

基于智能导学系统的基础理论教育数字化教材建设思路

黄煜可^{1,2} 李晓花^{1,2}

1. 北京邮电大学数学科学学院, 中国·北京 100876

2. 数学与信息网络教育部重点实验室(北京邮电大学), 中国·北京 100876

摘要: 尽管人工智能的发展为教育提供了新的契机和挑战, 也取得了丰硕的研究成果。但遗憾的是, 以智能导学系统为代表的计算机教学系统对学生的帮助依然不能取得本杰明·布鲁姆“两个标准差”的效果。本文旨在运用智能导学系统、以数字化教材为载体, 探索人工智能赋能基础理论教育的思路。这项研究同样适用于中小学阶段的基础理论教育领域, 甚至研究生阶段的基础理论教育领域。

关键词: 智能导学系统; 数字化教材; 人工智能赋能基础理论教育; 两个标准差

Basic Theoretical Education Based on Intelligent tutoring System and Digital Textbooks

Huang Yuke^{1,2}, Li Xiaohua^{1,2}

1. School of Mathematical Sciences, Beijing University of Posts and Telecommunications (BUPT), China Beijing 100876

2. Key Laboratory of Mathematics and Information Networks(Beijing University of Posts and Telecommunications), Ministry of Education, China Beijing 100876

Abstract: The development of Artificial Intelligence (AI) provides new opportunities and challenges for education, and fruitful research results has achieved. But computer teaching systems, such as intelligent tutoring system, still cannot solve Benjamin Bloom's "2 sigma problem". We study the method of artificial intelligence empowers basic theoretical education based on Intelligent Tutoring System (ITS) and Digital Textbooks. This study is also applicable to basic theoretical education for secondary school students and graduate students.

Keywords: Intelligent tutoring system (ITS); Digital textbooks; Artificial intelligence empowers basic theoretical education; 2 sigma problem

1 丰硕的研究成果

人工智能(Artificial Intelligence, AI)的发展为教育提供了新的契机和挑战。人工智能与数学等基础学科的结合包含两个方面的研究内容。一方面, 是如何在不同教学阶段开展人工智能教育? 另一方面, 是如何将人工智能赋能到不同的教学阶段? 本文主要研究后者, 特别是如何将人工智能赋能到高等院校数学教育。例如, 西北工业大学都琳教授、徐爽副教授、西安交通大学徐宗本院士提出了“师 - 生 - AI 协同课堂”的模式^[1]。中国矿业大学邵虎教授等人则结合所在高校理工科特色, 提出了一系列人工智能辅助大学数学公共基础课教学内容的改革策略^[2]。

2 人工智能赋能基础理论教育的困境

纵观现有研究成果, 人工智能赋能高等院校数学教育的研究工作主要集中在“增加数学实验、拓展课堂边界”

和“跨学科融合、根据学生所在专业和未来发展需求定制个性化教学内容”两方面^[3]。这两类研究成果可以有效地帮助学生提高学习兴趣和效率、拓展学习视野、实现跨学科培养, 特别有助于学有余力的学生快速成长。

然而, 数学等基础理论课程中还有相当一部分学习内容难以通过数学实验、应用案例等生动、直观、完整地展示。例如: 很多艰深的定理证明、繁琐的公式推导等等。这些知识比较枯燥、学习难度大, 学生在学习时可能产生强烈的畏难情绪。一部分学生可能很快就沉迷到妙趣横生且成就感强的数学实验和应用案例中, 忽视甚至排斥基础理论的学习, 学会了写程序、调参数、讲故事等等就误认为自己已经掌握了数学基础理论知识。这部分学生的学习不够扎实、浮于表面。这不仅仅阻碍了学生未来在数学基础理论研究方面的发展、能够达到的高度, 也使得他在本

专业的学习中实现理论创新的能力大大减弱。这是人工智能在数学基础理论教育领域的困境之一。本文旨在运用智能导学系统、以数字化教材为载体,探索人工智能赋能基础理论教育、特别是数学基础理论教育的思路。这项研究同样适用于中小学阶段的基础理论教育、大学本科阶段其他学科的基础理论教育,甚至研究生阶段的基础理论教育领域。

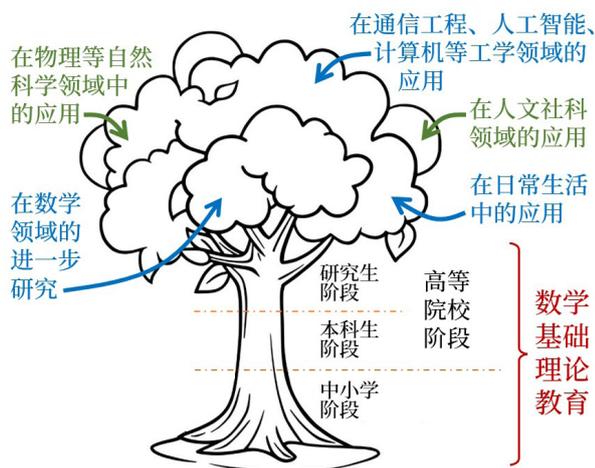


图1 数学基础理论与数学应用的联系

如果把数学比喻为一棵大树,它的繁茂分枝支撑了数学本身、自然科学、工学、人文社科等众多领域的研究(图1)。而本文重点关注的高校数学基础理论教育以及与之一脉相承的中小学数学基础理论教育就是这棵大树的树根和树干。只有根深才能叶茂;只有打好坚实的数学基础理论基础,才能完成充满创造性的研究成果,特别是推动各个领域的理论创新。可见,数学基础理论教育非常重要。这也是我们想要探索人工智能赋能基础理论教育的初衷。

3 布鲁姆的两个标准差问题

1984年,美国当代著名的心理学家、教育家本杰明·布鲁姆(Benjamin S.Bloom, 1913-1999)在论文《两个标准差问题:寻找与一对一辅导同样有效的小组教学方法》中设计了一个影响深远的实验。实验中,布鲁姆的研究团队比较了学生在三种不同的教学条件下的学习情况^[4]。

3.1 常规课堂 (Conventional Classroom)

学生在传统课堂上学习知识,并周期性地参加测试,以检验他们是否掌握了这些知识。

3.2 掌握式学习 (也称精熟学习, Mastery Learning)

学习材料与常规式学习是一样的。然而,学生必须展现出自己已经掌握了这一阶段的知识,才能开始下个阶段(闯关式学习)。而且,考试也被连续的反馈和纠错式的评估所取代。在掌握式学习中,教学的重点从总结性评估

(考试)转变为形成性评估(反馈)。

3.3 一对一辅导 (One-to-One Tutoring)

学生在掌握式学习的基础上,还可以得到一位专业教师的一对一辅导(家教)。

布鲁姆的研究发现:(a)以常规的教学模式作为基线,在掌握式学习的条件下,学生的表现提升了一个标准差。而接受一对一辅导的学生,有两个标准差的提升。中等程度的学生可以变成尖子生。(b)通过掌握式学习和一对一辅导进行个性化教学,还降低了学生之间成绩的差距,使得同学们之间的成绩差距变小了。布鲁姆的两个标准差问题,不仅证明了个性化教学所能带来的更大的学习收益,而且还证明了个性化教学能缩小高水平学习者和低水平学习者之间的差距。后来,教育界就一直沿用“2 sigma problem”来指代“受一对一辅导的学生比通过传统课堂教学方法获得教育的学生的表现高出两个标准差”的现象。

美国孟菲斯大学心理学系、电子计算机工程系、计算机科学系胡祥恩教授在2018年华中师范大学举办的“教育大科学前沿论坛(第三期)——中国通用人工智能高端论坛”会议中提到了著名的布鲁姆两个标准差问题,并指出:这是个很有价值的发现,但这是人类教师对学生教育的结果。如果将人类教师换成不知疲倦的智能教师进行家教(一对一辅导),效果如何?遗憾的是,到目前为止,技术水平尽管进步很大,但计算机教学系统对学生的帮助依然不能取得两个标准差的效果^[5]。这个结果再一次展示了人工智能赋能基础理论教育的困境,也为人工智能赋能基础理论教育指明了努力方向。

4 智能导学系统与数字化教材

布鲁姆的两个标准差问题提出了一个重大的挑战,即如何在传统班级授课制模式下,在大多数学校的有限资源下,为所有学生提供达到或接近一对一辅导的学习收益?智能导学系统就是基于人工智能、为更多学生提供个性化教学、一对一辅导的重要尝试。

20世纪70年代,教育研究人员将专家系统引入到教育领域,设计出了智能导学系统(Intelligent Tutoring System, ITS)。智能导学系统通过与学生进行交互,识别学生的意图,从而给学生相应的反馈,形成一个完整的教学辅导过程。随着人工智能技术的高速发展、特别是深度学习技术在自然语言领域的突破性进展,对话系统(Human-machine conversation, HMC)取得了突飞猛进的发展。对话系统试图通过文本或语音交互来模拟人类对话。对话式智能导学系统正是对话系统与智能导学系统结合的

产物^[6]。

华东师范大学吴永和研究员等人研究了教育数字化转型视域下的新型教材建设及其标准研制。他们认为：在教育数字化转型战略的驱动下，作为教育关键要素与知识核心载体的教材，从稳定、静态、封闭的纸质教材向多样、动态和开放的新型教材发展。新型教材具有如下特点：基于知识图谱技术，提高知识组织结构的系统性；多模态的表达形式，增强教材交互的立体性；动态更新的素材资源，保证教材内容的可发展性；全过程全要素测评，支持个性化反馈的精准性^[7]。

近年来，数字化教材建设已经取得了一定的成效，特别是在航空航天、通信工程等工学领域和实验科学领域，以虚拟仿真为特色的数字化教材使大部分学生能够以较低的成本“亲身体验”大量尖端实验场景。但如何让数字化教材惠及基础理论教育呢？“以数字化教材为载体、运用智能导学系统对数学基础理论进行一对一教育”有望成为突破口。

5 运用智能导学系统对数学基础理论进行一对一教育

我们可以把这种由人工智能提供的“一对一教育”直观地比喻为：车载智能导航系统。想象一下，当你驾驶在一条不太熟悉的道路时，车载智能导航系统会不时地用语音和图像提示你：“前方路口，请向左转”，“前方路段事故多发，请小心驾驶，保持警惕”等等。前者是提示下一步的操作，后者则是提示重难点。有了车载智能导航系统的辅助，驾驶员可以相对轻松无压力地开始驾驶之旅，并逐渐体会到其中的快乐和成就感。当你逐渐熟练掌握这条路线的驾驶技巧后，就不再需要车载智能导航系统的辅助了。你甚至可以根据经验对路线进行优化调整，得到新的驾驶方案。如果没有车载智能导航系统的辅助，驾驶员可能在面对完全不熟悉的新路段时产生非常大的心理压力和畏难情绪，甚至可能放弃这个新路段的驾驶任务。学生对数学等基础理论知识的学习也常常遇到类似的情况。如果没有教师的引导，学生可能迷失在困难、高度抽象的学习任务中，甚至直接放弃对这些知识的学习——也就是所谓“从入门到放弃”。有了智能导学系统对数学基础理论进行一对一教育，学生可以相对轻松无压力地开始学习之旅，并通过一定的练习，逐渐掌握和熟悉课程的基础知识和基本技能，并体会到学习的快乐和成就感。最终实现在没有辅助的情况下自主解决问题，甚至提出创新性的解决方案。

5.1 来自条件反射的强化

这里还有一个有意思的现象。你可能注意到，即使没

有打开车载智能导航系统的语音提示，在一些熟悉的路口(场景)，你的头脑中也会自动浮现出提示音。这种现象来自于人类感知觉的联动，并通过强化练习逐渐形成条件反射。这种现象也同样出现在学习过程中。比如，你可能在看到某个问题时，脑子里浮现出老师的讲解。类似的，通过智能导学系统的辅导，学生也可以在关闭导学系统后，继续受到导学系统的帮助和指引。

5.2 数字化教材的应用

如前所述，对话式智能导学系统主要是基于文本或语音交互来模拟人类教师对学生进行个性化教学、一对一辅导。结合数字化教材这一新载体，智能导学系统的人机交互可以突破文字和语音的限制，增加更直观、互动效果更好的图形化交互方式。同时，可以根据学生的个性化需求，调整辅助的强度。对于初学者或者基础较差的学生，可以选择全程详细的辅助；而对于相对熟练或者基础较好的学生，则可以仅在需要的时候让系统提供适量的辅助。

5.3 实例：随机事件概率的解题思路

接下来通过一个案例展示“以数字化教材为载体、运用智能导学系统对数学基础理论进行一对一教育”的思路。新形态教材《概率论与数理统计》[8]中总结了课程知识点的知识体系和研究思路。图2展示了随机事件概率的解题思路，我们可以以这个解题思路为导航，逐步引导学生解决图3中的问题。

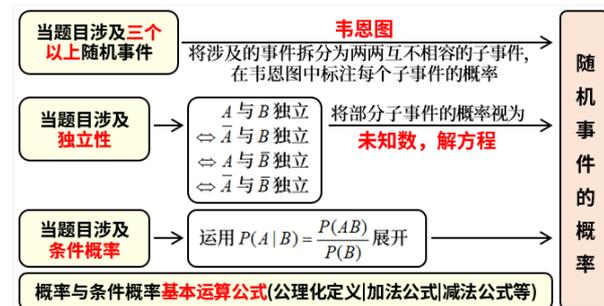


图2 随机事件概率的解题思路^[8]

典型题[2018年数学I卷考研真题] 设随机事件A与B相互独立，A与C相互独立， $BC = \emptyset$ 。若 $P(A) = P(B) = \frac{1}{2}$ ， $P(A|AB \cup C) = \frac{1}{4}$ ，则 $P(C) = \frac{1}{4}$ 。

提示1. 本题涉及三个随机事件，使用韦恩图将已知和目标可视化，选择左图还是右图哪个韦恩图呢？

学生回答: 左图。
系统回答: 回答正确！本题 $BC = \emptyset$ ，所以韦恩图可以简化为左图。
提示2. 将涉及到的事件拆分为两两互不相容的子事件，然后在韦恩图中标注每个子事件的概率。
学生回答: 在图中标注概率，如果遇到困难，系统可以给出更详细的提示。
提示3. 本题涉及独立性，推荐将部分子事件的概率视为未知数，解方程。
 不妨记 $P(AB) = x$ ， $P(AC) = y$ ， $P(\bar{A}C) = P(C) - P(AC) = z$ 。
 由A与B相互独立知， $P(AB) = P(A)P(B) \Rightarrow x = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ 。
 由A与C相互独立知， $P(AC) = P(A)P(C) \Rightarrow y = \frac{1}{2} \times (y+z) \Rightarrow y = z$ 。
提示4. 本题涉及条件概率，运用条件概率的定义展开。

$$P(A|AB \cup C) = \frac{P(AC \cap (AB \cup C))}{P(AB \cup C)} = \frac{y}{\frac{1}{4} + 2y} = \frac{1}{4} \Rightarrow y = \frac{1}{8}$$
学生回答: 故 $P(C) = y + z = 2y = \frac{1}{4}$ 。
提示5: 回答正确！

图3 一道随机事件概率计算考研真题的导航设置

6 新的困境：人工智能的幻觉

人工智能幻觉 (AI 幻觉) 是指人工智能系统 (自然语言处理模型) 生成的内容与真实数据不符, 或偏离用户指令的现象。也就是所谓“一本正经的胡说八道”。运用人工智能辅助教学, 可能使学生面对“AI 幻觉”。又由于学生 (初学者) 通常并不具备鉴别能力, 所以很可能被“带偏”“产生误解”。这为人工智能辅助教学带来了新的困境。这需要系统的设计者、人类教师对机器生成的内容加以监督。也就是说, 机器教师不能完全代替人类教师, 人类教师需要运用自己扎实的理论知识和教学经验为智能导学系统提供校正和支持。

参考文献:

[1] 都琳, 徐爽, 徐宗本. 师-生-AI 协同课堂: 人工智能赋能大学数学教育的载体及实践[J]. 中国大学教学, 2025,81(4):59-65.

[2] 邵虎, 邵枫, 朱士信. 基于人工智能辅助大学数学公共基础课教学内容改革实践与探索[J]. 大学数学, 2025, 41(3):26-31.

[3] 黄煜可, 闵祥伟, 胡细宝, 焦荣珍. 基于工程教育专业认证的概率系列课程“一体两翼”的教学设计[J]. 北京邮电大学学报 (社会科学版), 2022, 24(5): 92-101.

[4] Benjamin S. Bloom. The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-

to-One Tutoring. Educational Researcher, 1984,13(6):4-16.

[5] 刘凯, 胡静. 人工智能教育应用理论框架: 学习者与教育资源对称性假设——访智能导学系统专家胡祥恩教授[J]. 开放教育研究, 2018, 24(06):4-11.

[6] 朱凯诺. 对话式智能导学系统的设计与应用研究[D]. 渤海大学, 2022.

[7] 吴永和, 颜欢, 陈宇晴. 教育数字化转型视域下的新型教材建设及其标准研制[J]. 现代远程教育研究, 2023, 35(05):3-11+21.

[8] 黄煜可. 概率论与数理统计[M]. 清华大学出版社. 2025.

基金项目: 北京邮电大学 2024 年教育教学改革项目《概率系列课程知识图谱的自适应教学研究与实践》(2024ZD32); 北京邮电大学 2025 年研究生教改项目《基于 AI 赋能的概率论课程本硕博贯通培养模式设计及资源建设》(2025YY027); 北京邮电大学数学科学学院 2025 年科普实验室自主研发演示项目《数学与信息科技科普实验室分形几何模块、几何学模块、趣味数学模块建设》, 2025 年促进数学学科发展计划 (530625004)。

作者简介: 黄煜可 (1985.01-), 女, 汉族, 四川成都人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 科学研究方向: 代换序列、分形几何及其应用; 教学研究方向: 概率论与数理统计、高等概率论。