

研究生课程《最优控制与状态估计》的教学改革探索

曹立佳 黄沁元 郭川东 刘艳菊

(四川轻化工大学 自动化与信息工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要:《最优控制与状态估计》课程是控制学科及相关学科的重要的专业核心课程。本文针对《最优控制与状态估计》研究生课程建设的教学改革进行了探讨。首先,介绍了该课程的教学现状和存在的问题。然后,从教学内容、教学方法和考核方式三个方面提出了改革措施,使教学过程在注重理论基础同时,更加强调研讨课和实践环节。最后,通过教学实践证明,这些改革措施能够提高学生的学习兴趣 and 实际应用能力,取得较好的教学效果。

关键词:研究生课程;教学改革;最优控制;状态估计

最优控制理论与状态估计理论作为现代控制理论体系中的重要组成部分,但由于最优控制理论和状态估计理论的理论性较强,学生理解有一定难度,我国在本科阶段开设状态估计相关课程的高校并不多,相关课程主要开设在研究生阶段。2020年,为深入贯彻党的十九大关于实现高等教育内涵式发展的要求,落实全国研究生教育会议精神,加强研究生课程建设,提高研究生培养质量,国务院学位委员会办公室组织公开发行由国务院学位委员会学科评议组、全国专业学位研究生教育指导委员会编写,高等教育出版社出版《学术学位研究生核心课程指南(试行)》和《专业学位研究生核心课程指南(试行)》(以下均简称《指南》)。《指南》中明确将“最优控制与状态估计”列为控制科学与工程一级学科研究生核心课程。不论是面向研究型人才培养还是面向应用型人才培养的高校在控制学科的研究生教学中一般均有最优控制理论和状态估计理论的相关课程,但在《指南》发布前,很少有将最优控制理论和状态估计作为一门课来整体教学的,两部分内容通常都单独作为一门课或者与其他内容,如最优化理论或系统辨识,组成课程来进行教学。

一、教学现状及存在的问题

四川轻化工大学(以下简称我校)控制科学与工程学科长期将最优控制和状态估计相关理论作为学科重要课程来开设,先后开设了“最优控制理论与应用”“状态估计与系统辨识”“信息融合技术”等课程,也进行了一些研究生课程改革的探索。为了适应社会发展,落实国务院学位委员会的指导意见,从2021届研究生开始,我校将相关课程内容进行了优化调整,在控制科学与工程学术型研究生中开设了核心课程《最优控制与状态估计》,同时,将该课程作为电子信息类控制工程领域专业型硕士的选修课程。

(一) 课程内容体系更新,理论性增加

《最优控制与状态估计》既是一门理论性强,同时也是一门实践性强的课程。从课程理论层面上,课程覆盖内容广泛,主要涉及最优控制与状态估计两大部分,最优控制部分主要涉及最优控制的变分法、极小值原理、动态规划、二次型目标函数的最优控制等内容,其中数学公式多,理论性强,综合程度高;状态估计主要讨论从受系统噪声和观测噪声干扰的输入输出数据中估计出系统的状态量或参数量,进而为最优控制提供必要的准确信息,使控制系统的性能指标得以实现最优化的基本条件。同时,课程与工程实践又存在紧密联系,理论教学 and 实际分析结合紧密且应用性很强。这就要求學生具有良好的学科基础和一定的工程能力,只有将理论吃透并可独立分析实际案例,才可逐渐领悟本课程的精髓和现代控制逻辑思维。

(二) 教学方式相对陈旧,学习积极性不高

传统的教学手段基本以课堂教师讲授为主和课下学生作业为

辅,不能很好适应现代创新教学模式和手段的发展。对于这种理论性强的课程教师在课堂讲授过程中往往较为偏重理论推导,与实际工程问题结合并不紧密,使研究生对于如何利用该课程理论开展科研工作与工程实践的思维不足;对于老师上面讲、学生下面听的传统教学方式容易形成学生积极性不高,交流不足。这些问题的存在,很大程度上影响了学生分析和解决实际问题的能力。这些情况对于学生提高认知能力和学术能力、强化职业发展和创新精神的培养都还存在较大的不足与提升空间。

为解决上述矛盾,本文借鉴国内外在相关课程教学中有很多先进的经验,结合四川轻化工大学《最优状态估计与系统辨识》和《最优控制理论及应用》课程近年的教学工作,开展教学研究与改革,形成理论教学、课题研讨、网络辅助、仿真实践的多元教学体系,力图充分提高学生学习的积极性和工程能力,增加学生分析和解决实际问题的能力,提升教学质量。

二、教学内容优化

针对课程内容的变化,且尚未有可供选用的合适现有教材的情况,教学团队一方面积极组织编写相应的教材,另一方面为及时满足授课需要,重新组织的课程教学内容,将课程内容分为两个部分:一是最优控制理论基础,二是状态估计方法。对应选择了新近出版的优秀教材作为主讲教材,同时参考其他相关教材和学术论文,对整个课程教学内容进行了优化和更新。主要更新了控制理论和状态的基本知识、最优控制算法和状态估计方法等方面的内容,增加了与实际应用紧密结合的案例和习题,使教学内容更加贴近实际应用。

教学团队在课程内容上有针对性地开展了一些主要工作:

“最优控制”部分传统课程内容主要包含最优控制的变分法、极小值原理及其应用、动态规划、二次型目标函数的最优控制问题等。其中经典变分法、极小值原理和动态规划是“最优控制”课程的三大基石。为了使學生更好地了解学科前沿和研究热点,我们在教学中适当增加了研究性教学内容,开设了一些前沿控制理论的讲座,主要有自适应动态规划、强化学习等。

“状态估计”部分重点关注基本的状态估计方法,最优状态估计理论及其应用。教学团队结合当前航空航天、机器人技术、人工智能等新兴应用领域中估计方法的发展和更新,在基本的估计方法、传统卡尔曼滤波方法的基础上,适量引入扩展卡尔曼滤波、无迹卡尔曼滤波和粒子滤波等新方法、新方向的内容 and 介绍,并在课程实践中提出要求,进行仿真实践,让學生提高进一步学习或参与科研和工程实践的能力。

三、教学方法改革

在当今信息爆炸的时代,传统“PPT+板书”和“老师台上讲,学生台下听”的教学方式难以引起学生的学习热情。在教学实施

过程中,团队采用多元化的教学方法,包括多媒体展示、案例研讨分析、线上线下混合以及研讨式教学等,力图提高教学效果,促进学生将课程内容与科研工作和工程实践紧密联系。

(一) 案例研讨分析式教学

由于本课程理论较复杂,为提高学生学习兴趣,培养学生分析和解决实际问题的能力,在课堂理论教学过程中,利用多媒体教学手段的特性和优势,帮助学生更好地理解 and 掌握课程内容。同时大量采用案例研讨分析式教学方法。比如,针对我国开展探月工程的成果,讨论在探月飞船实现软着陆过程中的最小燃料消耗问题即是最优控制的典型问题。在教学过程中,引导学生分析讨论这其中需要估计的状态变量,能够获得的观测值以及系统的动态方程,并给定条件,进行仿真计算求解。通过这些学生感兴趣的专业实例教学,在将复杂的基础理论联系工程实际,提高课程教学的吸引力的同时,也通过实例使学生进一步理解利用专业知识去分析和解决工程问题的思路,为其后期相关专业学习和科研工作奠定一定基础。此外,除了在加强具体应用实例举例外,在教学中也将计算机仿真工具结合起来,让学生对部分文献或教学内容,利用先进计算机仿真,采用自己的方式进行复现,加深对学习内容的理解和体现学生自己的学习成果。

(二) 线上线下混合式教学

为帮助学生对重难点进行拓展理解和预习复习,并及时有效地开展互动学习和实现研讨交流。教学团队在学银在线的超星学习通平台上开通了“最优控制与状态估计”SPOOC课程,将课程大纲、多媒体课件、讲稿、参考文献、重要案例、视频辅助材料、仿真实例程序等课程材料放到课程平台中,使学生可以随时查看,参考和练习。根据教学大纲定期发布教学材料,布置作业并组织网上讨论。学生可通过学习通平台发布的内容提前或课后查看课程资料,开展自主学习并提交相应的作业。教师可适时发布相关教学内容、布置作业和研讨内容进行线上教学,并可利用平台数据监测学生学习情况和学习效果,及时了解跟踪学生整个学习过程情况。

(三) 研讨式教学

研讨式教学方法作为一种以学生为中心、以问题为导向的教学方式,它强调学生的主体性、问题的情境性、旨在提高学生的自主学习能力问题解决能力、实践能力和团队合作能力。我们在实际教学过程中首先建立研讨小组,每个小组由2-4名学生组成。每个小组设置不同的研讨课题,则小组自行确定分工,针对课题开展文献调研,形成文献报告,再根据文献调研成果研讨形成工程问题解决方案,并开展仿真验证。由小组在课堂上进行汇报演示,并由其他各组同学和研究小组一起针对问题进行研讨。任课教师评价全程参与监督指导和点评。

这种方式既提高了学生学习主动性和学习兴趣,也通过文献调研和研究讨论,提高了学生文献检索、外文阅读能力,拓展学习思路,学习了基本研究方法,同时还提高了团队精神和交流能力,为了研究为学生从事创新型研究和工作打下良好基础。

四、评价方法改进

研究生课程与本科生课程重点要求掌握基础知识为主不同,重点在于对其核心内容理解和研究实践能力的考察。针对当前研究生教学评价方法仍存在的评价指标单一、评价方式主观性强、评价结果反馈不及时等问题。我们针对课程进行了如下一些评价方法的改进:

(一) 多元化考核方式

在本门课程中,采用了多种方式结合的考核方式:包括期末

考试、平时作业、研究报告、实验操作等。其中,期末考试重点考查学生对理论知识的掌握和理解程度;平时作业则要求学生完成相应的习题和案例分析报告;研究报告要求学生就某一研究热点或实际问题进行调研和分析,提出自己的解决方案和创新点;实验操作则要求学生通过模拟实验或实际系统操作来验证所学理论和方法的正确性和实用性。

(二) 定量与定性评价相结合

我们改变传统作业+考试的等易于定量的评价方式,除了平时授课中的问题讨论、作业习题等之外,引入文献报告+实践展示等易于定性的评价形式。文献报告和实践展示部分采用学生“交叉评价、自主评价”的方式开展评价。每个小组针对课题文献开展文献研究,形成文献报告和展示。各小组之间相互给予评价,培养学生的自学能力和学术交流沟通的能力。

(三) 加强过程性评价

通过超星学习通平台,及时统计了解学生学习过程中的学前学中和学后情况,通过多元化的平时作业、综合性大作业、团队讨论作业、课程报告、仿真试验以及学习通中的状态报告等内容,及时形成学习的过程性评价,更加全面地了解学生的学习情况和实际应用能力。

五、结论

《最优控制与状态估计》课程作为控制学科及相关专业领域的专业核心课程,课程地位十分重要。通过教学内容调整、教学方式的改革和评价方式的改进,提高了学生的学习兴趣和自主学习思维,同时也使学生在掌握理论知识同时,熟悉了基本的研究方法和手段,提高了对现代工具的使用能力,也使得团队协作能力、表达沟通能力和工程实践能力也得到有效锻炼。课程教学研究与改革是一个长期的动态过程,只有在教学实践中不断总结和探索,积累经验教训,才能进一步提高教学质量,为培养出适应现代社会需求的高素质应用型人才提供有力支持。

参考文献:

- [1] 刘艳君,丁锋.《系统辨识》课程本科教学改革模式探讨[J].教育现代化,2018,5(04):69-70.
- [2] 曾祥远.研究生最优控制课程教学思考与实践[J].力学与实践,2019,41(03):330-332+322.
- [3] 李伯群,范璇,姜冠杰.面向应用型人才培养的《系统辨识与自适应控制》课程教学改革研究[J].高教学刊,2020(30):138-140.
- [4] 赵峰,陈向勇,郭明,等.“最优控制与最优估计”优质研究生课程建设与探索[J].华章,2023(11):72-74.
- [5] 梁卫征,张瑞成,王晓爽,等.研究生“最优控制”课程教学案例建设研究[J].科技风,2023(08):49-51.
- [6] 曹立佳,熊兴中,谭飞等.《最优状态估计与系统辨识》课程的教学研究与改革[J].创新创业理论与实践,2022,5(21):22-24+48.
- [7] 曾祥远,温童歌,李俊峰.成果导向教育的教材建设初探——以《最优控制》为例[J].力学与实践,2023,45(06):1385-1392.

基金项目:四川省高等教育人才培养质量和教学改革重点项目(JG2021-1044),四川轻化工大学研究生教学建设项目(JC202212,YZ202213)。

作者简介:曹立佳(1982—),男,四川荣县人,博士,副教授,副院长;主要从事自动控制、智能技术等方面的教学与科研工作。