

编号：_____

华东理工大学

第十四届“奋进杯”大学生课外学术科技作品竞赛

作品申报书

作品名称：_____基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台_____

学院全称：_____信息科学与工程学院_____

申报者姓名

(集体名称)：_____余隆、张珂璇、俞嘉炜、顾泽辰、肖婷婷_____

类别：

☒ 自然科学类学术论文

☐ 哲学社会科学类社会调查报告和学术论文

☐ 科技发明制作 A 类

☐ 科技发明制作 B 类

说 明

1. 申报者应在认真阅读此说明各项内容后按要求详细填写。
2. 申报者在填写申报作品情况时只需根据个人项目或集体项目填写 A1 或 A2 表，根据作品类别（自然科学类学术论文、哲学社会科学类社会调查报告和学术论文、科技发明制作）分别填写 B1、B2 或 B3 表。所有申报者可根据情况填写 C 表。
3. 表内项目填写时一律用钢笔或打印，字迹要端正、清楚，此申报书可复制。
4. 编号由组委会填写。
5. 学术论文、社会调查报告及所附的有关材料必须是中文（若是外文，请附中文版），作品正文格式可参见《华东理工大学学位论文撰写格式》（可在团委网站下载）。申报书和作品正文按照学位论文的要求一起装订成册。
6. 申报书交至各学院团委，各学院收齐后交至校团委（徐汇校区大学生俱乐部 302 室、奉贤校区大学生活动中心 302 室）。

联系人：王寅申、金志超

电话：33612069、64252702

Email: tw@ecust.edu.cn

A2. 申报者情况（集体项目）

- 说明：1. 必须由申报者本人按要求填写；
2. 申报者代表必须是作者中学历最高者，其余作者按学历高低排列；
3. 本表中的学籍管理部门签章视为申报者情况的确认。

作品全称		基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台					
毕业论文题目		基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台					
申报者代表情况	姓名	余隆	性别	男		出生年月	2000.3.11
	学院	信息科学与工程学院		专业		自动化	
	学历	本科		学制	4 年	入学时间	2018.9
	电话	/			手机号		13173563998
	电子邮件	473767879@qq.com					
其他作者情况	姓名	性别	年龄	学历	学院		手机号
	张珂璇	女	21	本科	信息科学与工程学院		18261522001
	俞嘉炜	男	21	本科	信息科学与工程学院		15921743028
	顾泽辰	男	21	本科	信息科学与工程学院		18717320182
	肖婷婷	女	21	本科	信息科学与工程学院		13651927162

资 格 认 定	院系负责人 或导师意见	<p>本作品是否为课外学术科技或社会实践活动成果</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>负责人签名： 年 月 日</p>
------------------	----------------	---

B1. 申报作品情况（自然科学类学术论文）

说明：

- 1. 必须由申报者本人填写；
- 2. 本部分中的科研管理部门签章视为对申报者所填内容的确认；
- 3. 作品分类请按作品的学术方向或所涉及的主要学科领域填写；
- 4. 硕士研究生、博士研究生作品不能申报此类作品。

作品全称	基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台
作品分类	(AB) A. 机械与控制（包括机械、仪器仪表、自动化控制、工程、交通、建筑等） B. 信息技术（包括计算机、电信、通讯、电子等） C. 数理（包括数学、物理、地球与空间科学等） D. 生命科学（包括生物、农学、药学、医学、健康、卫生、食品等） E. 能源化工（包括能源、材料、石油、化学、化工、生态、环保等）
作品撰写的目的和基本思路	本项目名为“基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒系统”，以杜鹃为研究对象，通过摄像头进行拍摄，基于树莓派对图片特征进行提取，通过一系列的算法对图像进行处理，判断是否需要喷洒硫酸亚铁溶液，由树莓派控制电机，再由电机去控制喷洒装置的运行。
作品的科学性、先进性及独特之处	相较于现有的机器视觉在植物领域的营养状况检测更具实操性，相较于独立的例如无人机，地表以下滴灌等新型喷洒装置又具备其智能性。

作品的实际应用价值和现实意义	<p>本项目成果同样可以用到农业的精准方面，重点在于识别农作物需要喷洒的时期，部位再喷洒合适的量，能缓解以往的不根据作物长势和降雨量调整，盲目喷洒导致喷洒过量或者不均衡化肥或者农药的问题。对于农村经常是老人等弱势群体作为留守人员施肥，喷洒农药，往往很难把握施肥量喷洒量，也提供了解决思路。</p>
学术论文文摘要	<p>随着科技水平的大幅度提高，我国农业生产逐步朝机械化、信息化、智能化方向转变。不仅如此，城市绿化、植物养护等领域，也逐渐向自动化、精准化方向靠近。其中，病虫害检测和农药喷洒不仅是植保领域的主要工作，也是农作物保护的首要工作。目前出现的植保无人机正处在发展的势头上，其实现了将机器识别技术和喷洒技术统一进一个装置之中，增加农药化肥喷洒的智能化、专业化，也相应减少随意过量喷洒可能导致的成本增加和环境污染等问题。但是由于无人机成本高昂，植保绿化等领域缺少人才与技术，导致目前绝大部分地区都依然是人工喷洒农药。为此，本文设计了一个基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台，旨在实现由人工监督控制的半自动化的农药化肥喷洒装置及系统。</p>
作品在何时、何地、何种机构举行的会议上或报刊上发表及所获奖励	<p>暂无</p>

<p>鉴定结果</p>	
<p>请提供对于理解、审查、评价所申报作品具有参考价值的现有技术及技术文献的检索目录</p>	<p>[1]王访,廖桂平,王晓乔,李建辉,李锦卫,施文.基于多重分形理论的油菜缺素叶片特征提取[J].农业工程学报,2013,29(24):181-189.</p> <p>[2]王红君,陈伟,赵辉,岳友军.复杂背景下植物叶片的彩色图像分割[J].中国农机化学报,2013,34(02):207-211.</p> <p>[3]马莉莉,房俊龙,陈月华,龚水朋.基于机器视觉的的大豆缺超氮素叶片颜色分析[A]. 黑龙江省农业工程学会.黑龙江省农业工程学会 2011 学术年会论文集[C].黑龙江省农业工程学会:黑龙江省农业工程学会,2011:5.</p> <p>[4]关海鸥,李佳朋,马晓丹,杜松怀,焦峰.基于冠层颜色特征的大豆缺素症状识别研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(12):136-142.</p> <p>[5]王爱新,李春友,张喆.基于计算机视觉的农业图像害虫定位检测算法[J].江苏农业科学,2016,44(07):361-364.</p> <p>[6]茹煜,贾志成,范庆妮,车军.无人直升机远程控制喷雾系统[J].农业机械学报,2012,43(06):47-52.</p> <p>[7]刘大印,王秀,毛益进,马伟,邓巍.基于单片机 PWM 变量农药喷洒控制系统研究[J].农机化研究,2011,33(05):99-103.</p> <p>[8]蔡祥,Walgenbach Martin,Doerpmund Malte,Schulze Lammers Peter,孙宇瑞.基于电磁阀的喷嘴直接注入式农药喷洒系统[J].农业机械学报,2013,44(06):69-72+200.</p> <p>[9]赵洁. 基于图像处理的水培黄瓜叶片病斑识别系统设计[D].陕西科技大学,2019.</p> <p>[10]朱建均,冯飙.起重机系统开/闭环控制策略的发展现状及趋势[J].起重运输机械,2020,(23):37-42.</p> <p>[11]任环宇,武坤玉,李道全.基于树莓派的人脸识别智能车锁[J].电脑知识与技术,2018,14(29):214-217.</p>

	<p>[12] 阚君武,曹仁秋,杨志刚, 等.压电薄膜泵结构设计与性能分析[J].压电与声光,2002,24(5):368-371. DOI:10.3969/j.issn.1004-2474.2002.05.010.</p> <p>[13] 北京工业大学.一种双通道冗余无刷直流电机驱动器:CN201120351722.3[P].2012-06-12.</p> <p>[14] 夏高裕.基于 OpenCV 的智能相机设计与实践[D].杭州电子科技大学,2016. DOI:10.7666/d.D823961.</p>
申报材料清单（申报论文一篇，相关资料名称及数量）	申报论文一篇

C. 当前国内外同类课题研究水平概述

说明：1. 申报者可根据作品类别和情况填写；
2. 填写此栏有助于评审。

<p>1.2.1 机器视觉在病虫害识别中的研究现状</p> <p>早在 1985 年就有研究人员将机器视觉技术与农作物识别相结合。如今，国内外越来越多人跟进开展机器视觉与植物病虫害识别的研究工作。</p> <p>王访^[1]等基于二维 MF-DFA 方法，提出了一种计算每个像素点的多重分形特征参数的方法。该方法先提取每幅图像的特征参数，再利用模糊 C 均值聚类分析对图像进行分割，可以达到为油菜缺素识别及定位的目的</p> <p>岳友军^[2]等提出组合颜色特征和纹理特征的支持向量机（support vector machine, SVM）油菜缺素诊断方法。该方法具有比传统神经网络更好的识别性能，但没有充分考虑直接组合 RGB 和 HSV 颜色特征会存在较大的冗余，不同缺素症状会导致油菜叶片图像主色调发生变化，影响分类识别的效率。</p> <p>马莉莉^[3]提出通过扫描仪对大豆叶片进行扫描获取对叶片的颜色、形状和纹理三方面特征有效描述的各个时期的大豆叶片样本，建立了基于 BP 神经网络的大豆叶片缺超素识别系统，系统的平均识别精度达到 93.6%，植物营养元素的缺失可能会伴有病害混合发生的情况，该识别方法还有待于进一步研究。</p> <p>关海鸥^[4]等提出了基于冠层图像颜色特征的大豆缺素症状识别新方法。该方法应用遗传计算改进的梯度下降学习算法，能够快速有效地挖掘出大豆缺素症状与颜色特征向量，大豆缺素症状识别准确率达 100%，但正则模糊神经网络的大豆缺素症状识别模型的识别率为 68.33%，离实际生产运用还有差距。</p> <p>王爱新^[5]等提出在灰度、HSV 与 YUV 三个不同的图像空间，以线性形式构造害虫区域粗定位模型；运用直方图均衡化与投影直方图分析图像特征；再基于均值漂移算法定位害虫区域，实现细定位；提出基于轮廓梯度差的 Grabcut 算法，精确检测出害虫。该方法图像处理环节较多，受光线条件制约，识别效率有待验证</p> <p>以上可知，机器视觉在植物病虫害识别领域的应用越来越广泛，但是，不同的识别方法各有各的优缺点。如何提高图像识别的准确率、算法的速度、以及算法技术实际应用的推广，还需要进行进一步地优化、改进，并由相关的硬件技术作为支撑。</p>
--

1.2.2 植保机器在农药喷洒领域的发展近况

茹煜^[6]等基于德国 VARIO 公司多用途无人机研制了机载喷雾系统，并设计了无人机喷雾专用的远程控制系统，通过远程遥控的方式控制喷雾系统的施药工作进程，但其研制方向局限在定量喷洒系统，无法调整农药喷洒速率。

王秀^[7]等设计了一套控制系统，将 PWM 和速度以公示的形式进行整合，通过霍尔传感器来采集拖拉机速度来自动调节 PWM 的值,实现单位面积内均匀喷洒的效果。

蔡祥^[8]等设计了一种基于电磁原理的快速响应阀，通过脉宽调制方式与闭环控制相关策略，在控制喷出雾滴特性基本不变的情况下改变农药注入量和药液喷洒浓度；其选择多个快速响应阀并行安装的设计方案，可以根据喷雾环境注入不同种类农药，实现多目标针对性喷洒。

目前无人机喷洒正处在发展的势头上，但是由于无人机成本高昂，植保绿化等领域缺少人才与技术，导致目前绝大部分地区都依然是人工喷洒农药。无人机适合于空旷的地区，而无法适用于公路两旁等人流量较大的公共场所。同时无人机喷洒需要操作人员具有专业的操作技术基础，无法进行普及。应用程度也不成熟，缺乏一定的规范与标准。

D. 推荐者情况及对作品的说明

- 说明： 1. 由推荐者本人填写或打印后由推荐者本人签名；
2. 推荐者必须是与申报作品相同或相关领域的专家学者或专业技术人员（教研组集体推荐亦可）；
3. 推荐者填写此部分，即视为同意推荐；
4. 推荐者所在单位签章仅被视为对推荐者身份的确认。

推荐者情况	姓 名	谷小婧	性别	女	年龄	37	职称	副教授
	工作单位	华东理工大学						
	通讯地址	上海市徐汇区梅陇路 130 号实验十五楼 210B				邮政编码	200237	
	单位电话	021-64251607				住宅电话	13482002443	
推荐者所在单位签章		(签章) 年 月 日						
请对申报者申报情况的真实性作出阐述		申报情况属实，所有申报成果完全由本团队成员独立完成。						
请对作品的意义、技术水平、适用范围及推广前景作出您的评价		意义：对中国东南沿海土壤偏碱性地区杜鹃黄化病的识别提供一定的帮助；对自动化农药化肥喷洒提供了参考；响应了国家节约资源、保护环境的号召；促进城市绿化和植物保护趋向机械化、信息化、智能化。 技术水平：该图像处理算法速度快，分类器错误率相对较低，同时硬件系统成本较低，可以应用于实际。 适用范围及推广前景：适用于植物黄化病的识别，可以替代成本高昂的植保无人机，对绿化植保领域有借鉴意义。						
其它说明								

摘要

随着科技水平的大幅度提高,我国农业生产逐步朝机械化、信息化、智能化方向转变。不仅如此,城市绿化、植物养护等领域,也逐渐向自动化、精准化方向靠近。其中,病虫害检测和农药喷洒不仅是植保领域的主要工作,也是农作物保护的首要工作。目前植保无人机成为此领域热点,由于无人机成本高昂,植保绿化等领域缺少人才与技术,导致目前绝大部分地区都依然是人工喷洒农药。为此,本文设计了一个基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台,旨在实现由人工监督控制的半自动化的农药化肥喷洒装置及系统。软件方面,依托 Python 语言,利用自带 Opencv 库和 Adaboost 算法,对叶片特征进行处理分类,利用 Qt designer 软件,完成了界面的设计与开发;硬件方面,以树莓派 3b+作为上位机,电机驱动板 WSDC2412D 作为下位机,薄膜泵作为最终喷洒装置。软硬件结合,最终实现树莓派实时处理叶片信息,对其病害状况做出判断,控制薄膜泵改变喷洒次数,以实现对于病虫害的精准施肥施药。本文主要围绕杜鹃黄化病,搭建该智慧农药化肥喷洒平台,但经过评估,该算法可根据不同植物的病害特征状况,应用于其他植株的农药化肥喷洒上去,具有很强的普适性。

关键词: 杜鹃黄化病、背景分割、Adaboost、农药喷洒、植保

Abstract

With the substantial improvement in the level of technology, China's agricultural production is gradually changing in the direction of mechanisation, information technology and intelligence. Not only that, but the fields of urban greening and plant maintenance are also gradually moving closer to automation and precision. Among them, pest and disease detection and pesticide spraying are not only the main work in the field of plant protection, but also the primary work of crop protection. Currently, plant protection drones have become a hotspot in this field. Due to the high cost of drones and the lack of talent and technology in fields such as plant protection and greening, the vast majority of areas are still spraying pesticides manually. In this paper, a machine vision-based intelligent pesticide and fertiliser spraying platform is designed to realise a semi-automatic pesticide and fertiliser spraying device and system controlled by human supervision. In terms of software, relying on the Python language, the self-contained Opencv library and Adaboost algorithm are used to process and classify the leaf features, and the Qt designer software is used to complete

the design and development of the interface; in terms of hardware, the Raspberry Pi 3b+ is used as the upper computer, the motor driver board WSDC2412D as the lower computer, and the film pump as the final spraying device. The combination of hardware and software ultimately enables Raspberry Pi to process leaf information in real time, make judgement on its disease condition and control the film pump to change the number of sprays in order to achieve accurate fertilisation and application for pests and diseases. This paper focuses on azalea yellowing disease and builds this intelligent pesticide and fertiliser spraying platform, but after evaluation, the algorithm can be applied to other plants' pesticide and fertiliser spraying according to the disease characteristics of different plants, with strong universality.

Keywords: Rhododendron yellowing disease, background segmentation, Adaboost, pesticide spraying, plant protection

目录

摘要.....	1
ABSTRACT.....	1
目录.....	3
1 绪论.....	5
1.1 研究目的和意义.....	5
1.2 国内外发展现状.....	5
1.2.1 机器视觉在病虫害识别中的研究现状.....	5
1.2.2 植保机器在农药喷洒领域的发展近况.....	6
2 系统方案设计.....	8
2.1 系统需求分析.....	8
2.2 系统总体方案设计.....	8
2.2.1 控制方式的选择.....	8
2.2.2 组成元件详述.....	9
3 基于机器视觉的杜鹃叶片图像处理与分类.....	12
3.1 图像预处理.....	12
3.1.1 图像去噪.....	12
3.1.2 直方图均衡化.....	12
3.1.3 Otsu 二值化.....	13
3.2 图像分割.....	13
3.2.1 图像二值化.....	13
3.2.2 形态学操作.....	14
3.2.3 基于 H 分量的双阈值分割.....	14
3.2.4 通道分离与合并.....	15
3.3 特征提取.....	16
3.3.1 颜色特征.....	16
3.3.2 形状特征.....	16
3.3.3 纹理特征.....	16
3.3.4 基于滑窗的图像特征提取.....	17
3.4 基于 Adaboost 的农药喷洒预判系统.....	17
3.4.1 Adaboost 算法原理及流程.....	17
3.4.2 分类器性能度量指标.....	18
3.4.3 分类器参数调整.....	19
4 用户管理平台设计.....	21
5 总结与展望.....	24

5.1 全文工作总结.....	24
5.2 未来工作展望.....	24
参考文献.....	26

1 绪论

1.1 研究目的和意义

黄化病是非浸染性病害,是生理性病害,又称黄叶病、褪绿病,是杜鹃花的常见病害。主要发生在土壤偏碱的地区和用碱性水浇花的地区,因为土壤缺铁或铁素不能被吸收利用,所以影响叶绿素的合成,使叶片变色。

叶片出现症状后,光合作用即不能正常进行,病情轻时,只出现植株迟绿现象,使叶片上的绿色呈网纹状,影响植株的生长发育和观赏价值。严重时,叶组织可全部变色,全叶变成黄色、黄白色,叶片边缘枯焦。发病时,以植株顶梢的叶片上表现最为明显,可能导致植株叶片全部变黄脱落,影响生长,甚至整株死亡,嫩梢新叶发病极为明显。一般皆是由于内部缺铁造成的。

针对上述情况,本文设计了一款基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台,来判别是否有黄化病发生。本文以杜鹃黄化病为研究对象,通过摄像头进行拍摄,基于树莓派图片特征进行提取,通过一系列的算法对图像进行处理,判断是否需要喷洒硫酸亚铁溶液,由树莓派控制电机,再由电机去控制喷洒装置的运行。该方法解决了城市绿化以及植物保护无法准确识别病害的问题,并为大规模绿篱的病害识别以及农药的精准喷洒提供了技术上的支持。可以避免盲目喷洒导致喷洒过量或者不均衡化肥或者农药的问题。针对农村经常是老人等弱势群体作为留守人员施肥、喷洒农药,往往很难把握施肥量喷洒量等问题,也提供了解决思路。尽管本文的研究对象只有杜鹃黄化病,但是同样可以运用到其它植物以及农作物的黄化病上去。在植物病害自动诊断以及图像识别处理的应用方面兼备理论意义和实际意义。

本文首次提出了针对杜鹃黄化病的智能农药喷洒平台,在软件层面,利用 **Adaboost** 算法,对捕获的叶片图像进行处理识别。在硬件层面,利用树莓派控制电机,改变喷洒次数以达到精准喷洒的目的。总体上,没有采用时下最热门植保无人机,保证人工对于农药喷洒过程可实时操控调整。半人工半自动化,为病害识别提供依据,对盲目喷洒,不均衡化肥农药等问题进行约束。同时,积极响应国家号召,做到将智能化应用于农业,最大限度地提高生产力。

1.2 国内外发展现状

1.2.1 机器视觉在病虫害识别中的研究现状

早在 1985 年就有研究人员将机器视觉技术与农作物识别相结合。如今,国内外越来越多人跟进开展机器视觉与植物病虫害识别的研究工作。

王访^[1]等基于二维 **MF-DFA** 方法,提出了一种计算每个像素点的多重分形

特征参数的方法。该方法先提取每幅图像的特征参数，再利用模糊 C 均值聚类分析对图像进行分割，可以达到为油菜缺素识别及定位的目的

岳友军^[2]等提出组合颜色特征和纹理特征的支持向量机（support vector machine, SVM）油菜缺素诊断方法。该方法具有比传统神经网络更好的识别性能，但没有充分考虑直接组合 RGB 和 HSV 颜色特征会存在较大的冗余，不同缺素症状会导致油菜叶片图像主色调发生变化，影响分类识别的效率。

马莉莉^[3]提出通过扫描仪对大豆叶片进行扫描获取对叶片的颜色、形状和纹理三方面特征有效描述的各个时期的大豆叶片样本，建立了基于 BP 神经网络的大豆叶片缺超素识别系统，系统的平均识别精度达到 93.6%，植物营养元素的缺失可能会伴有病害混合发生的情况，该识别方法还有待于进一步研究。

关海鸥^[4]等提出了基于冠层图像颜色特征的大豆缺素症状识别新方法。该方法应用遗传计算改进的梯度下降学习算法，能够快速有效地挖掘出大豆缺素症状与颜色特征向量，大豆缺素症状识别准确率达 100%，但正则模糊神经网络的大豆缺素症状识别模型的识别率为 68.33%，离实际生产运用还有差距。

王爱新^[5]等提出在灰度、HSV 与 YUV 三个不同的图像空间，以线性形式构造害虫区域粗定位模型；运用直方图均衡化与投影直方图分析图像特征；再基于均值漂移算法定位害虫区域，实现细定位；提出基于轮廓梯度差的 Grabcut 算法，精确检测出害虫。该方法图像处理环节较多，受光线条件制约，识别效率有待验证

以上可知，机器视觉在植物病虫害识别领域的应用越来越广泛，但是，不同的识别方法各有各的优缺点。如何提高图像识别的准确率、算法的速度、以及算法技术实际应用的推广，还需要进行进一步地优化、改进，并由相关的硬件技术作为支撑。

1.2.2 植保机器在农药喷洒领域的发展近况

茹煜^[6]等基于德国 VARIO 公司多用途无人机研制了机载喷雾系统，并设计了无人机喷雾专用的远程控制系统，通过远程遥控的方式控制喷雾系统的施药工作进程，但其研制方向局限在定量喷洒系统，无法调整农药喷洒速率。

王秀^[7]等设计了一套控制系统，将 PWM 和速度以公示的形式进行整合，通过霍尔传感器来采集拖拉机速度来自动调节 PWM 的值,实现单位面积内均匀喷洒的效果。

蔡祥^[8]等设计了一种基于电磁原理的快速响应阀，通过脉宽调制方式与闭环控制相关策略，在控制喷出雾滴特性基本不变的情况下改变农药注入量和药液喷洒浓度；其选择多个快速响应阀并行安装的设计方案，可以根据喷雾环境注入不同种类农药，实现多目标针对性喷洒。

目前无人机喷洒正处在发展的势头上，但是由于无人机成本高昂，植保绿化等领域缺少人才与技术，导致目前绝大部分地区都依然是人工喷洒农药。无人机

适合于空旷的地区，而无法适用于公路两旁等人流量较大的公共场所。同时无人机喷洒需要操作人员具有专业的操作技术基础，无法进行普及。应用程度也不成熟，缺乏一定的规范与标准。

2 系统方案设计

2.1 系统需求分析

本文设计的基于机器视觉的智慧农药化肥喷洒平台，以杜鹃黄化病为研究对象，通过摄像头进行拍摄，基于树莓派图片特征进行提取，通过一系列的算法对图像进行处理，判断是否要喷洒硫酸亚铁溶液，由树莓派控制电机，再由电机去控制喷洒装置的运行。

该平台应当具备以下几种功能：

（1）杜鹃黄化叶片的图像识别处理

在喷洒装置上安装摄像头对叶片图片进行采集，利用图像处理技术将叶片与复杂背景进行分割。除了杜鹃叶片以外，地上的枯枝败叶以及杜鹃的枝干部分都应当剔除。提取图片的颜色特征、形状特征、纹理特征，这要求杜鹃叶片图像分割效果要好，同时进行预处理操作时，要进行适当滤波，以保留纹理信息和轮廓信息。应当选取最优的特征参数组合，提高分类器的正确率，做到自动判断是否要进行农药化肥喷洒。

（2）基于图像处理结果的农药喷洒控制

我们需要通过分类器输出的结果控制树莓派的端口，应当选择控制 PWM 的输出端口，再由该 PWM 信号控制电机驱动模块和薄膜泵，这样才能实现完整的农药喷洒过程。由于该系统是由人工控制喷洒器的移动的，只要喷洒完毕了，喷洒器就会受人的控制而离开原来的位置，因此无需考虑改变喷杆角度。同时该系统采取开环控制。

（3）用户管理平台

通过用户管理平台，管理者可以在人机交互平台查看拍摄的图像以及该图像的分类结果，可以直观去感受整个图像处理过程，并可以及时为新的数据打上标签。同时，开发数据库^[9]，以实现存储、管理历史数据的目的。为后续图片数据集的及时更新带来方便。

2.2 系统总体方案设计

2.2.1 控制方式的选择

硬件部分有构成从控制方式上讲有两种选择方式：开环控制系统与闭环控制系统。闭环(闭环结构)也叫反馈控制系统，是将系统输出量的测量值与所期望的给定值相比较，由此产生一个偏差信号，利用此偏差信号进行调节控制，使输出值尽量接近于期望值。开环系统相对于闭环系统而言，意思就是不将控制的结果反馈回来影响当前控制的系统^[10]。

若选择闭环控制的方式，则需要流量计、模数转换器，电路上需要进行的设

计较为复杂，现阶段我们选择的控制方式是开环控制。

2.2.2 组成元件详述

(1) 组成元件及其结构图

12V 薄膜泵、12V 薄膜泵直流电机驱动模块、电池、管子、树莓派、树莓派的输入模块以及显示模块。

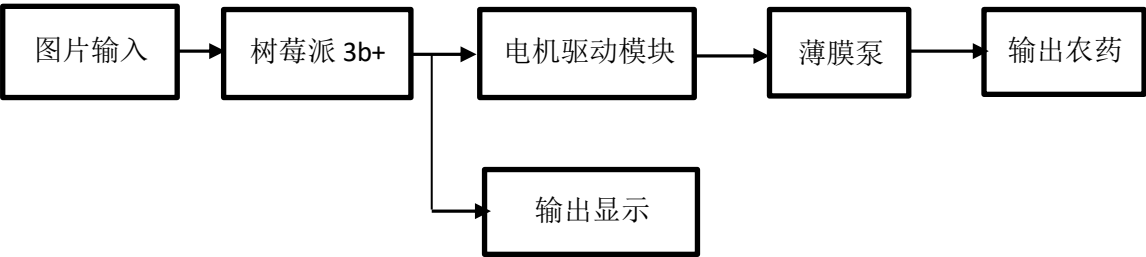


图 2-1 组成原件及结构图

(2) 串口通信、上位机、下位机

串口通信即多个处理器之间通过串行口进行数据的按位传输。通过结合专家意见，虽然树莓派的计算能力在单片机中较为突出，但如果直接将电机连接至其接口，不仅驱动力不足，而且会烧坏主板^[11]。所以团队通过查阅资料，将树莓派 3b+作为上位机，电机驱动板 WSDC2412D 作为下位机配合使用，上位机负责运算产生数据并通过串口通信发送给下位机，下位机接收数据后用于电机的控制，上位机下位机的配合使用可提高系统稳定性。

(3) 薄膜泵

隔膜泵工作时，曲柄连杆机构在电动机的驱动下，带动柱塞作往复运动，柱塞的运动通过液缸内的工作液体(一般为油)而传到隔膜，使隔膜来回鼓动^[12]。

电动隔膜泵属于容积泵，原理如下图所示：

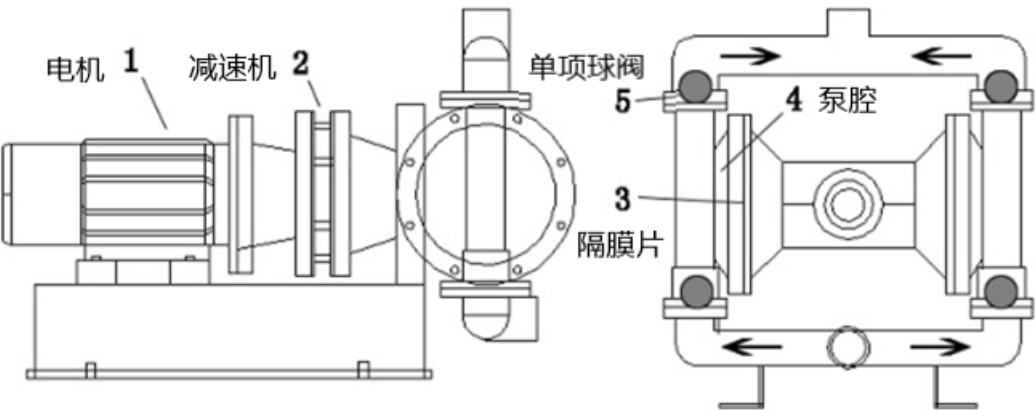


图 2-2 薄膜泵示意图

其出水量可通过 PWM 频率实现控制。

(4) 电机驱动模块

薄膜泵的直流电机为 12V 的额定电压，树莓派一般输出电压峰值最大为 5V，无法带动所需直流电机。故需要使用电机驱动模块。

采用双通道直流有刷电机驱动器 WSDC2412D，其专为驱动低压直流电机设计，每通道具有持续输出 12A 电流的能力，可驱动最高 290w 电功率的直流电机。驱动器内期间时序高度优化，允许 PWM 输入最小脉宽低至 2us，充分保证 PWM 的动态调节范围，提高对电机的控制品质。板载保护电路，降低驱动器在异常工作条件下受损的可能，保护状态由指示灯实时输出。全电气隔离输入增强了主控 MCU 电路安全性，更可显著提高系统电磁兼容性能。原理框图及引脚如下：

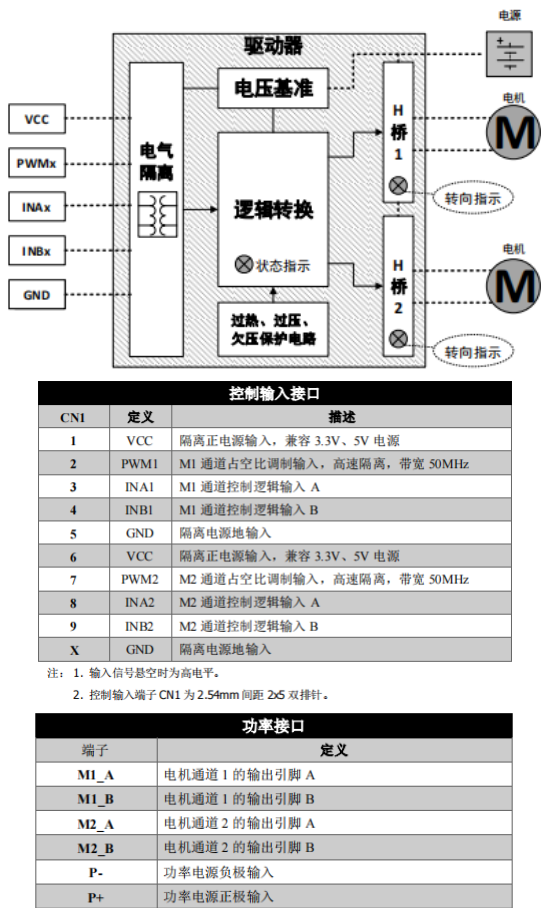


图 2-3 双通道直流有刷电机驱动器原理图

技术提示：驱动器 PWM 占空比减小时，电机能量将会流向电源，如果是开关电源会产生过压保护，所以，如果运行时发现驱动模块的 STATE 指示灯亮度瞬间明暗变化，可能已经发生过欠压保护情况，反复发生保护，会损害驱动模块寿命，此时应增加再生能量抑制措施，或平滑 PWM 占空比的突变^[13]。

（5）树莓派

（i）树莓派结构与功能

基于 BCM2835CPU 的开源单板计算机^[14]。系统基于 Linux，卡片主板周围有 1/2/4 个 USB 接口和一个 10/100 以太网接口^[11]。输入模块采用加长线版 500 万像素广角摄像头，输出模块选择为其量身定做的 3.5 寸树莓派电阻屏。

（ii）为什么选择

选择树莓派作为农药喷洒装置的控制器，原因有以下几点：

- 1) 体积仅有信用卡大小，方便安装；
- 2) 软硬件资源丰富，开发社区繁荣，便于开发；
- 3) 可连接电视、显示器、键盘鼠标等设备，操作过程友好；
- 4) 能代替日常桌面计算机的多种用途，是农药喷洒装置在未来更加智能化的基础。

（iii）系统安装简述

1) 下载 DiskGenius，配置树莓派内存卡；2) 从官方网站上下载 Ubuntu mate 或 Lubuntu；3) 使用 Win32DiskImager 进行系统镜像的下载与写入；4) Advanced IP Scanner 确认 IP 地址，使用 Putty 登录到树莓派，实现访问 5) 切换至 TUNA 源进行数据源的更新与配置。

3 基于机器视觉的杜鹃叶片图像处理与分类

3.1 图像预处理

3.1.1 图像去噪

目前，在图像去噪方面存在着中值滤波、高斯滤波、均值滤波、w 维纳滤波等滤波方式。为兼顾速度和效益两方面，我们首先筛选了中值滤波，均值滤波两种滤波方法，经过实验，其特点如下表所示。

表 3-1 两种滤波方式比较

	中值滤波	均值滤波
方法	非线性方法，将矩阵中心点 设为像素中值	线性，将矩阵中心点设为 像素平均值
特点	在平滑脉冲噪声方面非常有效,同时可以保护图像尖锐的边缘，选择适当的点来替代污染点的值	不能很好保护图像细节，在图像去噪的同时也破坏了图像的细节部分，从而使图像变得模糊，不能很好地去除噪声点

根据去噪效果，最终选定非线性的中值滤波。

3.1.2 直方图均衡化

直方图均衡化（Histogram equalization）是一种常用的灰度变换方法，表征的是图像的灰度分布，即

$$h(r_k) = n_k \tag{3-1}$$

其中 r_k 是第 k 级灰度值， n_k 是图像中灰度值为 r_k 的像素个数

由实际比对可知，暗图像直方图集中在灰度较低的一段，亮图像则多偏向于灰度较高的一端。若一张图像的直方图几乎覆盖整个灰度取值范围且除个别灰度个数突出外整个灰度值分布近似均匀分布，则此图像具有较大的灰度动态范围和较高对比度，图像细节也更为丰富。

据此原理对图像进行灰度值均衡操作，有助于图像直方图的延展，使得处理过后的图像灰度级范围更宽，有效增强了图像的对比度。

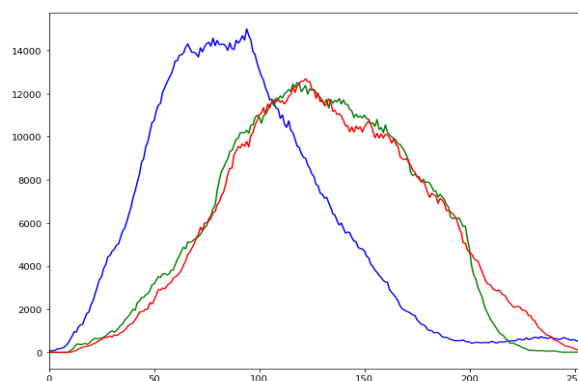


图 3-1 三通道直方图

3.1.3 Ostu 二值化

Ostu 又称大津法，是按图像的灰度特征，将图像分为背景和目标两个部分的一种图像处理方法。当背景和目标之间的类间方差越大时，说明构成图像的两部分的差别越大，部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小，因此，使类间方差最大的分割意味着错分概率最小。



图 3-2 Ostu 法处理后图像

在实验中，我们应用 Ostu 算法对树叶图片进行操作，结果表明，经处理的图像会呈现出中心全黑的状态，很大程度上影响了我们对于叶片中心重要特征的捕获，因此最终未使用 Ostu 二值化。

3.2 图像分割

3.2.1 图像二值化

图像二值化，将图像上的像素点的灰度值设置为 0 或 255，使得整张图像呈现黑白两色的过程。通过二值化，图像中数据量为减少，从而能凸显出目标的轮廓。在本实验中，首先对图像进行二值化，为后面的二值形态学操作，提供了模板。

3.2.2 形态学操作

数学形态学有两种基本运算，即腐蚀和膨胀，而腐蚀和膨胀通过结合又形成了开运算和闭运算。开运算，先腐蚀再膨胀，闭运算，先膨胀再腐蚀。

我们对图像分别进行两种操作如下图所示：

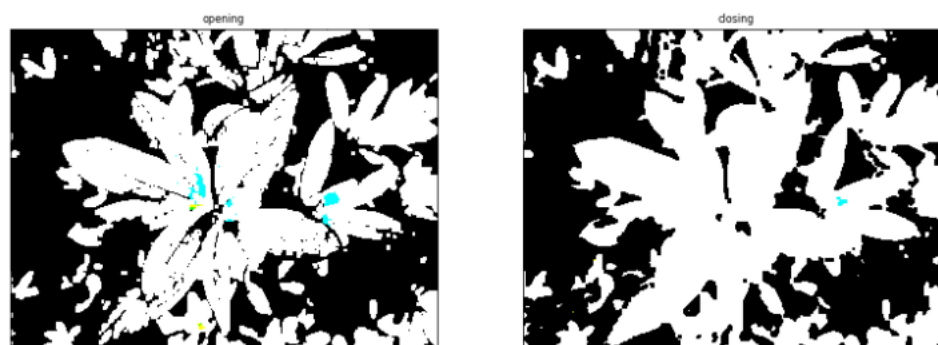


图 3-3 开闭运算后图像

前者为开运算结果，后者为闭运算结果，经比较可明显辨别出闭运算处理后的图像没有过多影响分割的斑点，因此对于图像采取了核取（10，10）的闭运算。经过此操作后，我们获得了初步图像分割的模板，可以较为清晰的将叶片和背景进行分离。

3.2.3 基于 H 分量的双阈值分割

RGB 颜色空间，通过红色（R）,绿色(G)和蓝色(B)这三个通道来表示一幅图像，是日常生活中最常见的颜色空间。其利用三个颜色分量的线性组合来表示颜色，任何颜色都与这三个分量有关，且三个分量高度相关的，所以连续变换颜色时，想对图像的颜色进行调整需要更改这三个分量，此表达方式不够直观。

HSV 颜色空间由色调、色相（Hue），饱和度、色彩纯净度（Saturation），明度（Value）三部分构成。这三个变量相对独立，表示图像更加直观，更适合应用于本实验。

由于实验数据为叶片数据，叶片大多呈现绿色、黄色、橙色三种形式，因此我们采取对于 Hue 值的提取，并且将取色范围限定在[1,99]中，将处理后的模板与直方图均衡化后的图像进行与运算，得到结果如下。



图 3-4 基于 H 分量的双阈值分割后图像

可见其分割效果不错，符合预期目标。

3.2.4 通道分离和合并

利用 opencv 自带的函数，我们对图像的 RGB 三通道进行分离操作，同时将此三通道的图像分别与闭运算之后的图像进行了与运算，得到

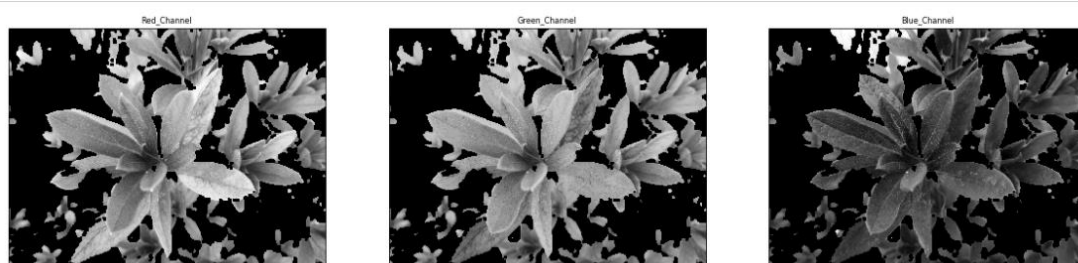


图 3-5 三通道分离后图像 (R,G,B)

随后，为提取出前景中的叶片区域，重新将多个通道合并，将分割结果重新映射回彩色图像空间



图 3-6 三通道合并后图像

最后，我们对得到的图像进行进一步的修正。对图 3-6 再进行一次基于 H 分量的双阈值分割，并重复通道分离、合并的过程，最终得到的分割图像如图 3-7 所示。



图 3-7 最终的分割图像结果

3.3 特征提取

3.3.1 颜色特征

颜色矩的数学基础在于图像中任何的颜色分布均可以用它的矩来表示。由于颜色分布信息主要集中在低阶矩中，因此仅采用颜色的一阶矩（mean）、二阶矩（variance）和三阶矩（skewness）就足以表达图像的颜色分布。此方法无需对特征进行向量化，且相对其他特征简洁明晰，因此采用颜色矩来表达叶片图像的颜色特征^[15]。

3.3.2 形状特征

将图像函数表示为 $f(x, y)$ ，其 $p+q$ 阶中心矩定义为：

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad p, q = 0, 1, 2 \dots \quad (3-2)$$

其中 \bar{x} 和 \bar{y} 代表图像的重心。

Hu 不变矩方法，利用其二阶三阶归一化中心矩构造出 7 个不变矩，这些矩阵具有旋转，缩放和平移不变性。本实验中，利用 opencv 自带的函数对形状特征进行提取^[16]。

3.3.3 纹理特征

灰度共生矩阵具有对比度、能量、熵、逆方差、相关性等几个特征量，分别用来反应图像的清晰度，纹理的沟纹深浅，灰度分布均匀程度，纹理粗细度，信息量的随机性以及图像的灰度级在行或列方向上的相似程度。其被定义为从一像素点出发，离开某个固定位置的点上灰度值为 i 的概率，所有估计的值可以表示成一个矩阵的形式，以此被称为灰度共生矩阵。对于纹理变化缓慢的图像，其灰度共生矩阵对角线上的数值较大；而对于纹理变化较快的图像，其灰度共生矩阵对角线上的数值较小，对角线两侧的值较大。

本实验即利用灰度共生矩阵，计算叶片图像的纹理特征^[17]。

3.3.4 基于滑窗的图像特征提取

由于叶片呈现多种颜色混合，导致叶片图像的颜色矩特征空间分布各异。因此采用滑窗分块的颜色矩特征提取。我们采用无重叠像素的滑窗，令 $G = l_{sli} \times w_{sli}$ 为滑窗大小（ G 表示单个滑窗包含的像素点数， l_{sli} 和 w_{sli} 分别表示长和宽），令 d^2 表示每个颜色空间下进行滑窗的次数，计算如下所示：

$$d^2 = \frac{L}{l_{sli}} \quad (3-3)$$

滑窗大小和图像大小成比例。在对图像进行滑窗操作后，由于结果是高维特征，增加了识别的复杂性，因此在此之后使用 PCA 降维，进行潜在特征选择。

3.4 基于 Adaboost 的农药喷洒预判系统

前面我们已经对图像进行了预处理和图像分割，并在此基础上对每张图片进行特征提取，得到 9 个颜色特征，7 个形状特征和 4 个纹理特征。我们对每张图片进行了标记，如需要喷洒农药则标注为 1，否则为-1。

Adaboost 是一种迭代算法，其核心思想是针对同一个训练集训练不同的分类器（弱分类器），然后把这些弱分类器集合起来，构成一个更强的最终分类器（强分类器），以帮助我们判断是否需要为叶片喷洒农药^[18]。

3.4.1 Adaboost 算法原理及流程

AdaBoost 算法是基于 Boosting 思想的机器学习算法，在每次迭代过程中，训练一个弱分类器，根据该弱分类器分类的结果重新调整每个样本的权重，其中分对的样本的权重会降低，而分错的样本的权重将会提高，从而尽可能地使新的弱分类器分对之前分错的数据，将所有弱分类器整合为一个强分类器，提高了原单一分类器的分类效果。

其基本流程如下：

计算样本权重

假设我们的训练样本是

$$T = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\} \quad (3-4)$$

训练集在第k个弱分类器的输出权重为

$$D(k) = \{w_k(1), w_k(2), \dots, w_k(n)\} \quad (3-5)$$

对于第一个弱分类器，我们设定每一个样本的权重都是相等的，即

$$w_1(i) = \frac{1}{n}; i = 1, 2, \dots, n \quad (3-6)$$

计算弱分类器分类错误率

第k个弱分类器 $G_k(x)$ 在训练集上的加权分类错误率为

$$e_k = P\{G_k(x_i) \neq y_i\} = \sum_{i=1}^n w_{ki} I\{G_k(x_i) \neq y_i\} \quad (3-7)$$

计算弱分类器权重

第k个弱分类器 $G_k(x)$ 的权重为

$$\alpha_k = \frac{1}{2} \log \frac{1-e_k}{e_k} \quad (3-8)$$

更新样本权重

每一次学习完成后，需要重新调整样本的权重，使被错分的样本权重增大，以便之后的弱分类器对其重点学习。训练集在第 k+1 个弱分类器的输出权重为

$$w_{k+1}(i) = \frac{w_k(i)}{Z_k} \exp\{-\alpha_k y_i G_k(x_i)\} \quad (3-9)$$

其中 Z_k 是规范化因子

$$Z_k = \sum_{i=1}^n w_k(i) \exp\{-\alpha_k y_i G_k(x_i)\} \quad (3-10)$$

整合强分类器

经过 t 轮的重复学习，我们就可以得到 t 个弱分类器，使用加权求和法，得到最终的强分类器为

$$G(x) = \text{sign}(\sum_{k=1}^t \alpha_k G_k(x)) \quad (3-11)$$

Adaboost 分类算法流程图如下图所示：

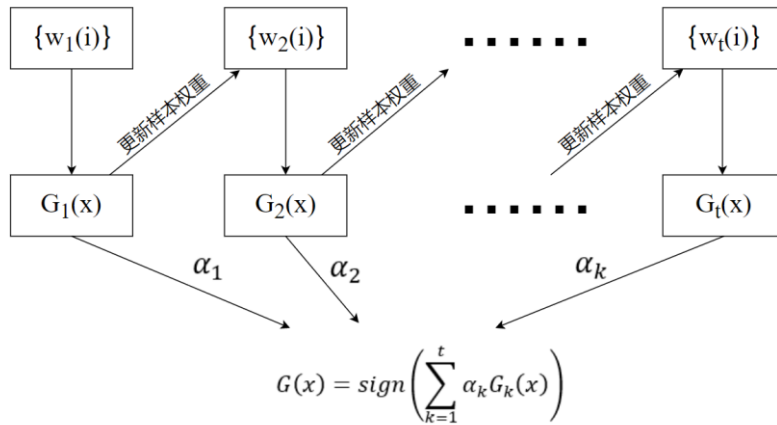


图 3-8: Adaboost 算法流程图

3.4.2 分类器性能度量指标

是否需要叶片喷洒农药是一个简单的二分类问题，我们可以建立混淆矩阵，帮我们更好地了解分类中的错误。混淆矩阵如下图所示：

表 3-2 混淆矩阵

		预测结果	
		+1	-1
真实结果	+1	真正例（TP）	伪反例（FN）
	-1	伪正例（FP）	真反例（TN）

从混淆矩阵中，可以衍生出各种评价指标，这里我们使用指标Accuracy来度量分类器的性能。模型的精度，即模型预测正确的个数/样本的总个数，公式如下：

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FN} + \text{FP} + \text{TN}} \quad (3-12)$$

一般情况下，模型的精度越高，说明模型的分类效果越好。

3.4.3 分类器参数调整

Adaboost 分类器主要有两个参数可以进行调整：

(1) numIt

numIt 是最大迭代次数，即最大的弱学习器个数。一般来说 numIt 太小，容易欠拟合，numIt 太大，又容易过拟合，导致训练集错误率降低很多，但测试集错误率提升。一般选择一个适中的数值。

(2) numStep

numStep 是每次迭代过程中需要迭代阈值的次数。步长：

$$\text{stepSize} = \frac{\text{rangeMax} - \text{rangeMin}}{\text{numSteps}} \quad (3-13)$$

通过改变 numStep 的大小我们可以逐步调整步长，步长越小精度越高，同时也意味着我们需要更多的弱学习器的迭代次数，增加了计算的时间。

在调参的过程中，我们常常将 numIt 和 numStep 一起考虑，通过调整参数，我们得到测试集的分类错误率如下表所示：

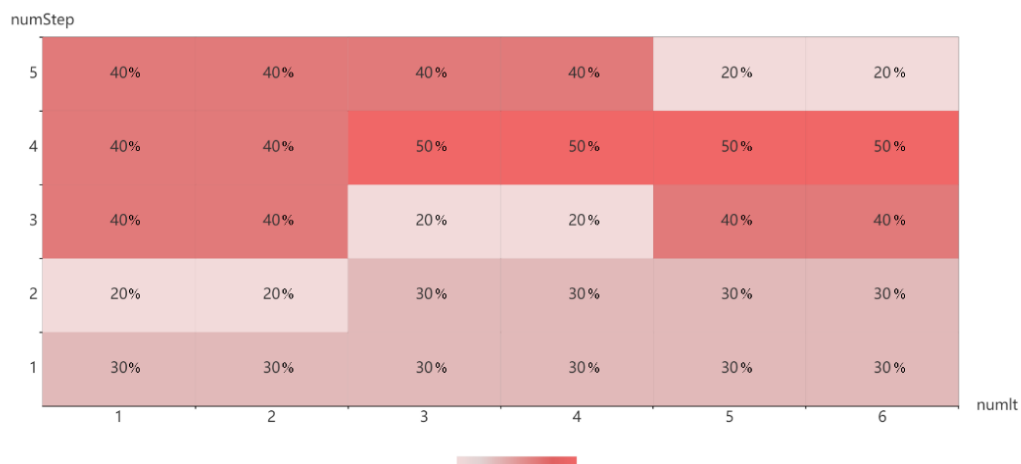


图 3-9: Adaboost 调参结果

通过调参的结果，我们发现当 $\text{numIt}=5$ ， $\text{numStep}=5$ 时，我们的模型分类错误率可以降低到 20%，在一定程度上有效地对叶片进行了分类，帮助我们判断是否需要叶片进行农药喷洒。但是我们的数据集目前仍不完善，数据量还太少，导致了 Adaboost 分类器训练和测试的数据量还远远不够，在之后我们会进一步采集数据，并对分类器进行调参，得到更好的分类结果。

4 用户管理平台设计

本文用户管理平台界面是采用 Qt designer 软件进行设计的，Qt 通用性强，直观明了，有利于树莓派 UI 界面的设计与开发。

本文在该平台上实现了杜鹃叶片的图像输入、图像预处理、图像分割、特征提取、分类判断的方法研究。软件中的每一块功能都清楚易懂，界面简洁，软件运行主界面如下图所示。

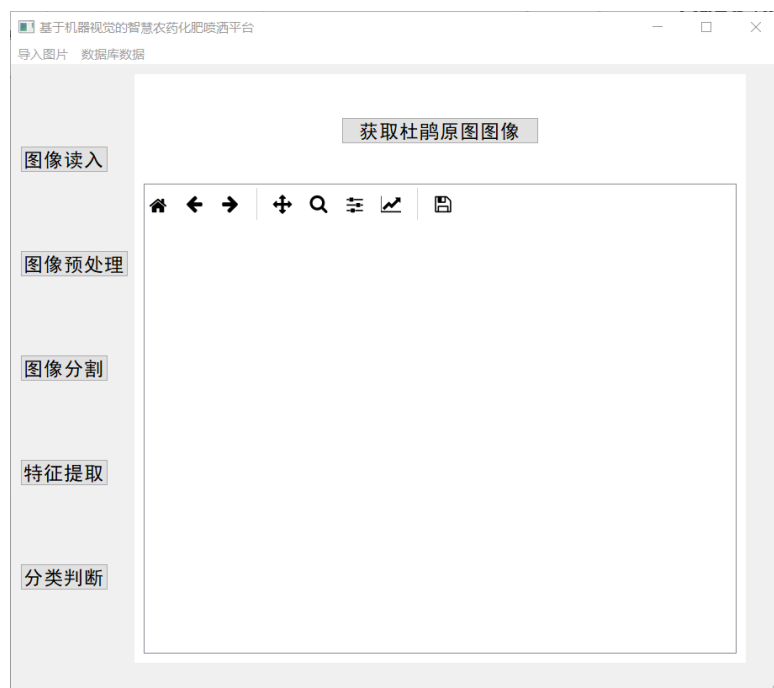


图 4-1：软件运行主界面图

本文的数据集样本取自上海市奉贤区。该地区的前身是海滩，因此土壤偏碱性。样本采集时间为春季和冬季。喜酸性植物在春天暴新芽的阶段会从土壤中吸取养分，这个时间段，如果土壤碱性过大，植物容易黄叶。因此我们分时间段采集了大量的正例数据和反例数据。采集时间为阴天的傍晚。考虑到植保工人也都是在傍晚喷洒农药化肥的，同时参考了专家意见，喷雾最佳时间是阴天的傍晚。这也避免了太阳光照射带来的白噪声的影响。

系统选取叶片图像信息的接口，选取待测试样本。特征提取过程中，我们分别地设计了颜色特征中 H 、 S 、 V 三种颜色分量的一阶矩、二阶矩、三阶矩选项；纹理特征中灰度共生矩阵中的能量、熵、对比度、逆方差；形状特征中的 Hu 不变矩等参数的提取方法。

以下杜鹃叶片图像识别处理的整个流程：

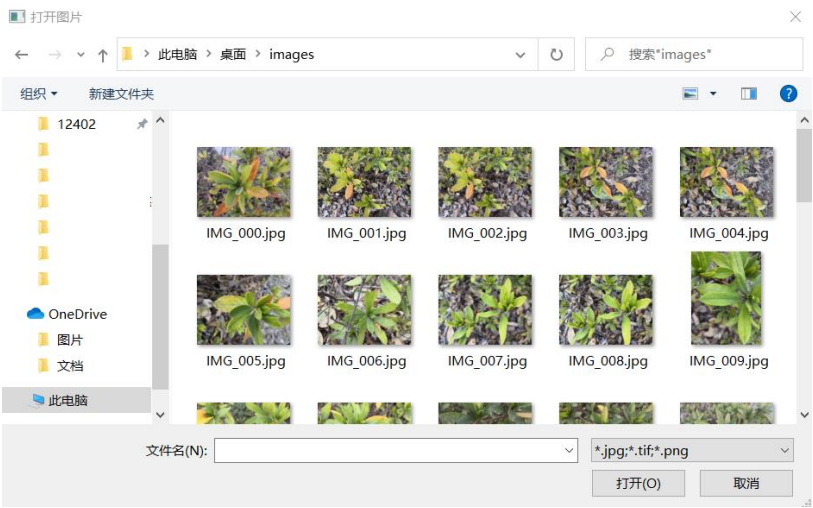


图 4-2：图像读取界面



图 4-3：图像显示界面



图 4-4 图像预处理



图 4-5 图像分割

颜色矩			
	H分量	S分量	V分量
一阶矩	57.14613776520549	52.87436465411259	60.98979854578784
二阶矩	84.98770317360415	54.99507399686983	60.202319446451526
三阶矩	138.73287075737508	45.085919458588336	51.69634947451515

图 4-6 颜色特征-颜色矩

Hu不变矩7个不变矩组		灰度共生矩阵			
Φ1	-6.321005687127694	Φ5	-49.38816938267922	能量	0.2299753813247275
Φ2	-15.917890562836334	Φ6	-32.68077940806556	熵	2.5171190298315524
Φ3	-24.952845102303655	Φ7	-52.91807770372575	对比度	1.4438087043007453
Φ4	-24.60754503205223			逆方差	0.8851617144346909

图 4-7 形状特征-Hu 不变矩

图 4-8 纹理提取-灰度共生矩阵

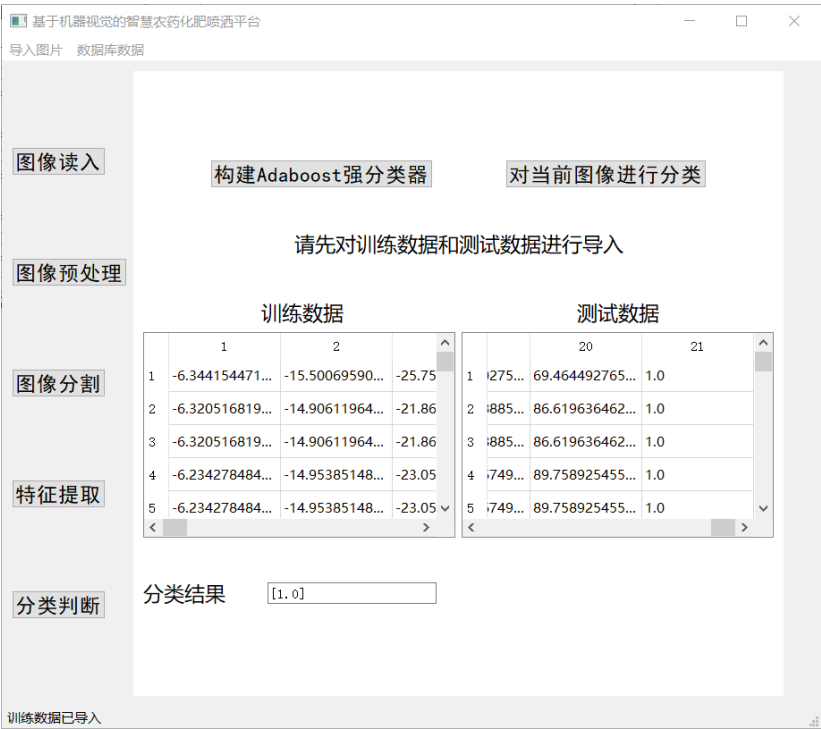


图 4-9 构建分类器-分类

5 总结与展望

5.1 全文工作总结

本文主要完成以下 3 个工作：

(1) 系统方案设计。其中由图像识别处理模块、机器设备运作模块、用户管理平台模块三部分组成。针对碱性土壤环境下生长的杜鹃叶片，设计相对应的图像识别处理方案；明确传感器、控制器、执行器等开环系统各个环节所要用到的装置以及装置的型号；结合专家知识，制定农药化肥喷洒频率控制方案；同时搭建用户管理平台，实现数据库的实时更新。

(2) 设计图像识别处理算法，并根据分割效果进行算法及参数的优化。以杜鹃叶片为研究对象，首先进行直方图均衡化，加强前景和背景之间的对比度差异，再进行中值滤波，进行去噪，并保留叶片边缘信息。通过图像二值化结合形态学操作实现复杂背景与叶片的分割。再通过通道的分离与合并，获得彩色分割图像。由于背景图片不固定，因此我们再用基于 H 分量的双阈值分割对图像进行二次分割。其次提取了叶片的颜色特征、形状特征、纹理特征共 20 个特征参数。最后我们采用基于 Adaboost 框架对已有图片数据集进行模型训练，再对当前图片提取的特征数据进行分类判断，最终进行决策，判断杜鹃是否有黄化病症状，以及是否需要喷洒农药化肥。

(3) 用户管理平台的搭建。设计软件界面，实现植保管理人员对拍摄图片进行及时标注，同时可以通过该人机交互界面获取拍摄图像的有效特征信息；开发数据库，对杜鹃叶片的特征信息进行存储并记录杜鹃所在位置的坐标，有利于周期性的农药喷洒进程。

实验结果表明，本文设计的分类器正确率可达到 80%。经过优化调参以及特征参数选取以后，正确率可达 85%。由此可见，该系统装置适用性强、操作简单、不受环境影响，未来可以在城市绿化、植物养护等领域有很好的应用，在植物病害快速识别、农药自动化喷洒等方面均可起到重要的作用。

5.2 未来工作展望

本文虽然利用图像处理技术和相关硬件设备实现了自动化工作的要求，但还存在一些需要进一步研究的问题，主要有以下几点：

(1) 在图像识别方面，需进行实际验证。根据实际的环境影响因素，对我们的算法进行修改。例如在车道旁，由于急行的汽车会产生噪声，会影响图像识别及分类的准确度。例如太阳光会影响图片的质量，需引入颜色恒常性的预处理过程。再比如叶片上可能有其它的病害或者虫害，需寻找思路去避免这些干扰。未来需要通过实践来优化算法，并寻求专家经验，来验证模型的准确率。

（2）在模型推广方面，需要增加模型的功能。目前本文主要以杜鹃黄化病为研究对象，后期可以拓宽研究范围，不仅可以识别其他植物的缺铁黄化病，还能够针对一种植物，对该植物的不同病害进行识别。

（3）在系统应用方面，目前本文硬件系统仍处在实验室阶段，后期应当投入实践，对摄像头以及喷洒装置的位置进行调整，让摄像头识别的区域和喷洒器喷洒的范围一致。同时，需要根据仪表零件的规格以及实际喷洒农药量的测量结果，调整喷洒频率，并将该装置的农药喷洒量与普通背负式农药喷洒器的喷洒量进行比较，统计可以避免多少农药量的浪费。最后进行市场调研，将该产品投入现实生活中使用。

参考文献

- [1]王访,廖桂平,王晓乔,李建辉,李锦卫,施文.基于多重分形理论的油菜缺素叶片特征提取[J].农业工程学报,2013,29(24):181-189.
- [2]王红君,陈伟,赵辉,岳友军.复杂背景下植物叶片的彩色图像分割[J].中国农机化学报,2013,34(02):207-211.
- [3]马莉莉,房俊龙,陈月华,龚水朋.基于机器视觉的大豆缺超氮素叶片颜色分析[A].黑龙江省农业工程学会.黑龙江省农业工程学会 2011 学术年会论文集[C].黑龙江省农业工程学会:黑龙江省农业工程学会,2011:5.
- [4]关海鸥,李佳朋,马晓丹,杜松怀,焦峰.基于冠层颜色特征的大豆缺素症状识别研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(12):136-142.
- [5]王爱新,李春友,张喆.基于计算机视觉的农业图像害虫定位检测算法[J].江苏农业科学,2016,44(07):361-364.
- [6]茹煜,贾志成,范庆妮,车军.无人直升机远程控制喷雾系统[J].农业机械学报,2012,43(06):47-52.
- [7]刘大印,王秀,毛益进,马伟,邓巍.基于单片机 PWM 变量农药喷洒控制系统研究[J].农机化研究,2011,33(05):99-103.
- [8]蔡祥,Walgenbach Martin,Doerpmund Malte,Schulze Lammers Peter,孙宇瑞.基于电磁阀的喷嘴直接注入式农药喷洒系统[J].农业机械学报,2013,44(06):69-72+200.
- [9]赵洁.基于图像处理的水培黄瓜叶片病斑识别系统设计[D].陕西科技大学,2019.
- [10]朱建均,冯飙.起重机系统开/闭环控制策略的发展现状及趋势[J].起重运输机械,2020,(23):37-42.
- [11]任环宇,武坤玉,李道全.基于树莓派的人脸识别智能车锁[J].电脑知识与技术,2018,14(29):214-217.
- [12]阚君武,曹仁秋,杨志刚,等.压电薄膜泵结构设计性能分析[J].压电与声光,2002,24(5):368-371. DOI:10.3969/j.issn.1004-2474.2002.05.010.
- [13]北京工业大学.一种双通道冗余无刷直流电机驱动器:CN201120351722.3[P].2012-06-12.
- [14]夏高裕.基于 OpenCV 的智能相机设计与实践[D].杭州电子科技大学,2016. DOI:10.7666/d.D823961.
- [15] Camargo A,Smith J. Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2009,66(2):121-125
- [16] Mistry Y,Ingole D T,Ingole M D. Content based image retrieval using hybrid features and various distance metric[J]. Journal of Electrical Systems and Information

Technology,2018,5(3):874-888

[17] Pavithra L K,Sharmila T S. An efficient framework for image retrieval using color,texture and edge features[J]. Computers and Electrical Engineering,2018,70:580-593

[18] Viola P,Jones M. Rapid object detection using a Boosted cascade of simple feature[C]. 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2001(1):511-518