

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： 核电站一回路机器人检修系统关键技术研究

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

一、选题背景与研究意义

核安全是核电发展的生命线，也是国家安全的重要组成。核反应堆、蒸汽发生器、稳压器、主泵等核心主装备是保证核电站安全运行的第一和第二道屏障，开展定期检修是保障核电机组安全稳定运行的必要手段。现阶段国内外核电设备检修机器人系统还主要通过后方人员远程手动操控的方式进行检修作业控制，针对复杂作业环境、检修任务和突发异常情况，缺乏环境精准感知、自主智能决策和安全高效控制的能力，导致机器人检修系统装备在使用中频繁出现异常故障，严重影响后续检修工序和检修工期。具体来说主要体现在以下三个方面：①缺乏对复杂非结构化检修作业环境的精准感知与快速重构能力；②缺乏在多约束受限环境中进行高效、全域作业的实时动态运动规划能力；③缺乏针对多规格主设备执行复杂检修工艺的灵巧柔顺安全作业能力，导致核电检修机器人在任务适应性、作业效率性以及作业安全性方面还有很大的提升空间。因此通过深入研究复杂核环境精准感知与快速重构方法，提出极端环境下机器人安全高效作业运动规划方法，实现人机复杂技能传递与机器人智能柔顺作业控制，对提升核电检修机器人复杂环境感知重构能力、安全高效运动规划能力、智能柔顺作业能力，具有重要意义。

二、研究内容

（1）复杂核环境下检修机器人环境识别与精确建模技术研究

基于焊缝渗透检测工艺作业需求，研究如何识别核电站一回路设备检修机器人作业环境以及如何精确快速重建作业环境的三维模型问题，拟提出一种基于多传感器融合与主从标定相结合的核电站作业环境识别方法以及一种基于三维点云的精确快速模型重建方法，并开展机器人检修作业环境识别与精确建模重构的实验研究。

（2）复杂环境下机器人高效自主作业轨迹规划技术研究

针对核电站作业环境复杂的问题，研究如何实现检修机器人的高效自主作业轨迹规划。考虑机器人的作业环境约束和机器人运动学/动力学模型，分析机器人运动作业性能，拟提出一种基于关节最大转矩利用率-时间最优的高效移动作业轨迹规划方法，并开展复杂环境下机器人高效自主作业轨迹规划的仿真与实验研究。

（3）人-机器人远程实时主从映射遥操作控制技术研究

考虑高辐射作业环境下机器人操作者安全性问题，研究一种基于主从映射的远程实时遥操作人机交互控制技术。基于力反馈外环和位置反馈内环的双环反馈通道，拟设计一种面向机器人远程实时操作工作模式的交互控制系统和运动、力信息感知系统，建立人机主从端工作空间映射关系，实现操作者对机器人的实时高效、精确安全运动控制。

（4）面向核反应堆一回路设谡检修的机器人柔顺作业控制技术研究

基于一回路设备检测工艺作业流程，研究机器人的柔顺作业控制技术。建立机器人笛卡尔空间动力学模型以及环境接触动力学模型，拟提出一种基于力/位置混合的阻抗控制策略，实现机器人的安全柔顺作业。

（5）核电站检修机器人系统集成实验验证及可靠性试验

利用核电站一回路设备模拟体，建立检修机器人系统的自主规划理论、协同控制方法以及关键技术验证实验平台，针对所提出的机器人系统集成、理论方法和关键技术，开展全面、系统的实验测试研究，验证理论方法和关键技术研究成果的有效性，并对机器人的作业性能进行性能和可靠性综合评估。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

- 1、国家重点研发计划“智能机器人”专项项目，““华龙一号”核电站一回路机器人检修系统共性关键技术研究”，项目批准号：2022YFB4701101，执行年限：2022年11月—2025年10月。项目经费：1490万元；
- 2、依托国家自然科学基金重点项目，“面向核反应堆多规格蒸发器传热管检修应用的机器人系统关键技术”，项目批准号：U2013214，执行年限：2021年1月—2024年12月。项目经费：302.4万元；
- 3、中核武汉核动力运行研究所合作项目，“检测机器人及控制系统”，执行年限：2021年12月—2024年6月。项目经费：219.75万元。

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： 基于准直驱驱动的两栖仿蛙机器人关键技术研究</div> <div>选题类别： <input checked="" 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 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>一、选题背景与研究意义</div> <div>近年来，随着我国海洋资源开发战略和军事战略的发展，急需可以在水陆两栖环境中充当侦查设备、武器系统、通讯系统的载体以及可更好适应复杂作业环境和任务需求的水陆两栖机器人，以执行人类无法完成的近海域多种作战和探测任务。因此研制既能适应陆地和近海滩涂的多变地形，又能适应复杂水下环境的两栖机器人具有重要的实用价值和现实意义。</div> <div>青蛙集优异的陆地跳跃能力和灵活的水下游动功能于一身，许多国内外学者对其展开了深入的研究，并取得了丰硕的研究成果，研制出了多种仿青蛙跳跃机器人和仿青蛙游动机器人原理样机。但青蛙的主要特点是兼具优异的陆地跳跃和水下游动能力，而如果单论陆地跳跃和水下游动性能，青蛙与其他许多生物相比都不是最优的，因此研制兼具陆地跳跃和水下游动能力的仿青蛙机器人更具实用价值，也是进行仿青蛙研究的目标所在，但截止到目前，兼具两栖运动能力的仿青蛙机器人国内外还未见文献报道，距离其能够实际投入应用还有很长的路要走。</div> <div>当前随着无刷电机的制作技术及其驱动算法的发展，新型直流无刷电机的潜力不断被挖掘。过载能力和扭矩密度等性能的逐渐提高推动了基于电机驱动的跳跃机器人研究。因此本项目拟在申请人前期多年研究的基础上，采用新型具有高功率密度比的伺服电机作为驱动单元，进行仿青蛙两栖机器人的灵巧机构设计、复杂环境运动建模、高效稳定运动规划等方面的研究，研制出面向水陆两栖应用的仿青蛙两栖机器人，并进行试验研究，为我国两栖机器人技术的研究和发展提供理论基础和技术储备。</div> <div>二、研究内容</div> <div><div>(1) 具备爆发性、高功率密度比的机器人驱动关节设计研究</div><div>关节的驱动性能很大程度上决定了仿蛙跳跃机器人的运动效果。机器人能否跳跃的判断依据是末端与地面能否产生足够的作用力，而这个力来源于机器人关节的扭矩密度。因此需要设计基于准直电机驱动的，具备爆发性、高功率密度比输出的机器人伺服驱动关节。通过对关节各组成部分进行计算选型与参数设计，实现高扭矩密度的特点，同时进行高爆发性输出驱动与精确伺服驱动控制的研究。</div><div>(2) 仿青蛙两栖机器人肌骨骼系统建模与等效结构设计</div><div>针对青蛙生物结构和肌骨骼系统的复杂性，进行仿青蛙两栖机器人肌骨骼系统建模研究。运用机器人仿生学与机构学等理论研究方法，建立精确完备的青蛙肌骨骼系统结构模型，并从可适应复杂环境的角度出发，进行仿青蛙两栖机器人的结构模型简化研究。</div><div>(3) 仿青蛙机器人与复杂环境接触作用统一动力学建模</div><div>针对陆地与两栖过渡环境中存在的沼泽、滩涂、沙滩等地形，分析仿青蛙机器人与环境接触的动力学作用，综合两栖环境中仿青蛙机器人与环境接触的动力学作用，建立仿青蛙两栖机器人在复杂环境下的统一动力学模型。</div><div>(4) 复杂环境下青蛙两栖运动控制策略研究</div><div>针对仿青蛙机器人机构运动对精确姿态调整和爆发性推进的功能需求，研究高功率密度比驱动关节的控制方法，以及仿青蛙机器人关节精密伺服控制策略，实现对机器人姿态的精确调整与爆发性推进的稳定运动控制。同时，综合分析机器人两栖运动模式与复杂环境变化对机器人运动性能的影响，建立解析化的能量优化及姿态平稳性约束机制，研究具有环境适应能力的自适应最优控制策略。</div><div>(5) 仿青蛙两栖机器人样机研制与实验研究</div><div>仿青蛙机器人原型样机的研制用于验证本项目在青蛙结构物理特性和肌骨骼系统作用机理分析、肌骨骼系统建模与结构设计、复杂环境下机器人与环境的接触作用动力学建模以及青蛙两栖运动控制策略等方面所取得的理论研究成果。通过合理设计仿青蛙机器人原型样机结构，搭建机器人实验平台，进行仿青蛙机器人在复杂环境下的两栖运动实验验证。</div></div>
3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

- 1、国家自然科学基金面上项目，“面向复杂环境应用的仿青蛙两栖机器人肌骨骼系统作用机理研究”，项目批准号：51675124，执行年限：2017年1月—2020年12月。项目经费：72.4万元；
- 2、国家重点研发计划“智能机器人”专项项目，仿蛙软体跳跃机器人关键技术研究，项目批准号：2017YFB1300104，执行年限：2017年11月—2020年10月。项目经费：258万元；
- 3、国家（军委科技委）国防科技创新特区项目，“XXXXXXXX”，项目批准号：18-163-12-ZT-004-062-01，执行年限：2018年12月—2021年12月。项目经费：100万元。