2022年招生计划

三、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： 中国空间站三维显示与半实物仿真系统研究

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

作为中国载人航天三步走战略的重要目标，中国空间站预计于2022年建设完成，以进一步掌握飞行器空间交会对接技术；突破航天员中期驻留、飞行器长期在轨自主飞行、再生式生保和货运飞船补加等关键技术；验证天地往返运输飞船的性能和功能；同时进行一定规模的空间应用试验。

实时显控回路仿真是保障空间站顺利开展在轨任务的重要前提，它可以提供用于评价空间站系统和用于验证载人回路运行的一体化系统性能的仿真环境。此外，还可协助更新和完善空间站的硬件和软件系统，对在轨任务的设计与验证提供支持。为此，本课题将致力于研究中国空间站三维显示与半实物仿真系统，涉及主要研究方向如下：

1. 基于UE5的中国空间站三维显示系统及VR虚拟现实场景搭建：利用最近的UE5虚幻引擎完成中国空间站三维显示系统的开发，模拟真实在轨场景，获取特定参数下的仿真图像；在此基础上，搭建基于Oculus的VR虚拟现实平台，以模拟航天员出舱训练；探究基于Hololens的AR增强现实平台，以辅助航天员舱内操作。
2. 多约束条件下的冗余机械臂路径规划算法：学习冗余机械臂运动学与动力学建模方法，分析避奇异、避碰撞、力矩扰动最小等条件下的机械臂路径规划算法，并将其移植至三维仿真平台。
3. 基于RT-LAB的半物理仿真系统建立中国空间站的实时动力学仿真模拟器：动力学模拟器相当于空间机器人系统的实时仿真软件，包括中央控制器仿真（机器人系统的运动规划）、关节电模拟器仿真（关节力矩的输入，可以用SimMechanics实现）及动力学仿真等；此外，还可考虑轨道动力学对于机械臂运动学和动力学性能的影响。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

实验舱机械臂重点型号任务

2022年招生计划

三、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： 面向太空望远镜在轨装配的空间机器人关键技术研究

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

未来对于空间望远镜的口径需求越来越大，超大口径空间望远镜已不能像哈勃望远镜那样先在地面研制然后由火箭发射入轨，当前可选的方法是通过地面建造太空望远镜的模块化组件，然后通过逐次发射入轨，完成在轨装配组建，该方法虽然可行，但如此繁重的组装任务单纯依靠人类宇航员是无法完成的。因此，未来的超大口径空间望远镜建造将只能由空间机器人在太空轨道上完成，同时空间机器人所具备的组装、升级、维修等能力可以为各种太空望远镜提供尽可能长的使用寿命。

本课题面向大口径望远镜的模块化在轨装配任务需求，分别针对操作对象与操作目标开展低基频柔性空间机械臂与模块化太空望远镜的动力学建模方法研究，以双臂夹持下的协同操作为例设计多冗余机械臂自适应混合力/位控制算法，并就装配间隙过小导致望远镜模块锁死这一现象展开深入分析，提出基于叠加力振荡的柔顺在轨装配策略。本课题研究方向具有极其重要的应用价值，将为未来超大型结构体在轨组装设计研究提供一定的理论支撑和技术储备，对于提升我国航天技术水平意义重大。

1. 低基频柔性空间机械臂闭环动力学控制算法：空间机械臂的柔性不仅包含各关节与臂杆的柔性，基座及关节连接处同样受到多维柔性作用的影响，而多维柔性在实际系统中是不可测量的。为此，闭环动力学控制及相关补偿算法在空间机械臂的控制中不可或缺。
2. 面向分布式控制的望远镜模块化动力学建模方法：太空望远镜组装过程中空间结构尺寸逐渐增长、动力学特性也随之改变，给空间机器人的在轨装配工作带来了新的挑战。装配过程微观上体现在每次组装时选择的位置，以及组装位置周边的望远镜模块邻接状态变化。
3. 面向夹持操作的多冗余机械臂自适应混合力/位控制算法：用于望远镜组装和维护会出现需要多机械臂协同操作的情况，当利用多臂去抓取或操作同一个物体时，机器人与物体形成了一个封闭链式运动机构。本课题将以典型的双臂夹持操作为例分析自适应混合力/位控制算法。

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，91848202，面向太空望远镜在轨组装的空间机器人关键技术研究，2019-01至2022-12，280万元

2022年招生计划

三、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： 空间机械臂在轨操作轨迹规划关键技术研究

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

随着我国空间站机械臂的升空，大型空间机械臂的在轨任务操作研究成为迫切解决的问题。国际空间机械臂研究经历表明，为完成在轨操作任务，空间机械臂首先要实现任务目标捕获，也就是说，目标是否能够成功捕获直接影响着在轨任务能否完成。空间机械臂捕获任务可分为三步：捕获接近、捕获锁紧和捕获稳定。捕获接近主要目的是通过机械臂运动，使任务目标进入末端作用器捕获范围，为捕获锁紧提供操作基础。捕获接近过程机械臂与目标不接触，其实质是一个机械臂运动控制问题。在捕获接近运动中，机械臂不仅要准确到达捕获位置，满足捕获容差需求，还要确保运动安全性，不发生碰撞。因此，空间机械臂碰撞检测与振动抑制是其在轨操作的迫切需求。

本课题面向空间机械臂在轨操作任务需求，分别针对在轨操作过程中的碰撞检测与振动抑制问题展开研究，以我国空间站机械臂为例，研究变基座、变载荷环境中的空间机械臂实时无碰撞轨迹规划算法，结合机械臂振动抑制算法，提出空间机械臂在轨操的最优轨迹规划方法。本课题研究方向具有极其重要的应用价值，将为我国空间站机械臂在轨操作任务研究提供一定的理论支撑和技术储备，对于提升我国航天技术水平意义重大。

1.空间机械臂无碰撞轨迹规划方法研究：针对空间机械臂在轨操作时的基座位置不固定、环境不确定问题，研究基于球扫掠凸体的高精度自碰撞检测方法和基于视觉边界信息的快速环境碰撞检测方法，为空间机械臂轨迹规划提供规划约束。然后，研究基于改进RRT算法的空间机械臂快速轨迹规划方法，实现空间系机械臂无碰撞轨迹规划。
2.基于任务约束条件下空间机械臂振动抑制控制算法研究：针对柔性基座条件下，空间机械臂捕获接近运动基座扰动问题，研究基于扰动能量最小的控制方法，实现机械臂任务轨迹跟踪扰动能量最小，从而实现空间机械臂振动抑制。在同时，为实现空间机械臂沿期望轨迹运动，研究约束条件下的全局最优控制，实现空间机械臂基座扰动最优。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

实验舱机械臂重点型号任务