

基于 SLAM 的无接触式服务医疗车设计

王久毅 杨明

华北理工大学电气工程学院, 河北 唐山 063210

[摘要] 在一些流行性传染病突发时, 如何将药品以及其他生活必需品做到无接触配送、减少医护人员以及志愿者的工作风险是至关重要的问题。本项目设计的基于实时定位与地图构建算法 (Simultaneous Localization And Mapping, SLAM) 和机器人操作系统算法 (Robot Operating System, ROS) 的无接触式服务医疗车旨在解决上述存在的难题, 推进疫情防控工作的进行。文章重点阐述了此医疗车的方案设计以及一些安全技术支持, 涉及到人工智能、信息感知、自动控制、路径规划等多个领域的相关知识, 最后, 对医疗车的发展进行了总结和未来展望。

[关键词] 无接触式配送; 医工融合; 实时定位与地图构建; 机器人操作系统; 可爬坡式履带设计

DOI: 10.33142/sca.v6i1.8363

中图分类号: TM242.6

文献标识码: A

Design of Contactless Service Medical Vehicle Based on SLAM

WANG Jiuyi, YANG Ming

College of Electrical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, 063210, China

Abstract: In the event of an outbreak of some infectious diseases, how to deliver drugs and other necessities without contact and reduce the work risk of medical staff and volunteers is a crucial issue. The contactless service medical vehicle designed in this project is based on the simultaneous localization and mapping (SLAM) and robot operating system algorithm (ROS), aiming to solve the aforementioned problems and promote the progress of epidemic prevention work. The article focuses on the scheme design and some security technology support of this medical vehicle, involving relevant knowledge in multiple fields such as artificial intelligence, information perception, automatic control, path planning, etc. Finally, the development of medical vehicles is summarized and future prospects are presented.

Keywords: contactless delivery; medical and industrial integration; simultaneous localization and mapping; robot operating system; climbing crawler design

引言

新冠肺炎疫情防控背景下, 减少面对面接触, 避免交叉感染, 实现“无接触”运送医疗用品成为医疗一线的基本要求; 而在居民生活区, “无接触”配送蔬果、物资, 提升“最后一公里”的配送效率是民生需求中迫切一环。为解决上述存在的现实难题, 研发出一款基于 SLAM 算法的无接触式服务医疗车, 通过构建 ROS 系统实现无接触功能, 利用柔性太阳能电池和蓄电池结合供电提高续航能力, 采用可爬坡式履带式车轮, 实现可攀爬楼梯等地段, 进行不同楼层的物资配送, 且能在复杂的环境下快速且准确地找到路线以及目标, 节省很多的人力物力。

1 项目研发背景

1.1 市场需求

中国智慧医疗市场发展具有巨大的发展潜力。我国是一个人口大国, 据调查数据显示, 目前我国人口总数约占世界人口总数的 1/5, 而智慧医疗投入占医院收入的比例仅有 0.5%。由此说明我国的防范医疗产业仍处于幼年期, 产品的出现将对医疗行业产生强大的推力。目前国内市场上虽已出现相似的医疗车产品, 但我国市场未打开, 医疗车发展前景广阔, 是朝阳产业。当前我

国的智慧医疗产业发展仍处于探索阶段, 虽已取得一些突破性进展, 但在新技术的冲击下, 在很多方面仍有提高的空间。^[1]

1.2 需解决的现实问题

在突发型感染疾病暴发时医院以及社区无接触式配送困难; 人工配送医疗物品效率低, 智能化程度较低; 人工配送医疗物品以及生活物品交叉感染风险系数高, 不能保证医护人员安全。

2 无接触式服务医疗车的原理设计

2.1 医疗车的整体方案设计

首先制作运动底盘和医疗车整体架构, 运动底盘采用可爬坡式履带设计, 使医疗车能在较为复杂的道路上移动, 车身部分主要是医疗箱和太阳能电池板, 医疗箱内可放置医疗器械和常用药品。并采用 ROS 串口设置使上位机可对医疗车系统的 Ubuntu 系统进行手动辅助控制, 同时辅助以陀螺仪的零点消除机制和自抗扰控制算法, 减少运动过程的干扰。之后进行 ROS 操作系统的搭建和路径规划算法的编写, 利用编写好的算法创建导航节点, 然后设置导航参数和构建 Rviz 模型, 最后通过大量实验进行测试各项参数等, 对整个系统进行调试和优化完善。

2.2 运动底盘设计

2.2.1 可爬楼梯式履带设计

借鉴电动推拉杆辅助攀爬楼的解决方案,在原有的履带基础上,分别添加前后辅助支撑电动推拉杆。在医疗车下楼时,前辅助支撑电动推杆向下压,从而使医疗车前端在前辅助支撑架的支撑下缓慢下降,避免了重心骤降的问题和因路况较差使医疗车颠簸造成的车身磨损和内部医疗器械的磨损问题;在医疗车攀爬时,后辅助支撑电动推杆向下压,使医疗车前端在后辅助支撑架的倾斜支撑力分力作用下保持医疗车重心平衡,解决了医疗车攀爬时前端容易翻滚的问题。

可爬楼梯式履带车轮的底盘采用内嵌式履带传动结构,通过一定的连接结构,实现双履带的合理运动爬楼。传动结构依靠电机工作带动驱动轮,从而带动导向轮的转轴,最终带动与转轴固定的拖动轮与履带啮合传动。采用履带设计实现机体的承重,与同类爬楼机器相比较,不仅具有安全性高、承重轮间的摩擦系数小等优点,还具有能在复杂路况下自由行动的能力。

2.2.2 ROS 串口设置

设置 ROS 通讯串口,使得上位机可以远程登录医疗车系统的 Ubuntu 系统进行手动辅助控制。

2.2.3 陀螺仪零点漂移消除

在 ROS 的导航系统中需要用到 IMU 传感器,医疗车系统中,IMU 传感器集成到 STM32 控制器上,由 STM32 控制器采集 IMU 数据后,再发送给 ROS 系统。STM32 运动底盘上使用的是型号为 MPU6050 的 IMU 传感器,该 IMU 集成了三轴角速度计和三轴加速度计^[2]。陀螺仪虽有较好的静态响应性能,但其动态响应性能不足,不可避免地存在零点漂移的问题,因此在程序中需要设定零点漂移消除机制,以提高其测量的精度。

2.2.4 自抗扰控制算法(ADRC)

自抗扰控制器由微分跟踪器(TD)、扩张状态观测器(ESO)、非线性状态误差反馈控制(NLSEF)三部分组成^[3]。其中,TD 可以看作是一个具有滤波作用的比例-微分控制器,可以获得较好的微分信号;ESO 是整个算法的核心部分,它可将影响医疗车被控输出的所有干扰作用,扩张成一个新的状态变量,通过控制量和被控量动态评估医疗车受到的干扰,并对控制量进行补偿^[4]。最终,自抗扰控制器将控制信号输出给电机,使得电机的实际输出速度无限接近目标值。由于此医疗车在户外工作时可能会受到气流等的干扰,自抗扰控制算法使得医疗车具有良好的抗干扰能力。

2.2.5 控制器通讯串口设置

Jetson nano 和 STM32 控制器之间进行通讯,由于 STM32 控制器串口 3 接口已经集成了 CP2102 电平转换芯片,所以只需用 USB 线来连接。

2.3 ROS 操作控制系统

2.3.1 ROS 工作空间的建立

利用 mkdir 指令创建工作空间,进入 src 文件中利用 catkin_init_workspace 初始化工作空间,再将环境变量添加到 bash 环境变量描述文件中,完成工作空间的创建。

2.3.2 与下位机的串口通讯

ROS 运行在上位机(Jetson nano)之上,医疗车的建图导航需要惯性测量单元(IMU)、里程计等的信息^[2],利用 STM32 采集编码器和 IMU 的信息,完成自动抗扰控制器(ADRC)控制,然后通过串口和 Jetson nano 进行传感器数据和控制指令的交换,其控制器连接图如图 1 所示。

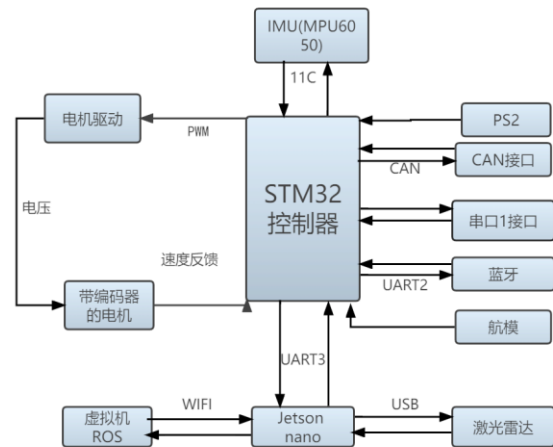


图 1 控制器连接示意图

2.3.3 TF 坐标变换

坐标变换,简单来说就是实现归一化。医疗车的系统通常具有随时间变化的许多 3D 坐标系,例如基础坐标系,头部坐标系等。医疗车系统收集到的数据可能是不同坐标系下的形式,比如控制医疗车系统前进和转弯的是 A 坐标系,而控制小车自主避障的是 B 坐标系,因此我们要构建 A 和 B 之间的变换矩阵,使得数据同步到同一坐标系。TF 坐标变换可以使任何两个坐标系之间的点、向量相互转化,从而将不同硬件接收到的环境信息同步到所有坐标系。

2.3.4 SLAM 路径规划算法的编写

根据 SLAM 社区的 SLAM 建图算法为基础,进行优化减少计算量,增加鲁棒性,路径规划算法以 Dynamic A*算法为基础进行优化,获取可以实时规划的路径规划算法。在环境全局地图的基础之上动态 A*算法在全局网络中依据扩展节点,选择算法中最短节点直至终点,不断迭代。

2.4 路径规划系统

路径规划方面,本项目采用 SLAM 与 A*等多种算法相结合,实现高效、精准的自主寻迹以及避障功能。

2.4.1 SLAM 算法

SLAM 算法使医疗车从一个未知的地点出发,在前进的过程中,通过自身的传感器感知外界环境,之后对周围

环境进行建模,即地图的构建;同时对自己所处位置进行定位,从而实现其自主定位和导航功能^[5]。

2.4.2 动态 A*算法

动态 A*算法具有对周围环境反应迅速、路径规划直接的特点,因此,医疗车能够根据周围环境的动态变化,对路线进行实时规划,且实时地调整前进的角度和方向来避开障碍物。A*算法最为核心的部分在于其估值函数的设计,本产品所依赖的基本数学模型正是运用此模型: $F(n)=G(n)+H(n)$,其中, $F(n)$ 指的是医疗车从起点经由节点 n 到达目标点的最佳路线所消耗的总能量估值,它由两部分组成, $G(n)$ 表示医疗车从起点到 n 点的最优路径消耗的能量, $H(n)$ 表示医疗车从 n 点到终点的最优路径消耗的能量估值^[6]。通过获得最优路径可以减少医疗车在复杂路况中碰撞或漂移的发生次数。

2.4.3 试验结果

小车基于 RGB-D SLAM 与动态 A*算法进行搭建,也就是说,利用 RGB-D 深度相机作为传感器实现定位于地图构建,利用 A*算法完成路径规划。在试验研究过程中,发现通过采取上述算法可实现小车的基本功能,且小车能够随地图中呈现的动态障碍物而改变运动路径,减少了规划次数、缩短了运动距离,更重要的是,避免了小车在运动过程中撞击障碍物。

2.5 电源系统

本项目采用蓄电池与柔性太阳能电池板共同供电,选用的是可弯曲一定程度的柔性单晶硅太阳能电池板,其光电转换效率高^[7],制成的太阳能电池板,可弯曲使用,增加与阳光的接触时间,使不同角度的太阳光都能被充分利用,提高了医疗车的续航能力,并且达到节能减排的效果。



图2 柔性太阳能电池板

3 医疗车的安全技术

此医疗车主要应用于医院、社区及突发事件发生的场所,其应用场景具有路况复杂性、不确定性、实际场景出现突发状况等特点,对医疗车的损坏程度较高。基于保障

产品各方面安全性考虑,团队主要采取避免漂移碰撞过程的动态 A*算法、确保小车在救援环境中与为确保医疗车所收集数据的通信安全而在 Keil 环境下编写的下位机程序、考虑在路网环境的不确定性下解决 MMOPP(多模态多目标路径规划问题)的多种群合作学习算法、为加固车身而采取具有耐腐蚀的环氧底漆等四个方面的安全技术。

3.1 医疗车所收集数据的通信安全而在 Keil 环境下编写的下位机程序

在 Keil 环境下编写的下位机程序主要应用于医疗车的底层控制,实现传感器的数据采集和传感器与传感器之间的数据通信功能^[8]。主要流程如图 3 所示:

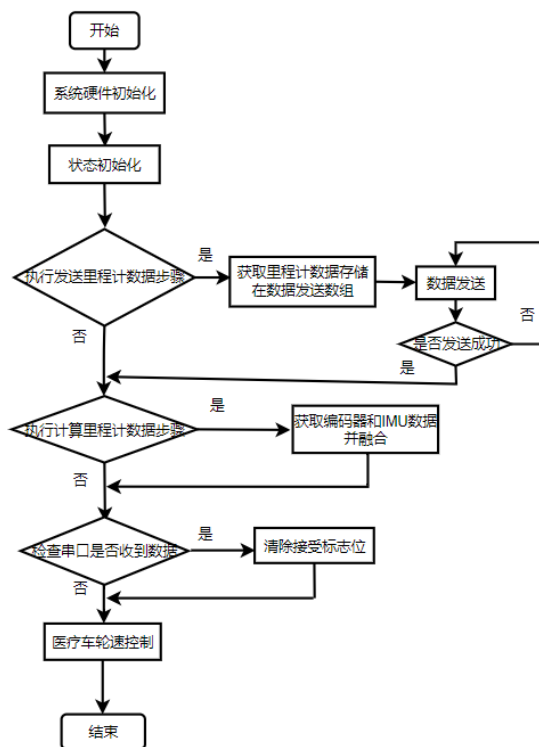


图3 程序运行的流程图

下位机程序主要包括用异步收发传输器的串口通信、模数转换器、数模转换器以及脉冲宽度调制方波输出、定时器的输入捕捉和对编码器的正交解码等,通过其有机结合,以此来实现医疗车的闭环控制及数据通信功能。

3.2 考虑在路网环境的不确定性下解决多模态多目标路径规划问题(MMOPP)的多种群合作学习算法

采用的 SLAM 算法与动态 A*算法只考虑到了路径规划中的多目标需求,尽管这类算法搜索性强、收敛性好,但没有考虑路网环境的不确定性,因此本项目决定采用多种群合作学习算法,将多目标优化问题转化成多个单目标问题进行求解,丰富解的多样性的同时,也兼顾了算法在目标空间不同维度的搜索能力^[9]。

3.3 具有耐腐蚀作用的环氧底漆

此无接触式服务医疗车一般在室温下工作或停放,所

以在工作过程中难免会出现涂层刮蹭、划伤等现象。如果水分子等介质顺着划痕进入到涂层与基材的界面上,很容易发生电化学腐蚀;反过来,电化学腐蚀产生的金属离子还会增强水的渗透作用。随着腐蚀在医疗车基材和周围完整涂层的界面上的不断蔓延,会加速周边的涂层起泡甚至失效,降低涂层及医疗车的使用寿命^[10]。但是有一种涂料叫环氧底漆(也叫双组分环氧涂料),是一种以改性环氧树脂作为主要成膜物的涂料^[11],它会使涂层具有较好的附着力,所以水分子就只会在原始位置积累,不会扩散,这样便会减缓腐蚀的蔓延^[10],可以有效解决腐蚀给医疗车带来的影响。由于医疗车应用环境的复杂性以及不确定性,医疗车本身易于被不确定性物体损坏,因此团队决定采用矩形管焊接,使应力分布均衡,车身骨架等钢制零件使用具有耐腐蚀作用的环氧底漆,内外腔壁进行酸洗、磷化等处理。

4 结语

严格的隔离措施固然能在一定程度上减少病毒的扩散,但百姓的日常生活需要也是不可避免的,因此,无接触式服务医疗车的出现将有效地解决疫情防控形势下医疗用品、生活物资等的配送交付问题,无接触式服务医疗车的使用是一种新的医护形式,尚未在各大城市、医院中得到大力推广。但随着社会的不断发展、新冠疫情的防控、人口老龄化程度严重以及医护人员的巨大需求量,相信在不久的将来无接触式医疗服务车会越来越普及^[13],具有较大的发展前景。在未来,“无接触团餐”“零接触自提”等新型方式也都将接踵出现^[12]。

[参考文献]

[1] 赵舜瑶,秦泽宁,崔雨萌.我国智慧医疗建设的现状及发展策略研究[J].商讯,2020,226(36):123-124.
 [2] 金珍珍,周卫华,郑军等.基于ROS的机器人控制系统[J].轻工机械,2021,39(3):73-76.
 [3] 杨文奇,卢建华,姜旭,等.基于改进ESO的四旋翼姿态

自抗扰控制器设计[J].系统工程与电子技术,2022,44(12):3792-3799.

[4] 石嘉,裴忠才,唐志勇,等.改进型自抗扰四旋翼无人机控制系统设计与实现[J].北京航空航天大学学报,2021,47(9):1823-1831.

[5] 边静;戈振兴.基于ROS系统的移动机器人SLAM算法的应用研究[J].信息与电脑(理论版),2022,34(21):102-104.

[6] 杨明亮,李宁.改进A*算法的移动机器人路径规划[J].机械科学与技术,2022,41(5):795-800.

[7] 沈佳斌,梅光辉,伍溟,等.柔性太阳能电池板与车身一体化的节能车身的设计[J].轻工科技,2020,36(4):93-94.

[8] 李兆凯,李龙勇,李泽晖,等.基于RGB-D SLAM的智能车自主避障与路径规划试验研究[J].汽车技术,2021,552(9):55-62.

[9] 赵萌,路辉,王诗琪,等.多种群合作学习的多模态多目标路径规划算法[J].北京航空航天大学学报,2023(3).

[10] 史美慧,吴井龙,韩悦,等.高固体分低腐蚀蔓延环氧底漆的研究[J].电镀与涂饰,2022,41(2):132-138.

[11] 魏瑞金,陈仕箐,赵闫华,等.双组分水性环氧底漆湿附着力的研究[J].涂料工业,2016,46(12):48-52.

[12] 杨志强,张春红,孟悦,等.一种基于OpenMV的智能医疗跟随载物车设计[J].中国科技信息,2022,671(6):81-83.

[13] 来有为,霍景东,王敏,等.疫情后我国服务消费的发展趋势及促进消费回补的政策建议[J].发展研究,2020,405(5):30-40.

作者简介:王久毅(2002.6-),男,本科在读,华北理工大学,测控技术与仪器;杨明(2002.7-),男,本科在读,华北理工大学,电气工程及其自动化。