

2024年招生计划

四、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 面向月球探测的移动机械臂多边遥操作技术研究

选题类别： ☐基础性研究 ☐应用性研究 ☐工程技术攻关研究  
☐新开辟的研究方向 ☒已有研究方向的继续 ☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

1. 研究目的及意义

由轮式移动机器人与机械臂构成的移动机械臂（又称为月球巡视器），在我国探月工程中发挥着十分重要的作用。对月球巡视器进行遥操作是进行探测活动至关重要的一环，目前，我国月球车采用的“移动-等待”遥操作模式效率不高，严重影响任务实施效率。因此，考虑月地通信时延，突破移动机械臂的多边连续遥操作技术，使工程任务效率得到极大提升，对我国后续行星表面巡视探测任务的推进意义重大。本项目面向我国将要开展的“嫦娥六号”-“嫦娥八号”月球探测任务，聚焦于松软环境中移动机械臂遥操作设计难题，通过采用多操作者及大-小双比例的机械臂运动映射架构，创新地提出了多操作者协同遥操作方法，突破传统的固定运动映射比例与轮式移动机器人理想假设带来的瓶颈。研究成果可为移动机械臂在月球探测的工程应用提供理论基础与技术看方案，还可推进移动机械臂在国防、医疗等领域的应用。

2. 研究内容

本项目面向月球探测移动机械臂在遥操作过程中的多操作者协同控制及大工作空间精准作业需求，针对机械臂双操作者协同遥操作技术、移动机械臂三操作者协同遥操作技术、移动机械臂遥操作系统开发及实验验证等内容开展研究。

（1）机械臂遥操作为了覆盖较大的作业空间，通常会选择较大的运动映射比例，然而受操作者手臂运动识别度的影响，且存在手抖、未知干扰等问题，难以实现对大工作空间下定点作业的精准控制。通过采用不同运动映射比例，多操作者协同作业是提升机械臂遥操作系统运动精度的有效手段，但相应机制尚缺乏明确的阐述。本项目拟建立基于大-小双比例的运动映射，研究双操作者协同精准遥操作方法，阐明不同比例尺度下双人协同遥操作机制等内容。

（2）移动机械臂多操作者遥操作通过合理的任务分工与相互协同，可以大大降低操作者的决策负担，但是由于环境和任务的复杂性和不可预期性，不仅需要构建稳定的多边遥操作系统，还需要发挥多操作者之间基于力觉的协同能力，形成高效的人机协同遥操作机制。本项目深入解析遥操作系统多主多从耦合交互作用的机理，开展移动机械臂三操作者协同遥操作及半自主遥操作研究，建立变时延多边遥操作系统稳定性设计及透明性设计与参数优选方法。

（3）为全面验证本项目所提出的移动机械臂三操作者协同遥操作方法，本项目拟从系统工程应用角度出发，基于已有的月球车和机械臂，搭建遥操作实验平台，完成系统一体化集成。开展测试及应用研究，为本项目关键理论与技术的工程化、实用化提供有力支撑。

3. 学术创新点

（1）基于主从端大-小双比例运动映射模式，建立机械臂大工作空间精准遥操作方法  
针对机械臂在大工作空间下，常使用的固定运动映射比例难以实现对精准定点作业的遥操作任务。本项目创新地提出了采用主从端大-小双比例的运动映射架构，通过双操作者在遥操作过程中的协同控制，实现机械臂在大工作空间下任意点的精准操作。本项目突破了固定运动映射比例的缺陷，为机械臂在大工作空间下的高效、精准遥操作控制提供必要的理论铺垫以及技术可行性基础。

（2）构建由三主端手柄、从端月球车与机械臂组成的移动机械臂三操作者遥操作控制方法  
移动机械臂遥操作大多数仍是基于室内工况的研究，针对野外工况尤其是月表环境下的相关研究仍然较为匮乏。为充分发挥遥操作技术在月球探测移动机械臂执行任务过程中的作用，提高系统的精准性、可靠性及效率，本项目创新地提出了三操作者协同控制移动机械臂的多边遥操作模式。本项目可为复杂环境下月球探测移动机械臂的精准、安全遥操作提供新的思路及技术看方案，也可为机器人多边遥操作系统稳定性和透明性设计提供理论基础。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

- （1）面向月球探测的移动机械臂变时延多动力学遥操作技术研究， 国家自然科学基金面上项目， 58万，2022-01 至 2025-12，主持
- （2）湘钢无人驾驶项目-自动倒挂系统，企业横向，88万，2021-06 至 2023-12，主持
- （3）移动机械臂人机协同作业技术，纾困项目，15万，2023-05 至 2025-05，主持
- （4）施工现场无人化物料水平运输机器人研究与应用，企业横向，619万，2022-07 至 2025-06，主持

2024年招生计划
四、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介
<div>1. 博士论文研究方向： 基于增量式模仿学习的星球车智能控制技术研究</div> <div>选题类别：<input type="checkbox"/>基础性研究                      <input type="checkbox"/>应用性研究                      <input type="checkbox"/>工程技术攻关研究</div> <div><input type="checkbox"/>新开辟的研究方向                      <input checked="" type="checkbox"/>已有研究方向的继续                      <input type="checkbox"/>其他</div>
<div>2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介</div> <div>1. 研究目的及意义</div> <p>我国已成功发射了玉兔号、祝融号等星球车，其运动控制主要采用“地面遥操作+有限器上自主”的半自主探测方式。然而，星球探测存在环境复杂不确定、通讯时延大、以及器上资源约束严苛等难题，导致星球车面对多维、非线性约束场景时的智能化水平严重受限，地面工作人员遥操作工作量巨大，探测效率低。因此，如何有效提升探测器的器上自主水平，实现在未知不确定星表环境中的自主类人操控，保证探测任务安全、高效地完成，已成为星球移动机器人亟待解决的重要科学问题之一。因此，本项目拟基于地面遥操作的人机协同交互数据集与模仿学习理论，开展星球车由地面遥操作→半自主遥操作→全自主的智能化演进方法研究。本项目的研究成果能够有效提升星球车面对未知环境的适应性与自主机动控制性能，加快星球车由地面遥操作到全自主的演变进程，为星球探测任务提供理论支撑及可行性技术方案，对未来星球探测工程中的星球车全自主表面巡视、多地取样归集、移动采集和设施建造等操控任务具有重要的意义。</p> <div>2. 研究内容</div> <p>本课题基于地面遥操作的人机交互过程与深度强化学习理论，以建立星球车智能演变方法为目标，重点研究地面遥操作与器上自主的协同作业机制、基于人机协同遥操作的增量式模仿学习方法。</p> <p>（1）基于地面遥操作与器上自主的星球车人机协同控制技术研究</p> <p>针对星球车在多苛刻约束下，人机协同作业面临的指令可信度评估难题，本项目拟构建通过性与安全性评价方法，提出星球车全驱动轮力矩智能分配方法，建立全局与局部运动的耦合规划决策方法；建立融合地面力学、月球车动力学、虚拟力的从端机器人模型，基于前馈补偿与阻抗控制算法，建立基于月球车双边遥操作方法；基于环境与运动信息构成的多维任务空间，提出基于任务空间的加权矩阵设计方法，实现地面遥操作与器上自主的人机协同作业机制。</p> <p>（2）基于遥操作增量式模仿学习的星球车器上自主智能演进技术研究</p> <p>针对星球车器上自主水平较低与智能化程度受限的难题，本项目拟提出基于人机协同操作数据逐步提升星球车自主探测水平的解决方案，建立基于人机协同操作方法的增量式模仿学习框架；实现星球车对地面操作者行为决策模型的深度类人模仿，通过自动学习、自动更新，逐步完成星球车由遥操作到全自主的智能演进；研究星球车在自主、遥操作、人机协同、模仿学习等多运动模态下的自主切换策略，形成基于增量式模仿学习的星球车智能控制理论与技术。</p> <p>（3）星球车智能控制系统集成与演示验证</p> <p>本项目拟基于前两部分研究成果，进一步设计星球车智能控制系统的技术框架，实现各分系统软硬件开发及系统集成，研制星球车原理样机实验验证平台；模拟松软、崎岖等星表环境，开展星球车遥操作到全自主演进过程的实验与演示验证，对前述关键理论与技术进行迭代优化。</p> <div>3. 创新点</div> <p>（1）基于任务空间加权矩阵的人机协同作业机制</p> <p>针对星球车在多苛刻约束下，人机协同作业面临的指令可信度评估难题，本项目构建了通过性与安全性评价方法，提出了星球车全驱动轮力矩智能分配方法，建立了全局与局部运动的耦合规划决策方法；基于环境与运动信息构成的多维任务空间，创新地提出了基于任务空间的加权矩阵设计方法，实现地面遥操作与器上自主的人机协同作业机制。</p> <p>（2）基于增量式模仿学习的星球车器上自主智能演进技术</p> <p>针对星球车器上自主水平较低与智能化程度受限的难题，本项目创新地提出了基于人机协同操作数据逐步提升星球车自主探测水平的解决方案，建立了基于人机协同操作方法的增量式模仿学习框架，实现星球车对地面操作者行为决策模型的深度类人模仿，通过自动学习、自动更新，逐步完成星球车由遥操作到全自主的智能演进。</p>
3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

- (1) 面向月球探测的移动机械臂变时延多边动力学遥操作技术研究， 国家自然科学基金面上项目， 58万， 2022-01 至 2025-12， 主持
- (2) 湘钢无人驾驶项目-自动倒挂系统， 企业横向， 88万， 2021-06 至 2023-12， 主持
- (3) 移动机械臂人机协同作业技术， 纾困项目， 15万， 2023-05 至 2025-05， 主持
- (4) 施工现场无人化物料水平运输机器人研究与应用， 企业横向， 619万， 2022-07 至 2025-06， 主持