

EDA算法决策能力进阶式培养教学设计与实践

何中海, 罗瑜, 甘涛, 杨珊, 管庆, 周帆, 廖勇

(电子科技大学信息与软件工程学院, 四川 成都 610054)

摘要: 在教育部特色化示范性软件学院建设背景下, 如何培养满足EDA工业软件产业需求的高层次人才成为关键课题。针对学生EDA算法决策能力不足的现状, 设计了一种进阶式教学方案。该方案以高层综合调度算法为载体, 构建了"基础认知、单一约束、多重约束、综合优化"的四级进阶体系。通过算法复杂度进阶、编码难度进阶和约束维度进阶的阶梯式设计, 引导学生逐步掌握ASAP/ALAP调度、列表调度和力向调度等算法的选择与优化策略。教学实践表明, 进阶式设计使学生的算法设计能力提升16.0%, 优化决策能力提升9.8%, 形成了可推广的EDA算法人才培养范式, 为特色化软件学院建设提供了有益探索。

关键词: 特色化软件学院; EDA工业软件; 进阶式教学; 算法决策能力; 高层综合

DOI: 10.11907/rjdk.251437

扫描二维码阅读全文:



中图分类号: G434

文献标识码: A

文章编号: 1672-7800(2025)010-0196-07

Teaching Design and Practice of Progressive Training for Decision-Making Capability of EDA Algorithm

HE Zhonghai, LUO Yu, GAN Tao, YANG Shan, GUAN Qing, ZHOU Fan, LIAO Yong

(School of Information and Software Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Under the national initiative for specialized demonstrative software schools, cultivating high-level talent to meet the demands of the EDA industrial software sector has become a critical issue. This study addresses the deficiency in students' EDA algorithm decision-making skills by designing a progressive teaching framework. Using High-Level Synthesis (HLS) scheduling algorithms as a vehicle, the framework establishes a four-stage progressive system: "foundational concepts," "single-constraint scenarios," "multi-constraint scenarios," and "comprehensive optimization." Through a progressive design that systematically increases algorithm complexity, coding difficulty, and constraint dimensions, the framework guides students to gradually master the selection and optimization strategies for algorithms such as ASAP/ALAP scheduling, list scheduling, and force-directed scheduling. Teaching practice has shown that this progressive design improved students' algorithm design and optimization decision-making capabilities by 16.0% and 9.8%, respectively. This work establishes a replicable pedagogical paradigm for training EDA algorithm talent and offers a valuable contribution to the development of specialized software schools.

Key Words: specialized software college; EDA industrial software; progressive teaching; algorithm decision-making capability; high-level synthesis (HLS)

收稿日期: 2025-07-01

基金项目: 四川省普通本科高校创新性实验项目(2025199-19); 电子科技大学研究生教研教改项目(JYJG2024066); 电子科技大学首批人工智能技术赋能本科教学教改项目(2024AIXM040); 电子科技大学第二批人工智能技术赋能本科教学教改项目(2025AIXM135)

作者简介: 何中海(1987-), 男, 硕士, 电子科技大学信息与软件工程学院工程师, 研究方向为工业软件、人工智能; 罗瑜(1977-), 男, 博士, 电子科技大学信息与软件工程学院讲师, 研究方向为时频分析、工业软件; 甘涛(1975-), 男, 博士, 电子科技大学信息与软件工程学院副教授, 研究方向为信号处理、人工智能、电子设计自动化; 杨珊(1988-), 女, 硕士, 电子科技大学信息与软件工程学院高级实验师, 研究方向为软件工程、人工智能; 管庆(1968-), 男, 硕士, 电子科技大学信息与软件工程学院高级实验师, 研究方向为信号处理、音视频智能分析; 周帆(1981-), 男, 博士, 电子科技大学信息与软件工程学院教授、博士生导师, 研究方向为人工智能; 廖勇(1976-), 男, 博士, 电子科技大学信息与软件工程学院教授, 研究方向为嵌入式系统。本文通讯作者: 罗瑜。

0 引言

在国产EDA工业软件亟待突破的背景下,电子科技大学信息与软件工程学院作为教育部首批特色化示范性软件学院,将培养能开发、会优化的EDA高端人才作为核心任务^[1]。在EDA工具开发过程中,算法工程师通常面临在时延、资源等多重约束下进行算法选择与优化的挑战^[2-3]。如何培养学生在复杂约束环境下进行算法决策的能力,成为EDA人才培养的核心任务。然而,传统算法教学往往让学生习惯于在理想情况下解决纯粹的算法问题,这导致学生难以建立系统的算法决策思维,无法满足工业界对高层次人才“能设计、会实现、善决策、精迭代”的能力要求。

为此,本文根据特色化软件学院建设需求,设计并实践了一种EDA算法决策能力的进阶式培养方案。方案以高层综合调度算法为载体,构建了“基础认知、单一约束、多重约束、综合优化”的四级进阶体系,引导学生在解决实际问题的过程中逐步提升算法决策能力^[4-5]。本文提供了特色化软件学院的EDA人才培养探索有效路径,并形成了可推广的教学范式。

1 相关研究

近年来,为了应对新工科建设和产业快速发展的挑战,工程教育界已就人才培养模式开展了广泛的探索。项目式学习^[6-7]、问题导向学习^[8]等模式被广泛应用,旨在提升学生的工程实践和解决复杂问题的能力。这些研究普遍强调以学生为中心和情境化学习的重要性,为本文的设计理念提供了宏观指引。然而,在算法设计这类认知复杂度高的领域,如何设计具有良好认知梯度且能有效促进高阶思维能力发展的教学框架,仍是研究的重点和难点^[9-10]。

在算法教学方面,现有研究主要集中在两个方面:一是教学内容的可视化,通过动画、交互式工具等方式帮助学生理解算法的动态执行过程,这对于降低算法原理的内在认知负荷有积极作用^[11-13];二是引入在线编程系统和项目实践,强化学生的代码实现能力^[14-15]。这些方法在提升学生对单一算法的理解和实现能力方面卓有成效。但它们较少关注工业需求中的综合实践,即在多重约束下对多种算法进行权衡与决策的能力。在EDA工业软件开发中,算法工程师面临的核心挑战是在多重、甚至相互冲突的约束条件下,进行有效的算法选择与优化。如图1所示,在多个设计周期中,算法工程师通常需要在面积、延迟等约束条件下进行权衡,以实现高层综合目标。这种算法决策能力,要求工程师具备“设计、决策、实现、迭代”的系统性思维,是EDA人才的核心竞争力。因此,为应对这种能力培养的新形势,本文在教学实践中提出了四级进阶培养体系。

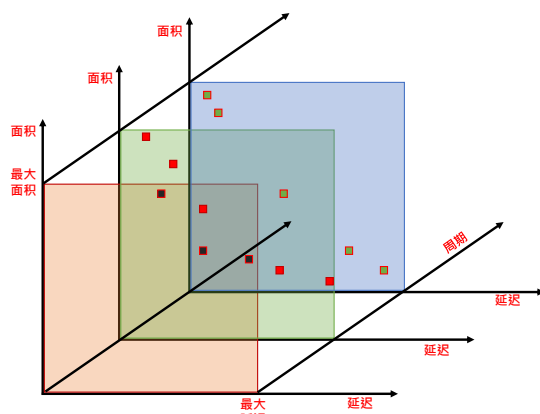


Fig. 1 The multi-constraint trade-off between area and latency

图1 面积、延迟多重约束示意图

本文的创新与主要贡献如下:

(1)聚焦核心能力。区别于侧重算法实现或原理理解的传统教学,本文首次将“EDA算法决策能力”作为一个独立且核心的培养目标进行系统性解构与设计。

(2)构建进阶体系。针对算法决策过程认知负荷高的问题,本文没有采用“一步到位”或简单的项目驱动,而是基于认知科学理论构建了“基础认知、单一约束、多重约束、综合优化”的四级进阶培养体系。该体系通过逐级增加约束复杂度和决策维度,为学生搭建了从理解决策要素到进行综合优化决策的认知脚手架。

(3)形成教学范式。本文不仅提出了理论框架,更通过完整的教学设计与实践,验证了该框架在提升学生工程问题分析和方案选择能力上的有效性,形成了一套可在特色化软件学院中推广的EDA算法人才培养范式。

2 进阶式培养的理论基础

2.1 认知科学理论支撑

针对多约束算法决策认知复杂性问题,本文根据认知负荷理论设计了一种进阶式培养的解决方案。Sweller等^[16]提出的认知负荷理论将学习过程中的认知负荷分为内在负荷、外在负荷和相关负荷三类。在EDA算法决策学习中,内在负荷来源于算法本身的复杂性和约束关系的交互性;外在负荷来源于不当的教学设计和信息呈现方式;相关负荷则涉及算法决策图式的构建过程。

进阶式培养通过分层分解策略有效管理认知负荷,将复杂的多约束决策问题分解为递进的4个层级,每个层级的认知负荷控制在工作记忆容量范围内。通过结构化的教学设计减少外在负荷,借助真实情境和反复练习促进相关负荷,加速图式构建,最终使学生能够在面对新的多约束决策问题时,快速调用相关的知识结构,做出有效的算法决策。

同时,根据Anderson的技能习得理论,复杂技能的获得遵循从“认知阶段”到“联结阶段”再到“自动化阶段”的

发展规律^[17]。EDA 算法决策能力作为一种复杂的认知技能,需要从基本概念的理解开始,经条件化知识的形成,最终达到灵活应用的自动化水平。进阶式培养为这一过程提供了系统化的实施路径。

2.2 EDA 算法决策能力的分解与建构

EDA 算法决策能力包含 4 个核心构成要素:①算法设计能力,识别和理解各种约束条件及其相互关系;②算法决策能力,掌握不同算法的适用条件和性能特点;③算法实现能力,在具体情境下编码实现算法;④迭代改进能力,根据结果反馈调整和改进方案。

从 Bloom 教育目标分类学来看,这 4 种能力分别对应不同的认知层级^[18]。其中,约束分析属于“分析”层级;算法比较属于“评价”层级;方案选择属于“综合”层级;优化改进属于“创造”层级。认知发展的层级性特点决定了能力培养必须遵循循序渐进的原则。

进阶式培养将这 4 种能力映射到 4 个递进层级。其中,基础认知层级重点培养约束识别和算法理解能力;单一约束层级训练在简单约束下的算法比较和选择;多重约束层级发展复杂情境下的综合分析和决策能力;综合优化层级培养创新性的算法改进和优化能力。

3 四级进阶体系的构建与实施

基于上文理论框架,本文构建了“基础认知、单一约束、多重约束、综合优化”的四级进阶体系,如图 2 所示。每个层级对应特定的能力目标,采用结构化的教学流程,通过高层综合调度算法的递进式学习,系统培养学生的 EDA 算法决策能力。课程中的案例来源于对主流高层次综合工具在真实芯片设计流程中的应用场景分析,并经过与合作企业的工程师共同研讨提炼。这些案例聚焦于当前芯片设计的热点领域,例如,在通信基带芯片和 AI 推理加速器中广泛应用的数字信号处理(DSP)模块、卷积计算单元等^[19]。

3.1 基础认知层级

3.1.1 层级目标与能力要求

基础认知层级的目的是建立调度算法的基本概念框架,培养学生的约束识别能力。具体目标包括:①理解调度问题的本质和目标;②掌握数据流图(Data Flow Graph, DFG)或序列图(Sequencing Graph)的表示方法;③建立时间约束的基本概念,形成 ASAP/ALAP(As Soon As Possible/As Late As Possible)调度的直观理解;④掌握机动性(mobility)的概念及其计算方法。

3.1.2 核心教学内容

以简单的 4 位加法器为教学载体,引入 ASAP 和 ALAP 调度算法。ASAP 算法基于“尽早调度”思想,可在多项式时间内计算出无资源约束下的最小延迟调度方案。ALAP 算法基于“尽晚调度”思想,计算在给定延迟下每个操作最

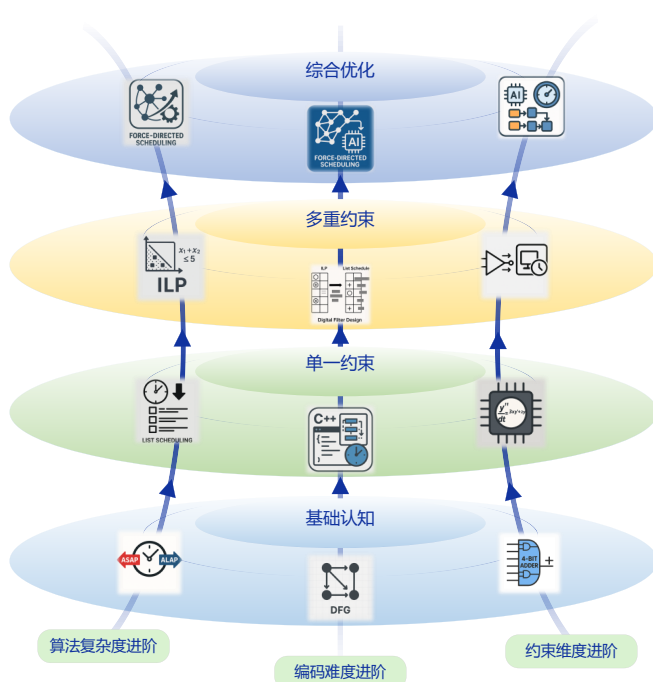


Fig. 2 The four-stage progressive system schematic

图 2 四级进阶体系示意图

晚的开始时间。具体教学流程中采用可视化 DFG 演示,让学生观察 ASAP 和 ALAP 调度的执行过程,并对比两种调度结果,引导学生理解调度空间和时间冗余概念。重点讲解机动性作为 ALAP 和 ASAP 调度时间之差的意义,这个差值揭示了在不影响整体时间约束的前提下,单个操作可以灵活调整的时间范围,为后续更复杂的资源受限调度提供了基础。

3.2 单一约束层级

3.2.1 层级目标与能力要求

单一约束层级引入资源限制概念,培养学生的算法比较能力。学习目标包括:①理解资源约束对调度的影响;②掌握列表调度(List Scheduling)这一贪心启发式算法的原理和实现;③学会分析不同优先级策略的性能差异;④具备单约束条件下的算法选择能力。

3.2.2 核心教学内容

本层级以经典的微分方程硬件加速器设计为驱动案例。教学中首先会引导学生在设定了严格的资源约束后,尝试使用第一层级学过的 ASAP 调度。学生会发现,由于多个乘法操作需要竞争同一个乘法器,ASAP 调度给出的理想方案在物理上无法实现,从而认识到资源冲突问题。在此基础上,引入列表调度算法作为解决方案。该算法通过迭代的方式在每个时钟周期,从所有数据依赖已满足的“就绪”操作中,根据预设的优先级函数进行选择,直至不超过可用资源限制。虽然该贪心策略不保证得到最优解,但其复杂度低,在实践中被广泛应用,是解决资源受限调度问题的基石。

3.3 多重约束层

3.3.1 层级目标与能力要求

多重约束层级聚焦于经典的资源受限下的最小延迟调度 (Minimize Latency-Resource Constrained Scheduling, ML-RCS) 问题, 培养学生的综合分析 with 权衡能力。能力目标包括: ①理解 ML-RCS 问题是 NP 完全的, 启发式方法是工程实践的必然选择; ②掌握 ML-RCS 问题的不同解法, 如整数线性规划 (ILP) 精确解法和列表调度等启发式解法; ③学会分析不同算法在解的质量和运行时间上的权衡。

3.3.2 核心教学内容

本层级以 5G 通信基带处理芯片中常见的数字滤波器设计为应用场景。该场景下, 工程师通常需要在有限的芯片面积所决定的硬件资源 (例如版图约束只允许布局 2 个高性能乘法器和 1 个 ALU) 下, 实现尽可能高的数据吞吐率。这个案例反映了产业实践中对芯片性能和成本控制进行权衡的挑战。首先介绍整数线性规划 (ILP) 作为一种能求得精确解的方法, 讲解如何将调度问题建模为一系列线性不等式约束和优化目标。同时, 强调 ILP 的缺点是计算复杂度高, 只适用于小规模问题。随后, 将列表调度作为求解 ML-RCS 的高效启发式方法进行重点教学。最后, 通过对比 ILP 的精确解和列表调度的近似解, 让学生深刻理解工程中“最优”与“可行”的决策过程。

3.4 综合优化层

3.4.1 层级目标与能力要求

综合优化层级探讨 ML-RCS 的对偶问题, 即时延受限下的资源最小化调度问题 (Minimize Resource-Latency Constrained Scheduling, MR-LCS), 并引入更高级的全局优化算法, 培养学生的优化创新能力。层级目标包括: ①掌握 MR-LCS 问题的求解策略; ②理解力向调度 (Force-Directed Scheduling) 算法的全局优化思想; ③具备算法改进和参数调优能力。

3.4.2 核心教学内容

首先, 将 MR-LCS 作为核心问题提出, 在给定的最大允许延迟内, 如何用最少的硬件资源完成设计。教学中可以介绍如何调整列表调度算法来解决此问题, 例如, 优先调度“零机动性”的操作以确保满足延迟约束, 并动态增加资源。

随后, 引入力向调度作为列表调度的进阶算法。该算法重点讲解力向调度的核心思想, 其通过计算每个操作在各个时间步长的执行概率, 形成资源分布图。调度决策的目标是使资源分布均匀化。通过将操作调度到特定的时间步, 这将对其前驱、后继操作产生“拉力”和对资源分布产生“推力”, 从而在全局范围内寻求最优解。然后, 设计开放性项目, 要求学生针对一个简化的 AI 推理加速器中的卷积层计算任务, 实现一个力向调度器。在此项目中, 学生需要在满足给定的性能指标 (如处理一帧图像所需的最大延迟等) 下, 通过力向调度算法来最小化所需的 DSP

和内存访问单元的数量。最后, 与列表调度的结果进行比较。学生不仅能从理论上分析其在资源利用率上的优势, 更能体会到在 AI 芯片这类算力密集型场景下, 高级调度算法对于降低芯片功耗和物理成本的作用, 从而将算法学习与产业价值建立联系。

3.5 标准化教学资源

为保证四级进阶体系的顺利实施与推广, 本文设计了标准化的教学资源, 为师生提供从理论到实践的全方位支持, 其主要构成包含以下 4 个方面:

(1) 系列化教学讲义与案例库。针对 4 个层级, 本文编写了独立的教学讲义, 内容涵盖核心算法的理论推导、伪代码实现以及与产业背景结合的分析。同时, 建立了一个包含从简单教学案例到复杂工程案例的案例库, 供不同层级的教学和作业使用。

(2) 代码实现脚手架。为“单一约束”和“综合优化”层级的编程实现任务提供了 C++ 语言的代码脚手架。该框架预先完成了数据结构定义等基础工作, 让学生可以将精力聚焦在核心调度算法的逻辑实现上, 而非繁琐的辅助性代码。

(3) 进阶式任务与项目指南。设计了一套与四级体系环环相扣的作业和项目。作业从手动调度计算, 逐步过渡到编程实现和基于真实案例的开放性探索, 确保每个层级的学习目标都有对应的实践环节来巩固。

(4) 评估标准。制定了清晰的评估标准, 重点考察学生在“算法设计”“优化决策”“算法实现”“算法迭代”4 个维度的能力表现, 确保评价的客观性和一致性。

4 教学实践效果与评价

4.1 教学实施过程与评价体系设计

4.1.1 实验对象与实施条件

本文的教学实践对象为电子科技大学信息与软件工程学院工业软件方向的本科生。其中, 2022 级某班作为对照组, 共 31 名学生, 采用传统的知识传授型教学模式; 2023 级某班作为实验组, 共 25 名学生, 全面实施本文设计的进阶式培养方案。两个年级均在同一位教师讲授的《工业软件创新训练》课程中完成相同的课程项目和学习任务, 以尽可能保证教学条件的一致性。

为进行量化对比分析, 本文在课程结束后, 通过随机抽样的方式, 从对照组和实验组中各选取了 15 名学生作为代表性样本, 对其课程项目成果、学习报告等过程性材料进行深入评估。同时, 面向全体学生进行匿名评价, 分别回收 31 份 (2022 级) 和 25 份 (2023 级) 有效问卷, 用于分析学生的主观学习体验。

4.1.2 教学效果评价体系设计

(1) 客观性评价指标。EDA 算法决策与优化能力是一种复合型的高阶工程能力, 难以通过单一指标直接衡量。

它本质上涵盖了工程师从“设计方案”到“优选决策”,再到“编码实现”和“迭代优化”的完整闭环。因此,本文的评价体系将其分解为4个可量化的核心能力维度,每个维度均与课程成绩考核表中的具体评价项直接挂钩,以保证评估的客观性。

具体4个维度说明如下:①算法设计能力,代表学生面对复杂工程问题时,能否设计出满足特定需求的、合理且可实现的总体方案,其评估直接对应成绩表中的“针对复杂工程问题的方案设计”得分;②优选决策能力,衡量学生是否能对不同方案进行推理分析和比较,并最终做出合理的优选决策,其评估直接对应成绩表中的“针对复杂工程问题的推理分析”得分;③算法实现能力,检验学生能否根据设计方案,选择合适的工具与技术标准,编写出规范、完整的代码来实现算法,其评估对应成绩表中的“针对复杂工程问题的方案实现”得分;④算法迭代能力,代表学生在完成基本功能之外,能否进一步对方案进行优化或实现额外的增值功能,展现其追求卓越的工程素养,其评估对应成绩表中的“基本功能之外进行了优化或实现额外功能”的评价。

通过对上述4个维度的综合评价,本文可以立体、全面地评估学生在EDA算法决策与优化方面的真实水平。利用学生在课程中成绩考核表项与4个维度能力建立对应关系,最终形成4个维度核心能力数据,具体对应关系表如表1所示。

(2)主观性评价指标。设计了包含教学内容设计、教

Table 1 Correspondence between competency evaluation metrics and student grade items

表1 能力评价指标与学生成绩表项对应关系表

核心能力	成绩表中的具体评分项
算法设计能力	针对复杂工程问题的方案设计
优选决策能力	针对复杂工程问题的推理分析
算法实现能力	针对复杂工程问题的方案实现
算法迭代能力	基本功能之外进行优化或实现额外功能

学方法运用以及学习获得感等方面的满意度调查,形成客观数据与主观感受相结合的综合评价体系,如表2所示。

Table 2 Evaluation metrics for the learning experience satisfaction survey

表2 学习体验满意度调查表评价指标

一级指标	二级指标
教学内容	教学设计由浅入深、循序渐进、学生实际操作机会多
	内容充实、有思想性、有深度、教学信息量大
教学方法	注重科学思想与思维、创新思维与实践能力和表达能力培养
	条理清晰、示范操作规范、讲解生动、重点突出、深入浅出
学习获得感	实践能力与创新意识、科学思想与思维、表达能力的形成有帮助
	老师的教学使学生有明显学习获得感

4.2 教学效果分析

4.2.1 核心能力提升对比分析

通过对2022级与2023级工业软件创新训练课程成绩评价的对比分析,验证了进阶式培养方案的效果。具体数据如图3所示。

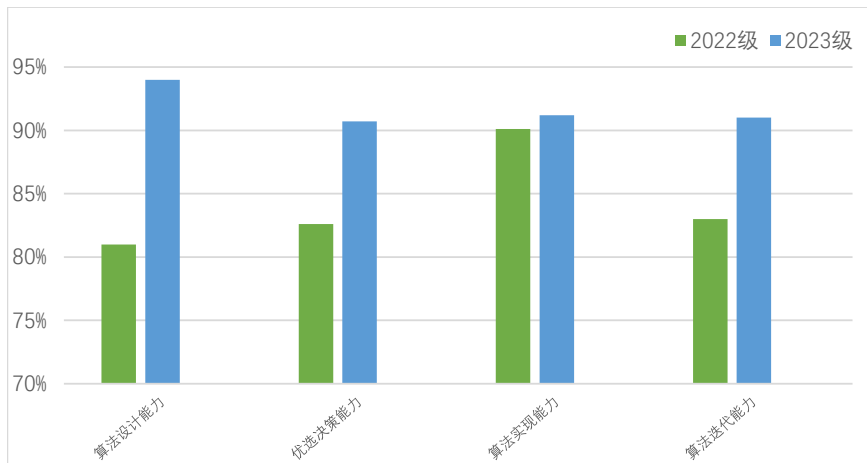


Fig. 3 Comparison of competency assessment before and after the instructional intervention

图3 教学设计实施前后能力评价对比图

由图3可知,在算法设计能力方面,2022级学生在这项能力平均得分为81%,2023级引入进阶式培养模式后达到94%,提升幅度约16%。对比结果表明,进阶式培养模式在帮助学生建立系统性算法设计思维方面发挥了重要作用。

在优化决策能力方面,2023级学生平均得分(90.7%)较2022级(82.6%)提升幅度约9.8%,增幅较明显。这一结果显示了四级进阶体系在培养学生多约束、权衡决策能力

方面的成效。

在算法实现能力方面,2023级学生平均得分(91.2%)较2022级(90.1%)上升了1.1个百分点。这种稳定的态势表明新培养模式在保证代码实现质量的同时,将更多教学资源合理配置到决策能力培养环节,实现了教学重点的有效转移。

在算法迭代能力方面,2023级学生平均得分(91%)较2022级(83%)均有显著提升,同比增加了8个百分点。对

比结果表明,在进阶式培养模式下,学生能够更系统地对实现方案进行优化改进,形成了良好的持续改进意识。

4.2.2 学习体验与满意度对比分析

2022级与2023级学生依据表2所示评价指标体系开展主观评价的数据结果,如图4所示。通过对比分析可知,该结果验证了进阶式培养方案对改善学生学习体验具有积极作用。

由图4可知,教学内容方面,2023级学生对教学内容评价项1(教学设计由浅入深、循序渐进、学生实际操作机会多)的认同度达到78.57%,比2022级的76%提升了2.57个百分点;对教学内容评价项2(内容充实、有思想性、有深度、教学信息量大)的满意度从2022级的68%大幅提升至78.57%,增幅达15.5%。表明四级进阶体系的设计有效缓解了学习的认知负荷,提升了内容的可接受性。

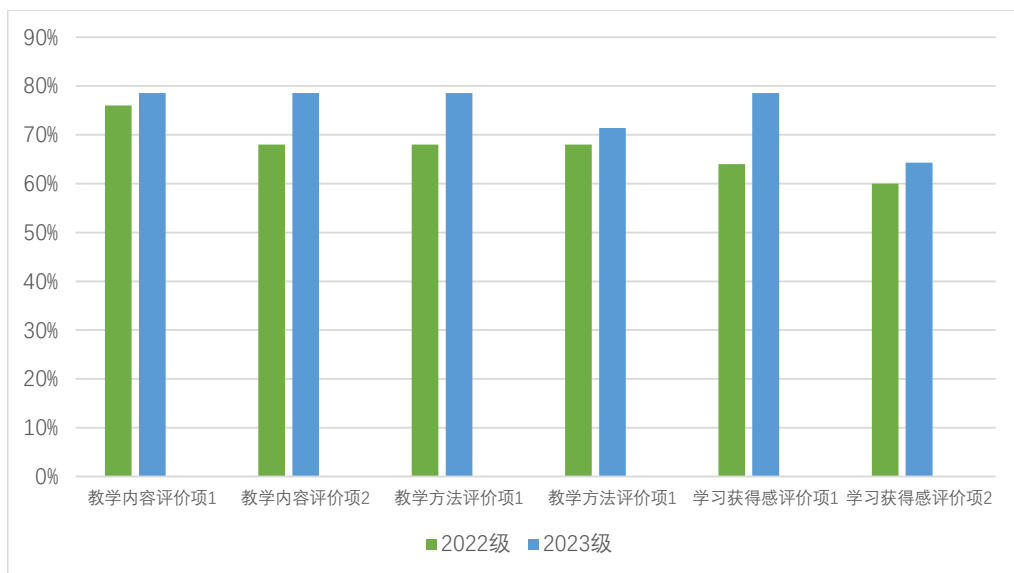


Fig. 4 Comparison of the learning experience evaluation before and after the instructional intervention

图4 教学设计实施前后学习体验评价对比图

教学方法方面,2023级学生对教学方法评价项1(注重科学思想与思维、创新思维与实践能力、表达能力培养)的评价达到78.57%,比2022级的68%提升了15.5%;对教学方法评价项2(条理清晰、示范操作规范、讲解生动、重点突出、深入浅出)的认可度从2022级的68%提升至71.43%。反映出基于认知科学理论的教学设计,有效改善了教学方法的科学性和有效性。

学习获得感方面,2023级学生对学习获得感评价项1(实践能力与创新意识、科学思想与思维、表达能力的形成有帮助)的认同度达到78.57%,比2022级的64%跃升了22.8%;对学习获得感评价项2(老师的教学使学生有明显学习获得感)的评价从2022级的60%提升至64.29%。这一改善表明进阶式培养方案有效提升了学生的感知发展能力和学习满足感。

综上,基于四级进阶体系的EDA算法决策能力培养方案取得了显著成果,不仅显著提升了学生的核心素养和学习体验,而且具有良好的可推广性,为特色化软件学院培养EDA人才提供了有效的实践路径。

5 结语

本文立足特色化示范性软件学院建设需求,针对EDA算法决策能力培养挑战,构建了系统的进阶式培养方案。在理论方面,基于认知科学理论提出了EDA算法决策能力

四要素分解模型和进阶式教学设计原则;在实践方面,构建了"基础认知、单一约束、多重约束、综合优化"四级进阶体系,开发了标准化教学资源包;在效果方面,通过对比验证显示学生的复杂工程问题优化决策能力提升9.8%,学习获得感提升22.8%,证明了方案的有效性和可行性。

进阶式培养方案的实践为特色化软件学院建设提供了重要启示,必须基于认知科学理论构建符合技能习得规律的新型培养模式,以产业核心能力为导向设计教学体系,注重标准化教学资源建设形成可复制推广的优质范式。本文所提出的进阶式培养理念具备良好的通用性,可广泛应用于CAD/CAE软件、数据库管理系统、编译器设计以及操作系统内核开发等诸多工业软件领域,展现出广阔的推广前景。

未来研究可在智能化教学支持技术、跨学科融合培养模式、产教融合深度合作机制和国际化人才培养标准等方向进一步深入探索。在全球科技竞争日趋激烈的背景下,EDA等关键工业软件的自主创新能力已成为国家战略竞争力的重要组成部分,特色化软件学院必须在人才培养模式创新方面勇于探索。本文虽然取得了积极成果,但仍需在更大范围的教学实践中进一步完善,希望能为相关院校教学改革提供参考,为工业软件人才培养质量提升贡献力量,最终服务于建设教育强国、科技强国的宏伟目标。

参考文献:

- [1] General Office of the Ministry of Education, General Office of the Ministry of Industry and Information Technology. Notice on announcing the list of the first batch of characteristic and demonstrative software institutes by the General Office of the Ministry of Education and the General Office of the Ministry of Industry and Information Technology [EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202201/t20220119_595267.html. 教育部办公厅, 工业和信息化部办公厅. 教育部办公厅 工业和信息化部办公厅关于公布首批特色化示范性软件学院名单的通知 [EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202201/t20220119_595267.html.
- [2] HAO Y, ZHAO C, ZHANG Y, et al. Constrained multi-objective optimization problems: methodologies, algorithms and applications [J]. Knowledge-Based Systems, 2024, 299: 111998.
- [3] BARUCH Z. Scheduling algorithms for high-level synthesis [J]. ACAM Scientific Journal, 1996, 5(1-2): 48-57.
- [4] MICHELI G D. Synthesis and optimization of digital circuits [M]. New York: McGraw-Hill Higher Education, 1994.
- [5] ARENO M, EAMES B, TEMPLIN J. A force-directed scheduling based architecture generation algorithm and design tool for fpgas [J]. Journal of Systems Architecture, 2010, 56(2-3): 124-135.
- [6] ZHENG C X, GE Y Y, SHI Y J, et al. Design of PBL teaching mode for the cultivation of computational thinking—taking pattern recognition course as an example [J]. Software Guide, 2022, 21(6): 225-229. 郑彩侠, 葛莹莹, 石艳娇, 等. 面向计算思维培养的 PBL 教学模式设计——以模式识别课程为例 [J]. 软件导刊, 2022, 21(6): 225-229.
- [7] PAN Y, FAN Y, WU L, et al. Practice and exploration of software development talent cultivation based on multilevel PBL [J]. Software Guide, 2025, 24(3): 216-220. 潘娅, 范勇, 巫玲, 等. 基于多层次 PBL 的软件开发人才培养实践与探索 [J]. 软件导刊, 2025, 24(3): 216-220.
- [8] QIU B L, LIU D X. Research on teaching of computer organization principle based on problem-oriented method [J]. Software Guide, 2022, 21(6): 242-246. 邱宝林, 刘德喜. 基于问题驱动法的计算机组成原理教学研究 [J]. 软件导刊, 2022, 21(6): 242-246.
- [9] HE G Q, XIAO C Y, CHEN L, et al. Focusing on computational thinking in the teaching reform of the algorithm analysis and design course [J]. Computer Education, 2023(1): 86-90. 何高奇, 肖春芸, 陈蕾, 等. 聚焦计算思维的算法分析与设计课程教学改革 [J]. 计算机教育, 2023(1): 86-90.
- [10] LYU W J, LI G J. The paradigm shift in computational engineering education [J/OL]. Research in Higher Education of Engineering, 2025-07-15. <https://link.cnki.net/urlid/42.1026.g4.20250714.1453.004>. 吕文晶, 李国杰. 计算工程教育范式转变 [J/OL]. 高等工程教育研究, 2025-07-15. <https://link.cnki.net/urlid/42.1026.g4.20250714.1453.004>.
- [11] LIAN Y F, ZHANG X, ZHUANG Y Q, et al. Design of virtual simulation experiment system for data structure and algorithm visual debugging [J]. Experimental Technology and Management, 2023, 40(5): 122-129, 159. 连远锋, 张鑫, 庄永琪, 等. 数据结构与算法可视化调试虚拟仿真实验系统设计 [J]. 实验技术与管理, 2023, 40(5): 122-129, 159.
- [12] SHI F, NING W, LI M, et al. Exploration of flipped classroom teaching for the algorithm analysis and design course from a visualization perspective [J]. Computer Education, 2024(2): 169-172, 176. 石峰, 宁为, 李敏, 等. 可视化视阈下的算法分析与设计课程翻转教学探索 [J]. 计算机教育, 2024(2): 169-172, 176.
- [13] WANG S M, WANG S Q. Application of algorithm visualization in the teaching of data structures course [J]. Computer Education, 2022(7): 190-193, 198. 王树梅, 王书芹. 算法可视化在数据结构课程教学中的应用 [J]. 计算机教育, 2022(7): 190-193, 198.
- [14] ZHOU B, XU J C, YI Z J, et al. A practical exploration of improving students' programming ability: a case study of the algorithm design and analysis course [J]. Computer Education, 2024(2): 61-64. 周蓓, 许瑾晨, 弋宗江, 等. 提升学生编程能力的实践探索——以算法设计与分析课程为例 [J]. 计算机教育, 2024(2): 61-64.
- [15] YUE K, HU K, YUAN G W, et al. Establishment of online program design platform and practice education reform under open-source architecture [J]. Software Guide, 2023, 22(3): 212-216. 岳昆, 胡矿, 袁国武, 等. 开源框架下在线编程平台建设与实践教学改革 [J]. 软件导刊, 2023, 22(3): 212-216.
- [16] SWELLER J, VAN MERRIENBOER J J G, PAAS F G W C. Cognitive architecture and instructional design [J]. Educational Psychology Review, 1998, 10(3): 251-296.
- [17] ANDERSON J R. How can the human mind occur in the physical universe? [M]. New York: Oxford University Press, 2007.
- [18] ANDERSON L W, KRATHWOHL D R. A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of bloom's taxonomy of educational objectives: complete edition [M]. Boston: Addison Wesley Longman, Inc., 2001.
- [19] WU J Q, REN D P. Development of artificial intelligence chips in China [J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(1): 133-141. 吴佳青, 任大鹏. 我国人工智能芯片发展探析 [J]. 中国工程科学, 2025, 27(1): 133-141.

(责任编辑:陈维捷)