

文章编号: 2095-2163(2023)08-0025-06

中图分类号: TP273

文献标志码: A

# 基于 ROS 的超市自助购物机器人系统设计

王春平<sup>1</sup>, 汪家琪<sup>2</sup>, 高金凤<sup>2</sup>

(1 浙江理工大学 科技与艺术学院, 浙江 上虞 312369; 2 浙江理工大学 信息科学与工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 机器人操作系统(ROS)是构建机器人应用程序的一套软件库和工具库,本文设计了一种基于 ROS 的超市自助购物机器人,其结构分为购物层和运动层两层。购物层在上、运动层在下,上层以树莓派 3B+开发板为核心,配合扫码枪和自主结账软件的移动终端实现智能扫码结账的功能。下层以 i7 处理器的 mini 工控机为主,基于 ROS 和远程控制设备实现购物机器人的地图构建、人体跟随及语音导航。相比传统的手推车购物和排队等待结账难等问题,本文设计的机器人从愉悦购物的需求出发,极大解放了人们的手脚,降低了超市人力与维护的成本,具有高度的灵活性和移动性。

**关键词:** 机器人技术; 自助购物; 机器人操作系统; 自主导航; 定位算法

## Supermarket automatic shopping robot system design based on ROS

WANG Chunping<sup>1</sup>, WANG Jiaqi<sup>2</sup>, GAO Jinfeng<sup>2</sup>

(1 Keyi College, Zhejiang Sci-Tech University, Shangyu Zhejiang 312369, China;

2 School of Information Science and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**[Abstract]** Robot operating system (ROS) is a set of software library and tool library for building robot applications. A supermarket automatic shopping robot based on ROS is designed. The robot is divided into two layers with shopping layer above the motion layer. The shopping layer takes the raspberry pie 3B+ development board as the core. It works with the code scanning gun and the mobile terminal installed with the self-checkout software, so that the function of intelligent code scanning checkout is realized. In the motion layer, the mini industrial computer of i7 processor is used as the core, combined with ROS and remote control equipment to realize the supermarket robot's map building, human body following and voice navigation. Compared with the traditional way of shopping with hand push shopping cart and waiting in line for manual cashier without pleasure shopping demand, the proposed automatic shopping robot saves human resources and maintenance and service cost burden with a high degree of flexibility and mobility.

**[Key words]** robot technology; automatic shopping; robot operating system(ROS); autonomous navigation; location algorithm

## 0 引言

随着计算机信息与机器人技术的快速发展,机器人应用范围从最初的军事行业延伸到现在的医疗、工业、服务业等多个领域<sup>[1]</sup>,逐步实现机器人的普及化,如军用侦察机器人、医疗消毒机器人、工业巡检机器人和餐饮服务机器人。其中,机器人在服务业领域的作用尤为突出。在许多大型的超市,传统的手推车购物和排队等待人工收银的方式不仅无法满足人们愉悦购物的需求,还会给超市造成一定秩序维护和服务成本上的负担。另一方面,机器人

操作系统(ROS)是构建机器人应用程序的一套软件库和工具库,是编写机器人软件的灵活框架。ROS 包含驱动程序、先进的算法、强大的机器人开发工具,而且都是开源的,这就进一步地促进了机器人技术的发展<sup>[2-3]</sup>。

本文设计了一种基于 ROS 的超市自助购物机器人,在传统的超市购物机器人<sup>[4]</sup>基础上进行了结构和功能的改进。该机器人分为购物层和运动层,两层之间用 4 根不锈钢钢管支撑。购物层以树莓派 3B+开发板为核心,与扫码枪和安装了自主结账软件的移动终端配合使用,从而实现智能扫码结账的

**基金项目:** 国家自然科学基金(62073296); 浙江理工大学科技与艺术学院科研项目(KY2022006); 浙江理工大学科技与艺术学院教改项目(Kyjg2115)。

**作者简介:** 王春平(1978-),男,讲师,主要研究方向:智能控制与机器人控制研究;汪家琪(1997-),男,工程师,主要研究方向:人工智能与多智能体系统一致性研究;高金凤(1978-),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向:多机器人编队控制与工业过程先进控制理论与技术。

收稿日期: 2023-01-30

功能。运动层以 i7 处理器的 mini 工控机为核心,结合 ROS 和远程控制设备实现该超市购物机器人的地图构建、语音导航、人体跟随。远程控制设备和安装了自主结账软件的移动终端均是通过无线局域网与 i7 处理器的 mini 工控机和树莓派 3B+ 开发板建立连接,具有高度的灵活性和移动性。

### 1 自助购物机器人系统

自助购物机器人系统是由购物层和运动层组成的,购物层以树莓派 3B+开发板为核心,扫码枪通过无线局域网与安装了自主结账软件的移动终端连接完成结账;运动层以 i7 处理器的 mini 工控机为核心,通过无线局域网与远程控制设备连接,并利用思岚 A1 激光雷达和 kinect 一代深度摄像头实现地图构建和人体跟随。此外,该超市购物机器人上装配语音交互模块和底层控制模块,可执行语音导航控制和底层的硬件驱动等功能,具体框架结构侧视图如图 1 所示。

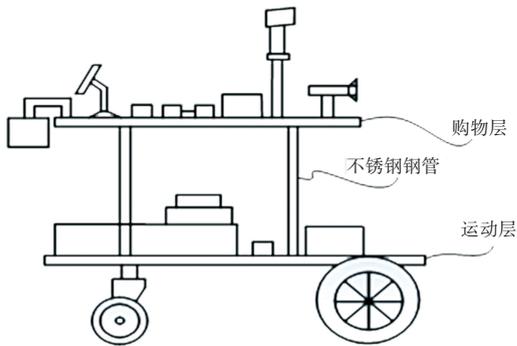


图 1 基于 ROS 的超市自助购物机器人框架

Fig. 1 Self shopping robot diagram of supermarket based on ROS

#### 1.1 扫码枪与开发板通信

系统测试的时候,树莓派 3B+开发板上除了接入扫码枪,还外接了多种输入设备包括键盘、鼠标、U 盘。除此之外,由于要在树莓派 3B+开发板上执行扫码枪读取条形码信息功能,需要将该信息传输给移动终端,这 2 个功能会出现冲突,无法同时运行。这一难点可以借助于扫码枪配对程序中多线程方法来解决。一个线程获取扫码枪传来的条形码数据,另外一个线程将该数据传输给移动终端。

#### 1.2 移动终端 App 的设计

对于移动终端 App 的设计,采用 Appinventor 在线编辑软件。在进行自助结账时,Appinventor 中字符串类型的“价格”不需要转换成数值类型就可以直接进行相加减。移动终端 App 一共设有 3 个界面,通过 App 上的按钮进行切换。Screen0 是主页界面设

计,Screen1 是功能界面,Screen2 是付款成功界面。自主结账软件设计流程如图 2 所示。

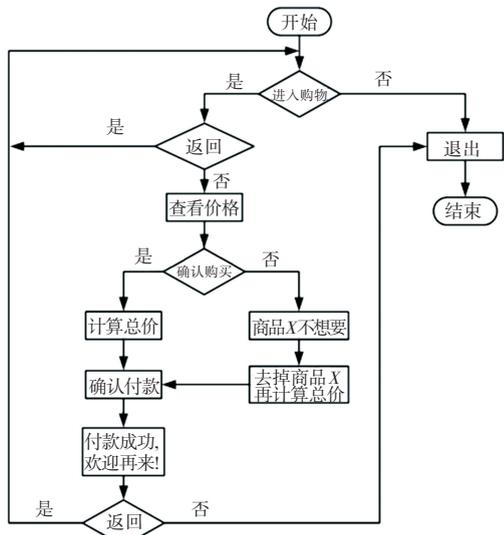


图 2 自主结账软件设计流程图

Fig. 2 Software design flow chart of self-checkout

#### 1.3 硬件电路设计

硬件电路主要包括 4 大模块,即底层控制模块、电源模块、电机驱动模块、惯性测量单元(IMU),如系统的硬件电路框架如图 3 所示。在购物层端,扫码枪和安装了自主结账软件的移动终端分别通过 USB 和无线局域网与树莓派 3B+开发板相连,更侧重于软件设计,仅需设计电源模块的电路图。在运动层端,思岚 A1 激光雷达、Kinect 一代深度摄像头、语音交互模块均是通过 USB 直接与以 i7 处理器的 mini 工控机相连,且远程控制设备通过 ssh 协议与工控机相连,硬件设计则着重体现在电源、底层控制以及集成在其中的电机驱动模块与惯性测量单元。

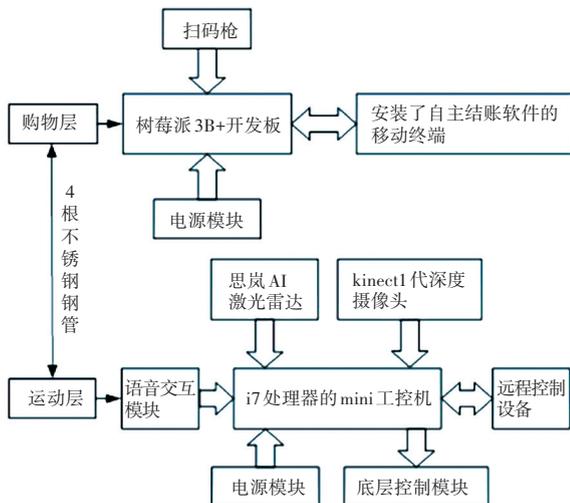


图 3 购物机器人系统的总体结构框图

Fig. 3 The structural block diagram of the shopping robot system

### 1.3.1 底层控制模块

STM32F103RCT6 是该超市购物机器人运动层底层控制模块的核心。底层控制模块包含了传感器数据的获取、运动学解算、电机控制等底层驱动功能和机器人的运动功能<sup>[5-10]</sup>。底层控制模块向上层的

i7 处理器 mini 工控机发送机器人的里程计信息、电机转速信息、IMU 传感器数据、电池电压数据等传感器信息。工控机向底层控制模块发送速度指令和里程计校准参数等高级控制数据。STM32F103RCT6 的电路如图 4 所示。

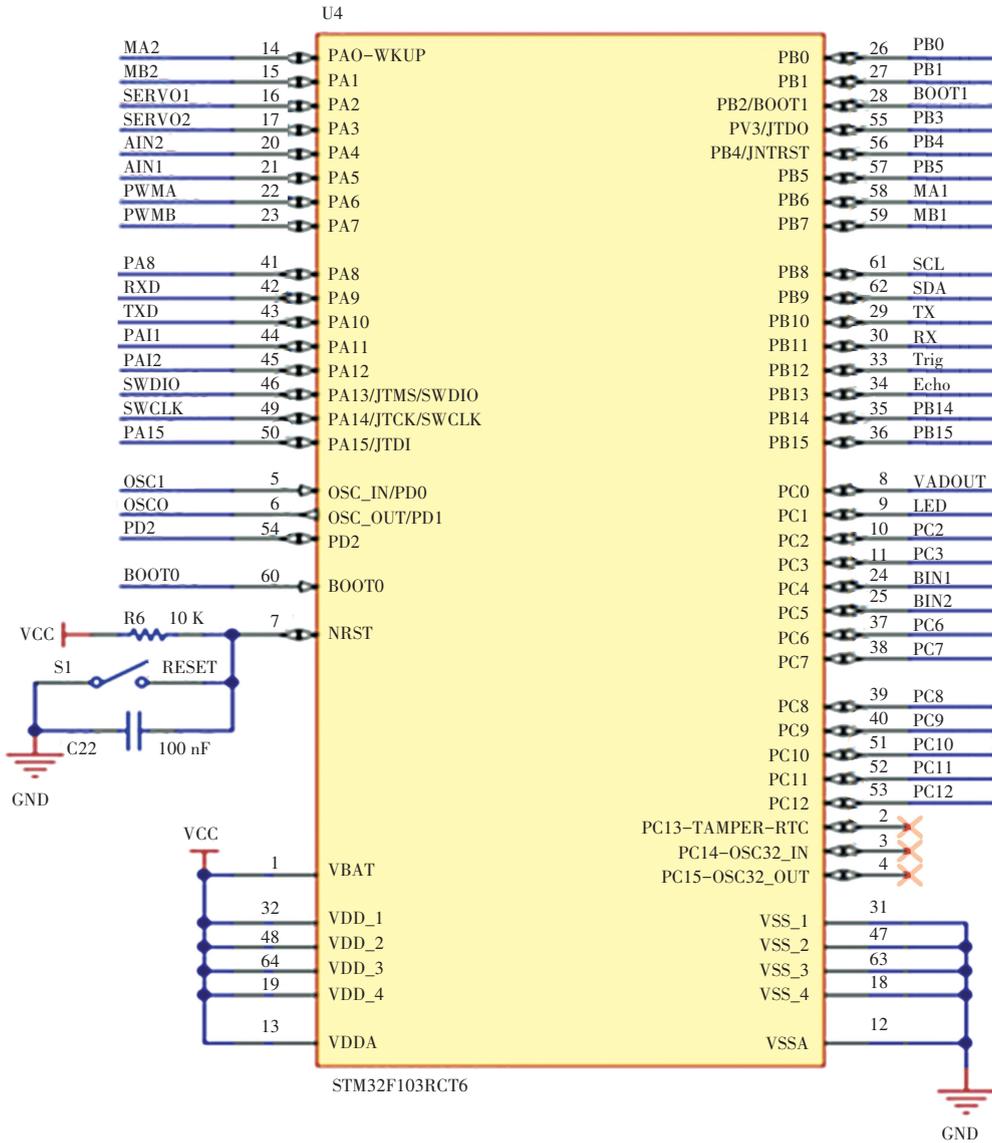


图 4 STM32F103RCT6 电路图

Fig. 4 The STM32F103RCT6 circuit diagram

### 1.3.2 电机驱动模块

电机驱动模块采用的是 TB6612 驱动模块, 是基于 MOSFET 的 H 桥集成电路。TB6612 设计原理如图 5 所示, 效率远高于晶体管 H 桥驱动器。相比 L298N 的热耗性和外围二极管续流电路, 无需外加散热片, 效率高, 外围电路简单, 只需外接电源滤波电容就可以直接驱动电机, 利于减小系统尺寸。具体的电路如图 6 所示。

### 1.3.3 惯性测量单元

MPU6050 是惯性测量单元的一种, 在内部整合了三轴陀螺仪和三轴加速度的传感器, 并且具有一个数字运动处理引擎, 方便姿态的解算, 并且可以降低主处理器的运行负荷, 三轴加速度可以测量 3 个方向的直线加速度, 三轴陀螺仪可以测量 3 个轴的旋转角速度, 通过姿态解算算法实现姿态的解算<sup>[11]</sup>。具体的设计电路如图 7 所示。

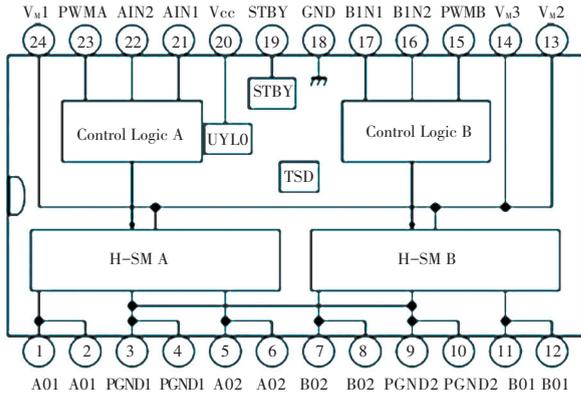


图5 TB6612原理图

Fig. 5 The schematic diagram of TB6612

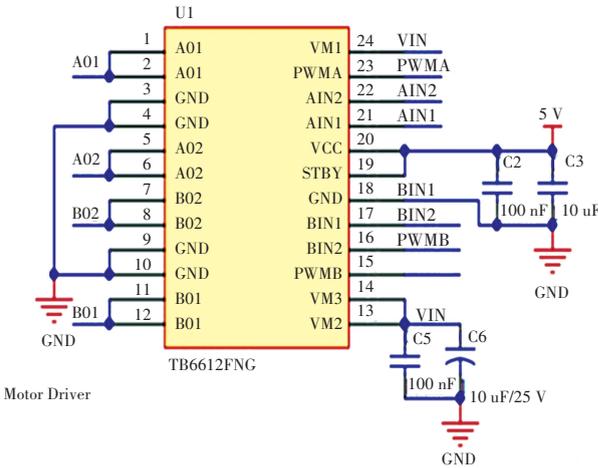


图6 电机驱动电路图

Fig. 6 The motor drive circuit diagram

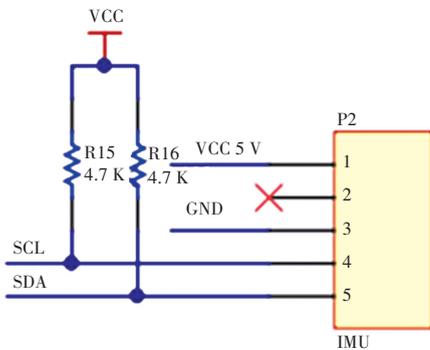


图7 MPU6050电路图

Fig. 7 The circuit diagram of MPU6050

有关电机、底层控制模块、TB6612 驱动模块、MPU6050 的正确连接方式见表 1。此处 TB6612 的 VM1 端口接 12 V, STBY 端口接 5 V, VCC 端口接 5 V, PWM 连接 2 组电机, PWMA 接 A 组, PWMB 接 B 组。

表 1 各模块的引脚分配

Tab. 1 Pin assignment of each module

电机	TB6612	STM32	MPU6050	含义
+	A01	/	/	控制电机正转
GND	GND	GND	GND	接地
B	/	PB6	/	编码器计数减
A	/	PA0	/	编码器计数增
5 V	5 V	/	VCC 5 V	接 5 V 电源
-	A02	/	/	控制电机反转
/	/	PB8	SCL	控制线
/	/	PB9	SDA	数据线

1.3.4 电源模块

本系统设计了 2 个电源模块,分别为购物层和运动层提供可靠的工作电压。不仅需考虑电压范围和电流容量等基本参数,还要在电源转换效率、降低噪声、防止干扰等方面进行优化。购物层采用 12 V、8.4 A 锂电池,通过降压模块,将其转换成 5 V 固定电压驱动树莓派 3B+ 开发板;运动层采用 12~48 V、22 A 的锂电池,通过 12V 电源稳压模块给 i7 处理器的 mini 工控机供电。然而在底层控制模块里,不是所有的子模块都是 12 V 供电的。比如 MPU6050 的标准供电电压是 5 V,因此需要一个电压转换模块将 12 V 电压转换成 5 V 稳定电压。具体的电压转换电路如图 8 所示。

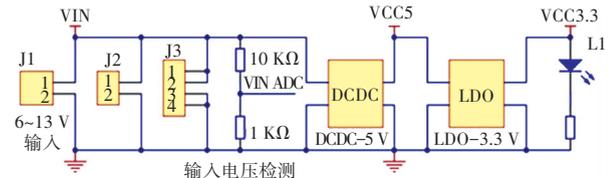


图8 电压转换电路图

Fig. 8 Voltage conversion circuit diagram

2 自助购物机器人导航算法设计

机器人运动层端的算法设计主要包括 Gmapping 建图算法、语音导航算法、kinect 一代深度摄像头人体跟随算法。整个系统的程序运行流程如图 9 所示。

2.1 Gmapping 建图算法

Gmapping 是一种常用的同时定位与地图构建 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) 算法,通过激光雷达等传感器收集环境信息,实现对机器人所在环境的建图和定位。Gmapping 算法的核心思想是将地图构建问题转化为一个最优化问题,通过优化机器人在环境中的运动轨迹和地图中的障

碍物分布,得到一个最优的地图模型。Gmapping 算法的实现分为 2 个步骤:机器人定位和地图构建。

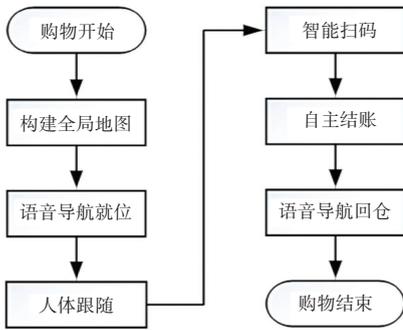


图 9 系统程序流程图

Fig. 9 Flow chart of system program

Gmapping 算法通过对机器人位置的精确估计,来纠正激光雷达传感器测量中存在的误差。具体采用基于粒子滤波器的定位算法,在概率分布上进行多次采样和更新,得到机器人位置的最优估计。

Gmapping 算法地图构建通过对激光雷达测量数据进行处理,提取环境中的障碍物信息。具体将激光雷达测量数据转换为栅格地图,并利用贝叶斯滤波算法来更新栅格地图中的障碍物分布。同时,Gmapping 算法还会对地图进行优化,使得机器人的轨迹更加顺畅,并提高地图的准确性和稳定性。

### 2.2 语音导航算法

语音导航算法用来完成地图构建之后的就位和智能扫码结账之后的回仓,语音交互模块带声源定位功能,每次对着语音交互模块说话时,会出现一个最亮的灯,代表此时最亮灯方位声源最强。语音导航算法将 A\* 全局路径规划和 DWA 局部路径规划导航算法与语音控制算法相结合。

机器人语音导航包含以下步骤:语音识别、自然语言理解和语音合成。机器人利用麦克风等传感器感知用户的语音指令,通过语音识别技术将语音信号转换为文本形式,以方便后续的处理和分析。在自然语言理解步骤中,机器人会对用户输入的文本进行分析和理解,实现对用户需求的识别和分类。将文本转换成信号发送给运动控制器。机器人需要考虑到用户可能存在的多义性或歧义性,确保识别的准确性和稳定性。最后,机器人将处理好的文本信息转换为语音信号,并通过扬声器等设备输出给用户,实现与用户的自然语音交互。

### 2.3 运动跟随算法

人体运动跟随算法通过机器人对人体姿态、移动速度和距离等信息的感知和分析,实现对人体运

动的预测和响应,达成机器人的跟随功能。本文的设计运用了开源的 turtlebot\_follower 功能包。该功能包利用深度摄像头反馈的点云图,计算一定区域内的点云中心坐标作为目标跟随点,并通过深度学习技术识别出人体的位置和大小,还考虑了存在的干扰物或障碍,根据坐标和设置的安全距离控制底盘实现移动跟随。

机器人对人体的姿态、运动速度等信息进行分析,预测人体的下一步运动方向,从而决定机器人的跟随策略。在此过程中,机器人需要利用计算机视觉等技术进行数据处理和分析,实现对人体运动的实时跟踪。实验证明 Gmapping 建图效果与人体跟随测试都很成功,实际测试结果如图 10 所示,图 11 为基于 ROS 的超市购物机器人实际系统侧视图。

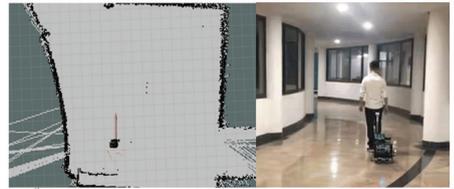


图 10 Gmapping 建图效果与人体跟随测试

Fig. 10 The Gmapping built figure effect and human body following test diagram



图 11 基于 ROS 的超市购物机器人系统侧视图

Fig. 11 The side view diagram of supermarket self-shopping robot system based on ROS

## 3 结束语

本文设计了一款基于 ROS 的超市自助购物机器人,双层结构设计既可以让购物层和运动层各负其责、互不干扰,又能大大节约布局空间。经过实际测试,该机器人能够较好、较快地完成地图构建、语音导航、人体跟随、智能扫码结账等功能。最大的不足就在于缺乏构建基于 ROS 的多机器人系统标准方法,今后的研究可着重聚焦在基于 ROS 的多机器人协同控制算法与实际测试。