

基于 HSI 颜色空间的棉花杂质高速实时检测方法

高伟¹ 王志衡¹ 赵训坡¹ 孙凤梅²

摘要 棉花杂质的有效检测和剔除对于棉花质量的控制具有重要意义. 本文提出了一种实用的棉花杂质高速检测方法. 该方法利用 3D-LUT 技术, 有效解决了颜色空间转换的时间耗损问题. 利用 HSI 颜色空间的色度和饱和度信息, 对棉花中的杂质进行高效检测和定位. 彩色运动补偿技术的应用, 弥补了相机在硬件上进行空间参数校正的不足, 降低了杂质的错误判别率. 实验结果表明, 该系统可以在 10 ms 内完成 80 线棉流图像的采集、图像格式转换、杂质的检测和定位等全部过程. 在棉流速度为 18 m/s, 杂质大小为 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 的情况下, 杂质识别正确率可达到 95.4%.

关键词 HSI 颜色空间, 棉花杂质, 查找表, 运动补偿
中图分类号 TP391; TS114

Robust and Efficient Cotton Contamination Detection Method Based on HSI Color Space

GAO Wei¹ WANG Zhi-Heng¹ ZHAO Xun-Po¹ SUN Feng-Mei²

Abstract Efficient detection and separation of cotton contamination is important for controlling the quality of cotton. A robust and efficient method of detecting the contamination in cotton is proposed. In this method, 3D-LUT is used to reduce the time of transformation between different color spaces. Cotton contamination is detected based on the discrimination of hue and saturation in HSI color space between cotton fibers and cotton contamination. Color motion compensation is used to improve the spatial correction and reduce the wrong recognition rate. The experiments show that our system can complete the total process of image capturing, format transformation and impurities identification in 10 ms. Under a velocity of the cotton at 18 m/s, the recognition rate can reach as high as 95.4% with an impurity size of $2 \times 2 \text{ mm}^2$.

Key words HSI color space, cotton contamination, look up table, motion compensation

棉花在采摘、运输和加工等过程中经常混入一些杂质, 这些混入的杂质不但影响棉花的价格, 而且严重影响棉花后续加工的质量^[1]. 为了确保棉花的质量, 棉纺织企业主要采用人工分拣的方法来剔除杂质. 人工分拣不仅劳动力强, 效率低, 而且由于受人为主观因素影响较大, 分拣效果不易控制. 因此, 研究自动的棉花杂质检测和剔除方法对于棉花质量的控制具有重要意义.

近年来, 因机器视觉系统可以快速获取和处理大量的信息, 被人们广泛地应用于工况监视、成品检测和质量控制等各个领域. 国内外研究人员也将机器视觉技术应用到棉花杂质检测领域, 取得了一

定进展. 文献 [2] 使用彩色相机获取含有杂质的棉花图像, 在 CIE-Luv 颜色空间下, 利用棉花与杂质的色泽差别进行检测; 文献 [3] 利用 X 光对棉花样本进行断层扫描, 来分析并棉花密度不同的杂质; 文献 [4] 利用紫外增强硅光电二极管阵列, 检测棉花中的尼龙杂质; 文献 [5] 则利用杂质与棉花纤维对红外吸收特性的差异进行检测. 上述这些方法对棉花中杂质的检测均有一定的效果. 但是在工业的实际应用中, 棉花杂质的检测速度则是制约该种解决方案能否在工业中得以应用的首要因素. 在上面介绍的检测方法中, 一部分是针对面阵相机采集的图像进行识别. 使用面阵相机采集图像, 对于棉花本身的运动速度有严格的限制, 否则就会造成严重的运动模糊, 从而无法进行杂质识别. 而对于另外一些针对线阵相机采集的图像进行识别的方法, 由于算法本身处理速度的限制, 而不得不降低线阵相机的采集速度, 这将导致图像分辨率的下降, 不利于杂质的检测. 这里需要指出的是, 在棉花进入杂质检测系统之前, 已经经过开棉机, 对其进行充分地开松开薄, 从而使得棉花中的杂质在彩色 CCD 下清晰可见, 符合实际的应用需求.

本文提出一种在工业实际应用中切实可行的

收稿日期 2007-03-21 收修改稿日期 2007-06-26
Received March 21, 2007; in revised form June 26, 2007
国家自然科学基金 (60673104, 60675020) 和国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2007AA01Z341) 资助
Supported by National Natural Science Foundation of China (60673104, 60675020) and National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2007AA01Z341)

1. 中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100190
2. 北方工业大学理学院 北京 100041
1. National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190
2. Faculty of Sciences, North China University of Technology, Beijing 100190

DOI: 10.3724/SP.J.1004.2008.00729

棉花杂质检测方法. 采用 3D-LUT 技术, 有效解决了颜色空间转换时间耗损的问题. 在 HSI 颜色空间中, 利用杂质与棉花在色度和饱和度特征上的区别, 对用高速线阵 CCD 彩色相机获取的棉流图像进行杂质识别, 棉流速度可以达到 18 m/s, 并且可以在 10 ms 内完成对 80 线图像的采集、传输、杂质的检测和定位等全部过程. 彩色运动补偿技术的应用, 弥补了相机在硬件上进行空间参数校正的不足, 降低了杂质的错误判别率. 在棉流速度为 18 m/s, 杂质大小为 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 的情况下, 杂质识别正确率可达到 95.4%, 整个识别过程实现了棉流速度与杂质识别率的统一. 此方法与其他方法相比, 具有识别速度快, 识别效果好, 单位时间内检测棉花数量多等特点.

本文具体内容安排如下: 第 1 节简要地介绍了 HSI 颜色模型, 以及该颜色模型在本文中的应用; 第 2 节详细地阐述了棉花杂质高速实时检测方法; 第 3 节将第 2 节中提出的方法, 在大量实际图像中进行了实验验证; 第 4 节为结论.

1 HSI 颜色模型

1.1 HSI 颜色模型介绍

从人的视觉系统看, 色彩可以用色调、饱和度和亮度来描述. 人眼看到的任一色彩都是这三个特性的综合效果, 可以说这三个特性就是色彩的三要素. HSI (Hue saturation intensity) 颜色坐标系中的 H 是色调, 表示颜色的种类; S 是饱和度, 表示颜色的纯度; I 是强度, 表示亮度信息. HSI 颜色模型用直观的形式表示如图 1, H 分量值用弧度表示, 变化范围在 0 到 2π 之间; S 分量值由距离中心轴的半径长度表示, 离中心轴越近, S 值越小, 颜色越浅, H 值越不稳定; I 分量用沿中心轴方向上的高度表示, 反映了颜色的灰度等级.

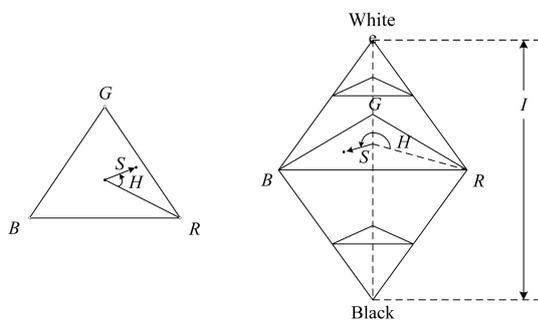


图 1 HSI 颜色模型

Fig. 1 The HSI color model

HSI 空间与 RGB 空间存在下述的转换关系^[6]

$$I = \frac{(R + G + B)}{3} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3[\min(R, G, B)]}{(R + G + B)} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 2\pi - \theta, & B > G \end{cases} \quad (3)$$

其中,

$$\theta = \arccos \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

1.2 HSI 颜色模型在本文中的应用

对于棉花杂质检测而言, 选择能够显著区分棉花和杂质的特征, 是实现系统快速检测的基础和前提. CCD 彩色相机拍摄的 RGB 图像, 虽然有利于图像的显示, 但是却不符合人们的视觉习惯, 也不利于对图像颜色特征的利用. 在 RGB 颜色模型下, 红、绿、蓝三原色受光照强度的影响较大, 三原色之间的相关性也很大. 同时, 在该颜色模型下, 两点之间的欧氏距离与颜色距离不成线性比例, 因此也就不能够用来度量颜色之间的差异. 虽然文献 [2] 将 RGB 空间转换到 CIE-Luv 空间, 使得颜色差异可以度量, 但是庞大的颜色直方图和所需尺度的合理选择都将成为制约识别效率的因素. YIQ 模型和 YUV 模型则主要用来对电视信号中的颜色信息进行编码; 孟塞尔模型是从心理学角度出发制定的颜色分类和标定系统, 但是由于和 CIE 模型之间的转换复杂, 不适宜于实时工业系统的应用; CIE 模型则是一个近似均匀的颜色空间. 在前景和背景颜色差别明显的情况下, 该颜色模型可以较好地分割出物体的轮廓.

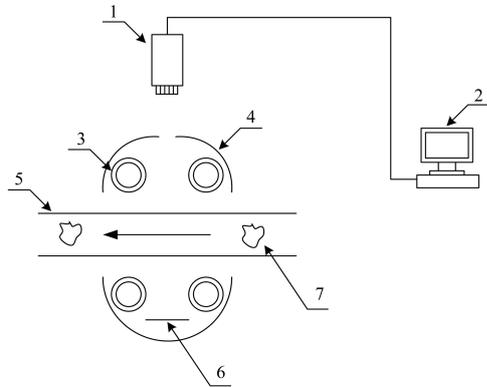
针对含有杂质的棉花图像, 本文采用 HSI 颜色模型表达颜色信息. 该颜色模型的三个分量, 正好与人们对颜色三个方面的认识 (颜色的类别、颜色的纯度和颜色的明亮程度) 相对应, 符合人们的视觉习惯和视觉心理. 在该颜色模型中, H 表示色调, 用来区分不同的颜色, 它不随亮度、对比度发生变化, 这将有助于区分与棉花有颜色差异的杂质. 虽然在其他颜色模型中, 可以通过一系列的算法来部分消除光照不均匀的影响, 但是这是建立在一定算法计算复杂度基础之上, 不符合系统的实时性要求. 对于那些在色调上与棉花相近似的杂质, 单独使用 H 并不能进行区分. 这就意味着还应该考虑 S 和 I 空间上的信息. 经过实验观察, 对于在色调上与棉花近似的杂质, 它们在饱和度值上与棉花有着很大的差异. 从上面的分析可以看出, 使用 HSI 颜色模型可以达到对棉花杂质检测的目的.

2 棉花杂质检测方法

2.1 棉花杂质检测概述

棉花杂质自动检测系统的视觉监控部分包括高

速 CCD 线扫描相机、图像采集卡和工控计算机, 如图 2 所示. 棉花在输棉通道中高速通过, 高速 CCD 线扫描相机通过图像采集卡将采集的 RGB 格式彩色图像传输给工控计算机. 利用 3D-LUT 技术, 将 RGB 格式的彩色图像转化为本文需要的 HSI 格式彩色图像. 在 HSI 颜色空间中, 利用背景和棉花的先验知识, 进行杂质检测. 利用彩色运动补偿技术, 对检测到的杂质进行再次验证, 剔除虚假杂质.



1. 高速线扫描相机 2. 图像处理计算机 3. 高频光源
4. 遮光罩 5. 输棉通道 6. 光学背景 7. 原棉

图 2 棉花杂质检测系统视觉监控部分

Fig. 2 The vision inspection part of the cotton contamination detection system

2.2 颜色空间转换效率问题

棉花杂质自动检测系统使用的 CCD 线扫描相机的最高线扫描频率为 9 200 线/秒, 每线 2 098 个像素. 在实验中, 为了达到较高的分辨率, 本文设定的线扫描频率为 8 000 线/秒, 因此采集一幅 80 线的彩色图像, 所需要的时间为 10 ms. 即要求本系统对于这幅 80 线的图像进行传输, 杂质检测等处理的时间必须小于 10 ms, 否则会丢失后续图像信息, 无法满足工业上的实时性要求.

CCD 线扫描相机将彩色信号传输给图像采集卡, 图像采集卡可以提供 RGB, HSI 等多种格式的图像, 本文的识别方法需要使用 HSI 格式的图像. 但是经过现场测试发现, 由图像采集卡传输一幅 80 线的 HSI 格式图像需要 20 ms, 超过了整个处理部分 10 ms 的时间要求. 但是传输一幅同样大小的 RGB 格式图像则只需要 3 ms, 时间相差近 7 倍. 从上面的测试中, 可以看出时间花费主要消耗在 RGB 颜色空间到 HSI 颜色空间的转换上.

为了解决转换效率问题, 本文使用 2 个 24 位的 RGB 查找表 (Look up table, LUT). 三维查找表 (3D-LUT) 是一动态存储内存, 它的地址分别对应红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 系数. 在这个数组中, 分别填入提前计算好的 H 和 S 分量. 为了减少内存消

耗, 采用 byte 型数组, 这对于取值范围在 0~100 的 S 分量没有影响, 对于取值范围在 0~360 之间的 H 分量, 则需要将数值转换到 0~255 之间. 经过现场测试, 采用查找表技术后, 同样大小的图像, 从 RGB 格式转换到 HSI 格式所用时间为 2 ms, 加上传输用的 3 ms 时间, 获得 HSI 格式图像所消耗的总时间为 5 ms, 为用图像采集卡直接传输时间的 1/4.

2.3 彩色运动补偿技术

彩色线扫描 CCD 相机有三个不同的感应器, 分别用来采集 R 、 G 和 B 信息, 这三个感应器之间的平均中心距离为 112 μm , 如图 3 所示. 正是由于三个感应器之间存在一定的距离, 导致每一感应器会有不同的视野范围. 当一个线扫描信号被触发后, 三个感应器将同时曝光. 由于存在不同的视野范围, 对于一次单一的曝光, 感应器将采集到物体上不同区域的颜色信息. 如果能够准确知道物体在相机前的运动速度, 便可以通过调节相机的空间校正参数得到物体同一个点上的颜色信息. 但是, 棉花在输棉通道中的运动速度是一个平均值, 即棉花在某个时刻, 经过相机前的速度可能大于或者小于这个平均值. 在这种情况下, 将无法正确恢复物体颜色信息, 采集的图像也就不能完全代表棉花表面的真实情况, 杂质检测也就会出现误检测现象.

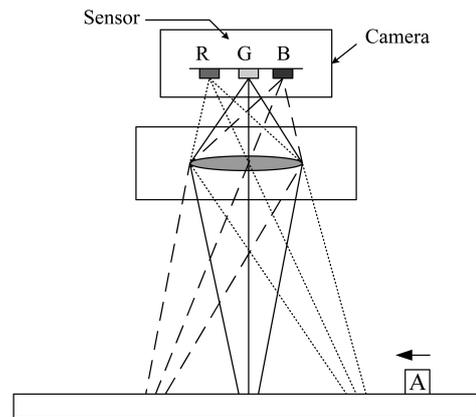


图 3 感应器的不同可视范围

Fig. 3 The different fields of view of the sensors

为了解决这个问题, 本文提出了一种彩色运动补偿方法, 用来解决由于棉花的运动速度不稳定, 无法恢复正确的颜色信息, 而导致对杂质错误判别的问题. 设单像素物体 A 在相机前的运动方向为自右向左 (如图 3). 在 t 时刻, 物体 A 首先被感应器 R 捕获到, 感应器 R 的值为 C_t^R . 物体 A 继续向左运动, 在 $t+n$ 时刻, 物体 A 被感应器 G 捕获到, 感应器 G 的值为 C_{t+n}^G . 在 $t+2n$ 时刻, 物体 A 被感应器 B 捕获到, 感应器 B 的值为 C_{t+2n}^B . 在 $t+2n$ 时刻, 相机输出物体 A 的 R 、 G 、 B 彩色信息值为

$A_{t+2n}^R, A_{t+2n}^G, A_{t+2n}^B$. 相机输出物体的彩色信息值与感应器的彩色信息感应值的对应关系如下

$$A_{t+2n}^R = C_t^R \quad (4)$$

$$A_{t+2n}^G = C_{t+n}^G \quad (5)$$

$$A_{t+2n}^B = C_{t+2n}^B \quad (6)$$

这里,

$$n = \frac{112 \text{ um}}{\beta \times \Delta y}$$

为相机空间校正参数. 其中, β 为相机的放大倍数, Δy 为在相机曝光间隔内, 物体做匀速运动的位移值.

但是, 在工业实际应用中, 只能得到棉花在输棉通道中的平均速度值 Ev . 令每次相机曝光时间间隔内, 棉花的真实位移值为 $\Delta y'$

$$\Delta y' = \begin{cases} \Delta y + \varepsilon, & v > Ev \\ \Delta y, & v = Ev \\ \Delta y - \varepsilon, & v < Ev \end{cases} \quad (7)$$

其中, v 表示棉花在输棉通道中的实际飞行速度, ε 表示位移偏差. 由此计算出来的实际空间校正参数 n' 为

$$n' = \begin{cases} n - \varepsilon', & v > Ev \\ n, & v = Ev \\ n + \varepsilon', & v < Ev \end{cases} \quad (8)$$

其中, ε' 表示由于位移偏差 ε 所引起的空间校正参数的偏差.

当 $v > Ev$ 时, 棉花经过相机的实际速度大于平均速度. 由式 (4)~(6) 得, 在 t 时刻, 棉花的实际像素彩色信息值 A_t' 与相机输出的棉花彩色信息值 A_t 有如下关系

$$A_t'^R = C_{t-2n'}^R = C_{t-2n+2\varepsilon'}^R = A_{t+2\varepsilon'}^R \quad (9)$$

$$A_t'^G = C_{t-n'}^G = C_{t-n+\varepsilon'}^G = A_{t+\varepsilon'}^G \quad (10)$$

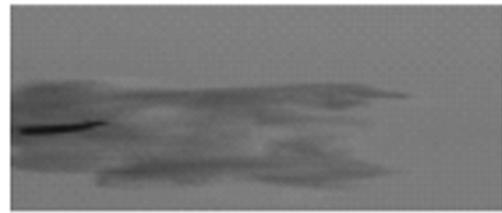
$$A_t'^B = C_t^B = A_t^B \quad (11)$$

其他情况依次类推, 故可得

$$(A_t'^R, A_t'^G, A_t'^B) = \begin{cases} (A_{t+2\varepsilon'}^R, A_{t+\varepsilon'}^G, A_t^B), & v > Ev \\ (A_t^R, A_t^G, A_t^B), & v = Ev \\ (A_{t-2\varepsilon'}^R, A_{t-\varepsilon'}^G, A_t^B), & v < Ev \end{cases} \quad (12)$$

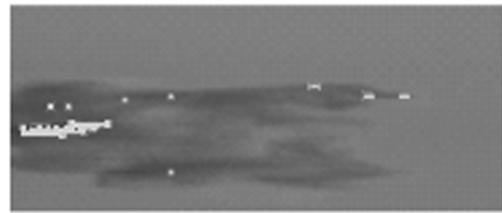
这里, $(A_t'^R, A_t'^G, A_t'^B)$ 是对像素点 (A_t^R, A_t^G, A_t^B) 在不同运动状况下进行彩色运动补偿后的结果. 考虑到计算效率问题, 本文并未对整个图像的所有像素点进行运动补偿计算, 而仅对可疑杂质点进行运动补偿计算. 如果某像素点 (A_t^R, A_t^G, A_t^B) 被判别为可

疑杂质点, 那么将继续验证 $(A_t'^R, A_t'^G, A_t'^B)$, 如果两次验证该点均为杂质点, 则最终判定其为杂质点. 采用彩色运动补偿技术后, 整个系统由于相机空间参数校正不足而导致的误判率大大下降. 如图 4 所示, 图 4 (a) 中颜色呈黑色的像素点为被判别为杂质的像素点. 对比图 4 (b) 和图 4 (c), 发现在棉花图像的左上方和右上方, 存在一些由于非匀速运动造成的彩色边缘点, 这些边缘点在图 4 (b) 中均被识别为杂质点 (白色部分), 但是事实上, 这些点并不是真正杂质点. 在图 4 (c) 中, 运用彩色运动补偿技术, 成功地消除了这些伪杂质点.



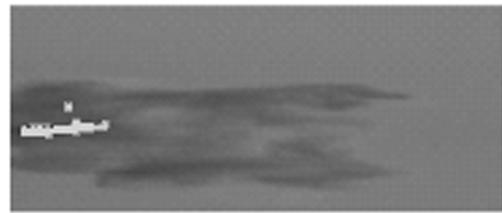
(a) 原始图像

(a) Original image



(b) 未采用彩色运动补偿技术识别结果

(b) The detection result without using the color motion compensation technique



(c) 采用彩色运动补偿技术识别结果

(c) The detection result with using the color motion compensation technique

图 4 杂质识别结果

Fig. 4 The contamination detection results

2.4 棉花图像的学习与识别

在采集的图像中, 存在背景、棉花和杂质三类不同物质, 对三类物质的区分将增加算法的复杂度, 降低系统的识别效率. 因此, 本文通过寻找一种合适的光学背景, 使得该背景在 H 和 S 空间特征上与棉花保持一定的相似性, 这样便可以将分类问题由三类降为两类. 背景与棉花的 H - S 分布图如图 5 所示, 图中浅灰色区域代表棉花的分布图, 深灰色区域代

表背景分布图. 图 5(a) 为背景调整前的分布图, 棉花和背景的空间分布不在同一范围之内, 并且棉花的分布区域明显大于背景的分布区域; 图 5(b) 为背景调整后的分布图, 背景区域完全被棉花区域包含, 可以将这两种物质近似看作同种物质. 这样, 就成功地将分类问题由三类降为两类.

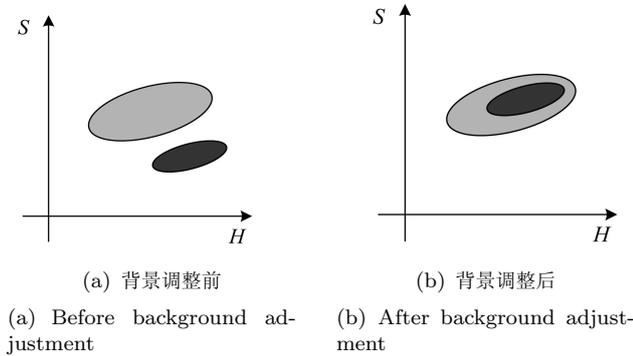


图 5 背景与棉花 $H-S$ 空间分布图

Fig. 5 The $H-S$ distribution of the background and cotton image

在系统的学习和识别过程中, 由于线扫描相机是单行扫描, 它始终采集的是光学背景上某一个固定线上在不同时刻下的颜色波动值. 由于光学背景固定不变, 所以该颜色波动值应该在这一点上符合高斯分布. 分析现场得到的某列背景图像 H 值分布图, 可以看到该列背景图像 H 值符合高斯分布, 如图 6 所示. 于是需要针对每一列背景图像进行学习, 这样才能更加准确地描述背景图像在 $H-S$ 空间的分布情况. 从图 7 的背景像素在 $H-S$ 空间的按列分布情况可以看出, 像素在 $H-S$ 空间的每列分布还是存在差异的 (图 7 中, Column 代表列数, 为表示方便, 只截取了其中一部分), 如果用单一的全局信息, 将无法准确地描述背景分布信息, 也就不利于后续的杂质检测.

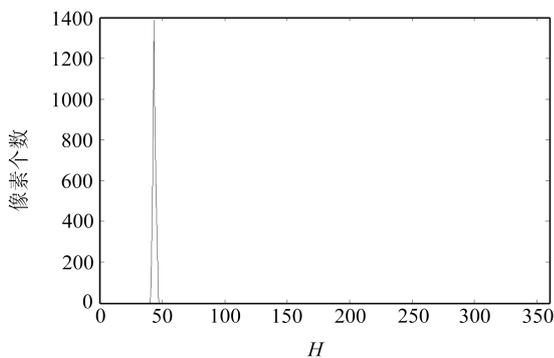


图 6 背景图像某列的 H 值分布图

Fig. 6 The H distribution of a column of the background image

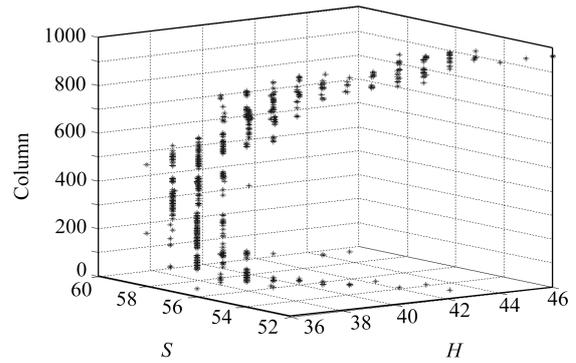


图 7 背景图像 $H-S$ 空间的按列分布图

Fig. 7 The $H-S$ distribution of columns of the background image

下面通过对背景和棉花图像的学习, 分别获得背景和棉花图像在 $H-S$ 空间的列均值 $\mathbf{u}_i = (u_{Hi}, u_{Si})^T$ 和协方差矩阵 Σ_i , 这里 i 代表图像的第 i 列. 令 X_i 代表背景与棉花图像第 i 列的像素值

$$X_i = [\mathbf{h}_i, \mathbf{s}_i]^T \quad (13)$$

\mathbf{h}_i 、 \mathbf{s}_i 分别表示第 i 列像素的 H 、 S 值. $H-S$ 空间的按列均值 \mathbf{u}_i 为

$$\mathbf{u}_i = E(X_i) \quad (14)$$

协方差矩阵 Σ_i 按下式进行计算

$$\Sigma_i = E[(X_i - \mathbf{u}_i)(X_i - \mathbf{u}_i)^T] \quad (15)$$

通过对训练样本进行学习, 得到棉花和背景在 $H-S$ 空间分布 \mathbf{z} 满足下式

$$D_i(\mathbf{z}, \mathbf{u}_i) \leq D_0 \quad (16)$$

这里, $D_i(\mathbf{z}, \mathbf{u}_i) = [(\mathbf{z} - \mathbf{u}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{u}_i)]^{1/2}$, D_0 为调整系数, 该系数将控制着整个识别系统的灵敏度, 即检测棉花中杂质的灵敏程度.

2.5 小结

整个系统的学习和识别步骤概述如下:

- 1) 利用高速 CCD 线扫描相机采集 RGB 格式图像;
- 2) 采用 3D-LUT 技术, 将 RGB 格式图像转换为 HSI 图像, 这里由于只用到 $H-S$ 空间, 所以并未获取图像的 I 分量;
- 3) 学习过程: 按列学习棉花和背景图像, 获得先验知识 \mathbf{u}_i 和 Σ_i , 进而确定灵敏度控制系数 D_0 ;
- 4) 识别过程: 如果图像像素点 \mathbf{z} 在 $H-S$ 空间的分布满足下列条件

$$D_i(\mathbf{z}, \mathbf{u}_i) > D_0 \quad (17)$$

则认为可疑杂质点;

5) 彩色运动补偿技术: 对于所有的可疑杂质点, 进行彩色运动补偿后, 再次进行步骤 4) 的杂质识别过程, 如果依然被判别为杂质点, 则该点即为杂质点.

3 实验结果分析

棉花杂质检测系统视觉监控部分的结构, 如图 2 所示. 高速 CCD 线扫描相机设定的扫描频率为 8000 线/秒, 曝光时间为 0.125 ms. 棉花在输棉通道的飞行速度为 18 m/s, 采集图像的像素点在棉花飞行方向上的分辨率为 2.25 mm. 图 8 所示为实际采集到的棉花图像, 为了显示的需要, 去掉了两边部分背景图像. 图 8 中右下角为杂质所在区域的放大图像, 以便于观察, 图中杂质的实际大小为 $2 \times 2 \text{ mm}^2$.



图 8 相机采集的图像

Fig. 8 The captured image

图 9 和图 10 分别显示了图 8 的图像在 H 空间和 S 空间上的分布 (图 9, 图 10 中, X 代表图像的列数, Y 代表图像的行数), 从图中可以明显地看到两个尖峰的存在, 该尖峰的位置就是要检测的杂质的位置. 从凸起的尖锐程度, 可以看到本文采用的特征有很强的代表性和可分辨性, 这将非常有利于对杂质的识别.

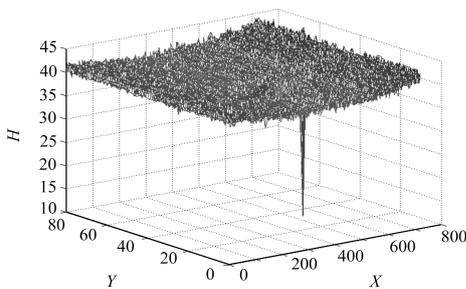


图 9 H 空间分布图

Fig. 9 The H distribution

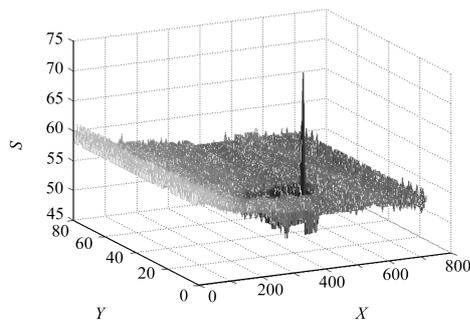


图 10 S 空间分布图

Fig. 10 The S distribution

为了进一步测试本文算法的有效性, 做了如下实验. 取 7 种大小不同的色块作为杂质, 它们的序号和颜色分别为: 1. 粉红, 2. 浅绿, 3. 深蓝, 4. 土黄, 5. 明黄, 6. 绛紫, 7. 橘红. 分别在 H 空间, S 空间, 以及 H - S 联合空间 (这里用 T 表示) 进行识别. 每种颜色实验次数为 50 次, 最后的实验结果, 如表 1 所示, M 表示在不同空间下的平均正确识别率.

表 1 不同杂质颜色下, 杂质识别正确率比较 (%)

Table 1 Contamination recognition rates under different colors of contamination (%)

	1	2	3	4	5	6	7	M
H	95.0	89.7	87.5	11.1	0	96.6	84	66.27
S	87.5	86.2	94.4	100	93.3	89.7	96	91.01
T	95.0	89.7	93.8	100	93.3	100	96	95.4

从图 11 中可以看到, H 特征对于粉红色、浅绿色、深蓝色、绛紫色杂质的识别效果比 S 特征的识别效果要好; 但是在土黄色、明黄色和橘红色杂质的识别效果上则不如 S 特征的识别效果. 尤其是在明黄色杂质的识别效果上, H 特征彻底失去分辨杂质的能力, 而 S 特征却有很好的识别能力. 从这里也可以看出, H 分量更擅长于不同色调上的分辨能力, 而 S 分量则更擅长于分辨不同的深浅度, 即饱和度不同的杂质. 采用 T 空间即 H - S 联合空间的分辨特性, 综合了两种不同特征的优点, 取长补短, 大大提高了系统的杂质分辨能力.

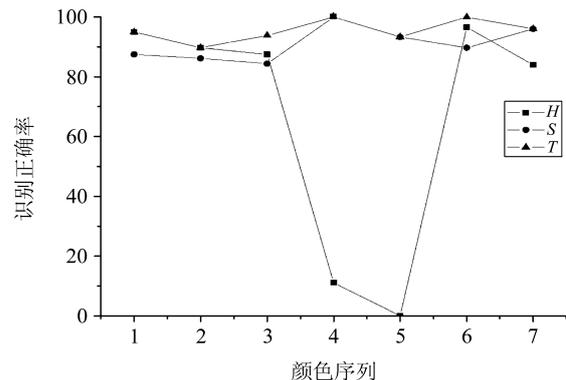


图 11 不同杂质颜色下杂质识别正确率

Fig. 11 Contamination recognition rates under different colors of contamination

对于不同颜色, 不同尺寸杂质的识别率也进行了比较, 如表 2 所示. 随着杂质尺寸的增大, 识别率也随之上升, 这是因为杂质的增大, 将使像素更能反映杂质的本质特征. 虽然在 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 下, 单像素不能完全反映杂质的饱满颜色, 但是本算法也仍可以将大部分的杂质识别出来.

表 2 不同尺寸杂质下, 杂质识别正确率比较 (%)

Table 2 Contamination recognition rates under different sizes of contamination (%)

	2 × 2 mm ²	5 × 5 mm ²	10 × 10 mm ²
T	95.4	96.5	97.1

在识别时间问题上, 采集一幅 80 线图像的时间为 10 ms, 由第 2.2 节知, 同等大小图像的传输和 RGB 格式转化为 HSI 格式的时间之和为 5 ms, 这样, 必须在剩下的 5 ms 时间内, 完成对该幅图像的杂质检测任务. 经过现场测试, 本算法对每幅图像的杂质进行检测所需时间在 3.5 ~ 4.5 ms 之间, 完全可以满足工业实时性要求.

4 结论

本文提出了一种基于 HSI 颜色空间的棉花杂质实时高速检测方法, 旨在提供一种在实际工业应用中切实可行的棉花杂质检测解决方案. 基于 3D-LUT 技术, 有效解决了颜色空间转换时间耗损严重的问题; 利用 HSI 颜色空间的色度和饱和度信息, 能对棉花中的杂质进行高效的检测和定位; 彩色运动补偿技术的应用, 则弥补了相机硬件上空间校正参数的不足, 降低了杂质的错误判别率. 本文提出方法的最大特点就是算法的识别速度快, 识别效果好, 有效地解决了工业应用中, 速度和识别率无法统一的难题. 当然, 本文提出的方法, 对于白色和透明的杂质将无法进行有效的检测和剔除, 这也是有待进一步研究的内容.

References

- 1 Strolz H M. ITMF cotton contamination survey 1999. In: Proceedings of Cotton Conference in Texas USA. Los Angeles, USA: World Textile Publications Ltd, 2000. 63–67
- 2 Tantaswadi P, Vilainatre J, Tamaree N, Viraivan P. Machine vision for automated visual inspection of cotton quality in textile industry using color isodiscrimination contour. *Computers and Industrial Engineering*, 1999, **37**(12): 347–350
- 3 Pai A, Sari-Sarraf H, Hequet E F. Recognition of cotton contamination via X-ray microtomographic image analysis. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2004, **40**(1): 77–85
- 4 Wang Ru-Li, Li Zheng-Yu. On-line Detection of Contamination in Cotton Using Photoelectric Technology, Chinese Patent 97106293.5, 1997
(王汝笠, 李正宇. 光电子棉花杂质自动在线检测方法, 中国专利 97106293.5, 1997)
- 5 Jia Dong-Yao, Ding Tian-Huai. Novel method of detecting foreign fibers in lint by fiber's infrared absorption characteristic. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2005, **24**(2):

147–150

(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. 红外与毫米波学报, 2005, **24**(2): 147–150)

- 6 Smith A R. Color gamut transform pairs. In: Proceedings of the 5th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, USA: ACM, 1978. 12–19



高伟 中国科学院自动化研究所博士研究生. 主要研究方向为图像处理、三维重建、增强现实. 本文通信作者.

E-mail: wgao@nlpr.ia.ac.cn

(**GAO Wei** Ph.D. candidate at Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers image processing, 3D reconstruction,

and augmented reality. Corresponding author of this paper.)



王志衡 中国科学院自动化研究所博士研究生. 于 2004 年在北京理工大学获得学士学位. 主要研究方向为特征提取、图像匹配. E-mail: zhwang@nlpr.ia.ac.cn

(**WANG Zhi-Heng** Ph.D. candidate at Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. He received his bachelor degree from Beijing Institute of Technology in 2004. His research interest covers

feature extraction and image correspondence.)



赵训坡 中国科学院自动化研究所助理研究员. 于 2005 年 5 月在中国科学院自动化研究所获得博士学位. 主要研究方向为数字图像处理、图像配准、计算机视觉. E-mail: xunpo.zhao@ia.ac.cn

(**ZHAO Xun-Po** Assistant professor at Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. He received his

Ph.D. degree from Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences in May, 2005. His research interest covers image processing, image registration, and computer vision.)



孙凤梅 北方工业大学讲师. 主要研究方向为光学和智能信号处理.

E-mail: fmsun@163.com

(**SUN Feng-Mei** Lecturer at Faculty of Sciences, North China University of Technology. Her research interest covers optics and intelligent signal processing.)