

“编程解决问题”训练教材、课程与教学体系建设

吴永辉^{1,2}, 周娟³, 彭胜龙⁴

(1. 复旦大学 计算与智能创新学院, 上海 200433; 2. 泉州信息工程学院 软件学院, 福建 泉州 362000;
3. 华东交通大学 软件学院, 江西 南昌 330013; 4. 台北商业大学 创新设计与经营学院, 台湾 台北 10051)

摘要: AI的迅猛发展对程序设计教学产生了重大影响。分析程序设计类课程和程序设计竞赛的现状, 阐述基于程序设计竞赛试题且融入计算思维和数学思维的“编程解决问题”训练教材建设、课程建设、跨校跨区域教学实验体系建设及其实践效果, 以适应AI时代对计算机人才的培养要求。

关键词: 编程解决问题; 程序设计; 计算思维; 数学思维

DOI: 10.11907/rjdk.241692

扫描二维码阅读全文: 

中图分类号: TP311.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2025)011-0076-06

Construction of Teaching Materials, Curriculums and Teaching System for "Solving Problems by Programming" Training

WU Yonghui^{1,2}, ZHOU Juan³, PENG Shenglong⁴

(1. College of Computer Science and Artificial Intelligence, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. School of Software, Quanzhou University of Information Engineering, Quanzhou 362000, China; 3. School of Software, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 4. College of Innovative Design and Management, National Taipei University of Business, Taipei 10051, China)

Abstract: The rapid development of AI have a significant impact on programming education. The present situation for programming curriculums and properties for programming contests are analyzed, and constructions for teaching materials, curriculums, and the teaching system for "solving problems by programming" are proposed. Innovations and practice effects for these works are showed. Through solving problems by programming, students' abilities for computational thinking and mathematical thinking can be improved greatly. And it meets the requirements for computer professionals in the age of AI.

Key Words: solving problems by programming; programming; computational thinking; mathematical thinking

0 引言

当前, 程序设计技术已成为信息社会普通应用的技术, 编程技能也逐渐成为人们需要掌握的基础素养。自2013年开始的“hour of code(编程一小时)”活动开展以来, 发达国家从国家战略层面对程序设计教育制定了相应措施并给予高额经费支持。2020年12月9日, 中国教育部发

布《关于政协十三届全国委员会第三次会议第3172号(教育类297号)提案答复的函》, 对全国政协委员提出的《关于稳步推动编程教育纳入我国基础教学体系, 着力培养数字化人才的提案》作出回应, 系统阐述教育部针对程序设计教育开展的3方面工作: 推动和规范编程教育发展; 培养培训能够实施编程教育的相关师资; 将包括编程教育在内的信息技术内容纳入到中小学相关课程^[1]。此外, 以深度学习为代表的人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术

收稿日期: 2024-08-10

基金项目: 全国高等院校计算机基础教育研究会计算机基础教育教学研究课题(2022-AFCEC-028, 2022-AFCEC-029, 2024-AFCEC-027); 教育部产学研合作协同育人项目(220500643282258, 220600643265604, 230901311065830); 面向赋能教育的大学计算机一流课程建设与教学改革项目(FNJY-2024-19); 江西省教学改革研究课题(JXJG-23-5-7); 复旦大学双一流项目国合处子项目(IDH6282016); 复旦大学本科教学研究与改革实践项目(FD2022A106)

作者简介: 吴永辉(1966-), 男, 博士, 复旦大学计算与智能创新学院副教授、泉州信息工程学院软件学院双聘教授, 研究方向为算法设计与分析、程序验证; 周娟(1977-), 女, 硕士, 华东交通大学软件学院副教授, 研究方向为算法设计与分析、程序验证; 彭胜龙(1965-), 男, 博士, 台北商业大学创新设计与经营学院教授, 研究方向为算法设计与分析、组合学、图论。

迅猛发展,生成式人工智能大模型兴起,使大量需要应用工具的人类职业(包括程序员)在可预见的未来,或将被其所取代^[2-3]。同时,教育从知识传授为主向“知识传授+能力培养”方式转变。作为计算机教育基础的程序设计类课程目前面临着严峻挑战:开发程序的需求并未消失,但在开发程序过程中大量重复且规则性强的工作将由 AI 完成。以 Web 软件开发为例, AI 技术不仅能完成 Web 编程,而且可能比人工开发做得更好。因此,该领域对于开发人员的能力提出了更高要求,相关教材与课程也亟需变革。融入计算思维和数学思维的编程解决问题能力培养,则成为计算机教育适应 AI 时代转型的切入点。

1 程序设计类课程与程序设计竞赛现状

程序设计类课程包括程序设计语言、数据结构、算法设计与分析,以及作为其数学基础的集合论、图论等。20 世纪 50 年代后期,高级程序设计语言出现并成为软件开发的主流语言。程序设计类的教材、课程历经多年建设,涌现出许多经典教材和优秀的教学案例。然而,现行的教材和课程仍按传统的教学大纲进行教学,以传授知识为主。课程之间相对独立,未能有效呈现课程间的有机联系,难以系统、全面地提高学生运用计算思维与数学思维编程解决问题的能力,因而无法满足 AI 时代对计算机人才培养的要求。

国际大学生程序设计竞赛(International Collegiate Programming Contest, ICPC)源于 20 世纪 70 年代,到 80 年代中后期, ICPC 与中学生信息学奥赛走向成熟,出现了“编程解决问题(Solving Problems by Programming)”竞赛。由于“编程解决问题”符合社会对于计算机人才的需求,因此 ICPC 得到了迅速发展,目前已成为全球规模最大、影响最广的大学生程序设计竞赛,也是教育部认可的大学生竞赛之一。每年有来自全球 6 大洲的 115 个国家和地区、3 000 多所大学的 50 000 多名大学生参加 ICPC 各级比赛,每年 ICPC 现场赛超过 400 场。而且,在 ICPC 影响下,同类的“编程解决问题”竞赛,如中国大学生程序设计竞赛、蓝桥杯信息与软件人才大赛、中国高校计算机大赛团体程序设计天梯赛、百度之星程序设计大赛、Google Code Jam、Top-Coder Open Algorithm、Facebook Hacker Cup、Internet Problem Solving Contest 等赛事也纷纷涌现,此类比赛在学生群体中具有较大影响力。

程序设计竞赛历经数十年发展,累积了海量试题。这些凝聚了全球无数命题者心血和智慧的试题,不仅可以用于程序设计竞赛选手的训练,而且可以用于教学和实验,可系统、全面提高学生运用计算思维和数学思维编程解决问题的能力,从而满足 AI 时代对计算机人才的要求。

2 教材、课程与教学实验体系建设

2.1 建设目标

通过以程序设计竞赛为驱动的程序设计类教材、课程与教学实验体系建设,促进编程解决问题的计算思维、数学思维训练与程序设计教学的深度融合,系统提高学生编程解决问题的能力,从而使程序设计类教材和课程适应 AI 时代对计算机人才培养的要求,主动对接教育部发展战略,服务国家人才战略。

2.2 教材建设

2.2.1 教材体系:程序设计竞赛知识体系与解题策略的结合

专业能力的评估应着重考察两个维度:一是知识体系,个体能否运用知识解决问题,这不仅要求对知识的学习和理解,而且强调对知识的掌握与运用;二是解决问题的思维方式,特别是应对非标准化问题时对解决问题策略的选择。

程序设计及程序设计竞赛的知识体系可以用 1984 年图灵奖得主 Niklaus Wirth 提出的著名公式“算法+数据结构=程序”来概括。程序设计解题策略是指在编程解题过程中面对非标准、非模式化的问题时,采用高级数据结构优化传统算法,发挥创造性思维进行解题。

大学程序设计课程与竞赛训练系列教材是基于对海量程序设计竞赛试题的分析和整理,建设既能用于程序设计类课程教学和实验,又能用于程序设计竞赛选手系统训练的编程教材^[4-12]。一方面,对于程序设计语言、数据结构、算法设计与分析,基于程序设计竞赛的知识体系在传统教学大纲基础上进行拓展,融入编程解题的计算思维和数学思维训练,并以编程实验为切入点建设相关课程教材;另一方面,对于内容完全在教学大纲之外的程序设计解题策略,同样遵循“算法+数据结构=程序”,分别从高级数据结构和算法优化出发,分析与整理数据结构和算法的解题策略,建设原创教材。

大学程序设计课程与竞赛训练系列教材如表 1 所示。

大学程序设计课程与竞赛训练系列教材的教学大纲内容可以提高学生编程解决问题的能力,并可以作为学生参加程序设计竞赛的入门训练;在此基础上,拓展部分的内容及解题策略可作为学生和 IT 研发人员进一步提高编程解题能力的教材,也可作为程序设计竞赛选手全面、深入训练的指导教材。

AI 是当前计算机科学的关键领域之一,其发展迅猛,应用广泛。在大学程序设计课程与竞赛训练系列教材建设中,搜索技术是 AI 的基础技术,其分别从回溯、图的遍历、状态空间搜索 3 方面组织实验范例,其中状态空间搜索包括构建状态空间树、优化状态空间搜索(剪枝、定界、A*算法、IDA*算法)以及在博弈问题中使用游戏树。此

Table 1 Series of textbooks for university programming courses and competition training

表1 大学程序设计课程与竞赛训练系列教材

教材	内容简介	教材建设	篇幅
《程序设计实践入门》	程序设计语言编程解题:前3章紧扣程序设计语言课程教学,后3章运用数学、排序、C++ STL进行编程解题	第1版 简、繁体版	6章,30节 84道程序设计竞赛试题
《数据结构编程实验》	数据结构编程解题:给出线性数据结构、树、图的编程实验,覆盖数据结构教学大纲,并基于程序设计竞赛知识体系进行拓展;给出结合集合论、图论的实验	第3版 简、繁体,英文版	15章,88节 306道程序设计竞赛试题
《算法设计编程实验》	算法编程解题:给出Ad Hoc、模拟、数论、组合分析、贪心、动态规划、高级数据结构、计算几何等的编程实验;在算法设计与分析教学大纲基础上进行拓展	第2版 简、繁体,英文版	8章,77节 314道程序设计竞赛试题
《数据结构解题策略》	对2015版《程序设计解题策略》前半部分进行改进,采用高级数据结构解题实验,内容在教学大纲之外	简、繁体版	16章,56节 125道程序设计竞赛试题
《算法设计解题策略》	对2015版《程序设计解题策略》后半部分进行改进,采用优化算法解题实验,内容在教学大纲之外	书稿在试用和改进中	

外,对于支撑AI发展的数学理论基础,如博弈论、概率论与统计学、线性代数、微积分、图论等,以章节形式系统地给出实验范例。

2.2.2 教材基本单元:基于程序设计竞赛试题的编程解题实验

大学程序设计课程与竞赛训练系列教材以程序设计竞赛的知识体系和解题策略作为章节组织框架,其基本单元是基于程序设计竞赛试题的编程解题实验。教材中每一节为包含一个或若干知识点的实验。在实验中首先阐述相关知识背景,然后给出相关程序设计竞赛试题及其来源和在线测试地址,接下来给出试题解析,最后给出标有详细注释的参考程序。

基于程序设计竞赛试题的编程解题实验指导思想是“程序设计是技术”,以编程解题训练为切入点,培养学生运用知识解决问题的能力。在编程解题实践中,逐步培养学生的计算思维和数学思维能力。为此,实验试题的解析不仅涵盖数据结构和算法,而且融入了编程解决问题的计算思维和数学思维训练。

计算思维是运用计算的基础概念求解问题、设计系统和理解人类行为的一种方法^[13]。在大学程序设计课程与竞赛训练系列教材建设中,编程解决问题的计算思维训练包括3个层次:

(1)运用程序设计语言、数据结构、算法以及结构化程序设计思想编程解决问题。

(2)在层次(1)的基础上,运用机理分析(根据问题描述设计算法或数学模型)、统计分析(由局部解推导求解算法或数学模型)等编程解题的思想方法,模拟、离线、二分法、擂台法、追赶法等编程技巧,加法原理、乘法原理等数学方法以及专业领域相关知识点等编程解决问题。

(3)在层次(2)的基础上,综合运用程序设计知识、方法、技巧,或者采用程序设计解题策略,通过高级数据结构、优化算法等编程解决问题。

数学思维是指通过对事物的抽象,运用特殊的符号或

语言系统,研究事物在空间中的数量、位置与结构关系及变换规律,以及具有共同抽象概念、性质的一类事物的某些内在规律,以指导人们从数学的角度认识事物。

编程解决问题的数学思维训练是指通过编程解题训练使学生的思维方式逐步上升为系统的理性思维方式,实现思维方式或思维过程的数学化。编程解决问题的数学思维包括两个方面:①通过对集合论、图论、数论、组合数学、计算几何、博弈论等程序设计竞赛数学试题的编程解题训练,使学生熟悉和习惯于使用数学语言及符号系统对研究的数学对象进行严格的分析、表述、计算与推演;②在数据结构、算法分析与设计过程中,学生通过对问题的建模,以及对算法正确性、时间和空间复杂性的证明,培养运用数学思维分析与解决问题的能力。

2.3 课程建设

教材体系是基于程序设计竞赛的知识体系,教材的基本单元是基于程序设计竞赛试题的编程解题实验,实验的指导思想是“程序设计是技术”,因此课程的组织、教学方法。采用的信息化技术以及课程安排均有其特殊性^[14-15]。

课程基于编程解题,首先需要安排大量练习,学生编程解决问题的能力只有通过练习才能掌握;其次,基于程序设计的知识体系系统构建学生编程解决问题的知识体系,同时在试题解析、带详尽注解的解答程序、测试数据的支持下,学生掌握和运用相关知识点编程解题;最后,在压力中解题,在作业、实验、考试中,采用基于在线测试系统的虚拟比赛系统作为学生编程解题的平台,使学生快速提高编程解题能力。

课程教学方法采用基于编程解题实验的案例教学。首先,在知识点讲授完成后,学生阅读程序设计竞赛试题,并在读题过程中思考如何运用数据结构和算法来解决问题;其次,教师进行试题解析,学生对照自己的解析给出编程解决问题的方法;最后,学生将解决方法编写为程序并进行调试,在规定时间内和限制内存的情况下通过所有的测试数据。基于编程解题实验的案例教学是“认识—实践—

再认识—再实践”的过程,实现了学生对知识的“了解—理解—掌握”,促进知识转变为应用能力。

本文建设的课程是线上和线下、理论和编程解题实践相结合的混合式教学课程。学习过程包括实践教学、编程解题、在线测试。使用 AI 技术管理学习过程的信息,教师可以对每位学生的学习效果进行评价,并给出相应的指导和建议。当学生解决了某个知识点对应的某道程序设计竞赛试题后,可综合试题解题情况判断其知识掌握程度,同时,向其推荐难度更大的同类试题。该方式不仅

能进一步提高学生的编程解题能力,而且可以激发其挑战热情。

课程安排分为两类:

(1)学期课程。以程序设计类课程的实验教学为切入点,结合学校现有教学资源,在教学大纲范围内提高学生编程解决问题的能力,从而提高学校程序设计类相关课程的教学质量。学期课程也可以作为程序设计竞赛的入门训练。

线上学期课程如表 2 所示。

Table 2 Online semester courses of “programming to solve problems”
表 2 “编程解决问题”线上学期课程

课程	课程简介	开课院校	头歌平台课程网址
数据结构编程实践	《数据结构》实验课程 教材:《数据结构编程实验:大学程序设计课程与竞赛训练教材》(第 3 版)	复旦大学 上海师范大学	https://www.educoder.net/paths/b54y3kof?userid=496137
	《算法分析与设计》实验课程 教材:《算法设计编程实验:大学程序设计课程与竞赛训练教材》(第 3 版)	复旦大学	https://www.educoder.net/classrooms/9nbp8lk7?code=5H7NM
算法实践	《程序设计》课程及实验 实验教材:《程序设计实践入门:大学程序设计课程与竞赛训练教材》	复旦大学 泉州信息工程学院 华东交通大学	https://www.educoder.net/classrooms/6beu7yfa?code=RQ4ZM
程序设计	《集合与图论》课程 设置与程序设计类课程的联合实验	复旦大学	https://www.educoder.net/classrooms/ho74n9zu?code=T6LV4
集合与图论	竞赛训练校队首选入门训练课、参赛学生自学课、程序设计类课程自我提高课,含 C++、Java、Python		
程序设计竞赛精品课	3 种语言练习,华东交通大学等超过 120 家院校的学生及教练选修该课程 教材:《程序设计竞赛入门》	华东交通大学	https://www.educoder.net/paths/rp3efigh

(2)训练营课程。在寒暑假的冬令营、夏令营中讲授编程解题训练课程,内容以在教学大纲之外的程序设计解题策略训练为主。

2.4 教学实验体系建设

跨校、跨区域的教学实验体系以 ICPC 训练联盟为基础,ICPC 训练联盟于 2017 年 7 月由 20 所 211 工程高校发起,在东北大学成立。目前已有两岸四地超过 400 所高校参与了该联盟,还有南亚、东南亚超过 50 所高校参加了 ICPC 训练联盟活动。ICPC 训练联盟以程序设计竞赛训练为抓手,致力于系统、全面提高学生编程解决问题的能力。

ICPC 训练联盟的工作包括:

(1)推出“编程解决问题”程序设计类线上实验课(见表 2),将程序设计竞赛训练与程序设计类课程、实验教学相融合,从而在大学课程、实验中系统地提高学生编程解决问题的能力。

(2)寒暑假期间,组织以参加程序设计竞赛为目的、大规模的线上+线下境内外训练营,组织学生编程操练教学大纲之外的内容,重点针对程序设计解题策略进行讲解与训练,使学生在无课业压力的情况下,有目标、有计划、有步骤地提高编程解决问题的计算思维和数学思维能力,以

及超长段代码编写能力。

(3)为 ICPC 以及其他“编程解决问题”比赛命题。目前,基于 ICPC 训练联盟的教学实验体系正在形成一个以两岸四地高校为面,以若干骨干院校为支撑点,以提高学生编程解决问题的计算思维和数学思维能力为目标,以程序设计竞赛训练为抓手,多层次、全方位覆盖的程序设计类课程,并形成跨校、跨区域的“1+M+N”教学和实验体系,即 1 个程序设计类实验课程系列,跨区域协同 M 所不同类型的高校(从“双一流”院校到应用技术型院校),使 N 位学生在学习中受益。

对于“1+M+N”教学和实验体系也采用 AI 技术管理学习过程的信息。一方面,对来自不同院校不同类型学生编程能力的共性与个性问题进行系统分析,特别是针对程序段或测试数据中出错率较高的问题,教师有针对性地进行解决;基于在线测试平台及虚拟比赛中学生编程解题的解答时间和提交次数,分析每个学生的问题,为其提供个性化的协助。另一方面,对学习过程进行管理,包括代码相似度查重、学生解题报告和班级解题报告自动生成等。

3 实践效果

“编程解决问题”教材、课程、跨校跨区域的教学实验体系长期应用于教学实践,取得了显著效果,工作成果得到了海内外高校师生的广泛认同,开创了程序设计类课程培养 AI 时代计算机人才的一条新途径。不仅在两岸四地,笔者还受邀为南亚、东南亚、中亚、中东、澳洲和美国等境外地区主持程序设计训练营,迄今为止在境外共举办了 15 场训练营。近两年,在中国大陆的寒暑假线上训练营参加人数超过 10 000 人次。

实践结果证明,基于程序设计竞赛试题的“编程解决问题”教材、课程不仅适用于 985、211、一本院校的学生,而且适用于应用技术型院校等各类院校的学生。繁体版教材已经被台湾中山大学等 10 余所高校和多家程序设计竞赛培训机构作为教材,英文版教材也被 University of Toronto 等海外著名高校采用。

参与过“编程解决问题”能力训练的学生在程序设计竞赛中表现突出,参加 ICPC 训练联盟的高校占通过网络预赛晋级 ICPC 区域赛现场赛高校总数的 70%,其余晋级院校多为由前中学生信息学奥赛选手组队的传统强校;在获奖队伍中,参加 ICPC 训练联盟的高校占比超过 60%,并有高校晋级世界总决赛。以近年来在课程教学中采用“编程解决问题”线上课程对学生进行系统训练的华东交通大学为例,该校招收一本、二本学生,2024 年首次获得团体程序设计天梯赛全国总决赛团队一等奖。在蓝桥杯全国软件和信息技术专业人才大赛 C/C++ 程序设计 B 组省赛中,该校 209 名学生参赛,较上年增长 89 人,获奖人数为一等奖 34 名、二等奖 39 名、三等奖 51 名,获奖比例从 55% 提高至 59%,其获奖人数和比例不仅远高于 B 组的其他高校,而且多数获奖学生是二本学生。经过训练的学生在实习、就业等方面也具有更强的竞争力,无论是在 IT 公司从事研发,还是攻读研究生进一步深造,具有良好的编程解决问题能力的学生在提出、分析和解决问题方面明显优于一般学生。

4 总结与展望

本文通过以程序设计竞赛为驱动的程序设计类教材、课程与教学实验体系建设,以系统、全面地提高学生编程解决问题的能力,更好地培养适应 AI 时代的计算机人才。本文的创新点如下:

(1) 以提高学生“编程解决问题”的能力为目标,以“理论联系实际,实践出真知”为技术路线,实现程序设计教育由“知识传授”到“知识传授+能力培养”的转变,适应 AI 时代对计算机人才培养的要求。

不同于传统程序设计类教材和课程,大学程序设计课

程与竞赛训练系列教材及其课程要求学生综合运用所学知识编程解决问题。这使得学生在理论联系实际的编程解题中,对于程序设计类课程的内容以及课程之间的关联能够举一反三、融会贯通,最终真正地掌握和运用所学知识,并在编程解题过程中培养计算思维和数学思维能力。

(2) 教材和课程以程序设计竞赛训练为抓手,一方面,将教学、实验和程序设计竞赛训练相结合,并相互促进;另一方面,基于 ICPC 训练联盟构建跨校、跨区域的教学实验体系。该教学实验体系建设有以下 3 个特点:一是多教材,大学程序设计课程与竞赛训练教材系列基于程序设计竞赛的知识体系,不仅覆盖了程序设计类课程,如程序设计语言、数据结构、算法与分析等,而且拓展到程序设计解题策略;不仅有简体、繁体中文版,而且有英文版,并且教材在应用中不断更新。二是多层次,不仅通过程序设计类实验课程在教学大纲范围内提高学生编程解决问题的能力,而且通过程序设计竞赛系统训练,突破教学大纲的限制进一步提高学生的能力。三是大范围,跨校、跨区域教学实验体系基于 ICPC 训练联盟建设线上+线下课程,已突破两岸四地开展全球化工作,打破了校际壁垒,建设从“双一流”到应用技术型各个层次的院校以及境外院校课程。

目前,在教材建设方面,即将完成《算法设计解题策略》,以完善大学程序设计课程与竞赛训练系列教材,并会在未来继续改进;在课程建设方面,在已有的录屏版课程与境外讲学基础上,依托信息化技术建设线上精品课程和英文版课程,进一步推动教材、课程、教学实验体系的国际化发展。同时,在相关项目的支持下,未来该研究对内将作为教育部—华为“智能基座”虚拟教研室的工作,主动对接教育部发展战略;对外将作为“一带一路”的工作,主动对接国家的发展战略。

参考文献:

- [1] Ministry of Education. The answer to proposal No. 3127 (education No. 297) in the third session of the 13th national committee of the Chinese people's political consultative conference [EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/xxgk_jyta/jyta_jiaocaiju/202012/t20201209_504364.html. 教育部. 关于政协十三届全国委员会第三次会议第 3172 号(教育类 297 号)提案答复的函 [EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/xxgk_jyta/jyta_jiaocaiju/202012/t20201209_504364.html.
- [2] Stanford University. Artificial intelligence index report 2024 [EB/OL]. <https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/04/HAI-AI-Index-Report-2024.pdf>.
- [3] SUN N H. The development of artificial intelligence and intelligent computing [EB/OL]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202404/t20240430_436915.html. 孙凝晖. 人工智能与智能计算的发展 [EB/OL]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202404/t20240430_436915.html.
- [4] WU Y H, WANG J D. Data structure strategies solving problems: for collegiate programming contest and education [M]. Beijing: China Machine Press, 2023. 吴永辉,王建德. 数据结构解题策略:大学程序设计课程与竞赛训练

- 教材[M]. 北京:机械工业出版社,2023.
- [5] WU Y H, WANG J D. Algorithm design practice : for collegiate programming contest and education[M]. Taipei: GOTOP Information Inc. , 2023.
吴永辉,王建德. 提升程式设计的资料思维力 | 国际程式设计竞赛之演算法原理、题型、解题技巧与重点解析[M]. 台北:棋峰资讯股份有限公司,2023.
- [6] WU Y H, WANG J D. Data structure practice : for collegiate programming contests and education [M]. Taipei: GOTOP Information Inc. , 2023.
吴永辉,王建德. 提升程式设计的资料结构力 | 国际程式设计竞赛之资料结构原理、题型、解题技巧与重点解析[M]. 台北:棋峰资讯股份有限公司,2023.
- [7] ZHOU J, WU Y H. Preliminary programming practice: for collegiate programming contests and education[M]. Taipei: GOTOP Information Inc. , 2022.
周娟,吴永辉. 提升程式设计力 | 国际程式设计竞赛精选解题解析[M]. 台北:棋峰资讯股份有限公司,2022.
- [8] WU Y H, WANG J D. Data structure practice : for collegiate programming contests and education (third edition)[M]. Beijing: China Machine Press, 2021.
吴永辉,王建德. 数据结构编程实验:大学程序设计课程与竞赛训练教材(第3版)[M]. 北京:机械工业出版社,2021.
- [9] ZHOU J, WU Y H. Preliminary programming practice: for collegiate programming contests and education [M]. Beijing: China Machine Press, 2021.
周娟,吴永辉. 程序设计实践入门:大学程序设计课程与竞赛训练教材[M]. 北京:机械工业出版社,2021.
- [10] WU Y H, WANG J D. Algorithm design practice: for collegiate programming contests and education (second edition) [M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
吴永辉,王建德. 算法设计编程实验:大学程序设计课程与竞赛训练教材(第2版)[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [11] WU Y H, WANG J D. Algorithm design practice: for collegiate programming contest and education[M]. Orlando: CRC Press, 2018.
- [12] WU Y H, WANG J D. Data structure practice: for collegiate programming contests and education[M]. Orlando: CRC Press, 2016.
- [13] JEANNETTE M W. Computational thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3): 33-35.
- [14] WU Y H. Promoting students' programming skills in constructions for teaching materials and curriculums: experiments for comprehensive application of programming methods [C]//Proceedings of 2022 Global Conference on Robotics, Artificial Intelligence and Information Technology, 2022: 770-773.
- [15] WU Y H, ZHOU J. Constructions of teaching materials, curriculums, and the teaching system cross-region for "solving problems by programming" [C]//Proceedings of The 30th International Computing and Combinatorics Conference, 2025: 24-29.
- [16] LI G H, DONG D D, DENG C, et al. Innovative teaching of programming course based on OBE and competency model[J]. Software Guide, 2024, 23(8): 99-104.
李国和,董丹丹,邓橙,等. 基于OBE理念与胜任力模型的程序设计创新教学[J]. 软件导刊, 2024, 23(8): 99-104.
- [17] ZHOU X L, YOU F, LIU Y, et al. Exploration and practice of innovative talent cultivation based on programming competitions [J]. Industry and Information Technology Education, 2025 (2): 11-14
周晓琳,尤枫,刘勇,等. 以程序设计竞赛为依托的创新型人才培养探索与实践[J]. 工业和信息化教育, 2025(2): 11-14.

(责任编辑:黄 健 何佳慧)