

# “厚基础、强实践、个性化”的数据结构课程\* 教学改革与实践\*

朱允刚 杨博\*\* 虞强源 黄晶 李妮娅

吉林大学计算机科学与技术学院, 长春 130012

**摘要** 针对当前数据结构课程教学中存在的主要问题,从优化理论教学内容与方法、重构在线评测实践教学模式、完善以学生为中心的混合式教学模式、探索课内外融通的科研创新训练模式四个方面,提出“厚基础、强实践、个性化”的课程改革思路与实施方法,最后通过课堂教学评价情况来说明教学改革的实施效果。

**关键字** 数据结构, 理论教学, 实践教学

## Pedagogical Reform for Data Structure Course Emphasizing on Foundation, Practice, and Individualization

Yungang Zhu Bo Yang\*\* Qiangyuan Yu Jing Huang Niya Li

College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130012, China

**Abstract**—A pedagogical reform approach is presented to address the main issues in current data structure education, focusing on four aspects: optimizing content of courses, reconstructing practice teaching mode based on online judge, improving student-centered blended teaching mode, establishing a research and innovation training mode that integrates both in-class and out-of-class activities. Finally, we illustrate the effects of the pedagogical reform.

**Keywords**—Data Structure, Theoretical Teaching, Practical Teaching

### 1 引言

数据结构是计算机类学科的核心专业基础课<sup>[1-2]</sup>。通过课程学习使学生具备针对实际问题选择合适的数据结构组织数据、设计高效算法、编写高质量程序的能力,提升利用计算技术解决复杂问题的能力<sup>[3-5]</sup>。数据结构是一门理论性和实践性都很强的课程,算法与数据结构作为理论计算机科学的重要研究方向,课程将为学生后续开展科学研究奠定重要基础,与此同时,作为大一下或大二上学期开设的基础课,课程也承载着提升学生程序设计能力的重要作用。

**\*基金资助:** 本文得到吉林省高等教育教学改革研究课题:基于MOOP的“一体五维”数据结构课程实践教学体系构建与实施(JLJY202390507926),教育部产学合作协同育人项目:数据结构在线开放实践金课建设及应用示范(220901311230544),吉林省高等教育教学改革研究课题:数字化背景下混合式课程建设与教学实践研究(2024L5LO832001A)、高教强省背景下“101计划”引领的计算机拔尖创新人才自主培养机制研究与实践(2024L5LAKF40004),教育部产学合作协同育人项目:结合阿里云技术的《数据结构》课程建设(230800643145232)资助。

**\*\*通讯作者:** 杨博, Email: ybo@jlu.edu.cn

### 2 目前数据结构课程教学存在的主要问题

随着计算机学科的发展和教育手段的不断更新,使数据结构课程教学中存在一些问题,主要概括如下:

(1) 教学方法重知识传授轻思维能力培养,作为一门基础课,课程内容的时代性和前沿性不足,更新速度难以赶上计算机学科飞速发展。

(2) 虽然很多教师在实践教学中已经采用了在线评测形式,但仍存在实验内容陈旧、形式单一、难以激发学生编程兴趣的问题。

(3) 传统满堂灌模式教学效率不佳问题。与“以学生为中心”的教育理念偏离,师生互动性差,教学受时间和地域限制,教学方法单一,难以兼顾学生个体差异。

(4) 科研创新能力培养环节薄弱问题。课程内容与科研成果联系不紧密,学生缺乏科研技能训练,自主学习和科研创新能力不足。

### 3 教学改革措施

本文针对主要解决的 4 个教学问题，探索完善 4 种模式：优化知识传授与能力培养有机融合的理论教

学模式、重构在线评测实践教学模式、完善以学生为中心的混合式教学模式、探索课内外融通的科研创新训练模式，通过多种途径，以促进“知识、能力、创新”并重培养目标的实现，如图 1 所示。

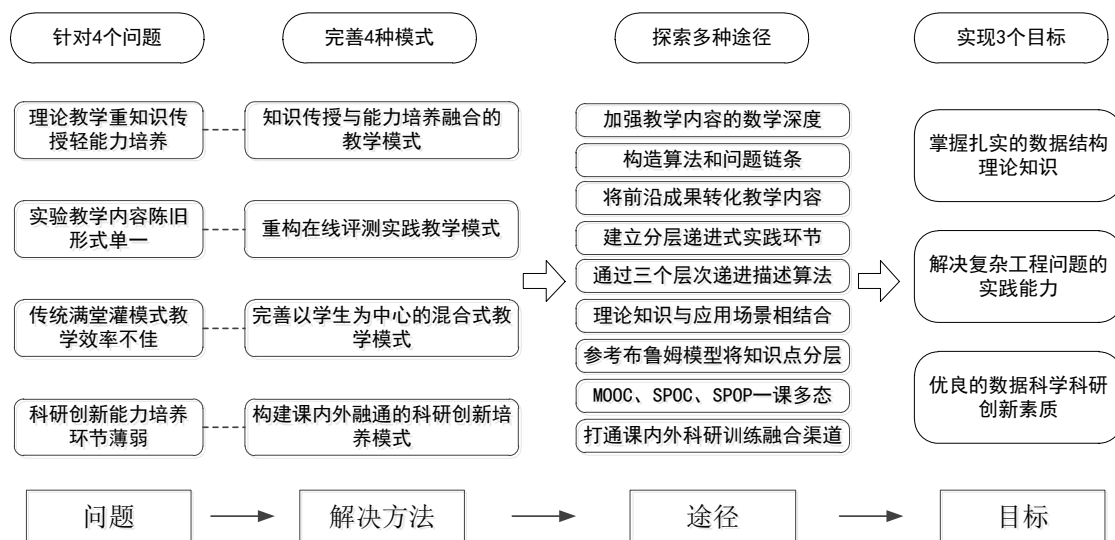


图 1 “厚基础、强实践、个性化”的数据结构课程教学改革思路

#### 3.1 优化理论教学内容与方法

通过优化理论教学内容与教学方法，强化学生的理论基础，将知识传授与能力培养进一步融合。

加强教学内容的数学深度，注重算法分析的严格性。重视数学思维，对主要概念给出严格的形式化定义，尤其注重算法时空复杂性分析和算法正确性证明的严格性。对部分时间复杂度同阶的算法，细致分析阶前系数，给出更精确结果。例如，对于快速排序算法，分析其平均时间复杂度  $O(n \log n)$  的阶前系数，从而使学生更好的理解为什么该算法在基于关键词比较的排序算法中平均情况下最快。

又如在线性结构的静态查找算法中，为了对时间复杂性阶相同的一组相关算法进行比较，参考 Kunth 设计的虚拟计算模型及分析方法，给出了时间复杂性分析的更精确结果。如对半查找算法在一次成功查找花费的平均运行时间为  $(18 \log_2 N - 16)u$ ，基于辅助表的一致对半查找算法为  $(8.5 \log_2 N - 6)u$ ，斐波那契查找算法为  $(7.05 \log_2 N + 1.08)u$ 。这里若只考虑算法时间复杂性的阶，由于上述三种算法的时间复杂性阶相同，则不易使学生体会三种算法的具体时间效率，而给出更详细的分析后，可使学生更清楚的了解上述三种算法的时间效率。

当然，对于部分较为晦涩的形式化定义和复杂的分析证明过程，若强行在课堂上讲授，效果并不见得

好，这些内容可以课外阅读材料或拓展讲座等形式提供给学有余力的学生。

构造“算法链条”和“问题链条”，探索启发式教学。构造求解同一问题的多个不同算法组成的“算法链条”，假定其由  $n$  个算法  $A, A^1, A^2, \dots, A^n$  组成，其中， $A^{i+1}$  是对  $A^i$  做出改进的算法，或者相对  $A^i$  来说， $A^{i+1}$  是一个创新算法 ( $1 \leq i \leq n-1$ )；在具体介绍算法  $A^{i+1}$  之前，简述恰当的提示，使多数学生能给出  $A^{i+1}$  的描述或关键思想。如由顺序查找、对半查找、一致对半查找、斐波那契查找、插值查找等算法构成的算法链条。若从顺序查找跳到对半查找算法，要抓住两点：从只考虑  $K=K_i$  和  $K \neq K_i$  两种情况到考虑  $K=K_i, K > K_i$  和  $K < K_i$  三种情况；从每次比较下一个关键词到每次比较被查找子序列的中点。若从对半查找算法跳到一致对半查找算法，需要一个思想转弯，即从使用 3 个扫描指针到使用  $i$  和  $m$  两个扫描指针，并用一张表存放诸  $m$  值（省去计算诸  $m$  的时间，用空间换时间）；当对半查找算法之改进到了山重水复疑无路的时候，启发学生跳出对待查找序列的二分过程的对半分割思路，转而去探索黄金分割，从而引出斐波那契查找算法。而如果已知元素的分布规律，可以通过线性插值的方法预测分割位置，从而形成插值查找算法。进而帮助学生理解算法的演化过程，以及不同算法间的联系与区别，并为提出新算法提供启发和思路。爱因斯坦曾说，提出一个问题往往比解决一个问题更重要。为此在教学中亦可构造由多个相关问题组成的“问题链条”，如

无权图单源最短路径问题、正权图单源最短路径问题、正权图单源单目标最短路径问题、负权图单源最短路径问题、任意两点间的最短路径问题、第  $K$  短路径问题、满足约束条件的最短路径问题等组成的问题链条，使学生感受科学研究中提出新问题的方法，引导学生批判性和独立性思考，勇于提出新问题，激发科研创新潜力。

在课堂讲授中，对关键知识点采用多种方式、从不同角度讲授，兼顾各能力层次学生，并启发学生从不同视角观察、解决问题。为课后习题增加难度、区分度、解答时间等种属性，同时对较难习题给出分级提示，根据学生基础给予个性化指导。

将前沿成果转化教学内容，将经典内容与前沿问题有机融合。新增图在网络分析和信息检索中的应用、满足约束的最短路径、分类与决策树、AlphaGo 与蒙特卡洛树搜索等有挑战性的高阶内容。从 *JACM*、*STOC*、*FOCS*、*SODA* 等理论计算机科学领域顶级期刊会议中，精选算法与数据结构相关的前沿内容，使学生了解相关知识的最新进展。例如对于图的最短路径算法，往往会讲到经典 Dijkstra 算法（基于斐波那契堆）的时间复杂度下界为  $O(n \log n + m)$ ，其中  $n$  为图的顶点数， $m$  为边数。这里可引出 2023 年清华大学段然等<sup>[6]</sup>在 *FOCS* 会议提出的改进算法，首次在实数边权上突破了经典 Dijkstra 算法的时限，使算法时间复杂度降为  $O(m \sqrt{\log n \log \log n})$ 。

### 3.2 重构在线评测实践教学模式

建立“编程作业 (Assignment) → 上机实验 (Lab) → 课程设计/综合实践 (Project)”递进式实践环节，分别对应验证型实验、设计型实验、综合研究创新型实验。结合“结果比对”和“算法对抗”两类在线评测形式开展实践教学，以竞赛形式组织课内实验，营造你追我赶的学习氛围。提升学生编程能力的同时，有助于教师的主要精力从人工检查程序的机械劳动转变为对学生的灵活精准指导，也使考核评价更为客观准确。

通过自然语言、伪代码（算法描述语言）和真代码 (C/C++ 语言) 三个层次相结合描述算法，实现从粗到细、由抽象到具体的算法描述。自然语言更易理解算法的设计思想，伪代码不涉及具体数据类型、不必考虑与算法无关的开发及运行环境等细节，更有助于培养学生算法思维，真代码更有利于对算法的编程实现，提升学生程序设计能力。

将理论知识与实际应用场景相结合，突出理论联系实际。学生在学习期间往往有这样的疑问：这门课

学的知识到底有什么实际用处？如果感受不到用处，学习兴趣会大打折扣。为此教师应注重挖掘课程内容的工程应用场景，如地图搜索中的路径规划与图的最短路径、打车软件的派单算法与二分图匹配/网络流、操作系统进程地址空间管理与平衡查找树等，使学生体会所学理论的实际用处。

### 3.3 完善以学生为中心的混合式教学模式

参考布鲁姆认知模型将知识点划分为高、中、低三个阶层。低阶知识对应了解、记忆认知层次，如基础数据结构的概念与性质；中阶知识对应分析、应用认知层次，如经典数据结构相关算法及应用；高阶对应创造、评价层次，如高级数据结构与算法的拓展等。课前布置任务要求学生线上自学部分低阶知识点，教师以问题引入中阶知识点、引发思考，课中教师进行讲解和点评，进一步拓展出高阶知识的问题背景，激发学生学习兴趣。课后针对高阶知识提供学习资源，引导学生自主学习，强化终身学习意识。在课堂教学中，将授课内容按上述三个知识层次分类，并精确到教学课件的每一页。授课时每页课件的右上角均标注有 A/B/C 层次，使不同能力层次学生在听课时能够各有侧重、抓住重点。例如薄弱生应将 A 层内容视为重中之重、优先掌握，以确保及格，而拔尖生则应掌握全部三个层次内容。进一步补充课外前沿材料，开设课外拓展讲座，为学有余力的学生加餐。

通过线上和线下相结合、课内和课外相结合、理论和实践相结合、个人学习和小组学习相结合、学生主体和教师主导相结合，进一步完善“课前线上+课中线下线上轮转+课后线上+实验线上线下同步”的混合式教学过程，并形成持续改进机制，如图 2 所示。课前：学生线上自学、思考问题、师生互动，教师进行学情分析；课中：教师以问题导入主题、讲授知识点、结合翻转课堂进行评测、讨论及总结。其中导课、讲授新知、课堂评测、及总结由教师主导，课堂讨论环节以互动为主，采取师生互动和生生互动，翻转课堂由学生主导，教师点评及引导。课后：学生利用慕课平台完成作业、自测自评，教师利用慕课平台批改作业、答疑、组织讨论，根据慕课平台的统计信息评估教学效果，进行教学反思和持续改进。实验：学生线下编程开发调试，同步线上评测和成果展示，教师线上线下并行精准指导。

将 MOOC+SPOC+SPOP 相结合形成一课多态，开展精准混合式教学。在慕课基础上开设小规模在线专用课 (SPOC)，针对不同层次学生群体进行教学内容的个性化定制、剪裁等，辅以小规模在线专用实践课 (SPOP) 开展混合式精准实验教学。

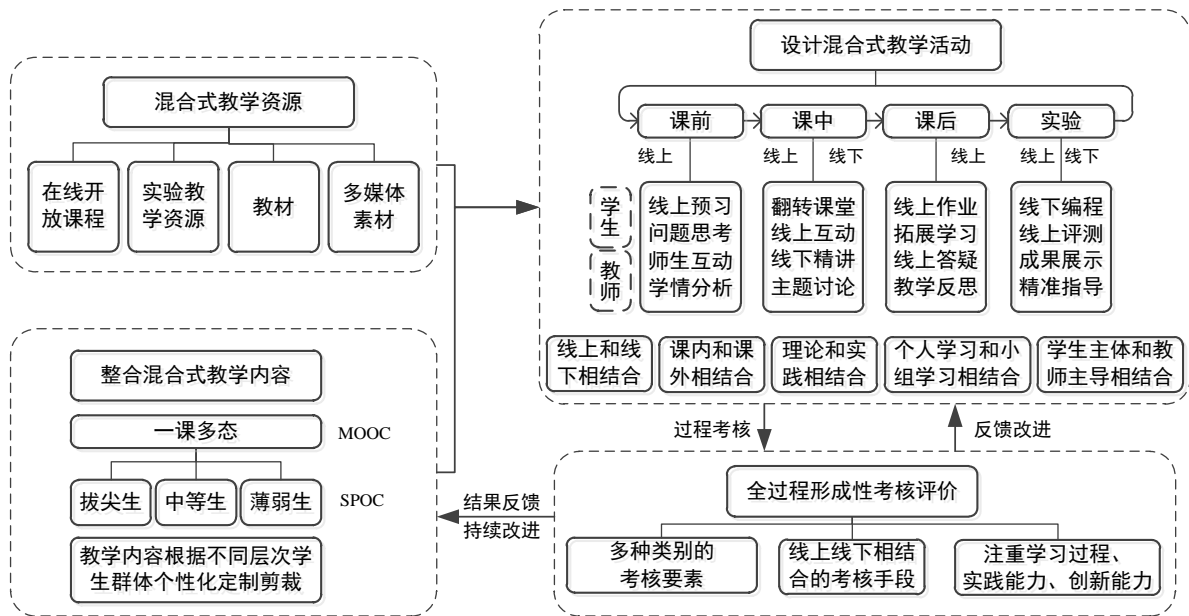


图 2 完善以学生为中心的混合式教学模式

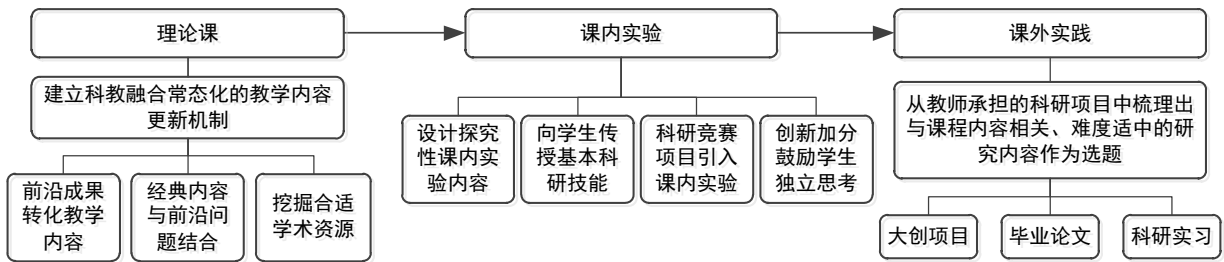


图 3 探索课内外融通的科研创新能力培养模式

### 3.4 探索课内外融通的科研创新能力培养模式

跟踪科技发展，不断将前沿科研成果转化为具有高阶性和挑战度的教学内容，将经典内容与前沿问题有机结合。从问题出发，善用启发式、讨论式等教学方法开展研究性教学，引导学生批判性和独立性地思考。一方面帮助学生了解所学知识在科研中的应用，另一方面，激发他们对学习新知识和进行科研探索的兴趣，启发他们面向应用问题设计有效算法，将课程知识和解决相关领域的问题联系起来，培养他们的创新思维和解决问题的能力。

课内实验与课外实践联动培养学生创新能力。设计开放性强的探究性实验内容，向学生传授基本科研技能；将国内外重要科研竞赛项目引入课内实验，如中国大学生计算机博弈大赛、国际人工智能联合会人工智能编程竞赛中的游戏博弈项目等，引导学生查阅前沿科研文献自主学习；设置加分制度鼓励学生改进传统算法或提出新算法，激发学生科研实践潜力。从课程组承担的科研项目中梳理出与数据结构密切相关的研究内容，作为大学生创新训练项目、毕业论文选题，指导优秀学生开展科研实习，如图 3 所示。

### 4 实施效果

课程建设的一批教学资源已在实际的教学过程中得到有效应用，为辅助教师授课和学生自学提供了有力支持。

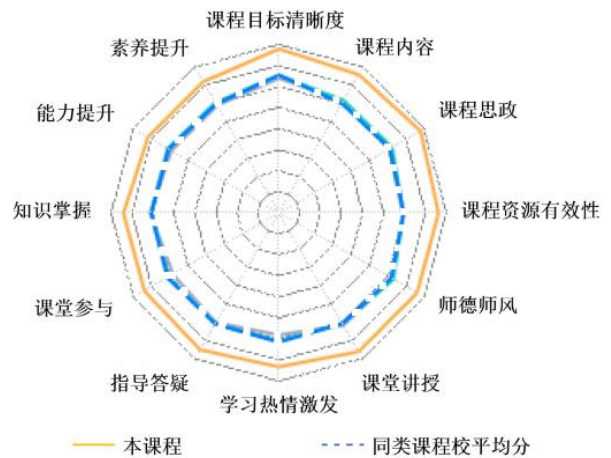


图 4 课程各评价指标与校同类课程对比情况

本课程在学校评教中学生满意度常年名列前茅，学生普遍认为课程内容能够紧跟学科前沿、激发学习

兴趣, 数据结构与算法设计能力得到显著提升。从评教系统中调取本课程实施教学改革的教学班的得分与学校未实施教学改革同类课程的平均分, 从目标清晰度、课程内容、课程资源有效性、师德师风、课堂讲授、学习热情激发、指导答疑、课堂参与、知识掌握、能力提升、素养提升等 12 个维度进行对比, 结果如图 4 所示。从中可以看到本课程在各维度的得分均明显优于同类课程的平均分。

## 5 结束语

数据结构是计算机类专业的核心课程。本文通过加强教学内容的数学深度、构造启发式“算法链条”和“问题链条”、建立前沿成果转化教学内容的常态化机制等方法, 优化理论教学体系。建立“编程作业、上机实验、课程设计/综合实践”递进式实践环节、将理论知识与实际应用场景相结合, 提升学生编程兴趣和解决复杂问题的能力。

完善理论与实践相结合的混合式教学模式, 通过课内实验与课外实践联动培养学生创新能力。经教学实践表明, 上述教学改革思路有助于提升学生学习兴

趣, 强化综合运用所学知识解决复杂问题的能力, 促进知识传授、能力培养、价值引领的有机融合。

## 参考文献

- [1] 俞勇. “101 计划”中数据结构课程与教材建设的思考与实践[J]. 计算机教育, 2023(11):9-11.
- [2] 李晓红, 金弟, 刘志磊. 面向“新工科”人才培养的数据结构课程线上线下混合教学实践[J]. 计算机教育, 2023(4):48-51.
- [3] 徐金东, 阎维青. 计算机类课程贯通一体化建设——以“数据结构、图像处理”为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2023,11(2):97-100.
- [4] 王兵书, 冯喜康, 马春燕. 文化元素融入“数据结构”课程思政的教学探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 10(3):60-64.
- [5] 陈越, 何钦铭. 数据结构 MOOC 实践[J]. 中国大学教学, 2015(12): 46-50.
- [6] Duan R, Mao J, Shu X, Yin L. A Randomized Algorithm for Single-Source Shortest Path on Undirected Real-Weighted Graphs[C]. 2023 IEEE 64th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS), 484-492.