

人工智能中的进化论：遗传算法情境教学

徐峰磊, 王琛, 胡伏原

(苏州科技大学电子与信息工程学院, 江苏苏州 215009)

摘要: 应用型本科院校电子信息专业学生在人工智能课程学习过程中, 大多存在数学基础弱、智能知识少的问题。针对上述问题, 提出采用情境教学法辅助学生快速掌握算法思想, 有效提升课程教学质量, 并详细描述遗传算法情景教学案例。结合苏州科技大学城建特色设计管道巡检情境, 在模拟蛇形管道机器人巡检过程中展示遗传算法迭代过程。案例在诠释遗传算法的编码、选择、交叉和变异4个重要内容过程中, 有机融入抽象总结、优化选择、交叉融通、勇于创新等思政元素。该情景教学案例在苏州科技大学研究生教学应用中反馈良好, 近年来学生成绩有所提高, 同时取得较好成果, 并在其他高校实现推广应用, 为一线教师教学设计提供了案例参考。

关键词: 人工智能; 情境教学; 遗传算法; 课程思政; 蛇形管道机器人

DOI: 10.11907/rjdk.231651

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2024)008-0093-06



Evolutionary Theory in Artificial Intelligence: Genetic Algorithm Situational Teaching

XU Fenglei, WANG Chen, HU Fuyuan

(School of Electronic & Information Engineering, Suzhou University of Science & Technology, Suzhou 215009, China)

Abstract: During the learning process of artificial intelligence courses, students majoring in electronic information in applied undergraduate colleges often have weak mathematical foundations and limited knowledge of intelligence. In response to the above issues, this article proposes the use of situational teaching method to assist students in quickly mastering algorithm ideas, effectively improving the quality of course teaching, and provides a detailed description of genetic algorithm situational teaching cases. This article combines the characteristics of Suzhou University of Science & Technology urban construction to design a pipeline inspection scenario, and demonstrates the genetic algorithm iteration process in simulating the snake shaped pipeline robot inspection process. In the process of interpreting the four important contents of genetic algorithm coding, selection, crossover, and mutation, the case organically incorporates ideological and political elements such as abstract summary, optimized selection, cross integration, and the courage to innovate. This scenario teaching case has received good feedback in the application of graduate teaching in our school. In recent years, student grades and achievements have improved, and it has been promoted and applied in other universities, providing a case reference for teaching design for frontline teachers.

Key Words: artificial intelligence; situational teaching; genetic algorithm; curriculum ideology and politics; snake shaped pipeline robot

0 引言

中共二十大报告强调在人工智能、信息技术、生物技术、环保等领域培育新的经济增长引擎目标, 为我国加快

推进制造强国、网络强国和数字中国建设提供坚实有力的支撑^[1]。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》也明确提出, 要培育壮大人工智能等新兴数字产业, 加快推进产业数字化转型, 推动数字产业化。人工智能作为未来经济发展支柱被寄

收稿日期: 2023-06-20

扫描二维码阅读全文:



基金项目: 江苏省学位与研究生教育教学改革课题(JGKT23_C073); 江苏省高等教育学会评估委员会课题(2021)

作者简介: 徐峰磊(1992-), 男, 博士, CCF会员, 苏州科技大学电子与信息工程学院讲师, 研究方向为机器视觉、非结构化环境感知; 王琛(1992-), 男, 博士, CCF会员, 苏州科技大学电子与信息工程学院讲师, 研究方向为SAR目标检测与识别; 胡伏原(1978-), 男, 博士, CCF会员, 苏州科技大学电子与信息工程学院教授、硕士生导师, 研究方向为计算机视觉。本文通讯作者: 胡伏原。

予极大期望,也给高等教育提出了全新挑战^[2]。苏州科技大学是住房和城乡建设部与江苏省共建高校,具有较强的城建环保特色,学校电子信息专硕点着眼于培养面向城建环保领域的高素质创新性应用型电子信息类人才。

情境教学是一种以情境为核心的教学方法,将学习内容置于具体情境中,使学生能够在真实或模拟的情境中主动参与、探索和解决问题。情境教学注重学生的实践经验和问题解决能力培养,强调知识的应用和转化。情境教学法在国内应用十分广泛,在实操性较强的课程中,创设情境能够有效加深学生理解,激发学生的学习热情,同时解决了理论脱离现实的课堂教学通病^[3-5]。除实操课程外,抽象性强的课程中情境教学也颇受欢迎,比如数学领域的教学^[6-8]。在国际上,引入真实世界的案例或整合信息技术构建情境也是创新教学中的常见做法。例如,Bracke等^[9]、Kaiser等^[10]都曾在学校教学实验中让学生解决源自真实世界的建模问题,包括德国高铁轨道设计、指纹识别、世界杯期间的交通流量等;Neves等^[11]介绍了一种操作简单的计算机建模系统,该系统可以在交互式对象的动画和该对象的数学模型之间建立可视化的实时对应,适用于快速构建情境。人工智能相关课程大多抽象性强,对数理能力要求较高,属于情境教学法的适用类型;并且,应用型本科学生普遍存在数学基础弱、智能知识少的问题。而情境教学法能够很好地将抽象知识转化为直观体验,帮助基础薄弱的学生快速理解人工智能算法背后的核心逻辑。

在此背景下,本文案例针对管道巡检维修场景,建设蛇形管道机器人仿真模型,通过遗传算法完成蛇形管道机器人爬行控制设计,带领学生在情境教学下理解遗传算法的本质概念,体会并实现编码、选择、交叉、变异4个环节,掌握遗传算法的调参与应用。通过情境构建,能够更生动地诠释算法内涵和技术效果,避免传统算法讲解方式缺乏趣味性和直观性的弊端。

1 遗传算法情景教学案例

1.1 案例内容

教学案例“人工智能中的进化论——遗传算法情境教学”是人工智能学科基础、高级人工智能和人工智能与知识工程课程的核心内容之一。学生学习案例内容时,已通过前期学习完成人工智能的初步入门,了解人工智能的背景、起源和发展,掌握知识表示、推理和搜索求解技术。学生学习该案例是为了掌握模拟生物进化的遗传算法,学习并熟悉遗传算法中的编码、选择、交叉和变异方法,为复杂智能计算方法的学习及应用打下基础。该案例属于课程中“智能计算及其应用”章节下的主要内容,前序内容是启发式搜索求解方法,后接内容是粒子群和蚁群算法,掌握后有助于学生知识技能的层进积累与提高。

情境案例的主人公是蛇形管道机器人,如图1所

示^[12]。蛇形管道机器人由于体型修长、穿行灵活,可用于管廊/管道巡查、智能楼宇/工厂巡检、矿难或建筑废墟搜救等。蛇形管道机器人爬行由多驱动块协同工作实现,为了更好地完成巡检任务,需要优化爬行运动方式以提高机器人前进速度。这涉及各驱动块运动参数的协同优化,难度较高。如何获得最佳参数,保证蛇形管道机器人以合理的运动方式向前爬行值得思考,带着这个疑问,教师可带领学生开始探索用遗传算法解决这一问题的具体方案。



Fig. 1 Snake shaped pipeline robot

图1 蛇形管道机器人

在自然界中,达尔文的进化论深刻诠释了物种之间优胜劣汰、适者生存的自然法则,而在人工智能学科中有一类算法沿用了相似的进化法则,这就是遗传算法(Genetic Algorithm, GA)^[13]。遗传算法模拟了生物进化过程,是一种通过模拟自然进化过程搜索问题最优解的方法。本案例着重讲解遗传算法的基本过程及应用,用一个模拟场景“蛇形管道机器人”让学生亲身体会在智能化应用中遗传算法迭代优化的过程,阐明遗传算法中涉及的原理和操作。

1.2 案例抽象

首先,需要带领学生将复杂问题抽象简化。蛇形管道机器人爬行方式可以简化为由身体运动块伸缩实现,本案例将蛇形管道机器人的脑袋抽象为一个圆,不参与运动,而身体模型化为5个三角形,代表躯干运动块。具体而言,蛇形管道机器人的身体细化为7个顶点、11条边(见图2),每条边的运动采用持续往复的简谐伸缩运动进行描述,以此模拟蛇的肌肉伸缩爬行。则求解的问题可简化为:如何设计蛇形管道机器人内部每条边的简谐运动方式,才可实现蛇形管道机器人的高效爬行。

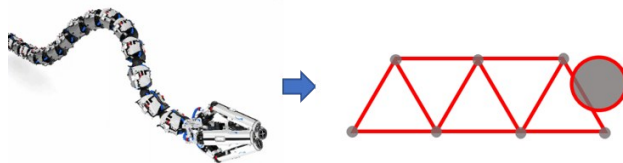


Fig. 2 Abstract modeling of snake shaped pipeline robot

图2 蛇形管道机器人的抽象建模

1.3 案例与知识点结合

蛇形管道机器人抽象为模型后,带领学生探寻模型运动方式最优化问题。从蛇形管道机器人运动方式表示、运动方式择优、新运动方式生成等3个方面开展遗传算法四

大关键内容,即对编码、选择、交叉和变异的探讨,从而将知识点教学与蛇形管道机器人情境有机结合,生动而直观,有助于学生更好地掌握遗传算法。

1.3.1 编码

解决蛇形管道机器人运动方式最优化问题的第一步,是用参数特征描述模型运动方式。蛇形管道机器人爬行通过各边持续简谐伸缩运动实现,简谐运动由周期、振幅和相位决定,因此蛇形管道机器人每条边的运动方式可以简单用这 3 个数字进行描述,则 11 条边需要 11×3=33 个数字,如图 3 所示。求机器人最优运动方式的问题就转化为求解该 33 维向量的最优化问题。这种求解特征参数化的过程在遗传算法中被称为编码,而该 33 维向量被称为一个染色体,其中每个数字称为该染色体上的一个基因。这里,教师需完成染色体、基因、种群等基本知识点的讲授,让学生基于实际情况牢记概念定义。

遗传算法通过编码环节将蛇形管道机器人复杂的运动方式简单描述为一个向量,为后续运动方式寻优铺平了道路。如何将复杂的实际问题总结提炼为抽象化的模型,便于问题的表达与理解,对于后续解决实际工程问题以及人生中的问题都至关重要。

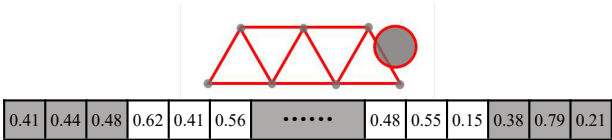


Fig. 3 Encoding method for motion mode of snake shaped pipeline robot

图 3 蛇形管道机器人运动方式的编码方式

除上述编码方式外,课堂上可以继续扩展其他经典的遗传算法编码方法,如位串编码、实数编码等技术。初始的蛇形管道机器人种群染色体基因可以直接用随机算法生成,此时机器人的运动方式也是随机的。

1.3.2 选择

讲完编码技术后,再度回归课堂情境,引发学生们继续思考:数学化表述问题后,如何得到蛇形管道机器人最优运动方式所对应的参数特征向量(染色体)?即如何得到运动方式的最优解。显然,传统的数学求解方法难以实现,毕竟这是高维空间求解问题。继而进一步引起学生疑问:生物遗传是如何给出答案的?此时教师进行知识引导:通过“选择”实现优胜劣汰。如同人生选择,站在人生的十字路口,好的选择能将人生引领向更好的方向,而遗传算法中好的选择也能将种群向正确的演化方向推进。

算法中的选择通过构建足够数量的随机蛇形管道机器人染色体种群,选择出相对优秀的染色体保存下来,不断优化这些染色体上的基因,直到获得满足要求的解。什么样的染色体为优秀,这就需要确定评判标准。既然要得到蛇形管道机器人跑得最快的运动方式,那么可以用单位时间内蛇形管道机器人爬行的距离衡量其染色体的好坏。

该指标在遗传算法中有个专业的术语叫适应度,它是衡量生物对环境适应能力的标准,适应度越高的个体在环境中表现越好,被选择保留的概率也越大。本案例中使用适应度比例分配蛇形管道机器人染色体被自然选择保留的概率,即每个染色体被选择遗传的概率 p_i ,等于种群中每个个体爬行距离 $dist_i$ 与所有 M 个体爬行的总距离 $\sum_{i=1}^M dist_i$ 之比,即:

$$p_i = dist_i / \sum_{i=1}^M dist_i \tag{1}$$

除适应度比例方法外,课堂上可以继续扩展其他经典的选择算法,如排序法、锦标赛选择法、随机竞争法等。

1.3.3 交叉

交叉操作讲解过程中,可以先举一个实际生活中的案例以解释交叉的重要性。文献[14]提出一种具备灵活可塑性的新型生物拟真神经元模型:FT 模型(Flexible Transmitter Model)。该文作者在谈及思路来源时表示,是生物神经突触的生长给予了其启发,成果源自生物与计算机两大学科交叉。全新的思维火花往往由广泛的知识涉猎以及不同学科知识交叉产生。

遗传算法也同样,为了产生新的适应度更高的优秀个体,交叉操作得以设计出来。遗传算法的第三步是让被选择的个体交配繁殖产生新一代的个体,这在遗传算法中被称为“交叉”。任意取出两个选择环节得到的优秀蛇形管道机器人个体,通过部分染色体序列互换的方式实现交叉以得到新的个体。新染色体一部分来自于父亲,一部分来自于母亲,如图 4 所示。

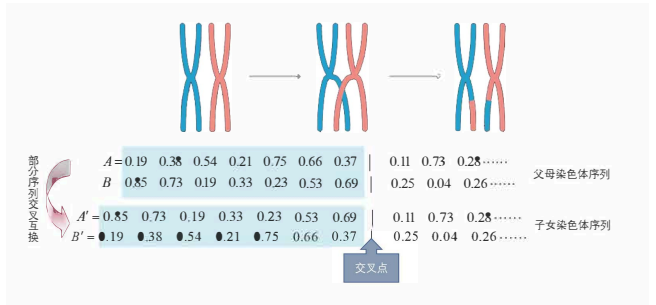


Fig. 4 Generation of new chromosomes by chromosome crossing in snake shaped pipeline robot

图 4 蛇形管道机器人染色体交叉生成新的染色体

该案例中的蛇形管道机器人种群的交叉操作采用一点交叉,即在蛇形管道机器人的基因串中随机设定一个交叉点,交叉点前的染色体基因进行互换,从而生成两个染色体序列。这里,教师可以继续向学生扩展讲述交叉操作的常用方法,如二点交叉法、多点交叉法等。

1.3.4 变异

基因除能交叉重组,还能发生变异,好的变异能够加速种群升级。基因突变能保证种群中染色体的多样性,避免由于不断的优势选择使得族群中的染色体越来越接近,造成生物进化减缓或者停滞。变异本质上是个体的创新,这种创新有机会提升整个种群的层次。教师鼓励学生不

断培养创新精神,个人某个突破日后可能成为打破国外垄断、攻克卡脖子问题的关键,实现整个民族竞争力提升。

通常,遗传算法中变异操作的几率不宜设置过高,因为基因突变不总是有利。过高的变异几率会导致遗传算法结果收敛不稳定,整体种群平均适应度持续在低水平起伏震荡,如图5所示的平均适应度曲线。本案例蛇形管道机器人种群进化采用了5%的互换变异,即每个染色体有5%的概率发生任意两个基因之间的简单交换,从而生成一个变异的新蛇形管道机器人染色体,为种群发展提供新的可能。这里,教师可以向学生解释位点变异、逆转变异、插入变异、移动变异等不同的变异技术以及不同变异技术所适用的场景。

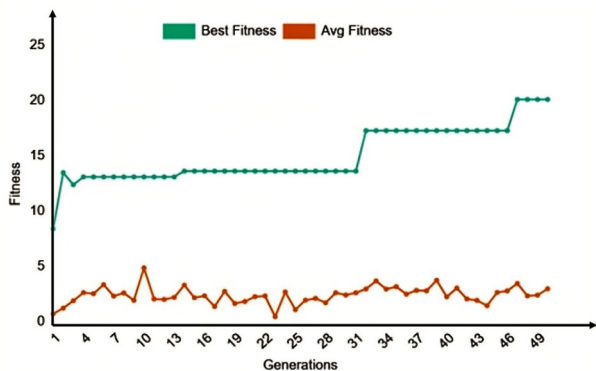


Fig. 5 The average fitness of snake shaped pipeline robots is unstable under high mutation probability (50%)

图5 蛇形管道机器人在高变异概率(50%)情况下平均适应度持续震荡

1.4 情境展示与分析

1.4.1 总体展示与分析

使用 Javascript 语言,基于 Node.js 环境和 2D 图形引擎 Matter.js 开发了蛇形管道机器人仿真模型,动态可视化地引导学生探索蛇形管道机器人种群根据遗传算法演化的整个过程,让学生沉浸式体验遗传算法的方法步骤和演化效果。

在不同参数设置条件下,蛇形管道机器人种群进化迭代过程可视化如图6所示。学生体会到在遗传算法的指导下,整个种群会在不断迭代的过程中往适应度更高的方向发展,适应度较低的蛇形管道机器人会逐渐被淘汰。通过种群迭代算法视频演示,学生们可以看到在初始迭代情况下蛇形管道机器人完全不知道如何爬行,甚至在翻滚和倒退。但在算法迭代过程中,优秀的染色体不断被选择、交叉和变异,得到更优的运动方式。通过迭代过程中个体的不断突破,整个种群也随之不断升级。蛇形管道机器人种群在迭代到200代后,终于有个体实现了躬身前行,找到了较为完美的运动方式。

除进化过程可视化外,本案例代码提供了调参窗口和实时统计。课程教学过程中,指导学生关注图表曲线,从曲线可知在最初几次迭代中蛇形管道机器人种群整体适应度提升较快,说明遗传算法的启发式效果明显。后续随

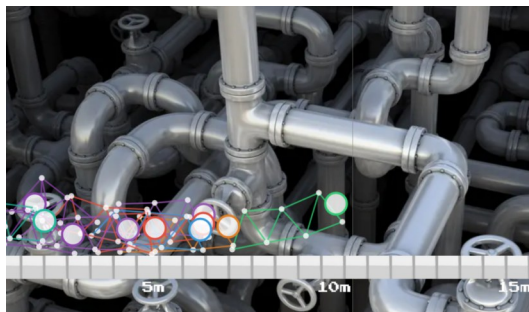


Fig. 6 Visualization of iterative process for snake shaped pipeline robots

图6 蛇形管道机器人种群的迭代过程可视化

着时间推移,整体种群不断向最优解逼近,遗传算法的边际效应开始凸显,曲线逐渐趋于平缓,此时蛇形管道机器人的种群优化迭代过程即可停止,当前最优解可作为所求问题的最终解。通过多轮可视化仿真案例迭代过程,让学生掌握遗传算法的调参和优化方法。

1.4.2 关键环节分析

在算法迭代过程中,编码、选择、交叉、变异等关键环节是如何生效的呢?以前50代蛇形管道机器人迭代过程为例,结果如图7所示,下边曲线是每一代种群的平均适应度统计,上边曲线是每一代种群中的最佳适应度统计。

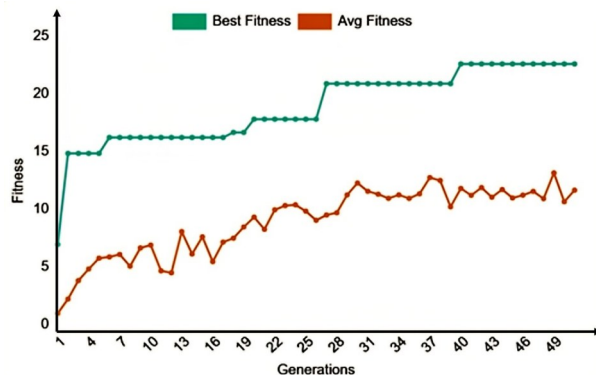


Fig. 7 Fitness statistics for the motion modes of the first 50 generations of snake pipeline robots

图7 前50代蛇形管道机器人运动方式的适应度统计

(1)编码。在算法迭代过程中,蛇形管道机器人染色体的编码方式无法再进行优化,但迭代过程中可以验证编码有效性,并从算法时间开销分析中论证当前编码方式的合理性。

(2)选择。蛇形管道机器人种群平均适应度有震荡现象,但最佳适应度未出现退化。其原因在于,为了确保种群在每次进化中上一代最优良的基因得以保存,算法将适应度最高的个体直接选择复制下来,保证在基因重组和突变的随机过程中,下一代种群不会比上一代差。

(3)交叉。整个蛇形管道机器人种群的平均适应度呈上升趋势,由于每代之间遗传算法持续选择优秀的染色体作为父母,交叉得到新的蛇形管道机器人染色体,故整个种群的平均水平呈波动上升样态,如图8所示。

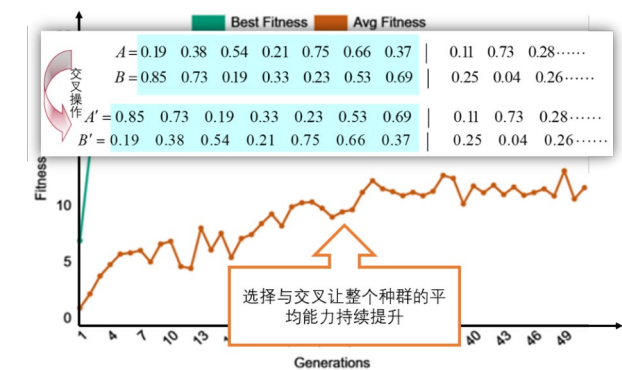


Fig. 8 Average fitness curve fluctuates and rises
图 8 平均适应度曲线震荡上升

(4)变异。蛇形管道机器人种群中的最佳适应度在达到某个局部最优解后,会保持一段时间的平稳。此时,变异操作可能使算法跳出局部极值,从而使得最优个体适应度出现阶跃式提升,如图 9 所示。

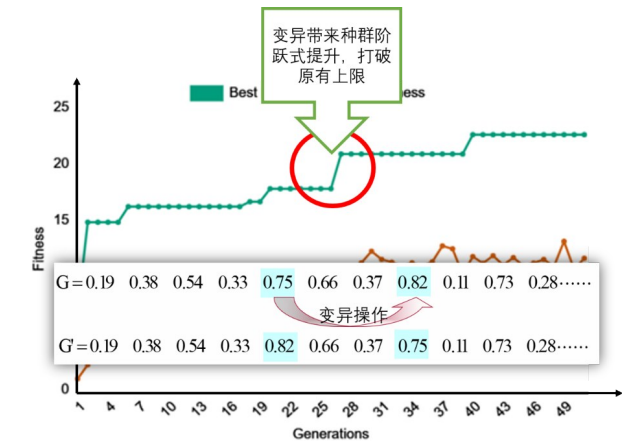


Fig. 9 Best snake shaped pipeline robot motion mode undergoes a step breakthrough due to mutation operation
图 9 最优蛇形管道机器人运动方式由于变异操作发生阶跃式突破

1.5 算法探索

在熟悉案例情境与实现代码后,教师带领学生探索遗传算法在不同参数选择(见表 1)情况下迭代结果的区别,让学生感受参数设置对算法寻优和收敛的影响,从而掌握算法调参的策略。此外,安排学生在课后以小组合作方式,测试算法在不同编码方式、选择策略、交叉策略和变异策略情况下的运行结果(见图 10),帮助学生进一步深入对遗传算法不同实现技术的掌握。

Table 1 Selection of genetic algorithm parameters
表 1 遗传算法参数选择

参数	内容
种群参数	种群规模(population size)
	初始种群的个体取值范围(Initial Population)
选择参数	适应度计算函数(Fitness)
	优良个体保存数量(Elite count)
交叉参数	交叉概率(Crossover fraction)
变异参数	变异概率(Variation fraction)
停止参数	最大迭代步数(Generations)
	停滞代数(Stall generations)

编码	编码方式	二进制编码	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		实数编码						
选择	个体选择概率分配	排序分配	✓	✓	✓	✓		✓
		比率分配					✓	
		轮盘赌选择	✓	✓	✓		✓	✓
	个体选择	锦标赛选择				✓		
交叉	单点交叉		✓	✓		✓	✓	✓
	两点交叉				✓			
变异	互换变异		✓			✓	✓	✓
	位点变异			✓				
最优适应度								
最差适应度								
平均适应度								

Fig. 10 Algorithm running results of different encoding methods, selection strategies, crossover strategies and mutation strategies

图 10 不同编码方式、选择策略、交叉策略和变异策略的算法运行结果

1.6 课堂总结

该案例展示的蛇形管道机器人运动控制只是遗传算法的一种应用情境,但其中编码、选择、交叉和变异操作的方法在解决其他最优化问题的过程中是通用的。在该案例应用过程中,教师需要提醒学生面对不同的问题,可以采用不同的策略完成四大环节的方法设计,以达到搜寻最优解的目的。同时,“抽象总结、优化选择、交叉融通、勇于创新”也不仅仅是课堂上的一次体会,更应该在日常生活中时时践行。

课堂收尾之时,对课程内容进行总结如下:遗传算法的本质是基于自然选择和自然遗传等生物进化机制的启发式随机搜索算法,其目的是解决人工智能中的非线性优化难题。最后,教师可引出遗传算法的具体应用领域:模拟生物进化的遗传算法在组合优化、自动控制、图像处理、机器学习等领域都有着广泛应用。

1.7 思政总结

该案例在传授知识的过程中,有机融入抽象总结、优化选择、交叉融通、勇于创新等正确价值观念导向,探索思政元素与情境教学结合的新方式。将思政要素分散到编码、选择、交叉变异等技术探索中,让思政内容成为专业内容的调味剂,两者相互融合、共向而进,实现德智融合的育人目的。当然,这对教师的专业知识素养、思想政治水平和教学能力等都提出了更高要求。

2 应用成效与推广情况

近 3 年来,人工智能中的进化论——基于蛇形管道机器人情境的遗传算法沉浸式教学在苏州科技大学电子信息 and 建筑智能化专业硕士培养过程中得以成功应用。在此期间的研究生课程学生评价中,高级人工智能和人工智能与知识工程课程的学生满意度评价均值分别为 95.75% 和 94.15%,说明课程广受研究生好评。在以该案例为典型的情景教学方法指导下,学校教学水平显著提升,学生高水平成果显著增加。相关专业研究生发表了 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence、IEEE Transactions on Multimedia 等优质期刊论文十余篇,授权发

明专利20余项,获江苏省建设科技创新成果奖、研究生电子设计大赛、中国机器人及人工智能大赛等国家级省部级奖项超十项。

此外,该案例已在华北电力大学、苏州大学、中国矿业大学、南京中医药大学、南京审计大学、北方民族大学、常熟理工学院等高校相关专业本科和硕士实际培养过程中成功应用且反响良好,形成了一定规模的推广示范效应。

3 结语

本文聚焦于人工智能中遗传算法的情境教学,针对人工智能课程抽象程度高、理解难度大、应用领域广等特点,结合管道巡检应用背景,设计蛇形管道机器人情境教学,从而改善了教学时知识点抽象、难以表述的窘境,降低了学生理解技术的门槛,同时兼顾了算法在具体领域的应用。

同时,在实际教学实践过程中发现,该教学方式对学生学习兴趣培养和综合能力提升均起到了积极作用,并在多所国内院校研究生教学中得以推广应用。本文分享该案例,以期为一线教师提供情境沉浸式教学与实践参考。

参考文献:

- [1] Xinhua News Agency. Holding high the great banner of socialism with Chinese characteristics and working together to build a socialist modernized country in an all round way——report at the 20th National Congress of the Chinese Communist Party [EB/OL]. <https://www.gov.cn/zhuanli/zggcd-descqgdbdh/sybgqw.htm>.
新华社. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. <https://www.gov.cn/zhuanli/zggcd-descqgdbdh/sybgqw.htm>.
- [2] ZHONG B L. Colleges and universities should actively respond to the new challenges of digital transformation [J]. China Higher Education, 2020(13):1.
钟秉林. 高等学校要主动应对数字化转型新挑战[J]. 中国高等教育, 2022(13):1.
- [3] QUAN W W, ZHU F J, MIAO S S. The application effect of case and scenario simulation teaching method in operating room nursing teaching [J]. China Higher Medical Education, 2022(6):117,137.
全玮玮, 朱芳静, 缪霜霜. 案例与情景模拟教学法在手术室护理教学中的应用效果[J]. 中国高等医学教育, 2022(6):117,137.
- [4] WANG K Q. Exploring the contextualized teaching mode of architecture majors[J]. Higher Architecture Education, 2022, 31(5):126-132.
王科奇. 建筑学专业情境化教学模式探析[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(5):126-132.
- [5] BIAN H Y, CHENG P. Classroom teaching based on real problem situations: taking the properties and preparation of sodium metal as an example [J]. Chemistry Education, 2021, 42(23):57-61.
卞海燕, 程萍. 基于真实问题情境的课堂教学——以金属钠的性质与制备为例[J]. 化学教育, 2021, 42(23):57-61.
- [6] SONG H N. Research and practice on high school mathematical modeling teaching driven by problem situations [J]. Tianjin Education, 2022(20):22-24.
宋淮南. 问题情境驱动下的高中数学建模教学研究与实践[J]. 天津教育, 2022(20):22-24.
- [7] JIANG H L. Pursuing the beauty of situation and feeling the joy of learning: a study on the strategies of situational teaching in middle school mathematics [J]. Basic Education Forum, 2023(13):36-37.
蒋宏林. 追求情境之美 感受学习之乐——初中数学情境教学策略研究[J]. 基础教育论坛, 2023(13):36-37.
- [8] SHAO M Y, SU H. Information technology supports mathematical modeling teaching in real scenarios——experience from Germany [J]. Journal of Comparative Education, 2021(5):157-176.
邵铭宇, 苏航. 信息技术支持真实情景中的数学建模教学——来自德国的经验[J]. 比较教育学报, 2021(5):157-176.
- [9] BRACKE M, GEIGER A. Real-world modelling in regular lessons: a long-term experiment [C]//Proceedings of Conference on Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling: ICTMA14, 2011: 529-549.
- [10] KAISER G, SCHWARZ B. Authentic modelling problems in mathematics education—examples and experiences [J]. Journal Für Mathematik-Didaktik, 2010, 31(1): 51-76.
- [11] NEVES R G, SILVA J C, TEODORO V D. Improving learning in science and mathematics with exploratory and interactive computational modelling [C]// Proceedings of Conference on Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling: ICTMA14, 2011: 331-339.
- [12] ZHANG J H, CHEN Y L, YANG S X, et al. Snake shaped robot: biomimetic mechanism, structural driving, and modeling control [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58(7):75-92.
张军豪, 陈英龙, 杨双喜, 等. 蛇形机器人: 仿生理理、结构驱动和建模控制[J]. 机械工程学报, 2022, 58(7):75-92.
- [13] WANG W L. Introduction to artificial intelligence [M]. Beijing: Higher Education Press, 2011.
王万良. 人工智能导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [14] ZHANG S Q, ZHOU Z H. Flexible transmitter network [J]. Neural Computation, 2021, 33(11):2951-2970.

(责任编辑:孙娟)