

# 《智能控制》递进式实验教学设计

北京邮电大学 自动化学院 宋 原 郭 磊 孙腾跃

【摘要】《智能控制》是自动化专业开设的一门专业课程。本文针对新形势下机器人与人工智能的兴起对智能控制课程提出的新要求,总结了当前智能控制课程教学和实验环节面对的问题,以及发展现状。在此基础上,设计了一套全新的智能控制实验教学体系和实验验收考核要求,该实验教学体系注重发挥学生创新思维,实验层次由浅入深循序渐进,对培养学生独立思考和解决实际问题能力大有裨益。

【Abstract】Intelligent control is a professional course for automation. In view of the new demands to Intelligent Control Course with the rise of robot and artificial intelligence, this paper summarizes the current problems in the teaching and experiment of intelligent control, as well as its development status. On this basis, a new intelligent control experimental teaching system and experimental acceptance requirements are designed. This experimental teaching system give full play to develop students' innovative thinking with graded experiments from elementary to profound. This work is of great benefit to the cultivation of students' ability to think independently and solve practical problems.

【关键词】对抗竞争; 智能控制; 实验教学

【Keywords】competition; intelligent control; experimental teaching

## 一、引言

《智能控制》是计算机科学技术和控制科学与工程两个学科的交叉部分。通过本课程的学习,能让学生在掌握主要智能控制理论,融会贯通已学习的各方面知识点,并加深理解和应用,使理论和实践在一个明确的知识点上得到结合。本课程的实践教学环节对该课程知识点的学习理解和掌握方面也具有重要的作用。

随着机器人与人工智能的兴起,新型智能装备相关的人才在全国范围内变得紧缺。从学生培养、学科建设等角度对于《智能控制》课程提出了新的建设需求。

### 第一、实验对象优化的需求

目前,实验环节的被控对象大都是(球杆系统、倒立摆系统)等机电系统,控制算法对于机电被控对象控制效果的好坏以及调整控制参数之后跟随效果的变化学生用肉眼难以直观量化估计,这使得整个实验环节对学生来说显得抽象、不利于理解。

### 第二、实验内容优化的需求

实验内容不仅应有较传统、较基础的内容(模糊控制、神经网络、遗传算法以及迭代学习控制算法等),而且还应该有近年来流行的智能控制算法,比如:机器学习、深度学习、强化学习等控制算法。

### 第三、实验验收方式优化的需求

传统的验收方式,主要依靠观察学生设计的算法程序对机电系统的控制效果,以此做出评分。但是每个学生使用的实验设备并不相同,因此同样的程序在不同硬件设备上产生的运行效果可能有较大差距,很难保证评分的客观公正。因此最好让所有学生使用同一套仿真实验系统,而不是每人一套硬件设备,这样能对学生的算法做出相对合理的评价,同时可以缓解实验设备不足与损坏的问题。

针对《智能控制》实践教学中面对的种种问题,全国各地的高等院校从教学实际出发,提出了许多新颖有效的授课方式。

文献[2]中采用TD-ACC系列教学实验系统,设计神经元数学模型,使学生较快的掌握了单神经元控制器的设计方法,同时能够观测单神经元控制器对时变系统的自适应控制能力。文献[3]在教学中采用利用MATLAB的GUI程序设计一套智能控制课程教学演示系统,可以直观的展示各种智能算法的理论,包括公式、原理图等。文献[4]利用基于VRML(Virtual Reality Modeling Language)和MATLAB的虚拟实验室来设计倒立摆的控制模型,具有很好的可交互性。

以上教学方法充分利用了学校实验室的教学资源和实验平台,丰富了教学内容,有效增加了学生编程的工作量,而不是仅仅修改实验参数,更有利于提高学习的挑战性和深刻性,激发学生的学习兴趣。但是仍然具有一定的局限性,实验内容相对传统、基础,只包括了模糊控制、神经网络、遗传算法,并没有涉及近年来热门的机器学习、强化学习算法。此外,对倒立摆和直流电机的控制也没有量化的评分标准,不能精确的观测学生实践的效果。

综上所述,传统的实践教学方式并不能解决教学实际中遇到的问题,也很难满足学生学习《智能控制》的前沿技术的需求,因此,亟需对本课程的实践教学环节进行改进,设计一套全新的《智能控制》实验教学方案,让学生能够开阔思路,紧随人工智能发展趋势。

## 二、实践教学环节设计

针对不同学习基础、学习能力的同学的实际情况,本着循序渐进的原则,我们拟采取发挥学生创新思维,设计由浅入深的递进层次的实验体系,即包括基础实验

环节（确定性实验），提高实验环节（半开放性实验），创新实验（开放性实验）。递进实验体系既能够把基础打牢，还能够发挥学生创意、培养学生创新能力。

本课程的实验体系由五部分构成：

（1）需要由教师设计实验模型，这部分对于学生而言难度较大且并不是实验教学的重点，因此不应让学生在该部分投入太多时间而影响智能控制课程核心知识的学习。

（2）由学生利用Python语言设计PID等常规控制器。PID是自动控制理论中最常用的一种控制系统，广泛应用中各种控制系统中，学生需要掌握PID控制器的设计方法。

（3）由学生利用神经网络、模糊控制、遗传算法等常用智能控制算法设计控制器。这部分占据了智能控制教材的大量章节，也是智能控制课程的教学和考查重点，学生必须深刻掌握。

（4）由学生利用目前热门的机器学习和强化学习、深度学习设计控制算法。这部分属于扩展的内容，鼓励学有余力的学生广泛学习最先进的控制理论，并应于课程实践中。

（5）最后，由学生将设计好的算法结合教师提供的实验模型，进行实验。观察传统算法与智能算法在对倒立摆、角度随动系统的控制效果上的差异，并改进设计的算法。

以上是本实验体系的基本结构，不同于传统的教学方式，更加强调动手能力和创新能力的培养，优化了教学的重点，紧随智能控制技术的发展方向。

三、具体实验内容设计

本节采用递进式的方法，详细介绍了基础性、开放性、创新性的智能控制实验，包括PID控制，模糊控制，单神经元自适应控制，强化学习控制四部分。

1. 实验仿真环境搭建

本实验基于OpenAI Gym仿真环境搭建角度随动系统的仿真环境。OpenAI Gym是一款用于研发和比较学习算法的工具包。它与很多数值计算库兼容，比如tensorflow和theano。现在支持的语言主要是Python。

实验仿真环境如图1所示，环境中有两个电机，左侧电机为跟随电机，由学生编写控制算法控制电机的旋转，右侧电机为被跟随电机，可通过编程实现正弦、阶跃或其他运动形式。学生通过获取被跟随电机的角度、角速度等信息，结合跟随电机的角度、角速度信息，编写相应的控制算法控制跟随电机的运动，实现角度随动。



图1 基于OpenAI Gym的角度随动系统仿真环境

2. 传统PID算法

由学生利用Python设计PID控制器，关键问题是P、I、D等参数的选择，同时还需编程显示被控模型曲线和设定曲线，通过两条曲线的重合度判断算法的效果，如图2所示。经过多次实验，调节PID参数，对角度随动系统能取得较好的实验效果如图3、图4所示。

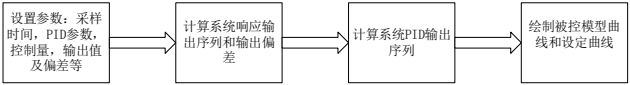


图2 PID实验设计流程图

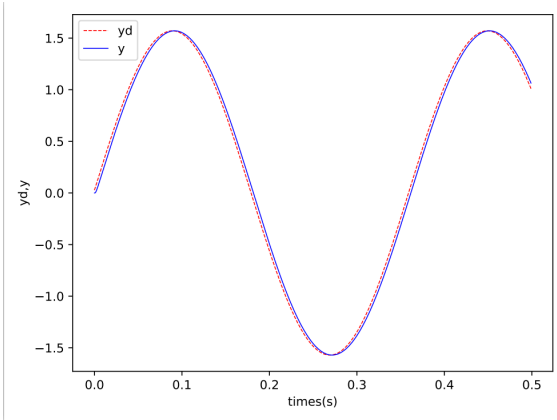


图3 PID控制角度随动系统效果



图4 PID控角度随动系统仿真效果

3. 模糊控制算法

模糊控制是智能控制课程的重点内容之一，实验需要确定模糊控制器的输入和输出量、设计模糊控制器的控制规则、确立模糊化和非模糊化的方法、选择模糊控制器的输入变量和输出变量的论域并确定模糊控制器的参数（如量化因子，比例因子等）。模糊控制算法的实验流程和实验效果如图5-7所示。

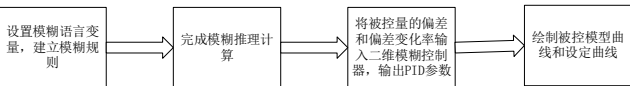


图5 模糊控制算法实验流程图

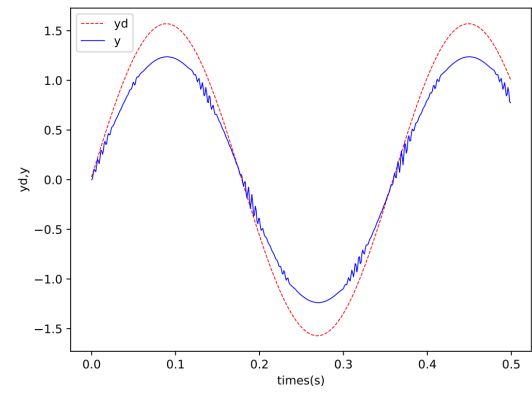


图6 模糊控制算法实验曲线

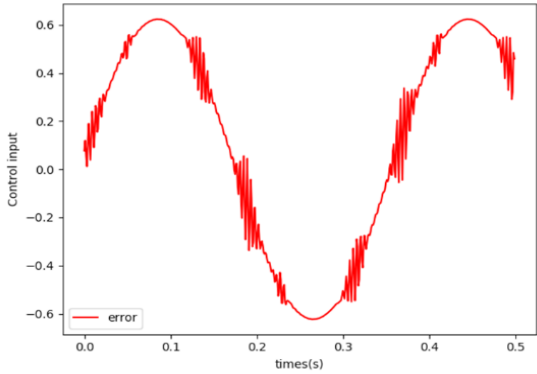


图 7 模糊控制算法误差曲线

4. 单神经元自适应 PID 算法

神经网络是智能控制的一个重要分支，单神经元作为构成神经网络的基本单位，具有自学习和自适应能力，且结构简单而易于计算。传统的 PID 则具有结构简单、调整方便和参数整定与工程指标联系紧密等特点。将二者结合，可以在一定程度上解决传统 PID 调节器不易在线实时整定参数，难以对一些复杂过程和参数时变、非线性、强耦合系统进行有效控制的不足。单神经元自适应 PID 算法的设计流程和实验效果如图 8-10 所示。

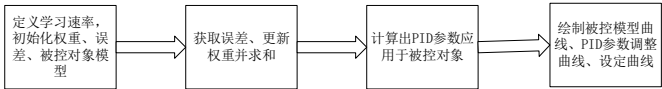


图 8 神经网络算法设计流程

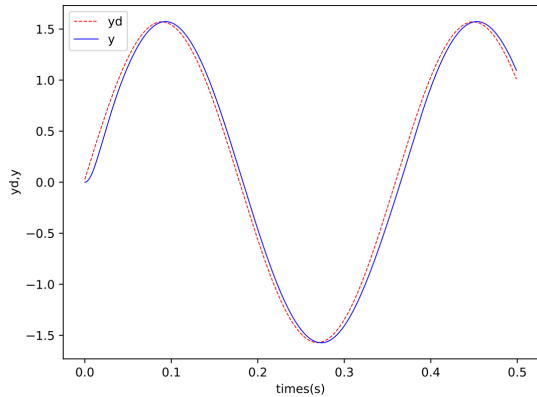


图 9 神经网络算法实验效果

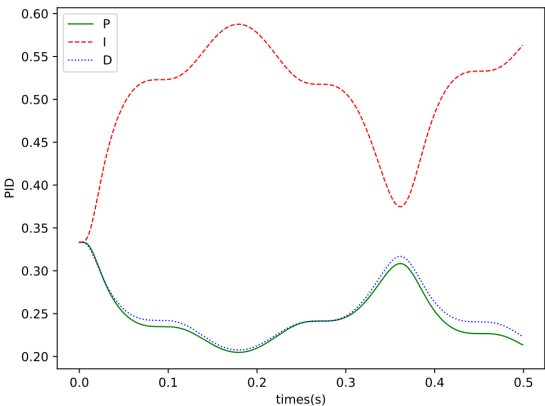


图 10 自适应 PID 参数

5. 强化学习算法

强化学习是机器学习的一个重要分支，是多学科领域交叉的一个产物。它主要包含四个元素：智能体、环境状态、行动、奖励。强化学习的目标就是获得最多的累计奖励。通过强化学习，一个智能体可以在探索 and 开发之间做权衡，并且选择一个最大的回报，以此来实现对模型的控制。强化学习是目前机器学习中一个热门的研究领域，具有广阔的前景。强化学习算法设计流程和控制角度随动系统效果如图 11-13 所示。

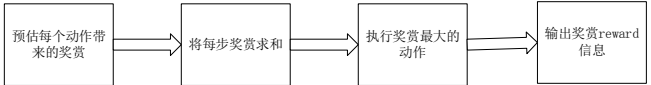
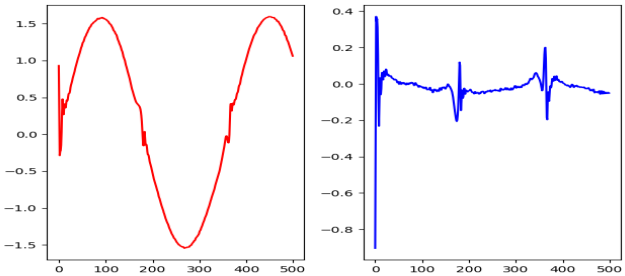


图 11 简单的强化学习算法设计流程



图 12 强化学习算法实验效果



a) 角度跟随曲线 b) 误差曲线

图 13 算法输出曲线

以上四个实验的难度逐级递增，强调开放性和创新性。来源于传统教学，又超出传统教学的范围，对于培养学生独立思考能力、解决问题能力有很大帮助。

四、验收方式的改进

本文除了对实验的具体内容和要求做了较大修改，对于实验的验收方式也做了修改，以适应实验内容的改变，贴合实验教学的实际情况。

1. 对于基础实验环节，可通过做不同的确定性实验的方法，培养学生的独立动手实验能力；对于开放性和综合性实验，可以要求学生自行设计模糊控制、神经网络算法等智能算法，通过实验结果来评价算法设计效果。

2. 所有同学可通过统一的仿真环境对实验效果进行量化打分，大家可对自己编写的算法进行比较竞争，提高学生改进算法的积极性，加深学生对教学内容的理解。

五、总结

本文设计了《智能控制》课程的递进式实践教学环节，搭建了实验仿真环境，融合机器学习、强化学习等内容设计了由浅入深的实验内容，提出了竞争形式的实验验收方式。新的实践教学体系可以让学生接触到先进的前沿技术，并实际动手编写控制程序，这是提高学生创新

(下转第242页)



进行比较,从学习成绩上进行直观反应。从中长期上来看,可追踪学员的综合学习状态,毕业设计、学位论文等的研究水平,评价联结派学习理论的应用效果。进一步地,从长期上经过反复的联结派学习理论教育,追踪学员在工作后的业绩表现,形成长期的效果评价机制。

除此之外,还应建立相应的激励与惩罚机制。按照联结派理论的思想,适当的惩罚不会削弱联结关系,反而会加深这种联结。但是,在实际操作过程中,一定要做到赏罚分明、适可而止、教学效果至上的宗旨。经过本人及相关教师多年的总结,关于教学中的激励与惩罚机制,有以下几点建议:

(1)对事不对人,注意语言组织。不论是激励或惩罚,都要做到针对行为本身,而不是过分夸大行为主体本身,不要将表扬或批评上升到个人的高度,这也是教育的公平和公正原则的要求,是对教师最基本的素质要求。

(2)以儆效尤,注意方式方法。这一点主要针对批评行为,实施批评的时候要主要语言措辞,注意学生的行为波动,必要时可进行课后的再交流,并密切关注学生的后续反应。

(3)教师要以身作则,言出必行。教师实施激励或惩罚措施的前提就是以身作则,只有自己先做到所说的话,才具有震慑力和可信度,这同样也是对师德的基本要求。

#### 四、结论

高等教学心理学的联结派学习理论对多学科都具有较强的兼容性,特别是航空航天这类具有较强空间场景展示的学科。其根本思想是让学生首先了解学习结果,课堂教学才能发挥最大作用,进而引入合理的评价机制与效果量化评估方法,对这一理论的应用效果进行评价。作为航空航天类课程的高校教师,推动航空航天类课程教学效果的发展,是我辈教师的职责所在,力争为祖国的航天事业不断输送优秀人才。

#### 【参考文献】

[1] 潘 菽.教育心理学[M].北京:人民教育出版社,

1979.

[2] 韩进之.教育心理学纲要[M].北京:人民教育出版社,1989.

[3] 覃梦妮,陆维研.基于联结学习理论的《农业经济学》课堂教学模式的创新研究[J].科技视界,2019.

[4] 吴仁伦,王璐璐.基于认知同化学习理论的主题联结课程模式构建——以中国矿业大学(北京)“能源开发与利用”课程为例[J].中国校外教育,2017.

[5] 袁桂娟.桑代克联结学习理论对我国基础教育的启示[J].品牌(下半月),2015.

[6] 王艺兰,张振华.“联结学习理论”对体育教学的理论支撑和启示[J].体育教学,2014.

[7] 宋宝和,郭兆明,张增田.教学设计联结学习理论及其对我国课程改革的启示[J].当代教育科学,2005.

[8] 莫 雷.知识的类型与学习过程——学习双机制理论的基本框架[J].课程.教材.教法,1998.

[9] 李 萍.教师与学生进行心理沟通的方法研究——评《教师与学生的心理沟通》[J].化学教育(中英文),2020.

[10] 刘 红.学生素质教育与心理学关系研究[J].教育教学论坛,2020.

[11] 吴晓芸.积极心理学理论在学校教育管理中的运用——评《新编学校教育心理学》[J].林产工业,2020.

[12] 贺天庆.大学生教育心理学理论与健康教育研究——评《大学生心理学》[J].中国学校卫生,2020.

[13] 周维鹤.基于教育心理化学视角的思想政治教育路径探析[J].集宁师范学院学报,2020.

**【作者简介】**于沫尧(1989—),女,汉族,河北秦皇岛人,博士研究生,航天工程大学宇航科学与技术系,讲师,研究方向:航天器轨道与姿态控制、航天发射理论与工程

(上接第104页)

能力、适应社会发展需求的一个重要手段。在不久的将来,《智能控制》课程的改革会更进一步,产生更多富有创造性的思路方法,在为国家培养创新性人才方面必将发挥更大的作用。

#### 【参考文献】

[1] 李莹,于水娟,赵佰亭.智能控制基础课程教学改革与探讨[J].科技视界,2019:130-131.

[2] 魏世勇.智能控制课程实验教学探讨[J].科教导刊,2017,2:114-115.

[3] 刘瑞明,王经卓,龚成龙.MATLAB辅助智能控制

课程教学实践[J].重庆与世界,2015,11:8-12.

[4] 王志忠,王松伟.基于虚拟实验室的智能控制教学模式与方法研究[J].福建电脑,2012,12:175-176.

**【基金项目】**2019年北京邮电大学教育教学改革项目“《智能控制》课程教学内容优化和实验建设研究”(2019JY-D08);2018年北京邮电大学教育教学改革项目“智慧物流机器人开放性实验”(2018KC-D03).

**【作者简介】**宋原(1987—),男,汉族,河南西平人,博士,北京邮电大学自动化学院工程师,主要研究嵌入式系统设计、机器人与人工智能