

文章编号: 1672-5913(2023)04-0009-06

中图分类号: G642

CS2023 : 计算机科学教育知识与胜任力模型并轨的全新探索

向 乔¹, 刘雨桐², 孔令和², 高晓沅², 张 铭³, 陈 娟⁴, Amruth Kumar⁵, Raj Rajendra⁶

- (1. 厦门大学 信息学院, 福建 厦门 361005 ;
2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240 ;
3. 北京大学 计算机学院, 北京 100871 ;
4. 国防科技大学 计算机学院, 湖南 长沙 410003 ;
5. 拉马波学院 理论与应用科学学院, 美国 新泽西州 07430 ;
6. 罗切斯特理工大学 计算与信息科学学院, 美国 纽约州 14623)

摘 要: 面向 2023 年全世界计算机科学教育, 系统介绍 ACM/IEEE-CS/AAAI CS2023 培养方案 (以下简称 CS2023) 的核心理念和探索实践, 以自下而上的形式探讨有限的课时和教学资源条件下, 计算机科学教育中核心知识教育与胜任力模型培养并轨的方式, 通过对比国内外计算机科学教育计划, 总结 CS2023 的工作重心, 最后提出 CS2023 未来发展展望。

关键词: 计算机科学教育; CS2023; 知识模型; 胜任力模型

DOI:10.16512/j.cnki.jsjy.2023.04.012

0 引 言

ACM 与 IEEE-CS 一直致力于为全球计算机科学本科教育制定指导性培养方案。自 1968 年联合发布第一版培养方案以来, 两个组织每隔 10 年左右就会对培养方案进行一次更新, 包括 Curriculum 68^[1]、Curriculum 78^[2]、Curriculum 91^[3]、CS2008^[4] 和 CS2013^[5]。2021 年 5 月, ACM 与 IEEE-CS 联合 AAAI 成立了工作组, 启动了最新一轮全球计算机科学本科教育指导性培养方案的修订。该修订工作预计于 2023 年底完成, 因此, 最新一版的培养方案代号定为 CS2023^[6]。

1 CS2023 基本介绍

CS2023 是计算机科学教育领域在知识模型的基础上融合胜任力模型的全新教育理念, 力求从知识、技能、品行 3 个角度全方位培养高素质计算机科学人才。CS2023 面向全球计算机科学教育,

关注如何将胜任力模型融合于计算机科学教育体系中, 通过编写相应的课程大纲和发表相关课程实践的专业文章来体现该计划对于胜任力模型的融合结果。

1.1 基本任务

(1) 在计算机科学教育中融合胜任力模型。这项任务也是本计划所关注的核心。胜任力 (competency) 一词在哈佛大学胜任力字典中的解释是个人必须证明其在工作、角色、智能、任务和职责中有效的行为、动机、知识和技能^[7]。计算机科学领域的胜任力模型强调了知识、技能和专业品行的同等重要性。CS2023 知识模型与胜任力模型并轨架构如图 1 所示, CS2023 中将知识模型与胜任力模型相融合, 包含了计算机科学领域所需的 18 个知识领域 (与知识模型相交)、4 项专业技能和 11 项专业品行。目前, 虽然计算机教育界已经接受了知识技能的重要性, 并采用了各种教学技术促进计算机教育中知识技能的培养, 但是尚未广泛重视对于专业品行的培养。因

基金项目: 上海高校大学计算机课程教学改革项目“面向智能的考试—竞赛—教学综合改革”(沪教委高[2021]47号); 教育部中国高校产学研创新基金—未来网络创新研究与应用项目“面向大规模软件定义网络的高级编程模型关键技术研究”(2021FNA02008)。

作者简介: 向乔, 男, 教授, 研究方向为计算机网络和分布式系统, qiaoxiang@xmu.edu.cn; 刘雨桐 (通信作者), 女, 助理研究员, 研究方向为物联网与智能计算, isabelleliu@sjtu.edu.cn。

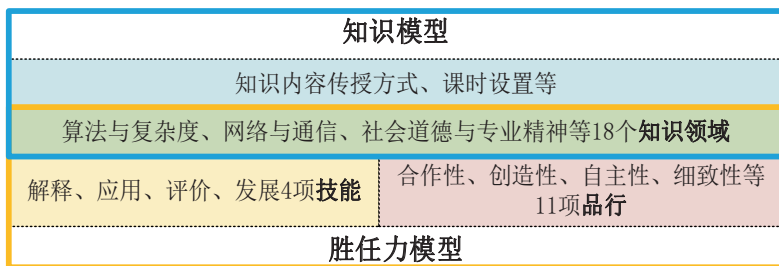


图1 CS2023 知识模型与胜任力模型并轨架构

此, CS2023 计划中的首要任务则是尝试选择和调整适用于计算机科学教育的胜任力模型, 突出培养计算机专业学生品行的重要性, 并逐渐推广到全世界范围内。

(2) 在计算机科学教育中创造一个更新的知识模型。为了方便胜任力模型的推广, CS2023 需要对于原有的知识模型 (knowledge model) 进行相应的更新。CS2023 继续沿用了 CS2013 中提出的 18 个知识领域, 包括算法和复杂度、架构和组成、人工智能、数据管理、图形学与互动技术、人机交互、数学和统计基础、建模、网络和通信、操作系统、并行与分布式计算、编程语言、社会、道德与专业精神、软件开发、软件工程、专业平台开发及系统基础, 也将针对这 18 个领域对应的知识模型给出对应的更新。

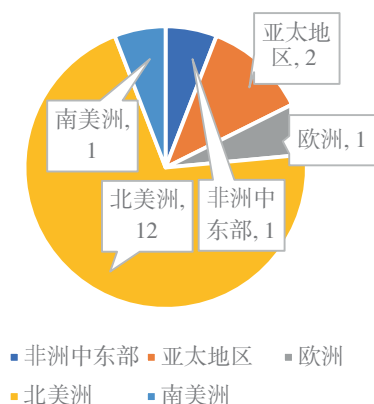
(3) 在 CS2023 计划中保持知识模型与胜任力模型的一致性。结合第一项与第二项任务可以看出, CS2023 试图给出更新的知识模型和全新

的胜任力模型。而为了方便计算机科学教育工作者能够平滑过渡, 针对自己所教授的课程进行比较和改进, CS2023 中需要在知识模型和胜任力模型之间构建连贯一致的桥梁, 表明二者之间的关联, 例如指明在何种知识背景下应当注重培养哪种专业品行^[7]。

1.2 成员组成

为了能充分覆盖到全世界计算机科学教育背景, 理解全世界在计算机科学上的课程兴趣、时间和创新, 提高该计划对不同国家和地区的普适性, CS2023 工作组由来自全世界各地的计算机科学教育专家组成, 共同参与课程指南和课程实践的讨论 (如图 2 所示)。ACM/IEEE-CS/AAAI CS 工作组由来自 ACM、IEEE-CS 及 ACMCCECC 等机构的 17 名成员组成指导委员会。其他成员则构成了分属于 18 个知识领域的委员会, 目前由最多两名指导委员带领 5~10 名来自学术界和工业界的专家组成各个分委员会。

CS2023指委会人员分布



CS2023分委会人员分布

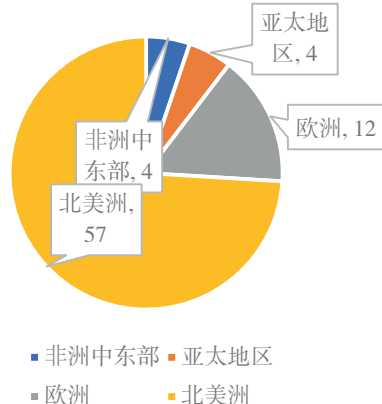


图2 CS2023 工作组成员的地区分布统计

1.3 工作进展

CS2023 工作组自 2021 年 5 月正式以来, 通过月度线上常委工作会议与知识领域分委会

工作会议时刻跟踪工作进展。会议针对胜任力模型在各知识领域如何体现, 计算机科学教育中的社会、道德与专业性问题 (Social, Ethical,

Professional, SEP), 各知识领域核心课时分配方案, 如何在 CS2023 报告中体现不同国家与地区计算机科学教育方案的差异化等各个分委会共同关注的问题展开广泛与深入的讨论与迭代, 并逐渐收敛形成粗略共识, 于 2022 年 5 月编写并发布了 CS2023 报告的 Alpha 版本, 向全球计算机科学教育社区和知识领域专家征求反馈意见。工作组常委先后在 ACM SIGCSE 2022、ITiCSE 2022 等国际会议上对 CS2023 修订工作进行报告并征集反馈意见。2021 年 10 月, 工作组向全球各国与地区高校的计算机科学与所属学院的系主任与院长和计算机科学相关行业从业人员发送了关于 CS2013 使用情况与 CS2023 修订工作的调查问卷。其中, 国内高校的调查问卷由工作组常委、厦门大学向乔教授翻译为中文后, 通过邮件与微信等方式向国内 200 余所高校的计算机科学与技术系及其所属学院的院长与系主任发送。问卷在全球范围内共收到 400 余所高校与近 900 位相关行业从业人员的反馈。

2023 年工作组计划通过 ACM SIGCSE China 年会、中国计算机大会 CNCC、图灵大会 TURC、中国高校计算机教育大会等学术会议、线上问卷与邮件征集反馈、线上/线下报告与座谈等形式, 继续深入与国内高校展开计算机科学的探讨与交流, 并预计于 2023 年底完成并发布最终版 CS2023 报告。

2 CS2023 课程实践试点情况

2.1 计算机网络课程试点情况

计算机网络课程面向具备一定基础的计算机专业大三学生开设, 与知识模型中网络与通信领域相关。通过多年来教学成果及学生访谈调查分析发现, 该课程在知识模型、实践认知和教学形式方面都存在一定问题。在知识模型方面, 物联网、云计算、人工智能驱动网络等新技术迅速推进网络的发展, 传统计算机网络课程以

TCP/IP 分层模型为主体架构的知识模型已经无法满足学生求知与企业用人的需求。在实践认知方面, 教学过程中更多注重知识输送, 忽略与实际需求相结合的思维和动手能力的培养, 导致学生“重背诵、轻理解、弱实践”的问题, 学生走出校门后常反映理论到实践的跨度很大。在教学形式方面, 课堂以播放多媒体课件加解释说明的形式为主, 抽象枯燥, 容易造成“学只为考, 考完则忘”的情况。

为了解决上述问题, 上海交通大学和厦门大学基于 CS2023 进行了全新的课程改革(见表 1), 在更新的知识模型的基础上加强培养学生在计算机网络相关知识领域的胜任力。首先, 在知识模型更新上, 上海交通大学引入了前沿网络内容介绍, 通过压缩经典计算机网络内容, 新增 30% 物联网、软件定义网络、云计算等新技术内容, 让学生时刻紧跟网络发展方向。厦门大学则在讲授 5 层 TCP/IP 代表性协议工作流程的基础上, 讲解不同协议设计所蕴含的理论基础与设计思想, 将计算机网络领域的关键理论与设计进行有机结合。其次, 在专业技能的培养上, 上海交通大学通过与国内龙头企业联合进行产学研育人, 结合企业提供的实际应用课题、专家指导资源及开放性平台新增实践内容的设置, 在实践过程中指导并提高学生的专业技能。厦门大学在设计实验内容时, 通过要求学生对各层的代表性协议进行基本功能的复现, 促进学生应用理论课所学的内容解决计算机网络协议设计与实现中的实际问题, 加深学生对网络协议栈的深入理解。最后, 在专业品行的培养上, 两所学校均邀请了领域专家对计算机网络工业界与学术界共同关心的前沿与重点问题进行介绍, 缩短了课堂教学与从业实践之间的距离。针对专家介绍的前沿与重点问题, 鼓励学生发散思考、勇于直面技术瓶颈、积极探索解决方案, 在实践与合作中提高品行培养。

表 1 上海交通大学与厦门大学融合 CS2023 的计算机网络课改情况

融合 CS2023 的课改内容	上海交通大学	厦门大学
知识模型更新	增加新技术新趋势的知识介绍	增加理论基础背后的设计思想介绍
专业技能培养	产学研合作育人, 增加企业实际应用课题的实践内容	联合设计思想, 增加代表性协议基本功能复现, 让学生在用中理解
专业品行培养	邀请网络领域专家, 介绍领域核心问题; 将前沿问题引入课程设计, 鼓励学生发散思考、直面瓶颈、积极创新	

以上融合 CS2023 的课程改革已经在两所试点学校取得了初步成绩。目前上海交通大学已经产出《物联网操作系统原理 (LiteOS)》教材一本, 成功搭建“上海交通大学—华为共建计算机网络在线课程”MOOC 平台, 部分课程设计荣获 2019—2022 年中国大学生计算机设计大赛及上海市大学生计算机应用能力大赛多项一等奖, 该课程获评上海交通大学一流课程。厦门大学也有 2 名本科生在全国未来网络科技创新大赛中获二等奖; 1 位本科生保送中科院信工所从事网络空间安全方向研究。

2.2 计算机科学导论课程试点情况

上海交通大学计算机科学导论面向大一通识类专业学生, 通过课前面向 322 名学生发放问卷, 了解到学生对本课程的期望学习内容 (如图 3 所示)。

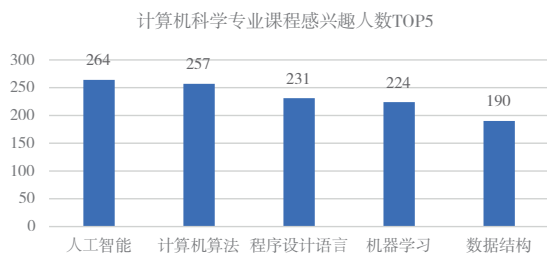


图3 课程前期学情分析统计图

针对学生感兴趣的内容, 本课程对照 CS2023 的知识领域, 重点增加了编程与数据结构、算法与可计算性、人工智能与机器学习模块的介绍内容。为了更好地培养学生的胜任力, 该课程设置了期末小组项目, 鼓励学生自主选题, 在实践中理解知识, 在合作中培养品行。以 2021 年的合作项目“航路引航安全的数据分析与决策为例”, 课程提供船舶入港检测真实数据, 要求学生利用课程所学知识技能进行数据处理与分析, 以数据可视化的方式在报告中展现最终的分析结果并进行口头展示。该项目的顺利完成建立在学生之间紧密的合作基础上, 既包含小组长对于整个项目的协调统筹, 也离不开小组成员的细致完成。由于项目所提供的数据量大质差, 在进行数据处理的过程中需要足够的耐心和细心, 因此, 该合作项目全面培养了胜任力模型的 4 项技能, 并着重培养了学生的合作性、细致性、信念感、专业性、负责、积极响应和自主性的优良品质。

本课程在 2022 年获得 A 档教评, 在学生中反响良好。根据学生教评发现, 本课程有效地融合了 CS2023 的思想进行知识模型和胜任力模型的更新, 课程内容设置合理, 课堂讲解启发性强, 令学生获益匪浅。

2.3 数据结构课程试点情况

厦门大学数据结构课程面向本科二年级计算机类专业。课程组通过网络投票、面对面访谈等形式对以往教学进行了回顾发现, 针对于数据结构课程, 较多学生反映“理论课能看懂, 但实验课一动手就废”, 认为该课程的理论教学与实验安排缺乏合理衔接, 存在理论课和实验课难度脱节的现象, 不利于培养使用常见数据结构解决一般算法问题的胜任力。

为了更好地培养学生在数据结构相关知识领域的胜任力, 课程组在 2022 年秋季学期着重针对数据结构课程的实验课进行了两项改革。首先, 化大为小, 提升知识教学效果。将实验课从传统的 2~3 个大班分解为 7~8 个小型讨论班, 每个小型讨论班配备一名教师与一名助教, 充分提高教师/学生比。其次, 大幅提高实验课上翻转课堂与阶梯教学的比例, 促进技能的消化吸收与专业品行的构建。教师在每次实验课开始前提前设计难度较低, 但着重覆盖不同实现方式的实验例题。实验课上首先由学生主动上台讲解自己的代码, 教师和其他同学提问。利用这样的翻转课堂, 充分调动学生学习自主性, 使学生不仅能学会所要求的知识点, 还能学透与掌握知识点所对应的关键技能。在此基础上, 教师进一步设置不同难度的实验, 引导学生思考与运用理论课上所学的知识点, 以“打怪过关”的形式, 逐步培养学生使用数据结构专业知识解决实际问题的专业品行, 训练学生的创新思维, 综合塑造学生的数据结构胜任力。以上这些探索与改革在数据结构课程的教学实践中已经取得了一定成效, 包括多名本科生提前加入实验室, 研究以数据结构难题为核心的大学创新项目, 如“可编程硬件图计算加速研究”等。

2.4 CS2023 高校试点经验总结

通过上述两所高校在 3 门专业必修课上的探索发现, CS2023 对于知识模型的更新、胜任力模型的融入和二者之间关联的关注是十分必要的。一方面, 目前计算机专业知识亟需与时

俱进的知识模型更新；另一方面，关注如何让学生“在学时用，在用中学”，能够在巩固学生知识学习的基础上，对于培养专业技能和专业品行有很好的借鉴意义。两所学校在课改方面探索了知识内容新增、课堂形式丰富、实践内容部署等方式，通过翻转课堂、小组合作、阶梯教学及外部资源的引入，在课程教授过程中反响良好，培养的学生也展现出了优秀的胜任力品质。

然而，当前 CS2023 在融合和推广过程中还面临着诸多难点。一方面，当前课堂教学中对于胜任力培养的探索缺乏前期基础，尤其是缺乏对不同知识领域进行专业品行培养的案例，对于想要进行转型和课改的教师来说缺少参考模板；另一方面，通过学情调研，不同学校学生反映出不同的学习问题，学校能提供的资源也有所不同，CS2023 在未来应当关注不同学校、不同学生条件下计划的适配性和兼容性。针对这些难点，在后续的工作中，CS2023 工作组将在指南和实践文章的撰写中增加更多这方面的讨论和探索。

3 CS2023与国内外计算机科学教育计划的比较

国外典型计算机科学教育计划 CS2013、CC2020 及国内教育计划拔尖计划和“101 计划”与 CS2023 既相互区别又彼此相关。这几个计划都紧跟计算机科学与相关专业的的发展，与时俱进地面向计算机科学相关行业的实际需求，展开培养方案的修订与改革。CS2023 更新了 CS2013 的知识模型，并在 CC2020 胜任力模型的基础上，探索计算机科学知识模型与胜任力模型并轨的国际计算机科学本科培养方案。教育部拔尖计划与“101 计划”针对我国计算机科学教育的国情，推动具有中国特色的计算机科学教育教学培养计划改革，更具针对性。表 2 从计划推进、关注内容、面向人群和预期产出 4 个方面对几个计划进行了进一步的比较。可以看出，CS2023 的工作重点在于面向全世界计算机科学教育兼容化下更新的知识模型与胜任力模型的融合。

表 2 CS2023 与国内外计算机科学教育计划的对比

对比角度	国际计划			国内计划	
	CS2013	CC2020	CS2023	拔尖计划	“101 计划”
背景介绍	ACM 与 IEEE-CS 联合发布的全球计算机科学本科教育指导性培养方案	ACM 与 IEEE-CS 联合发布的全球计算机相关专业本科教育指导性培养方案	在 CS2013 基础上，ACM、IEEE-CS 与 AAAI 联合发布的新版全球计算机科学本科教育指导性培养方案	2009 年我国教育部启动的针对拔尖学生有针对性的培养计划	2021 年我国教育部启动的计算机领域教育教学改革试点计划
计划推进	更新知识模型	引入胜任力模型	自下而上，更新知识模型基础上融合胜任力模型	学科面横向拓展	自顶向下
关注内容	18 个领域，Tier1/2 学时分配	计算机科学领域胜任力模型定义	18 个更新的领域，胜任力模型贯穿	内容进阶、难点攻关、创新提升	“教与学”方法
面向人群	全世界计算机科学教育	全世界计算机科学胜任力教育	计算机科学教育全球兼容性	具备突出潜力的基础学科学生	中国计算机科学教育
预期产出	教学指南、课程大纲	教学指南、课程大纲	教学大纲、课程实践指南	精英人才数量	教案教材、实践平台、教学培训

4 结 语

计算机科学是一门很年轻，同时又飞速发展的学科，因此，计算机科学教育也必须随着学科自身的发展以及时代对学科的需求变化而不断演进。CS2023 是国际计算机科学教育界对未来 5—10 年计算机科学本科教育培养方案的一次前

瞻性尝试，在更新计算机科学各个知识领域的知识模型的基础上，进一步引入胜任力模型，为全球计算机科学教育工作者提供一定的参考准则。CS2023 与 CS2013、CC2020、我国的拔尖计划和“101 计划”在目的与方式上既相互联系，又各有特色，但殊途同归。对于我国计算机科学教育工作者来说，随着各个计划的不断推进，如何

将其兼容并蓄，为自己所服务的受众寻找到最合适的计算机科学教育培养方案，是我们持续职业生涯的使命，需要广大计算机科学教育工作者共同努力。

参考文献：

- [1] William F A, Samuel D C, John W H, et al. Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science: A Report of the ACM curriculum committee on computer science[J]. Communications of the ACM, 1968(3): 151-197.
- [2] Richard H A, Bruce H B, Della T B, et al. Curriculum 78: Recommendations for the undergraduate program in computer science—a report of the ACM curriculum committee on computer science[J]. Communications of the ACM, 1979(3): 147-166.
- [3] Allen B T, Robert M A, Keith B, et al. Computing curricula 1991: Report of the ACM/IEEE-CS joint curriculum task force technical report[M]. New York: ACM Press and IEEE Computer Society Press, 1991: 68-84.
- [4] Lillian C, Alan C, Gordon D, et al. Computer science curriculum 2008: An interim revision of CS 2001[M]. New York: ACM, 2008.
- [5] Joint Task Force on Computing Curricula, Association for Computing Machinery (ACM) and IEEE Computer Society. Computer science curricula 2013: Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in computer science[M]. New York: Association for Computing Machinery, 2013.
- [6] Kumar A N, Raj R K. Computer science curricula 2023 (CS2023): Community engagement by the ACM/IEEE-CS/AAAI joint task force[C]//Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 2 (SIGCSE 2023). New York: Association for Computing Machinery, 2023: 1212-1213.
- [7] Clear A, Parrish A, Impagliazzo J, et al. Computing curricula 2020 (CC2020) paradigms for global computing education[M]. New York: ACM, 2020.

(编辑：宋文婷)

(上接第8页)

提升，越来越多的由国内教育体系所培养出的计算机专业人才走向国际，在学术界或者工业界发挥着自我的影响力，进一步促进国际计算机教育发展。

参考文献：

- [1] Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society (IEEE-CS). Computing curricula 2020[EB/OL]. (2020-12-31)[2023-03-06]. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020.pdf>.
- [2] 张铭, 陈娟, 韩飞, 等. ACM/IEEE计算课程体系规范CC2020对中国计算机专业设置的启发[J]. 中国计算机学会通讯, 2020, 16(12): 32-37.
- [3] Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society(IEEE-CS). 计算课程体系规范2020(CC2020)[EB/OL]. [2023-03-06]. https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020_chinese.pdf.
- [4] Chen J, Ghafoor Sh, Impagliazzo J. Producing competent HPC graduates[J]. Communications of the ACM, 2022, 65(12):56-65.
- [5] 张铭, 陈娟, 韩飞, 等. 从ACM/IEEE CC2020胜任力模型到可持续竞争力[J]. 中国计算机学会通讯, 2022, 18 (11): 68-73.
- [6] 计算机教育20人论坛报告编写组. 计算机教育与可持续竞争力[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.

(编辑：宋文婷)