

Research on teaching reform of Robot Dynamics Modeling and Control

Yaru Xu¹ Kehong Li^{1*} Sen Men¹ E Tian¹ Jia Liu^{2,3}

1. College of Robotics, Beijing Union University, Beijing, 100020, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei, 050035, China

3. Shijiazhuang Key Laboratory of Intelligent Sensing of Agricultural Robots, Shijiazhuang, Hebei, 050035, China

Abstract

“Robot Dynamics Modeling and Control” serves as a core professional course for robotics engineering majors in applied undergraduate institutions. The course’s theoretical derivations present complex instructional content, while traditional “offline, in-class” teaching models fail to ensure students’ mastery and integration of knowledge. Evaluation systems emphasizing rote memorization of theoretical concepts cannot objectively reflect learning outcomes. By adopting the Outcome-Based Education (OBE) philosophy, this course incorporates supplementary simulation software instruction and hands-on practical sessions, forming an integrated “online + offline” and “pre-class + in-class + post-class” teaching cycle. Through online course platforms, it establishes a closed-loop feedback system and diversified evaluation framework. This pedagogical reform explores innovative approaches to teaching content, instructional models, and assessment methods, aiming to cultivate students’ cognitive understanding and practical application skills. The program ultimately lays a solid theoretical foundation for robotics research, development, and application in engineering fields.

Keywords

Robot dynamics modeling and control; educational reform; teaching contents; teaching model; teaching evaluation

《机器人动力学建模与控制》课程教学改革研究

徐亚茹¹ 李克鸿^{1*} 门森¹ 田娥¹ 刘佳^{2,3}

1. 北京联合大学机器人学院, 中国·北京 100020

2. 石家庄学院机电学院, 中国·河北 石家庄 050035

3. 石家庄市农业机器人智能感知重点实验室, 中国·河北 石家庄 050035

摘要

《机器人动力学建模与控制》是应用型本科院校机器人工程专业所开设的专业核心课程,其教学内容理论推导过程繁杂;传统的“线下、课中”教学模式不能保证学生对知识的掌握及融会贯通;偏重考核理论知识记忆的教学评价不能客观地反映学生的学习效果。借鉴OBE理念,增设辅助仿真软件教学环节与现场实操教学环节,形成“线上+线下”、“课前+课中+课后”的教学循环,融合互联网课程平台形成全过程跟踪闭环反馈和多元的教学评价体系,从教学内容、教学模式、教学评价等方面出发,探索该课程的教学改革方法,以培养学生对该课程的认知和运用能力,为在机器人工程等领域从事机器人学研究、开发和应用打下坚实的理论基础。

关键词

机器人动力学建模与控制;教学改革;教学内容;教学模式;教学评价

【基金项目】北京联合大学2024年度教育教学研究与改革

项目青年专项“应用型本科院校机器人动力学建模与控制课程教学改革研究与实践”(项目编号:JJ2024Q008)、北京联合大学2025年校级一流本科课程。

【作者简介】徐亚茹(1988-),女,中国河南焦作人,博士,讲师,从事机器人动力学建模与控制研究。

【通讯作者】李克鸿(1988-),男,中国河北廊坊人,博士,讲师,从事机器人技术研究。

1 引言

机器人工程专业是以培育机器人产业、智能制造等领域科技创新创业类人才为目标的多学科综合专业^[1]。《机器人动力学建模与控制》课程是应用型本科院校机器人工程专业开设的专业核心课,着重于培养学生解决机器人系统的动力学建模分析及控制系统实践能力,为在机器人工程等领域从事机器人学研究、开发和应用打下坚实的理论基础,对于培养专业知识扎实的创新型和应用型人才、提升学生处理工程问题的综合能力和职业竞争力有着重要意义^[2]。

2 课程教学改革背景

《机器人动力学建模与控制》课程具有较高的理论性、综合性和实践性,该课程中的运动学部分涉及线性代数、矩阵论等,动力学部分涉及理论力学、大学物理等,控制部分涉及自动控制原理、传感及信号处理技术等^[1]。国内现有的《机器人动力学建模与控制》课程设置主要参考《机器人学》的相关课程方案,但并不完全适用这门课程^[4]。OBE(Outcome Based Education, OBE)教育理念^[5]以成果为目标导向,以学生为中心,反向设计教学活动,重视对学生的学习效果进行评价。针对《机器人动力学建模与控制》课程特点以及应用型本科院校对高素质应用型创新人才的培养要求,借鉴国内外先进教学经验,将OBE教学理念引入到该课程中,在教学内容、教学模式、教学评价三方面展开探索。

3 课程教学改革的必要性和关键点

3.1 教学内容繁杂

《机器人动力学建模与控制》课程的教学内容设置多以多自由度工业机器人为分析对象,以运动学分析—动力学分析—轨迹规划—控制为教学主线。主要包含:D-H建模方法、Paul反变换法、Newton-Euler方程、Lagrange方程、三次/五次多项式插值函数、力位混合控制等。理论推导过程繁杂^[6],多数学生表示学习难度较大;课堂上需占用较多的时间复习或者讲解各种理论知识,削弱了实践环节;课程中没有引进仿真教学案例,计算负担重,教学效果不好;教学内容没有紧密结合工程实际问题,对应用创新能力的培养不够。因此,如何基于OBE理念调整和优化该课程的教学内容是亟需解决的核心问题。

3.2 教学模式单一

瑞士心理学家皮亚杰所提出的建构主义教学理论强调,学生是知识的主动建构者,即知识由学生在特定环境下使用必要的条件和信息资源主动建构而成。目前在《机器人动力学建模与控制》课程的教学过程中,教学环节固定,“师—生”单向教学,重理论轻实践,学生主动性和参与度不够,教学质量低下。另外,工业机器人实验设备成本高、数量有限^[11],对实施实践教学造成较大的阻碍,学生对理论性较强的机器

人运动学和动力学公式推导缺乏深刻理解,教学效果不佳。因此,如何基于OBE理念将该课程的理论与实践教学进行有效结合、相互促进,是教学模式改革的关键。

3.3 教学评价不足

课程教学质量评价包括对教师的教学内容、教学方法、教学组织和学生对知识的理解、掌握、应用情况的客观评估。该课程传统考核方式单一,以期末试卷答题为主,主要设置理论知识考核点;平时成绩为辅,依据作业完成度、准确度和课堂考勤等情况进行打分。这种考核方式忽视了对学生的知识的系统性和应用层面的评价,难以全面反映学生的学习效果。除此之外,学生的动手能力和团队协作能力等也未进行考核。《机器人动力学建模与控制》是一门理论与实践相结合的课程,需要调整考核方式,加重学习的过程性考核比例。因此,如何基于OBE理念丰富考核方式,获得更多的过程考核成绩,力求更全面地、客观地评价学生的学习效果,是现阶段该课程教学改革的重点。

4 基于OBE理念的课程教学改革探索

为进一步满足应用型本科院校对高素质应用型创新人才的培养要求,针对机器人工程专业的《机器人动力学建模与控制》课程目前的教學情况,基于OBE理念对教学内容、教学模式及教学评价进行调整与更新。在改进过程中所面临的主要问题为:如何优化该课程的教学内容以适用于机器人工程专业的学生,如何针对学生提供的教学反馈及时地调整教学模式,如何构建更客观、更全面的教学评价体系。

4.1 优化教学内容

从专业核心内容的角度入手,参考国内外知名院校针对该课程或相关课程的授课现状,并结合学生实际情况,考虑《机器人动力学建模与控制》课程内容的深度和广度,合理选择理论基础知识点,重构教学内容知识体系。(1)简化理论性较强的机器人运动学、动力学、轨迹规划等内容;(2)引入仿真软件辅助教学过程,构建虚拟机器人,验证理论分析结果;(3)将课程教学资源按章节进行模块化建设,各章节之间通过机器人实例进行相互联系和支撑。根据OBE的教育理念逐步调整该课程的教学内容,以达成基于产出的教学。该课程具体教学内容见表1。

表1 应用型本科院校《机器人动力学建模与控制》课程教学内容

| 模块 | 理论教学 | 实践教学 |
|----------------|--|--------------|
| 认识机器人 | 机器人分类、机器人机械臂、机器人基本术语 | 参观机器人实验室 |
| 机器人机构 | 机构的定义、机器人机构分类、自由度的计算、机器人机构简图的画法、常见的运动学配置 | SolidWorks设计 |
| 机器人位姿数学描述与坐标变换 | 机器人位姿的数学描述、齐次坐标与齐次变换 | MATLAB仿真/实践 |
| 机器人运动学 | 运动学建模方法、逆运动学方法、雅可比求逆方法 | MATLAB仿真/实践 |
| 机器人动力学 | Lagrange动力学方法、Newton-Euler动力学 | MATLAB仿真/实践 |
| 机器人轨迹规划 | 关节空间轨迹规划、操作空间轨迹规划 | MATLAB仿真/实践 |
| 机器人基本控制方法 | 机器人的轨迹控制、机器人的力控制 | MATLAB仿真/实践 |

4.2 改进教学模式

在《机器人动力学建模与控制》课程中，改变传统的“课中、线下”教学模式，引入“线上+线下”与“课前+课中+课后”相互融合的教学循环。

课前线上预习阶段，学生利用在线平台自学和交流，教师实时追踪学情反馈，以便对教学安排进行及时的调整。课中线下教学阶段，借助案例、视频、仿真软件、现场实验等丰富的教学资源，形成理论分析、虚拟仿真、真机实操相

辅相成的理实一体化教学模式，如图 1 所示；围绕教学目标，展开小组讨论、成果展示、互动点评，提高学生的参与度和成就感。课后线上答题阶段，学生完成教师发布的作业形成闭环反馈，教师及时追踪学生学习效果，捕捉学生学习的薄弱环节，精确校正教学方法，实时调整复习内容，及时更新学习资源。同时可实现一对一批改、指导、答疑，落实个性化教学。

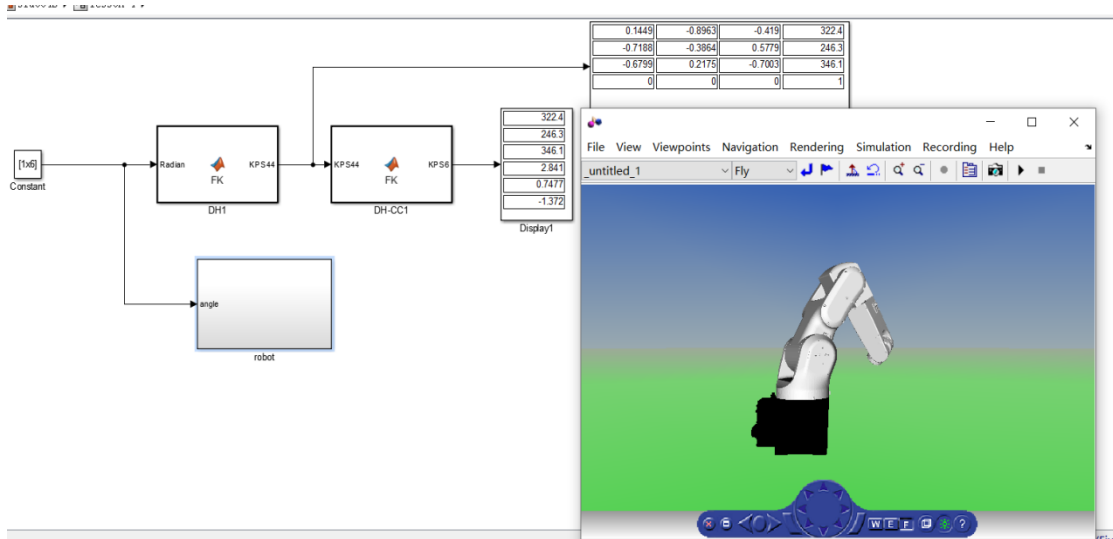


图 1 基于 MATLAB 的机器人运动学仿真操作

4.3 完善教学评价

基于 OBE 理念，构建基于全过程跟踪闭环反馈的教学评价机制。在“线上+线下”、“课前+课中+课后”各个环节中均给予评价标准，以实现考核的客观性与全面性。课程成绩由平时成绩（50%）和期末成绩（50%）组成。其中，平时成绩由线上学习成绩（包括视频学习、测试答题、讨论分享）和线下学习成绩（包括课堂互动、平时作业、虚拟仿真、真机操作）组成。采用加权综合评价法作为最终评价结果的计算依据，如图 2 所示。

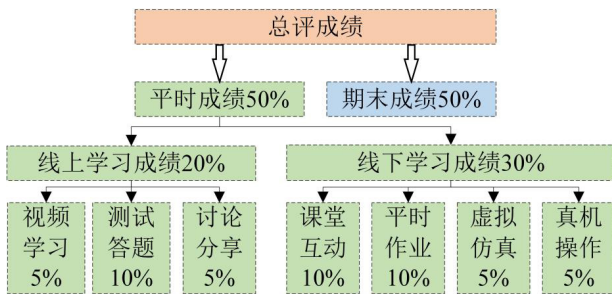


图 2 《机器人动力学建模与控制》课程考核评价体系

5 结语

针对应用型本科院校《机器人动力学建模与控制》课程教学现状，从教学内容、教学模式、教学评价三方面分析了该课程目前教学中存在的问题，并提出了一些改革措施，以提升教学质量和教学效果，提高学生对课堂的关注度及参与度，激发学生自主学习的能力以及培养学生的动手实践能力。

参考文献

- [1] 姚辉晶, 江本亦, 刘玉飞. 新工科背景下“机器人学”课程教学改革探索与实践[J]. 科技风, 2024, (19): 102-104.
- [2] 高嵩, 潘为刚, 赵峰. 新工科背景下的机器人学课程教学改革探索[J]. 造纸装备及材料, 2022, 51(12): 242-244.
- [3] 冯仰刚, 张武翔. 基于线上教学平台的机器人学基础课程教学改革与探索[J]. 安徽工业大学学报(社会科学版), 2023, 40(03): 79-80+111.
- [4] 黄仿元. 应用型本科院校机器人学导论课程教学改革方案研究[J]. 机器人技术与应用, 2023, (01): 42-44.
- [5] 雷静桃, 钱东海, 饶进军, 等. 机器人工程专业多课程联动综合性实验教学实践[J]. 高教学刊, 2024, 10(30): 11-14+18.