中国海洋大学

硕士研究生学位论文

开题报告

学 院 工程学院

专 业 模式识别与智能系统

学 号 21170911103

研 究 生 盛旭

指导教师 任凭

论文题目具有不确定质量和扰动的悬索

并联机器人鲁棒滑模定点控制

入学时间 2017 年 9 月

**中国海洋大学开题报告申请表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 盛旭 | 学 号 | 21170911103 | 入学学年 | 2017 |
| 学 院 | 工程学院 | | 专 业 | 模式识别与智能系统 | |
| 研究方向 | 机器人控制 | 导师 | 任凭 | 学 位 | 硕士 |
| 双语写作 | 否 | | 涉 密 | 否 | |
| 时 间 | 2019-4-17 | | 地 点 | 中国海洋大学工程学院B211教研室 | |
| 开题报告中文题目 | 具有不确定质量和扰动的悬索并联机器人鲁棒滑模定点控制 | | | | |
| 开题报告英文题目 | Sliding Mode Set-Point Control of Suspended Parallel Robot with Uncertain Mass and Disturbances | | | | |
| 参加评审的 专家姓名及职称 | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 姓名 | 职称 | 姓名 | 职称 | | 解则晓 | 教授 | 褚东升 | 教授 | | | | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 姓名 | 职称 | 姓名 | 职称 | | 李庆忠 | 教授 | 任凭 | 副教授 | | | | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 姓名 | 职称 | 姓名 | 职称 | | 张玲 | 副教授 | 迟书凯 | 高级工程师 | | | | | |
| 导师意见：    签字:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | | | | | |
| 学位评定分委员会意见：    学位评定分委员会主席签字:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (盖章) | | | | | |

一、立论依据

|  |
| --- |
| 课题来源、选题依据和背景情况、课题研究目的、理论意义和实际应用价值  课题来源：  国家自然科学基金（911521460）：水下柔索悬吊并联运动平台的设计理论与控制方法研究.  选题依据和背景情况：  悬索并联机器人的研究和应用起源于20世纪80年代末期。由于选用悬索代替刚性连杆作为机器人的驱动元件将动平台与末端执行器连接起来，使得悬索并联机器人既拥有并联机构高负载能力、高刚度、高速度的特点，又拥有悬索机构惯量轻的特点，并且拥有更大的工作空间。同时由于其结构简单，还降低了其制造与维修的成本，更易于模块化。悬索并联机器人的这些优点，使得其在很多领域都得到了广泛的应用。目前悬索并联机器人已经用于物料搬运、天文观测、运动仿真等领域。悬索并联机器人的应用背景和潜在优势使其相关研究成为机器人领域的一个热点。  课题研究目的：  近几年，柔索并联机器人的动力学控制越来越成为关注的热点。本课题针对于特定的一类柔索并联机器人——悬索并联机器人进行鲁棒滑模控制器设计，同时根据悬吊索的张力约束特性对控制器参数进行讨论研究。  理论意义和实际应用价值：  本课题结合并联机构学为理论基础，以新型悬索并联运动平台为研究对象，进行应用基础研究与系统综合设计，力图在动力学建模与分析、控制器设计等方面取得突破，对于这些问题的探索将极大地推进并联机构学的研究范畴与深度，具有重要的科学意义。 |

二、文献综述

|  |
| --- |
| 国内外研究现状、发展动态；所阅文献的查阅范围及手段  国内外研究现状、发展动态：  近年来，国内外学者对柔索并联机器人进行了大量的研究，对张力约束的处理方法主要存在以下三种：  （1）经验法  根据仿真或实验结果反复试验控制器参数以满足柔索的张力约束。该方法主要依靠经验对参数数值进行调节。如Gorman等设计了三自由度悬索并联机器人的滑模控制器，并通过实验获得了控制器的增益数值；Zi等设计了六自由度悬索并联机器人的模糊PI控制器，同样通过仿真与实验获取了控制器参数数值。  （2）张力分配优化方法  针对存在冗余索的柔索牵引并联机器人，在考虑张力约束的情况下通过优化算法将末端执行器的控制力分配至各条柔索，以维持柔索的张紧状态。如Oh与Agrawal针对平面三自由度柔索牵引并联机器人的四索、五索、六索构型，采用线性与二次规划方法对基于反馈线性化的控制力进行了分配；Khosravi等设计了平面三自由度四索构型的鲁棒PID控制器，采用零空间方法对张力进行了分配；在文献中，Chellal等对现有的张力分配优化算法进行了综述，随后提出了一种非迭代分配算法并将其应用于六自由度八索构型的视觉伺服控制器中。  （3）工作空间方法  对于不存在冗余索的悬索并联机器人，无法对张力分配进行优化，处理张力约束的方法可以与工作空间分析相融合。针对当前控制器参数推导其可达工作空间，在初始点位与目标点位之间设置过渡点位，使末端执行器分步到达期望位置。如Oh与Agrawal基于模型预测的思想，对六自由度悬索并联机器人反馈线性化控制器的参考输入进行规划，获得了位于控制器可达工作空间内的过渡点。在随后的工作中，他们又用解析不等式组描述出了满足张力约束的可达工作空间范围，从而使过渡点的计算更加高效。  文献查阅范围及手段：  (1)中国知网上刊登的中文期刊文献及硕士、博士学位论文；  (2)通过Elsevier、Springer、Science Citation Index Expanded（SCI）、Compendex （EI）等数据库检索相关外文文献。  (3)近年来相关会议上提出的新思路与新论文 |

三、研究内容

|  |
| --- |
| 1．学术构想与思路、主要研究内容及拟解决的关键技术或问题  学术构想与思路：  柔索并联机器人有多种分类方式，根据柔索数目与末端执行器的自由度数之间关系，其可分为悬索并联机器人(CSPR)与完全约束柔索驱动机器人(Fully Constrained CDPR)两种。机构自由度与柔索数目相同，通过柔索驱动力与平台重力协调使平台运动，这类机构被称为悬索并联机器人(Cable-Suspended Parallel Robots)。该机构由定平台，驱动柔索与末端执行器三部分组成，通过定平台的缆车改变悬吊索长度来控制末端执行器的位姿，具有工作空间大，负载能力强，抗环境扰动能力强等优点。本课题针对此类悬索并联机器人，首先对三自由度和六自由度构型的悬索并联机器人进行动力学建模，并在考虑执行器质量不确定和外部扰动的情况下对其定点控制进行鲁棒滑模控制器设计。在悬索并联机器人中，绞车通常坐落于定平台上，重力被用于保证悬吊索处于拉伸状态，悬吊索只能对末端执行器产生拉力而不能产生推力，即具有单向力的特性。故本课题还需对其张力约束条件进行讨论，并得到基于张力约束条件控制器参数的范围。  主要研究内容：  (1)运动学分析与动力学建模：建立悬吊索长度与末端执行器位姿之间的运动学几何关系。在运动学分析的基础上，建立机器人机构动力学模型。通过仿真实验，验证系统动力学模型的有效性，为进行控制器设计研究奠定基础。  (2)控制器的研究与设计：在动力学模型的基础上，采用鲁棒控制中的滑模控制设计控制器，对悬索并联机器人的定点运动进行控制，并通过仿真加以验证有效性。  (3)针对执行器质量不确定和扰动控制器结构的改进：综合考虑末端执行器质量不确定和外部干扰，对控制器进行改进以实现该情况下有效控制。  (4)基于张力约束的控制器参数优化：在悬索并联机器人中，绞车通常坐落于定平台上，重力被用于保证悬吊索处于拉伸状态，悬吊索只能对末端执行器产生拉力而不能产生推力，即具有单向力的特性，故控制器的参数设置需考虑张力约束，并通过仿真加以验证有效性。  拟解决的关键技术或问题：  (1)如何在对在外部扰动下或系统参数不确定的悬索并联机器人控制寻找合适的控制算法？  悬索并联机器人作为一个耦合的多输入多输出的复杂非线性系统，其运动控制本来就较为复杂，传统的独立伺服 PID 控制已无法满足悬索并联机器人稳定运动的要求。为此，我们采取滑模控制的方法进行控制器设计。  滑模控制(sliding mode control, SMC)又叫变结构控制，它的本质是一种特殊的非线性控制，其非线性表现为控制的不连续性。滑模控制与其他控制方法的不同在于系统的“结构”并不固定，其在动态过程中，可根据系统当前状态（如偏差和其各阶导数等）有目的地不停变化，使系统按照预定“滑动模态”的状态轨迹运动。由于滑动模态可以进行设计，其与对象参数和扰动无关，这就使滑模控制对模型的不确定性、参数摄动及外部干扰具有较强的鲁棒性。  (2)如何结合系统动力学模型的张力约束条件寻求满足控制器有解的充分及充要条件？  区间分析法是一种寻找非线性不等式组解空间的有效方法。在精度给定的情况下，通过数值搜索，将满足条件的解空间以空间方体的形式呈现。利用区间分析得到运动过程中状态变量的区间，从而得到满足张力约束的不等式组，从而求取出控制器参数的区间。 |

|  |
| --- |
| 2．拟采取的研究方法、技术路线或研究步骤、实施方案及可行性分析  本课题基于悬索并联机器人，按照以下两条思路进行研究。  (1)“先三自由度构型，后六自由度构型”  本课题研究时首先以三自由度悬索并联机器人为研究对象进行动力学建模和滑模控制控制器的设计。通过仿真与实验，验证计算控制算法的有效性。再以三自由度悬索并联机构为基础扩展到六自由度悬索并联机器人的建模与控制器设计。  (2)“定点运动控制”  本课题主要针对悬索并联机器人的定点运动控制，研究其控制器设计方法及控制器参数空间。  最终总结并建立一套针对悬索并联机器人的系统性设计理论与控制方法。  可行性分析：  (1)对悬索并联机器人的研究符合当今机器人的热点，而重控制应用也符合当今机器人研究领域的趋势。  (2)本课题研究遵循的两条思路，符合“由浅入深”的科学规律，能够确保各项研究任务正确运行。  (3)运动学研究解决了悬吊长度与末端执行器位姿之间的几何关系，为动力学建模提供了基础；动力学模型的建立为轨迹规划与控制算法研究提供了基础；通过控制算法研究解决了悬索并联机器人在外部扰动下的运动稳定性问题。将复杂问题分解为各子问题逐一解决。  综上，本项目的技术路线是合理可行的。 |

|  |
| --- |
| 3．论文的创新之处  本课题针对于一类不同自由度的悬索并联机构，进行了动力学建模以及控制器的设计，同时对于张力约束条件进行了考虑，本课题有以下几个创新点：  (1)本课题充分考虑了实际情况下末端执行器质量改变问题，针对执行器质量不确定及扰动不确定的情况改进了控制器。  (2) 在悬索并联机器人中，绞车通常坐落于定平台上，重力被用于保证悬吊索处于拉伸状态，悬吊索只能对末端执行器产生拉力而不能产生推力，即具有单向力的特性。本课题中针对于此特性，始终考虑其张力约束情况设计控制器，采用区间分析法分析其状态区间，再以此为基础求解出满足张力约束的控制器参数充要条件，最终得到满足张力约束的滑模控制器参数区间。 |
| 1. 预期研究结果   至2019年4月，完成发表三自由度悬索并联机器人的会议论文。  至2019年5月，完成三自由度悬索并联机器人的期刊论文投稿。  至2019年9月，在三自由度悬索并联机器人研究结果的基础上，针对执行器质量不确定的情况完成六自由度悬索并联机器人的动力学建模和控制器设计以及控制器参数空间的推导。  至2019年11月，在之前工作的基础上，对滑模控制器进行优化，并完成相关的仿真证明，并开始对毕业论文的撰写。  至2020年1月，整理思路，完成对毕业论文的撰写。  至2020年2月，完成对论文的整理、改进、定稿。 |

四、论文安排

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 阶段及内容 | 起讫日期 | 阶段成果形式 | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 | 广泛搜集阅读资料文献  了解悬索并联机器人研究现状及发展动态  进行不同自由度悬索并联机器人的运动学分析以及初步的动力学建模工作  针对执行器质量不确定及扰动的情况完成三自由度悬索并联机器人的控制器设计  在考虑张力约束情况下滑模控制器参数区间求解上有突破  完成三自由度悬索并联机器人的仿真实验和初步完成会议论文写作  发表三自由度悬索并联机器人的会议论文  完成三自由度悬索并联机器人的期刊论文写作、投稿及发表  完成六自由度悬索并联机器人的建模、控制器设计及参数空间求解  撰写毕业论文  完成对论文的整理、改进、定稿 | 2018.09～2018.10  2018.9～  2018.11  2018.11～  2018.12  2018.12～  2019.01  2019.01～  2019.02  2019.03～  2019.05  2019.05～  2019.09  2019.05～  2019.10  2019.11～  2019.01  2019.01～  2019.06 | 发表会议论文一篇  发表期刊论文一篇  完成毕业论文初稿  完成毕业论文与答辩 |

五、评审意见

|  |
| --- |
| 导师意见:    导师签字: 年 月 日 |
| 审核小组意见：  （论文内容与该生业及选定的研究方向相关）  审核小组成员签字：  年 月 日 |
| 学位评定分委员会对研究生开题报告的意见:  学位评定分委员会主席签字:  (学院盖章)  年 月 日 |