

长沙理工大学对面向系统能力培养实践课程 体系的改革和成效综述^{*}

何施茗^{**} 曹嵘晖 徐梓桑 黄敏 龙际珍

长沙理工大学计算机学院, 长沙 410114

摘要 系统能力利用计算机软硬件协同工作及相互作用的机制来解决复杂工程问题,是计算机创新人才培养的重要部分。但系统能力培养还存在自底向上的知识体系构建不完备、缺乏系统性的综合实践环节等问题。因此,研究面向系统能力的实践课程体系改革,建立“价值认同—贯穿实践—竞赛评价”循序递进的闭环系统,为学生提供贯通、真实工程实践情境。在工程实践中形成正确的系统观、世界观、人生观和价值观,建立基于软件驱动的系统能力培养实践课程内容体系,并在计算机系统能力赛事中检验。通过改革,系统能力赛事的参与度和获奖比例明显提高,系统能力培养初见成效。

关键字 系统能力, 实践课程, 课程体系, 竞赛评价

Reform of the Practical Curriculum System for System Competence

Shiming He Runhui Cao Zisan Xu Min Huang Jizhen Long

School of Computer Science and Technology of Changsha University of Science and Technology,
Changsha 410114, China

Abstract—System capability, which leverages the mechanism of computer hardware and software working together and interacting to solve complex engineering problems, is a crucial component of cultivating innovative talent in computer science. However, the development of system capabilities still faces issues such as an incomplete bottom-up knowledge structure and a lack of systematic comprehensive practical components. Therefore, researching the reform of practical course systems aimed at enhancing system capabilities and establishing a progressive closed-loop system of "value recognition—integrated practice—competition evaluation" is essential. This system provides students with a coherent and authentic engineering practice environment, helping them form correct perspectives on systems, the world, life, and values. It also establishes a practice-oriented curriculum content system for system capability development based on software-driven approaches, which is then tested in computer system capability competitions. Through these reforms, participation and success rates in system capability competitions have significantly improved, indicating initial success in the cultivation of system capabilities.

Keywords—System capabilities, Practical courses, Curriculum system, Contest evaluation

1 引言

本研究的核心目标在于探讨计算机专业人才系统思维的培养路径及其产业价值。计算机系统能力可定义为基于系统性思维方法,全面认知计算体系的结构化特征(包括整体架构、层次关联、动态演化及可扩展特性),并运用集成化方法掌握硬件与软件协同工作机制的专业素养。该能力培养涵盖接口原理、运行机制、体系结构、交互设计等核心知识模块,旨在培

育学生解决复杂工程问题的综合能力,进而推动计算机应用创新价值的实现。这种能力构建不仅是创新型人才培养的内在需求,更是支撑国家信息技术产业战略发展的关键要素。

值得注意的是,当前计算机教育范式正经历从“应用开发能力”向“系统架构能力”的转型升级。面对日益复杂的应用场景,开发人员必须具备系统级的认知能力:既要深入理解底层架构的运行机理,又要掌握先进的技术工具;既要在系统层面进行全局优化设计,又要实现软硬件的协同创新。这种能力转型本质上源于产业发展的现实需求——我国信息技术产业虽已形成规模效应,但在关键核心技术领域仍面临“卡脖子”困境。尽管涌现出众多高水平科技企业,产业创新生

^{*} 基金资助: 本文得到长沙理工大学教学改革研究项目(XJG23-016)资助,长沙理工大学学位与研究生教学改革研究项目(CLYJSJG24038)资助。

^{**} 通讯作者: 何施茗 smhe_cs@csust.edu.cn

态体系仍需进一步完善,这对专业人才的系统设计能力提出了更高要求。

系统工程能力作为基础性支撑要素,在当代信息技术演进中占据战略地位,其既是数据密集型产业发展的根基,也是智能技术突破的关键支撑。追溯技术发展历程可见,自1960年代大型计算机问世,经1980年代微型计算机普及,至1990年代互联网技术革命,直至新世纪云计算范式确立,计算架构的持续革新始终是驱动产业进步的核心动能。随着网络化进程加速与系统复杂度指数级增长,对系统架构设计与优化能力的需求已提升至新的战略维度。具体而言,处理海量数据所需的高效能、弹性扩展与稳定运行特性,本质上依赖于先进的计算存储体系架构。究其本质,数据智能产业的三大支柱——智能算法研发、算力基础设施构建、训练数据管理,均需依托坚实的系统架构支撑。以深度学习为代表的智能算法突破,需要GPU/TPU等专用芯片构建的计算集群支持;超大规模数据训练过程,更离不开分布式存储系统的可靠保障。这种技术依存关系充分表明,系统架构能力构成了人工智能技术创新的基础承载平台。

系统能力是解决卡脖子技术的关键能力和进行高端工程的关键能力。2018年,《科技日报》相继报道35项“卡脖子”技术,包括芯片、操作系统、核心工业软件、核心算法、航空设计软件、数据库管理系统等。习近平总书记在网络安全和信息化工作座谈会上的讲话中指示,没有网络安全就没有国家安全。解决这些“卡脖子”难题,需要我们聚焦核心技术,加大科研投入,培养计算机人才的系统能力。

系统能力的以上关键基础作用,使我国计算机界迫切需要培养熟悉底层的软硬件技术人才,只有培养出具备较强“系统能力”的计算机专业人才,才能为我国计算机新技术和国家各行各业发展做好支撑。

2 相关工作

随着工程教育认证在计算机专业的推广,教育部高校计算机科学与技术专业教指委从能力培养的角度强调了对计算机学科学生的4项专业能力的培养:计算思维能力、算法分析与设计能力、程序设计与实现能力、系统能力,尤其强调计算机系统能力培养的重要意义和迫切需求。针对系统能力培养,各个高校从整体布局、课程体系、实验体系和课程建设开展了多方面的研究。

郑纬民院士^[1]强调了系统能力培养重要性,从计算机专业课程体系建设和计算机专业核心课程实验关键两个方面说明如何加强系统能力培养。张旭^[2]等构建基于系统能力培养的专业课程体系、统一实验平台的实践教学体系,探索了学生助教模式。张睿课题组

^[3]则开创软件导向的系统能力培养范式,采用问题驱动式教学法,通过应用需求逆向贯通系统软件、硬件架构及指令集设计等知识模块。当前国内已形成四类典型培养范式^[4-7],其核心特征如下:

清华大学构建理论实践深度融合的教学体系,贯彻“系统思维导向、实验驱动创新、能力阶梯培养”的教育理念,依托自主研发的THINPAD硬件平台构建标准化实验环境。北京航空航天大学实施“三位一体”培养方案,通过中央处理器设计、操作系统开发及编译器构建等系列工程实践,系统性强化学生的架构设计思维。南京大学基于“IA-32架构+Linux系统+GCC编译器+C语言”技术栈,整合高级语言编程、汇编指令集、计算机组成原理及操作系统等课程模块,建立跨层级的知识映射体系。华中科技大学则采用逆向工程教学法,通过软件需求反推硬件架构设计,形成软硬协同的认知闭环。华中科技大学秦磊华教授采用逻辑仿真软件Logisim,简化硬件的适配,让学生保留更多的时间精力关注组成和体系结构设计重点。同时,应用型院校^[8]、地方院校^[9]、非示范性高校^[10]也积极探索适合自身的系统能力培养方式。

以系统能力培养为目的,吴旭^[11]、董跃宇等^[12]、陈乃金等^[13]针对课程内容相互独立、系统能力培养和训练不足的问题,提出课程体系改革方案。袁春风等^[14]、安鑫等^[15]重点围绕实验课程,尤其是硬件实验课程体系进行改革。同时,针对具体的课程如课程程序设计基础^[16]、数字逻辑^[17]、计算机组成原理^[18-20]也进行了系统能力培养的变革和依据系统能力的课程评价体系^[21]。乔静静^[22]等针对传统教学模式的局限性,提出了一系列创新教学措施。但系统能力培养还存在以下问题:

(1) 逆向工程导向的知识建构模式存在结构性缺陷。处理器架构设计与指令集优化作为系统认知的物理基础,是构建完整技术认知体系的重要支撑。然而受制于集成电路技术的指数级发展,学习者难以直观感知高度集成的硬件架构实体,导致从晶体管级到系统级的垂直认知路径出现断层。这种微观与宏观的认知鸿沟,使得传统自下而上的知识建构方法面临严峻挑战。

(2) 实践教学体系呈现碎片化特征。现有培养方案普遍存在“认知维度割裂、实践环节离散、综合训练缺失”的突出问题,具体表现为:实验课程设置按计算机层次结构机械划分,各层级间缺乏有机衔接;实践内容局限于孤立的功能模块验证,难以构建跨层协同的工程思维。这种割裂式培养模式导致知识建构呈现碎片化特征,学习者虽能掌握局部技术细节,却难以形成完整的系统认知框架,更无法深入理解处理器微架构设计等核心技术原理。值得注意的是,作为

系统思维培养的认知闭环关键环节,实践课程改革亟待深化,亟需构建覆盖系统全栈的综合性实验体系。

实践课程是系统能力培养增强感性认识、关键落地的环节,更需要进行改革和实践。

3 实施方案

3.1 整体思路

以提高系统能力为导向,明确计算机科学与技术专业的定位和培养目标,通过重构实践课程等,构建“价值认同—贯穿实践—竞赛评价”循序递进的闭环系统,如图1所示。

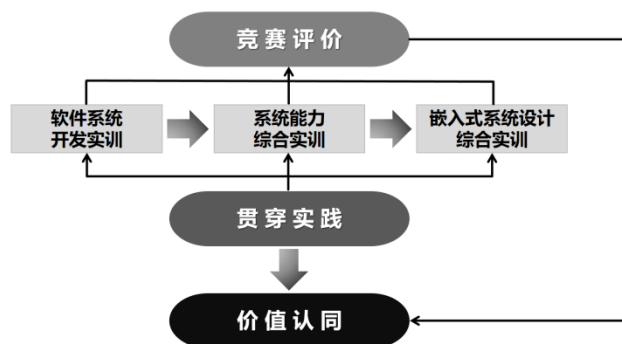


图1 价值认同—贯穿实践—竞赛评价体系

(1) 通过实践课程树立系统观和价值观

系统观需要理解现代工程问题的综合性和复杂性,如可持续发展、健康安全、伦理道德等。需要课程思政元素充分融入实践教学过程性考核和结果性考核所涵盖的知识、能力与素质中。准确把握“坚定学生理想信念,教育学生爱党、爱国、爱社会主义、爱人民、爱集体”主线,采取启发式、研讨性、案例式、项目式等先进性、互动性与针对性多种教学方式,帮助学生树立正确的世界观、人生观和价值观。

(2) 系统能力培养贯穿实践课程的内容体系

以计算机科学与技术专业《软件系统开发实训》、《系统能力综合实训》和《嵌入式系统设计综合实训》3门课程为试点,建立基于软件驱动的系统能力培养贯穿实践课程内容体系,使学生有效构建理论知识、实践行动与情境问题之间的联系,理解实践情境的特性和问题,选择和掌握工具与方法,从而实现理论知识、实践情境之间的交融。

(3) 组织和参与计算机系统能力类大赛

目前计算机专业程序设计、应用开发的比赛起步早、赛事丰富、组织成熟,认可和参与度都很高。郭海如^[23]等提出在比赛与能力的提升已经形成了以赛促学、以赛促教的良性循环,为国内的计算机算法、应用开发培养了大量的后备人才。但计算机系统能力

比赛赛事较少、知晓度、关注度、参与度和认可度都较低。筹备组织系统能力相关比赛,扩展比赛渠道。以赛促学和以赛促教,激发学习兴趣并评价能力培养体系。

3.2 具体方法

(1) 树立正确系统观和价值观,认可系统能力的重要性。

通过系统能力培养环节,培养学生的爱国情怀、敬业精神、职业素养、工匠精神、民族使命感和科技兴国的抱负。主要案例融合如表1所示。

表1 系统观与价值观案例融合

序号	系统观能力点	价值观案例	案例内容
1	计算机的设计缺陷	Intel FDIV 快速乘法表引发的 bug: 卡脖子领域与国家战略需求	快速算法的设计必须进行严谨的验证,计算机芯片级别的缺陷代价极高
2	单周期 CPU 实现	我国第一台电子计算机 103: 民族自豪感和自信心	简单的单周期 CPU 设计
3	CPU 流水线原理	兵马俑: 文化自信	流水的加工模式自古已有
4	CPU 流水线原理	近代工业重要方法: 科学精神	时空效率的综合挖掘
5	CPU 流水线原理	福特汽车: 智能制造、工业 4.0	流水线的实施效能证明
6	加速比与流水线分级	Prescott 奔 4 3.8GHz: 思辨精神,《辩证唯物主义是中国共产党人的世界观和方法论》	CPU 主频提升不再受制于功率,而流水线与功率密切相关
7	分支预测	使用神经网络预测电路是否可行?: “四个面向”	极短窗口的 CPU 决策时间无法使用神经网络等复杂算法
8	CPU 隐藏 BUG	某厂商 CPU 隐藏漏洞 PTI	自主知识产权的重要性与自主创新
9	异常与中断	UNIX 后门: 自主知识产权、自主可控、安全可信、宪法法治意识	异常与中断主要用以支持各种操作系统的应用需求

(2) 软件驱动贯穿式实践环节。

本研究提出基于软件工程现象驱动的层级化认知模型,采用渐进式知识建构策略。首先聚焦典型软件开发场景,通过解析工程实践中的真实问题,揭示硬

件层隐式支撑机制(如内存优化策略、并行处理架构、安全防护体系等),构建从应用层到物理层的垂直知识图谱。该模型突破传统教学边界,形成“现象驱动-需求映射-系统解构”的三阶段认知进阶路径。

在工程教育实践层面,建立职业导向的复合型能力培养框架。围绕软件开发全周期构建能力矩阵,涵盖代码实现规范、安全防护机制、测试验证方法等核心维度。选取《软件工程实训》《系统架构综合实践》《嵌入式开发实训》三大核心课程构建教学闭环,实施“软件需求逆向驱动硬件认知”的创新教学模式。其核心特征体现为:以软件缺陷分析为切入点,通过案例回溯方法逐层解析操作系统调度机制、指令集优化策略等技术关联,最终形成“应用层异常→系统层机制→硬件层支撑”的逆向认知链条。

典型案例分析显示,以C语言运行时异常为教学载体,通过构建“内存分配策略→函数调用规范→数据存取机制→缓冲区安全防护→内存回收策略”的认知链条,可有效实现跨层级知识迁移。教学实践表明,采用“现象认知→原理剖析→系统映射”的渐进式教学策略,能够显著提升学习者的架构设计思维。通过设置可感知的工程问题作为认知锚点,引导学习者从具体问题出发,逐步拓展至指令集优化、存储体系设计等底层技术,最终形成完整的系统知识网络。



图2 软件驱动贯穿式实践环节

(3) 依托系统能力类大赛,以赛促学和以赛促教。

CCF 开源创新大赛由国家自然科学基金委信息科学部指导,中国计算机学会(CCF)主办,CCF 开源发展委员会联合承办。大赛聚焦于解决关键技术领域的“卡脖子”问题,以及推动人工智能、大数据、芯片设计、物联网等前沿技术领域的开源发展。长沙理工大学作为2024年第7届开源创新大赛的承办方,通过扩大赛事规模和深化实践案例学习,致力于提升学生的系统创新和实践能力。比赛包含四大赛道:开源项目贡献赛、开源任务挑战赛、开源案例教学赛、开源代码评注赛。涵盖 OpenHarmony 操作系统、openEuler、CrowdOS 等开源项目,编译原理和技术、

数据库系统概论、操作系统内核构建等核心课程。比赛参赛人数 13324,参赛队伍 10846,决出一等奖 24 项,其中赛道一 8 项、赛道二 7 项、赛道三 5 项、赛道四 4 项;二等奖 46 项;三等奖 95 项。



图3 2024年第7届CCF开源创新大赛

4 建设与改革成效

在长沙理工大学计算机学院,实践教学体系改革从2021级计算机科学与技术专业开始实施。2021级计算机科学与技术专业学生在系统综合能力实训中,通过分析应用层软件问题,完成从软件功能到指令层的映射,实现单周期/多周期CPU的设计与实现,良好地构建计算机系统知识体系,如图4所示。

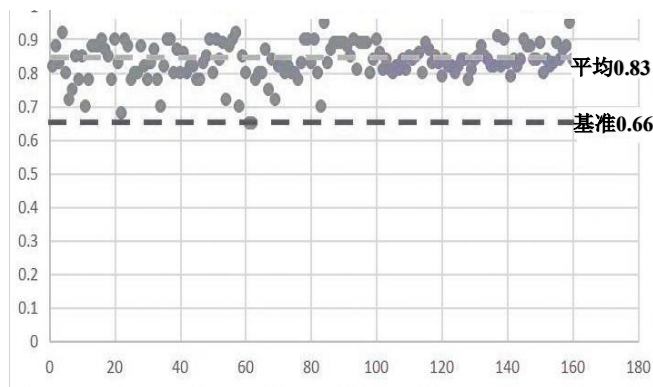


图4 系统综合能力实训目标达成情况

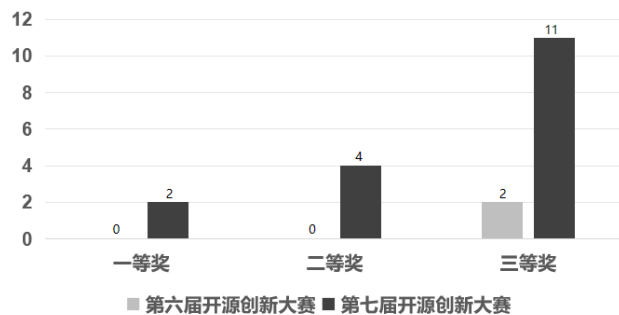


图5 实践课程改革前后比赛获奖数对比

同时,学生高度重视自身系统能力的培养,积极报名参加第7届开源创新大赛。信息类专业学生参数人数超过1000人,其中计算机科学与技术专业学生占2/3。与第6届CCF开源创新大赛仅有两支队伍荣获三等奖相比,获奖数量也明显增加,获一等奖2项、二等奖4项、三等奖11项,如图5所示。其中,一等

奖基于信创的工具库开发大赛、智能化开源漏洞工程赛是计算机科学与技术专业学生。

5 结束语

经过实践课程改革,人才培养质量显著提高,学生对系统能力的本质有新的理解,帮助学生在工程实践中形成正确的系统观、世界观、人生观和价值观,提升系统能力以及解决复杂问题的创新能力,以满足当前国家卡脖子问题对计算机专业提出的新要求,为社会培养和输送更多具有国际视野和时代精神、软硬件协同的卓越计算机技术人才。

参考文献

- [1] 郑纬民. 计算机专业大学生的系统能力培养[J]. 中国大学教学, 2021(5):19-23. DOI:10.3969/j.issn.1005-0450.2021.05.005.
- [2] 张旭, 胡东华, 朱付保. 计算机类专业系统能力培养模式的研究[J]. 河南教育(高校版), 2021(8):77-78.
- [3] 张睿, 郭东伟. 自顶向下的计算机软件系统能力培养模式探索[J]. 计算机教育, 2020(2):21-25. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2020.02.006.
- [4] 刘卫东, 张悠慧, 向勇, 等. 面向系统能力培养的计算机专业课程体系建设实践[J]. 中国大学教学, 2014(8):48-52.
- [5] 袁春风, 王帅. 大学生计算机专业教育应重视“系统观”培养[J]. 计算机教育, 2013(20):70-76.
- [6] 高小鹏. 计算机专业系统能力培养的技术途径[J]. 中国大学教学, 2014(8):53-57.
- [7] 谭志虎, 秦磊华, 胡迪青. 面向系统能力培养的计算机专业实践教学模式[J]. 中国大学教学, 2017(9):80-84.
- [8] 毛艳艳, 冯烟利, 谢青松, 等. 新工科背景下计算机类专业系统能力培养[J]. 计算机教育, 2019(7):50-53. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2019.07.013.
- [9] 贾晓强, 刘军. 地方高校面向新工科的计算机系统能力培养实践与思考[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(4):7-10. DOI:10.3969/j.issn.1007-757X.2021.04.004.
- [10] 沈展, 陈付龙. 非示范性高校系统能力培养薄弱环节分析与应对[J]. 软件导刊, 2023, 22(7):203-206. DOI:10.11907/rjcdk.221736.
- [11] 吴旭. 以系统能力培养为导向的课程体系改革研究[J]. 福建电脑, 2023, 39(2):64-67. DOI:10.16707/j.cnki.fjpc.2023.02.015.
- [12] 董跃宇, 强振平, 胡坤融, 等. 新工科理念下的计算机系统能力培养教学体系建设探讨[J]. 大学教育, 2021(6):115-117. DOI:10.3969/j.issn.2095-3437.2021.06.034.
- [13] 陈乃金, 石建国. 面向新工科的计算机类专业学生系统能力培养方法与实践[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(17):149-153, 159.
- [14] 袁春风, 陶先平, 汪亮, 等. 面向计算机系统能力培养的课程实验体系构建[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(6):12-16. DOI:10.16791/j.cnki.sjg.2018.06.004.
- [15] 安鑫, 胡学钢, 陈付龙, 等. 面向系统能力培养的硬件类课程实践体系构建[J]. 计算机教育, 2020(5):141-146. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2020.05.035.
- [16] 谢晓艳, 谢晓巍, 曹伟. 面向能力培养的程序设计基础课程改革实践[J]. 计算机技术与教育学报, 2022, 12(3):P90-93.
- [17] 韩建栋, 高嘉伟, 张霞, 等. 新工科系统能力培养视角下的数字逻辑设计教学研究[J]. 计算机教育, 2021(3):135-139. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2021.03.030.
- [18] 邵雄凯, 叶志伟, 欧阳勇, 等. 基于系统能力培养的计算机组成原理课程教学探讨[J]. 计算机教育, 2018(11):140-144. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2018.11.036.
- [19] 胡东华, 朱付保. 基于系统能力培养的计算机组成原理教学的改革与实践[J]. 教育现代化, 2021, 8(50):38-40, 62.
- [20] 蒋永国, 洪锋, 董军宇. 面向系统能力培养的计算机组成原理核心课程建设[J]. 计算机教育, 2015(21):1-6. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2015.21.001.
- [21] 张文宇, 刘鹏, 陈卫卫, 等. 面向系统能力培养的计算机专业课程教学评价研究[J]. 计算机教育, 2019(2):107-111. DOI:10.3969/j.issn.1672-5913.2019.02.027.
- [22] 乔静静, 李孟军. 面向系统思维能力培养的课程教学方法探索-以计算机系统基础为例[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 11(4):132-136.
- [23] 郭海如, 孔霞, 万兴, 武云云, 李志敏. 新工科背景下“以赛促能”式金课建设探索[J]. 计算机技术与教育学报, 2024, 12(1):P112-116.