

面向学习迁移的自适应支架式 SRL 多智能体在线编程教学系统开发

Development of an Adaptive Scaffolding SRL Multi-Agent Online Programming Teaching System for Learning Transfer

李特炜, 蒋宇康, 吴典儒, 蓝敏*

浙江师范大学教育学院

*lanmin@zjnu.edu.cn

【摘要】 生成式人工智能的发展为教育领域带来了许多机遇与挑战。虽然研究者表明 GAI 的使用能够在短期内提高学习效果, 但学习者过度依赖 GAI 工具导致的认知卸载和元认知惰性, 可能对其深度思考和学习迁移能力造成负面影响。本研究将面向学习迁移的教学原则和自适应支架融入自我调节学习的过程中, 提出包含认知与元认知问题的动态问题库, 聚焦带有问题库的多智能体在线编程教学系统的开发, 旨在为应对认知卸载提供可行方案。未来研究团队将进一步开展准实验研究验证系统对学习效果和元认知能力的影响机制。

【关键词】 编程学习; 多智能体系统; 认知卸载; 学习迁移; 自我调节学习

Abstract: The development of generative AI presents numerous opportunities and challenges for education. While researchers have demonstrated that GAI tools can enhance learning outcomes in the short term, learners' excessive reliance on these tools may lead to cognitive offloading and metacognitive inertia, potentially undermining their capacity for deep thinking and learning transfer. This study integrates teaching principles for learning transfer and adaptive scaffolding into SRL processes. It proposes a dynamic question library containing cognitive and metacognitive problems, focusing on developing a multi-agent online programming teaching system equipped with this question library. The aim is to provide a feasible solution for addressing cognitive offloading. Future research will conduct quasi-experimental studies to validate the system's impact mechanisms on learning outcomes and metacognitive abilities.

Keywords: Programming learning, multi-agent systems, cognitive offloading, transfer learning, self-regulated learning

该项目获全国教育科学规划课题青年课题“从调节理论视角优化教师在线教学设计的行动研究”【项目号: CCA220320】资助

「1.研究目的」

生成式人工智能在教育实践和研究领域展现出显著潜力 (Lang et al., 2025), 特别是编程学习领域, 代码生成工具已被学习者广泛使用 (Becker et al., 2023), 包括代码的错误检查和调试、概念理解、解决方案代码优化、解决方案代码生成 (Rahman & Watanobe, 2023), 以及代码解释和数学问题解决等 (Groothuijsen et al., 2024)。研究者认为人工智能的整合能显著提升学生的编程表现 (Zhou, 2023), 帮助学生掌握更多的编程技能 (Groothuijsen et al., 2024), 减少学生的挫败感并提高学习效率 (Daun & Brings, 2023)。

然而, 使用 GAI 导致的学习问题也无法忽视 (Artemova, 2025)。频繁使用 AI 工具可能导致学习者元认知惰性 (Fan et al., 2025), 即试图绕过基本认知过程, 助长学习者对技术的

依赖,影响知识迁移和技能的发展 (Artemova, 2025), 并且进一步导致学习者批判性思维的下降 (Gerlich, 2025)。另外, AI 工具的使用也可能导致学习者在一定程度上的认知卸载, 即当人们预期信息都能从外部智能体获取时, 学习者对信息内容的主动编码与记忆意愿会降低 (Sparrow et al., 2011), 影响后续记忆表现下降 (Grinschgl et al., 2021)。

为应对以上问题, Molenaar (2022) 提出面向 SRL 技能培养设计的 HHAIR 模型, 强调外部工具对学习者的认知和元认知负荷的影响应该是一个动态和发展的过程, 如通过可调节的元认知支架维持学生认知负荷在积极的范围内 (Jung et al., 2025)。此外, Chi & Wylie (2014) 认为, 随着学习参与模式由被动转向互动, 学习者投入的努力或负荷增加, 学习成果也相应增加。基于此, 研究者倡导让学生深度参与学习过程的积极学习策略 (Freeman et al., 2014; Deslauriers et al., 2019), 鼓励学生深度参与内容而非被动依赖 AI 工具, 缓解 AI 可能导致的负面影响 (Gerlich, 2025)。但现有研究中, 从学习迁移视角研究外部工具对学生学习效果的影响研究较少 (Artemova, 2025); 有研究表明元认知学习策略会通过技能表现影响学习迁移效果 (Ford et al., 2005), 但现有的元认知支架的设计往往未充分考虑学生反馈和元认知能力发展 (Liu et al., 2025), 关于学生深度参与学习过程的系统开发仍较为匮乏。

为弥补上述缺陷, 我们认为可以围绕 SRL 模型 (Zimmerman, 2002), 通过元认知能力的参与和 LLM 驱动自适应支架来调节学习过程, 帮助学生维持积极的认知负荷范围; 依据面向学习迁移的教学原则 (Hajian, 2019) 设计动态的问题库, 以激励学生持续思考, 主动参与学习过程。本研究聚焦于带有问题库的多智能体在线编程教学系统 (Multi-Agent Problem Library System, APLS) 的设计与开发, 旨在为应对认知卸载效应提供参考。

「2.理论基础」

「2.1. 认知卸载」 Risko & Gilbert (2016) 将认知卸载并定义为通过物理动作改变任务的信息处理需求, 以减少认知需求。基于这一理论框架, Yizhou Fan (2024) 认为对外部资源的依赖会减少学习者对元认知过程的参与, 从而导致内部认知监控和自我调节的习惯性减少, 提出元认知惰性的概念。近期的研究指出, 使用人工智能会降低学习者感知到的任务难度, 从而减少其在任务解决过程中的努力投入 (Urban et al., 2024)。因此, 卸载和上载认知和元认知负荷的动态调整是必要的 (Molenaar, 2022), 如借助信息缺口理论, 通过已知与想知之间的差距引发认知性好奇心, 激发学生主动探究学习 (Loewenstein, 1994)。在操作中, APLS 通过设置问题库的形式为学生提供多角度的提问方向, 发掘学习者介于已知与想知之间的问题, 激发学习者学习兴趣。

「2.2. 自我调节学习理论」 自我调节学习理论源于 Bandura (1986) 的社会认知理论, Zimmerman (2002) 在此基础上系统性地提出了以循环过程为核心的 SRL 理论模型。该模型将自我调节学习过程划分为三个阶段: 在前期思考阶段中, 学习者通过理论学习与策略选择构建基础知识, 设定清晰目标, 并通过引导式决策分析反馈初步建立自我效能感; 执行阶段则聚焦自我控制与实时自我监控, 智能任务切换提供实时反馈以支持注意力集中、策略调整与持续改进; 自我反思阶段中, 学习者回顾对话、巩固知识并进行自我评估, 随后接收系统生成的反馈, 以指导未来策略应用。

「2.3. 面向学习迁移的教学」 奥苏贝尔于 1963 年在有意义学习的基础上提出了认知结构迁移理论。该理论认为学习者已有认知结构是影响新知识学习的关键变量, 且迁移是以认知结构为中介进行的。基于这一理论, Mayer (1977) 提出了系统性迁移设计原则, 通过整合协调新旧知识、强化概念性理解, 促进学习迁移。Hajian (2019) 系统性论述了学习迁移理论和教学实践, 认为学习迁移可以在学习的任何阶段发生, 并能通过辅导、支架、互动、评估和

反思等方式进行加强。APLS 依据以上原则,分析与学生的交互上下文,依据最近发展区理论,通过问题库和元认知支架的多工具组合,促进学生在在线编程学习中的迁移发生。

「3.系统架构」

APLS 的开发框架包括基础层、应用层和交互层三个层级（图 1）。

基础层：APLS 的理论基础主要包括认知卸载理论，Zimmerman 的三阶段自我调节学习（SRL）模型与学习迁移理论。技术方面，系统基于 Coze 平台开发，由 doubao-Seed-1.8 深度思考模型和 Coze Studio 提供技术支持，并通过知识库、社区插件和自主开发的知识图谱插件等扩展其功能。

应用层：APLS 被赋予面向在线编程学习的教师的角色，并设定了编程学科知识库和保障内容主题聚焦的约束。此外，系统基于 SRL 模型和 workflow 技术，实现教学阶段的判断和针对性指导；基于信息缺口理论设计了问题库，问题库基于学习迁移和元认知原则动态生成问题，激发学生好奇心，促进学习迁移和元认知能力的提升；依据支架设计框架和 Agent Skills 设计原则提供认知和元认知支架，引导学生开展自我支架（Holton & Clarke,2006）；并通过学科知识图谱技术优化学生最近发展区的识别。

交互层：APLS 通过 Coze Project IDE 搭建用户界面，实现在线学习资源、学习进度、对话功能和问题库的整合，并支持多模态输出，包括文本说明、思维导图和插图以及概念图等，这些输出会根据学生学习策略的需要自适应呈现。

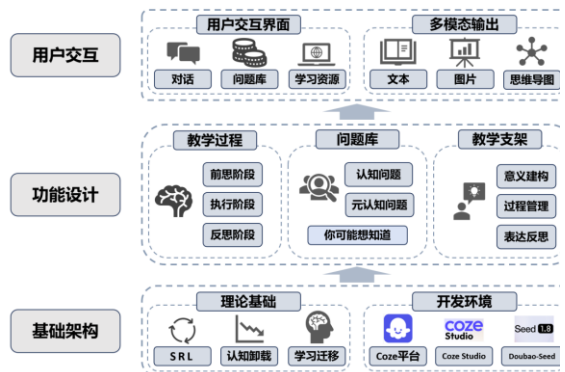


图 1 系统架构图

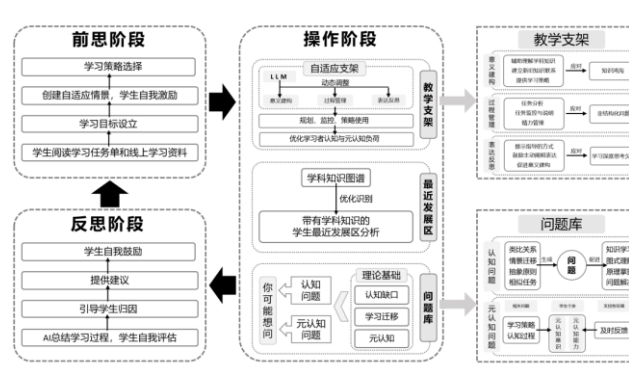


图 2 功能结构图

「4.功能设计」

基于上述系统框架，APLS 的主要功能设计如下（图 2）。

「4.1.整体交互流程」APLS 依据 Zimmerman（2002 年）的自我调节学习模型，将学习过程划分为前思阶段、执行阶段、反思阶段三个阶段。用户进入系统选择教学目标后，前思智能体将引导学生开始对话，调整预设学习目标，以对话询问的方式创设自适应情境，并与学习者共同制定整体学习策略。解决情景问题时，最近发展区智能体会依据知识图谱判定用户的节点位置与并以最近概念节点，为后续教学过程提供最近发展区信息；教学支架智能体将动态调用意义建构、过程管理、表达反思等支架，规划并监控用户的答题过程，并通过支架调用智能体以启发式提问的形式支撑学习者学习；同时，问题库智能体会依据最近发展区范围挖掘认知信息缺口，动态生成认知与元认知问题启发用户思考。完成编程任务后，反思智能体将总结学习过程并生成量表辅助用户自我评估；随后，归因智能体引导用户对学习结果进行归因，鼓励智能体将据此为学生提供后续学习建议并给予用户肯定与鼓励。

「4.2. 问题库设计」 本研究中问题库主要以信息缺口理论、学习迁移理论与元认知理论为基础，由认知问题和元认知问题组成。问题库概念源于信息缺口理论，通过上下文信息挖掘学习者想知但未知的知识，并以“你可能还想问”的形式呈现，旨在激发学习者的好奇心，提升其学习兴趣。认知问题设计主要以学习迁移理论为指导，通过使用类比关系、情景迁移、抽象原则、相似任务设计等方式（Hajian, 2019）动态生成问题，帮助学习者深化理解图式，掌握知识原理并提升问题解决能力。元认知问题设计基于 Schraw（2001）提出的元认知教学策略，通过学习策略、认知过程等元认知相关的问题提升学生的元认知意识，通过及时反馈营造支持性环境，培养学生元认知能力。

「4.3. 自适应支架设计」 自适应支架可以根据学生实时需求，动态支持其规划、监控、策略使用等关键 SRL 过程，优化学习者认知与元认知负荷（Azevedo et al., 2004）。APLS 中的支架基于 Quintana et al.（2004）提出的教育软件中支架设计的原则设计，包括意义建构、过程管理与表达反思三类，并通过 LLM 进行动态调整。意义建构支架主要辅助学习者理解学科知识，通过建立新旧知识间的联系，为学生提供学习策略等方式，应对知识鸿沟。过程管理支架则聚焦任务分析、进度监控与说明、精力管理等控制过程，应对学习的非结构化问题，学习者因知识储备匮乏而不知所措的情况。表达反思支架通过提示指导的方式鼓励学习者主动阐明进行表达，从而促进意义构建，以应对学习者学习深度思考欠缺的情况。

「5. 研究意义与展望」

本研究在以下三个层面具有创新。理论上，将认知卸载理论和学习迁移理论融入自我调节学习过程中，扩展了 SRL 的边界。实践上，引入问题库概念，通过为学生呈现多角度的信息、激发学生的好奇心，为面向学习迁移的教学和应对学生过度依赖 GAI 导致的认知卸载效应提供了可行的方案。学科层面，建立了在代码生成工具被广泛使用的背景下，于在线教育过程中培养学生计算思维的范式，可广泛应用于编程学习和在线教育领域。

但是，本研究当前主要聚焦于系统的设计与实现，缺乏实证研究证明其有效性，同时较为复杂的用户界面可能增加学习者外部认知负荷。未来本团队将进一步优化系统呈现方式，并开展准实验研究，探究系统对学生学习效果 and 元认知能力的影响及影响机制。

参考文献

- Chi, M. T., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational psychologist*, 49(4), 219-243.
- Proceedings of the National Academy of Sciences, 116(39), 19251-19257.
- Ford, J. K., Smith, E. M., Weissbein, D. A., Gully, S. M., & Salas, E. (1998). Relationships of goal orientation, metacognitive activity, and practice strategies with learning outcomes and transfer. *Journal of applied psychology*, 83(2), 218.
- Gerlich, M. (2025). AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking. *Societies*, 15(1), 6.
- Loewenstein, G. (1994). The psychology of curiosity: A review and reinterpretation. *Psychological bulletin*, 116(1), 75
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., ... & Soloway, E. (2018). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. In *Scaffolding* (pp. 337-386). Psychology Press.
- Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. *Trends in cognitive sciences*, 20(9), 676-

688.

Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional science*, 26(1), 113-125.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into practice*, 41(2), 64-70.