

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.07.004

基于 FCM 及 HSV 模型的方格簇黄斑茧检测与剔除技术

刘莫尘^{1,2} 许荣浩¹ 闫筱³ 闫银发^{1,2} 李法德^{1,2} 刘双喜¹

(1. 山东农业大学机械与工程学院, 泰安 271018; 2. 山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018;
3. 华北电力大学(保定)电气与工程学院, 保定 071003)

摘要: 桑蚕业缂丝前需要对蚕茧进行检测分类,剔除黄斑茧等下茧对于提高缂丝质量非常关键。我国蚕茧上簇多用纸板方格簇,方格簇在使用过程由于挤压、受潮等原因极易变形,另外,营茧方格簇一般覆盖一层茧衣,使自动检测方格簇蚕茧质量并准确剔除黄斑茧等下茧极其困难。采用基于模糊 C 均值聚类(FCM)及 HSV 模型的黄斑茧检测算法,在采茧过程中直接对蚕茧进行图像分割和黄斑茧检测,使用基于机器视觉的直角坐标式自动采茧机对黄斑茧进行定位剔除试验。首先对方格簇正面原始图像使用 FCM 分割,消除蚕茧茧衣及方格簇边框,得到蚕茧二值图像;对 FCM 分割后的蚕茧二值图像与方格簇原始图像进行掩膜,实现对方格簇内单个蚕茧的提取;对提取到的单个蚕茧,根据 HSV 空间累积颜色直方图黄斑颜色 H 分量的比例是否达到黄斑茧的定义阈值,逐个进行黄斑茧判断;然后,对检测到的黄斑茧,保存其连通域中心坐标作为其图像位置坐标,经过视觉测量确定蚕茧在笛卡尔空间中的世界坐标。使用基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机,对方格簇黄斑茧进行定位剔除试验,该算法对方格簇内黄斑茧的平均检测正确率为 81.2%,黄斑茧坐标最大定位偏差为 3.0 mm,对单张方格簇图像进行分割和黄斑茧检测的平均时长为 1.271 s,对茧衣附有桑叶梗或碎桑叶的蚕茧没有误检测,但对黄斑位于边缘处的蚕茧检测效果不好。

关键词: 蚕茧; 方格簇; 黄斑茧检测; 模糊 C 均值聚类; 颜色直方图

中图分类号: TP391.4; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)07-0031-08

Detection and Elimination of Yellow Spotted Cocoon in Mountage Based on FCM Algorithm and HSV Color Model

LIU Mochen^{1,2} XU Ronghao¹ YAN Xiao³ YAN Yinfa^{1,2} LI Fade^{1,2} LIU Shuangxi¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machinery and Equipment, Taian 271018, China
3. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University (Baoding), Baoding 071003, China)

Abstract: In sericulture, cocoons must be detected and classified before silk reeling is performed. It is important for improving the quality of silk to eliminate the yellow spotted cocoons. A large number of checker cocooning are used for silkworm mounting cocooning frames. It is difficult to detect the yellow spotted cocoons because of the checker cocooning frames' reshape and outer floss. To solve the problem, the algorithm based on FCM and HSV color model was used to detect and eliminate the yellow spotted cocoons in the cocoons harvested process. Firstly, FCM segmentation was applied to the original image of the checker cocooning frame to eliminate the outer floss and the frame. The binary image of the cocoon was obtained by FCM segmentation and threshold segmentation. The original image was masked with the binary image which was obtained by FCM segmentation. And the individual cocoon was extracted through the masked operation. According to the proportion of specific color components in the color histogram which was gotten by accumulating color of HSV, the yellow spotted cocoon was judged one by one. The center point coordinates of the yellow spotted cocoons' regions were got by the connected components

收稿日期: 2018-03-07 修回日期: 2018-06-01
基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-18-ZJ0402)、山东省现代农业产业技术体系建设项目(SDAIT-18-06)和山东省“双一流”奖补资金项目(564047)
作者简介: 刘莫尘(1980—),女,讲师,博士,主要从事现代农业机械装备研究,E-mail: liu_mochen@126.com
通信作者: 闫银发(1976—),男,副教授,博士,主要从事机器视觉在现代农业中的应用研究,E-mail: sd28@163.com

calibration, and were mapped into the world coordinates through the equation that image coordinates to world coordinates to get the cocoons positions in the Cartesian space. Finally, the yellow spotted cocoons were eliminated by automatic harvesting machine. According to the result of experiment, the correct ratio of cocoon detection was 81.2%, the location accuracy was 3.0 mm, the average process time of one mountage image was 1.271 s. The cocoons which out floss with leaf stalks or crushed leaves could be detected errorlessly, but the algorithm had no effect on detection the cocoons with stained point in the edge.

Key words: silkworm cocoon; mountage; yellow spotted cocoon detection; FCM; color histogram

0 引言

为了提高生丝质量,缫丝前需要对蚕茧进行检测分类,剔除黄斑茧、口茧、薄皮茧等下茧。黄斑茧是指因被死蚕或蚕尿等污染造成表面出现黄色污斑的蚕茧,根据污斑面积的大小分为尿黄茧(污斑总面积超过 0.5 cm^2)、靠黄茧(污斑总面积超过 1 cm^2)和老黄茧(污斑占茧体面积的 $1/3$ 以上)等^[1]。黄斑茧占下茧的比例高达50%,而传统黄斑茧剔除主要靠人工目测,劳动力成本较高,同时选茧的准确性易受人员技术水平、精神状态等主观因素影响,存在劳动强度大、误选率高等缺点。

国外对蚕茧检测的研究报道较少,国内对蚕茧检测研究主要以图像处理与机器视觉为主。蔡健荣等^[2]提出了一种基于X射线成像技术的蚕茧雌雄判别方法。SUMRIDDETHKAJORN等^[3-4]通过处理红白两种光源照射下的蚕茧尾部图像来判断蚕茧性别。KAMTOSNGDEE等^[5]则采用模式匹配的方法处理蚕茧尾部图像实现蚕茧雌雄鉴定。甘勇等^[6]和周志宇等^[7]通过图像分析和处理、基于机器视觉技术的方法进行了单个蚕茧表面面积的测量,实现了蚕茧质量无损智能检测。陈浩等^[8]在多光源条件下,用高拍仪拍摄蚕茧图像,提出了利用图像处理实现单个蚕茧表面污斑面积自动检测的方法。宋亚杰等^[9]利用数学形态学方法实现了单个蚕茧蚕型判断。陶丹等^[10-11]提出了图像处理过程中基于解模糊算法进行蚕蛹图像恢复。张琦^[12]和乔乐领^[13]探讨了基于图像处理的蚕茧自动检测计数系统,实现了对方格簇中采出蚕茧的自动计数。

综上所述,目前采用图像处理的方法可以实现

蚕茧的雌雄鉴别、蚕茧表面积测量、茧型判断和蚕茧的自动计数及检测等功能,为蚕桑产业的自动化提供了有益的借鉴,但并没见对整张方格簇蚕茧进行黄斑茧检测和自动剔除的研究文献。

针对上述问题,本文使用基于模糊C均值聚类及HSV模型的黄斑茧检测算法,快速分割整张方格簇蚕茧,同时完成黄斑茧的检测,并使用基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机对黄斑茧进行检测剔除试验。

1 试验材料与装置

1.1 试验材料

方格簇由山东农业大学马庄蚕桑实验站提供,规格为 $540\text{ mm} \times 390\text{ mm}$,采用MicroVision公司的MV-DC500型工业相机,图像分辨率为 $640\text{ 像素} \times 480\text{ 像素}$ 。用于图像处理的上位机为Intel Core 2 Duo 2.93 Hz CPU,4 GB RAM,Windows XP操作系统的计算机。图像处理软件为OpenCV 3.2机器视觉库。将方格簇水平固定,两台相机分别设置在方格簇的上、下方,且均正对方格簇中心。在室内自然光下采集图像,方格簇上方相机采集图像即为方格簇正面原始图像,如图1a所示。方格簇下方相机采集图像为方格簇反面原始图像,如图1b所示。为了使同一蚕茧在正反两面图像中的位置相同,将方格簇下方相机采集的图像做竖直镜像,即为方格簇反面原始图像,如图1c所示。竖直镜像后,同一蚕茧在正反两面图像中的位置一一对应。

1.2 试验装置

黄斑茧检测及剔除试验装置采用基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机,主要由X轴导轨、Y

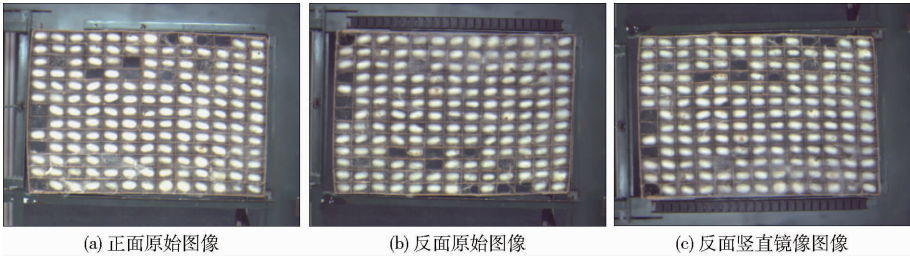


图1 方格簇图像

Fig. 1 Images of mountage

轴导轨、电磁采摘器、步进电动机、工业相机、上位机及 STM32 嵌入式控制系统等组成,如图 2 所示。

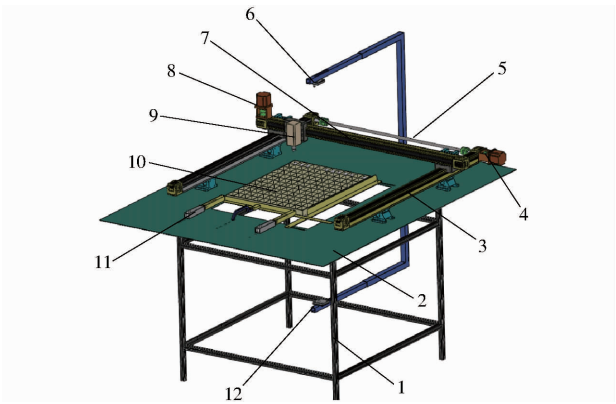


图 2 直角坐标式方格簇自动采茧机结构简图
Fig.2 Schematic of Cartesian coordinate automatic cocoon harvester

1. 机架 2. 工作台 3. X 轴导轨 4. X 轴步进电动机 5. 传动轴
6. 上方工业相机 7. Y 轴导轨 8. Y 轴步进电动机 9. 电磁采摘器 10. 蚕茧方格簇 11. 方格簇夹持装置 12. 下方工业相机

X 轴导轨为 2 个由传动轴连接的同步导轨,长 1 m, Y 轴导轨带有电磁采摘器,长 1 m,在 X 轴导轨上运动,同步导轨导程为 72 mm。步进电动机为 57 型步进电动机,步距角 1.8° ,扭矩 $2.8\text{ N}\cdot\text{m}$,用于带动导轨运动,实现电磁采摘器定位。电磁采摘器由 1 个行程 60 mm、单次往返时间 0.5 s 的电磁铁和 1 个采茧头组成,用于剔除检测的黄斑茧。

上位机控制工业相机采集方格簇图像,采用基于模糊 C 均值聚类及颜色直方图检测算法进行黄斑茧检测和视觉测量定位,计算黄斑茧的中心点坐标,通过 RS232 串口将黄斑茧的中心点坐标传输给 STM32 控制器。STM32 控制 X 轴、Y 轴步进电动机将电磁采摘器定位到黄斑茧位置,控制电磁采摘器接通电源,实现电磁采摘器对黄斑茧的定位剔除,然后断开电磁采摘器电源,释放电磁采摘器准备下一个黄斑茧的剔除,直到将方格簇中黄斑茧剔除完毕,结束工作。其工作流程图如图 3 所示。

2 黄斑茧检测

2.1 黄斑茧检测算法

因方格簇中存在茧衣,茧衣较厚的区域使用传统的 Otsu 阈值分割算法^[14],易造成蚕茧黏连,无法完整地分割蚕茧,图 4 为对图 1a 使用 Otsu 算法分割后的二值图像。从图 4 红色标记处可以看出,茧衣较厚处的蚕茧存在黏连,Otsu 算法不能有效消除茧衣的影响。

为解决茧衣较厚、蚕茧不易分割及黄斑茧检测剔除效率低的问题,本文采用基于 FCM 和 HSV 模

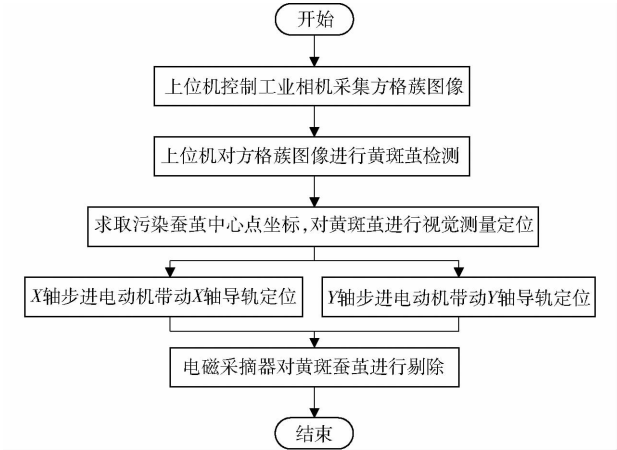


图 3 直角坐标式自动采茧机工作流程图
Fig.3 Flow chart of Cartesian coordinate automatic cocoon harvester

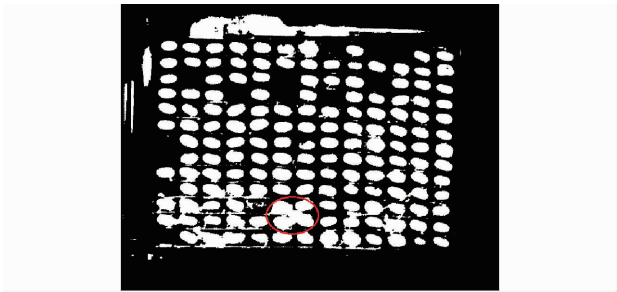


图 4 Otsu 算法分割结果
Fig.4 Result of Otsu segment algorithm

型的黄斑茧检测算法,其算法步骤为:

- (1) 将工业相机采集的方格簇正面图像作为原始图像 I_0 。
- (2) 对方格簇原始图像 I_0 进行灰度化,得到灰度图 I_1 。
- (3) 对灰度图 I_1 采用 FCM 算法进行聚类,得到聚类后的图像 F_0 。
- (4) 对聚类后的图像 F_0 进行锐化,得到锐化图像 L_1 。
- (5) 对灰度图 I_1 使用 Otsu 算法进行二值化,得到二值化图像 I_2 。
- (6) 将 L_1 与 I_1 掩膜,并对掩膜后的图像进行孔洞填充,得到去除方格簇只保留蚕茧的二值图像 B_0 。
- (7) 将二值图像 B_0 与方格簇原始图像 I_0 做掩膜,得到单个蚕茧的彩色图像。
- (8) 对单个蚕茧的彩色图像建立 HSV 空间的累积颜色直方图,根据颜色直方图判断蚕茧是否为黄斑茧。
- (9) 若蚕茧为黄斑茧,保存当前正在检测的蚕茧正面二值图像连通域中心坐标作为黄斑茧坐标,开始下一个蚕茧的污染判断;若由正面彩色图像判断蚕茧不是黄斑茧,则将工业相机采集到的方格簇

反面彩色图像作为原始图像 I_0 ,从步骤(2)开始重复执行。

2.2 模糊 C 均值聚类分割

模糊 C 均值聚类通过模糊理论对重要数据进行分析 and 建模,获得对样本类属的不确定描述^[15]。

FCM 算法可以把 n 个向量 $\mathbf{x}_i(i=1,2,\cdots,n)$ 分为 c 个模糊类别,并求出每类的聚类中心,使得非相似性指标的目标函数达到最小。

FCM 目标函数^[16]为

$$J(U,c_1,c_2,\cdots,c_c)=\sum_{k=1}^n\sum_{i=1}^cu_{ik}^md_{ik}^2\quad (1)$$

式中 U ——隶属度均值

u_{ik} ——介于 $0\sim 1$ 之间的值

k ——样本数据序号

c_i ——模糊类别 i 的聚类中心

d_{ik} ——第 i 类模糊聚类中心与第 k 个样本数据点之间的欧几里得距离

m ——权重系数,取值为 $(1,\infty)$

对图 1a 的灰度图使用 FCM 进行聚类,聚类图像将灰度图分成了 4 种不同的颜色,分别为黑色、灰色、灰白色和白色。蚕茧区域为白色,茧衣则为灰白色,实现了蚕茧与茧衣的分割,如图 5 所示。

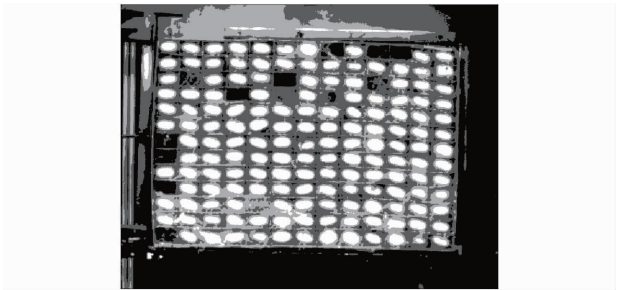


图 5 FCM 聚类分割
Fig.5 FCM clustering segmentation

为将蚕茧完整的分割出来,对聚类后的图像进行锐化、阈值分割和掩膜处理。用拉普拉斯算子对聚类后的图像进行锐化,锐化后的图像如图 6a 所示。图 6a 中,红色标记处为存在茧衣的区域,茧衣区域锐化后的放大图像如图 6b 所示,蚕茧、茧衣及方格簇均保留了轮廓。将锐化后的图像与图 4 所示的二值图像进行掩膜,掩膜后的图像茧衣与方格簇的边框被去除,但完整保留了蚕茧轮廓,茧衣区域掩膜后如图 6c 所示。对整张方格簇进行掩膜,实现蚕茧分割,如图 6d 所示。

为保证掩膜分割后的蚕茧形状完好,对图 6d 中的蚕茧轮廓进行区域填充,如图 7a 所示。图 7a 中存在较小的椒盐噪声,对填充后的图像进行开运算,去除噪声,如图 7b 所示。把蚕茧图像近似为椭圆,对图 7b 的蚕茧连通域分别进行中心点提取,测量蚕

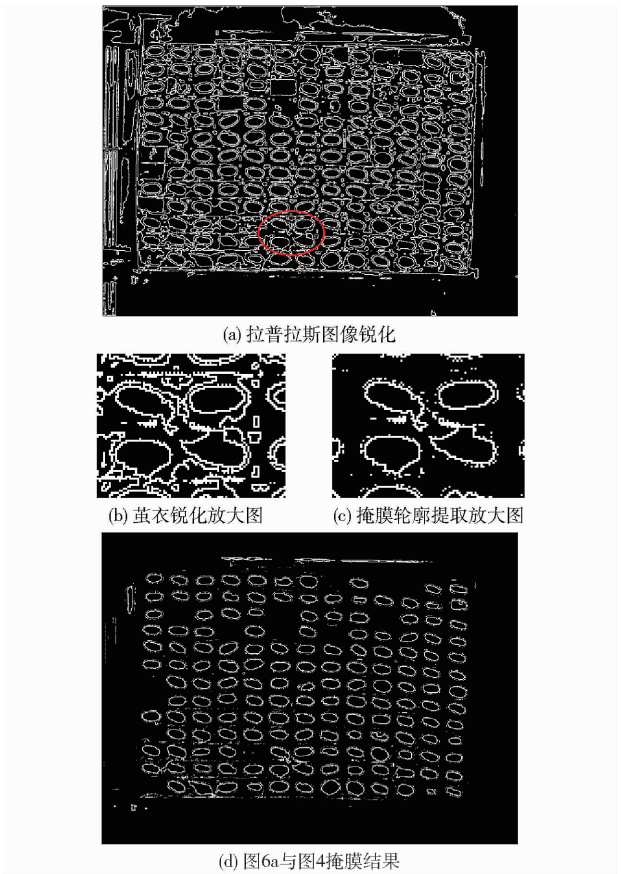


图 6 蚕茧轮廓提取
Fig.6 Contour extraction of cocoon

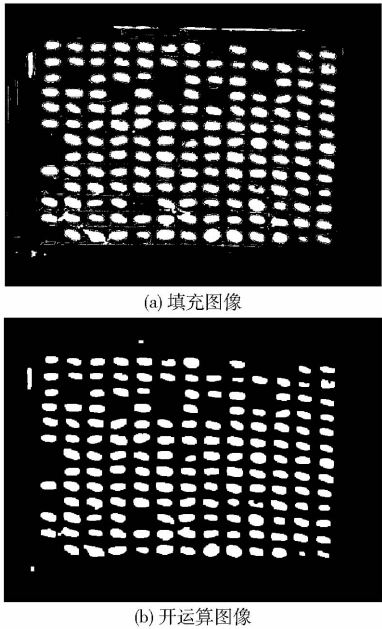


图 7 蚕茧形状还原
Fig.7 Shape reduction of cocoon

茧两个半轴的长度,并计算蚕茧的表面积 A 。把第 n 个蚕茧的表面积记为 A_n ,单位 cm^2 。

2.3 黄斑茧检测算法

累积颜色直方图表示图像中每一种颜色与其出现频率间的统计关系^[17],频率计算公式为

$$P_i = n_i / N \tag{2}$$

式中 P_i ——第 i 个颜色子空间出现的频率
 n_i ——第 i 个颜色子空间的像素数
 N ——图像的总像素数

HSV 颜色空间包括 3 个要素,其中, H 分量代表色调, S 分量代表饱和度, V 分量代表亮度^[18]。作为一种面向视觉感知的颜色模型,HSV 色彩空间比 RGB 色彩空间更符合人的视觉特性^[19]。因此,选择在 HSV 颜色空间建立累积颜色直方图。颜色直方图中将 H 分量非等间隔量化为 16 级,表示为 H_m ($m = 1, 2, \dots, 16$)。 S 分量非等间隔量化为 4 级^[20],表示为 S_n ($n = 1, 2, 3, 4$)。其中 H_3 、 H_4 和 H_5 分量区间代表黄色和绿色, S_2 的归一化量化区间为 $[0.15, 0.4]$, V 分量为亮度分量,对颜色分辨无明显影响,故不予考虑。正常蚕茧如图 8a 所示,正常蚕茧的累积颜色直方图如图 8b 所示,根据 GSBW40001 选择样本黄斑茧,如图 8c 所示,其累积颜色直方图如图 8d 所示。

设某幅分辨率为 M 像素 $\times N$ 像素的图像,其像素总数为 Y_0 , $Y_0 = M \times N$,图像中的像素点为 $p_l(I, J)$ ($1 \leq I \leq M, 1 \leq J \leq N$)。

在 HSV 颜色空间中,将 H 分量非等间隔量化为 16 级, S 分量非等间隔量化为 4 级,则对于任一像素点 $p_l(I, J)$,其 H 分量量化值为 H_m , S 分量量化值为 S_n ,HSV 颜色空间下的累积颜色直方图 $H_m - S_n$ 表示取值为 H_m 、 S_n 的像素点总数 Y_{mn} 占整幅图像像素总数的比例 K_{mn} ,即 $K_{mn} = \frac{Y_{mn}}{Y_0}$ 。

对比图 8b 和图 8d,正常蚕茧的 $H_m - S_2$ 直方图在 H_3 、 H_4 、 H_5 的量化占比均小于 0.1,且波动较大,黄斑茧的 $H_m - S_2$ 直方图在 H_3 、 H_4 、 H_5 量化占比均超过 0.1,且变化平缓。同时,黄斑茧污斑颜色大都表现为黄色和浅绿色,因此可将 $H_m - S_2$ 直方图在 H_3 、 H_4 、 H_5 的频率之和与黄斑颜色阈值 T 的大小关系作为判定蚕茧是否为黄斑茧的标准。

在 GB/T 9111—2015《桑蚕干茧试验方法》中规定,黄斑污染总面积超过 0.5 cm^2 的蚕茧为黄斑茧,则判断某个蚕茧为黄斑茧的阈值 T 为

$$T = \frac{0.5}{A} \tag{3}$$

式中 A ——蚕茧表面积, cm^2

判断蚕茧为黄斑茧方法为

$$\begin{cases} \sum_{m=3}^5 K_{m2} \geq T & (\text{黄斑茧}) \\ \sum_{m=3}^5 K_{m2} < T & (\text{正常蚕茧}) \end{cases} \tag{4}$$

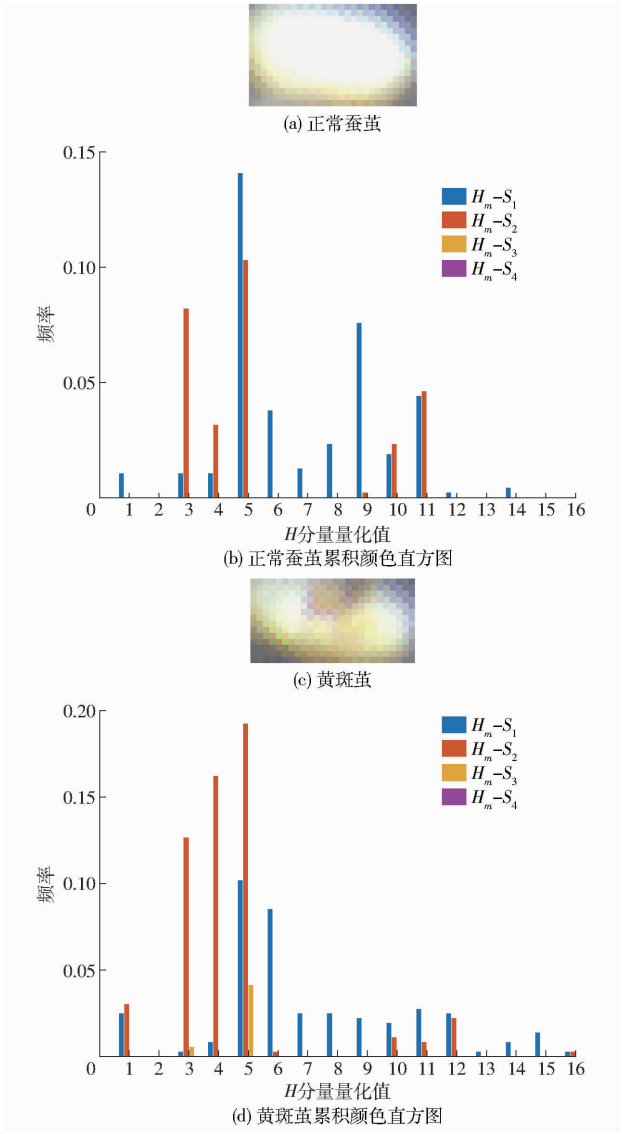


图 8 蚕茧累积颜色直方图

Fig. 8 Accumulative color histograms

黄斑茧检测的步骤为:

- (1)对正面二值图像进行连通域标记,按标记顺序计算各连通域的外接矩形,同时提取外接矩形在蚕茧正面原始图像和正面二值图像中的对应区域,二者做掩模运算后得到单个蚕茧的正面彩色图像,把蚕茧近似为椭圆,外接矩形的长、宽为蚕茧的长轴和短轴,进而计算每个蚕茧的表面积。
- (2)对单个蚕茧的正面彩色图像建立累积颜色直方图,并将 $H_m - S_2$ 直方图在 H_3 、 H_4 、 H_5 的量化占比之和作为黄斑颜色分量占比。
- (3)若某个蚕茧黄斑颜色占比超过阈值 T ,则直接判为黄斑茧,保存当前正在检测的蚕茧正面二值图像连通域中心坐标作为黄斑茧坐标,开始下一个蚕茧的污染判断;若蚕茧正面彩色图像的黄斑颜色占比未超过阈值,则提取外接矩形在蚕茧反面原始图像和蚕茧正面二值图像中的对应区域,二者做掩模运算后得到单个蚕茧的反面彩色图像。对反面彩

色图像建立累积颜色直方图。若黄斑颜色分量占比不小于阈值,则判为黄斑茧,保存当前正在检测的蚕茧正面二值图像连通域中心坐标作为黄斑茧坐标;若黄斑颜色分量的占比小于阈值,则判为正常蚕茧,开始下一个蚕茧的污染判断。

方格簇正面和反面的黄斑茧整体检测结果在正面呈现,如图 9 所示,能够较准确地检测出方格簇中的黄斑茧。对单张方格簇图像进行分割和黄斑茧检测的平均时长约为 1.271 s。



图 9 黄斑茧整体检测结果(正面)

Fig.9 Result of stained cocoon detection

茧衣上附有少量桑叶梗或碎桑叶,如图 10 红色标记 1 和 2 处,会导致正常蚕茧误判为黄斑茧,本文算法可以在去除茧衣时,将桑叶梗或碎桑叶的影响一并去除,降低黄斑茧的误判率。

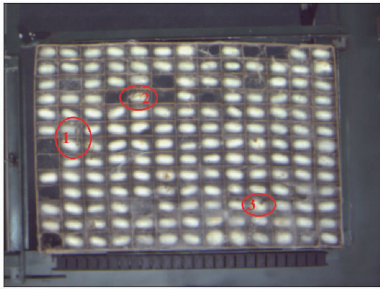


图 10 茧衣附有桑叶梗的方格簇图像

Fig.10 Out floss image of cocoon with leaf stalks

经过试验发现,当黄斑点位于蚕茧边缘时,与图像背景融合,FCM 处理过程中,黄斑部分被当作背景,如图 11 所示,因此本文算法对黄斑部分位于边缘处的蚕茧检测效果不好,图 12 中红色标记处和图 10 中红色标记 3 处是未能正确检测的黄斑茧。

3 试验与结果分析

在山东农业大学马庄蚕桑实验站,使用基于机

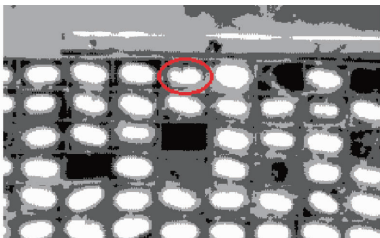


图 11 未识别蚕茧聚类放大图

Fig.11 Enlarge diagram of unidentified cocoon

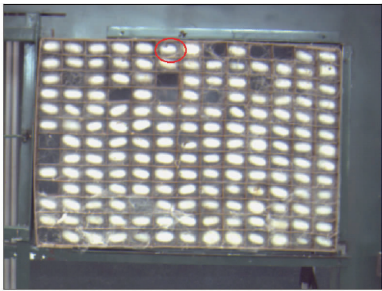


图 12 未能检测到的黄斑茧

Fig.12 Stained cocoon without detection

器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机,对方格簇进行污黄斑茧检测、视觉测量定位和黄斑茧剔除验证试验。基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机样机如图 13 所示。

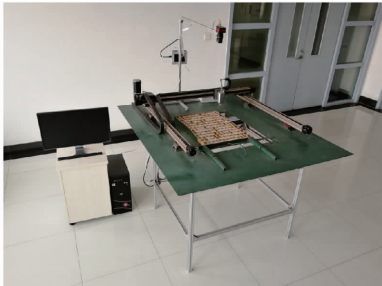


图 13 基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机样机

Fig.13 Mock-up of Cartesian coordinate automatic cocoon harvester based on machine vision

3.1 黄斑茧检测正确率

检测正确率^[21]是评估信息处理领域相关技术的经典评价指标。检测正确率说明系统排除干扰、减少噪声的能力,将其运用到黄斑茧检测性能评价中,其定义为

$$p = \frac{N_c}{N_t} \times 100\%$$
 (5)

式中 p ——检测正确率,%
 N_c ——检测正确的黄斑茧个数
 N_t ——方格簇黄斑茧总个数

3.2 黄斑茧视觉测量与定位

机器视觉系统涉及世界坐标系、摄像机坐标系和图像坐标系。方格簇固定在工作台上,方格簇竖直方向固定不变,因此方格簇蚕茧坐标只由水平面坐标决定。通过摄像机标定参数,可以把摄像机拍摄的方格簇蚕茧图像坐标转换为世界坐标系下的标定坐标^[23],实现方格簇蚕茧物理空间坐标的视觉测量。

设第 k 个黄斑茧中心点图像坐标为 $C_{ck}(u_k, v_k)$,世界坐标原点所对应的图像坐标为 $O_c(u_0, v_0)$,则第 k 个黄斑茧的标定坐标 $C_{wk}(x_{wk}, y_{wk})$ 为

$$\begin{cases} x_{uk} = \bar{k}_{xd}(u_k - u_0) \\ y_{uk} = \bar{k}_{yd}(v_k - v_0) \end{cases} \quad (6)$$

式中 $\bar{k}_{xd}$ 、 $\bar{k}_{yd}$ ——摄像机标定参数^[22-23]
采用特征点的世界坐标与标定坐标之间的欧氏距离作为标定偏差 D 。则标定偏差 D 为

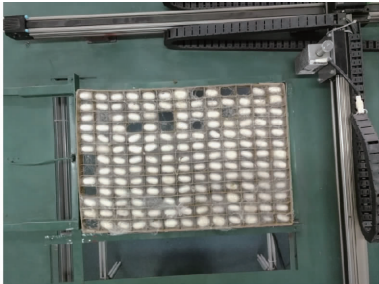
$$D = \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} \quad (7)$$

式中 (X_i, Y_i) ——世界坐标
 (x_i, y_i) ——标定坐标

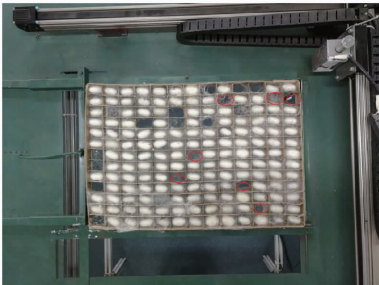
图像坐标系以图像左上角第 1 个像素点作为原点,世界坐标系则以图像左上角第 1 个蚕茧的中心点为原点,方格簇中 M 个黄斑茧中心点作为已知点,使用游标卡尺分别测出 M 个已知蚕茧中心点的世界坐标 $(X_i, Y_i) (i = 1, 2, \cdots, M)$ 。已确定 M 个蚕茧中心点在图像上的坐标 (u_i, v_i) ,通过式(6)分别计算得到 M 个已知点的标定坐标 (x_i, y_i) ,通过式(7)分别计算 M 个蚕茧中心点标定坐标与世界坐标的标定偏差,将 M 个标定偏差的最大值作为该方格簇的定位偏差。

3.3 黄斑茧检测及剔除结果分析

随机选取 10 张方格簇,每张方格簇可营茧 169 个,共计 1 690 个蚕茧左右,使用基于机器视觉的直角坐标式方格簇自动采茧机,进行黄斑茧检测、视觉测量定位和黄斑茧剔除试验,试验效果如图 14 所示。



(a) 剔除黄斑茧前的方格簇



(b) 剔除黄斑茧后的方格簇

图 14 黄斑茧剔除效果图

Fig. 14 Effect diagram of removing

对图 9 中检测到的黄斑茧进行剔除,剔除效果如图 14b 所示,红色标记处的黄斑茧已被成功剔除。对试验数据进行整理,结果如表 1 所示。

表 1 蚕茧检测正确率及定位偏差

Tab. 1 Correct ratio of cocoon detection and deviation

测试方格簇序号	黄斑茧 总数/个	检测正确 斑茧数/个	检测正 确率/%	定位 偏差/mm
1	7	6	86	2.0
2	5	4	80	1.5
3	4	4	100	2.5
4	8	6	75	2.1
5	4	3	75	3.0
6	4	3	75	1.7
7	5	4	80	2.4
8	10	8	80	1.6
9	8	6	75	1.3
10	7	6	86	3.0
平均检测正确率/%			81.2	
最大偏差/mm				3.0

由表 1 可得,随机选取的 10 张方格簇中黄斑茧平均检测正确率 81.2%,能较准确检测出方格簇中的黄斑茧,最大定位偏差 3.0 mm,满足黄斑茧剔除定位精度的要求。

4 结论

(1)使用基于模糊 C 均值聚类及 HSV 模型的黄斑茧检测算法,对方格簇中的黄斑茧进行检测。其中,模糊 C 均值聚类算法消除蚕茧茧衣及方格簇边框对蚕茧分割的影响,通过掩膜对单个蚕茧进行提取,并利用 HSV 颜色直方图中黄斑颜色分量占比是否超过黄斑茧检测阈值来检测蚕茧是否为黄斑茧。试验结果表明,方格簇黄斑茧平均检测正确率为 81.2%,对单张方格簇图像进行分割和黄斑茧检测的平均时长为 1.271 s。

(2)本文算法对方格簇上附有的桑叶梗或碎桑叶具有较好的处理效果,可以避免因桑叶梗或碎桑叶的遮挡而造成黄斑茧的误判,但该算法对黄斑位于边缘处的蚕茧检测效果不好。

(3)使用直角坐标式方格簇自动采茧机对检测到的黄斑茧进行定位剔除试验,黄斑茧定位准确,最大定位偏差为 3.0 mm,样机运行平稳,剔除效果良好。

参 考 文 献

1 GB/T 9111—2015 蚕茧干茧试验方法[S]. 2015.

2 蔡健荣,刘兵,李永平,等. X 射线成像技术判别蚕茧性别[J]. 农业工程学报,2012,28(8):275-279.

CAI Jianrong, LIU Bing, LI Yongping, et al. Sexual discrimination of silkworm cocoon based on X-ray imaging [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(8): 275-279. (in Chinese)

- 3 SUMRIDDETCHKAJORN S, KAMTONGDEE C, CHANHORM S. Fault-tolerant optical-penetration-based silkworm gender identification [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 119: 201–208.
- 4 SUMRIDDETCHKAJORN S, KAMTONGDEE C. Highly-accurate light-penetration based silkworm pupa sex identification system [C]//Quantum Electronics Conference & Lasers and Electro-Optics (CLEO/IQEC/PACIFIC RIM), IEEE, 2011: 480–482.
- 5 KAMTONGDEE C, SUMRIDDETCHKAJORN S, SA-NGIAMSACK C. Feasibility study of silkworm pupa sex identification with pattern matching [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 95: 31–37.
- 6 甘勇,孔庆华,韦荔甫. 基于数字图像处理的蚕茧表面积计算方法[J]. 光学技术,2007, 33(增刊1):27–28.
- 7 周志宇,刘喜昂,杨东鹤. 机器视觉在蚕茧表面积测量中的应用[J]. 纺织学报,2006, 27(12):29–31.
ZHOU Zhiyu, LIU Xi'ang, YANG Donghe. Application of machine vision in measurement of cocoon superficial area [J]. Journal of Textile Research, 2006, 27(12): 29–31. (in Chinese)
- 8 陈浩,杨峥,刘霞,等. 基于 MATLAB 的桑蚕茧选茧辅助检验方法的研究[J]. 丝绸,2016, 53(3):32–36.
CHEN Hao, YANG Zheng, LIU Xia, et al. Study on auxiliary testing method for mulberry silkworm cocoon sorting based on MATLAB [J]. Journal of Silk, 2016, 53(3): 32–36. (in Chinese)
- 9 宋亚杰,谢守勇,冉瑞龙. 机器视觉技术在蚕茧无损检测中的应用研究[J]. 现代农业装备,2006(9):48–51.
SONG Yajie, XIE Shouyong, RAN Ruilong. Applied research on machine vision technology in non-destructive test of cocoon [J]. Modern Agricultural Equipments, 2006(9): 48–51. (in Chinese)
- 10 陶丹,李光林,王峥荣,等. 噪声扰动下低光照蚕蛹图像恢复算法与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(15):147–152.
TAO Dan, LI Guanglin, WANG Zhengrong, et al. Algorithm and experiments of noisy low-illumination silkworm pupa images restoration[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(15): 147–152. (in Chinese)
- 11 陶丹,王峥荣,李光林,等. 基于解模糊算法的蚕蛹图像恢复及雌雄识别[J]. 农业工程学报,2016,32(16):168–174.
TAO Dan, WANG Zhengrong, LI Guanglin, et al. Silkworm pupa image restoration based on aliasing resolving algorithm and identifying male and female[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(16): 168–174. (in Chinese)
- 12 张琦. 蚕茧自动检测计数系统关键技术的研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2014.
- 13 乔乐领. 基于图像处理的蚕茧自动计数系统的研究[D]. 杭州:浙江理工大学,2013.
- 14 熊俊涛,林睿,刘振,等. 夜间自然环境下荔枝采摘机器人识别技术[J/OL]. 农业机械学报,2017, 48(11):28–34. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171104&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.004.
XIONG Juntao, LIN Rui, LIU Zhen, et al. Visual technology of picking robot to detect litchi at nighttime under natural environment[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 28–34. (in Chinese)
- 15 陈晓霞. 基于 FCM 图像融合技术的研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2013.
- 16 彭红星,邹湘军,陈丽娟,等. 基于双次 Otsu 算法的野外荔枝多类色彩目标快速识别[J/OL]. 农业机械学报,2014, 45(4):61–68,75. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140410&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.04.010.
PENG Hongxing, ZOU Xiangjun, CHEN Lijuan, et al. Fast recognition of multiple color targets of litch image in field environment based on double Otsu algorithm[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 61–85,75. (in Chinese)
- 17 吴成玉,邵晓英,赵杰煜. 基于颜色特征的图像检索[J]. 计算机应用,2004(增刊):135–137.
- 18 SURAL S, QIAN G, KPRAMANIK S. Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval[C]//Image Processing 2002 International Conference on. IEEE, 2002, 2: 589–592.
- 19 毕敏娜,张铁民,庄晓霖,等. 基于色差信息多色彩模型的黄羽鸡快速分割方法[J/OL]. 农业机械学报,2016, 47(12):293–298,308. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161236&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.036.
BI Minna, ZHANG Tiemin, ZHUANG Xiaolin, et al. Fast segmentation method of yellow feather chicken based on difference of color information in different color models[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(12): 293–298,308. (in Chinese)
- 20 孙滔. 基于颜色空间的图像特征提取研究[D]. 长春:吉林大学,2016.
- 21 刘春燕. 图像分割评价方法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.
- 22 徐德,谭民,李原. 机器人视觉测量与控制[M]. 3 版. 北京:国防工业出版社,2016:40–41.
- 23 刘莫尘,许荣浩,李法德,等. 基于颜色与面积特征的方格簇蚕茧分割定位算法与试验[J/OL]. 农业机械学报,2018, 49(3):43–50. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180305&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.005.
LIU Mochen, XU Ronghao, LI Fade, et al. Algorithm and experiment of cocoon segmentation and location based on color and area feature[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(3): 43–50. (in Chinese)