

智能地面吹枣机器人

许可飞

西京学院，陕西省西安市，710000；

摘要：随着农业智能化发展，本文设计了一种智能吹枣机器人。系统核心由双目相机模块、运动控制系统和独立风机构成。双目相机采集果实三维位置信息，经树莓派 4B 部署 YOLOv5-Lite 与 ONNX Runtime，实现目标检测与实时追踪，并通过 UART 将数据传输至单片机控制响应动作。机器人采用履带式车架和 Pixhawk 控制模块，可适应果园复杂路况，实现快速精准操作。该设计不仅显著提高了枣果采集效率和品质，也为智能农业提供了实践经验。

关键词：双目视觉；YOLO；识别定位；ONNX Runtime

DOI:10.69979/3041-0673.25.05.012

引言

枣是一种经济价值高、营养丰富且具有药用价值的水果，广泛种植。然而，传统的人工采集方式存在劳动强度大、效率低等问题，随着劳动力成本上升，传统采集方式已无法满足市场需求。为解决这些问题，智能农业机器人技术被引入枣类采集领域，提高了采集效率和质量。

智能吹枣机器人通过结合感知技术和运动控制，能够准确识别、吹扫和收集枣果，实现自动化采集。该机器人通过双目相机采集果实位置信息，利用计算机视觉和机器学习技术，进行枣子的检测与定位，避免了地面未吹干净的枣子被二次破坏。与传统人工吹枣相比，机器人作业效率更高，且不受时间与疲劳限制，能够有效减轻劳动压力。

然而，机器人面临着诸如叶子遮挡、地面坑洼等问题，导致精确检测与识别枣子具有挑战性。为解决这些问题，本文采用 YOLO 算法进行枣子检测与定位，使用树莓派与轻量级深度学习模型 YOLOv5-Lite、ONNX Runtime 引擎提高计算速度，实现实时目标追踪^[1]。上位机与下位机采用 UART 通讯确保数据传输及时准确。机器人的执行器和操作策略经过优化，实现了高效、稳定的作业性能。

1 系统硬件设计

本文设计的智能地面吹枣机器人以树莓派 4B 为数据处理中心，通过双目摄像头采集枣园图像，经轻量化 YOLO 模型处理后，将目标定位信息通过 USB 串口传递给 STM32F103C6T6 单片机，控制喇叭和 LED 灯反馈状态。

主要硬件模块包括：由两台 USB 摄像头组成的双目相机（支持自动对焦、超高清分辨率）安装于履带车架上；性能强劲、接口丰富的树莓派 4B；以及主频 72MHz、成本低廉的 STM32F103C6T6 单片机。风机模块选用工业级锂电吹风机，独立供电，通过旋转叶片产生气流，高效完成枣果吹集。机器人还采用 Pixhawk 飞控系统实现运动控制，适应果园复杂路况。总体流程为：检测目标→采集图像→数据处理→输出定位信息→下位机执行指令。该设计兼顾实时性、精准性与稳定性，为智能枣园作业提供了一种高效自动化解决方案。系统总体设计方案如图 1.1 所示。

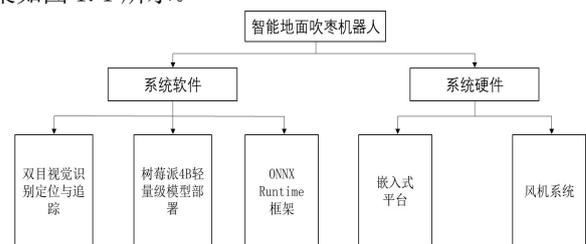


图 1-1 系统总体设计方案

2 系统软件设计

2.1 双目模块软件设计

本文相机标定使用张正友标定法，张氏标定法是一种介于传统标定法和自标定法之间的方法。它克服了传统标定法需要高精度三维标定物的缺点，同时解决了自标定法鲁棒性差的难题^[2]。该方法的核心思想是通过拍摄多组不同方向的棋盘格图像，利用棋盘格的角点信息，估计出相机的内参矩阵和外参矩阵。标定过程流程图如图 2-1 所示

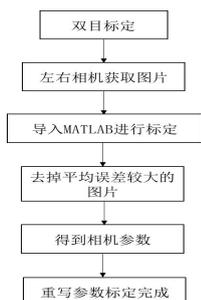


图 2-1 标定流程图

从不同方向拍摄多组棋盘格图像，为了获得准确的标定结果，拍摄至少 10 张以上图片，把拍摄好的照片导入 MATLAB 中进行标定，去除平均误差较大的图片。标定图片如图 2-2 所示。

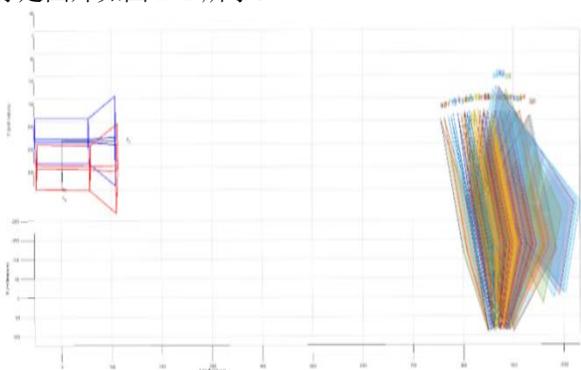


图 2-2 MATLAB 标定

相机标定完成重写相机的参数，相机标定可以得到相机的内参矩阵和外参矩阵。内参矩阵包含了相机的焦距、主点坐标、畸变系数等信息，而外参矩阵则描述了相机与世界坐标系之间的相对位置关系。

2.2 图像处理模块

图像处理模块是在软件系统中用于处理图像数据的功能模块。它涉及各种图像处理任务，包括图像获取、预处理、增强、分割、特征提取和识别等。该模块用于从摄像头获取图像数据，对原始图像进行校正、去噪、颜色空间转换、图像缩放、旋转等操作，以提高后续处理的效果，从图像中提取具有代表性的特征。这些特征可以是形状、纹理、颜色、边缘等视觉属性，用于后续的模式识别、分类或定位任务，使用深度学习技术进行目标检测识别和定位。

2.3 轻量化模型软件设计

YOLOv5-Lite 是 YOLOv5 系列的一个轻量级版本，它主要通过减少模型复杂度、优化网络结构等方式，实现了在保持较高检测精度的同时，降低模型大小和计算量，与 YOLOv5 相比，虽然牺牲了部分网络模型精度，但极大地提升了模型的推理速度，更适合于实时目标检测的应用场景^[3]。模型经过改进之后运行速度会有提升。如

图 2-4 网络结构图。

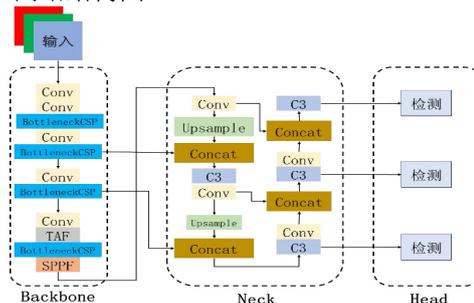


图 2-3 网络结构图

另外，本次设计采用 ONNX Runtime 推理，ONNX Runtime 对模型图应用了一系列图优化，然后根据可用的硬件特定加速器将其分割成子图。核心 ONNX Runtime 中的优化计算内核提供了性能改进，使模型运行速度更快^[4]。

2.4 单片机配置软件设计

根据智能地面吹枣机器人的需求，需要单片机控制外设喇叭和 LED 灯，本设计使用 STM32CubeMX 对单片机进行配置，首先，RCC 配置外部高速晶振-HSE，然后需要把 SYS 中 Debug 设置成 Serial Wire 防止芯片自锁，最后是一些串口和管脚的配置。

经过配置后的单片机部分代码需要自己重写，重写完成就可以通过 UART 通讯与树莓派进行信号的接收与发送。

2.5 上位机与下位机通讯设计

本文使用 UART 串口通讯来使树莓派与单片机简立联系，使树莓派与单片机的 TXD 与 RXD 交叉连接，在树莓派的程序中，使用相应的串口 API 函数发送数据。另外，确保单片机和树莓派的 UART 通信波特率设置相同。数据格式匹配，确保数据位、停止位和校验位等参数在单片机和树莓派之间匹配。UART 串口通讯，一个数据流由 10 个数据位组成，包含 1 位起始位，7 位有效数据位，1 位奇偶校验位，1 位停止位。UART 串口信号线上空闲时常驻高电平，当检测到低电平下降沿时认为数据传输开始，到停止位时数据传输结束，一共 10 位数据位组成一个数据包。通讯架构如图 2-4 所示。

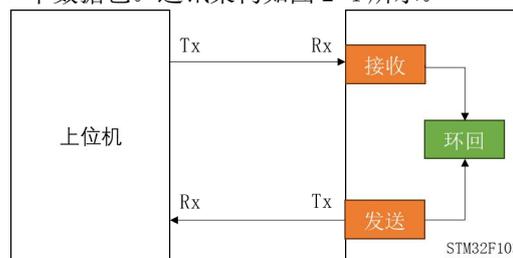


图 2-4 通讯架构图

3 系统调试与分析

3.1 识别定位与追踪功能调试

首先，运行本系统代码，其中的识别模型是通过对自已制作的数据集多次训练的模型，只识别枣子和枣叶，运行代码树莓派会调用左右两个摄像头构成双目视觉，实时的采集外界的图像信息与深度图，深度图能够实时反映出图像中物体的远近，而识别出来的物体也会实时显示出类型、距离、编号等信息^[5]，识别测距追踪测试如图 3-1 所示。

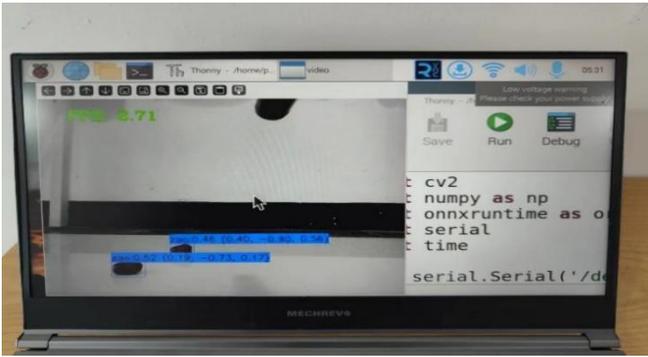


图 3-1 识别测距追踪测试图

3.2 轻量化效果调试

首先，运行 YOLOv5-lite 模型代码，使用自己的训练模型，通过树莓派远程桌面得到运行速度大概在每秒两帧左右。如图 5-2 所示

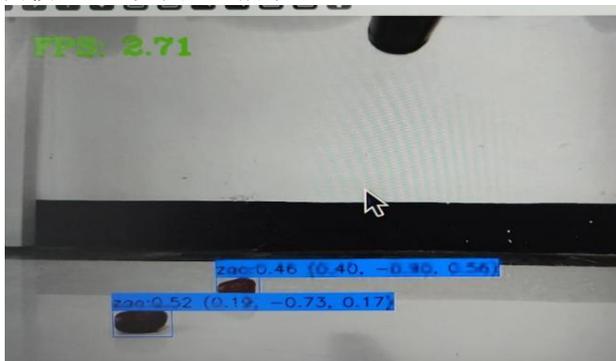


图 3-2 轻量化模型推理图

轻量化之后的的模型，运行速度在每秒两帧，再通过 ONNX Runtime 高性能推理引擎，通过树莓派远程桌面得到运行速度大概在每秒八帧，可以实现本次设计实时处理数据的要求。如图 3-3 所示。



图 3-3 ONNX Runtime 推理结果图

3.3 风机与喇叭功能调试

首先，启动智能地面吹枣机器人，让机器人风机开始工作，当机器人识别到有枣子与机器人的距离小于设定值，机器人灯亮喇叭响，发出警示信号，这个时候停下机器人。

4 总结与展望

智能地面吹枣机器人通过双目相机采集图像信息，树莓派 4B 作为数据处理中心，利用视觉感知和机器人控制技术精确识别和定位地面枣子，使用风机装置将枣子吹聚。该系统提高了吹枣效率，减轻了劳动强度，帮助枣农摆脱劳动强度大的工作，保护健康。虽然目前机器人依赖遥控操作且存在一定的误差，但可以通过计算机视觉、机器学习和路径规划算法提升其感知精度和自动化水平。未来，机器人还可通过多机器人协作完成任务，并加入枣子收集模块，实现更高效的自动化收获。随着技术进步，智能地面吹枣机器人将在农业领域发挥重要作用，提高生产效率，降低劳动成本，提供精准可靠的解决方案。

参考文献

- [1]杜玉华. 人工智能赋能农业机械的应用研究[J]. 农业开发与装备, 2023, No. 256(04): 215-217.
- [2]杨兵. 变基线双目视觉定位方法研究[D]. 西京学院, 2022.
- [3]高杨, 曹仰杰, 段鹏松. 神经网络模型轻量化方法综述[J]. 计算机科学, 2024, 51(S1): 23-33.
- [4]Alikhani Ahmad, Ahmadi Noushin, Frouzian Mehran, Abdollahi Amirsaleh. Motor polyradiculoneuropathy as an unusual presentation of neurobrucellosis: a case report and literature review [J]. BMC Infectious Diseases, 2024, 24(1): 491-491.
- [5]Sonia Guha, Andrew M Nguyen, Alejandra Young, Ethan Mondell, Debora B Farber. Decreased CREB phosphorylation impairs embryonic retinal neurogenesis in the Oal- mouse model of Ocular albinism. [J]. bioRxiv: the preprint server for biology, 2024.