中文题目：基于多传感器引导的智能蔬果配送机器人

英文题目：Intelligent fruit and vegetable delivery robot

摘要

智能机器人在工业和农业等自动化生产领域中具有广泛的应用，无人配送技术也逐渐成为日常生活中的一部分，然而,如何有效地将这些技术应用于蔬果配送,仍然是一个亟待解决的问题。本文提出了一种面向未来市场的智能蔬果配送方案,设计并实现了一款集成信息技术、人工智能与自动化控制技术的轮式机器人,旨在提升配送效率与用户体验。本研究的创新之处在于提供了一套可行的蔬果配送技术方案，通过蔬果订购APP与蔬果配送机器人的交互，实现订单接收、订单交互、蔬果识别、蔬果抓取、蔬果运输、蔬果送达和机器人返回停靠等功能。蔬果配送机器人采用STM32F103C8T6主控与树莓派4B主控相结合的控制方案,充分利用STM32的高效实时控制能力和树莓派的强大处理能力,确保系统的高性能与稳定性。

在技术层面，针对智能蔬果配送中对蔬果识别效果的需求，通过YOLOv5s目标检测算法，实现快速、准确识别蔬果。针对智能蔬果配送中对目标抓取稳定性和准确性的需求，融合YOLOv5s目标检测算法与单目测距算法，结合强化学习机械臂控制算法与逆运动学控制算法，设计六自由度机械臂对蔬果进行准确、灵活、稳定抓取。针对蔬果配送中复杂道路自动导航与配送的需求，应用多传感器融合技术，机器人能够实现三维空间坐标定位，并结合图像预处理、角点检测、逆透视与模板匹配算法，实现机器人自主路径规划，确保机器人在复杂道路环境中的稳定、运行。针对智能蔬果配送中用户交互体验的需求，开发配套APP，提供直观、便捷的界面，使用户能够轻松下单、实时跟踪配送状态，并与机器人互动。

在系统测试中，通过模拟现实配送场景，验证机器人在路径规划、蔬果抓取与投递等环节的综合表现能力。结果表明,本文设计的机器人在配送效率与准确性方面均达到预期目标。本研究提出的智能蔬果配送机器人通过集成多种先进技术，实现蔬果的高效、自动化配送, 在提高效率、降低成本、改善用户体验和推动可持续发展方面都具有较大潜力，应用前景广阔。

关键词：蔬果配送、智能控制、无人配送

Abstract

Intelligent robots have a wide range of applications in automated production fields such as industry and agriculture, and unmanned delivery technology has gradually become a part of daily life. However, how to effectively apply these technologies to vegetable and fruit delivery is still an urgent problem that needs to be solved. This article proposes an intelligent vegetable and fruit delivery solution for the future market, and a wheeled robot that integrates information technology, artificial intelligence, and automation control technology is designed and implemented. The design of this robot aims to improve delivery efficiency and user experience. The innovation of this study lies in providing a feasible solution for vegetable and fruit delivery technology. Through the interaction between the vegetable and fruit ordering app and the vegetable and fruit delivery robot, it realizes functions such as order reception, order interaction, vegetable and fruit recognition, vegetable and fruit grabbing, vegetable and fruit transportation, vegetable and fruit delivery, and robot return and parking. The vegetable and fruit delivery robot adopts a control scheme that combines STM32F103C8T6 main control with Raspberry Pi 4B main control, fully utilizing the efficient real-time control ability of STM32 and the powerful processing ability of Raspberry Pi to ensure the high performance and stability of the system.

At the technical level, in response to the demand for effective recognition of vegetables and fruits in intelligent vegetable and fruit distribution, the YOLOv5s object detection algorithm is used to achieve fast and accurate recognition of vegetables and fruits. In response to the demand for stability and accuracy in target grasping in intelligent vegetable and fruit delivery, a six degree of freedom robotic arm is designed to accurately, flexibly, and stably grasp vegetables and fruits by integrating YOLOv5s target detection algorithm and monocular ranging algorithm, combined with reinforcement learning robotic arm control algorithm and inverse kinematics control algorithm. In response to the demand for complex road automatic navigation and distribution in vegetable and fruit delivery, multi-sensor fusion technology is applied to enable robots to achieve three-dimensional spatial coordinate positioning. Combined with image preprocessing, corner detection, inverse perspective, and template matching algorithms, autonomous path planning is achieved to ensure the stability and operation of robots in complex road environments. In response to the demand for user interaction experience in intelligent vegetable and fruit delivery, a supporting APP is developed to provide an intuitive and convenient interface, allowing users to easily place orders, track delivery status in real-time, and interact with robots.

In system testing, we simulated real-life delivery scenarios to verify the comprehensive performance of robots in path planning, vegetable and fruit grabbing, and delivery. The results indicate that the robot designed in this article has achieved the expected goals in terms of delivery efficiency and accuracy. The intelligent vegetable and fruit delivery robot proposed in this study integrates multiple advanced technologies to achieve efficient and automated distribution of vegetables and fruits. It has great potential in improving efficiency, reducing costs, improving user experience, and promoting sustainable development, and has broad application prospects.

Keywords: vegetable and fruit delivery, intelligent control, unmanned delivery

目 录

[第1章 作品难点与创新 1](#_Toc19585)

[1.1 作品难点 1](#_Toc26725)

[1.2 作品创新点 1](#_Toc11763)

[1.2.1 多传感器融合定位策略 1](#_Toc29830)

[1.2.2 机械臂强化学习抓取方案 2](#_Toc29257)

[1.2.3 友好交互型APP 2](#_Toc32509)

[1.2.4 结构设计 2](#_Toc6042)

[第2章 方案论证与设计 3](#_Toc24451)

[2.1 设计概述 3](#_Toc10425)

[2.2功能描述 3](#_Toc10166)

[2.3系统构成 3](#_Toc8853)

[2.4 技术指标 5](#_Toc3258)

[2.4.1 外形尺寸 5](#_Toc9481)

[2.4.2 主要部件 5](#_Toc26466)

[第3章 系统的实现 6](#_Toc1078)

[3.1系统实现的硬件架构 6](#_Toc12558)

[3.1.1 电路原理图 6](#_Toc21437)

[3.1.2 电路PCB设计图 7](#_Toc5754)

[3.2系统软件实现 8](#_Toc6801)

[3.2.1 前期数据处理 8](#_Toc851)

[3.2.2 关键技术实现策略 9](#_Toc7210)

[3.3 软件算法实现 1](#_Toc450)0

[3.3.1 多路段控制算法 1](#_Toc1107)0

[3.3.2 交互算法 1](#_Toc22405)1

[3.3.3 机械臂强化学习算法 1](#_Toc11884)1

[第4章 人机交互设计](#_Toc21682) 15

[4.1 服务端设计 1](#_Toc19358)5

[4.2 客户端设计 1](#_Toc10638)5

[4.2.1机器人状态实时查看功能 1](#_Toc1054)5

[4.2.2 机器人选择功能 1](#_Toc2958)5

[4.2.3 蔬果选购下单 1](#_Toc31591)5

[4.2.4 配送状态实时查看 1](#_Toc26767)6

[4.3 交互设计 1](#_Toc15728)6

[第5章 系统测试与分析 1](#_Toc12911)7

[5.1 机器人移动测试 1](#_Toc24192)7

[5.2 机器人分拣测试 1](#_Toc18259)9

[5.3 蔬果识别与定位测试 2](#_Toc23349)0

[第6章 总结 2](#_Toc13357)1

[参考文献 2](#_Toc11362)2

# 第1章 作品难点与创新

## 1.1 作品难点

为未来蔬果配送提供一套可行的设计方案仍是当下的难点。这一领域的主要挑战包括实现机器人自主路径规划、在有限的硬件计算资源下有效利用这些资源、部署高效的蔬果精确识别算法，以及设计柔性机械爪的控制方案，以及轮式机器人控制方案和友好交互型APP设计。

为实现精确的环境感知和定位，传感器融合技术被广泛应用于智能机器人中。通过融合来自多个传感器的数据，机器人可以获得更准确的环境信息，从而实现自主路径规划。这些数据需要通过复杂的算法进行处理和整合，因此需要设计一种简单高效的三维坐标融合方案。

在硬件计算资源有限的情况下，如何充分利用这些资源也是一大挑战。大多数移动机器人，包括本文设计的轮式机器人，其硬件平台通常由低功耗、高效率的嵌入式处理器（如STM32系列）和强大但相对功耗较高的单板计算机（如树莓派）组成。这些硬件在处理复杂算法时可能会遇到性能瓶颈，因此需要有效的资源管理和优化策略。

蔬果的精确识别是实现高效自动化配送的关键。蔬果识别算法需要在各种光照条件和复杂背景下准确识别和分类不同种类的蔬果。这通常涉及图像处理和机器学习技术，特别是深度学习模型。然而，深度学习模型的训练和推理过程通常需要大量计算资源，这对于嵌入式系统来说是一个挑战。

柔性机械爪的设计和控制也是智能蔬果配送中的一个重要方面。机械爪需要具备足够的灵活性和精确度，以适应不同形状和大小的蔬果，并在抓取和释放过程中不损伤。为此，需要设计复杂的控制算法，包括逆运动学算法和强化学习算法，以实现机械爪的精确运动控制。逆运动学算法用于计算机械爪末端的运动路径，而强化学习算法则通过不断学习和优化，使机械爪能够在实际操作中适应各种复杂情况。

## 1.2 作品创新点

1.2.1 多传感器融合定位策略

为了解决机器人自主路径规划挑战，提出一种创新的多传感器融合算法，旨在实现三维空间中的高精度坐标定位，尤其适用于蔬果等需精密测距的场景。该算法巧妙地结合单摄像头视觉定位技术与VL53L0X激光测距传感器的数据，以互补二者在测距性能上的优缺点。具体而言，VL53L0X传感器以其±20毫米的高精度测量能力在短距离范围内表现出色，尽管其作用范围有限；相反，单目摄像头虽测距精度略低（±100毫米），但却能覆盖更广阔的区域。通过将这两者的测量数据智能融合，本算法可以克服单一传感器的局限性，可提升整体定位精度和实用性。

1.2.2 机械臂强化学习抓取方案

为了解决柔性机械臂精确运动控制的难题，通过融合强化学习算法与逆运动学解算，实现柔性机械臂的抓取和释放方案。该方案有效克服蔬果脆弱的特点，降低配送过程对蔬果的损伤。强化学习算法使机械臂能够在不断的实践中学习并优化抓取策略，而逆运动学解算则确保机械臂运动的精确性和稳定性，从而提高蔬果配送过程的效率和质量。

1.2.3 友好交互型APP

为了让用户有更友好的交互环境，设计一款用户友好的交互型APP，使用户能够与机器人进行实时交互，并即时了解配送进程。通过该APP，用户可以轻松下单并跟踪订单状态，与机器人进行即时沟通，提供配送指示或调整。这种实时交互的方式增强用户体验，使用户参与和掌控配送过程。

1.2.4 结构设计

分类抓取存储系统：创新性地设置了左右两个独立存放框，每个存放框专门用于不同类型物品的分类抓取与存放，优化了货物管理流程，提升了分拣效率。此设计不仅促进了工作流程的有序性，还为后续的物流处理提供了便利。

存放框万向轮设计：在存放框下方安装万向轮，进一步增强了小车的动态响应能力与操作灵活性。万向轮允许存放框在跟随主体移动时保持平稳，即使在快速转弯或不平坦地面上也能确保货物安全，减少了震动与倾斜，提升整体的稳定性和作业精度。

机械爪设计：本文所述设计机器人采用人手型机械爪，在抓取蔬果时避免损伤蔬果，并且提高抓取成功率。

第2章 方案论证与设计

2.1 设计概述

本文所述轮式机器人集成APP交互远程下单、机器人完成蔬果分拣、运输到指定地点，机器人配送完成回到初始地点。完成远程无人配送一体化操作。设计路线图如图2-1所示。

APP远程下单系统采用Vue3框架开发跨平台的移动端应用，优势在于轻量、高效、适合移动设备的特点，通过该框架设计的APP能实时通过公开服务端口接收用户订单，实现配送。

机器人蔬果分拣采用视觉+六自由度机械臂方式完成识别分拣。YOLOv5s轻量化网络作为目标识别算法，能精准、快速识别蔬果类别、获取二维坐标。通过基于强化学习算法的六自由度机械臂控制算法，精准抓取目标。

无人配送采用巡线+摄像头路标识别算法，实现自主移动、停车入库等动作。

|  |
| --- |
|  |
| 图2-1 设计路线图 |

2.2 功能描述

基于深度学习与多传感器引导的智能蔬果无人配送机器人具体功能如下：

设计机器人使其具有巡线功能，实现从停车区出发，自主移动到取货区和配送区，配送完毕后自主移动回停车区。

构建配送场景识别算法使其具有场景识别功能，具体功能为：识别设计路线上道路标识，使其能够执行相对应控制算法，实现机器人自主场景下行为。

设计YOLOv5s蔬果识别模型使其具有蔬果识别功能，机器人能够识别目标种类，进而实现将目标进行蔬菜和水果分类。

设计六自由度机械臂抓取算法使其能够实现蔬果抓取与释放功能。

设计服务端与客户端交互框架使用户实时接收机器人状态信息、订单信息、取货画面等。

2.3 系统构成

本文所述设计机器人控制系统分为电机控制系统、机械臂控制系统、通讯系统、传感器系统组成。其中系统架构如图2-2所示。

|  |
| --- |
|  |
| 图2-2 系统整体架构 |

（1）电机控制系统

光电编码传感器用于车轮测速，并通过增量式PID控制算法计算，产生PWM输出，连接H桥式电机驱动对电机进行闭环控制。

（2）机械臂控制系统

通过树莓派4B与16路舵机控制器进行I2C通讯，产生16段PWM信号，对各个关节舵机角度进行实时控制。

（3）通讯系统

通讯系统分为四部分：用户与服务器通讯系统、树莓派与16路舵机控制器通讯系统、STM32主控互传控制系统、树莓派与STM32蓝牙通讯系统。

用户与树莓派服务器通讯系统：树莓派部署云隧道Ngrok，为其配置动态公共URL，供用户在移动端进行请求发送与接收。

树莓派与16路舵机控制器通讯系统：通过树莓派I2C端口为16路舵机控制器发送控制信号。

STM32主控互传控制系统：STM32双主控之间采用串口进行异步通讯：具体通讯策略为：在树莓派控制状态下，STM32主控1当做传输媒介进行数据传输，实现树莓派与主控2之通讯。在机器人普通路段移动状态下：STM32主控1作为主机为STM32主控2发送控制信号，实现电机闭环控制。

树莓派与STM32蓝牙通讯系统：树莓派蓝牙作为主机与STM32主控1蓝牙模块从机进行串口通讯，实现数据传输。

（4）传感器系统

系统包含传感器为：光电编码传感器、激光测距传感器、摄像头。光电编码传感器采集四路电机实际转速，产生控制信号。激光测距传感器采集与蔬果目标实际距离信息，对机械臂进行实时控制。摄像头1采集蔬果目标二维坐标，单目视觉算法距离估计。摄像头2通过边缘检测、角点检测、逆透视、模板匹配等视觉算法识别道路标识。

2.4 技术指标

2.4.1 外形尺寸

本文设计的机器人尺寸为56cm×65cm×55cm，其中摄像头1距离地面高度为55cm，摄像头2距离地面高度为13cm。蔬果放置框的尺寸为长20cm、宽20cm、高10cm。机械臂总臂长40cm。机器人主视图、左视图与俯视图如图2-3所示。

|  |
| --- |
|  |
| 图2-3 机器人三视图 |

2.4.2 主要部件

本文设计主要硬件为树莓派4B、STM32F103C8T6单片机、H桥电机驱动、MG996R舵机、舵机控制板。各部件具体工作如表2-1所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 表2-1 硬件工作范围 | | |
| 部件序号 | 部件名称 | 具体工作 |
| 1 | 树莓派4B | 视觉定位、图像识别、舵机控制、  APP服务端、I2C通讯 |
| 2 | STM32F103C8T6单片机1 | 编码器采集、电机闭环、I2C通讯 |
| 3 | STM32F103C8T6单片机2 | 电机控制输出、蓝牙串口通讯、  OLED显示屏、I2C通讯 |
| 4 | H桥电机驱动 | 提供稳定电机输出电压 |
| 5 | MG996R舵机 | 六自由度机械臂控制、摄像头旋转杆控制 |
| 6 | 舵机控制板 | 提供稳定舵机输出控制信号 |
| 7 | 激光测距传感器 | 实时测距 |
| 8 | 摄像头1 | 目标识别、单目测距 |
| 9 | 摄像头2 | 路标识别、路径规划 |

第3章 系统的实现

3.1系统实现的硬件架构

本文设计系统的硬件架构分别为主控部分与16路舵机控制器部分原理图及PCB设计图，其中本文设计主控部分为双STM32F103C8T6串口通信建立的双核主控，并通过蓝牙部分与树莓派主控建立连接，实现多主控协同控制方案。16路舵机控制器通过PCA9685芯片内置I2C接收16通道12bit的PWM信号，实现对多个舵机的控制效果。

3.1.1 电路原理图

本设计电路部分主要为主控部分、电机驱动部分、舵机控制板部分。主控电路包含STM32F103C8T6主控、电源电路、按键等线路连接。主控电路原理图、16路舵机控制器原理图如图3-1、3-2所示。

|  |
| --- |
| Sheet_1 |
| 图3-1 主控电路原理图 |
| Schematic_基于PCA9685的16路舵机驱动板1.0_2024-06-03 |
| 图3-2 16路舵机控制器原理图 |

3.1.2 电路PCB设计图

根据以上电路原理图设计本文机器人PCB电路，主控板PCB设计图与16路舵机控制器设计图如图3-3、3-4所示。

|  |
| --- |
| 主控_1 |
| 图3-3 主控板PCB设计图 |

|  |
| --- |
| PCB_PCB_基于PCA9685的16路舵机驱动板1.0_2024-06-03 |
| 图3-4 16路舵机控制器PCB设计图 |

3.2系统软件实现

系统软件实现分为前期数据处理与关键技术实现策略。其中前期数据处理包含蔬果数据集的选择与构建及路标数据集的选取。关键技术实现为具体算法实现步骤与效果。

3.2.1 前期数据处理

为提升蔬果目标识别精度，本文蔬果数据集采用开源数据集结合自建数据集的形式，提升模型泛化能力。而道路标识数据集采用MNIST手写数字数据集，以提高在图像扭曲状态下数字识别成功率。本文所需数据集分为道路标识数据集和蔬果数据集，蔬果数据集来源为roboflow开源数据集平台、Fruit360数据集与自建数据集相结合的方式，图像大小均为640×640。道路标识数据集来源为MNIST手写数字数据集图像大小均设置为20×20。本文蔬果数据集具体信息如表3-1所示，MNIST手写数字数据集如表9-2所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 表3-1 蔬果数据集 | | |
| 数据集来源 | 类别 | 子数据集数量 |
| roboflow开源数据集 | 南瓜、玉米、葡萄、西瓜、香蕉、芒果、青椒、茄子、洋葱、猕猴桃、苹果 | 809 |
| Fruit360开源数据集 | 苹果、猕猴桃、玉米、西瓜、洋葱、香蕉 | 307 |
| 自建数据集 | 南瓜、玉米、葡萄、西瓜、香蕉、芒果、青椒、茄子、洋葱、猕猴桃、苹果 | 1300 |
| 合计 |  | 2416 |

|  |  |
| --- | --- |
| 表3-2 MNIST手写数字数据集 | |
| 类别 | 子数据集数量 |
| 数字1 | 180 |
| 数字2 | 180 |
| 数字3 | 180 |
| 合计 | 540 |

本文自建数据集采用拍摄与数据增强相结合的方式构建自建子数据集，自建数据集示例如图3-5所示，MNIST数据集形态如图3-6所示。

|  |
| --- |
| scaled_27e676b5-64cb-42ca-a87d-020fa0180c42_3_jpg.rf.f9a9cf2c60b203fe71a7509200593addscaled_23bd06c2-8752-4f6d-9204-40c559dec701_1_jpg.rf.e6bde04212c8c1ce403dc302db1aa9eascaled_18debbb1-cb35-4ba3-ba32-8aee84ba5aa8_3_jpg.rf.ea5791b39cc885e733cdb3ba6359add3  scaled_17ee5994-c822-46d3-bc2b-9d0568b83dbd_1_jpg.rf.9c42184fb239b9bf8bf4890efeebd6f9scaled_29dc9da7-1cd9-4b85-9bd6-52ace57b3070_2_jpg.rf.ed30e954a4bd408138218c96940644ecscaled_4a2f24be-fd68-453a-9808-655fa20d9207_3_jpg.rf.3952495495a44185769c33e07c6ba332 |
| 图3-5 自建蔬果数据集形态 |
|  |
| 图3-6 MNIST数据集形态 |

3.2.2 关键技术实现策略

本设计的机器人集成了四项关键技术，旨在实现高效自动化操作，包括：机器人路径识别与导航、实时通讯系统、精确定位与调整机制，以及先进的视觉识别技术。这些技术共同作用于机器人的核心功能：识别环境、精准定位、自主移动及智能分拣。

（a）路径识别与导航技术

为适应多变的环境条件，特别是针对普通路线的单一性和道路标识的多样性，本机器人采用了复合导航策略，结合五路红外循迹技术和摄像头视觉辅助：

常规路径导航：在标准道路上，系统依赖五路红外循迹传感器持续跟踪预设路线，同时，摄像头参与工作，通过分析路径曲率辅助决策，确保行驶方向的准确性。若摄像头捕捉到特殊道路标识，系统即刻触发暂停指令，进入识别流程。

（b）标识识别与响应

取货区识别：识别到数字1则为取货区标识，机器人自动导航至指定蔬果存放区域。利用角点检测技术微调机体姿态，确保精确执行蔬果订单的分类与取货任务。完成取货后，机器人自动返回主路径继续行程。

配送区对接：遇到数字2为配送区标识，机器人驶向相应区域，并再次运用角点检测调整，精确对准投放位置，将蔬果投放至指定区域。

停车管理：识别到数字3为识别到停车区标识，机器人切换至入库模式，摄像头启动角点识别算法，精准导航机器人安全进入停车区域，完成停放。

通过这一系列精细设计的导航与识别技术，机器人能有效应对复杂环境，确保从路径追踪到任务执行的每一步都准确无误，体现自主性和智能化水平。

（c）视觉识别与定位

普通路段行驶视觉辅助：针对常规驾驶环境，系统集成中值滤波方法以消除图像噪声，提升画面质量。结合边缘检测、角点检测、逆透视与模板匹配算法自动识别道路区域，从而实现对车辆行驶轨迹的精确引导。

特定区域的角点识别与车身姿态调整：在进入取货区、配送区或停车区等关键区域时，采用边缘检测算法识别场景中的角点特征，这对于精确确定车辆位置和方向至关重要。基于这些信息，系统能即时调整车身姿态，确保安全、准确地执行停车、转向等操作。

（d）蔬果识别与三维定位

当机器人进入取货区或配送区，摄像头开始实时路况检测算法，调整车身位姿，当达到最佳位姿后，摄像头开始实时目标检测算法，通过轻量级YOLOv5s算法检测蔬果二维坐标，采用单目测距算法融合为三维坐标。

将坐标代入强化学习的六自由度机械臂算法中求解，求解完毕后，树莓派与16路舵机控制器通信，控制机械臂抓取货物，并按照左框存放水果、右框存放蔬菜的方式进行存放。

将货品装载入框之前，控制摄像头支架舵机旋转到货品分类对应框区域，通过边缘检测算法得到边框坐标，求解最佳放置坐标。得到坐标进行机械臂控制算法求解，控制机械臂存放到该位置。

（e）智能分拣

本文所述设计机械臂采用逆运动学解算与DDPG强化学习算法，采用深度强化学习提高抓取成功率，智能分拣系统采用逆运动学与DDPG强化学习融合设计，提升机械臂在复杂环境中的分拣效率与准确性。逆运动学确保精确动作规划，而DDPG算法通过深度学习不断优化抓取策略，使机械臂在实践中自我完善，逼近最优解，显著提高任务成功率。

3.3 软件算法实现

3.3.1 多路段控制算法

当未检测到其他道路标识时，运行状态为模式一，采用STM32主控接收红外循迹传感器信号与摄像头信号，实时接收道路标识信息。

当检测到取货区或配送区标识时，切换为模式二，主控采用摄像头路况检测与定位的方式进行控制。

当检测到停车区标识时，切换为模式三，主控采用摄像头拟合中线，控制机器人入库操作，并利用五路红外循迹传感器辅助停车。

路标识别算法分为图像预处理、轮廓检测与分割、角点检测、逆透视与模板匹配相结合的算法，如图3-7所示，图中左侧图为运用该算法进行轮廓检测与分割视图、中间图像为进行逆透视变换后图像，右侧图像为模板匹配算法识别视图，识别结果与实际相符。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | result |
| 图3-7 路标识别 | | |

3.3.2 交互算法

服务端开启并实时检测是否存在用户订单，本设计采用服务端与机器人一体化设计，确保接收信息时效性。若接收到用户订单，则通过蓝牙给STM32主控发送指令，机器人向取货区行驶。当用户选择该机器人后，该机器人为运行中状态，其他用户不得选择该机器人配送。取货与配送过程中可实时传输现场摄像头画面供用户查看，方便用户查看蔬果状态，并可实时查看机器人健康状态。机器人取货并配送完毕后自主回到停车区域。图3-8展示人机交互概念图及本文部分交互算法，部分交互算法如图3-9所示。

|  |
| --- |
|  |
| 图3-8 人机交互概念图 |

|  |
| --- |
|  |
| 图3-9 部分交互算法 |

3.3.3 机械臂强化学习算法

本文设计机器人机械臂为六自由度，其中基底转动关节负责机械臂旋转，在实际抓取中，手腕关节负责机械爪旋转，手指关节负责机械爪抓取。为节约计算资源，简化计算，将手指关节与手腕关节与腕俯仰关节看做一个关节，去除基底转动关节，保留剩余三个关节进行机械臂二维建模，将提取主要关节的三关节机械臂结构，进行机械臂仿真模拟，简化方式如图3-10所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| IMG_256 |  |  |
| 图3-10 机械臂简化 | | |

将优化后的三自由度机械臂模型集成至仿真环境中，并采用深度确定性策略梯度DDPG算法进行训练，1000次迭代后，所得损失函数的变化趋势如下图所示。观察图形数据，可以明确辨识出该算法驱动下的学习过程已达成显著的收敛状态，训练损失曲线如图3-11。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| loss_over_episodes_final | | |
| 图3-11 训练损失曲线 | | |
| 下图展示该算法仿真可视化效果，该算法在模拟实际情况物品摆放位置下末端执行器均能以合适的姿态实现抓取动作，仿真结果如图3-12所示。 | | |
|  |  |  |
| 图3-12 仿真结果 | | |
| 3.3.4 视觉识别算法  视觉识别算法部分采用YOLOv5s轻量化网络，运用前期数据处理所构建的蔬果数据集，在NVIDIA Quadro RTX 8000计算机上训练100epoch，得到如下精度曲线。本文将相机单目测距算法融入YOLOv5s算法中，在标签中展示单目测距算法所测得的相机到蔬果的距离，并在实际抓取中，通过机械臂高度等信息测算出机械爪相对蔬果目标的三维坐标，图3-13展示模型检测效果，模型检测结果如图3-14所示。   |  | | --- | | P_curve | | 图3-13 模型精度曲线 |  |  | | --- | | aa021280f6bb3e4f3570023a56b32701226f8871e3f0f23a97b3c2bc4958bb5686afc67ad36c4be3024e18bf2fbd2 | | 图3-14 模型检测结果 | | | |

第4章 人机交互设计

4.1 服务端设计

开发工具：Pycharm

开发语言：python

测试平台：树莓派4B

服务端采用树莓派部署云隧道工具Ngrok，旨在为本地运行的应用提供一个安全、便捷的远程访问途径。Ngrok通过在公共互联网与树莓派所在的局域网之间建立一个安全的加密隧道，赋予了树莓派上的服务一个动态的公共URL。这一策略极大地方便了用户，尤其是移动端用户，让他们无需复杂的网络配置，即可轻松地向部署在树莓派上的应用发送请求并接收响应。

4.2 客户端设计

开发工具：Visual Studio

开发语言：JavaScript

测试平台：Android12.0

软件名称：蔬果无人运输点单平台

客户端采用Vue.js框架搭建的移动应用程序，旨在为用户提供一个流畅、直观的交互体验，将先进的前端技术与实用功能完美融合。以下是针对几个核心功能的详细扩充说明：

4.2.1 机器人状态实时查看功能

利用Vue.js的响应式数据绑定和WebSocket技术，用户可以即时获取与监控关联机器人的运行状态。界面设计上，采用清晰明的布局，展示工作模式（如取货、配送）、当前所在位置以及健康状况等关键信息。结合Vue的动态组件和路由功能，用户能轻松切换查看所选择机器人的详情，提升用户体验。

4.2.2 机器人选择功能

为满足用户对不同场景或需求的选择，应用内集成了一个功能强大的机器人选择模块。此模块通过Vue.js的列表渲染和过滤功能，展示各式各样的机器人型号，每款机器人都有相应的配送费用及高清图片。用户可以根据自己的需求，通过筛选条件快速定位到理想型号，直接进入购买流程。

4.2.3 蔬果选购下单

结合Vue.js的组件化开发优势和 Vuex 状态管理，构建一个流畅的在线蔬果选购平台。用户能够浏览丰富的蔬果分类，每个商品项展示详尽的信息，包括高清图片、价格。通过Vue Router实现页面间跳转，用户从挑选商品到加入购物车。

4.2.4 配送状态实时查看

借助Vue.js的异步编程支持和后台API交互，用户可以随时追踪已下单商品的配送进度。结合机器人内置服务端推送功能，让用户在第一时间了解订单状态变化。APP界面如图4-1所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 图4-1 APP界面 | | |

4.3 交互设计

软件设计实现手机客户端可以和同在一局域网下的Python服务器端进行信息交互和指令控制，客户端和服务端程序执行流程如图4-2所示。



图4-2 交互网络设计

1. 系统测试与分析

本文设计机器人分四个部分对机器人性能进行测试，分别为机器人移动性能测试、机器人抓取性能测试、机器人识别效果测试。

5.1 机器人移动测试

本文设计机器人移动路线分为三个区域，停车区、取货区与配送区，数字1、2和3分别为对应的区域标识，图5-1直观展示本文配送路线图。机器人移动测试分为驶离停车区测试、普通路段行驶测试、进入取货区测试、离开取货区测试、进入配送区测试、离开配送区测试与机器人进入停车区测试，测试方法为机器人是否自主移动驶离停车区并移动进入普通路线，测试过程与结果如图5-2~5-8所示。

|  |
| --- |
|  |
| 图5-1 配送路线图 |

|  |
| --- |
|  |
| 图5-2 机器人停车区测试画面 |
|  | |
| 图5-3 机器人普通路段行驶测试画面 | |
|  | |
| 图5-4 机器人进入取货区测试画面 | |
|  | |
| 图5-5 机器人离开取货区测试画面 | |
|  | |
| 图5-6 机器人进入配送区测试画面 | |
|  | |
| 图5-7 机器人离开配送区测试画面 | |
|  | |
| 图5-8 机器人进入停车区测试画面 | |

5.2 机器人分拣测试

机器人分拣测试分为两部分，分别为机器人分拣测试与机器人配送测试，详细测试过程图如图5-9、5-10所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图5-9 机器人蔬果分拣测试画面 | |
|  |  |
| 图5-10 机器人蔬果配送测试画面 | |

5.3 蔬果识别与定位测试

蔬果识别与定位测试分为蔬果识别准确度测试和单目测距测试。YOLOv5s算法在本文蔬果识别任务中效果图如图5-11、5-12所示。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | 038ffdb4f16e650564f0f34a190343a | 85a80b0e89addb7b035c4cbdfb0d20d | 089cf712db2c978f6484a69988dc080 | | 202ee1d8c008c2cc06c8b39da3610e7 | 895e1f35a6e9ece6090595a30149fb8 | a957f1fea831c37bf8bc8631bfb93b7 | | 图5-11 YOLOv5s配送任务相机识别画面 | | | | | |
| 65e133267ae4777c7f9b713c52fc7b4 | eb50a8a89d9adf0c6b624e1cb760924 | acfb73a884b65c32c1a9739353721dd | |
| 图5-12 单目测距测试 | | | |

1. 总结

本文设计智能蔬果无人配送机器人，融合深度学习技术与多传感器数据处理，提供一种未来无人配送问题解决方案。项目采用轻量化深度神经网络YOLOv5s，该模型以其高效的推理速度和较高的识别精度，实现对各类蔬果的快速、准确识别，为机器人的拣选作业奠定基础。

在抓取操作上，本设计利用深度强化学习中的DDPG算法，结合逆运动学解算方法，确保机器人臂在复杂环境下的精细操控能力，能够根据识别到的蔬果位置和姿态，执行精准稳定的抓取动作，提高任务成功率。

为使机器人能够在复杂环境中自主导航，本文设计路标识别算法。该算法结合图像预处理、轮廓检测与分割、角点检测、逆透视变换以及模板匹配等技术，有效提升对道路标识的识别准确率，使机器人能够在多场景下，实现自主路径规划。

本文提出的智能蔬果无人配送机器人设计方案，通过深度学习与多传感器技术的紧密融合，提升蔬果识别与抓取的智能化水平，增强机器人的自主导航与避障能力，为未来城市蔬果配送领域提供一个自动化、智能化的解决方案。嵌入式系统与人工智能技术在物流配送领域的深度融合，为提升配送效率、降低成本、优化用户体验开辟新的技术路径。

参考文献

1. G. Qi and Y. Li, "Reinforcement Learning Control for Robot Arm Grasping Based on Improved DDPG," *2021 40th Chinese Control Conference (CCC)*, Shanghai, China, 2021, pp. 4132-4137, doi: 10.23919/CCC52363.2021.9550413.
2. 孔凡国,李志豪,仇展明,王鑫.基于改进YOLOv5-s的火龙果多任务识别与定位[J].电子测量技术,2023,46(18):155-162
3. Y. -C. Liu and C. -Y. Huang, "DDPG-Based Adaptive Robust Tracking Control for Aerial Manipulators With Decoupling Approach," in *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 52, no. 8, pp. 8258-8271, Aug. 2022, doi: 10.1109/TCYB.2021.3049555.
4. 沙林秀,曾童年.基于深度强化学习的机械臂动态目标跟踪控制[J].实验技术与管理, 2023, 40(6):128-134.
5. 刘明治,刘春霞.柔性机械臂动力学建模和控制研究[J].力学进展, 2001, 31(1):8.DOI:10.3321/j.issn:1000-0992.2001.01.001.