

电子信息工程学院“智能车控制虚拟仿真实验”课程思政建设优秀案例

## 润物无声——基于国家级一流虚拟仿真实验的 自动控制原理 I 课程思政案例建设

完成人:李润梅,唐涛,苗宇,刘峰,金尚泰,张严心

### 一、课程和案例的基本情况

**课程名称:**智能车控制虚拟仿真实验

**授课对象:**自动化、轨道交通信号与控制、智能装备与系统专业本科三年级

**课程性质:**专业核心课

**课程简介:**智能车控制虚拟仿真实验国家级一流课程是电子信息工程学院面向自动化、轨道交通信号与控制、智能装备与系统专业本科三年级学生开设的专业核心必修课“自动控制原理 I”的课程实验项目。

在人工智能和无人驾驶技术快速发展的今天,智能车已经成为各大高校新工科专业人才培养的重要实验载体。但在有限的课内实验学时中,学生无法完成从智能车架构设计到算法调试的复杂过程,针对这样一个“不好做”“不能做”“做不完”“做不好”的实验难题,自动控制原理 I 课程组发挥专业所长,科教融合,面向自动化国家级一流专业建设目标,开发了智能车控制虚拟仿真实验,并成功获评第二批国家级一流本科课程。

**案例简介:**案例面向自动控制原理 I 中控制系统时域分析和根轨迹分析方法应用进行设计,依托智能车控制虚拟仿真实验,进行 PID 控制算法设计。主要内容为:探讨将时域分析中的 PID 算法应用于智能车控制,并利用根轨迹方法进行算法优化;利用智能车控制虚拟仿真实验生动的实验界面展示设计效果;在理论分析基础上,获得控制系统分析与设计方法的真实感知,强化学生对这部分知识掌握;结合对无人驾驶相关知识的讲解,带领学生理解科技热点应用问题,通过应用专业知识解决社会问题,增强专业自信,培养理论联系实际能力培养、塑造知识为社会服务的主体价值观,实现知行合一,学而会用,学而能用的教学目标。

### 二、案例蕴含的思政元素分析

课程思政案例面向无人驾驶社会科技热点问题,结合教学内容,带领学生开展智能车控制实际工程问题分析及设计实践。探索以学生为中心,以自动化行业新科技人才需求为培养驱动力,结合自动化热点问题,开发课程思政教学案例,从而让课程理论知识鲜活起来,培养学生良好的科学思维能力和分析控制领域工程问题能力。

该案例创新点包括：

- ① 将理论知识应用于社会热点科技问题,强化理论联系实际;
- ② 将虚拟仿真实验有机融入课程理论知识讲授,拓展虚拟仿真实验项目的应用面;
- ③ 带领同学了解无人驾驶中的控制问题,并利用 MATLAB 等数学分析工具,展开理论分析,建模实践和计算优化,实现知行合一、学以致用教学目标。

### 三、案例教学整体设计

#### (一) 教学设计

课程组在教学过程中,探讨如何利用课程思政案例建设,增强同学们知识获得感,践行知行合一校训主题,主动挖掘社会热点科技问题,找准课程知识对标点,建设了依托智能车控制虚拟仿真实验的课程思政案例。该案例结合对无人驾驶相关知识的讲解,带领学生理解科技热点应用问题,通过应用专业知识解决社会问题,增强专业自信,培养理论联系实际能力,培养、塑造知识为社会服务的主体价值观,实现知行合一,学而会用,学而能用的教学目标。教学案例的设计体现了理论知识、仿真验证和实际应用的有机结合,如图 1 所示。



图 1 教学案例的设计架构图

#### (二) 教学实践

##### 1. 知识掌握:系统性能改善的基本方法

##### (1) 二阶系统的性能分析

欠阻尼二阶系统的数学模型如下式所示。

$$\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (0 < \xi < 1) \quad (1)$$

在输入为阶跃信号时,输出如下式所示,其输出曲线如图 2 所示。

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin\left(\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t + \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}\right), \quad t \geq 0 \quad (2)$$

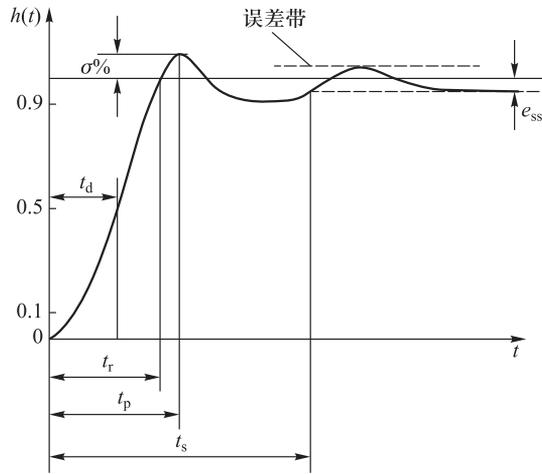


图 2 控制系统单位阶跃响应性能指标

则其动态性能指标主要可以由调节时间和超调量表达,如下所示:

$$t_s \approx \begin{cases} \frac{4}{\xi\omega_n}, & \text{当 } \Delta = 2 \text{ 时} \\ \frac{3}{\xi\omega_n}, & \text{当 } \Delta = 5 \text{ 时} \end{cases} \quad (3)$$

$$\delta\% = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\% \quad (4)$$

### (2) 问题提出及解决方案

在控制系统设计时,通常都希望控制系统有较快的响应时间,即具有较小的  $t_s$ ,同时又希望系统的超调较小,即具有较小的  $\sigma$ 。但这两者往往是矛盾的,因此,如何达到上述目标,就成为二阶系统设计的主要问题。

因此引入了 PID 控制算法,如下式所示,其控制结构图如图 3 所示。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

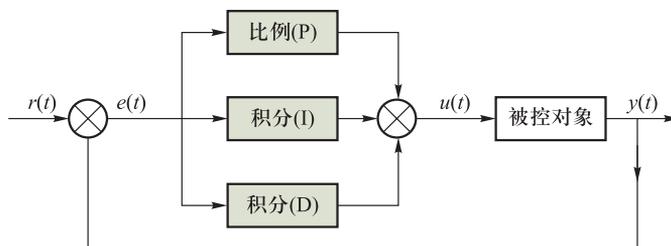


图 3 PID 控制系统结构图

## 2. 知识拓展:无人驾驶控制系统认知及综合理解

研究表明,在控制系统设计中,PID 控制占有所有控制方式的比例为 90% 左右。该方法特别适用于结构复杂、大惯性、强噪声、高负载等系统。在车辆自动驾驶中,有着极其广泛的应用。

在人工智能和无人驾驶技术快速发展的今天,智能车已经成为各大高校新工科专业人才培养的重要实验载体。对该载体的研究,可以结合自动控制原理 I 授课内容,从问题分析、建模实践、智能车基本结构认知、控制系统设计、采样方法及实现、检测反馈及执行机构在应用中的具体设备、控制输出信号的驱动方式等问题展开讲解,抽丝剥茧,提取控制问题。同时,带领学生感受到实际控制系统中具象化的实际设备及应用方法,让课本里的理论、模型鲜活起来。

通过具体应用案例的学习,学生能够深化理解自动专业相关课程的基础理论知识并掌握其应用机理。实现学有所悟、学有所得、学有所用,夯实学生控制系统建模、分析和设计的能力,激发学生创新实践的兴趣,培养学生勇于创新的素质。

## 3. 能力培养:依托智能车控制虚拟仿真实践 PID 算法

智能车控制虚拟仿真实验是北京交通大学电子信息工程学院自主研发的虚拟仿真实验项目,被评为校级一流课程(虚拟仿真实验课程),并上线 iLAB 实验空间,至今已经开课 4 轮,用于自动控制原理 I、智能控制、自动化专业综合实验等课程开展实验教学,以及大学生智能车竞赛赛前培训,受到学生广泛好评。

学生登录实验平台后,进入智能车循迹单变量 PID 控制模块,可以灵活设置不同的 PID 参数,观察智能车运行状态,如图 4 所示,并结合实验给出的智能车二阶循迹数学模型,依托 MATLAB 进行数值仿真分析,如图 5 所示,总结 PID 三参数对系统性能的影响。



图 4 智能车控制虚拟仿真实验界面

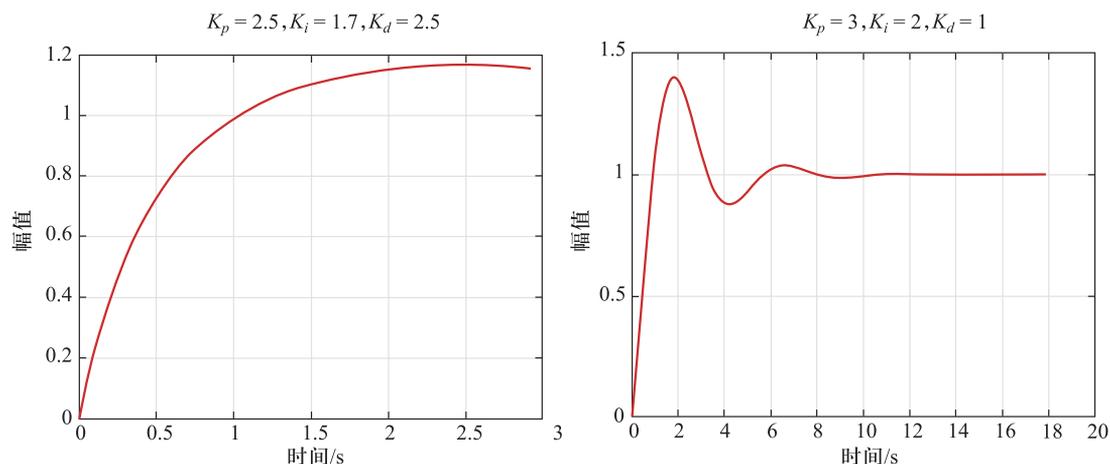


图5 不同参数下 MATLAB 进行数值仿真结果

同时利用根轨迹方法,研究因为参数设置不同,带来特征方程的变化,同时基于 MATLAB 数值实验和数据分析,从而得到满足性能要求的 PID 参数取值。这一过程,通过虚拟仿真实验的操作,可以得到直观的画面显示,如图 6 所示。



图6 优化后智能车控制效果界面

MATLAB 数值分析,可以得到量化指标,从而实现从理论到实际的跨越;教师讲解,使学生能在理论上掌握控制系统性能优化的方法,特别是掌握 PID 控制算法的基本原理和实际应用;实验操作,能在实践中通过对智能车巡航控制这一典型控制问题的研究,理解控制理论实际的应用,培养学生良好的科学思维能力和解决控制领域工程问题能力。

### (三) 教学反思

在人工智能和无人驾驶技术快速发展的今天,智能车已经成为各大高校新工科专业人才培养的重要实验载体。在这样一个大型综合性实验中,学生需要完成从智能车架构设计

到算法调试的复杂过程。这一过程,体现了理论基础与应用需求的结合,培养了学生理论联系实际,将所学课程知识用于实际工程问题的能力。本研究对智能车控制虚拟仿真实验进行了初步探讨和应用,在课程讲解中,极大地激发了学生对智能车开发的兴趣。但因为该实验复杂度问题,目前案例建设仅限于依托虚拟仿真项目开展实践,在如何将实际智能车控制系统开发引入课程这一问题中,尚需继续积累教学实践经验。未来课程组也将进一步挖掘其他应用,建设丰富的课程案例,为自动化专业建设和课程建设提供更多优质素材。