

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.02.020

基于 ROS 的开源移动机器人系统设计*

李建勇, 刘雪梅, 李雪霞, 杜博阳
(西北工业大学明德学院, 陕西 西安 710124)

摘要:针对当前研究室内环境同时定位与地图构建(SLAM)中所用机器人成本高等问题,对机器人操作系统(ROS)进行了研究,以开源卡片式电脑树莓派2B为核心搭建了开源移动机器人硬件平台,利用ROS的分布式处理框架进行了系统软件的开发,设计了一种低成本、高性能的开源移动机器人系统以开展SLAM等方面的研究,并开展了详细的性能测试。实验结果表明,该移动机器人系统不仅设计方案可行,实现了把机器人平台节点信息无线传输到服务器节点并能远程控制机器人进行精确移动,还具有成本低、性能高和易扩展等特点。

关键词:SLAM;ROS;移动机器人;分布式处理框架;路径规划

中图分类号:TP242

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)02-0205-04

Design of system for open source mobile robot based on ROS

LI Jian-yong, LIU Xue-mei, LI Xue-xia, DU Bo-yang
(Northwestern Polytechnical University Ming De College, Xi'an 710124, China)

Abstract: Aiming at the question of the high cost of robot which was currently used to study the simultaneous localization and mapping (SLAM) of the indoor environment, the robot operating system (ROS) was studied. An open source hardware platform was built with the open source card computer of Raspberry pi 2B as the heart. The development of system software was carried out by using the distributed processing framework of ROS. A low-cost and high-performance open source mobile robot was designed to carry out the research on SLAM and other aspects, and the detailed performance test was carried out. Test results indicate that the design proposal of the mobile robot system is not only feasible, can transmit the robot platform node information wirelessly to a server node and remotely control the robot to move accurately; it also can be characterized as low cost, high performance and easy expansion.

Key words: SLAM; ROS; mobile robots; distributed processing framework; path planning

0 引言

随着科技的发展,移动机器人越来越多在工业、农业、军事和医学等领域得到广泛的应用^[1],然而要使移动机器人实现自主化首先面临的问题就是如何实现机器人创建所处环境的地图并同时利用该地图进行定位(即同时定位与地图创建^[2-3]),现已成为国内外许多研究机构和学者研究的重点,并开发了各种各样的移动机器人进行相关方面的研究,例如:法国的 HILARE 移动机器人、美国 DARPA 公司的自主陆地车 ALV、美国 Activmedia 公司的 Pioneer 系列机器人、中科院自动化所的室内自主轮式机器人 CASIA-I、清华

大学的 THMR 机器人和上海交通大学的交龙机器人等。虽然这些机器人性能强大,但是价格昂贵、软件代码不开源且通用性差,如果从头到尾开发机器人的软硬件系统会造成开发难度大和周期长等问题。

针对这些不足,本研究采用开源机器人操作系统(ROS)^[4],设计一种低成本、高性能的开源移动机器人系统进行 SLAM 等方面的研究^[5]。

1 ROS 简介

ROS 是面向机器人的开源的后操作系统,能够提供类似传统操作系统的诸多功能^[6],如硬件抽象、底层设备控制、常用功能实现、进程间消息传递和程序包

收稿日期:2016-09-22

基金项目:陕西省教育厅专项科研计划项目(15JK2164)

作者简介:李建勇(1982-),男,河南周口人,硕士,讲师,主要从事嵌入式系统、机电一体化和仪器仪表等方面的研究。E-mail:Ljy518888@126.com

管理等。此外,它还提供相关工具和库,用于获取、编译、编辑代码以及在多个计算机之间运行程序完成分布式计算。

ROS 其实也是一种分布式机器人软件框架^[7],采用当前流行的面向服务的软件技术,通过网络协议将节点(进程)间数据通信解耦以能轻松集成不同语言不同功能的代码^[8],这些过程可以封装到数据包(Packages)和堆栈(Stacks)中,从而使在不同的机器人上无需改动就能分享和重用这些代码,因此具有点对点设计、不依赖编程语言、精简、集成和开源等特点。

2 移动机器人硬件系统设计

该移动机器人系统不仅要求成本低,还要实现模块化、灵活性强、易扩展等开源设计,以满足开展多方面课题研究的需要。

2.1 移动机器人平台本体设计

该移动机器人车体为铝合金材质,其车身尺寸为 50 cm × 30 cm × 20 cm,载重 30 kg,能灵活装载多种传感器和设备以满足开源需要,其实物如图 1 所示。

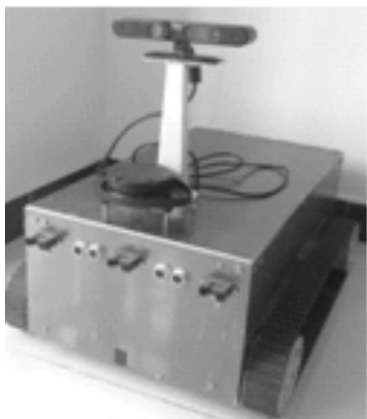


图 1 移动机器人实物

机器人采用双轮差分驱动的履带式行走机构,其驱动轮和从动轮都使用直径为 10 cm 的同步带轮,并使用 4 cm 宽的双面同步带作为履带。机器人两侧后轮为驱动轮,各安装 12 V 大扭矩直流电机进行驱动,使机器人最快移动速度可达 1 m/s,其两侧前轮为从动轮,各安装分辨率为 600 P/R 的 AB 两相增量式旋转编码器来测机器人两侧左、右轮移动的速度和位移。

2.2 移动机器人硬件系统设计

移动机器人硬件系统主要由开源机器人平台控制系统和服务器两部分构成,其结构框图如图 2 所示。

开源机器人平台控制系统主要由主控制器、XTION 体感器、XV-11 激光传感器、9 轴 IMU 模块、位置控制模块和电源模块等组成,不仅能独立工作以实现移动机器人的控制、定位和避障等功能,还能把各种传感器信息经 WIFI 上传服务器并能接收服务器软件

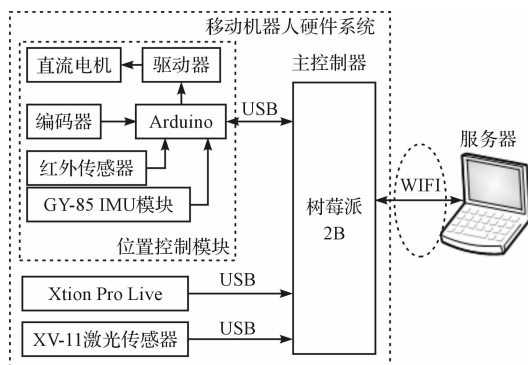


图 2 移动机器人硬件系统结构框图

所下发的命令控制机器人进行移动。主控制器采用了风靡全球的开源卡片式电脑 Raspberry Pi 2B,搭载主频为 900 MHz、内含 4 个 ARM Cortex-A7 核心的 BCM2836 处理器,配备 1 G 内存和多种外设,安装 Raspbian 操作系统和 ROS,通过 EP-N8508GS 无线 USB 网卡与服务器进行无线网络通信。位置控制模块主要由开源软硬件平台 Arduino MEGA2560、直流电机、直流电机驱动器、GY-85 IMU-9 模块和编码器等构成闭环系统,采用编码器测机器人左右轮的移动速度和采用 GY-85 模块测机器人在三维空间移动的姿态、方向和加速度,由 Arduino 进行 PID 控制,使机器人不仅能精准移动还能向主控制器输出机器人左右轮移动的速度、角度和里程等信息以定位机器人,并同时使用 6 个成环形分布的夏普 GP2Y0A02 红外传感器进行避障。主控制器通过华硕 Xtion Pro Live 体感器获取机器人周围环境的三维点云信息或通过 Neato XV-11 激光传感器获取环境的二维激光数据,利用 ROS 的分布式处理框架无线传输到服务器以进行机器人周围环境地图的创建。移动机器人平台采用 12 V 10 000 mAh 大电流锂电池供电,采用多个 LM2596 电源模块变换多种电压以满足整个系统的需要。

服务器采用惠普 4321S 笔记本电脑,安装 Ubuntu14.04 操作系统和开源机器人操作系统(ROS),首先把移动机器人平台主控制器传送来的机器人在三维空间移动的姿态、速度、里程和机器人周围环境的二维激光数据或三维点云信息进行同时定位与地图创建,然后进行路径规划并把运动指令下发给机器人以远程控制机器人进行移动。

3 移动机器人软件系统设计

服务器安装的 Ubuntu14.04 操作系统与主控制器安装的 Raspbian 操作系统都属于 Linux 操作系统,都支持 indigo 版本 ROS。在安装完桌面完整版的 ROS 后,ROS 系统框架已经建立并创建一个连接所有进程的网络和安装了所需的大部分功能包和库^[9-10],只需对从 ROS 开源网络社区所获取的共享资源按照自己

的机器人进行修改,并创建新的节点和功能包等就能轻松完成机器人软件系统的开发。

3.1 ROS 系统框架节点设计

由于创建地图、定位和路径规划需要大量的数据处理,采用单一卡片式电脑难以胜任,本研究充分利用 ROS 的分布式处理框架,首先使服务器和机器人主控制器连接到同一个 WIFI 网络下,然后在服务器上建立节点管理器和创建键盘调试、SLAM 与路径规划等节点以及在移动机器人主控制器上创建视觉、激光雷达、里程和基础控制器等节点,接着把所有的节点在节点管理器中进行注册并由节点管理器统一管理,就可在同一网络中通过端对端的拓扑结构进行 TCP/IP 通信以实现在不同主机上的节点进行有效通信,最后利用 3D 可视化工具 RVIZ 在服务器上实现 SLAM 和路径规划等工作。机器人 ROS 系统框架节点结构如图 3 所示。

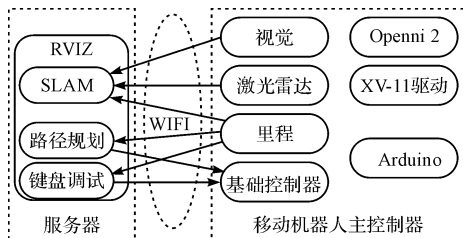


图3 机器人 ROS 系统框架节点结构

服务器端节点主要负责大运算量的 SLAM 与路径规划等^[11]：

(1)SLAM。接收来自于机器人主控制器端视觉、激光雷达和里程计节点分别发布的点云数据、激光数据和位姿等主题,进行 SLAM 并在 RVIZ 运行。

(2)路径规划。利用 SLAM 节点创建的地图和机器人在地图中的位姿以及速度等信息进行路径规划和使机器人自主导航。

(3)键盘调试。利用键盘和命令远程控制机器人移动并接收反馈的里程信息等。

移动机器人主控制器端节点主要传感器数据的采集和控制机器人运动：

(1)视觉。接收 Xtion Pro Live 体感器驱动 Openni2 节点发布的点云数据消息并向 SLAM 节点发布主题。

(2)激光雷达。接收 XV-11 激光传感器驱动 XV-11 驱动节点发布的激光数据消息并向 SLAM 节点发布主题。

(3)里程。接收 Arduino 节点发布的机器人左右轮移动的线速度、角度和里程等位姿消息,并向 SLAM 和路径规划节点发布里程信息主题。

(4)基础控制器。接收路径规划节点发布的线速度和角速度消息并向 Arduino 节点发布命令,控制机

器人精确进行移动。

(5)Arduino。由 rosserial arduino 包提供通信协议,通过 arduino 的 UART 来工作并允许 arduino 作为一个 ROS 节点,可直接向里程节点发布和订阅基础控制器节点的消息。

3.2 位置控制程序设计

位置控制模块作为一个 ROS 节点,首先要把基础控制器节点发送的线速度和角速度等参数消息进行解析,得到机器人左、右轮需要移动的线速度、角速度和位移等参数,然后与编码器和 IMU-9 模块所测得机器人左、右轮实际移动线速度、角速度和位移等姿态参数进行计算,得到机器人移动的速度和方向等误差,并通过 PID 算法对左右轮电机转速进行精确控制,使机器人按路径规划的轨迹进行移动以及通过红外传感器避障,最后把机器人的线速度、角速度和位移等姿态参数向里程节点发布消息,其程序流程图如图 4 所示。

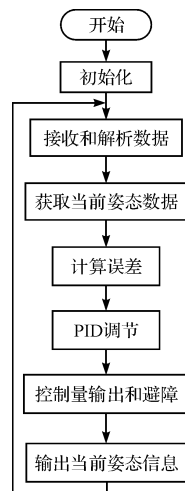


图4 位置控制程序流程图

4 移动机器人系统调试

本研究在移动机器人软硬件系统搭建完毕后,利用 ROS 分布式处理框架远程控制机器人移动是开展 SLAM 和路径规划等研究的基础,因此必须首先在服务器上使用 RVIZ 等可视化工具进行远程控制移动机器人和接收机器人反馈信息的调试,然后才能进行 SLAM 和路径规划等方面的测试,验证机器人方案设计是否符合要求。

该系统的键盘调试节点是在 TurtleBot 移动机器人 turtlebot 包的键盘控制节点基础上进行修改而来的。当服务器和机器人主控制器系统启动所有节点以后,首先在服务器上运行 TurtleBot 仿真环境,就可在 RVIZ 界面中看到 TurtleBot 的仿真模型,然后在新终端启动键盘调试节点,通过按下键盘上所设定的前、后、左、右、停止和增减速度等按键远程控制机器人进行移动,并能在 RVIZ 界面中看到机器人按黄色箭头

移动,机器人键盘调试如图 5 所示。

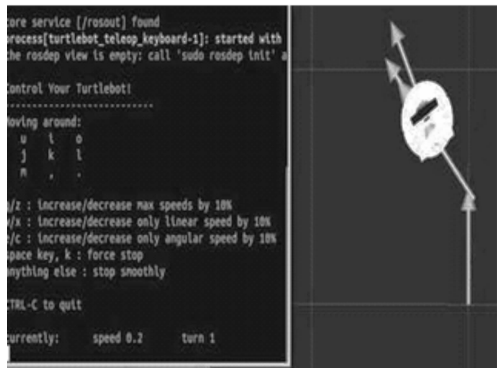


图 5 机器人键盘调试

在完成键盘远程控制机器人以后,本研究首先进行发送含有线速度和角速度值的指令远程控制机器人移动的测试,然后根据位置控制模块反馈的里程信息查看机器人是否按所给速度值进行精确移动,最后再进行查看节点反馈的传感器信息是否正确。由于左右轮电机转速有误差,会造成左右轮移动产生偏差,需要对机器人进行校准。远程控制机器人以 0.2 m/s 线速度进行移动所测试数据如表 1 所示,本研究使用专用测速器分别 3 次测量机器人行走 1 m、3 m 和 5 m 时的线速度和反馈的速度值,从数据中可以看出机器人移动时线速度误差在 2 mm/s 之内,实测速度比反馈速度值略大,变化在 4 mm/s 之内。机器人以 5 rad/s 角速度原地转动时角度测量数据如表 2 所示,从数据中可以看出机器人旋转角度误差随着旋转角度的增大在增大,正传和反转规律基本一致,当旋转角度超过 360°误差并没有继续增大,而是旋转一周规律相一致,整个误差在 2°范围之内。经修改参数和完善程序等调试,移动机器人平台目前不仅能按键盘或指令控制精确移动,不论直行还是转弯,其左、右轮移动都比较平稳,且能实时反馈移动机器人的状态,从而使系统具有较好的稳定性和实时性。

表 1 机器人 0.2 m/s 线速度测试数据

测量 次数	距离/ cm	实测值/ (m · s ⁻¹)	反馈值/ (m · s ⁻¹)	误差/ (m · s ⁻¹)
1	100	0.201	0.200	0.001
2	100	0.203	0.201	0.002
3	100	0.202	0.200	0.002
4	300	0.204	0.202	0.002
5	300	0.203	0.202	0.001
6	300	0.205	0.203	0.002
7	500	0.203	0.201	0.002
8	500	0.204	0.202	0.002
9	500	0.203	0.201	0.002

本文引用格式:

李建勇,刘雪梅,李雪霞,等. 基于 ROS 的开源移动机器人系统设计[J]. 机电工程,2017,34(2):205-208.

LI Jian-yong, LIU Xue-mei, LI Xue-xia, et al. Design of system for open source mobile robot based on ROS[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(2):205-208.

表 2 机器人原地转动角度测试数据

测量 次数	转动角度/ (°)	实测值/ (°)	反馈值/ (°)	误差/ (°)
1	90	90.5	90.0	0.5
2	180	180.8	180.1	0.7
3	270	271.2	270.2	1
4	360	361.8	360.3	1.5
5	-90	-90.4	-90.0	0.4
6	-180	-180.7	-180.2	0.5
7	-270	-271.5	-270.4	1.1
8	-360	-361.9	-360.3	1.6

5 结束语

本研究利用开源机器人操作系统 ROS 和开源卡片式电脑等设计了一个开源移动机器人系统。该系统首先由开源移动机器人平台主控制器对多种传感器进行信息采集,然后利用 ROS 的分布式处理框架无线传输到服务器上以进行 SLAM 和路径规划等方面研究,并能远程控制机器人进行精确移动,最后对开源移动机器人系统进行了调试,通过对机器人进行参数校核和完善程序等过程,使机器人系统达到了预期的设计要求。实验结果表明,该移动机器人系统不仅设计方案正确,还具有性能高、成本低和易扩展等特点,为以后开展移动机器人地图创建、定位和路径规划等研究打下了坚实的基础。

参考文献 (References):

[1] 白亮亮,平雪良,陈盛龙,等. 分布式移动机器人控制系统设计与实现[J]. 机械设计与制造,2015(10):180-183.

[2] 斯塔赫尼克著. 机器人地图创建与环境探索[M]. 陈白帆,刘丽珏译. 北京:国防工业出版社,2013.

[3] 陈佳,孙辉,盛洲,等. 基于 LPC1768 的简单几何地图绘制系统[J]. 兵工自动化,2016,35(10):34-37.

[4] KOUBA A. Robot operating system (ROS)[J]. **Studies in computational intelligence**,2016,1(6):342-348.

[5] 张博洋,赵紫薇,欧阳钧,等. 基于真空吸附的双足爬墙机器人研究[J]. 液压气动与密封,2015(6):68-71.

[6] 张建伟,张立伟,胡颖,等. 开源机器人操作系统-ROS[M]. 北京:科学出版社,2012.

[7] 马丁内斯等著. ROS 机器人程序设计[M]. 刘品杰译. 北京:机械工业出版社,2014.

[8] QUIGLEY M, CONLEY K, GERKEY B, et al. ROS: An Open-source Robot Operating System[D]. Stanford: Computer science Department, Stanford University,2009.

[9] 黄开宏,杨兴锐,曾志文,等. 基于 ROS 户外移动机器人软件系统构建[J]. 机器人技术与应用,2013(4):37-44.

[10] 白亮亮,平雪良,仇恒坦,等. 分布式室内移动机器人的定位与导航[J]. 轻工机械,2016,34(4):54-57.

[11] CHITTA S, SUCAN I, COUSINS S. MoveIt! [ROS topics][J]. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, 2012,19(1):18-19.

[编辑:周昱晨]