2. Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: For effective detection of foreign fibers which have almost the same shape and color as the cotton fibers, an infrared spectral imaging method based on the absorption characteristic discrimination between cotton fibers and foreign fibers was proposed. According to the method, the relation between the absorption characteristic discrimination and the wavelength in the region of near infrared was analyzed, and the optimal band for discriminating several types of foreign fibers from cotton fibers was determined. The absorption characteristic of foreign fibers was transformed into the image feature in the infrared spectral imaging system. Furthermore, the foreign fibers were extracted from the background of lint by using adaptive image enhancement and binary image processing. The experimental result indicates that the image features of foreign fibers are obvious. And it provides an effective method to detect foreign fibers in lint.

Key words: foreign fibers; near infrared band; absorption characteristic; imaging method

引言

近年来棉花中混入了与棉纤维形态、颜色极其相似的异性纤维, 如塑料膜、化纤、毛发等杂质. 这类杂质由于柔软、细小、肉眼难以识别而很难被分拣. 一旦混入棉花中, 会导致后续的纺织中布料疵点增多, 染色不均匀等, 成为棉纺企业面临的棘手难题^[1,2]. 目前主要靠人工分拣, 但效果不佳. 人们尝试利用机器视觉方法检测异性纤维杂质. 如 Ajay. Pai 等人提出利用 X 光对棉花样品断层扫描来分析与棉花密度不同的杂质^[3]; Tantaswadi 等人利用棉花与异性纤维的细微色泽差别检测异性纤维^[4-7].

王汝笠利用紫外增强硅光电二极管阵列检测棉花中的尼龙杂质^[8]. 上述方法对有色杂质及部分异性纤维虽有一定的效果, 但对大部分异性纤维检测效果不佳, 特别是与棉纤维颜色相同的细微杂质(如白头发丝、白羊毛等)难以检测.

本文通过分析在近红外光谱中(750nm ~ 2500nm)异性纤维与棉纤维吸收特性差异, 获得两者吸收差异随波长变化规律, 由此建立近红外光谱成像系统, 获取异性纤维图像特征, 经过图像处理提取皮棉杂质目标. 此方法较之其它技术具有方法新颖、检测效果明显、成本低廉等特点, 适合在线检测. 对于肉眼难以识别的异性纤维杂质(如白头发丝,

白羊毛等)具有较好的检测效果,有效解决了棉花异性纤维杂质检测问题。

1 近红外成像检测机理

当近红外光源连续照射微观粒子时,有某些波长的光被吸收,于是产生了被吸收谱线所组成的吸收光谱。微观粒子吸收光子后能量由基态的 e_i 提高到激发态的 e_l ,其能量的改变 $e_l - e_i$ 与所吸收的光子能量 e 相等,而能量与被吸收光的频率成正比,其关系可表示为

$$e_l - e_i = h \cdot \nu. \quad (1)$$

则每摩尔能量

$$\Delta E = E_l - E_i = E = N h \nu = N h c / \lambda = f(\lambda). \quad (2)$$

则 ΔE 是波长 λ 的函数。其中 $h = \text{Plank 常数} = 6.6242 \times 10^{-27}$ 欧·秒/分子, $N = 6.023 \times 10^{23}$ (每摩尔中的分子数)。

从式(2)可以看出,不同纤维的微观粒子受光辐射激发时吸收能量是不同的,其吸收能量是波长的函数。

$$\Delta E_{\text{吸}} = f(\lambda). \quad (3)$$

当纤维表面接受光照时,由反射光能量 $E_r(\lambda)$ 、吸收光能量 $E_a(\lambda)$ 、入射光总能量 $E_i(\lambda)$ 、定义反射比如下:

$$\rho(\lambda) = \frac{E_r(\lambda)}{E_i(\lambda)} = \frac{E_r(\lambda)}{E_r(\lambda) + E_a(\lambda)}. \quad (4)$$

若构造光谱成像系统,反射光能量的一部分被 CCD 接受,转化为信号强度值^[9,10],

$$S = K \cdot \eta \cdot E_r(\lambda) \cdot \Delta s \cdot \Delta t. \quad (5)$$

其中, K 为 CCD 光辐射吸收比例系数, η 为 CCD 感应系数, Δs 单位探测面, Δt 为曝光时间。

对于一个 CCD 成像系统,设辐射光与图像灰度的转换关系满足函数 $h(x)$,则辐射光信号 S 在成像系统中被转换为像素灰度值 g 满足下式,

$$S = K \cdot \eta \cdot E_r(\lambda) \cdot \Delta s \cdot \Delta t = h(g). \quad (6)$$

由 $E_r(\lambda) = E_i(\lambda) - E_a(\lambda)$,则满足,

$$\begin{aligned} g &= h^{-1}(K \cdot \eta \cdot E_r(\lambda) \cdot \Delta s \cdot \Delta t) \\ &= h^{-1}[K \cdot \eta \cdot (E_i(\lambda) - E_a(\lambda)) \cdot \Delta s \cdot \Delta t]. \end{aligned} \quad (7)$$

在 CCD 吸收比例系 K ,入射光能量 $E_i(\lambda)$,CCD 感应系数 η ,单位探测面 Δs ,曝光时间 Δt 一定的条件下若定义:

$$h^{-1}[K \cdot \eta \cdot (E_i(\lambda) - E_a(\lambda)) \cdot \Delta s \cdot \Delta t] = H[E_a(\lambda)]. \quad (8)$$

则下式成立,

$$g = H[E_a(\lambda)]. \quad (9)$$

上式表明图像中像素灰度值与纤维对一定波长的红外吸收特性有关。由此,光谱成像中异性纤维与棉纤维的像素灰度值为,

$$g_f = H[E_a^f(\lambda)], \quad (10)$$

$$g_c = H[E_a^c(\lambda)]. \quad (11)$$

g_f, g_c 分别表示异性纤维与棉纤维的图像灰度值, $E_a^f(\lambda), E_a^c(\lambda)$ 分别表示异性纤维与棉纤维的光谱吸收能量。

根据成像系统的叠加性和平移不变性,纤维对光谱吸收能量的差别转化为像素灰度的差别。则两者的灰度差,

$$\Delta g = |g_c - g_f| = |H[E_a^c(\lambda) - E_a^f(\lambda)]|. \quad (12)$$

上式将异性纤维与棉纤维吸收特性的差别转化为图像灰度特征差别。而且,吸收差别越大则图像的灰度特征差别越明显,二者呈单调函数关系。

2 近红外波段选择

2.1 最优波段评价模型

最优波段评价目的是寻求区分棉纤维与多个异性纤维的最佳波段。

从单个异性纤维与棉纤维的吸收差别谱图中,较容易找出两者吸收差别最大的波段。而实际测试中,由于异性纤维种类较多,在波段选择中需要平衡考虑棉纤维与多个异性纤维差别。使棉纤维与每一种异性纤维差别均较明显,由此确定异性纤维与棉纤维最佳检测波段。

为描述棉纤维与异性纤维的吸收率差别,定义在 λ 波长处棉纤维与异性纤维吸收差为

$$\Delta \alpha(\lambda) = |\alpha_c(\lambda) - \alpha_i(\lambda)|. \quad (13)$$

其中, $\alpha_c(\lambda)$ 为棉纤维吸收率, $\alpha_i(\lambda)$ 为 n 种异性纤维吸收率, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

最优波段就是综合考虑棉纤维与 n 种异性纤维的吸收差别。在评估棉纤维与异性纤维的最优波段时要遵循 3 个原则。

1) $\Delta \alpha_i(\lambda)$ 平方和均值要高,以利于整体上使多种异性纤维与棉纤维区分开。

2) $\Delta \alpha_i(\lambda)$ 中的最小吸收差不易太小,否则不利于单个异性纤维的区分。

3) $\Delta \alpha_i(\lambda)$ 吸收差数据波动不易太大,避免棉纤维与某些异性纤维吸收差大,而与另一些异性纤维相差小。

根据上述要求 1,定义棉纤维与异性纤维的吸收差平方和均值如下,

$$\Delta\alpha_c(\lambda) = \left\{ \sum_{i=1}^n [\Delta\alpha_i(\lambda)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} / n. \quad (14)$$

依据上述要求 2, 定义最小吸收差为

$$\Delta\alpha_{\min} = \min(|\Delta\alpha_i(\lambda)|). \quad (15)$$

根据上述要求 3, 定义吸收差的标准差为

$$\Delta\alpha_\sigma(\lambda) = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [\Delta\alpha_i(\lambda) - \overline{\Delta\alpha_i(\lambda)}]^2}{n} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (16)$$

其中,

$$\overline{\Delta\alpha_i(\lambda)} = \sum_{i=1}^n \Delta\alpha_i(\lambda) / n. \quad (17)$$

考虑上述三个因素, 最优波段评价函数如下

$$\Delta\alpha(\lambda) = \Delta\alpha_{\min}(\lambda) \cdot \frac{\Delta\alpha_c(\lambda)}{\Delta\alpha_\sigma(\lambda)} \\ = \frac{\min(|\Delta\alpha_i(\lambda)|) \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n [\Delta\alpha_i(\lambda)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}{\left\{ n \times \sum_{i=1}^n [\Delta\alpha_i(\lambda) - \overline{\Delta\alpha_i(\lambda)}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}. \quad (18)$$

在不同波长处获得 $\Delta\alpha(\lambda)$ 值定义为综合吸收系数。

2.2 最优波段选择实验

实验选用德国 Bruker 公司的 FT-NIR 光谱仪 (IFS28/N 型), 对 6 种肉眼难以识别的无色塑料、黄麻、编织袋(化纤)、白头发丝、白羊毛、猪鬃在 750nm ~ 2500nm 波段进行测试。近红外波段中获得每种纤维 1751 (2500 - 750 + 1) 个吸收率数据点, 得到不同波段处棉纤维与 6 种异性纤维综合吸收差曲线, 结果如图 1 所示。

由图 1 看出, 在 900nm ~ 1000nm 波长处的综合吸收系数有一峰值 (940nm), 此波段处棉纤维与 6 种异性纤维综合吸收差最大。

3 近红外光谱成像检测

3.1 近红外光谱成像系统

成像系统固定在暗箱中, 包括面阵光源、红外

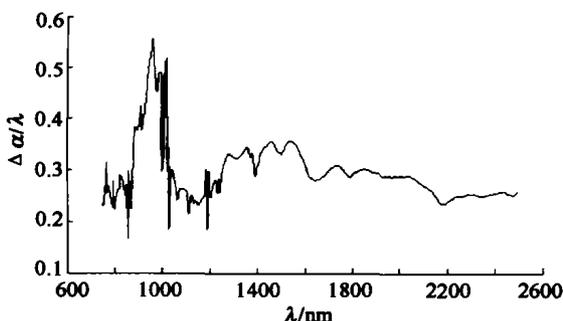


图 1 综合吸收差与波长的关系

Fig. 1 The relation between the composition absorption discrimination and wavelength

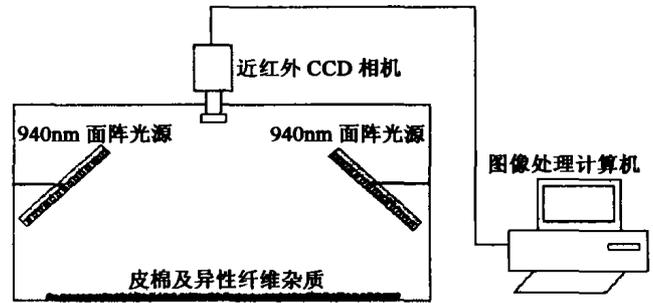


图 2 近红外光谱成像结构图

Fig. 2 The scheme of infrared imaging system

CCD 相机、皮棉样品及暗箱外部的图像计算机等。在光源设计中, 选用主波长为 940nm 的红外二极管 10 × 10 面阵光源, 光照强度可调节。将 2 个面阵光源对称固定在暗箱两侧, 且分别与竖直方向呈 45° 夹角。红外 CCD 相机镜头垂直向下, 从暗箱顶端获取图像。实验装置如图 2 所示。

3.2 成像检测结果分析

将 6 种异性纤维无色塑料、黄麻、编织袋(化纤)、白头发丝、白羊毛、猪鬃散落在皮棉表面, 在暗箱中捕获图像。图 3(a) 为在可见光条件下获取的棉花纤维图像, 图 3(b) 为 940nm 波优近红外光谱图像。在近红外图像中, 各异性纤维较之可见光图像具有明显的图像特征。由此, 所建立的近红外光谱成像系统将异性纤维与棉纤维的吸收差别转化为两者的灰度差别。

另外, 为使图像中杂质特征更明显, 需要进行图像增强, 从而使异性纤维灰度值高于皮棉时其灰度被拉高, 异性纤维灰度值低于皮棉时其灰度被拉低。另外, 图像增强算法要求能根据皮棉背景的变化自适应评估皮棉灰度值, 图像增强后皮棉的灰度值基本维持不变, 而异性纤维的灰度值分别被拉高和拉低。由于皮棉中的杂质占少量, 则捕获的图像中最大概率的像素点则为皮棉的像素点集合。由此提出一种自适应的异性纤维图像增强方法, 其变换函数变换式如下

$$y - \frac{255}{2} = \frac{255}{\pi} \cdot \arctan(x - g_{\max}). \quad (19)$$

g_{\max} 则表示具有最大概率的像素点灰度值。其变换曲线如图 4 所示。

对捕获的图像利用快速象素差分算法去模糊处理, 采用中值滤波衰减噪声, 然后进行上述的自适应灰度增强, 以增大杂质和皮棉的灰度差。最后设定阈值对目标图像进行二值化处理, 利用形态学种子填充法提取清晰、连续异性纤维目标, 图 5(a) 为经过

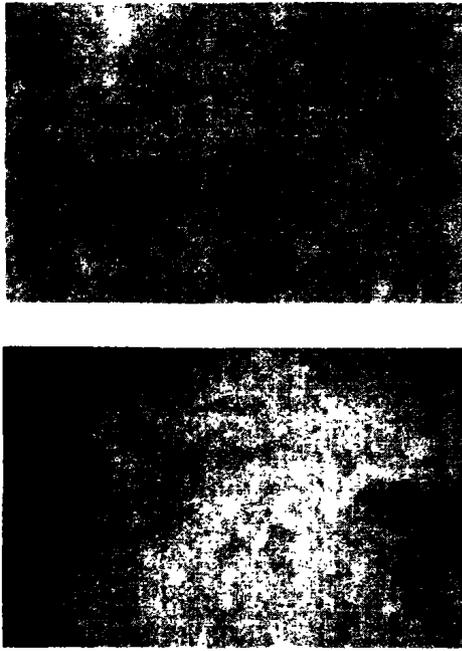


图3 红外成像检测结果(a)可见光图像 (b) 940nm 近红外图像
Fig.3 Infrared imaging result (a) visible light image (b) infrared image at the band of 940nm

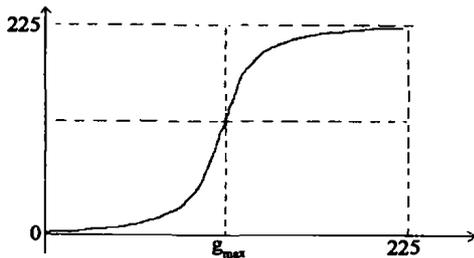


图4 图像增强函数曲线
Fig.4 The curve of image enhancement function

图像增强后的异性纤维图像. 图5(b)为经过二值化处理后的图像.

4 结语

1) 根据异性纤维与棉纤维近红外吸收特性差别,建立近红外最优波段评估模型,确定了区分棉纤维与异性纤维的最佳波段范围.

2) 利用近红外最优波段成像系统,将异性纤维红外吸收特性转化为近红外图像中灰度特征,利用自适应灰度增强和二值化处理方法提取异性纤维目标,有效解决了目前棉花中异性纤维杂质的检测问题.

REFERENCES

[1] United States Department of Agriculture. *Agriculture Market-*

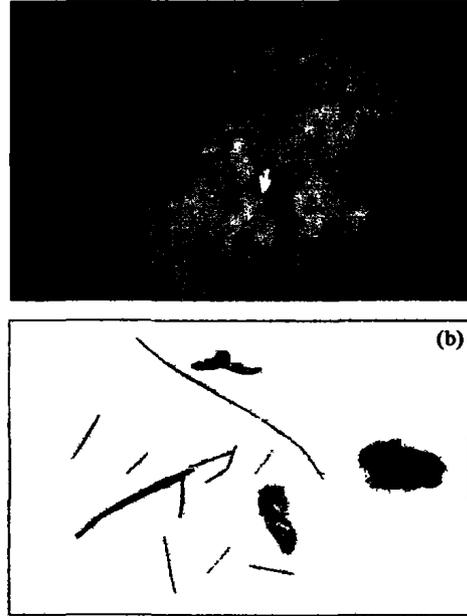


图5 异性纤维目标提取 (a) 自适应增强后图像 (b) 二值化图像
Fig.5 Foreign fibers target extraction (a) adaptive enhancement image (b) binary image

ing Services-the classification of cotton [M]. Washington: USA, 1999, 92—96.

- [2] Strolz H M. ITMF cotton contamination survey 1999 [M]. cotton conf in Texas; USA, 2000, 63—67.
- [3] Ajay Pai, Hamed Sari-Sarraf. Recognition of cotton contamination via x-ray micro-tomographic image analysis [A]. 37th IAS Annual Meeting Industry Application Conference [C]. Lubbock, TX. USA, 2002, 420—427.
- [4] Tantaswadi P, Vilainatre J, Tamaree N. Machine vision for automated visual inspection of cotton quality in textile industry using color Isodiscrimination contour [J]. *Computers and Isodiscrimination Engineering*, 2001, 37 (11) 352—360.
- [5] TAE JIN KANG, SOO CHANG KIM. Objection evaluation of the trash and color of raw cotton by image processing and neural network [J]. *Textile Res. J.*, 2002, 24(6): 124—128.
- [6] XU B, Fang C, Huang R. Chromatic image analysis for cotton trash and color measurement [J]. *Textile Res. J.*, 2002, 67(12): 881—890.
- [7] Veit D, Hormes I, Bergmann J. Image processing as a tool to improve machine performance and process control [J]. *Journal of Clothing Sci and tech.*, 1999, 12(9), 866—872.
- [8] WANG Ru-Li, LI Zheng-Yu. On-line detection of contamination in cotton using photoelectric technology [P]. Chinese patent (王汝笠, 李正宇. 光电子棉花杂质自动在线检测方法 与装置. 中国专利), 97106293. 5, 1997
- [9] WANG Zhi-Jiang, WU Shu-Dong, *Imaging Optics* [M]. Beijing: Science Press (王之江, 伍树东. 成像光学. 北京: 科学出版社), 1991, 96—97.
- [10] ZOU Yi-Song, LIU Yu-Feng, Bai Ting-Zhu, *Photoelectricity Imaging Theory* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press (邹异松, 刘玉凤, 白廷柱. 光电成像原理. 北京: 北京理工大学出版社), 1997, 302—304.