

1. 博士论文研究方向： 刚柔耦合连续体空间机器人的动力学与控制

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

为了满足在轨服务的迫切需求，需要解决非合作目标、非结构化环境、多任务作业问题。由于在轨状态不确定，作业环境复杂，操作空间受限（狭小空间、多障碍），在轨任务多样，安全性和可靠性要求高，单个操作臂或多个刚性臂无法满足要求。传统的刚性机器人具有运动精度高、操作力矩大的优点，但质量及尺寸大、运动灵活性低、环境适应性较差，无法在狭小或多障碍环境中执行任务。传统的柔性机器人采用弹性变形材料作为主构件，理论上具有无限多自由度和连续变形能力，可在大范围内任意改变自身形状，对环境具有更好的适应性，但定位精度低、载荷能力低、操作力/力矩小，无法完成对精度操作要求高的精细作业任务。

然而，连续体空间机器人既可满足狭小空间、多障碍环境下的灵巧运动的要求，也满足精细作业的高性能要求，克服传统刚性臂和柔性臂的固有缺点，是一种新类型的机器人。其同时体现出“刚性”及“柔性”机器人的力学特征、响应特性及执行效能，吸收了二者的优点却克服了它们的固有缺点，欲刚则刚、欲柔则柔，可完成包括未知环境探测、精细作业等复杂任务。不同于传统的“变刚度”机器人仅考虑结构刚度的调整，该类型机器人同时考虑了“结构-感知-控制”的一体化问题，能够实现包括“环境刚度-结构刚度-控制刚度”的自主调整，大大提高了机器人的整体技术指标、任务执行效果和环境适应性。研究多臂连续体空间机器人系统可大大提高我国空间机器人在轨操控的水平。相关研究成果对未来维修高价值卫星、清理太空垃圾甚至空间攻防等任务有重要的理论意义和实用价值。

主要研究内容：

1. 多臂连续体空间机器人系统的多目标优化设计

将多臂连续体空间机器人的刚度、末端定位精度、负载、驱动电机数目等作为多臂连续体空间机器人的优化目标，以作业环境、功耗、质量、控制能力等作为约束条件，开展多约束条件下的多目标优化设计，在不增加成本和系统复杂程度的基础上，使其结构刚度、载荷能力、定位精度、电机负载力矩等方面实现最优。

2. 多臂连续体空间机器人精准、低维快速动力学建模

以绳驱连续体机械臂为研究对象，针对其独有的臂杆数量多、绳索驱动非光滑非线性效应显著的特点，开展相关动力学建模、求解与简化降维技术研究，突破考虑过孔摩擦的的绳索精细建模、多段多层次多自由度机械臂高效组集和求解数值算法、高维复杂多体系统模型简化与降阶等关键技术。

3. “整臂构型-末端轨迹”同步规划及自适应变刚度控制

针对多臂连续空间机器人新型变构型机器人在受限环境中执行精细作业任务的问题，研究同时考虑划整臂构型及末端运动轨迹的同步规划，使得机器人在操作过程中不但实现末端的准确定位定姿，还避免与非操作对象的碰撞。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

项目来源于纵向项目“联动机械臂建模、控制及测试系统”以及横向项目“KJRX机械臂智能操控与运动规划测试”。

1. 博士论文研究方向： 机器人建图与导航技术的研究

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

移动机器人在楼宇内部、废墟等复杂未知城市场景中完全自主地快速遂行灾情获取、物资投送等救援任务在短期内是难以实现的。传统遥控操作手段对搜救机器人进行动作级的操作效率低下，且信号极易受到建筑遮蔽不能远距离进行遥操作。亟需开展共享操作控制技术研究，充分发挥人类和机器智能各自优势实现混合智能增强，提高地面机器人的作业效率、确保作业人员人身安全。

机器人的共享操作控制技术正加速推进搜救机器人从机械化、信息化向智能化方向演进。机器人辅助智能搜救将颠覆性地改变灾害现场搜救模式，突破搜救任务长期依赖人工的落后低效局面，解决高危高强度等突出问题。本课题研究复杂场景共享操作控制技术，通过智能识别检测、智能控制决策、自主规划导航，全面提升搜救机器人智能性，降低机器人对人工不间断操作的依赖性，颠覆传统人机协同，指挥控制及机器人作业模式。

传统搜救机器人不具备自主作业能力，衡量机器人作业能力主要指标是其操作性、通过性和灵活性等。本项目研制的搜救机器人具备自主智能识别检测及导航决策能力，实现自主多模态环境感知、现场三维重建，智能目标检测，路径规划及导航等智能性指标，是对机器人底层作业的智能化升级，本项目设计模块化作业任务行为的自驱动机制，使机器人在一定程度上具备作业行为自组织能力，主动自适应现场实际情况完成整体搜救任务，极大提升机器人自主作业能力。

主要内容：

1. 复杂城市环境建模理解与自主定位研究

开展面向复杂环境感知探测及智能识别模块及系统集成设计；多层次复杂作业场景三维地图的高效表达及压缩技术；采用多线激光+图像+惯性测量单元IMU+GPS多传感器融合策略，提高机器人在雨、雪、雾、黑白天等复杂环境下的信息冗余度及定位建图的精度和鲁棒性。技术上采用点云压缩预处理，CSM激光扫描匹配，以及必要条件下的视觉惯性里程计，通过前端紧耦合滑动窗口的非线性优化算法构造出高精度地图及机器人姿态估计，同时具备自动初始化、在线参数标定、重定位、闭环检测和全局位姿图优化的能力。

2. 复杂地形环境中自主运动规划与控制研究

实现高度自主性，机器人需要具有实时路径规划能力。面向复杂室内外三维空间导航，提出机器人行为集合与行为规划器相结合的机器人自主行为规划算法及实时三维路径规划生成方法，提高机器人行为动作细分程度及共享操作的柔顺化程度，通过机器人任务队列自主管理方法提高了机器人作业自主性及人-机器人共享操作的效率。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本课题来源于纵向项目“*****机器人建图与导航技术的研究”。