

基于 ROS 的仓储管理机器人设计与 Webots 平台仿真实现

摘要—本文提出了一种仓储管理智能机器人的设计，使用 ROS 控制器，在 Webots 平台进行了模拟实现。补货机器人在货架间巡回，发现空货架则到寻找货物进行补货；取货机器人在接到键盘指令后前往对应货架取货；分拣机械臂抓住传送带送来货物，放置到篮子中。机器人通过同时定位与地图构建 (SLAM) 功能构建地图，并用于长距离移动中的导航。通过所提出的机器人设计，可以实现一个高效和安全的仓储管理系统。

关键词—ROS, Webots, Automated Guided Vehicle, State Machine, SLAM.

I. 引言

自动化的发展已成为一种趋势，随着机器人智能化程度的提高，必然会有越来越多的机器人助手进入工业与服务行业。在诸多研究与实践中，机器人代替人从事高重复性或者危险性的工作，例如，当服务机器人在商场定位路人时，它可以规划移动路线以接近他们分发传单[1]，或者机器人参与搜救工作等[2]。

2019 年新型冠状病毒疫情在武汉爆发，救援物资与五湖四海的爱心捐助涌入武汉，对武汉的仓储物流管理水平提出了较高要求，如何在确保防疫安全，减少人员聚集的情况下进行高效的物资管理成为了十分重要的研究课题。使用机器人取代人力进行仓储管理可以提高效率的同时降低接触风险。

在物流仓库中有大量的各种各样的物品需要操作，提供了丰富的交互环境，仓储管理过程需要实现很多功能，例如：路径规划、物体识别、运动控制、导航等，有利于研究智能机器人在复杂环境中的行为情况。

由此出发，笔者及小组成员设计了一套自动化的仓储管理机器人系统，可以完成巡回识别货架空位并补充货物，前往货架取走物品，机械臂分拣货物等功能，笔者在项目主要负责机器人的行为逻辑设计与初步实现。由于真实机器人成本较高，且项目时间恰逢寒假，笔者团队选择使用 Webots 平台进行机器人的模拟仿真。

II. 场景与任务设定

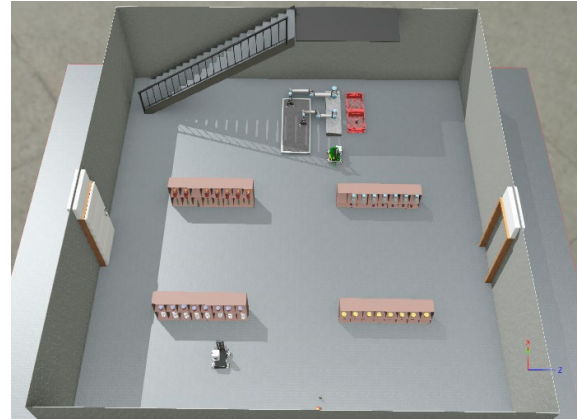


图 1. 场景设定

场景设定为物流仓库，包含四个柜子，两个自动导引车 (AGV, Automated Guided Vehicle) 机器人，八种货物，两个分拣机械臂，一个传送带，一个补货区(存放待上架货物)。

任务设定如下：

- 补货机器人(LoadGoodBot)在四个货架间巡回，若发现当前货架缺货，则去补货区寻找所需物品，拿起物品回到货架补货
- 取货机器人(FetchGoodBot)初始在指定位置待机，在键盘发出取某物品的指令后，前往对应货架取货，并将货物送往传送带分拣
- 分拣机械臂抓住传送带送来货物，放置到篮子中

III. 机器人结构设计

在我们的模拟场景中一共有三个机器人，如 Fig. 1 所示，分别用于巡回补充货架 (LoadGoodBot)，货架取物 (FetchGoodBot)，货物分拣 (UR 机械臂)。其中 LoadFoodBot 与 FetchGoodBot 结构几乎一致，仅摄像头高度不同，下文以 LoadGoodBot 为例介绍机器人结构。

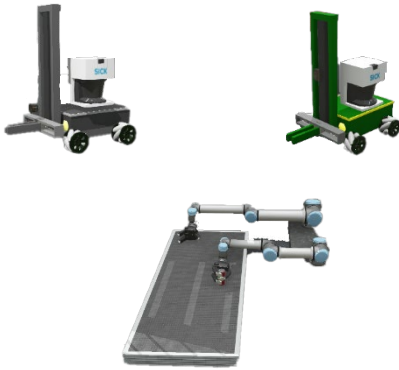


图 2. LoadGoodBot (左图)与 FetchGoodBot (右图)与 UR 机械臂(下图)外观

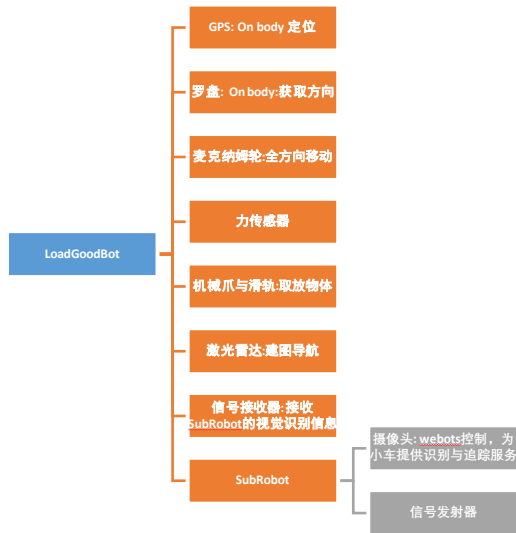


图 3. LoadGoodBot 结构示意图

如图 2 所示, LoadGoodBot 拥有不同种类的传感器, GPS 确定其在地图中位置, 罗盘确定其车头朝向, 机械爪上的力传感器检测抓取是否稳定, 激光雷达实现 SLAM 建图与导航, 摄像头用于识别视野中物体的种类, 大小, 位置。

在移动方面, 机器人采用麦克纳姆轮, 从而实现向任意方向移动。这种车轮的外环中安装了与轴心成 45 度角排列的棍子与地面接触, 转动时摩擦力会产生与轮轴呈 45 度的反推力, 四个轮子产生的推力合矢量决定其运动方向。笔者所使用的小车拥有与 KUKA youBot [3]相似底盘及麦克纳姆轮, 使用youBot的开源程序控制其运动, 从而实现了灵活便捷的移动。

在抓取方面, 机器人使用与 Pioneer3 机器人示例程序 [4] 类似的二自由度机械臂, 由能够开合的机械爪及滑轨构成, 共有三个电机驱动, 可以方便地实现不同高度抓取。

IV. 机器人逻辑设计

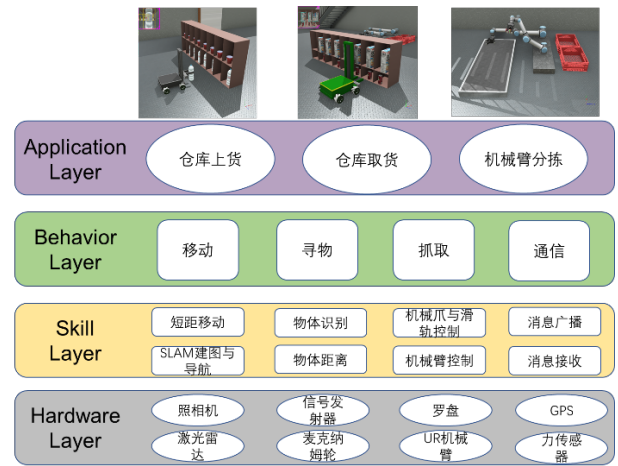


图 4. 机器人系统层级设计

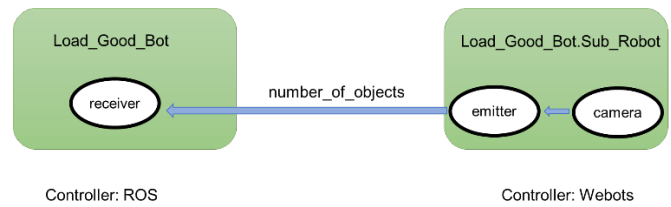


图 5. 机器人间的类 topic 通信机制

	货柜间移动	观察点到货柜某个格子	货柜到传送带/补货区	微调位置对准所抓物体
分割设置临时目标		√		√
SLAM建图导航	√		√	

表 1. 两种移动方式对应场景

小车使用一种分层的系统结构, 并结合有限状态机对小车行为进行控制, 整体结构如图 4 所示。

A. 行为设计与实现

在移动方面, 根据移动距离的远近与精度要求不同, 分别会调用两种形式的移动。其中短距移动通过分割当前位置到目标地点的路径, 不断设置临时目标进行移动, 这种移动简单且精度较高, 但无法避障; 长距离移动通过 SLAM 的建图进行导航, 相对复杂缓慢, 但可以实现避障。其分别的适用场景如表 1 所示。

在寻物方面, 通过调用 Webots 中摄像头的 Recognition API, 机器人可以获取视野中物体种类, 大小, 位置。根据空位左右的物体种类, 机器人可以得知空货柜需要的物体种类; 根据摄像仪与目标物体的相对距离信息, 机器人可以实现对目标物体的对准。

在抓取方面, 首先通过摄像头信息, 机器人对准目标物体; 之后调用电机对夹子开合大小做缓慢步进; 过程中监测机械爪上力传感器的反馈, 直到确认抓取牢固; 最后举起物体并后退, 防止与货架或者其他物体发生碰撞。

在通信方面, 为了规避某些 webots_ros 官方包 bug, 笔

者模仿 ROS 中的 topic 机制进行机器人间的通信，children 节点中机器人对物体识别信息持续广播，机器人在需要时接收并解析识别信息。

B. 状态机设计

利用状态机机制，上货与取货机器人能够较好地完成任务要求，各状态内部操作的封装也使得我们的控制器看起来更加简洁干练。两机器人的状态机如图 6 所示。

LoadGoodBot

- MovingAround 为环游巡检状态，从一个货架移动到下一个货架前的固定点(观察点)，过程使用 SLAM 建图进行导航，到达之后跳转到 RecognizeEmpty 状态。
- RecognizeEmpty 为识别空货架状态，这个状态主要调用了识别货架的函数，识别完成后将货架上的货物状态更新到数组，若有缺货则进行补货判断，计算出需要的货物名称以及需要放置的位置，然后跳转到 GotoFetchPlace 寻找货品；若没有缺货则跳转到 MovingAround 状态，前往下一个货架进行检测。
- GotoFetchPlace 为移动前往补货区的状态，到达补货区后跳转到 SearchItem 状态。
- SearchItem 为补货区搜索所需货物状态，在补货区沿直线移动搜寻所需货物，找到后跳转到 GrabItem 状态。
- GrabItem 为抓取补货区货物状态，根据摄像头信息对准目标货物，控制机械臂进行抓取，提升后跳转至 BackMoving 返程。
- BackMoving 为回程上货状态，机器人会携带着需要的货物返回之前的货架，过程使用 SLAM 建图进行导航，到达货架前后跳转至 LoadItem。
- LoadItem 为放置货物状态，机器人到达之前识别的空位置，缓慢松开机械爪并后退，放下机械爪，跳转至 MovingAround 状态。
- default 为错误报警状态。

FetchGoodBot(仅解析与 LoadGoodBot 差异较大状态)

- WaitIns 为等待指令状态，机器人在固定地点等待，直到键盘输入命令要求其取某种货物，跳转到 MovingtoCabinet 状态。
- RecognizeFull 为识别所需货物状态，这个状态对货架货物进行识别，若有目标货物则跳转到 GrabItem 状态，没有目标货物则跳转到 WaitIns 状态。

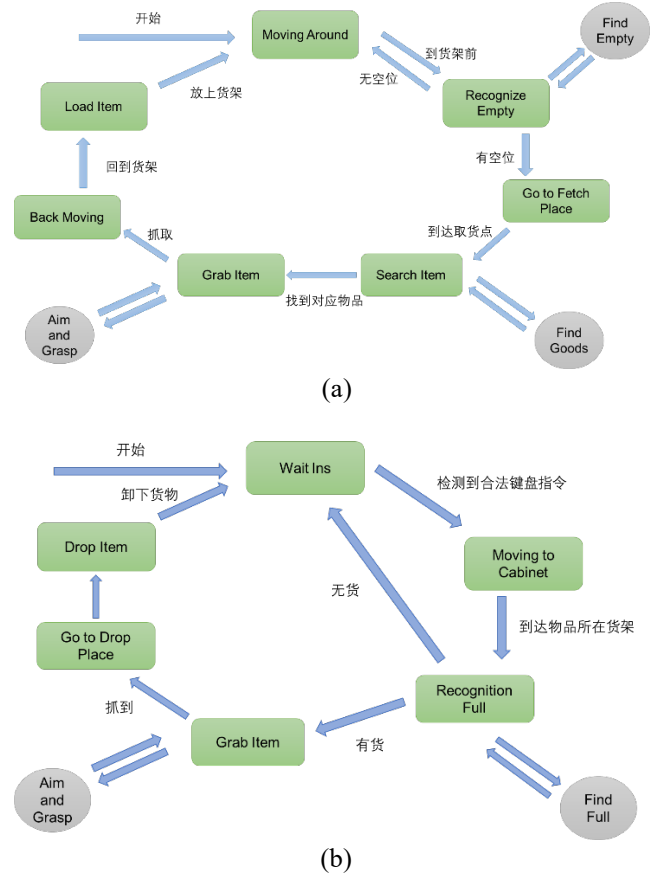


图 6. LoadGoodBot (a) 与 FetchGoodBot (b) 状态机

V. 实验

A. 抓取实验

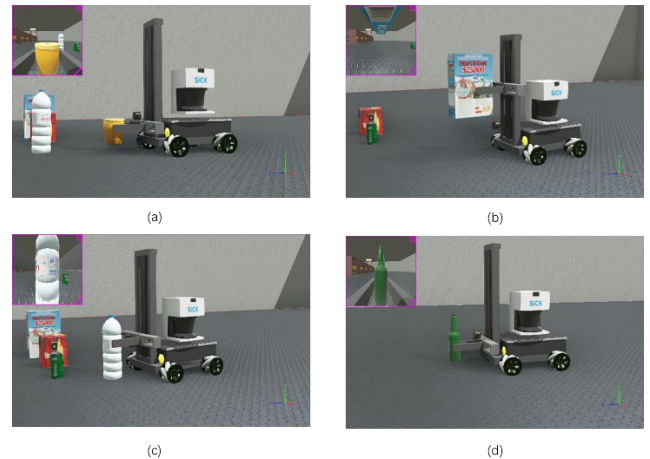


图 7. 不同物体的抓取情况

通过对摩擦力，抓取部位，抓取时机器人与货物距离，力传感器阈值的调整，可以实现对 8 种货物的稳定抓取，图 7 中 4 种物体代表了 8 种货物的基本形状。特别注意图 7-(a) 的蜂蜜罐抓取，由于其上宽下窄的曲面瓶身形状以及较小的瓶身材料摩擦系数，需要调整抓取位置至接近瓶口的平坦处

B. 通信实验

在进行 ROS 与 Webots 联合开发的过程中, 出现的最大问题是 webots_ros 包中的 recognition 功能失效, 笔者团队向开发者反映此 bug 后, 得到回应为下一个版本修复[5], 因此笔者提出使用 emitter 与 reciver 设备模拟 ROS 中的通信机制。

最初笔者设计为模拟 ROS 的 service 机制, 以减少无用的信息发送, 节省模拟算力; 同时也能保证信号传输的同步。但是 webots_ros 中的 emitter 也存在 bug, 从报错看是包在传输时损坏。

如图 5, 最终我们将相机 camera 封装入一个小机器人, 在其中内置了通信发射模块 emitter。这样我们就可以使用 webots 内置的 controller 控制 camera, 使用 API 函数获得视野中物体的信息。再通过 emitter 将信息以字节的形式广播, 机器人在需要时接收这些信息。

C. 货架补货

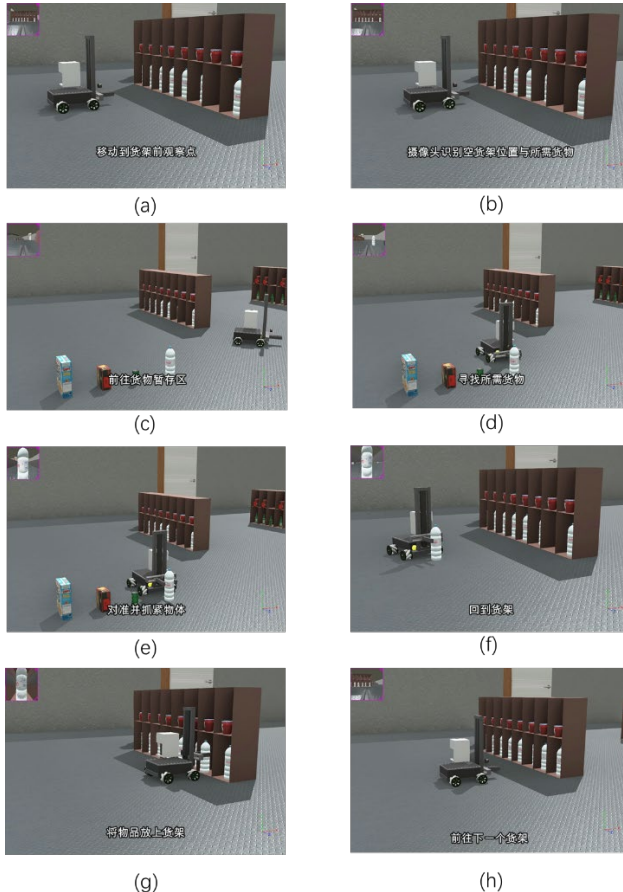


图 8. 补货过程

机器人移动到货架前观察点, 摄像头识别空货架位置与所需货物, 前往货物暂存区, 寻找所需货物, 对准并抓紧货物, 回到货架, 将物品放上货架, 前往下一个货架。如图 8 (a)-(h)所示。

D. 货架取货与机械臂分拣

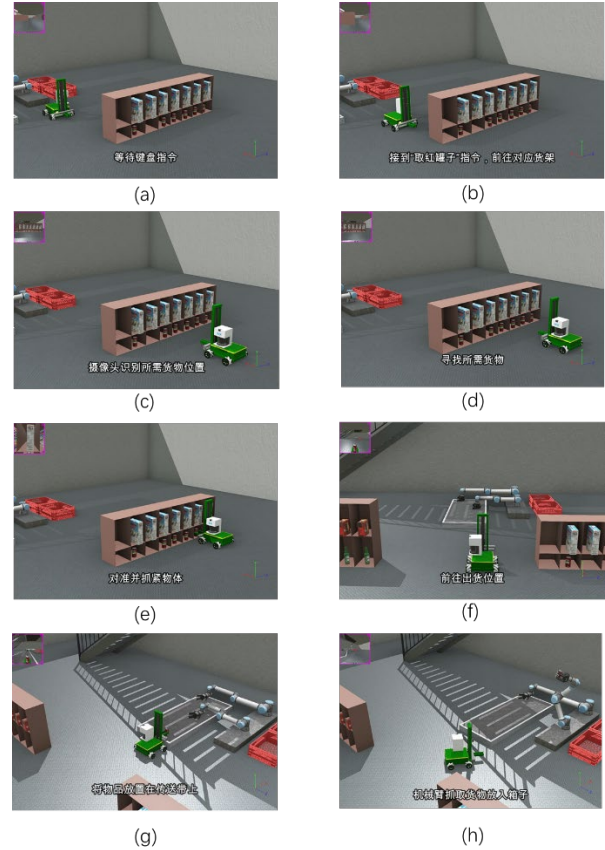


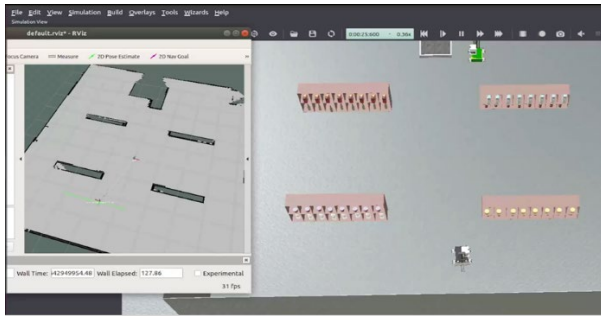
图 9 取货过程

等待键盘指令, 接到“取红罐子”指令, 前往对应货架, 摄像头识别所需货物位置, 对准并抓紧货物, 前往出货位置, 将货物放置在传送带, 机械臂抓取货物放入箱子。如图 9 (a)-(h)所示。

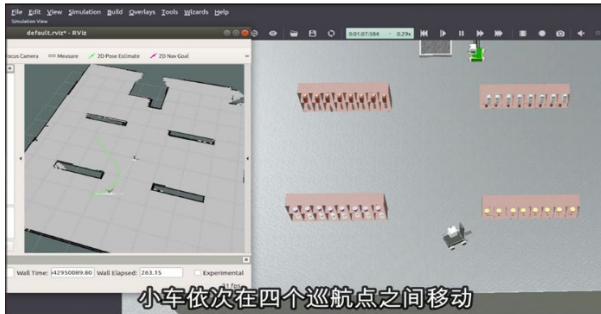
E. Slam 建图导航

如图 10, 每个货架前设置一个巡航点, 小车依次在四个巡航点之间移动, 左侧为 rviz 可视化的小车路线以及坐标, 背景为加载的由 slam 得到的地图, 地图中间两个位置相近的坐标系为 map 和 odom 坐标系, 运动的为小车坐标系, 可以代表小车所在的相对位置, 绿色的轨迹为要抵达目标所规划的行进路线。

图 10-(a)展示了在无阻碍情况下, 导航给出了最短的直线路径, 图 10-(b)展示了有阻碍的情况下, 导航给出了绕过障碍的合理路径。



(a)



(b)

图 10. 最短直线(a)与避障曲线(b)

VI. 总结

本文提出了一种仓储管理智能机器人的设计，三种不同的机器人分别负责上货，取货，分拣，使用 ROS 控制器在 Webots 平台实现，机器人移动过程中使用 SLAM 建图与导航。通过所提出的机器人设计，可以实现一个高效和安全的仓储管理系统。

VII. 致谢

一个月以来，ROS 环境配置，Webots 版本不兼容，recognition 包的 bug，emitter 发信的 bug……我们的队伍一起克服了这些问题，才最终完成了这个项目。

VIII. 参考文献

- [1] Satake, S., Hayashi, K., Nakatani, K., & Kanda, T. (2015, September). Field trial of an information-providing robot in a shopping mall. In *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (pp. 1832-1839). IEEE.
- [2] 王涵立, 鞠天麟, 顾子善, 黄家才 & 周雯超. (2021). 基于 SLAM 技术的医疗搜救机器人设计. *工业控制计算机* (10), 44-47.
- [3] Webots User Guide for KUKA's YouBot. (n.d.). Retrieved January 24, 2022, from <https://cyberbotics.com/doc/guide/youbot>
- [4] Pioneer3dx_gripper.Wbt. (n.d.). Retrieved January 24, 2022, from https://cyberbotics.com/doc/guide/pioneer-3dx#pioneer3dx_gripper-wbt
- [5] Get an Empty Array of Object with "Recognition_objects" Topic #4127. (n.d.). Retrieved January 24, 2022, from <https://github.com/cyberbotics/webots/issues/4127>