

基于 HSV 彩色模型的自然场景下棉花图像分割策略研究

韦皆顶¹, 费树岷¹, 汪木兰², 袁建宁³

(1. 东南大学自动化学院, 南京 210096; 2. 南京工程学院, 先进数控技术江苏省高校重点实验室 210013; 3. 南京工程学院机械工程系 211167)

摘要:棉花成熟度和空间位置的识别是采棉机器人研究的关键技术, 解决此问题必须对棉花图像进行分割。选取 HSV 模型中与亮度无关的 S 通道作为棉花图像的特征, 排除了图像明暗变化对分割效果的影响。文中分两种情况对图像信息未缺失的棉花提出了成熟度判别的策略: 正面时利用成熟棉花棉瓣的分散性和单朵棉花面积较大等特征进行判别; 侧面时通过成熟棉花棉瓣相对棉荚面积比较大的特征进行识别。根据提取分割后棉花图像的几何信息, 可确定棉花的重心位置。试验结果表明: 该算法能很好地将成熟棉花从背景中分离出来, 并较好地保存了棉花的轮廓信息。

关键词:棉花采摘机器人; 图像分割; 棉花成熟度; HSV 模型

中图分类号: TP274, S562 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2008)01-0034-05

Research on the Segmentation Strategy of the Cotton Images on the Natural Condition Based upon the HSV Color-Space Model

WEI Jie-ding¹, FEI Shu-min¹, WANG Mu-lan², YUAN Jian-ning³

(1. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Numerical Control Technology, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China; 3. Department of Mechanical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing, 211167, China)

Abstract: For the cotton harvesting robot, the degree of maturation and recognition of the position in space are the key technologies. S channel of the HSV model is chosen as the feature of cotton images, which may get rid of the effect of light. Based on two situations, a checking strategy of maturation of cotton without information lost is introduced. If it's full-face, the ripe cotton can be judged by the dispersion and the area of one cotton, else it can be separated by the bigger area proportion of cotton pod and cotton piece. The barycenter of cotton can be ascertained by extracting geometry feature of the segmented cotton images. The experimental results demonstrate that the cotton can be separated easily from the background by the above proposed algorithm, which can well save the figure information.

Key words: cotton picking robot; image segmentation; degree of maturation of cotton; HSV model

我国是世界上的棉花生产大国, 种植面积稳定在 533.33 万 hm^2 左右, 皮棉产量达到 580 万 t, 其中长江、黄河和新疆棉区是我国棉花三大优

势产区, 其面积和产量分别占全国的 97.5% 和 98.2%。每到棉花成熟期就需要大量的劳动力进行采摘, 但是往往因劳动力不足而拖长了采棉期,

收稿日期: 2007-01-17 作者简介: 韦皆顶(1983-), 男, 硕士, weijieding_2001@163.com

基金项目: 江苏省高校自然科学研究计划项目(05KJD210085); 先进数控技术江苏省重点实验室开放基金项目(KXJ05012)

影响了棉花的质量,妨碍秋耕灌溉和来年的春耕生产,像新疆棉区每年从外省雇佣数十万劳动力抢收棉花,仅人工成本就高达 8 亿元。借鉴发达国家机械化采棉的经验,新疆棉区也进行了有益的探索,利用“九五”国家攻关专项经费引进美国 John Deere 公司和 Case IH 公司价值 1.66 亿元的 104 台摘棉机,但是由于我国棉花成熟期和农艺等原因,完全照搬外国的模式并不合适^[1-2]。因此,研究基于图像处理的机器人采摘棉花技术具有相当大的实用价值和现实意义。

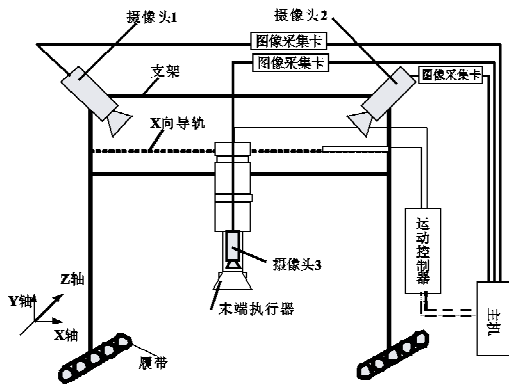


图 1 智能型采棉机器人总体构架

Fig.1 Constructor of cotton picking robot

1 采棉机器人组成及工作原理

参考了国外现有各种采棉机结构^[3-4],并结合多关节机器人的运动形式,自主构建出如图 1 所示智能型采棉机器人。图中系统由一个五自由度的机械手(腰、肩、肘、摆腕、旋腕)、X 轴导轨、末端执行器、运动控制器和视觉系统组成。其中视觉系统包括一台计算机、三台 CCD 摄像机和三块图像采集卡。

采棉机器人工作原理如下:整个机器通过履带驱动前进,机械手采用倒挂方式,摄像头 1、2 用于采集收获区域内棉花图像,经过图像分割处理后提取该范围内所有成熟棉花的重心位置,按照一定优化算法对采摘顺序进行规划。同时摄像头 1、2 还关注机械手的位置,当末端执行器移动到第一朵棉花附近的时候,摄像头 3 采集该棉花图像,通过分割图像提取棉花的重心,驱动末端执行器完成收获动作,接着进行第二朵棉花的采摘。循环上面的操作直到收获区内所有成熟棉花都采摘完毕。为了最大限度提高采棉效率,末端执行器采用抽吸式喇叭口结构通过负压吸摘。

2 颜色空间的选择

颜色是光谱中可视频段进入视觉系统的感知结果。要对颜色进行规范化描述和度量,就必须建立一个表示 3 属性及各个量之间关系的色彩系统,即颜色空间。对于采用基于彩色图像分割的方法识别目标,首先要定义什么是目标的颜色,这就涉及到选择合适的颜色空间,常用的颜色空间有 RGB、YUV、HSV、CMY 等。同时,颜色空间的选择也直接影响到图像分割和目标识别的效果。

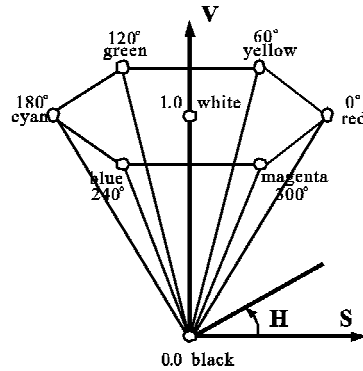


图 2 HSV 模型的 3 维空间图

Fig.2 HSV space figure

RGB 是最常用的颜色空间,并且 R、G、B 值之间的相关性很高,对于同一颜色属性,在不同光照条件下,RGB 值很分散,对于识别某种特定颜色,很难确定其阈值和其在颜色空间中的分布范围,因此通常会选择能从中分离出亮度分量的颜色空间,其中最常用的是 YUV 和 HSV 空间。YUV 颜色空间是面向硬件的,HSV 更接近人眼感知色彩的方式,其中 H 为色调(Hue),S 为色饱和度(Saturation),V 为亮度(Value)。因此本文选用 HSV 空间进行分析。这个模型的建立基于两个重要的事实:(1)V 分量与图像的彩色信息无关;(2)H 和 S 分量与人感受颜色的方式是紧密相连的。

HSV 模型对应于圆柱坐标系的一个圆锥形子集,如图 2 所示。圆锥的顶面对应于 V=1,代表的颜色较亮。色调 H 由绕 V 轴的旋转角给定,红色对应于角度 0°,绿色对应于角度 120°。每一种颜色和它的补色相差 180°。圆锥顶面中心处 S=0、V=1、H 无定义,代表白色,顶面中心到原点代表亮度渐暗的白色,即不同灰度的白色。

由于摄像头采集的图像是基于 RGB 空间的,因此可以通过下面的公式,完成 RGB 到 HSV 空间的转换。

$$\begin{cases} V = \frac{1}{3}(R+G+B) \\ S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)}[\min(R,G,B)] \\ H = \begin{cases} \theta & ; G \geq B \\ 2\pi - \theta & ; G < B \end{cases} \end{cases}$$

式中, $\theta = \arccos \left\{ \frac{[(R-G)]+(R+B)]/2}{[(R-G)^2+(R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}$, R、G、B 分别为原图彩色分量, H、S、V 为变换后图像色调、饱和度和亮度分量。

3 图像的分割

棉花成熟度和空间位置的识别是机器人采摘棉花过程中需要首先解决的关键技术问题,而要解决这个问题必须先将成熟棉花图像从背景中提取出来,即对自然场景的彩色图像进行分割。目前常用的图像分割技术主要有:阈值分割法、区域生长法、区域的分裂与合并法、边缘检测与边界跟踪法等^[5-8]。

在自然场景中棉花与背景在颜色方面具有很大的差别,即棉花的白色,将这一信息作为识别棉花的重要特征。由 HSV 模型可以看出,白色这个特征可以从亮度 V 中取得,不过在自然场景中光强变化很大,必须排除图像的明暗变化对分割效果的影响,因此选取 HSV 模型中与亮度无关的 H 和 S 通道。如图 2 所示,不同灰度的白色都处于 S 轴

原点附近,所以选用 S 通道来进行图像分割。这样做还能减少图像处理时间,提高综合采摘效率。

本研究对 50 幅棉花图像进行了分析处理,在每幅图像中分别对棉花、棉荚、叶子和枝干区域随机选取 20 个像素点,通过选取合适的阈值,统计它们的 H、S 和 V 值,可以发现棉花的 S 值都远远小于枝叶、棉荚和背景土壤的 S 值。如表 1 所示为其中某幅典型图像的数据(因篇幅所限只列出 10 个点的数值),进一步观察棉花图像 S 通道的直方图(图 3-b),可以发现其基本呈现双峰形态,目标和背景在交界处,两边的像素在灰度上具有较大的差别,因此运用阈值分割法是可行的。

先对原始图像进行中值滤波,以去除图像采集时可能带人的随机噪声,有效地保护了图像的边缘少受模糊。将去噪后的图像进行色彩空间变换,提取图像 S 通道(图 3-a),进一步做灰度拉伸(图 3-c-d),以对图像的边缘、轮廓和对比度等进行强调,便于进一步处理。本研究采用一种自适应的阈值选取方法,其算法如下:(1)选取初始阈值 T 作为图像强度的均值;(2)利用该阈值将图像分成两组, R1 和 R2;(3)分别计算它们的均值 t1 和 t2;(4)选取新的阈值 $T = (t1 + t2) / 2$;(5)重复前面步骤直到 t1 和 t2 都不变为止。图 4-b 就是初步分割后的棉花图像,目标被较好地提取了出来。

表 1 棉花图像中各部分 HSV 值统计表
Table 1 HSV statistics value of cotton images

	棉花			枝			棉荚			叶片		
	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V
1	0.500	0.029	0.808	0.985	0.500	0.173	0.059	0.438	0.125	0.286	0.389	0.212
2	0.563	0.036	0.878	0.021	0.706	0.133	0.094	0.667	0.177	0.402	0.339	0.255
3	0.617	0.045	0.878	0.053	0.564	0.153	0.087	0.544	0.361	0.373	0.391	0.251
4	0.622	0.069	0.859	0.200	0.833	0.234	0.116	0.605	0.149	0.407	0.429	0.247
5	0.563	0.036	0.859	0.026	0.448	0.113	0.650	0.750	0.267	0.367	0.204	0.192
6	0.571	0.033	0.835	0.046	0.611	0.071	0.100	0.353	0.667	0.352	0.339	0.208
7	0.533	0.023	0.847	0.104	0.471	0.067	0.090	0.587	0.247	0.350	0.204	0.192
8	0.526	0.072	0.709	0.167	0.471	0.067	0.061	0.621	0.228	0.350	0.204	0.192
9	0.573	0.073	0.855	0.063	0.500	0.063	0.104	0.265	0.667	0.306	0.122	0.192
10	0.571	0.035	0.784	0.131	0.549	0.200	0.092	0.397	0.553	0.333	0.218	0.216

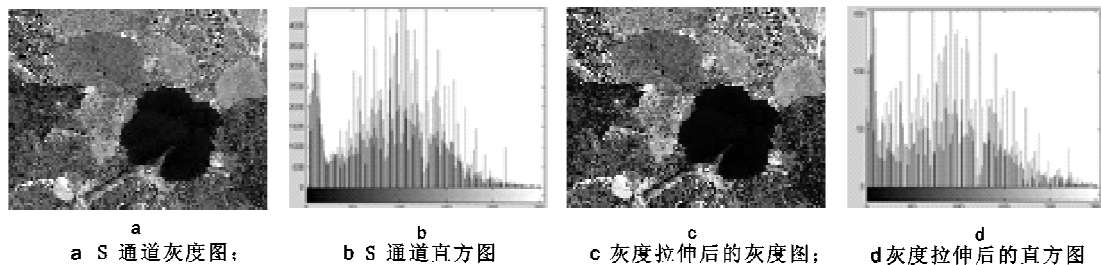


图 3 S 通道棉花图像预处理过程

Fig. 3 Cotton image preprocessing procedure of S channel

由于图像是在自然条件下拍摄的,所以样本中在棉花区域的外围也存在白色的干扰点,这些噪声主要是由叶片表面反光或图像中的白色杂质产生的。现将分割后的棉花图像反色后(图 4-c),经过去除小面积区域的算法,将棉花图像背景中

的干扰点去除。处理之后,棉花和背景分离很好,但是棉花内部存在一些小孔洞,这是由于棉花表面可能存在的斑点或光线等原因所造成的,为了达到更好地效果,对分离后的图像再进行一次膨胀运算,结果如图 4-d。

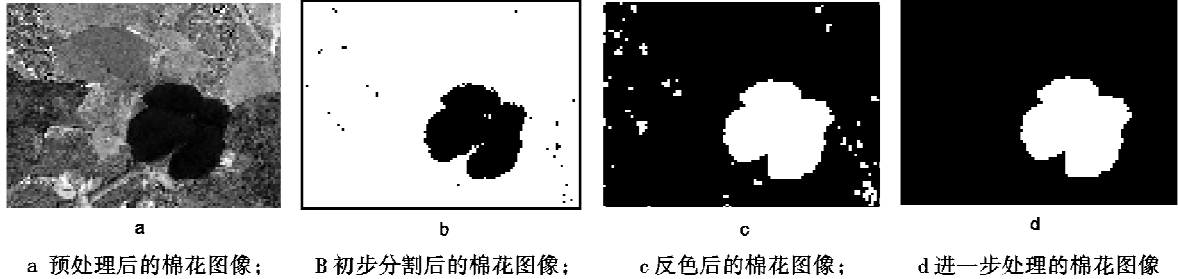


图 4 棉花图像分割过程

Fig. 4 Cotton image segmentation processing

4 棉花成熟度的判别与重心位置的提取

棉花与背景的正确分离,为进一步进行棉花的分级打下了基础。现将棉花分为成熟和未成熟两类。通过分析采集的样本图片,提出了未遮挡棉花成熟度判别策略。成熟棉花从正面识别时具有两个重要特征:棉瓣零散呈多连通状,单朵棉花面积比未成熟棉花要大;侧面可以以棉荚为参照来进行识别,成熟棉花相比未成熟棉花而言棉花与棉荚的面积比更大。成熟棉花相比未成熟棉花而言还有个显著的特征,那就是它更亮,因此辅助棉花的亮度信息进行判别将更有助于提高判别的准确度。

但由于自然场景中情况复杂,获得的棉花图像往往呈现信息残缺的状态,例如遮挡,干扰等^[9],有关这种情况的处理将另行介绍,而本文提出的策略主要适用于相对理想的情况,即棉花图像信息未缺失的情况。

重心位置的提取^[10]是在识别出了成熟棉花的基础上,通过如下步骤处理获得:孔洞填充->对象标注->重心识别。将分割后的棉花图片进

行对象标注,即将相互连接的对象赋予相同的标记,不同的对象赋予不同的标记,其目的是为了计算机能够识别出图像中的不同棉花。现利用 MATLAB 实现的重心位置识别过程流程图如图 5 所示。

图 6-b 为自然场景下拍摄的棉花图像(图 6-a)经过预处理分割后的棉花图像,利用上面的重心识别方法成功地找到了各朵棉花的重心位置,如图 6-c 所示。

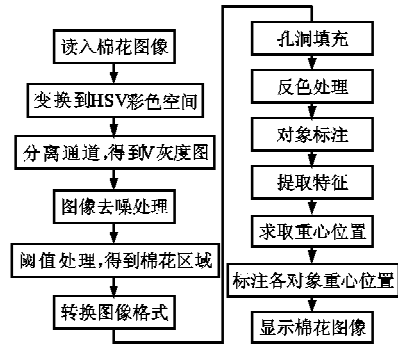


图 5 重心位置识别流程图

Fig. 5 Flow chart of cotton barycenter detection

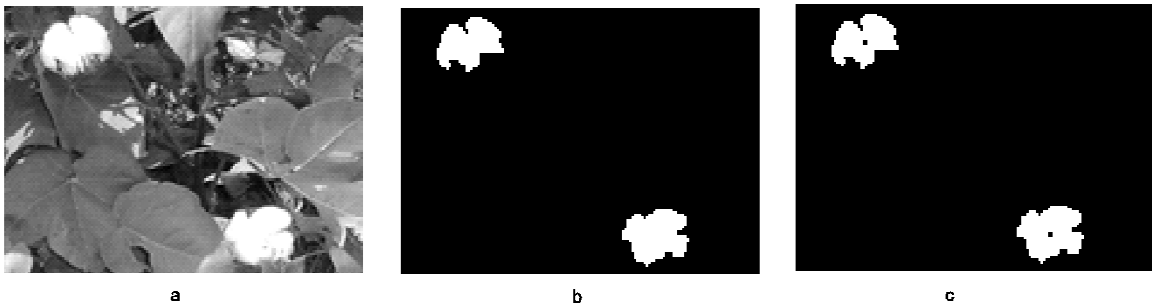


图 6 重心提取后的棉花图像和原始图像的对比

Fig. 6 Construct of barycenter detected image and origin image

5 结论

基于 HSV 彩色模型的棉花图像饱和度分割算法,使用简单,阈值确定方便,能很好地将棉花和背景图像分离。本算法基本不受自然光的影响,并较好地保存了棉花轮廓信息,有利于棉花特征的进一步识别。对于棉花成熟度的区分,提出了在背景分割基础上,基于亮度和面积大小综合考虑的分类原则,将未成熟棉花和成熟棉花分离

开,进而提取出成熟棉花重心位置。

试验用棉花图像为 2006 年 9 月 22 日上午 11 时(晴天)用数码相机在江苏省农科院棉花试验场自然条件下拍摄的,棉花为鲁棉 15 号,图像分辨率为 640×480 像素。在奔腾 4 CPU2.8GHz、512MB 内存、Windows XP 操作系统的图像处理平台中,采用 MATLAB 编程快速地将成熟棉花提取出来,效果良好。

参考文献:

- [1]沈玲凤.兵团农场采棉机械化发展的制约因素及对策[J].新疆农机化,2004(4):46-47.
- [2]王玲,姬长英.农业机器人采摘棉花的前景展望与技术分析[J].棉花学报,2006,18(2):124-128.
- [3]ALESSIO P, Giorgio G. Localization of spherical fruits for robotic harvesting[J]. Machine Vision and Application,2001(13):70-79.
- [4]MITSUJI M, Kazuhiko N. Three-dimensional Sensing System for Agricultural Robots [J]. ASME, 2003, 1216-1221.
- [5]谢志勇,张铁中.基于 RGB 彩色模型的草莓图像色调分割算法[J].中国农业大学学报,2006,11(1):84-86.
- [6]曹其新,刘其良.基于彩色图像处理的西红柿品质特征的提取研究[J].机器人,2001,23(7):652-656.
- [7]王玲,姬长英,陈兵林.基于形态学的黑色背景下收获前棉花图像自动分割技术研究[J].棉花学报,2006,18(5):299-303.
- [8]王玲,姬长英,陈兵林.黑背景下收获前棉花图像色特征生成及其品级聚类分析[J].棉花学报,2007,19(2):119-123.
- [9]李亚兵,毛树春,王香河,等.棉花早衰程度诊断数码图像数字化指标的研究[J].棉花学报,2006,18(3):160-163
- [10]张铁中,陈利兵,宋健.草莓采摘机器人的研究 II:基于图像的草莓重心位置和采摘点的确定[J].中国农业大学学报,2005,10(1):48-51.
-