

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.04.011

分布式室内移动机器人的定位与导航

白亮亮^{1,2}, 平雪良^{1,2}, 仇恒坦^{1,2}, 张颖^{1,2}, 蒋毅^{1,2}

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122;
2. 江南大学江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏无锡 214122)

摘要:针对当前移动机器人定位与导航成本较高的问题,提出了一种低成本、高性能的分布式导航方案。以性价比较高的RPLIDAR激光传感器为核心,采用分布式软件的设计思想,设计了传感器的软件接口;采用DWA方法进行局部路径规划。设计实现了移动机器人的定位与导航。实验结果表明该方案具有可行性与高效性。

关键词:定位导航;激光传感器;机器人操作系统;路径规划

中图分类号:TP273 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)04-0054-04

Research on Localization and Navigation for Distributing Indoor Mobile Robot

BAI Liangliang^{1,2}, PING Xueliang^{1,2}, QIU Hengtan^{1,2}, ZHANG Ying^{1,2}, JIANG Yi^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. Jiangsu Province Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and
Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: In view of the current mobile robot localization and navigation has the problem of high cost, a low-cost, high-performance distributed navigation scheme was presented. Using high cost performance RPLIDAR laser sensor as the core, this paper adopted the distributed software design idea, and the software interface of sensor was designed; DWA method was adopted for local path planning. The experimental results showed that this scheme was feasible and effective to implement localization and navigation of the mobile robot.

Key words: localization and navigation; laser sensor; ROS (Robot Operating System); path planning

近年来,机器人技术蓬勃发展,人们的生产生活已经无法离开机器人,移动机器人应用更是从工业向服务业扩展,室内服务移动机器人得到了广泛关注^[1-5]。定位与导航技术是移动机器人实现智能化、自主化的基础与关键,而低成本、高性能的定位导航方案是室内服务移动机器人普及的必要条件^[6]。

目前的移动机器人硬件组成种类繁多,软件平台也层出不穷,整体控制系统有愈发庞大复杂的发展趋势。为实现更好的环境适应性,机器人系统在硬件上使用了更加新颖的处理器架构和功能更加强大的传感器,以致平均研发成本提升。基础控制软件的底层代码不开源且通用性差,加大了软件二次开发的难度,延

长了开发的周期,不利于后续的维护。面对这样的问题,2010年willow garage公司发布了机器人操作系统(ROS)^[7],掀起了研究ROS的热潮。

本研究的目的是在基于ROS的分布式移动机器人系统上实现自主导航。主要工作为:研究激光传感器数据采集、里程与航迹推演、路径规划等功能;设计一套可扩展、低成本、高性能的移动机器人定位导航方案,并通过导航试验验证方案的可行性。

1 导航系统工作原理

定位与导航技术是移动机器人实现智能化、自主化过程中的关键和基础,通常移动机器人通过传感器获取外部环境信息进行环境模型构建,然后根据已知

收稿日期:2016-03-16;修回日期:2016-05-10

基金项目:江苏省2014年普通高校研究生实践创新计划项目(SJZZ_0147)。

作者简介:白亮亮(1991),男,湖北天门人,硕士研究生,主要从事机电一体化、移动机器人研究。E-mail: devin91@126.com

的环境信息进行定位和导航^[8-9]。本文提出的智能导航系统涉及到的坐标转换、传感器导航数据、信息发布、地图构建等均在 ROS 环境中完成,导航系统的整体框架如图 1 所示。

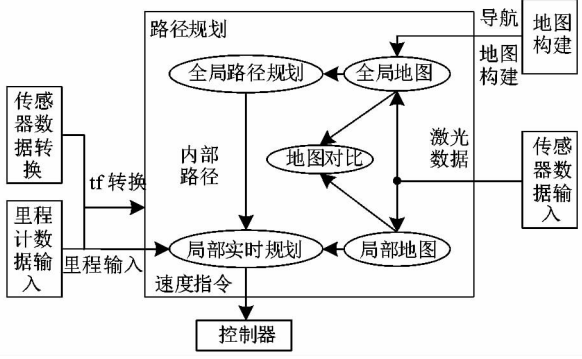


图 1 导航系统构成框架

Figure 1 Diagram of navigation system

1.1 传感器数据输入

本研究采用 robopeak 推出的性价比较高的一款 RPLIDAR 激光传感器,其可测量 360°、半径 6 m 的圆周范围,每个采样点的数据包括距离值、夹角、起始信号等,其数据格式如图 2 所示。

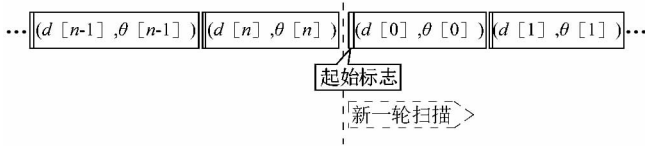


图 2 激光传感器数据格式

Figure 2 Format of laser sensor data

以上数据以 sensor_msgs/LaserScan 的数据格式发布在 /scan 的主题上,数据格式具体如下:

```
std_msgs/Header header
float32 angle_min
float32 angle_max
float32 angle_increment
float32 time_increment
float32 scan_time
float32 range_min
float32 range_max
float32[] ranges
float32[] intensities
```

1.2 里程与航迹

导航系统采用 ROS 的 tf 工具来确定机器人在世界坐标系中的位置和相当于静态地图的相关传感器信息^[10],然而 tf 不提供与机器人速度相关的任何信息,

需要通过里程计程序发布一个变换和一个包含速度信息的信息,该消息存储智能机器人在自由空间位置和速度的估计。如图 3 所示,移动机器人在 2 个相邻时刻的位姿。其中 θ_3 是相邻时刻机器人航向角的变化量, r 是圆弧运动的半径, l 是两轮间距, d 为 Δt 时间内左右轮的运动距离差。

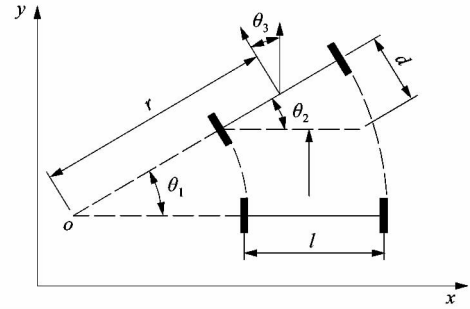


图 3 相邻时刻移动机器人的位姿

Figure 3 Position of mobile robot at adjacent time

移动机器人的线速度 v 等于左右轮速度 v_l, v_r 的平均值,即

$$v = \frac{v_l + v_r}{2}$$

航向角的变化量 $\theta_3 = \theta_1 = \theta_2$; 相邻时刻 Δt 很小时,角度变化量也很小,此时

$$\theta_2 \approx \sin(\theta_2) = \frac{d}{l} = \frac{(v_r - v_l)\Delta t}{l}$$

机器人的角速度 ω 为:

$$\omega = \frac{\theta_3}{\Delta t} = \frac{v_r - v_l}{l}$$

机器人的转弯半径 r 为:

$$r = \frac{v}{\omega} = \frac{l(v_r + v_l)}{2(v_r - v_l)}$$

1.3 路径规划

本文采用局部路径实时规划,使用 Dynamic Window approaches (DWA) 算法计算机人每个周期内应该行驶的速度和角度,将信息反馈到控制器来控制智能机器人的局部路径规划。

在 (v, ω) 的速度二维数组中,根据机器人硬件的限制和环境限制将采样速度控制在一定范围内。

1) 移动机器人最大最小速度限制

$$V_m = \{v \in [v_{\min}, v_{\max}], \omega \in [\omega_{\min}, \omega_{\max}]\}$$

2) 最大加速度减速度限制

$$V_d = \left\{ (v, \omega) \left| \begin{array}{l} v \in [v_c - v_b \Delta t, v_c + v_a \Delta t] \wedge \\ \omega \in [\omega_c - \omega_b \Delta t, \omega_c + \omega_a \Delta t] \end{array} \right. \right\}$$

式中: v_c, ω_c 分别为机器人当前的线速度和角速度, $v_b,$

v_a 分别为线加速度的最小值和最大值, ω_b, ω_a 分别为角加速度的最小值和最大值。

3) 考虑到移动机器人的安全距离

为了保证移动机器人能在障碍物前停下来, 速度范围为:

$$V_a = \left\{ (v, \omega) \left| \begin{array}{l} v \leq \sqrt{2 \cdot D(v, \omega) \cdot v_b} \wedge \\ \omega \leq \sqrt{2 \cdot D(v, \omega) \cdot \omega_b} \end{array} \right. \right\}$$

式中 $D(v, \omega)$ 是 (v, ω) 对应轨迹上机器人与障碍物的最小距离。

局部路径规划根据附近的障碍物进行躲避规划, 在 ROS 中存储导航的目标位置及数据, 最重要的是位置坐标及方向信息, 其规划示意如图 4 所示。

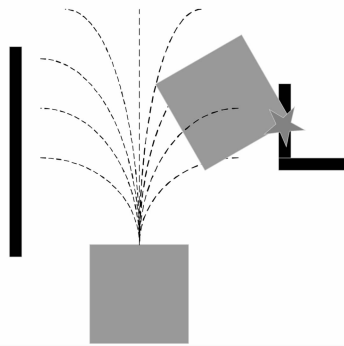


图 4 局部路径规划示意图

Figure 4 Sketch of local path planning

2 实验过程与结果分析

2.1 实验平台

ROS 是一种专门用于机器人控制系统开发的开源准操作系统^[11], 作为准操作系统, 它提供了许多标准系统模块, 包括硬件抽象、驱动功能包管理、重复功能执行、进程间消息传递等; 此外 ROS 还提供了一些调试工具和函数库便于用户创建、编写和运行调试整合程序。ROS 系统内部采用了分布式架构, 用户可以单独设计模块化程序并且进行调试。其主要特点有: 点对点、多语言支持、模块化、集成化、免费开源。

本文的实验平台是自主研发的基于 ROS 的分布式移动机器人控制系统^[12], 平台将 ROS 移植到嵌入式系统中, 把需要消耗大量资源和内存的节点如地图构建、导航定位算法分布在 PC 机上^[13], 把简单算法以及硬件驱动分布在嵌入式系统上, 形成双层上位机控制系统, 具体节点分布如图 5 所示, 移动机器人系统实物如图 6 所示。

2.2 地图构建实验

移动机器人在未知环境中移动并根据传感器数据进行位姿估计、自身定位以及同时构建地图的过程称

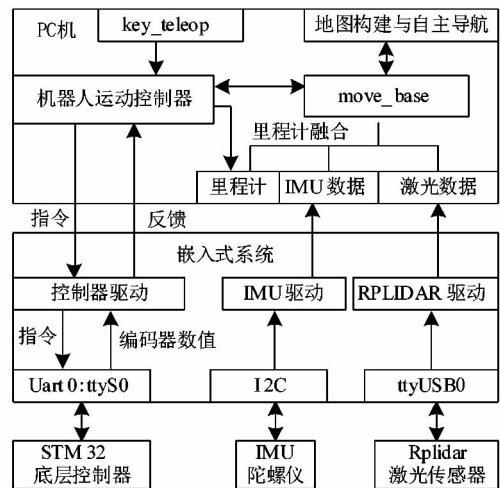


图 5 分布式移动机器人控制系统

Figure 5 Control system of distributing robot

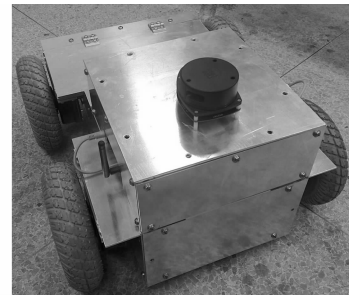


图 6 移动机器人样机

Figure 6 Prototype of mobile robot

为 SLAM^[14]。本文实验环境是一个约 6 m × 8 m 的实验室, 内有办公桌椅, 墙面为白色, 机器人线速度为 0.2 m/s, 角速度为 1 rad/s, 机器人由 PC 机上的键盘控制, 具体流程如下:

- 1) 启动 PC 机及嵌入式系统上的所有节点, 通过 key_teleop 节点控制机器人运动。
- 2) 激光传感器测得的数据通过串口反馈给上位机。
- 3) PC 机上的节点 map_server 将传感器数据进行 SLAM 计算, 产生地图模型, 并通过 rviz 显示出来。

图 7 所示为实验室的环境地图, 灰色区域为未探测区, 黑色为障碍物, 白色区域为可活动区。

2.3 自主导航实验

为了验证移动机器人控制系统的稳定性以及导航定位系统的正确性与实时性, 进行地图构建和自主导航实验, 如图 7 所示的环境地图及导航。

- 1) 根据机器人初始位姿在地图中大致区域内指定移动机器人的位姿, 使得机器人根据传感器数据与地图估计机器人当前位姿。

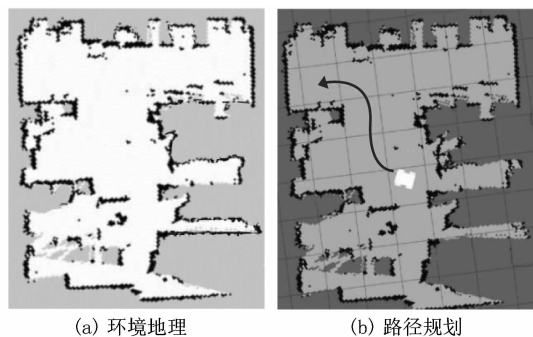


图7 环境地图及定位与导航

Figure 7 Environment map, location and navigation

2) 在地图中可行区域内指定目标位姿,机器人会根据当前位姿规划出全局路径,同时根据传感器数据规划出局部路径,对机器人的线速度与角速度进行实时控制,最终抵达目标位姿。

3) 使用实物机器人在真实环境下进行定位和导航测试,导航避障成功率较高,并在机器人全局轨迹上出现障碍物时能够根据动态障碍物的位置,对路径进行修正,实时避开障碍物。

3 结论

本文在基于 ROS 的分布式移动机器人控制系统上,研究并实现了自主导航系统。系统采用 RPLIDAR 激光传感器,通过数据采集、里程与航迹计算、地图构建和路径规划,实现了一种高性能、低成本的地图构建与导航方案。基于这种分布式控制和自主导航系统,后续将研究如何在同一 PC 机上控制多台机器人以及多机共享信息和地图,使得移动机器人控制

系统更加完善与智能。

参考文献:

- [1] 高胜男,孔令富,吴培良.面向室内智能机器人的中文服务指令自主处理方法[J].机器人,2015(4):424-434.
- [2] 周艳聪,董永峰,王安娜,等.新的室内移动机器人自定位方法[J].计算机应用,2015,35(2):585-589.
- [3] 李淑霞,杨俊成.一种室内清扫机器人路径规划算法[J].计算机系统应用,2014(9):170-172.
- [4] 肖雄,李旦,陈锡锻,等.一种基于增广 EKF 的移动机器人 SLAM 方法[J].机电工程,2014,31(1):109-113.
- [5] 尹晓红,余自强,曹璠,等.基于能量优化的无人驾驶车轨迹跟踪控制[J].轻工机械,2013,31(1):40-43.
- [6] 王鸣.机器人实时定位与导航系统仿真设计研究[J].计算机仿真,2012,29(12):216-218.
- [7] KOUBAA A. Robot operating system (ROS) [J]. Studies in computational intelligence,2016,1(6):342-348.
- [8] 罗鸣,吴怀宇,杜钊君.基于人机交互的移动机器人导航研究[J].计算机测量与控制,2013,21(5):1291-1293.
- [9] 吴登峰,梅志千,尹力伟,等.一种未知环境下室内移动机器人路径规划新算法[J].机电工程,2015,32(3):389-392.
- [10] 罗荣华,洪炳镛.基于信息融合的同时定位与地图创建研究[J].哈尔滨工业大学学报,2004,36(5):566-569.
- [11] 张建伟,张立伟,胡颖,等.开源机器人操作系统[M].北京:科学出版社,2012.
- [12] 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.
- [13] 胡春旭,熊泉,任慰,等.基于嵌入式系统的室内移动机器人定位与导航[J].华中科技大学学报(自然科学版),2013,41(增刊1):254-257.
- [14] 彭胜军,马宏绪.移动机器人导航空间表示及 SLAM 问题研究[J].计算机仿真,2006,23(8):1-4.
- [1] 吕昊,马伟明,聂子玲,等.磁场定向不准对感应电动机系统性能影响的分析[J].电工技术学报,2005,20(8):84-88.
- [2] BOSS B K.现代电力电子学与交流传动[M].王聪,赵金,于庆光,等译.北京:机械工业出版社,2003:368-375.
- [3] 燕俊峰,王晓琳,廖启新.转子时间常数对异步电机转矩电流比的影响分析[J].电气传动,2014,44(12):12-16.
- [4] 高建华.转子时间常数对异步电机矢量控制的影响[D].北京:中国科学院研究生院,2003:25-33.
- [5] 陈振锋,钟彦儒,李洁,等.转子电阻变化对电力牵引感应电动机启动转矩的影响[J].电工技术学报,2011,26(6):12-17.
- [6] 周明嘉.电力机车牵引电机在全速度范围的控制策略研究[D].北京:北京交通大学,2013:26-33.
- [7] 蔡文,朱小龙,江友华.异步电动机定子电阻参数辨识的计算机实现[J].华北科技学院学报,2004,1(2):77-79.
- [8] 吴家彪,马钧华.伺服系统永磁同步电机参数辨识策略[J].轻工机械,2013,31(6):45-50.
- [9] 贺艳晖,王跃,王兆安.异步电机参数离线辨识改进算法[J].电工技术学报,2011(6):73-80.

(上接第 53 页)

6 结语

实际电机的转子参数和转子时间常数难以精确测量,而转子时间常数在驱动器的解耦控制算法中起着重要的作用,进而对单位电流的转矩能力影响很大。本文利用算法中的转子时间常数对电机加速过程中的输出转矩的关联特性,以及车用异步电机对单位电流最大转矩的追求,提出了一种按目标最优的参数搜索方法,获得转矩电流 i_{sq} 与转子时间常数 T_r 之间的最佳关系,据此设定控制算法的参数,实现单位电流的最大加速度。本文提出的方法为车用异步电机的加速时间最短,提供了一种实用的控制策略。

参考文献:

- [1] 龚远栋.异步电机矢量控制下的电机参数辨识[D].上海:上海交通大学,2010:1-2.