

融合人工智能领域知识的离散数学课程建设

吴楠^{1,2}

¹南京大学计算机科学与技术系, 江苏 南京

²南京大学计算机软件新技术全国重点实验室, 江苏 南京

收稿日期: 2023年11月1日; 录用日期: 2023年11月30日; 发布日期: 2023年12月7日

摘要

人工智能的快速发展和人工智能学科的建设受到新时代党和政府的高度关注, 并得到国内各高校的积极支持。南京大学在人工智能科研与教学方面具有长期积累和思考并于2018年成立我国C9高校中第一个人工智能学院。作为人工智能学科的基础支撑课程之一的“离散数学”课程在人工智能学院本科教学中具有重要地位。本文基于南京大学人工智能学院面向人工智能学科的离散数学教学全过程建设, 研究阐述对课程教学体系的构建、学生情况的分析以及教学模型、教学内容和教学方法的思考与探索。为离散数学这一传统课程对人工智能这一新兴学科教学支撑提供了一些新的思路理念和新的方法。

关键词

离散数学, 人工智能, 课程建设, 教学理念, 教学思路, 教学方法

Development of Discrete Mathematics Curriculum Incorporating Knowledge from the Field of Artificial Intelligence

Nan Wu^{1,2}

¹Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing Jiangsu

²The State Key Laboratory of Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing Jiangsu

Received: Nov. 1st, 2023; accepted: Nov. 30th, 2023; published: Dec. 7th, 2023

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) and the establishment of the AI discipline have garnered significant attention and support from the Party and government in the new era. Nanjing University, with its extensive expertise and reflection in AI research and teaching, established the first AI College among the “C9” universities in China in 2018. As one of the fundamental

courses supporting the AI discipline, the “Discrete Mathematics” course holds an essential position in the undergraduate teaching of the AI College. This paper is based on the comprehensive development of discrete mathematics teaching in the AI College of Nanjing University, focusing on constructing the course teaching system, analyzing student conditions, and exploring teaching models, teaching content, and teaching methods. It provides new ideas, concepts, and methods for the traditional course of discrete mathematics to support the teaching of this emerging discipline of AI.

Keywords

Discrete Mathematics, Artificial Intelligence, Curriculum Development, Teaching Philosophy, Teaching Approaches, Teaching Methods

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新时代党和国家高度重视人工智能的发展。2017 年国务院印发了《新一代人工智能发展规划》，党中央提出：“人工智能是新一轮科技革命和产业革命的重要驱动力量”，并指出“把握全球人工智能的发展态势，找准突破口和主攻方向，培养大批具有创新能力和合作精神的人工智能高端人才，是教育的重要使命。” [1]。

南京大学以其雄厚的人工智能科研与教学方面的积累，2018 年 3 月在 C9 高校中首先成立人工智能学院，同时国内国外诸多高校也成立了人工智能学院，如卡内基·梅隆大学在 2018 年 5 月也成立了人工智能学院 CMUAI。为了推进国内人工智能学科本科专业教育的培养水平，南京大学人工智能学院为此专门建立人工智能学科本科专业教育培养体系建设研究组，力争在人工智能高水平人才培养方面走出自己的创新探索之路。

国内高校本科人工智能学科的教学系统基本都衍生自原有的计算机科学与技术一级学科的教学体系。这种背景令国内本科人工智能专业在各科授课课程，特别是离散数学等基础主干课程的教学实践中难免带有原专业教学体系中的浓重印记。然而，人工智能领域对人才的知识体系和能力要求都与原计算机(包括计算机科学与技术 and 计算机软件等)领域的区别很大，因此研究融合人工智能领域知识的离散数学课程建设是十分必要的，其研究结论和相关经验也可推广至人工智能学科的数学类基础课程甚至各类专业主干课程中。

受南京大学首批教师教学研究与实践项目资助，作者完成了融合人工智能领域知识的离散数学课程建设。本文拟重点阐述离散数学课程在“计算机科学与技术”和“人工智能”两个国家一级学科之间的教学目标、教学内容、教学思路和教学方法的区别，研究面向国内人工智能学科的离散数学本科课程教学新思路、新理念、新方法，总结作者在面向人工智能专业的离散数学课程建设方面的方法与经验。

2. 人工智能学科离散数学课程现状分析

人工智能学科是一门涵盖广泛、思维方式独特的专门学科，它在科学范畴内隶属于计算机科学与技术，但在高等教育中和计算机科学与技术一样都是独立的国家一级学科。离散数学课程在人工智能和计算机科学与技术两个学科的课程建设和教学实践中都具有重要的基础地位，其主要教学目标是培养学生的数学思维能力、逻辑思维能力和计算机科学基础，建立学生对计算机软硬件数学基础的基本认知。但纵观国内针对人工智能学科的离散数学的课程设计，目前明显缺乏特别针对人工智能学科领域内特别关

心的离散结构与建模方式的专门化教学内容建设，这主要包括以下三个方面：

2.1. 课程设计受限于传统理科思维模式

人工智能学科是兼具科学与技术、理论与实践的面向应用为主题的综合性学科，其所以基于的基础理论皆来自基础数学、应用数学与计算机科学，理论复杂抽象、逻辑性和整体性强，伴随着计算机科学与人工智能技术的快速发展迭代，知识更新快，与工业界应用场景联系紧密。传统的基于理科思维的授课模式和课程体系设计强调理论的逻辑性、自洽性与整体性，在高度整体的理论体系下很难融入应用于实践的内容。而对于离散数学课程而言，强调理论高度的证明、求解，忽视或者不重视理论基于应用方面的调整与松弛，不适合人工智能学科的应用背景。而教师和学生传统采用的讲概念 - 讲定理 - 讲证明 - 做习题的四位一体的授课方式往往造成学生在课堂上被动接受，课后应付作业习题，考试的成绩也不能反映学生的核心数学能力。久而久之，造成学生学习积极性不高，学习效果不好，对培养具有竞争力的人工智能综合性人才是不利的。并且传统课堂授课还存在较多问题，如时间、空间上的限制，师资力量问题，不能满足个性化学习需求等。因此重构面向人工智能学科的跨学科基础数学教学理论体系，改革现有的教学模式，提高学生自主学习的积极性和自我成长的自觉性是一个亟待解决的重要问题。

2.2. 课程设计对人工智能专业学生特有要求能力的缺失

随着人工智能时代的到来和人们对以 GPT 为代表的预训练生成式模型、大语言模型的广泛关注，人工智能学科对于离散数学这一数学基础构建的学生能力有了新的要求，这主要包括：对模型设计与分析能力的要求、对建立人工智能领域的基本概念和方法的要求、对提高数学建模能力的要求以及对创新思维能力的要求、对依靠基础数学能力完成更高级别自我提升的要求。上述这些人工智能专业本科学生应具备的特有要求在目前的离散数学课程教学实践中并未得到落实，反而随着学生的年级增高反而有要求下降的趋势。应清醒意识到，如果学生在本科阶段特别是低年级阶段没有完成对这些关键的能力和素养的培养，在学生走出校园进入工作岗位后将永久丧失重获这些能力的机会。

2.3. 课程设计对教学方法与教学理念的更新要求

著名的计算机科学家与图灵奖获得者高纳德(Donald E. Knuth)称之为“面向计算机、人工智能等学科的一门‘具体’数学课程，是计算机科学中的一块基石”。但这门课具体的内容为什么如此庞杂？为何要讲这些内容？这些内容整体上组成了什么结构？每个部分对人工智能专业能力构建的作用是什么？这些问题在以往以知识传授为目标的离散数学位课理念中是不存在的。学生在“大杂烩”一样的课堂上被动接受了许多针对具体离散对象的解决问题的方法，但人工智能的问题不可能以单纯一个或者几个离散对象的面貌出现，它往往伴随着一个具体的应用场景、一个或多个高度抽象的问题表述以及一个具有明确指标要求的目标。面对这些问题，原本的教学理念和教学方法教出的学生大概率是束手无策的。关键原因就在于，离散数学课程研究的对象的结构的离散并不代表模型与知识的“离散”，实际上是要求以特有的结构性、整体性、网络化的教学方法与实施理念完成对整体离散世界的数学表述的阐述。这种要求对现有的教学方式与理念是具有巨大挑战的。

在调研了国内外设立人工智能学科或者院系的高校对于基础数学课程建设的体系、教学内容、教学大纲和教学目标之后，我们发现了以下离散数学课程建设的新趋势：

- 1) 以培养学生以问题为核心的研究性学习的能力的课程建设；
- 2) 以增强学生解决问题为目标的应用性能力的课程建设；

- 3) 打破传统课程知识体系、探索融合式场景的混合式课程教学建设;
- 4) 将“思政元素”有机融合到教学全过程式的课程思政建设。

在深入了解上述国内外现状的情况下,结合本校教学方面的优势力量和已有资源,我们完成了下述的基于人工智能专业学生能力要求的离散数学课程建设。

3. 基于人工智能专业学生能力要求的离散数学课程建设

3.1. 学生专业能力要求

随着人工智能时代的到来和人们对以 ChatGPT 为代表的生成式模型、大语言模型的广泛关注,人工智能学科对于离散数学这一数学基础构建的学生能力有了新的要求,这主要包括:

1) 对模型设计与分析能力的要求:作为一年级上学期就开设的离散数学课程应该担当起对各类重要离散结构的数学分析和设计的启蒙性作用。突出离散数学的教学目标之一的培养学生的模型设计和分析能力,使学生能够应用离散数学的基本原理和方法解决人工智能领域的各类问题。

2) 建立人工智能领域的基本概念和方法的要求:各类离散结构与过程是支撑起人工智能学科基础支柱,离散数学涉及的结构概念(如集合、关系、函数、图、树、网络等)和过程(如递推、递归、回归、搜索、动态规划等)都是人工智能领域重要而基本的概念与方法。通过离散数学的学习帮助学生了解这些基本概念和方法并建立初步的人工智能领域相关的模型、展示初步的人工智能应用场景,将为学生深入学习人工智能领域奠定坚实的基础。

3) 提高数学建模能力的要求:数学模型是复杂的现实世界的数学抽象,也为现实世界和数学世界建立了沟通的桥梁。人工智能学科中的所有问题都必须通过转化为合理的离散数学模型才能进行有效地求解。因此,面向人工智能学科的离散数学教学的另一个新要求是提高学生的数学建模能力,期望学生能够通过所学的离散结构、基本模型与基本算法将人工智能领域的实际问题快速转化为良定义的数学问题,并具备基本的模型评价能力,进而用离散数学的方法结合其它学科和领域知识对问题进行有效求解。

4) 对创新思维能力的要求:人工智能面对的是快速变化的现实世界中最复杂的一类问题,这些问题往往要么缺乏良定义的模型(如多模态、开放式机器学习),要么缺少有效求解的算法(如 NP 类问题的优化)。这就要求人工智能专业的学生具有根据具体问题建立超出常规和超越现有解决方案的模型和求解方法的能力。因此面向人工智能学科的离散数学的教学还应该注重培养学生的创新思维能力,使他们能够在人工智能领域中发挥创新能力,提出新的理论和方法,推动人工智能技术的发展。

易见,这些新的能力要求都处于布鲁姆认知金字塔中要求最高的三个方面(见图 1)。实践表明,若能将上述课程对学生能力的要求通过教学进行贯彻,则可很好地落实“评价”、“理解”和“分析”这三个层次的能力要求。

3.2. 课程建设方法研究

根据人工智能学科能力培养的要求和对离散数学课程授课对象的学情分析的定性结论,结合教学过程的具体实施,作者思考了以下面向人工智能学科离散数学课程的建设方法。

1) 创立“以结构为依托、以问题为核心”的基础数学知识逻辑网络体系

本体系打破了传统数学类课程按概念(定义)-定理-证明-求解-习题的固有讲授模式,以具体问题为核心,以具体结构为依托,将用于理解、分析和解决此问题或此结构的内容进行逻辑关联,突出从问题提出到问题解决全过程的逻辑性和整体性,为学生未来发现问题、提出问题、分析问题、解决问题、评价结果的五位一体闭环奠定基础。

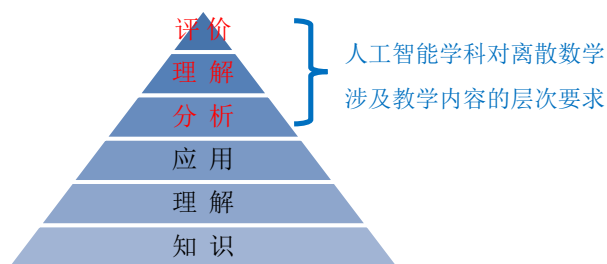


Figure 1. Bloom's learning cognitive pyramid: Hierarchical requirements of artificial intelligence discipline on discrete mathematics teaching content

图 1. 布鲁姆学习认知金字塔中人工智能学科对离散数学教学内容的层次要求

2) 建立基础数学课程网络，打破课程、学科、领域之间的知识壁垒

通过建立面向人工智能专业的特有基础数学课程体系，将用于人工智能领域特定问题解决的多领域数学模型、理论、技巧、应用进行提取和深度融合，跨学科打造“Mathematics for AI”的先进教学理念。在教学实施过程中改进传统的思路与方法，采用跨领域融合知识的国际流行新方式，结合研讨课、科研实践课等具体形式构造学生坚实的数学思维。

3) 建立教学 - 研究融合体系，让学生在探索未知的道路上勇敢前行

高校的教学和科研是两位一体不可分割的。人工智能领域的基础研究和应用研究高歌猛进，建立快速学习、终生学习的理念是必要且必须的。一方面教学内容的选择应该不断贴近现实的需求，在教学方法和理念上也要突出技术快速迭代，但理论万变不离其宗的核心思想。兼顾基础数学和应用数学的优势，兼用它们的理念和方法，让学生适应人工智能领域发展的新的需求，做好“稳定”与“变化”的平衡。注重培养学生的实际应用能力，注重将理论知识与实践技能相结合，以便学生能够更好地应对未来人工智能领域激烈的挑战。

4) 构建系统和有机的课程思政体系，提升学生综合素质

通过深入研究和发掘基础数学类课程中的思政元素、哲学元素，本课程建立了一套较为完善和系统的课程思政教学体系，让思政元素有机融入到课堂教学中。在教学实践中贯彻党和国家对高校教师的要求，有理想信念，有道德情操，怀仁爱之心立德树人，做学生的榜样，引导学生在坚实的科学知识基础上沿着道德和理想的阶梯不断前行。本课程也作为“南京大学第三批课程思政案例课程”向全校推广相关经验与方法。

3.3. 课程建设目标与实施策略

结合人工智能学科能力培养的要求和对授课对象的学情分析结果，作者提出以下面向人工智能学科离散数学课程的建设目标与具体实施策略。

1) 课程建设的目标

培养数学思维与建立离散模型的基本能力。著名计算机科学与教育家，“计算思维”的倡导者周以真(Jeannette M. Wing)教授说：计算方法和模型给了我们敢于去处理那些原本无法由任何个人独自完成的问题求解和系统设计[2]。由此可见，上述能力是课程建设的核心目标。

2) 课程的特点

内容涉及广、抽象程度高，思维深度深、求解难度大。

3) 课程的实施策略

让学生加强对本课程教学意义的理解。学生在入校后的学科通识教育都会了解到：离散数学是一门重要而基础的课程，著名的计算机科学家与图灵奖获得者高纳德称之为“面向计算机、人工智能等学科的一门‘具体’数学课程，是计算机科学中的一块基石”。但这门课具体讲什么内容？为何要讲这些内容？每个部分对人工智能专业能力构建的作用是什么？等等这些问题是需要在课程开始的第一次授课中重点讲述的。

本课程的实施策略之一是以建立和激发学生对离散数学学习兴趣。美国计算机学会(ACM)曾提议将离散数学的思想下沉至 K-12 (相对于国内的学前班 - 高中毕业)阶段,以激发学生的兴趣、提高思维深度。数学在多数高中毕业生的眼中是一门重要但枯燥的课程，而离散数学的内容远比中学数学复杂与抽象。为了激发出学生的学习热情，提高思维深度和证明、求解能力，让学生在依赖离散数学的各学科中保持创造力与竞争力，作者从人工智能领域丰富而有趣的应用场景触发，凝练了许多具体场景，用 Wolfram 演示项目平台[3]制作了一些将抽象概念形象化的工具，学生们在课后都反映本门课程是极有趣的。

课程的实施策略之二是建立学生的抽象思维能力。对抽象概念的形象化的展示只是针对初学者学习初期的一个方案，离散数学的重要目标是培养抽象能力，因此本课程的最终目标并非将抽象的数学对象或数学概念形象化而是大幅度提高学生的抽象思维能力。抽象(abstraction)能力在人工智能领域体现在泛化(generalization)能力中，所谓泛化是指一个模型在面对新的、未曾见过的数据或问题时，能够准确地预测或分类的能力。与之类似，学生具有对于离散模型的抽象思维能力的标志是面对一个从未见过的结构或者复杂的实际问题时，能从中准确抽取以离散对象构建的模型的能力。心理学研究指出，人类的抽象能力是与生俱来的，但也可以通过后天训练进行增强，在本课程中，作者采取的训练方式采用归纳式教学法建立大量离散模型与实际问题或场景之间的映射关系，形式可以多样，采用课堂学习、课后习题、思维风暴等方式进行。经过几个月的训练，多数学生都有了“这个问题可以向某方向思考”的自觉和直觉。

课程的实施策略之三是针对涉及内容广、思维深度深和求解难度大等问题的解决方案，主要包括针对人工智能领域的需求精选离散数学教学体系的内容、凝练具体求解场景、设计典型习题等。

4) 课程的教学方法与教学理念

针对学生的学情和面向人工智能学科离散数学课程的特点，作者认真学习吸收了本系多位优秀老师的教学经验与教学方法，并学习了中国及美国计算机学会离散数学教学范本课程，全程聆听了由图灵奖获得者 John Hopcroft 教授主持的上海交大离散数学课程，同时结合作者在科研中关于离散数学的前沿领域内容，凝练出一些对离散对象与离散数学模型的一些较深刻的认识，同时开展多种现代教学模式，充分利用现代教学工具进行教学。在此基础上考虑学生的特点和离散数学的教学要求，通过与学生交流和反复改进，形成了一套较为系统的离散数学教学理念，总结为：激发学习兴趣、鼓励独立思考、理论结合实际、明确基本概念、培养严谨习惯和坚持学术诚信。在本课程的教学过程中努力将上述理念有机融入到每一堂现场课程，每一篇课后作业和每一次师生互动中，取得了较好的教学效果。

4. 总结

面向一个全新专业对一门经典课程进行重新设计是一项充满挑战，又需要极其谨慎对待的复杂工作。由于人工智能学科及其研究领域充满了创新，从问题到解决途径均处于快速发展演化当中，因此作者相信对面向人工智能学科的离散数学的教学改革过程也一定是“永远在路上”的。

作为一门极其重要的基础课程，在上述发展变化的过程中，我们需要不断地审视课程设置、教材选用、教学理念、教学方法和评价方式等诸多方面，以适应人工智能领域发展的新的需求，还要做好“稳定”与“变化”的平衡。我们应该更加注重培养学生的实际应用能力，注重将理论知识与实践技能相结

合，以便学生能够更好地应对未来的挑战。

此外，作为前序课程，我们还需要注意其它后序课程对本课程的讲授知识要求以及与其它学科的交叉融合，这些互补与交叉融合能够帮助我们更好地理解人工智能技术在实际应用中的意义，适应人工智能领域发展的新需求。努力让学生更好地掌握离散数学知识，拓展离散结构认知水平，并将其应用于未来的实际工作中，为人工智能理论和技术的发展做出贡献。

基金项目

1) 南京大学教师教学研究与实践项目“人工智能学科离散数学特色教学研究”(20230002), 2023~2024 年，作者为项目负责人。

2) 南京大学教师数字化教学研究与实践项目“大语言模型辅助知识总结与习题实践研究”(2023-02-007), 2023~2024 年，作者为项目负责人。

参考文献

- [1] 南京大学人工智能学院. 南京大学人工智能本科专业教育培养体系[M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2023.
- [2] Wing, J.M. (2006) Computational Thinking. *Communications of the ACM*, **49**, 33-35.
<https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- [3] Carducci, O.M. (2009) The Wolfram Demonstrations Project. *MAA Focus*, **28**, 8-9.

附录：课程教学大纲

南京大学面向人工智能学科开设的离散数学课程教学大纲如下[1]。

- 课程名称：离散数学(Discrete Mathematics)
- 学分学时：4 学分，64 学时
- 开设时间：本科一年级第一学期
- 课程类型：专业基础课
- 教学方式：讲授为主
- 前序课程：无
- 评价方式：综合(期中测验 20% + 期末考试 50% + 平时作业 30%)
- 主要教材：1) Rosen K H. 离散数学及其应用[M]. 徐六通, 杨娟, 吴斌, 译. 第 8 版. 北京: 机械工业出版社, 2019; 2) 自编讲义。

• 课程简介：本课程是人工智能专业重要的数学基础课程之一，其集成了基础数学与应用数学中的多个不同分支。它主要研究离散对象的数学结构以及基于这些结构的证明、演算、求解与推理理论。对于完全面向离散对象进行处理的人工智能学科而言，离散数学是其理论与技术的重要基础，对培养学生的抽象思维、逻辑推理以及问题求解能力有重要意义。

• 教学要求：面对从人工智能各子领域以及纷繁复杂的人工智能应用中衍生出来的各种复杂问题，本课程的课堂教学希望构建可回答以下四个方面问题的完整闭环系统：1) 如何进行问题的洞察；2) 如何选择适当的离散对象以及工具进行建模；3) 如何选择适当的离散结构对带求解问题的数学结构进行有效描述；4) 如何选择合适的方法或算法进行高效求解。

• 教学特色：本课程的内容专门为人工智能方向一年级学生而进行了精心选择和优化设计，注重培养上述贯穿于从问题提出到问题解决全过程的基本数学方法、关键数学技巧和基础数学能力。简要而系统地介绍了数理逻辑初步、数学证明方法概论、归纳与递归结构等证明理论和证明技术，这对于人工智能相关的各数学分支中理论的证明与理解至关重要。课程还着重介绍了现代集合论、二元关系、代数系统、图、树等重要的离散结构，这对于人工智能相关应用的建模、人工智能系统的开发、评估与维护等都具有重要意义，并且也是数据结构、算法分析与设计、数理逻辑、计算理论等后续课程的重要理论铺垫。采用启发式的、面向问题的课堂教学方法并配合难度适中的习题与练习使学生在 15 周左右的时间内系统地掌握相关的离散数学模型、基本理论及应用技术。