**南京航空航天大学**

**毕业设计（论文）开题报告**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 学 院 | 能源与动力学院 | | |
| 专 业 | 飞行器动力工程 | | |
| 题 目 | 二自由度飞行姿态试验平台设计与控制 | | |
| 学生姓名 | 于文俊 | 学号 | 182110424 |
| 毕设地点 | 明故宫校区A10 | | |
| 指导教师 | 黄向华 | 职称 | 教授 |

|  |
| --- |
| **1.结合毕业设计（论文）课题任务情况，根据所查阅的文献资料，每人撰写1500～2000字左右的文献综述：**  二自由度飞行姿态实验平台作为《自动控制原理》等课程的实践载体，其教学价值日益凸显，通过实体平台的操作，学生能够直观理解系统建模、控制器设计、稳定性分析等关键知识点，并验证PID算法、频域响应等理论的实际效果。与工业级试验平台不同，面向本科教育的实验系统需兼顾理论验证、操作安全性、成本可控性和教学直观性。通过对相关文献的查询，结合教学实验需求，从系统建模、控制算法实现、平台设计原则、软硬件适配方案等方面展开综述。  自动控制原理的核心之一是建立被控对象的数学模型。在二自由度飞行姿态平台中，需通过欧拉-拉格朗日方程推导非线性动力学模型，体现姿态角与螺旋桨推力间的耦合关系。哈尔滨工业大学的实验平台通过辨识算法确定模型参数（如电机转矩系数、惯性矩），验证了理论模型的准确性，为学生提供了从物理系统到数学模型的完整认知路径。  PID算法是《自动控制原理》课程的重点内容，也是工程实践中应用极广的控制算法。二自由度飞行姿态试验平台基于该算法设计运行，其控制效果能满足需求，且能够切实起到教育作用。实验平台可通过设计分层实验任务，帮助学生逐步掌握参数调节方法。文献显示，东南大学实验平台通过预设噪声干扰，引导学生结合滤波算法优化控制效果，深化对“传感器噪声-控制稳定性”关系的理解。  针对本科生实验教学应用场景，文献指出，教学平台需以知识可视化和参数可调性为核心目标。实验平台的软件界面可集成伯德图、奈奎斯特曲线等频域分析工具。例如，MIT教学机器人通过实时显示系统频率响应，帮助学生直观判断相位裕度与增益裕度对稳定性的影响。北京航空航天大学开发的倒立摆实验平台通过实时显示系统状态曲线（如角度、角速度），帮助学生直观理解PID参数对稳定性的影响。  针对本科生操作经验不足的特点，硬件需集成机械限位保护、急停开关等安全机制。参考华中科技大学电机控制实验箱的设计经验，采用24V以下低压供电可降低触电风险，同时通过软件权限分级（如限制最大转速）避免误操作。  教育类实验设备需控制成本且便于维护。文献显示，采用开源硬件（如Arduino或STM32）结合3D打印机械结构，可降低成本50%以上。模块化设计（如传感器/执行机构可拆卸替换）能支持多课程复用，例如扩展为《现代控制理论》实验平台。如状态反馈控制，即基于系统状态空间模型设计控制器，对比PID与状态反馈的抗干扰性能；鲁棒控制即针对模型不确定性（如负载变化），引入H∞控制算法，提升系统鲁棒性与增益调度控制，通过多胞型变增益策略处理执行器饱和问题，适用于大范围姿态调整场景。  在原设计专利中，通过驱动两个微型螺旋桨旋转以控制杆的两个自由度(两杆的俯仰与滚转角度),从而模拟飞机在实际飞行中的姿态控制。试验台的加速度传感器电路与接口模块、电机驱动电路直接集成在两个微型螺旋桨所在的横滚杆上,方便传感器的测量,同时也使整个装置更为轻巧便携实际实验教学中,可以仅在上位机程序设计中用一个PID环节控制单一自由度,也可以设计较复杂的算法,对两个自由度实现复合控制,实现控制系统循序渐进的设计。  面向本科教育的二自由度飞行姿态实验平台需以教学效果为核心，通过硬件简化、软件交互优化和分层实验设计，将抽象控制理论转化为可操作的实践认知。研究表明，实体实验平台能有效弥补仿真教学的不足，其"理论-参数-现象"的强关联性显著提升学生的工程思维能力。未来需进一步探索智能化教学工具与多学科实验融合模式。  参考文献：  [1]王桂芳,程上方,张瑜.自动控制原理实验教学改革探索[J].实验科学与技术,2020,18(02):98-101.  [2]朱红霞,陈磐,李荣.能动专业《自动控制原理》教学改革探索[J].中国电力教育,2022,(09):71-72.DOI:10.19429/j.cnki.cn11-3776/g4.2022.09.038.  [3]王京锋,樊泽明,杨婷婷.自动控制实验课程混合式教学改革实践[J/OL].实验科学与技术,1-5[2025-03-05].http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1653.N.20241206.1509.034.html.  [4]鲁兴举.空间飞行器姿态控制仿真试验平台系统研究与设计[D].国防科学技术大学,2005.  [5]赵姗姗.二自由度飞机运动模拟台轻小型化技术研究[D].长春理工大学,2014.  [6]刘明华, 王彩霞. “自动控制原理”实验改革探索与研究[J]. 中国电力教育, 2014(36): 191−192.  [7]赵环宇. 关于自动控制原理教学的几点思考[J]. 大学教育, 2016(12): 148−149.  [8]张平, 宋寅卯, 曹卫锋, 等. 自动化专业自动控制原理实验教学改革[J]. 中国现代教育装备, 2017(23): 64−66.  [9]李斌, 孙跃, 谢昭莉, 等. 对工科自动控制系列课程教学体系的思考[J]. 电气电子教学学报 , 2009, 31(12): 106−108.  [10]Timo R,Tatsuo A. Accuracy analysis of a modified Stewart platform manipulator[AJ.IEEE Int Conf on Robotics andAutomation [C], 1995: 521525. |
| **2.毕业设计任务要研究或解决的问题和拟采用的方法：**  **①欲解决的问题：**  原设计中使用外置试验箱完成传感器数据采集、控制算法执行、电动机驱动三项任务，其与试验台主体间的连接需同时传输模拟信号与功率驱动电流，干扰较大。二自由度试验平台对实时性与准确性要求较高，外置试验箱的控制效果并不理想。毕业设计任务在原机械结构的基础上对整体设计进行修改，以实现良好的控制效果与高效的人机交互。  **②新设计硬件方案：**  实验装置分为主体部分与交互部分两个模块，模块各自具有微控制器，通过数字通信接口进行通信。交互模块可由电脑上位机代替，通信协议相同。模块化设计保证装置的多用途性，可维护性与可扩展性。  实验装置以安全为主，同时整个系统姿态控制负载不大，故使用空心杯电机，参照610空心杯电机参数，两个电机额定功率合计在1w以内。主控初选stm32f103c8t6，具有两路以上pwm生成，spi与uart通信接口，usb2.0接口，满足控制与交互需求。IMU选用bmi088，通过spi与主控通信。  考虑到控制需求与交互模块的用电需求，USB2.0的2.5w的最大输出功率不能保证系统稳定。初版方案在主体部分设置两颗18650电池并联，配合电源管理电路作为整个系统的供电，在接入外部电源时可给电池充电。整个系统额定电源电压为5v，同时功率部分、IMU部分与控制部分有独立的LDO进行稳压。  主控预留uart通信接口，可使用USB-TTL连接上位机或直接连接交互模块。主体同时使用Type-c接口，为电池进行充电，并可以通过USB虚拟串口连接上位机，与使用uart接口效果相同。  **②新设计软件方案：**  主体部分的mcu有多种控制模式，使用拨码开关进行控制模式的选择。模式一：自主控制模式。通过通信接口输入期望的两个自由度的位置，控制器读取IMU数据在内部进行pid计算并输出pwm量对电机进行控制。同时可通过通信接口输入指令，实时对pid参数进行调整。模式二：转发模式。MCU读取IMU信息，根据通信协议从通信接口转发出去。并根据协议接收输入的两个PWM值直接输出pwm量对电机进行控制，pid计算的操作在计算机上完成。  传感器的数据读取需进行滤波处理，保证姿态数据的准确性。在单片机上部署RTOS系统，保证控制与转发的实时性，最大程度上提高控制效果。  **③新设计交互方案：**  可使用交互模块或电脑上位机对实验装置进行控制。交互模块提供基础的pid参数调整功能，上位机在其基础上可扩展波形显示，外置控制算法介入等操作。通过预留通信接口与开放通讯协议，极大程度上提高系统的二次开发空间。  **④已完成的硬件方案论证：**  在前期方案中，参考原设计使用mpu6050作为IMU。打板测试中，对电机的控制满足要求，其出力能够满足姿态调整需求。电源管理芯片工作正常，可配合1s的动力锂电池为整个系统供电。软件测试中发现imu性能较差，滤波数据过于滞后，且该芯片已停产，目前市场价较高，故改用bmi088作为IMU进行下一阶段的设计。    硬件方案验证PCB    硬件方案验证PCB实物 |
| **指导教师评价及意见:**  **课题难度：**  **课题工作量**：  **总体评价：**  **其他意见：**  （说明：教师在系统中勾选后，学生才能打印）  指导教师签字: |
| **系审查意见：**  系主任签字： |

说明： 开题报告作为毕业设计（论文）答辩委员会对学生答辩资格审查的依据材料之一，

此报告应在导师指导下，由学生填写，经导师签署意见及系审查后生效。