

消杀运输一体化物流配送机器人设计

肖启巡, 孙芷劲, 黄景德*, 陈子杰, 韩培豪

珠海科技学院, 广东 珠海

收稿日期: 2022年6月19日; 录用日期: 2022年7月28日; 发布日期: 2022年8月5日

摘要

针对目前物流配送机器人存在运行过程不平稳、转向能力欠佳、不具备自动投放且包裹存在病毒传播风险等问题, 本文以ROS和STM32为核心设计了一种消杀运输一体化的物流配送机器人。为保证机器人执行任务的可靠性与智能性, 论文对其整体机械结构进行了设计, 设计了机器人核心功能模块, 并对机器人自主导航、测距避障等关键性功能进行了仿真分析。实验证明, 物流配送机器人不但可以有效实现自动化运输, 而且在一定程度上减少了疫情传播风险, 为物流行业智能化装备发展提供了新思路。

关键词

物流配送, ROS, STM32, 自动化

Design of Integrated Logistics and Distribution Robot for Extermination and Transportation

Qixun Xiao, Zhijin Sun, Jingde Huang*, Zijie Chen, Peihao Han

Zhuhai College of Science and Technology, Zhuhai Guangdong

Received: Jun. 19th, 2022; accepted: Jul. 28th, 2022; published: Aug. 5th, 2022

Abstract

In view of the problems of the current logistics distribution robot, such as unstable running process, poor steering ability, lack of automatic delivery and the risk of virus transmission in packages, this paper designs a logistics distribution robot integrating disinfection and sterilization and transportation based on ROS and STM32. In order to ensure the reliability and intelligence of the robot, the whole mechanical structure is designed, the core function modules of the

*通讯作者。

robot are designed, and the key functions of the robot such as autonomous navigation, ranging and obstacle avoidance are simulated and analyzed. Experiments show that the logistics distribution robot can not only effectively realize automated transportation, but also reduce the risk of epidemic spread to a certain extent, providing a new idea for the development of intelligent equipment in the logistics industry.

Keywords

Logistics and Distribution, ROS, STM32, Automation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新冠疫情给人类与基础设施带来了巨大的挑战，众多医疗物资、快递包裹在“最后一公里”的配送过程中，因派递员或医务人员与患者近距离接触，容易引发更大的传播风险。随着我国物流行业的快速发展，快递包裹配送智能化与无人化成为当前时代热点，末端配送机器人作为电商、物流、自动化等多学科交叉融合的产物，可以有效解决上述问题。使用配送机器人，派递员只需将要派送的物品放至机器人的货舱内，机器人将会自动前往指定的位置，投递物品，减少了人员之间的流动，同时在运输过程中，货舱内可对物品进行喷雾消毒确保其安全性。

目前，国内外对于物流配送机器人的研究已有一定的成果。亚马逊研发一种小型6轮配送机器人 Scout，Scout 体积与冷藏箱相似，可实现自主避障导航，但识别周边物体较慢，容易引发安全事故。联邦快递开发了一款名为 FedEx SameDay Bot 的物流机器人，该机器人采用视觉和激光雷达配合，可自动将物品派送至消费者手中，但因机器人重心设计过高，导致在配送过程中整体运行不平稳，同时电池容量设计太小，续航不足；阿里巴巴设计了一款“小蛮驴”物流机器人，该机器人可自主识别障碍物，具备高精度的定位算法，搭配了多种传感器，使其运行稳定[1]。

综上所述，物流配送机器人在运输、定位、避障等方面上已有了一定的进展，但在机械构造、包裹装配投放上有待改进，同时也不具备自主消杀功能。结合当前发展趋势以及实际应用背景，本文设计了一款消杀运输一体化的物流配送机器人，该机器人以 STM32 和 ROS (Robot Operating System) 框架为核心，具备运动控制、自主导航、安全消杀、精准投放等功能，可解决市场上劳动力不足，人工成本高等问题，推动物流行业智能化、自动化发展，同时也大大减少了人与人之间的接触，为疫情防控带来一定的效益。

2. 机器人构造设计

机器人整体构造包含外壳、控制箱、存储货舱、简易多功能抓手、连接轴、电机、传感器等其它机械辅助机构，同时搭载了视觉摄像头、激光雷达、消毒装置，确保运输的自主性与安全性。

2.1. 底盘构造

机器人底盘主要包括底盘主体、底盘盖、车轮、连接杆、万向节、减震单元等，车轮选取麦克纳姆轮结构(如图 1 所示)，该结构紧凑、运动灵活，比普通的车轮更加复杂，由多条倾斜 45° 安装的纺锤形滚棒组成，在行驶运转时，轮子左右受力均匀，滚棒的中间位置比其它两边要更高，因此可实现全方位移

动的功能。同时，机器人采用独立悬挂系统，每一侧的车轮互不相连，单独地悬挂在车轴上，在行驶过程中，左右车轮单独转动，能减少车身震荡与倾斜，同时可以使发动机的位置也降低，机器人重心降低，提高其稳定性，底盘整体结构(如图 2 所示)。

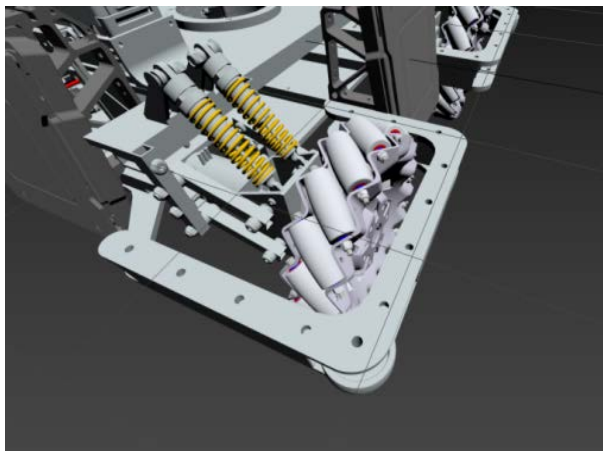


Figure 1. Mecanum wheel structure diagram

图 1. 麦克纳姆轮结构图

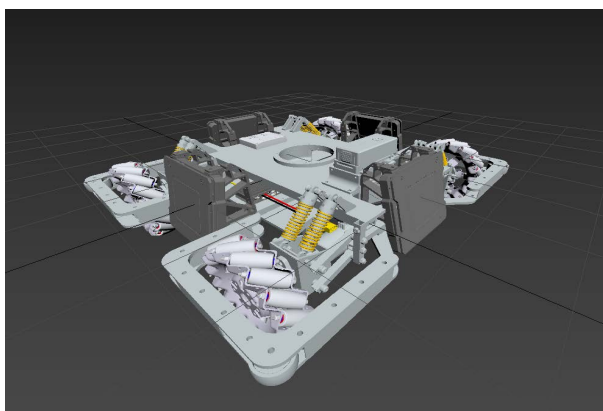


Figure 2. Overall structure of chassis

图 2. 底盘整体结构

2.2. 货舱构造

货舱是机器人整体构造的核心模块之一，合理的货舱设计可在加大货舱容量的同时确保其稳定性。本文设计的货舱采取三层对称式结构，该设计容纳体积大，对称、立体式设计可有效防止侧翻，机器人每个货舱格口自带电子锁限位结构，运行过程无法打开，保障运输安全。货舱内部配套酒精消杀装置(如图 3 所示)，当物品放置入舱时，重力传感器感受到重量变化，反馈信息给控制系统控制消杀装置对物品进行精准消毒，确保其安全性，在一定程度上避免了病毒传播，详见下图。

2.3. 装卸机构

机器人的物品装卸机构是由简单的力承受杆、伸缩杆、机械吊臂等部件组成的简易机械臂，该机械臂拥有多个 360°自由度的关节，运动灵活，结构简单，重量较轻，可随时折叠回收收到机械顶部而不影响系统的整体运作。搭配视觉模块，可实现精准抓取与投放。如图 4 所示。

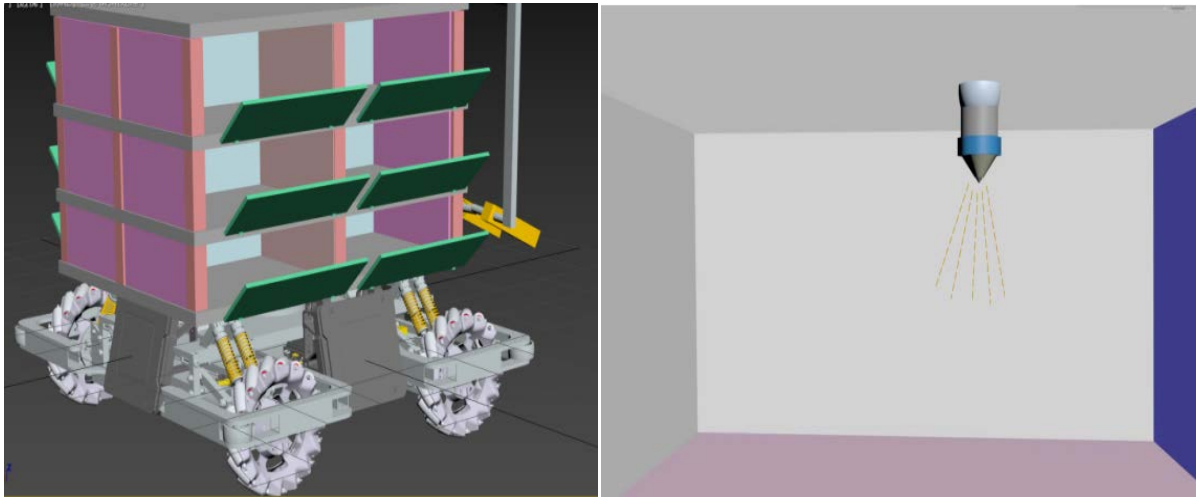


Figure 3. Robot cargo hold disinfection and sterilization device
图 3. 机器人货舱构造与消杀装置

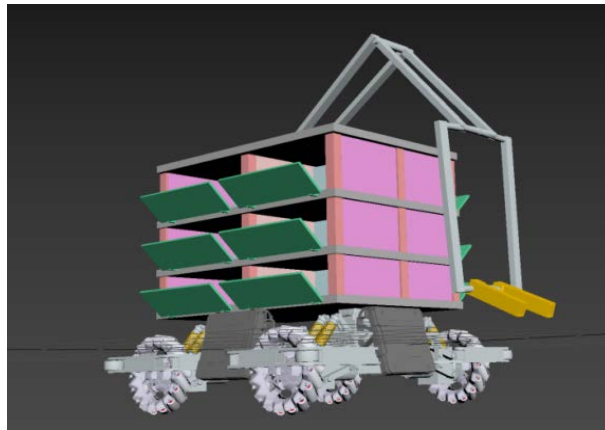


Figure 4. Robot handling mechanism
图 4. 机器人装卸机构

3. 机器人核心模块设计与仿真

消杀运输一体化机器人是集人工智能、电子、机械、大数据为一体的多功能自动化机器人。该机器人以 ROS 系统为框架，内含定位、避障、通讯、视觉四大核心模块。ROS 系统是用于编写机器人软件程序的一种具有高度灵活性的软件架构。它提供了硬件抽象、设备驱动、库函数、可视化、消息传递和软件包管理等诸多功能[2]，在机器人开发过程中有着独特的优势。

3.1. 定位模块

实时定位是实现机器人自主运行的关键部分，随着人工智能技术的不断发展与完善，即时定位与同步地图构建技术(simultaneous localization and mapping, SLAM)被广泛应用于机器人定位与自主导航中。常用的 SLAM 框架包含五大部分，分别是传感器、里程计、回环检测模块、建图模块与后端模块。传感器用于实时采集与传输周围环境的各种信息，里程计用于估算与处理机器人不同时刻的位置信息，回环检测用于减少累计误差，使构图更加准确，建图模块主要用于全局的地图构建，后端模块主要用于减少里程计匹配带来的误差。

3.1.1. 传感器选择

SLAM 传感器分为三种，分别是视觉传感器、激光传感器与惯性测量单元，其优缺点如表 1 所示。

Table 1. Advantages and disadvantages of common SLAM sensors

表 1. 常见 SLAM 传感器优缺点

类型	优点	缺点
视觉传感器	成本低、可实时获取场景信息，且信息量极为丰富	对光照要求较高、不适用于纹理特征缺失的环境
激光雷达	测量精度高、分辨率高、抗干扰能力强、响应速度快	成本较高、可探测距离较短、易受天气影响
惯性测量单元	不受漂移影响、误差较小	需与其它传感器配合使用

分析得知，视觉传感器虽然成本低且建图效果好，但容易受到光照的影响，对环境适应性较差，多用于工业零部件质量缺陷检测、尺寸测量等环节。惯性测量单元需配合其它传感器使用，可用于提高单一传感器测量的精度。激光雷达传感器虽成本较高，但因其测量精度高、抗干扰能力强且响应速度快等优点，非常适用于自主导航、构图定位等领域。故本文设计的消杀一体化物流运输机器人采用激光雷达传感器。

3.1.2. 基于激光雷达的 SLAM 程序设计与仿真

本文使用 Gmapping 算法进行地图构建，Gmapping 是一个基于 2D 激光雷达使用 RBPF (Rao-Blackwellized Particle Filters)算法完成二维栅格地图构建的粒子滤波 SLAM 算法。该算法框架分为

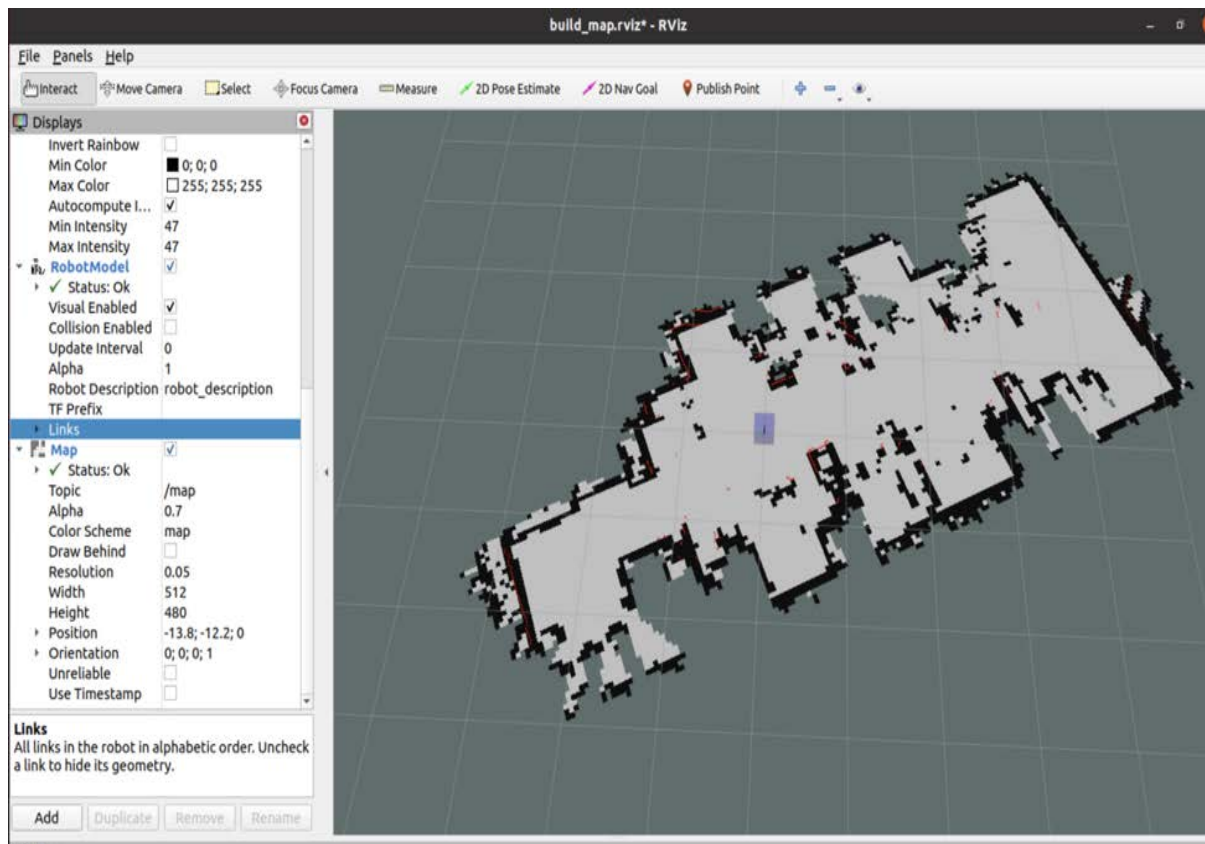


Figure 5. Schematic of SLAM in laboratory

图 5. 实验室 SLAM 建图

五部分组成,分别为状态预测、扫描匹配、计算权值、重采样、构建地图。ROS 系统中内置 Gmapping 功能包,搭建好坐标系后,可快速实现地图构建与定位,具体操作流程如下:

- 步骤 1: 安装好机器人组件,启动机器人及传感器;
- 步骤 2: 使用 `roslaunch robot_test gmapping.launch` 命令启动 Gmapping 算法;
- 步骤 3: 操纵机器人四周移动,采集相应的信息;
- 步骤 4: 使用 `roslaunch map_server map_saver -f map` 命令将构建好的地图保存;
- 步骤 5: 使用蒙特卡洛定位算法进行机器人定位。

ROS 系统同时也提供了一个 3D 可视化工具 Rviz,在此界面上,可以显示构建的地图和已规划的路径,用户可以从不同角度对机器人的运动状态进行观察,可直观地获取机器人的当前位姿和构建的地图等[3]。以实验室为例,控制机器人环绕实验室一周,构建好的地图(如图 5 所示)。

3.2. 避障模块

机器人在执行任务过程中,需要面临复杂多变的环境,因此必须搭建较高精度的智能避障模块。本文设计利用双目相机实现前方障碍物测距,同时在机器人四周布置超声波雷达装置进行辅助测距。

3.2.1. 双目相机测距

传统的单目系统无法对非标准的障碍物进行判断,且距离也并非真正意义上的测量,精度较低[3]。因此本文设计的机器人搭载了双摄像头进行双目测距。双目测距原理是通过两个相机采集到不同的图像做视差计算,直接对前方的景物进行距离测量,且对于任何类型的障碍物都能进行距离信息的变化,进行必要的预警或制动[4]。测距原理(如图 6 所示)。

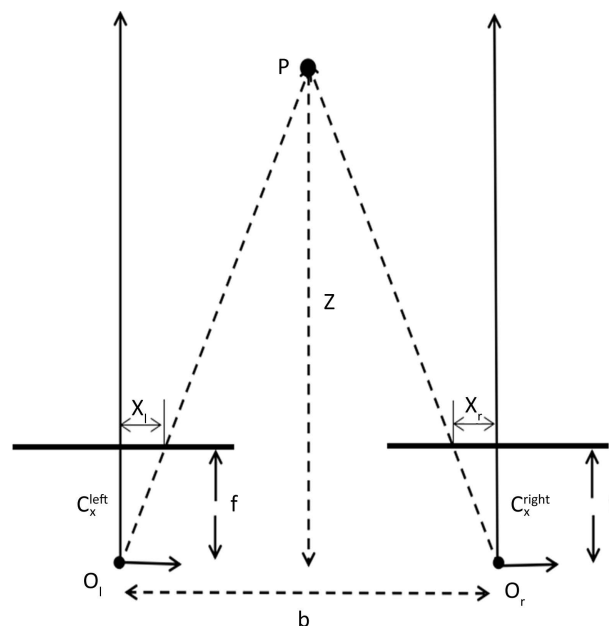


Figure 6. Principle of ranging
图 6. 测距原理

图中假设左右两个相机前行排列, O_l 、 O_r 为相机光心,点 P 为待测物体的位置, f 为相机焦距, b 为两相机之间的距离, Z 为所求的深度信息。在理想情况下,将视差定义为 d ,利用相似三角形性质可得:

$$d = X_l - X_r \quad (1)$$

$$\frac{b - (X_l - X_r)}{Z - f} = \frac{b}{Z} = Z = \frac{f \cdot b}{X_l - X_r} \quad (2)$$

如要测量出待测物体 P 的距离，只需要计算出视差 d 与焦距 f 即可，通过相机标定、图像矫正、立体匹配等步骤可得到以上参数。双目立体测距精度高，便于机器人在狭窄工作区准确避开障碍物。

3.2.2. 超声波辅助测距

超声波模块采用 HC-SR04，它共有 VCC、GND、接收端 Echo 以及控制端 Trig 4 个引脚，如图 7 所示。当上位机向下位机发出采集信号，下位机通过引脚将信号传递给超声波模块，使其发射探头发出超声。当前方障碍物在超声波模块的量程里时，超声波模块向开发板返回一个回声信号[5]，通过发送和接收超声波，开发板可通过时间差与声速计算出障碍物的距离。



Figure 7. Ultrasonic module
图 7. 超声波模块

当有物品向机器人靠近时，避障模块可以快速检测出二者之间的距离，并实时反馈给控制及系统或者后台，进行刹停同时进行温馨的语音播报，提示安全行驶中请勿靠近，确保了机器人安全。

3.3. 视觉模块

视觉模块是机器人的眼睛，本文设计的机器人搭载了双目摄像头，采用 YOLOV3 作为视觉识别算法。YOLOV3 使用了 53 层卷积层作为主干，同时在基础网络中采用了大量的残差连接，当摄像头采集完图像后，YOLOV3 将采集到的整个图像都输入到网络中，经过卷积、特征提取、损失计算等步骤后，可以直接预测目标位置和对应的类别。通过视觉模块，机器人可对周围目标进行识别与追踪，有助于机器人自主装卸机构准确识别并抓取包裹进行投放。同时也能让机器人在执行任务过程中，减少突发事件。

3.4. 通讯模块

目前，大多数机器人通讯控制方式为使用 RS485、RS232 总线，这些总线通讯容量较少、速率低，当系统较大时，实时性较差。为加强各模块之间的联系，提高机器人整体运动的实时性与灵活性，本文使用了 CAN (Controller Area Network, 控制器局域网) 总线技术进行通讯。CAN 总线技术采用多主机工作方式，网络上任意节点可在任意时刻向其它节点进行数据传输，且各节点都有不同的优先级，传输速度快，通讯距离远，可满足机器人实时性需求。CAN 总线网络连接在 CAN_H 与 CAN_L 两根数据总线之间，各个节点通过两条线实现信号差分传输。

主控系统采用 STM32 主控板，主控系统通过以太网接口接入网络，实现信息交换。底层各模块连接着 CAN 总线，各模块分别为电源模块、电机驱动模块、激光雷达测距模块、视觉模块等。当 PC 机规划好任务后，将通讯 STM32 主控系统，主控系统通过 CAN 总线中的各个节点发送指令信息联系各个模块。

同时各模块根据功能的不同,将采取不同的方式与主控系统进行通讯,当机器人遇到急停等特殊情况下,将会按照动态优先级调度原则优先处理该指令信息,保证机器人能及时处理各种突发状况。

4. 实验仿真

机器人硬件系统搭建完成后,为验证机器人整体运动、自主避障导航等功能,我们在实验室环境下,通过在 Rviz 中发布所需要到达的目的地,并且在路径途中摆放障碍物对机器人进行测试。机器人通过激光雷达模块采集数据构建地图信息,使用蒙特卡洛定位算法进行定位,通过 ROS 系统中的 move_base 导航包,采用 A*算法寻找到最优路径[6],实现了自主避障导航。实验测试结果如图 8 所示(图中黑色部分为障碍层,红色箭头为算法通过概率过滤出来的有效的方向)。

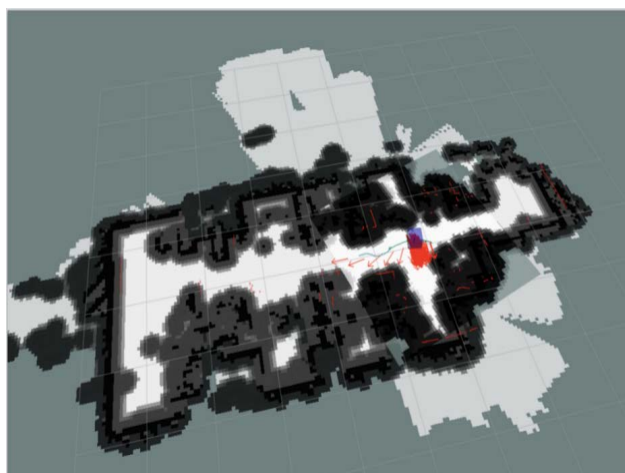


Figure 8. Experimental test chart

图 8. 实验测试图

5. 结语

论文分析了当下末端配送机器人存在的问题,设计了一种可在复杂环境下实现自主导航、精准投放、全面消杀的物流配送机器人。通过实验验证,该机器人拥有一定的实用价值,可为未来物流行业实现全面自动化带来一定的借鉴经验。后续研究将进一步完善机器人整体硬件构造,对机器人 SLAM 技术与 YOLO 深度学习算法进一步更新,提高了其实用性。

基金项目

本文得到了广东省攀登计划重点项目(pdjh2022a0717)、广东省普通高校重点领域专项(2020ZDZX2032)、广东省大学生创业实践项目(S202113684014S, S202113684015S)资助。

参考文献

- [1] 雪球. 国外十大移动配送机器人企业[EB/OL]. <https://xueqiu.com/1298751485/174408777>, 2021-03-15.
- [2] 胡子牛. 智能网联汽车冲突区域协同通行方法[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2021. <https://doi.org/10.27170/d.cnki.gjsuu.2021.001019>
- [3] 梁双, 倪晓昌, 董娇玲, 高梦杰, 杜博文. 基于激光雷达的 SLAM 算法综述[J]. 信息与电脑(理论版), 2022, 34(3): 59-61.
- [4] 侯晓乾. 基于视觉的汽车前方碰撞预警系统研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- [5] 黄鸿志, 黄诗铭, 刘静, 王晓, 许添旗, 李睿博, 庄子杰, 张宇辰, 徐志豪, 董旻. 智能盲人出行导航头盔[J]. 中

国新通信, 2020, 22(1): 51.

- [6] 王林荣, 黄涛. 基于 ROS 的激光 SLAM 室内建图定位导航智能机器人设计[J]. 无线互联科技, 2020, 17(4): 64-66+75.