2022年招生计划

六、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： 柔性机器人的设计、运动规划与控制

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

随着经济的发展和社会的进步，机器人的应用领域不断拓展，应用环境也愈发复杂。以工业机器人为代表的传统刚性机械臂在结构化的工作环境下的程序化操作得到了广泛应用，但刚性机械臂在非结构环境（例如废墟、复杂管道等）下的局限性正日益显露。为了解决传统刚性机器人在复杂环境下操作所面临的问题，许多研究人员将目光投向了具有更多运动自由度且弯曲特性更好的柔性机器人上。柔性机器人受自然界中象鼻等生物体结构启发，一般由弹性物体作为支撑，通过将许多模块化关节串联组成。或者直接用完整无间断的弹性材料作为机械臂本体，因而具有超高冗余度甚至理论上无限多自由度。这种结构形式使得柔性机器人具有良好的运动灵活性和柔顺性，因而特别适合于狭小空间下的避障作业。柔性机器人的灵活性、柔顺性使得其在非结构复杂环境中具有广阔的应用前景。

研究内容：

1. 绳驱动柔性机器人设计

柔性机器人本质上是一种欠驱动机器人，其具有无限多自由度的弯曲变形，仅能依靠有限多驱动源驱动，因此为了实现连续可控的弯曲变形，需要通过设计合适的机械结构和驱动方式对空间弯曲进行约束。

2. 绳驱动柔性机器人运动学分析绳驱动柔性机器人存在多层运动学映射关系：驱动空间，关节空间，笛卡尔空间。这类机器人往往自由度较多，逆运动学求解需要考虑冗余度问题。

3. 绳驱动柔性机器人动力学建模绳驱动柔性机器人动力学可以分为以下部分，包括对绳索的建模，绳索与臂杆接触摩擦建模，弹性体的建模，绳索驱动空间到关节力矩的映射以及多体系统动力学建模。最终建立一种可任意配置绳索数量、绳孔位置、臂杆段数的通用绳驱动柔性机器人动力学模型。

4. 绳驱动柔性机器人柔顺控制

绳驱动柔性机器人具有内在柔顺性，在动力学建模的基础上，在绳索根部安装拉力传感器，通过对系统参数进行辨识，对绳驱动柔性机器人进行重力补偿、碰撞检测等柔顺控制研究。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

本课题来源于柔性机械臂规划与控制技术的研究和与中国船舶工业系统签订的柔性充电机器人项目。

2022年招生计划

六、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： 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

本项目来源于纵向项目“联动机械臂建模、控制及测试系统”。