

基于高精度传感器和卷积神经网络的智能灌溉系统研究

徐世周,鲁宸硕,张梦洁,程霄霄,钟一鸣

(河南师范大学 电子与电气工程学院,河南 新乡 453007)

摘要:为了实现智能精准灌溉,以 STM32 为主控板,将基于卷积神经网络图像识别技术应用在灌溉系统中。结合 EC-5 土壤水分和温度传感器来检测土壤的湿度和实时温度,利用图像识别技术对土壤不同的干旱情况下植物叶片状态的识别。通过结合农作物叶片状态和土壤的湿度情况进行精准灌溉。在 Keil5 中完成各个功能模块的软件设计,通过主控板将采集到的数据与设定值做对比,实现对植物的精准灌溉。同时,用户可以在手机端上实时观察土壤湿度和植物的状态,也可以通过手机端进行远程操作。经测试,本系统可以实现对植物的精准灌溉。

关键词:STM32 主控板;卷积神经网络;EC-5 土壤水分传感器;植物状态;灌溉

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:1000-2367(2024)04-0052-05

我国近几年大棚蔬菜和水果快速发展,智能化精准灌溉的研究成为热点。沈建炜等^[1]基于物联网架构实现了蓝莓园的智能灌溉决策系统,系统通过土壤湿度传感器与园内气象站实时采集环境信息,并利用采集的环境信息数据建立灌溉决策模型,使不同物候期的蓝莓处于合理的土壤湿度范围,实现了蓝莓园的自动精准灌溉。国外对智能灌溉技术的研究相对较早,以色列首先将灌溉智能控制技术应用于农业,美国、日本等发达国家基于自动化控制技术提出了自动灌溉系统。SHEIKH 等^[2]研发了一套基于 PID 控制的太阳能智能灌溉系统,系统采集风速、光照强度、空气温湿度等数据,利用 Penman 模型计算蒸腾量,并利用 PID 算法控制直流水泵,构建了较为完善的自动化水肥一体控制系统。国内外在智能灌溉方面做了大量的研究并且取得了重大的研究成果,推动了智能灌溉系统的发展^[3]。虽然针对不同应用场景与作物设计了对应的决策方案,但目前研究中尚未将决策方案与植物在不同干旱程度下叶片状态进行融合考虑,现有系统多依赖于人工干预,难以实现植物生长周期内状态自动监测与自动灌溉。因此,针对以上问题,以植物为研究对象,研究在不同土壤湿度条件下植物叶片状态智能灌溉系统,通过图像识别技术,提出了不同土壤湿度下叶片状态识别方法,将其融合应用于智能灌溉系统中,以实现植物生长周期内自动精准灌溉。

1 智能灌溉发展趋势

1.1 智能灌溉与物联网技术的融合

物联网技术应用在智能灌溉系统,使传统灌溉模式向智能化改变。高精度传感器测量土壤湿度并且将采集数据发送到主控制器,可实现数字化、精确化灌溉,实现高效的灌溉目标。

收稿日期:2023-06-15;**修回日期:**2023-10-07。

基金项目:国家自然科学基金(11904085);河南省科技攻关项目(202102210299)。

作者简介:徐世周(1985—),男,河南南阳人,河南师范大学副教授,研究方向为容错控制策略、三电平逆变器、调制策略、大功率三电平逆变器建模、控制与改进等,E-mail: xushizhousee@163.com。

通信作者:鲁宸硕(1999—),男,河南开封人,河南师范大学硕士研究生,研究方向为多电平换流器,E-mail: 2517805161@qq.com。

引用本文:徐世周,鲁宸硕,张梦洁,等.基于高精度传感器和卷积神经网络的智能灌溉系统研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(4):52-56.(Xu Shizhou,Lu Chenshuo,Zhang Mengjie, et al.Research on intelligent irrigation system based on high-precision sensors and convolutional neural networks[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2024,52(4):52-56.DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.06.15.0001.)

农业领域不仅包括智能灌溉系统,还包括一些物联网 RFID 技术、图像识别技术和智能二维码等技术,这些技术可以实时观察农作物的生长情况,例如是否被虫侵蚀等。智能灌溉系统中应用这些技术可以更好地实现对农作物生长状态检测和营养成分的观察,同时提高灌溉的精度和灌溉工作效率,真正实现绿色安全的农业^[4]。通过物联网技术和计算机网络,农业物联网能结合计算机网络能够为农业生产提供快捷便利,可以提高对农场、农业种植和农业灌溉等综合管理的能力,从而实现农业管理的专业化、精细化和科学化,快速向智慧农业发展,未来农业发展的方向就是向智慧农业发展。物联网是在互联网技术的基础上发展的,它可以实现采集数据信息、提高数据信息算法优越性和数据信息处理能力的网络^[5]。随着物联网技术的快速发展,现代化农业中物联网技术占据重要位置,它可通过实时土壤传感器监测农田土壤,图像识别观察叶面湿度,温湿度传感器检测空气温湿度等数据,将这些数据上传到上位机,可以为农作物的生长状态提供科学支持和指导,从而提高农作物的生产效率和产量。掌握土壤湿度、土壤中的营养成分、空气中的温湿度等相关数据,这些数据可以通过主控板中的无线传输模块进行上传,并且这些数据可以提供参考,为智能化灌溉管理提供有效的科学依据。

1.2 智能灌溉结合大数据、云计算技术

相比之前的数据库软件,大数据技术在信息处理方面更为出色,其获取和管理能力都比传统的数据库软件有很大的提升。一般来说,灌溉的农田需要去采集较多数据,如果采集到的数据不充分灌溉需求就会受到影响,所以要采集各个传感器的信息相结合。大数据技术在数据方面本身有很大的优势,可以收集到各个条件下的数据信息,使智能灌溉系统更加合理灌溉^[6]。大数据技术和云计算技术为智能灌溉系统提供了农作物各项的参考数据,通过这些技术可以使智能化灌溉系统更加完善,使智慧农业得到快速的发展。农业中大数据技术的应用^[7]:1)数据应用于生态环保。大数据技术在农业中的应用,能够支持农民们更好地了解生态系统和自然资源的变化以及农场生态趋势,通过收集、分析、处理大量数据而形成的生态模型,可以有效地指导农民合理地调节农田的耕作方式和节制规模,从而使资源得到更好的保护,确保粮食等农产品生命力的长期稳定,为生物多样性保护做出贡献。2)数据影响产品流通。大数据技术还可以帮助监测农业市场行情,分析市场供求关系,帮助农民更好地决定产品销售和应对颠簸的市场走势,节省物流和销售成本,并优化产销链系统。3)数据管理智能化。大数据技术可以为农民提供实施智能农业管理服务。大数据技术的应用,可以对农场各项指标实现实时监测、收集数据,并设计智能化的决策支持模型,以便于管理者制定更加科学的决策,并高效执行决策,智能化的管理模式能够提高生产力和生产效率,同时可以确保农业的可持续性发展。

2 智能灌溉系统硬件设计

根据智能灌溉系统的需求和设计原则,采用 STM32 为主控单元,放置多个 EC-5 土壤湿度传感器在农田的各个区域,分别对各个区域的土壤进行湿度测量。通过向主控单元的串口传输数据并且与手机端进行通信,整个硬件系统包括农作物状态识别模块、STM32 主控板、EC-5 土壤水分传感器、温度传感器、土壤营养成分采集模块、串口通信模块、电源模块、水泵驱动控制模块、报警模块及按键模块等^[8]。

2.1 EC-5 土壤水分传感器模块

EC-5 土壤水分传感器将两个电极视作电容等效,具有电压低、低功率和高度集成化等特点。其内部由方波信号发生电路、RC 充放电电路和时间电压转换电路等组成,检测传感器两个极板采用耐腐蚀的 PCB 板,待测土壤中作为电解质,根据土壤介电常数随湿度改变的特点,电容量也会发生改变。在检测时,当电极板几何因数、电阻 R 以及电压输出 V 保持不变时,土壤的介电常数可以由充电时间来确定。随后,通过时间电压转化电路可以输出电压 U 。因而,土壤含水量的改变也可以通过输出电压的改变来说明^[9]。EC-5 土壤水分传感器包含检测传感器壳体和探针,并主要用于直接测量土壤湿度(水分体积分数)。它结构简单,防水,耐腐蚀,同时具有超高精度、可靠度和对土壤含盐量影响小等优点。另外,该检测传感器比其他检测传感器具有无法比拟的自动温度补偿能力^[10]。EC-5 土壤水分传感器原理如图 1 所示。

在实际的土壤湿度测试过程中由于光照的原因,不同时刻农田土壤的温度不同使得传感器的测量结果会出现误差。为了能够减少温度对 EC-5 的影响,提高土壤湿度的测试精度,有必要对 EC-5 进行温度补偿。补

偿方法如图 2 所示.

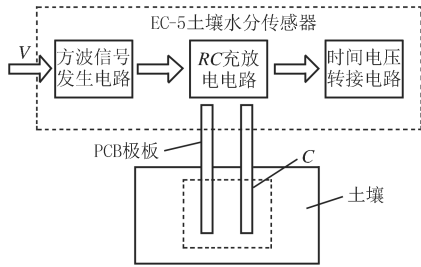


图1 EC-5土壤水分传感器原理图

Fig.1 EC-5 soil moisture sensor schematic

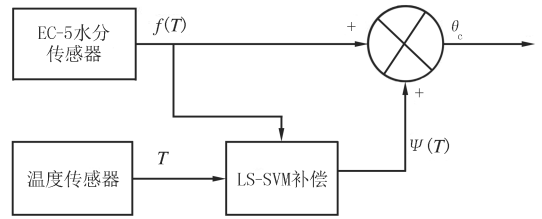


图2 温度补偿原理图

Fig.2 temperature compensation schematic

$f(T)$ 是温度为 T 时 EC-5 传感器的测试结果, $\Psi(T)$ 利用 LS-SVM 获得的补偿量.补偿效果的关键是利用最小二乘支持向量机(LS-SVM)确定出合适的补偿函数 $\Psi(T)$ 使 θ_c 尽可能地等于土壤真实湿度.

2.2 植物叶片训练

本文设计的植物状态识别需要植物叶片采集,然后将采集到的图像信息上传到 PC 端在 PyTorch 中搭建卷积神经网络深度学习结构进行植物状态识别模型.植物状态识别前期需要做大量的图像采集训练工作^[11].比如,根据不同的季节或不同的土壤干旱程度,进行植物不同的生长状态进行图像采集,将采集到的图像传输到 PC 端进行识别鉴定该时期植物处于什么状态.然后将鉴定的结果通过串口端发送给主控板.植物叶片训练流程图如附录图 S1 所示.

3 智能灌溉系统软件设计

设计中使用了以 STM32 主控模块为主控制器,软件编程选用了 Keil5 来进行程序调试.系统流程图如附录图 S2 所示.主程序之前需要进行对主控模块引脚和时钟初始化操作,EC-5 土壤湿度传感器将采集到的土壤湿度模拟量传输到 STM32 的 ADC 模块进行数字量输出,通过串口 1 将湿度量通过无线模块传输到手机 app 端进行显示.若土壤湿度小于干燥阈值且图像识别判断农作物状态处于干旱状态情况下则开启水泵进行灌溉,然后和过湿阈值进行对比,若大于过湿阈值,则水泵关闭,将出水量和水泵工作状态上传到手机端,反之进行循环系统的判断,根据不同的状态,可以进行自动、手动模式的转换,控制水泵的运行的状态.

4 智能灌溉系统调试

4.1 EC-5 实验数据

实验选取土壤为砂土.将砂土样本土壤装满烧杯 EC-5 土壤水分传感器埋入烧杯里的土壤中.将烧杯用塑料薄膜封住防止水分挥发.将烧杯置于恒温箱中利用数据采集器采集 EC-5 水分传感器的数据,当温度传感器所采集到的土壤温度信息与恒温箱设定的温度相同时记录下 EC-5 测试数据.调节恒温箱的温度记录下 EC-5 在土壤温度为 10~40 °C 范围内的测试数据.实验数据如表 1 所示.

从上面实验结果可以看出在不同的温度下 EC-5 水分传感器测试的结果随温度的升高而升高趋势.根据不同温度 EC-5 输出的实验数据可以使用 LS-SVM 建立温度补偿函数对 EC-5 土壤水分传感器在不同温度下实验结果进行温

表 1 不同温度下 EC-5 土壤水分传感器测试数据

Tab.1 Test data of EC-5 soil moisture sensor at different temperatures

$T/^\circ\text{C}$	10	20	30	40
$\theta_c/\%$	31.5	33.7	36.8	37.6

度补偿,补偿效果如图 3 所示.图 3 中理想曲线是土壤真实湿度.未补偿曲线为 EC-5 随温度的变化测试结果曲线.土壤湿度较大时 EC-5 测试结果低于土壤真实湿度.主要原因是:随着土壤湿度的增加导致水分对土壤介电常数的影响程度增加.如图 3 所示,未补偿时,土壤水分测试结果随土壤温度的变化趋势较大,LS-SVM 补偿后 EC-5 输出结果随温度的变化趋势较小,并且与土壤真实湿度相近.

4.2 植物叶片训练

从不同湿度下和不同的拍摄角度收集植物叶片各种图像信息,所收集的植物叶片有 100 张.部分自建的初始植物叶片如图 4 所示.将它们分为 2 类:一类为缺水条件下植物的叶片状态,另一类为未缺水条件下的植物叶片状态.

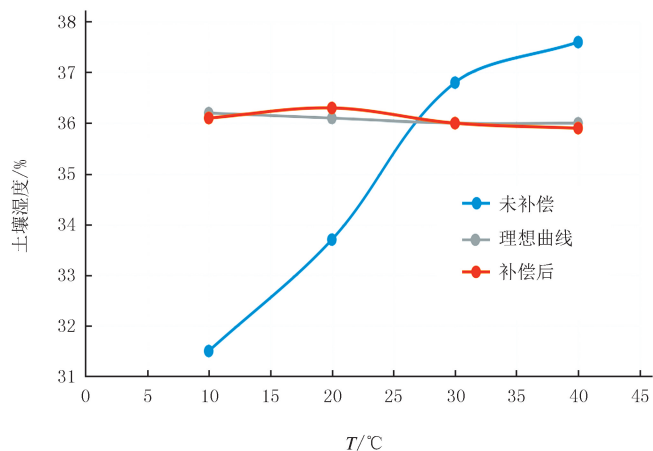


图3 EC-5温度补偿效果

Fig.3 Temperature compensation effect of EC-5

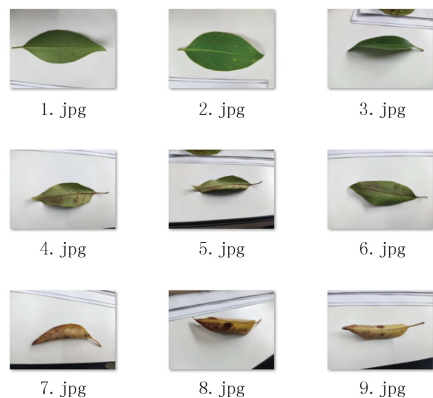


图4 初始植物叶片

Fig.4 Initial plant leaves

在完成植物叶片搜集之后,开始对植物叶片图片进行一一标注并且将它们分类开来.将分类好的植物叶片图片放在 PyCharm 中用 Python 搭建好的卷积神经网络中进行学习训练.通过反复的迭代最终完成植物叶片的学习训练.完成植物叶片训练之后,下面进行对植物叶片检测结果如附录图 S3 所示.可以快速检测出检测高湿度叶片和低湿度叶片.

5 系统测试

如果土壤传感器检测土壤湿度在 1%~50%,并且图像识别检测到农作物叶片状态处于严重缺水状态时,主控制器控制水泵以占空比为 90%的速度进行灌溉;当土壤湿度高于 80%时,系统停止供水,并且将各个模块数据上传到手机端供工作人员查看.若土壤传感器检测土壤湿度大于 50%时,并且图像识别检测到农作物叶片状态处于未缺水状态时,主控制器控制水泵以占空比为 20%的速度进行灌溉,当土壤湿度高于 80%时,系统停止供水.

首先,需要提前训练好每种农作物在不同缺水程度下叶片所表现的不同状态.如附录图 S4 和附录图 S5 将测试的不同状态的叶片进行逐一的检验.测试结果显示可以准确地检验出不同缺水情况下农作物叶片的状态,如图 S4 检测到农作物叶片的状态不缺水状态时,同时 EC-5 检测到土壤的湿度比较高时,此时水泵是不工作的.如图 S5 检测到的农作物叶片状态处于缺水状态时并且此时的土壤湿度是比较低的,这时水泵开始工作.当土壤的湿度达到设定值时,水泵停止工作.此时的湿度信息、灌水和叶片状态信息上传到手机端.

如附录图 S6 所示,整个智能灌溉系统的实时数据都可以进行显示.土壤湿度传感器测量到土壤湿度数据、电脑端检测到农作物叶片状态的信息和水泵的工作状态都可以利用主控芯片串口通过无线传输模块上传到手机应用进行显示.工作人员可以实时地观察整个灌溉系统的运行状态,也可以通过远程操作进行灌溉.

6 结论

本文提出了一种基于高精度传感器和卷积神经网络智能灌溉系统研究.与目前的智能灌溉系统相比,本系统通过高精度传感器和图像识别模拟人的感觉和视觉对植物生长周期内的生长状态进行判断使测量数据实时准.通过前期对植物叶片状态收集训练,在实际测试中对植物叶片状态的识别准确率可以达到 90%以上.对于土壤湿度的测量容易受到温度的影响,提出 LS-SVM 建立温度补偿函数是测量的土壤湿度与实际湿度非常接近.用户可以通过手机端进行实时查看报警信息、土壤湿度、温度信息和浇水量等信息,还可以通

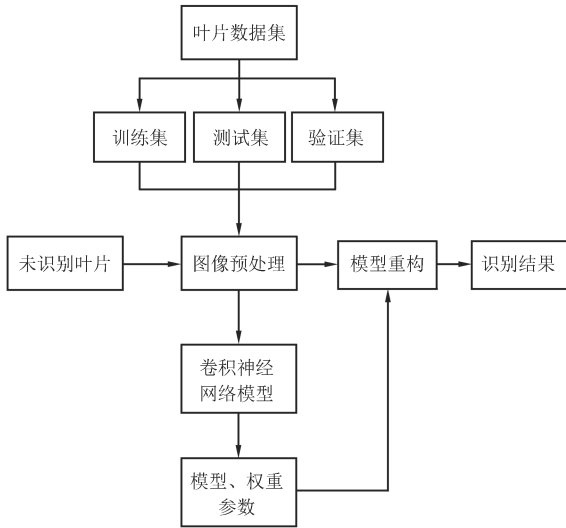
过手机端进行远程控制.在后续工作往更智能化无人管理的模式进行研究.

附录见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.06.15.0001).

参 考 文 献

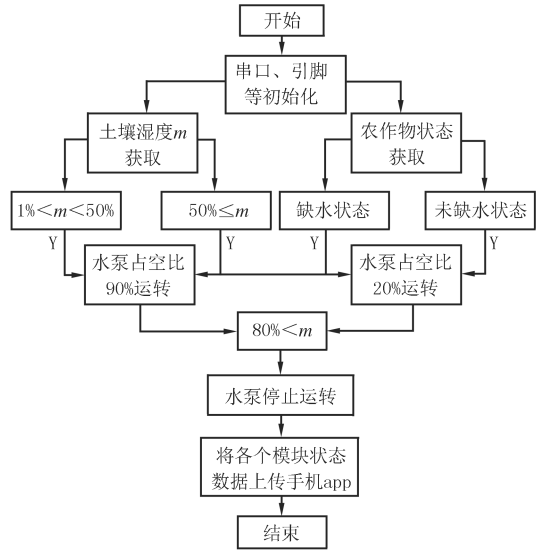
- [1] 沈建炜,李林,魏新华.丘陵地区蓝莓园智能灌溉决策系统设计[J].农业机械学报,2018,49(S1):379-386.
SHEN J W,LI L,WEI X H.Design of intelligent irrigation decision system for blueberry garden in hilly area[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(S1):379-386.
- [2] SHEIKH S S,JAVED A,ANAS M,et al.Solar based smart irrigation system using PID controller[J].IOP Conference Series:Materials Science and Engineering,2018,414:012040.
- [3] 陆红飞,王涛,乔冬梅,等.物联网在农业灌溉中的应用:从灌溉自动化到智慧灌溉[J].灌溉排水学报,2023,42(1):87-99.
LU H F,WANG T,QIAO D M,et al.Application of Internet of Things in irrigation:a review[J].Journal of Irrigation and Drainage,2023,42(1):87-99.
- [4] 李文,黄可,张清芳,等.农用灌溉井房的智能水电双控系统[J].河南科技大学学报(自然科学版),2019,40(3):72-79.
LI W,HUANG K,ZHANG Q F,et al.Intelligent double control system of water and electricity for agricultural irrigation well house[J].Journal of Henan University of Science and Technology(Natural Science),2019,40(3):72-79.
- [5] 蔚磊磊,魏正英,张育斌,等.基于模型设计的水肥灌溉控制器快速开发[J].节水灌溉,2017(7):124-129.
WEI L L,WEI Z Y,ZHANG Y B,et al.The rapid development of fertilizer irrigation controller based on MBD[J].Water Saving Irrigation,2017(7):124-129.
- [6] 饶申,鲍玲玲,万云奕,等.基于大数据系统模型的灌溉决策系统研究[J].智慧农业导刊,2023,3(7):11-13.
RAO S,BAO L L,WAN Y Y,et al.Research on irrigation decision-making system based on big data system model[J].Journal of Smart Agriculture,2023,3(7):11-13.
- [7] 许建宏.农业大数据与云计算的应用研究[J].中国果树,2023(7):157.
- [8] 左黎明,周庆,陈兰兰,等.基于安全协议的智能灌溉系统设计[J].河南师范大学学报(自然科学版),2019,47(1):33-39.
ZUO L M,ZHOU Q,CHEN L L,et al.Design of intelligent irrigation system based on security protocol[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2019,47(1):33-39.
- [9] 胡慧玲,王峰,冯泉清,等.盐分对土壤水分传感器测量精度的影响及适用性评价[J].灌溉排水学报,2023,42(9):102-109.
HU H L,WANG F,FENG Q Q,et al.The effect of soil salinity on accuracy of soil moisture sensors[J].Journal of Irrigation and Drainage,2023,42(9):102-109.
- [10] 张荣标,刘骏,张磊,等.EC-5 土壤水分传感器温度影响机理及补偿方法研究[J].农业机械学报,2010,41(9):168-172.
ZHANG R B,LIU J,ZHANG L,et al.Temperature effect mechanism and compensation method of EC-5 soil moisture sensor[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(9):168-172.
- [11] 龚丁禧,曹长荣.基于卷积神经网络的植物叶片分类[J].计算机与现代化,2014(4):12-15.
GONG D X,CAO C R.Plant leaf classification based on CNN[J].Computer and Modernization,2014(4):12-15.
- [12] 许平.灌溉技术的发展在我国农耕制度演进中的作用[J].河南师范大学学报(自然科学版),2009,37(3):141-143.
XU P.Effects of irrigation technique development in evolution of tillage system in China[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science),2009,37(3):141-143.
- [13] 王温澎,邵云,李英臣,等.华北平原 4 种主要农作物非根际和根际土壤活性碳氮和酶活性特征[J].河南师范大学学报(自然科学版),2018,46(5):77-84.
WANG W P,SHAO Y,LI Y C,et al.Labile carbon and nitrogen content and correlative enzyme activities of rhizosphere and non-rhizosphere soils under four major crops in North China Plain[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2018,46(5):77-84.
- [14] 张昆,苏婷,李书粉,等.新乡市获嘉县传统耕作区农田土壤微生物群落结构和多样性研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2019,47(1):112-117.
ZHANG K,SU T,LI S F,et al.Soil microbial community structure and diversity from farmland in traditional cultivation area of Huojia County,Xinxiang city[J].Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition),2019,47(1):112-117.
- [15] MI C Q,PENG X N,PENG L,et al.Research on crop disaster stress risk mapping system based on agriculture big data[C]//2021 International Conference on Electronic Information Technology and Smart Agriculture(ICEITSA).Piscataway:IEEE Press,2021:525-530.
- [16] KUMAR L,KUMAR P.Webcam based Secure Surveillance system for the smart agriculture using Raspberry pi[C]//2022 International Conference on Smart Generation Computing,Communication and Networking(SMART GENCON).Piscataway:IEEE Press,2022:1-6.

附 录



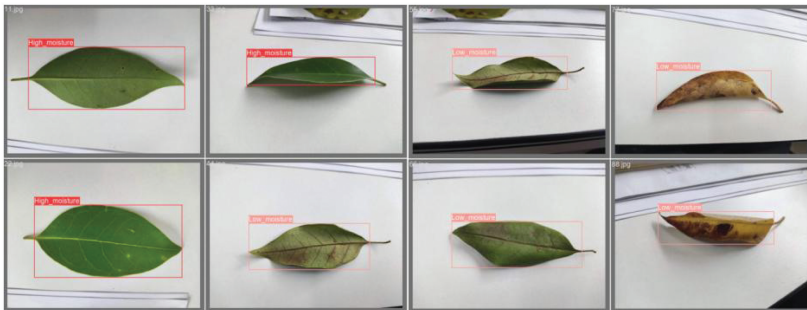
图S1 植物叶片训练流程图

Fig.S1 Plant leaf training flowchart



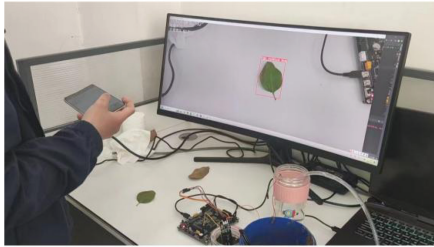
图S2 系统总体流程图

Fig.S2 Overall system flowchart



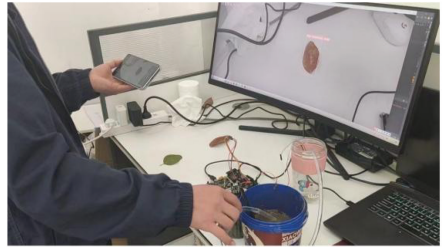
图S3 植物叶片检测结果

Fig.S3 Plant leaves test results



图S4 未缺水叶片状态

Fig. S4 The state of blades without water shortage



图S5 缺水叶片状态

Fig. S5 The state of blades water shortage



图S6 手机端应用显示

Fig. S6 Mobile APP display