校名-小

大学生创新创业训练计划项目  
定级阶段检查表

项目编号：202412042

项目类型：创新训练☑ 创业训练□ 创业实践□

项目中文名称：月表多机械臂协同控制的移动操作机器人装配系统

项目英文名称：Mobile operation robot assembly system with cooperative control of multiple robotic arms on the lunar surface

项目依托学院：智能工程与自动化学院 项目负责人： 罗健迅

联系电话：13510409219

E-mail： [911039205@qq.com](mailto:911039205@qq.com)

指导教师：[张时毓](https://teacher.bupt.edu.cn/zhangshiyu/zh_CN/index.htm) 陈钢

E-mail： [shiyu.zhang@bupt.edu.cn](mailto:shiyu.zhang@bupt.edu.cn) [buptcg@163.com](mailto:buptcg@163.com)

起止年月： 2024年9月-2025年7月

填报时间：2024年 9月15日

**填写说明**

1. 本检查表所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要。
2. 检查表为大16开本（A4），根据内容需要可自行加页，但格式须与原件一致。
3. 检查表填写完毕后，须在“北京邮电大学大学生创新创业计划训练平台” 端口开放时间段内上传并提交，并请项目指导教师在网站上进行审核。
4. 提交检查表前，要确定所有团队成员和指导教师已经在“北京邮电大学大学生创新创业计划训练平台”网站上注册完成，否则无法正常提交。
5. 检查表填写时，“项目组成员签字”“指导教师签字”“学院检查小组意见”“学校意见”无须填写。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | 月表多机械臂协同控制的移动操作机器人装配系统 | | | | | | |
| **项目性质** | 创新训练☑ 创业训练□ 创业实践□ | | | | | | |
| **项目来源** | 导师科研☑ 自主探索□ 滚动支持□校企合作□  科研院所合作□ 雏雁获奖□ 校际合作□ | | | | 项目起止时间 | 2024年 9月15日 | |
| **指导教师** | [张时毓](https://teacher.bupt.edu.cn/zhangshiyu/zh_CN/index.htm) | 职 称 | 特聘副研究员/博导 | 电话 | 13141290404 | | |
| **指导教师** | 陈钢 | 职 称 | 教授 | 电话 | 13811716316 | | |
| **项目完成人** | 姓名 | 所在学院 | 专业 | 班级 | 学号 | | 联系方式 |
| 罗健迅 | 智能工程与自动化学院 | 机械工程 | 2022211705 | 2022212321 | | 13510409219 |
| 张含辉 | 电子工程学院 | 电子科学与技术 | 2022211210 | 2022210909 | | 19892908301 |
| 舒岩博 | 国际学院 | 电信工程及管理 | 2023215105 | 2023213163 | | 18008332769 |
|  |  |  |  |  | |  |
|  |  |  |  |  | |  |
| **项目类别** | **□**智能硬件**□**社交媒体**□**数字娱乐**□**通信网络**□**医疗健康**□**公共服务**□**电子商务  **□**教育文化**□**房产家居**□**理论研究**□**机器人**□**无人机**□**智能制造**□**智能交通  **□**创意设计**□**红旅专项**☑**其他**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | | | | |
| **检索关键词** | 机械臂运动规划、月表建设、机械臂协同控制 | | | | | | |
| **一、项目进展情况说明** 1、项目计划要点（目标、内容、关键技术、创新点、商业模式）和调整情况  （是否按研究计划进行，若研究内容或人员有调整和变动，请说明原因）  **目标：**  利用多机械臂协同机器人开凿月表溶洞并在溶洞中设置用桁架搭建的支架以供充气式空间站在轨道中通过磁悬浮等方式移动。其中充气式空间站采用月表烧结技术固定加固，地下溶洞中设置的桁架搭建的支架分为支撑结构和移动轨道。充气式空间站可通过轨道移动，到月球不同地点观测和完成太空任务，在地下也可以有效避免太阳风暴等的影响。  **内容：**  1. 路径规划：  全局路径规划：基于月表地形图及地下基地设计蓝图，利用算法为机器人团队规划出从起点到目标点的最优或次优路径，考虑地形障碍、坡度等因素。  局部动态避障：集成激光雷达、视觉传感器等，实现机器人在执行任务过程中的实时环境感知与动态避障，确保安全高效运行。  协同路径优化：考虑多机器人间的相互影响，通过协同算法（如遗传算法、粒子群优化等）优化路径，减少冲突，提高整体效率。  2. 机器人类型与数目：  类型：设计两种主要类型的机器人——移动基础平台和机械臂装配单元。移动基础平台负责在不同工作地点间快速转运，而机械臂装配单元则负责具体的建设作业，如轨道铺设、材料搬运等。  数目：根据任务规模、时间要求和资源限制，初步规划部署若干（如5-10台）移动基础平台和相应数量的机械臂装配单元，确保任务的高效并行处理。  3. 任务分配问题模型：  任务分解：将整体建设任务分解为多个子任务，如轨道铺设的不同段落、材料运输的不同批次等。  能力匹配：基于机器人类型、当前状态（电量、负载能力）、位置等因素，使用任务分配算法将子任务分配给最合适的机器人。  动态调整：在执行过程中，根据任务进展、突发情况（如设备故障、环境变化）动态调整任务分配，确保任务按时完成。  **关键技术：**  1. 多机器人的路径规划：  在多机器人系统中，路径规划技术的核心任务是为每个机器人设计出一条既高效又安全的路径，同时确保它们在执行任务时能够避免相互干扰和碰撞。这要求系统能够实时感知周围环境，并对动态变化做出快速响应，通过先进的协同控制策略和优化算法，实现路径的动态调整和优化。此外，路径规划还需要考虑机器人的动力学和运动学限制，以及系统的安全性和可靠性，确保在复杂和不可预测的环境中，机器人能够稳定地执行任务。通过集成这些关键技术，多机器人系统能够在各种应用场景中实现高度自动化和智能化的协同作业。  2. 多机械臂的轨迹规划：  多机械臂的轨迹规划技术是确保机械臂协同工作且避免相互干扰的核心。这种技术需要综合考虑机械臂的运动学和动力学特性，以及工作环境中的各种约束条件。轨迹规划不仅要确保每条轨迹的平滑性和可行性，还要优化机械臂的速度和加速度，以提高作业效率和精度。为此，通常会采用如多项式插值、样条曲线或者基于动力学的轨迹生成算法来生成连续且无碰撞的轨迹。同时，轨迹规划系统还需具备实时调整的能力，以应对环境中的突发变化或机械臂间的潜在冲突。此外，为了提高系统的灵活性和适应性，轨迹规划算法往往需要集成先进的传感器数据和人工智能技术，以实现更加智能化的决策和控制。通过这些技术的整合应用，多机械臂系统能够在复杂多变的工作环境中实现高效、精确且协同的作业。  **创新点：**  1. 应用场景创新：  在建设月表基地中，炸溶洞的过程是一项创新且高效的方案。这一方案的核心思想是利用月球上天然形成的熔岩管洞穴，这些洞穴由过去的火山活动形成，具有较大的内部空间，且内部环境相对稳定，能够为月球基地提供天然的庇护所。在经过前期选址，钻地弹穿孔之后，为了对洞穴进行加固与后续的基地建设，将派遣机器人在溶洞中搭建支架(分为支撑结构和移动轨道)，支架部分都可以用桁架搭建，充气式空间栈可以在轨道中通过磁悬浮等方式移动，可以到月球不同地点观测和完成太空任务，在地下也可以有效避免太阳风暴等的影响。 | | | | | | | |
| **2、目前工作主要进展**  移动机器人系统模型组成设计：设计了六自由度机械臂模型，定义了连杆的几何形状、质量、惯性参数等，并定义了关节，大部分为旋转关节。末端执行器抓夹被加入，并设置了移动关节参数。  移动机器人工作空间分析：完成了机械建模和工作空间分析，分析了运动规划的变换矩阵。  机器人桁架装配任务规划：采用了Moveit软件包，通过move\_group节点整合多个组件，提供ROS风格的Action和Service，针对桁架装配进行了可行性分析和仿真。  **3、阶段性成果（提供相关附件）**  **1.移动机器人系统组成设计**  设计了六自由度机械臂模型，定义了连杆的几何形状、质量、惯性参数等，并定义了关节，大部分为旋转关节。末端执行器抓夹被加入，并设置了移动关节参数。小车模型也在URDF文件中定义，包括基座和六个轮子的连杆和关节。通过固定joint将小车与机械臂连接，形成整体设计。    整体设计效果图  **2.移动机器人工作空间分析**  a.机械建模  机械臂D-H参数表   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 关节序号 | θi | di | ai-1 | αi-1 | | 1 | θ1 | 0.1 | 0 | 0 | | 2 | θ2 | 0 | 0 | Pi/2 | | 3 | θ3 | 0 | 0.14 | 0 | | 4 | θ4 | 0.28 | 0 | Pi/2 | | 5 | θ5 | 0 | 0 | Pi/2 | | 6 | θ6 | 0.02 | 0 | -Pi/2 |   在Matlab中使用plot函数或teach函数即可将机械臂可视化，建模效果如下：    机械臂建模效果图  b.工作空间分析  由上述的相邻连杆的运动关系可知， 连杆i 在杆件坐标系i -1中的相对位姿可用 4 个齐次变换矩阵来描述， 如下矩阵表示为:    因此，机械臂的末端执行器坐标系相对于基座标系的变换矩阵为：    从而在得知各关节角度的情况下，可求得机器人末端执行器的位姿。在Matlab中可直接使用fkine函数求末端执行器的位置。  此外，可以通过寻找点集边界的方式来拟合工作空间的范围，工作空间的包络面效果图如下：    工作空间包络面效果图  **3.机器人桁架装配任务规划**  我们采用了Moveit软件包，通过move\_group节点整合多个组件，提供ROS风格的Action和Service。该节点能够获取URDF、SRDF和配置信息，并通过监听/joint\_states主题和tf库来监视机器人状态和变换信息。与此同时使用MoveIt Setup Assistant图形界面工具，用于配置MoveIt所需的ROS包，生成SRDF文件和管道配置文件。使用C++和VScode，通过moveit\_setup\_assistant对自定义机械臂进行配置，包括自碰撞检测、定义虚拟关节、设置规划组和运动学求解器等。通过rviz gui和C++接口，利用Plan()和Execute()等API控制机械臂完成从移动到桁架集中放置处、拾取桁架、移动至目标装配位置、放下桁架并返回的装配任务。  4、**目前项目经费使用情况**  无 | | | | | | | |
| **二、项目成员分工及完成情况**（要求明确写出每名成员的工作内容和工作量，在项目研究过程中承担的责任和取得的成果）  罗健迅：主要负责工作空间的分析与优化，他深入研究了各类工作环境的特点，精准完成了机械系统的三维建模，并进行了详尽的工作流程分析，为项目提供了坚实的物理基础与效率评估。  张含辉：专注于移动机器人的系统建模与初步仿真验证。他利用先进的软件工具，精心构建了机器人的运动学及动力学模型，并实施了部分关键场景的仿真测试，有效验证了设计方案的可行性与性能表现。  舒岩博：作为ROS平台应用与开发的核心成员，他主导了基于ROS的机器人仿真环境搭建，实现了复杂场景下的模拟运行。同时，他还深入参与了机器人的嵌入式系统开发，包括硬件接口设计、底层驱动编写及实时控制系统优化，为机器人的智能化、自主化运行提供了强有力的技术支持。 | | | | | | | |
| **三、项目下一阶段工作计划及预期成果** | | | | | | | |
| 1. **下一阶段主要研究内容和工作计划**   **1.深化路径规划与协同控制算法的学习与优化**  为了不断提升系统效率与鲁棒性，我们将进一步深入探索路径规划与协同控制算法的核心原理。在此基础上，我们将根据实际应用场景的特点和需求，进行针对性的算法优化。这不仅包括算法参数的精细调整，还包括算法结构的改进和创新，以确保在各种复杂环境下，系统都能保持高效、稳定的运行。  **2.探索人工智能与机器学习在机器人自主决策中的融合应用**  我们计划全面调研人工智能与机器学习技术在机器人自主决策与智能适应方面的最新进展。通过对比分析不同技术的特点与优势，我们将探索如何将它们与现有算法进行深度融合。在此过程中，我们将注重技术的实用性和可行性，选择最符合当前应用条件的组合方式，以进一步提升机器人的自主决策能力和智能适应水平。  **3.研究月球环境下的能源自给自足方案**  针对月球环境的特殊性，我们将深入研究能源自给自足方案，以延长机器人的作业时间。这包括调研各种供电方法和可充电电池的性能特点，以及它们在月球环境下的适用性和可靠性。通过对比分析，我们将选择最优的能源解决方案，为机器人的持续运行提供有力保障。  **4.优化桁架结构设计与连接方式**  我们将对现有的桁架结构特点进行深入分析，并重点研究地下轨道的桁架连接方式。在此基础上，我们将致力于设计一种简化、快速组装的桁架杆和桁架头，以提高组装效率和降低组装难度。这不仅有助于提升工程实施的速度和质量，还能为未来的月球探索任务提供有力支持。  **5.在ROS环境中搭建仿真模型进行多机械臂协同控制验证**  为了在虚拟环境中对多机械臂协同控制进行深入研究，我们将在ROS（Robot Operating System）环境中搭建仿真模型。通过模拟不同场景下的机械臂协同作业过程，我们将验证移动机器人在月表移动的灵敏度和机械臂协同完成任务的可行性。同时，我们还将对桁架快速组装方案进行仿真验证，以确保其在实际应用中的可行性和有效性。   1. **预期研究成果**   预期成果：  1.开发出一套适应月表极端环境的多机械臂协同控制移动操作机器人装配系统。  2.成功演示该系统在月表地下基地自动化建设中的实际应用，特别是地下轨道铺设任务。  3.评估并展示该系统在月表空间基地其他建设与维护任务中的广泛应用潜力。   1. 经费使用预算  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **支出项目类别** | **支出项目说明** | **支出金额（元）** | **测算依据** | | 1、业务费 | 打印费、复印费、装订费、书费、资料费等费用 | 200 | 机器人相关书籍等资料 | | 2、仪器设备购置费 | 购置或试制专用仪器设备，对现有仪器设备进行升级改造等费用 | 5000 | 计算设备、摄像头、以及机械结构本体 | | 3、材料费 | 芯片、模块、元器件、电路板等低值易耗品费用 | 800 | 开发板、元器件等 | | 4、外协费 | 支付给外单位的检验、测试、化验、维修、租赁和加工制作等费用 | 2000 | 产品的加工包装 | | 5、差旅费 | 开展科学实验（试验）、科学考察、项目调研、学术交流等所发生的外埠差旅费 | 1000 | 调研、测试非实验室环境下系统的功能性 | | 6、会议费 | 学术研讨、咨询、培训等费用 | 500 | 学术研讨等 | | 7、专项业务费 | 版面费、专利申请及其他知识产权事务等费用 | 500 | 论文、版面费、专利申请等 | | **合计**（元） | 10000 | | | | | | | | | | |
| **四、指导教师综合评价** | | | | | | | |
|  | | | | | | | |
| 项目组成员  签字 |  | | | | 年 月 日 | | |
| 指导教师签字 |  | | | | 年 月 日 | | |
| **五、评审意见** | | | | | | | |
| **专家组评价意见：**  **基地主任签字：**  **年 月 日** | | | | | | | |
| **学校审批意见：**  **负责人签字：**  **盖章 年 月 日** | | | | | | | |