

1. 博士论文研究方向： 面向在轨组装与维护的空间机器人运动规划

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

空间机器人在轨组装是一种高效的建造、维护大型空间设施的方法，美国NASA已计划在轨验证该项关键技术，本方向针对这一国际前沿核心问题开展研究，突破面向超大口径望远镜或大型桁架在轨装配的智能机器人系统及理论问题，其主要研究内容有：

(1) 具有灵巧末端操作机构的刚柔耦合在轨装配冗余/超冗余机器人设计及理论

空间望远镜在轨模块组装操作包括目标部件的拾取、搬运、安装、锁紧和分离等任务，需要开展多自由度轻型冗余/超冗余机械臂设计、具有机械和电气连接功能的大位姿容差灵巧末端操作机构设计，力觉/视觉传感器系统设计等。同时面向大型空间望远镜组装作业需求，具有较大长度轻型空间机器人关节和臂杆的柔性不可忽略，需开展刚柔耦合机器人构型设计，机构、传感、驱动和微处理器系统的集成一体化设计及理论研究。

(2) 柔性基座下刚柔耦合空间冗余/超冗余机械臂在轨运动控制研究

对于刚柔耦合空间机械臂首先要完成柔性行为的机理分析与建模，建立空间机械臂柔性行为的完备建模理论和激发机理分析方法；然后提出关联耦合下柔性行为演化动力学建模和计算方法；最后考虑在轨运动时，柔性基座下机械臂的运动特性分析、超冗余机械臂的运动学逆运算、柔性基座冗余机械臂基座扰动最小优化轨迹规划、基于模型预测的柔性基座机械臂振动抑制研究和大负载低基频柔性基座机械臂阻抗控制研究。

(3) 空间机器人在轨装配复杂环境感知与自主作业

在轨装配过程也是空间作业任务环境不断发生复杂变化的过程，空间机器人需要利用自身的传感系统能够对场景所发生的变化进行实时地动态感知，并通过学习实现局部智能控制，完成自主作业。需要对从不同传感器得到的测量数据进行融合处理和分析，建立有效的数学描述方法，充分利用异类信息在空间和时间上的互补性以及协同性，建立信息融合准则，发展快速信息融合算法对信息进行筛选和提取，提高预测与感知能力，增强自主作业效率。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家自然科学基金重大研究计划重点项目“面向在轨建造的可再生多分支超冗余空间机器人系统研究”227万，2022-2025，项目负责人

国家自然科学基金基础科学中心项目“空间机器人智能操控”6000万/1200万，2024-2028，骨干成员

1. 博士论文研究方向： 机器人航天员关键技术研究

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

当前空间机器人的研究受到国际载人航天界的重视，美国、日本、欧空局都已经开展了空间机器人试验研究，特别是美国已于2011年把Robonaut 2机器人送到国际空间站，并开展空间试验研究。机器人航天员具有拟人的身体结构、智能学习和模拟人动作的工作能力，可以协助航天员进行各种精细操作作业，在耐受空间环境和长期工作方面比航天员具有很大优势。针对未来空间站、深空探测、在轨维护与服务等空间应用需求，本课题拟开展多自由度高灵巧机器人航天员系统设计、机械臂及双臂协调操作、多感知仿人灵巧手抓取规划和系统功能验证技术研究，突破机器人航天员系统的模块化关节、多指灵巧手和双臂协调操作等关键技术，研制面向未来空间在轨服务的机器人系统地面原理样机，完成典型空间服务任务的地面演示，为我国机器人航天员的实际应用奠定技术基础。

机器人航天员系统是一个集机、电、智能控制为一体的高度复杂与集成的系统。这里主要的研究内容有：

1) 高度集成的柔性关节机械臂及双臂协调操作研究模块化柔性臂的核心是其单关节的高度集成，关节包括驱动电机、电机位置传感器、关节位置传感器、电流传感器、掉电刹车自动保护、轻型减速器、关节力矩传感器等核心部件，最终研制出具有模块化关节、多种感知能力、大负载自重比的机器人航天员机械臂。双臂系统使得机器人航天员有了更大和更灵活的运动空间，然而同时也带来了计算和控制上的困难。根据现场环境寻求优化的控制策略是应用双臂系统的关键技术，可充分发挥多臂操作的优点。

2) 多感知五指灵巧手及其抓取规划研究

多种感知的灵巧手是由多个模块化的手指组成，手的智能程度将取决于它的传感功能，每个手指将驱动与手指融为一体，包括力矩传感器、温度传感器、关节位置传感器等多种必要的传感器。研制出高度集成、具有模块化手指、多种感知能力的机器人灵巧手，基于操作任务、操作工具进行仿真分析，优化手指和手掌构型。建立灵巧手运动学模型并基于力/力矩等多传感器信息，基于物体阻抗的多指协同控制方法，实现无过力、抗干扰的稳定物体抓取，实现人类航天员复杂的操作能力。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家自然科学基金重大研究计划重点项目“面向在轨建造的可再生多分支超冗余空间机器人系统研究”227万，2022-2025，项目负责人 国家自然科学基金基础科学中心项目“空间机器人智能操控”6000万/1200万，2024-2028，骨干成员