

三十、系统辨识及自适应控制

课程介绍

系统辨识与自适应控制是自动化、测控技术与仪器、智能控制、电气工程及其自动化等专业的选修课程。该课程全面介绍了系统辨识与自适应控制系统的组成、原理与设计，既有理论性又有很强的实践性。在设计方法上，其以经典控制理论和现代控制理论为基础，发展了实用价值很高的工程应用技术。主要内容包括：系统辨识与自适应控制的基本概念、基本原理，以及系统辨识与自适应控制的关系；系统建模与参数辨识的一般方法，自适应控制的研究对象和自适应控制系统的典型结构；受控自回归滑动平均模型结构，递推最小二乘参数辨识方法，建立工业被控对象的数学模型；最小方差自校正控制方法，极点配置自校正控制方法，自校正 PID 控制方法，自校正内膜控制方法，自校正模型算法控制方法，基于 Lyapunov 稳定性理论的模型参考自适应控制方法等。

课程负责人简介

贺建军，工学博士，教授，博士生导师。1989 年获中北大学自动控制专业学士学位；1992 年获中南工业大学自动化专业硕士学位；2004 年获中南大学机械电子工程专业博士学位。1992 年硕士毕业后留校，一直从事自动化领域和计算机应用领域的科研与教学工作。1995 年被聘为讲师，2000 年被聘为副教授，2006 年被聘为教授。2004—2006 年借调到国家自然科学基金委员会信息学部自动化学科工作，2007—2008 年作为访问学者在英国格拉摩根大学 (University of Glamorgan) 从事燃料电池建模与控制技术研究。作为项目组主要成员参与完成了国家“七五”科技攻关项目“铜带坯水平连铸机列计算机控制系统”、国家“八五”科技攻关项目“氧化铝生产高压溶出工序计算机控制系统”、国家 863 项目“铅锌冶炼过程的智能化集成建模技术与应用研究”和“面向生产目标的复杂有色金属冶炼过程集成优化控制技术及应用研究”。主持和参与完成横向科研课题 20 余项，主持完成国家和省部级纵向科研课题 7 项。主讲“计算机控制技术”“系统辨识与自适应控制”“自适应控制”等课程。获国家科技进步二等奖 2 项，省部级科技进步一等奖 2 项、二等奖 3 项，湖南省自然科学优秀论文二等奖 1 项，湖南省优秀博士学位论文奖 1 项；在国内外知名刊物公开发表学术论文 60 多篇，其中 EI、SCI 收录 30 余篇，授权国家发明专利 6 项。

一、课程说明

课程编号: 090148Z10

课程名称: 系统辨识及自适应控制 / System Identification and Adaptive Control

学时与学分: 32/2(其中实验学时: 6)

先修课程要求: 自动控制理论、现代控制理论、线性代数等

适应专业: 自动化、测控技术与仪器、智能控制、电气工程及其自动化

教材、教学参考书:

[1] 柴天佑, 岳恒. 自适应控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

[2] 杨承志, 孙棣华, 等. 系统辨识与自适应控制[M]. 重庆: 重庆出版社, 2010.

[3] 庞中华, 崔红. 系统辨识与自适应控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.

二、课程设置的目的是与意义

系统辨识与自适应控制是自动化、测控技术与仪器、智能控制、电气工程及其自动化等专业的选修课程。该课程全面介绍了系统辨识与自适应控制系统的组成、原理与设计, 既有理论性又有很强的实践性。在设计方法上, 其以经典控制理论和现代控制理论为基础, 发展了实用价值很高的工程应用技术。主要内容包括: 系统辨识与自适应控制的基本概念、基本原理, 以及系统辨识与自适应控制的关系; 系统建模与参数辨识的一般方法, 自适应控制的研究对象和自适应控制系统的典型结构; 受控自回归滑动平均模型结构, 递推最小二乘参数辨识方法, 建立工业被控对象的数学模型; 最小方差自校正控制方法, 极点配置自校正控制方法, 自校正 PID 控制方法, 自校正内膜控制方法, 自校正模型算法控制方法, 基于 Lyapunov 稳定性理论的模型参考自适应控制方法等。

通过课程思政的设置, 帮助学生树立中国特色社会主义的共同理想, 坚定对马克思主义的信念; 增强学生的爱国主义情感, 做忠诚的爱国者; 帮助学生正确地认识和把握人生、人生价值、个人与社会的关系, 树立正确的人生观和价值观; 帮助学生加强科技强国意识和专业自豪感, 切实提高学生对专业的热爱和为祖国繁荣昌盛努力学习的热情。

三、课程的基本要求

(1) 知识: 掌握系统辨识与自适应控制的基本概念和基本原理, 包括最小二乘参数辨识方法、最小方差自校正控制方法、广义最小方差自校正控制方法、极点配置自校正控制方法、自校正 PID 控制方法、自校正内膜控制方法、自校正模型算法控制方法、基于 Lyapunov 稳定性理论的模型参考自适应控制方法等。

(2) 能力: 能够从实际应用的角度出发, 针对具有一定程度不确定性的被控对象, 运用上述方法和知识设计一般的自适应控制系统, 满足控制系统的基本控制要求。

(3) 素质: 拓展学生在控制工程领域的设计思路, 丰富学生对控制系统的设计方法; 通

过对不确定性被控对象特点的分析和难控制问题的解决,培养学生发现问题、分析问题、解决问题的科研素养;同时注重学生思想水平、政治觉悟、道德品质、文化素养等的培养。

四、主要教学方法、手段

教学方法:创新情景法、对比建构法、故事导入法、事件联想法、比较及引申法、实例展示法、图片及视频展示法等。

(1)图片及视频展示法:在介绍自适应控制技术的发展及应用现状时,通过图片及视频展示法展示,我国航空航天工程中大量运用了自适应控制技术,如中远程巡航导弹、长征系列运载火箭、神州系列飞船、嫦娥系列探月卫星、天宫系列空间实验室、天舟系列货运飞船、天问系列探火卫星等。激发学生的民族自豪感和爱国热情。

(2)实例展示法:在讲到噪声干扰在系统辨识中的应用时,通过实例展示法,让学生学会用马克思主义哲学的辩证思维方式看待事物的两面性。噪声干扰在很多场合下是有害的,但在我们系统参数辨识中却非常有用,可以激发被辨识系统的各种模态,提高系统参数辨识的精度。

(3)对比建构法:在介绍多种参数辨识方法的应用场合时,通过对比建构法,提醒学生要在矛盾普遍性原理的指导下,学会具体分析矛盾的特殊性。在做事、想问题时,要根据事情的不同情况采取不同措施,不能一概而论,即学会用马克思主义活的灵魂——具体问题具体分析方法,指导我们的科研活动。

(4)比较及引申法:介绍自校正系统的特点,即自校正控制系统能够不断地自我纠偏,朝着既定目标运行。通过比较及引申法,教育学生,人也要学会自律,要遵循法度,自我约束。让学生明白自律是一种不可或缺的人格力量,没有它,一切纪律都会变得形同虚设。自律是一种信仰、一种自省、一种自警、一种素质、一种自爱、一种觉悟,它会让你发觉健康之美,感到幸福快乐,淡定从容,内心强大,永远充满积极向上的力量。自律会让你活出人生的真正价值。

(5)事件联想法:在介绍预测控制思想,讲到预测控制器为什么能对具有纯延时、比较难控制的被控对象起到比较好的控制效果时,通过事件联想法,提出这里蕴含的人生哲学思想——凡事预则立,不预则废。做任何事情,事前有准备、有计划、有判断、有预知就可以成功,否则就会失败。

(6)故事导入法:在介绍李雅普诺夫时,通过故事导入法,讲到他是俄国著名的数学家、力学家,也是现代控制理论的奠基人之一。其学术成就为全人类所共享,为推动世界科技的进步做出了巨大贡献。他为什么能成为一名伟大的科学家呢?讲述成为一名伟大的科学家需要具备的科学素养:科学兴趣、科学方法、科学知识、科学精神(意志、品质、责任和担当)。

五、实践教学内容和基本要求

通过实验,帮助学生巩固、加深对课堂所学基本理论知识的理解,在 MATLAB/SimuLink 仿真计算平台中实现系统模型参数辨识和含噪声干扰系统的自适应控制。

实验名称	实验内容	学时	基本要求
递推最小二乘法参数辨识	1. 当输入信号 $u(k)$ 是方差为 1 的白噪声序列时，利用系统的输入输出数据在线辨识上述模型的参数； 2. 当输入信号 $u(k)$ 是幅值为 1 的逆 M 序列时，利用系统的输入输出数据在线辨识上述模型的参数； 3. 当输入信号 $u(k)$ 是单位阶跃信号时，利用系统的输入输出数据在线辨识上述模型的参数	2	分析比较在不同输入信号作用下，对系统模型参数辨识精度的影响，掌握递推最小二乘法参数辨识方法。 效果要求：实现课程目标 3
最小方差自校正控制	1. 当设定输入 $y_r(k)$ 为幅值是 10 的阶跃信号时，设计最小方差直接自校正控制算法对一含噪声的最小相位系统进行闭环控制； 2. 当设定输入 $y_r(k)$ 为幅值是 10 的方波信号时，设计最小方差直接自校正控制算法对一含噪声的最小相位系统进行闭环控制； 3. 对一含噪声的非最小相位系统重复上述 1、2 实验	2	观察实验结果，分析实验现象产生的原因，掌握最小方差自校正控制器设计方法及应用场合 效果要求：实现课程目标 4 和 5
模型参考自适应控制	针对一参数未知或慢时变的二阶对象，当对象状态完全可测时，在给定的参考模型和输入下，设计模型参考自适应控制系统对被控对象进行闭环控制	2	选择三组合适的控制器参数 P 、 R_1 和 R_2 ，实现对被控对象的控制，使被控对象的 2 个状态变量分别跟踪参考模型的 2 个状态变量，并分析 P 、 R_1 和 R_2 对控制系统性能的影响； 通过该实验掌握模型参考自适应控制系统的设计方法。 效果要求：实现课程目标 4 和 5

六、考核方式及成绩评定

- (1)平时成绩占 40%，包括作业、上机实验考核以及平时上课考核；
- (2)期末考试占 60%，以笔试为主。考核内容及权重如下表所示。

考核方式	考核内容	成绩比例/%	备注
平时学习情况	到课情况、与课程培养目标相关的问题回答、文献查阅质量等	10	
课外作业	涉及培养目标的作业完成质量	10	
课外实验	实验方法掌握情况、实验中解决问题的能力、实验结果与表达	20	
笔试	重点考核对课程目标基本知识的掌握程度和分析问题的能力	60	

大纲主撰人：贺建军