

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2021.03.013

基于 ROS 的移动机器人控制系统

金珍珍¹, 周卫华¹, 郑军², 郑鹏飞¹

(1. 台州职业技术学院 机电工程学院, 浙江 台州 318000; 2. 浙江大学台州研究院, 浙江 台州 318000)

摘要:针对当前机器人控制系统复用性和可移植性差的现状,课题组提出了基于机器人操作系统 ROS 的移动机器人控制系统。该系统上位机采用装载 Ubuntu 以及 ROS 操作系统的树莓派作为控制器,利用激光雷达和深度相机接收外界环境信息,通过路径规划算法分解并控制电机的运动,来实现自主避障等功能。课题组设计并制作了样机。实验结果表明:该系统不仅可用多种方式实现对机器人的控制,具备自主定位、建图和避障导航等功能,具有控制精度高、成本低、模块化设计和易拓展等优点。

关键词:移动机器人;机器人操作系统;STM32 控制器;激光雷达;深度相机

中图分类号:TP242.6 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2021)03-0073-04

Mobile Robot Control System Based on ROS

JIN Zhenzhen¹, ZHOU Weihua¹, ZHENG Jun², ZHENG Pengfei¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000, China;
2. Research Institute of Zhejiang University-Taizhou, Taizhou, Zhejiang 318000, China)

Abstract: In view of the poor reusability and portability of current robot control system, a mobile robot control system based on ROS (robot operating system) was proposed. The upper computer of the system used raspberry pie loaded with Ubuntu and ROS operating system as the controller, using laser radar and depth camera to receive environmental information, and decompose and control the movement of the motor through the path planning algorithm, to achieve autonomous obstacle avoidance function. A specific prototype was made and the experimental results show that the system can control the robot in various ways, and it has the functions of autonomous positioning, mapping and obstacle avoidance navigation. It has the advantages of high control precision, low cost, modular design and easy expansion.

Keywords: mobile robot; ROS (Robot Operating System); STM32 controller; light radar; depth camera

近几年来,随着机器人技术的迅速发展,智能移动机器人在仓储物流和工业生产等领域应用广泛^[1]。人工智能、传感器技术和控制理论不断发展更是促进机器人向着越来越智能的方向发展^[2]。机器人控制系统的搭建是个庞大而复杂的工程,而机器人硬件和软件资源越来越丰富,给软件开发设计人员带来更大的挑战^[3]。如果能提高机器人系统各模块的复用性和可移植性,就可以在不同的机器人上分享和复用这些已经实现的功能,这将给设计人员节省了大量的重复劳动时间,可以更加便捷快速地完成工作。ROS

操作系统的出现极大地解决了设计师们的难题。ROS 系统的开源特性和分布式结构得到了众多机器人开发者的青睐^[4-5],框架中各个功能独立存在,可独立设计、编译和运行,也可以以功能包的形式发布在 ROS 社区与他人共享,便于传播和分发^[6]。

课题组设计的智能移动机器人以装载 ROS 系统的树莓派作为主控上位机,采用激光雷达和深度相机等检测设备,自行搭配嵌入式下位机,可对移动机器人实现多种方式的运动控制、定位及自主导航等功能,深度开发 ROS 系统,便捷增减功能模块,为进一步深入

收稿日期:2020-12-09;修回日期:2021-04-06

基金项目:2020 年度浙江省教育厅高等学校访问工程师“校企合作项目”(FG2020225);2020 年台州市科技项目(2001gy16)。

第一作者简介:金珍珍(1982),女,浙江台州人,硕士,讲师,主要研究方向为机器人技术。E-mail:5442285@qq.com

研究机器人导航算法等提供了可靠的硬件平台。

1 智能机器人控制系统方案设计

智能移动机器人控制系统采用顶层与底层控制相结合的方式来实现地图构建与自主导航^[7]。顶层控制系统使用树莓派 4B 作为上位机, 装载 Ubuntu 18.04 以及 ROS Melodic 操作系统, 通过 USB 接口连接激光雷达, 接收外界环境信息给树莓派进行处理, 在移动过程中通过连接深度相机实时上传拍摄信息。底层控制系统以 STM32 控制器为核心, 接收来自顶层控制的速度命令, 输出 PWM 信号给电机驱动控制带编码器的电机转动, 并根据电机的速度反馈回 STM32 控制器来实现闭环控制。同时配备了 IMU 加速度陀螺仪传感器来校准各种参数。另外配备蓝牙、PS2 有线手柄和航模遥控等设备对机器人进行控制, 并提供了串口 1 和 CAN 接口方便用户拓展控制。STM32 控制器和树莓派 4B 之间通过串口通信来实现数据传输^[8]。机器人设计框图如图 1 所示。

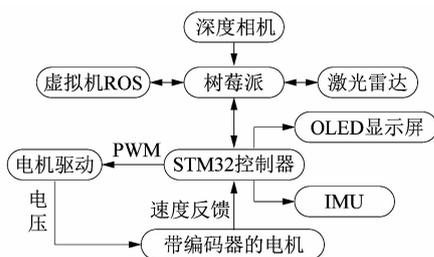


图 1 机器人设计框图

Figure 1 Block diagram of robot design

1.1 底层控制系统硬件设计

底层控制系统以 STM32F103RCT6 最小系统板为控制核心, 组成一个功能完善的微型系统, 硬件成本低, 通用性强, 使用 KEIL 环境开发, 程序可自主设计, 方便移植^[9]。

STM32 运动底盘上集成了型号为 MPU6050 的 IMU 传感器, 该 IMU 集成了三轴角速度计和三轴加速度计, 控制器采集 IMU 数据后发送给 ROS^[10]。

OLED 显示屏主要显示当前机器人的型号和 Z 轴零点漂移数据、Z 轴角速度、左右电机的目标值与测量值、舵机 PWM 控制值、控制模式、使能开关和电池电压等。

电机驱动板采用 12 A/24 V 双路 MOS 大直流有刷电机驱动器, 内置过电压、欠电压和过热保护电路。机器人电机采用 MD36N 35 W 直流有刷电机, 自带 500 线 AB 相光电编码器, 可用作转速反馈以及里程

计, 用来控制直径为 125 mm 的实心橡胶轮。机器人前轮设有转向机构, 后轮提供双电机提供动力, 可以有效适应凹凸不平地面, 实物如图 2 所示。

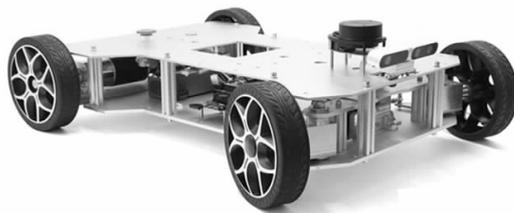


图 2 智能移动机器人

Figure 2 Intelligent mobile robot

1.2 顶层控制系统硬件设计

智能移动机器人的顶层控制系统的硬件核心为一台装载 Ubuntu 18.04 以及 ROS melodic 的树莓派 4B, 具有 2 GiB 内存, 内含 2 个 USB3.0 接口和 2 个 USB 2.0 接口。在装载相同的操作系统和 ROS melodic 的移动电脑上通过远程挂载的方式可远程监视和控制机器人移动状况。树莓派 4B 通过深度相机和激光雷达获取的环境数据进行数据处理后实现建图, 并根据建好的地图实现自主避障导航。同时把底盘运动信息和传感器信息等数据通过无线路由器发送给移动电脑, 移动电脑接收数据后对此进行分析和处理, 并通过无线路由器向树莓派 4B 发送任务指令对机器人进行远程控制。

2 机器人软件设计

2.1 机器人 STM32 程序控制

为了实现多种模式的命令控制, STM32 控制器根据任务的优先级决定任务的执行顺序, 每个任务执行时间很短, 等同于所有任务同时执行, 期间如发生中断则去响应中断。串口 2 中断用于 APP 蓝牙控制, 串口 3 中断用于接收 ROS 传过来的信息。图 3 所示为 STM32 控制器程序执行流程, 其中的任务排序不代表任务优先级。

2.2 ROS 设计框架

机器人的建图导航需要 IMU、里程等数据, 可通过树莓派直接连接并采集这些传感器的信息。为了建立可靠且高效的机器人控制系统, ROS 框架建立在充分利用开源社区资源的基础上, 把各个功能包和节点实时有效地组合起来^[11]。

树莓派主要实现传感器的数据采集、环境地图创建、定位及导航规划及运动命令的发送等, ROS 系统提供了强大的可视化工具, 可远程实时观测当前机器人的状态^[12-13], 具体如图 4 所示。

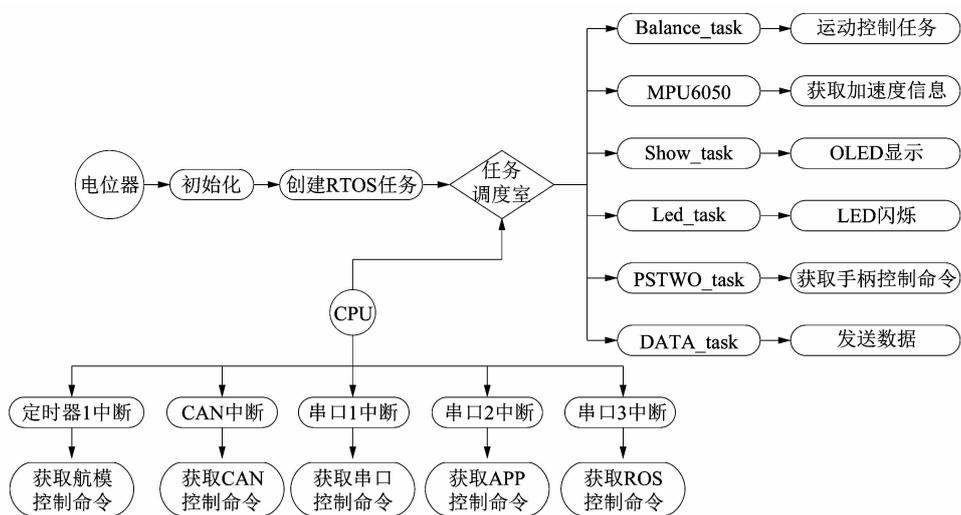


图 3 STM32 控制器程序执行流程图

Figure 3 Program execution flow chart of STM32 controller

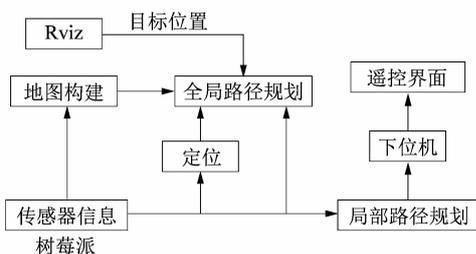


图 4 机器人执行系统框图

Figure 4 Block diagram of robot execution system

3 实验

为了测试智能小车建图和避障导航功能的可靠性,在小车制作完成后对它进行了各项功能测试。

3.1 建图测试

小车上电,移动电脑连接小车 Wi-Fi,用 SSH 命令远程登录小车的树莓派系统,输入密码;启动建图命令。同时在远程电脑终端开启 Rviz 命令观测。地图构建过程中小车的运动由 APP 蓝牙控制。图 5 所示为测试环境图片。图 6 所示为小车构建的地图。



图 5 测试实际环境

Figure 5 Actual testing environment

图 6 中黑色线条为障碍物,灰色部分为安全区域,深色区域为未知区域。

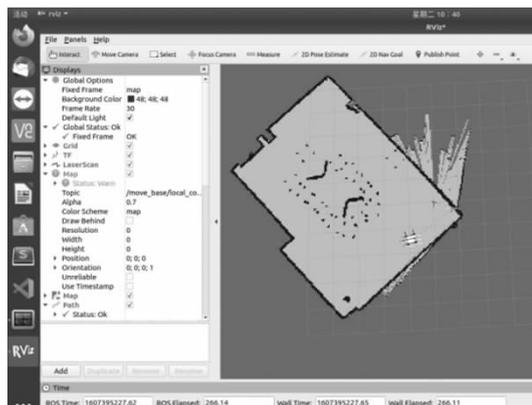


图 6 小车所建地图

Figure 6 Map built by car

3.2 避障导航测试

建图后对地图进行保存,把小车放在建图时的起点位置,以起点为原点,创建一个坐标系(X 轴为横轴, Y 轴为纵轴),小车车头与 Y 轴重合。执行导航命令开启机器人底层节点和机器人导航相关节点。为了更加直观,导航目标直接使用 Rviz 通过鼠标拖拽设定。移动电脑终端运行 Rviz 命令,使用 2D Nav Goal 功能设定目标位置。从测试结果来看,在行进过程中,地图会为小车提供多种可能的路径,小车沿着其中的一条路径前进或倒退,而且总能有效识别环境中的障碍物,并正确规避障碍物运动。

3.3 控制精度测试

在导航测试中,随机设定 8 个目标点,给定目标位置的坐标值,再测量机器人到达目标位置的情况来计

算机器人的导航精度。根据小车的目标位置和到达位置的数据比对,进而得到导航的平均精度。导航实验数据如表 1 所示。

表 1 导航实验数据

Table 1 Navigation experiment data

序号	目标位置			到达数据			位置误差/cm	角度误差/(°)
	X/cm	Y/cm	角度/(°)	X/cm	Y/cm	角度/(°)		
1	300	-3	80	305	-8	79	7.1	1
2	452	5	65	448	5	67	4.0	2
3	550	-15	35	552	-16	34	2.2	1
4	200	-105	0	196	-108	-3	5.0	3
5	270	-45	0	267	-52	2	7.6	2
6	205	365	10	201	363	12	4.5	2
7	210	395	90	207	398	87	4.2	3
8	145	100	45	142	98	43	3.6	2

由表 1 数据分析可得到智能移动机器人的平均导航位置精度为 4.3 cm,平均角度精度为 2°,基本满足设计要求。设计精度有待在以后的进一步研究中提高。

4 结语

课题组基于 ROS 系统设计了智能移动机器人控制系统。该系统以分层结构设计,上位机采用树莓派作为控制器,利用激光雷达和深度相机作为外界环境信息采集系统,下位机以 STM32 控制器为核心,能与上位机进行有效的数据交互。通过实验测试结果分析了机器人控制系统的性能,验证了系统的有效性,基本满足机器人导航算法研究的要求。相比其他控制系统,该系统控制精度高,模块化设计,功能拓展便捷,成本低,能够较好地满足复用性和可移植性的要求。本研究控制系统为移动机器人的研究提供了参考,导航算法及路径规划在后续的研究中有待进一步优化和完善。

参考文献:

[1] 周卫华,张德发. 四轮移动机器人平台的设计与实现[J]. 电气自动化,2018,40(5):10-12.

[2] 张鹏,高放,双丰. 基于 ROS 的全向移动机器人控制系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018,533(7):89-92,

96.

[3] 刘昊. 基于 ROS 的移动操作机器人设计与开发[D]. 上海:上海交通大学,2018:2.

[4] 王吉栋,王顺,温勇壮,等. XY-3-RPS 混联机器人设计和运动学仿真[J]. 轻工机械,2020,38(6):5-10.

[5] 王鸿誉. 基于 ROS 轮式机器人视觉导航系统的设计与实现[D]. 天津工业大学,2018:5.

[6] 寿佳鑫,张志明,苏永清,等. 基于 ROS 和激光雷达的室内移动机器人定位和导航系统设计与实现[J]. 机械与电子,2018,36(11):76-80.

[7] 杨俊驹. 动态环境下基于 ROS 的移动机器人路径规划技术研究[D]. 苏州:苏州大学,2016:14.

[8] 宋旺达,倪受东,马冬. 4 足机器人多步态规划与仿真[J]. 轻工机械,2020,38(5):43-48.

[9] 曾俊皓. 基于 ROS 的移动机器人系统平台的设计与实现[D]. 广州:华南理工大学,2018:11.

[10] 陈鹏. 基于室内视觉定位的轮式机器人主动建图与导航避障研究[D]. 成都:电子科技大学,2020:26.

[11] 易文泉,赵超俊,刘莹. 移动机器人自主定位与导航技术研究[J]. 中国工程机械学报,2020,18(5):400-405.

[12] 刘昊,盛鑫军,张恒,等. 基于多传感器融合的移动操作机器人定位与导航系统设计[J]. 机电一体化,2018,24(3):35-40.

[13] 胡春旭. ROS 机器人开发实践[M]. 北京:机械工业出版社,2018:227.