

小学机器人教育中具身学习模式构建与案例开发

Construction of an Embodied Learning Model and Case Development in Elementary School

Robotics Education

贾若文¹, 陈禹辰^{2*}, 董倩¹, 张新立¹

1 温州大学教育学院

2 悉尼大学教育学院

* oakleychen@foxmail.com

【摘要】 机器人教育在 K-12 教育中受到广泛关注。现阶段中小学机器人多拘泥于传统的讲授式教学，侧重基础知识与技能的传授，缺乏合适的教学模式。有研究指出，在机器人课程中，学习者在学习抽象内容时面临挑战，如构建结构良好的机器人等。具身学习理论强调学习者的身体与环境积极交互，重视多感官参与，将其与机器人教学结合能帮助学生体悟机器人教学的过程，促进学习参与感与体验感。因此，本研究提出基于具身学习的计算机编程方法(EL-CP)，在乐高编程机器人课程中进行实验，旨在助力未来研究开发更有效的机器人教学方法和计算机编程活动设计。

【关键词】 具身学习；机器人教育；计算机编程；学习参与

Abstract: Robotics education in K-12 is mostly traditional and lacks effective teaching models. Learners face challenges in understanding abstract concepts like building structured robots. Embodied learning, which emphasizes active interaction and multisensory participation, can enhance learning experience in robotics. This study proposes an Embodied Learning-based Computer Programming (EL-CP) approach, tested in the LEGO program robot, aiming to contribute to more effective robotics teaching and programming activity design.

Keywords: Intelligent Pedagogical Agent, Self-efficacy, Creativity

1. 引言

在人工智能（AI）时代，机器人教育逐渐受到 K-12 教育的广泛关注，并已被纳入全球 K-12 学校课程 (Zhang et al., 2023)。以往的研究指出，机器人教育中常见的教学方法强调学生在学习过程中通过自主学习或合作探究来建构机器人知识和技能 (Cheng et al., 2013; Zhong et al., 2019)。然而，由于工程和技术领域的知识和技能有限，青少年学生可能难以准确地构建机器人。此外，他们无法快速、直接地将编程与机器人的动作联系起来，也无法编写计算机程序来驱动机器人。这些困难可能会影响学生在机器人课程中的学习效果 (Sullivan & Bers, 2016)。

研究人员指出，教学方法对于机器人课程活动的设计和实施至关重要 (Zhang et al., 2023)。因此，有必要寻找一种合适的教学方法，帮助青少年学生克服这些困难。具身学习是具身认知理论的最新发展，强调学习者的身体与环境在认知过程中积极互动的重要性 (Shapiro, 2019; Zhong et al., 2021)。以往的研究已经验证了其在提高学习成绩、学习态度或课堂参与度方面的有效性 (Johnson-Glenberg et al., 2014)。因此，具身学习在支持青少年学生有效学习机

机器人课程方面显示出巨大潜力。然而，将具身学习与机器人教学相结合，以促进小学生机器人学习成绩的有效性却鲜为人知。因此，本研究提出了基于具身学习的计算机编程 (Embodied Learning-based Computer Programming, 即 EL-CP) 方法，将其应用于乐高编程机器人课程，并以小学生为例，设计了相关教学案例，旨在为未来我国中小学机器人教学的开展提供有益参考。

2. 机器人教育

机器人教育在 K-12 阶段日益普及 (Zhang et al., 2023; Zhong et al., 2019)。先前的研究发现，机器人教育对促进学生的学习和发展，提高学生自主学习的积极性起着至关重要的作用 (Bers et al., 2019)。

随着机器人技术的快速发展，越来越多教育机器人被应用于教学中，以促进特定领域知识和技能的发展 (Bers et al., 2019)。根据用户界面，教育机器人可分为有形机器人，虚拟机器人和混合机器人 (Sullivan & Bers, 2016; Jara et al., 2011)。在自动化和机器人课程中使用混合机器人能有效提高学生的机器人理论和知识水平以及实践能力。此外，研究表明，乐高机器人作为专为儿童设计的典型混合机器人已被广泛使用。在学习活动中融入基于乐高的作业可以激发学生的学习兴趣。为学生参与有效的机器人课程打下坚实的基础 (Lawhead et al., 2002; Chu et al., 2022)。因此，本研究采用乐高编程机器人套件作为学习工具，希望为学生提供更具有吸引力和更有效的机器人教育体验。

3. 具身学习

传统认知理论认为认知是一个计算过程 (Calvo & Gomila, 2008)。随着学习科学的发展，第二代认知理论开始受到关注。具身认知作为该理论的重要组成部分，强调了大脑、身体和环境在认知过程中的紧密联系 (Shapiro, 2019)。

具身学习是一种源自具身认知理论的教育实践，强调学习者身体在学习过程中的积极参与的重要性 (Hung et al., 2018)。通过这种学习方式，学习者可以通过具体的感觉运动体验来构建抽象知识。因此，具身学习可以为教育人员提供一种富有创造性和灵活性的教学方法，在学习者的身体、认知和学习环境之间建立有意义的联系，促进他们构建特定的知识和技能 (Hung et al., 2018;)。

近年来，学者们根据教育情境提出了一些具身学习的分类法。例如，Melcer 和 Isbister (2016) 开发了一个具身学习框架，包括身体性、对应性、协调性、转换性、映射性、游戏方式和环境七个类别。Skulmowski 和 Rey (2018) 的具身学习分类法包括两个维度：身体参与 (即低水平 vs. 高水平) 和任务整合 (身体活动是否以有意义的方式与学习任务相关，即偶然的 vs. 整合的)，此分类法为教育者提供了具身学习的全面概述，并被采纳为本研究的理论基础。

一些研究探索了使用机器人进行具身学习。例如，Zhong 等人 (2022) 研究了具有不同程度具身性的可编程机器人工具对 67 名五年级学生学习布尔运算的影响。结果显示，高度具身化组在编程和期末考试中的表现明显优于中等程度具身化组。更重要的是，它可以提高学生的学习成绩、学习参与度和学习态度，并减轻他们的认知负荷。然而，很少有研究探索在机器人教学中融入具身学习以提高学生的机器人学习成绩。因此，本研究提出了基于具身学习的机器人编程教学方法，并将其应用于小学的乐高编程机器人课程。

4. 小学机器人课程具身学习方法开发

具身学习理论强调学习者的知识学习、身体体验与环境耦合统一，注重学习者在自由开放的学习环境中展开多元互动，调动多感官通道的参与，有助于学习者的深度知识建构。由此可见，具身学习理论有望为改善我国中小学机器人教学中所存在的问题提供可行路径。因

此，本研究融合了具身学习的内涵、特征与设计理念，依据中小学生的身心特征，以项目式学习为依托，构建出具身视域下中小学机器人教学模式，包括四个主要阶段：介绍、知识和技能学习、小组合作、展示和评估（如图1所示），具体阐释如下：

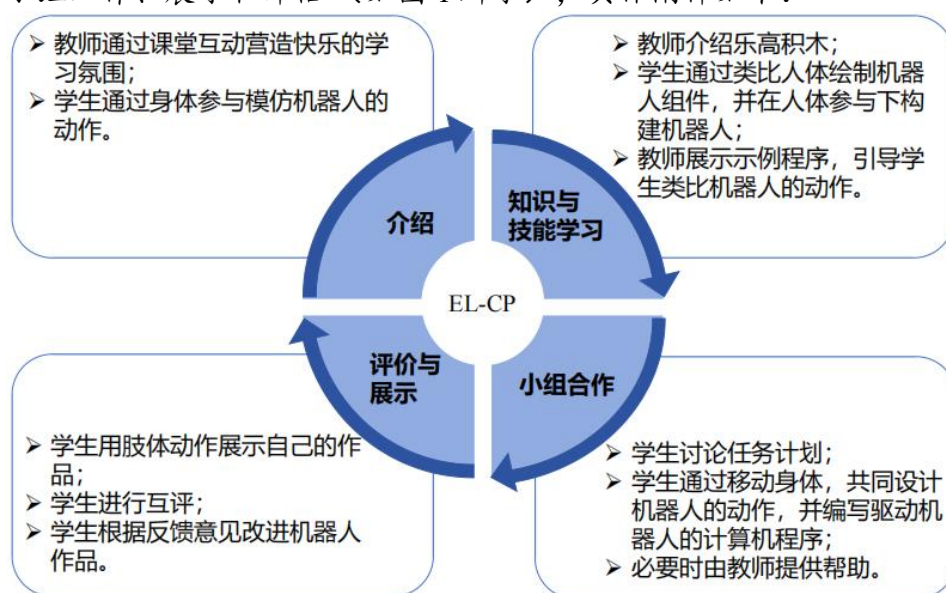


图1 EL-CP 方法的学习过程

4.1. 导入阶段

介绍阶段是具身视域下中小学机器人教学的初始阶段。在此阶段，教师依据学习内容与学习者身心特征，借助多模态的教学媒体与资源，创设真实且趣味的教学情境；提出驱动问题，并引导学习者将情境与已有知识经验相联系；组织课堂互动，建立起愉快轻松的学习氛围并邀请学生通过身体参与模仿机器人的动作，旨在激发他们的学习兴趣。

4.2. 知识与技能学习

知识与技能学习是具身视域下中小学机器人教学的基础阶段。在此阶段，老师让学生用身体参与的方式，画出人体部件（如手臂、腿）的结构。然后，老师介绍与机器人部件相对应的乐高积木，并让学生类比人体部件的结构，画出机器人部件（如执行器、传感器、控制器）的结构。此外，老师引导学生找出它们之间的相似之处。旨在帮助学生通过有意义的身体动作和体验来理解和掌握机器人知识。接下来，学生需要利用积木、传感器、USB线等搭建和连接机器人的各个部件。在搭建过程中，老师鼓励学生移动其对应的身体部件，帮助学生建立人体与机器人身体之间更深、更紧密的联系。搭建结束后，老师演示了驱动机器人的计算机程序示例，并指导学生根据所展示的程序类比机器人的动作，旨在帮助学生通过体会建立计算机编程与机器人动作之间的有意义的联系。

4.3. 方案设计与制作优化

小组合作在具身视域下中小学机器人教学中起着承前启后的作用。在此阶段，教师陈述任务要求后，学生与小组成员讨论任务计划。在此过程中，学生通过移动身体（如手臂、腿）来设计机器人的动作和驱动机器人的计算机程序。旨在将学生的身体经验与计算机编程建立有意义的联系，并帮助学生编写程序以准确地驱动机器人。根据计划，学生共同编写计算机程序来驱动机器人的运动，并优化工作直至完成。教师可以在必要时为学生提供帮助。

4.4. 展示与评价

展示与评价阶段的主要任务是通过展示与评价来检验学生学习成果。在此阶段，老师需要组织学生展示自己的机器人作品，并邀请其他同学进行点评和评价，学生可以在展示过程中与机器人一起跳舞和移动身体。展示结束后，学生需要根据反馈改进他们的机器人作品。

5.教学案例开发

本研究基于具身学习视域下中小学机器人教学模式，并立足于信息科技学科，针对中国东部某公立小学六年级学生开发了“跳舞机器人”的教学案例，根据小学生的知识接受程度及乐高 EV3 编程机器人的特点，将机器人与人体的特点联系起来，并根据机器人的各个部位设计不同的学习任务。具体活动流程阐述如下。

5.1. 教学内容与目标分析

“跳舞机器人”是针对浙教版小学信息技术六年级下册第二单元“与机器人零距离”设计的拓展性内容。本单元是小学信息科技人工智能模块的相关教学内容，是小学阶段机器人教学的尾声，也是五年级图形化编程学习内容的延续与深入。该课引入了乐高编程机器人，具体教学内容包括认识并了解乐高编程机器人的使用方法、组件、学会乐高编程机器人的搭建、通过基础的图像化编程使机器人运转起来。

该课的学习目标是：在介绍阶段，通过模仿机器人运动，了解机器人的构造及人与机器人的差异，激发学习兴趣与好奇心；在知识与技能学习阶段，了解乐高编程机器人零件的类型、作用与工作原理，并掌握控制机器人运行的图像化编程方法；在小组合作阶段，使用乐高编程机器人合作探索并完成“跳舞机器人”项目，以应用机器人知识与技能，培养创造力、问题解决与合作能力；在展示与评价阶段，通过展示、分享与评价，巩固与升华对机器人知识的理解，反思自身不足，提升学生的分享与表达能力。

5.2. 教学活动设计

5.2.1. 导入：和机器人一起跳舞

首先，教师播放了一段跳舞机器人的视频，并请学生模仿跳舞机器人的动作。接下来，教师重点讲解了“挥动手臂”这一学习任务。在播放机器人挥动手臂的视频后，教师邀请学生挥动手臂，感知和体验机器人手臂的动作。最后，所有学生都被要求思考两个问题：“组成机器人的部件有哪些？”和“人类是如何挥动手臂的？”图 2 显示学生观看视频并模仿跳舞机器人的动作。

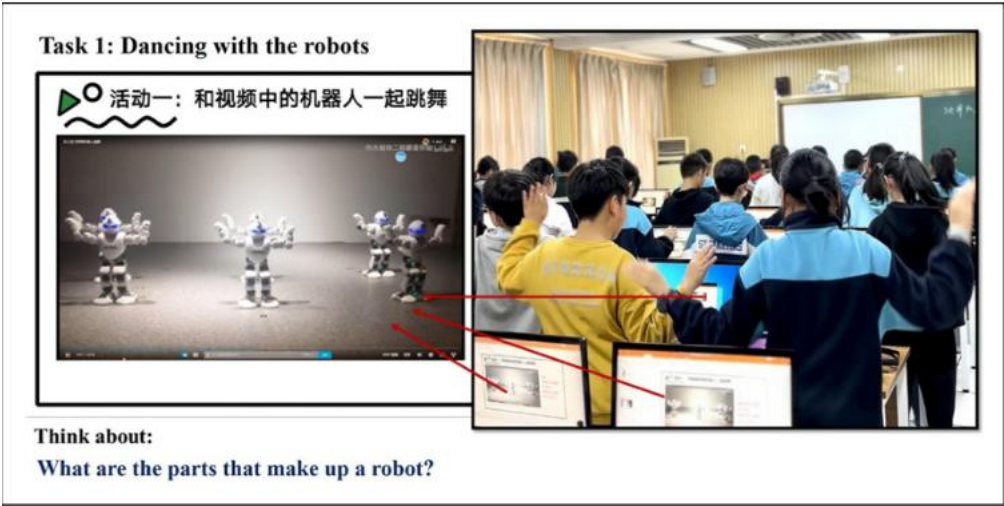


图 2 学生观看视频并模仿跳舞机器人的动作

5.2.2. 知识与技能学习：我与机器人的身体

首先，教师让学生挥臂并观察自己的手臂，在任务单上画出人类手臂的结构。然后，教师介绍了乐高的主要积木及其功能，以及一个与机器人手臂相对应的案例。然后，要求学生根据人的手臂在任务单上画出机器人手臂的草图（见图 3）。此外，教师还请学生找出人类手臂与机器人手臂之间的相似之处，帮助他们在具体的人类手臂与抽象的机器人手臂之间建立有意义的联系。随后，学生们根据自己的草图，用乐高积木搭建了机器人的手臂。在此过

程中，教师鼓励学生摆动手臂，帮助他们将人类手臂和机器人手臂更紧密地联系起来（见图4）。搭建好机器人手臂后，教师在屏幕上演示了驱动机器人挥动手臂的示例程序。在此过程中，教师引导学生根据演示程序类比机械臂的摆动动作（见图5）。

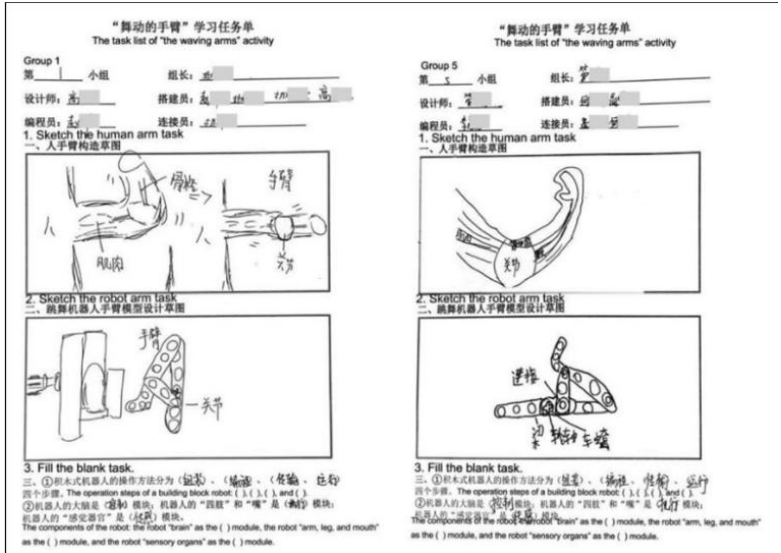


图3 任务清单及两组示例回答



图4 学生们一边摆动自己的手臂，一边制作机器人手臂



图5 教师引导学生通过身体参与来完成机械臂动作

5.2.3. 方案设计与制作优化：我为机器人编舞

首先，教师提出任务要求，将学习任务单发给学生，请他们完成跳舞机器人挥动手臂的任务。随后，学生通过模仿机器人舞动手臂的肢体动作，编排和分解舞蹈动作。根据动作顺序，学生们描述了机器人手臂的动作，并绘制了跳舞机器人挥动手臂的编程流程图。图6是实验组学生制作的机器人编舞示例和编程流程图。根据编排方案和编程流程图，每个小组需要在电脑上打开名为 EV3 Classroom 的电脑编程软件，编写跳舞机器人挥动手臂的程序。图


7展示了一组学生在EV3教室软件中创建的程序示例。然后，软件根据学生设计的电脑程序，生成并发送机器人动作指令，驱动机器人挥动手臂。学生们不断优化自己的作品，直至完成。

“小小编舞师”学习任务单
The task list of “We are choreographers” activity

Group 3
第 5 小组 组长: 李 编舞师: 李 程序设计员: 李

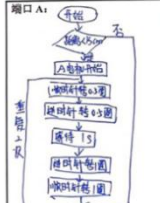
1. The “choreographer” simulates the actions of “the dancing robot”.
一、请“编舞师”带头亲自模拟你们小组的机器人要跳的舞蹈。
2. Please describe the actions of the dancing robot’s arms simply.
二、请用文字简单描述跳舞机器人手臂的动作

1. 左手顺时针转半圈, 逆时针转半圈, 再逆时针转半圈, 顺时针转半圈, 动作重复两次。
2. 右手与左手相反, 同样重复两次。



3. Draw the flow chart of programming the robot’s arms.
三、跳舞机器人手臂动作的流程图

端口 A1:



端口 B1:

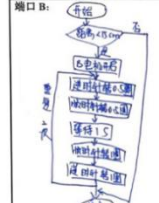


图 6 任务清单和一组学生的示范回答

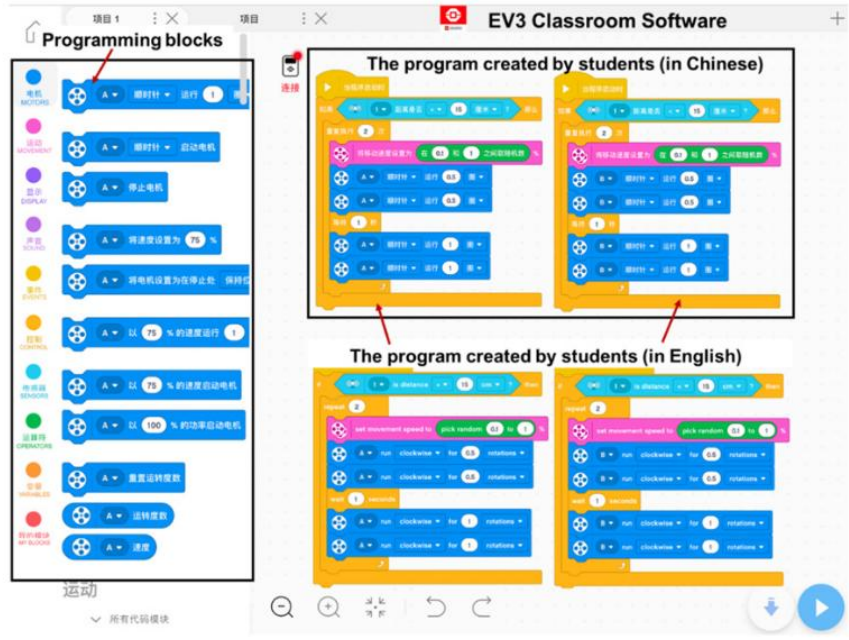


图 7 一组学生在 EV3 教室软件中创建的程序示例

5.2.4. 展示与评价：机器人舞蹈秀

学生们上台展示了他们的机器人挥动手臂作品。教师鼓励学生与机器人一起跳舞，展示他们的舞蹈作品（见图 8）。此外，在展示过程中，每个小组都要对其他小组的作品进行评价并提供反馈。学生可以根据反馈意见修改和优化自己的作品。



图 8 一组学生展示机器人并与之共舞的实例

6. 结语

随着创客教育、STEAM 教育的不断推进，技术资源更加开源与低门槛，中小学机器人教育将刮起热潮。本研究构建的具身视域下的中小学机器人教学模式，不仅关注学习者对机器人基本知识与技能的掌握，同时强调学习者身体与环境交互的过程中动手操作、合作探究、创新创造，以体悟机器人教学的过程，旨在为未来我国中小学机器人教学设计与实践提供有益参考。未来研究者可以基于该模式设计针对不同学段的教学案例，展开相关实证研究。

参考文献

- Bers,M.U.,Gonza lez-Gonz alez,C.,& Armas-Torres,M.B.(2019).Coding as a playground: Promotin g positive learning experiences in childhood classrooms.*Computers & Education*,138(3),130–145.<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.013>
- Calvo,P.,& Gomila,T.(2008).*Handbook of cognitive science: An embodied approach*.Elsevier.
- Cheng,C.C.,Huang,P.L.,& Huang,K.H.(2013).Cooperative learning in Lego robotics projects: Explo ring the impacts of group formation on interaction and achievement.*Journal of Networks*,8(7),1529–1535.<https://doi.org/10.4304/jnw.8.7.1529-1535>
- Chu,S.T.,Hwang,G.J.,& Tu,Y.F.(2022).Artificial intelligence-based robots in education: A systemati c review of selected SSCI publications.*Computers and Education: Artificial Intelligence*,3,100091.<https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100091>
- Hung,I.C.,Kinshuk,& Chen,N.S.(2018).Embodied interactive video lectures for improving learning comprehension and retention.*Computers & Education*,117,116–131.<https://doi.org/10.1016/j.c ompedu.2017.10.005>
- Jara,C.A.,Candelas,F.A.,Puente,S.T.,& Torres,F.(2011).Hands-on experiences of undergraduate stud ents in automatics and robotics using a virtual and remote laboratory.*Computers & Education*,57(4),2451–2461.<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.003>
- Johnson-Glenberg,M.C.,Birchfield,D.A.,Tolentino,L.,& Koziupa,T.(2014).Collaborative embodied l earning in mixed reality motion-capture environments: Two science studies.*Journal of Educati onal Psychology*,106(1),86–104.<https://doi.org/10.1037/a0034008>

- Lawhead, P.B., Duncan, M.E., Bland, C.G., Goldweber, M., Schep, M., Barnes, D.J., & Hollingsworth, R.G. (2002). A road map for teaching introductory programming using LEGO® mindstorms robots. *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(2), 191–201. <https://doi.org/10.1145/782941.783002>
- Melcer, E.F., & Isbister, K. (2016). Bridging the physical divide: A design framework for embodied learning games and simulations. *Proceedings of the 2016 CHI Conference extended abstracts on human factors in computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/2851581.2892455>
- Skulmowski, A., & Rey, G.D. (2018). Embodied learning: Introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0092-9>
- Sullivan, A., & Bers, M.U. (2016). Robotics in the early childhood classroom: Learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9304-5>
- Zhang, X., Chen, Y., Bao, Y., & Hu, L. (2023). Robot illustrated: Exploring elementary students' perceptions of robots via the draw-a-robot test. *Journal of Research on Technology in Education*, 1–26. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2232058>
- Zhong, B., & Wang, Y. (2019). Effects of roles assignment and learning styles on pair learning in robotics education. *International Journal of Technology and Design Education*, 31(1), 41–59. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09536-2>
- Zhong, B., Xia, L., & Su, S. (2022). Effects of programming tools with different degrees of embodiment on learning Boolean operations. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6211–6231. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10884-7>

哪一种学习支架更有效？学习支架对不同元认知水平学生学习成绩和计算思维的影响研究

Which Scaffolding is More Effective? A Study of the Effect of Scaffolding on the Learning Achievement and Computational Thinking of Students with Different Levels of Metacognition

朱玉蝶¹, 李伟^{1*}, 林家苗², 刘城烨³, 黄佶艺⁴, 李雯¹, 荣健康¹,

¹温州大学教育学院

²海宁市盐仓小学

³香港中文大学课程与教学系

⁴温州市瓯海区瞿溪第一小学

* liweiwzu@wzu.edu.cn

【摘要】 本研究旨在探讨学习支架类型和元认知水平对学生学习成绩和计算思维的影响。温州市某小学四年级 83 名学生参与了为期六周的实验，被分配至实验 1 班（ $n=41$ ）和实验 2 班（ $n=42$ ）。实验 1 班的学生采用反思型学习支架进行干预，实验 2 班的学生则采用支持型学习支架进行干预。实验结果表明，在计算思维倾向方面，学习支架类型与元认知水平具有交互作用。对于低元认知水平学生而言，支持型学习支架比反思型学习支架更有利于提升他们的计算思维倾向。然而，学习支架类型和个体元认知水平之间的交互对学习成绩没有显著影响。

【关键词】 计算思维；学习支架；元认知

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of scaffolding types and metacognitive level on students' learning achievement and computational thinking. Eighty-three fourth-grade students in an elementary school in Wenzhou City participated in a six-week experiment and were assigned to Experimental 1 ($n = 41$) and Experimental 2 ($n = 42$) classes. Students in Experiment 1 class were intervened with the reflective scaffolding, while students in Experiment 2 class were intervened with the supportive scaffolding. The results of the experiment showed that the type of scaffolding interacted with the level of metacognition in terms of computational thinking and metacognitive tendencies. For students with low metacognitive levels, supportive scaffolding were more beneficial than reflective scaffolding in enhancing their computational thinking tendencies and metacognitive tendencies. However, the interaction between type of scaffolding and individual metacognitive level did not have a significant effect on learning achievement.

Keywords: Computational Thinking, Scaffolding, Metacognition

1. 前言

随着数字化时代的到来，计算思维被认为是 21 世纪青少年的一项重要思维技能(Bocconi & K., 2022)。计算思维指的是利用计算机科学的基本概念来解决问题、设计系统和理解人类行为的一系列思维活动(Wing, 2006)。研究者认为，计算思维是学生理解计算机入门课程的

先决条件(F Joseph Agbo, 2021)。作为成功解决问题的关键技能之一, 计算思维与个人在日常生活中使用技术的能力有着密切关系(Kale et al., 2018)。

计算思维强调通过对任务的抽象和分解, 将复杂的任务逐步自动化。然而, 在实际执行任务时, 学生往往难以选择合适的方式来描述问题, 无法抽象问题, 无法将一个不知道如何将一个大而复杂的问题分解成小而简单的步骤, 这导致学生无法成功解决问题 (Rijke et al., 2018)。研究表明, 如果没有适当的指导, 学生在发展计算思维技能方面面临着重大挑战 (Denner et al., 2012)。因此, 研究者认为可以给学习者提供学习支架, 帮助学习者将高难度任务分解, 从而消除能力障碍的问题(Zhou et al., 2023)。研究者开发了一个学习者建模和自适应学习支架, 结果证明, 相较于未接受学习支架的学生而言, 接受学习支架的学生能构建更准确的模型, 对科学和计算思维概念表现出更好的理解(Basu et al., 2017)。此外, 研究发现, 在编程游戏中使用学习支架不仅可以提高学生的学习兴趣 and 动力, 还可以帮助他们更好地掌握和应用计算思维(Tikva & Tambouris, 2022)。

早期的研究多关注学习支架的影响, 但近期有更多的研究比较了不同支架类型的优势 (Kim et al., 2021)。研究证明, 不同类型的学习支架对学生的影响是不相同的 (Atman Uslu et al., 2022)。例如, 支持型支架可以通过提示的方法和机制来实现, 即通过提供关于解决方案的可能路径的提示来帮助学生达成解决方案 (Acovelli & Gamble, 1997)。反思型支架则可以帮助学习者回答“我做了什么?”或者“我下一步该怎么办?”, 引导学生对自己的行为进行反思 (Chen et al., 2023)。总之, 研究显示, 学习支架能显著促进学生计算思维的发展, 并对学习成果产生正面效应。本研究中重点关注支持型学习支架和反思型学习支架, 因为这两者分别与学生的领域知识和元认知思维密切相关 (Kim & Lim, 2019)。

元认知作为一种深层次的认知活动, 在人们的认知活动中起着监控、指导和调节的作用, 它的发展水平直接制约着人的智力和思维的发展水平 (秦利民 & Zhang, 2022)。研究表明, 由于学生元认知水平不同, 学生的解决问题的能力有所差异, 从而会影响到学习成就的高低 (Huang & Zheng, 2021)。元认知水平高的学生解决问题的能力会更高, 而元认知水平低的学生在问题解决活动中可能更需要帮助。因此, 针对不同元认知水平的学生应该提供不同的学习支架 (Kim & Lim, 2019)。综上所述, 本研究旨在探讨学习支架类型对不同元认知水平的学生的影响差异。研究问题如下:

- (1) 学习支架类型对不同元认知水平学生的学习成绩是否有影响?
- (2) 学习支架类型对不同元认知水平学生的计算思维倾向是否有影响?

2. 实验设计

2.1. 研究对象

温州市某小学四年级 83 名学生参与了为期六周的实验, 他们的平均年龄为 11-12 岁, 被分配至两个班。其中一个班为实验 1 班 (n=41), 另一个班为实验 2 班 (n=42)。学生信息均做匿名处理。

在实验班级内部, 通过收集实验对象元认知倾向问卷数据进行处理, 将实验对象根据元认知水平的高和低各分为两组。两个班由同一位老师授课, 学习与课程内容相同。

2.2. 学习材料

本实验选取了浙江省义务教育教科书四年级信息技术教材中的部分内容作为主要的学习内容。在实验过程中, 依据 Acovelli 和 Gamble (1997) 的研究, 支持型学习支架以提示和视觉材料的形式呈现, 提供课堂知识内容和学习者需要接受的指导。反思型学习支架由探索性

问题、暗示、总结等部分组成，为学习者提供了元认知问题，帮助他们回顾学习内容和反思学习过程(Chen et al., 2023)。两种类型支架的差异如表 1 所示。在为期四周的学习过程中，指导者没有提供额外的支持来控制实验。每次完成支架的设计后，都交由具有 4 年教学经验的实验学校的教师进行检阅和修改。

表 1 支持型和反思型支架的差异比较

| 支架类型 | 关键特征 | 呈现方式 | 主要内容概括 |
|-------|------|------|-----------|
| 支持型支架 | 提示 | 视觉资料 | 抽象理论解释 |
| | 指导 | 微视频 | 操作性知识步骤提示 |
| | | | 软件使用指导 |
| 反思型支架 | 问题 | 纸质资料 | 教学过程性反思 |
| | 反思 | 任务单 | 课堂总结性反思 |
| | | | 自我课堂评价反馈 |

根据支持型支架与反思型支架的差异，并结合学习内容，支架设计的具体内容如表 2 所示。

表 2 支持型和反思型支架的具体内容比较

| 课时 | 反思型支架 | 支持型支架 |
|--------------|--|--|
| 1 图文并茂美文章 | 在插入图片的过程中，你遇到了什么问题？ 在插入艺术字的过程中，你遇到了什么问题？ 本节课你学到了什么知识？ 请为你在本节课的表现做出评价。 | 提供插入图片的过程和方法的提示。 进行图片大小、位置调整的演示。 分享插入艺术字的方法视频。 |
| 2 巧用表格来排版 | 在插入表格的过程中，你遇到了什么问题？ 在美化表格的过程中，你遇到了什么问题？ 本节课你学到了什么知识？ 请为你在本节课的表现做出评价。 | 提示插入表格的过程。 分享调整表格大小、位置和颜色的视频。 演示添加文本框的步骤。 展示组合图形的要点与技巧。 |
| 3 采集生活点滴 | 在插入表格的过程中，你遇到了什么问题？ 在美化表格的过程中，你遇到了什么问题？ 本节课你学到了什么知识？ 请为你在本节课的表现做出评价。 | 展示耳麦的连接方法视频。 分享资料的分类技巧与方法。 提示录音的步骤与过程。 |
| 4 精彩的图片剪辑 | 在插入表格的过程中，你遇到了什么问题？ 在美化表格的过程中，你遇到了什么问题？ 本节课你学到了什么知识？ 请为你在本节课的表现做出评价。 | 提示保存图片的步骤与要点。 分享裁剪图片的过程、步骤和方法。 |

2.3. 研究工具

本研究的测量工具包括学习成绩前测试题、学习成绩后测试题、计算思维倾向问卷以及元认知倾向问卷。其中，学习成绩的前测、后测试题由经验丰富的教师结合学生所学知识自主出题，试卷完成后由该领域专家共同检阅通过，难度适合四年级学生的水平。前后测试题都包含 10 道选择题。每套题目中都含有两个反向思维题，每题十分，共计 100 分。前后测试题的组成结构大致相同，且难度相差不大。

计算思维倾向问卷改编自 Hwang and Li (2020)所开发的量表。它由 6 个题目组成，采用 5 点李克特量表评分方案（即：非常同意、同意、一般、不同意、非常不同意）。问卷的 Cronbach's alpha 值为 0.763。

元认知倾向问卷改编自 Lai and Hwang (2014)所开发的量表，包含 5 个条目，其 Cronbach's alpha 值为 0.757。问卷采用 5 点李克特量表进行评分，分值从 1 至 5，依次代表“完全不同意”、“不同意”、“中立”、“同意”和“完全同意”。

2.4. 实验流程

本实验共持续六周，每周一课时，每次课程 45 分钟。在第一周，学生需要完成前测和前问卷。在第二周至第五周，教师对学生们进行授课，其中，实验 1 班的学生采用反思型学习支架进行干预，实验 2 班的学生则采用支持型学习支架进行干预。在第六周，学生完成后测知识测验，并填写后测问卷。

2.5. 数据分析方法

在本次实验研究中，为了区分不同元认知水平的学生，根据元认知倾向前问卷评分，将学生分为高元认知组和低元认知组。实验 1 班得分高于中位数（3.8）为元认知水平高，低于的为元认知水平低；实验 2 班得分高于中位数（4.0）为元认知水平高，低于的为元认知水平低。

在剔除了异常情况的数据之后，收集到了实验 1 班高元认知水平组 16 个样本量，低元认知组 14 个样本量，1 组总计样本量为 30 个；实验 2 班高元认知水平组 15 个样本量，低元认知组 15 个样本量，2 组总计样本量为 30 个。两组共计样本量为 60 个。实验对象情况如表 3 所示。

表 3 实验对象情况调查表

| 支架班级 | 元认知分组 | 个案数 |
|--------|-------|-----|
| 实验 1 班 | 低元认知 | 14 |
| | 高元认知 | 16 |
| | 总计 | 30 |
| 实验 2 | 低元认知 | 15 |
| | 高元认知 | 15 |
| | 总计 | 30 |
| 总计 | 低元认知 | 29 |
| | 高元认知 | 31 |
| | 总计 | 60 |

3.实验结果

3.1. 学习成绩

为了了解学习支架类型和元认知水平对学生学习成绩的影响，本研究采用双因素协方差的数据分析方法。将学生的前测成绩作为协变量，消除学习者在学习活动前原有知识水平的差异。自变量为学习支架类型和元认知水平，因变量为学生的学习成绩。

表 4 学生学习成绩的双因素协方差分析结果

| 变量 | 平方和 | 自由度 | 均方 | <i>F</i> | <i>P</i> | η^2 |
|------------|-----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 前测知识总分 | 1023.897 | 1 | 1023.897 | 2.911 | .094 | .050 |
| 元认知分组 | 21.311 | 1 | 21.311 | .061 | .806 | .001 |
| 班级 | 443.659 | 1 | 443.659 | 1.261 | .266 | .022 |
| 元认知分组 * 班级 | 314.317 | 1 | 314.317 | .894 | .349 | .016 |
| Error | 19345.627 | 55 | 351.739 | | | |

双因素协方差分析结果如表 4 所示，在学习成绩方面，学习支架类型和元认知水平之间不存在显著交互作用($F = .894, p > 0.05$)，说明学习支架类型和元认知水平不会共同对学生学习成绩产生显著影响。此外，学习支架类型($F = 1.261, p > 0.05$)和元认知水平($F = 0.061, p > 0.05$)对学生的学习成绩也没有显著影响。

3.2. 计算思维倾向

为了了解学习支架类型和元认知水平对学生计算思维倾向发展的影响，本研究采用了双因素协方差分析方法。双因素协方差结果分析如表 5 所示，在计算思维倾向方面，支架类型和元认知水平之间存在显著的交互作用($F = 5.973, p < 0.05$)，两者之间的交互效应量为 0.098。

表 5 学生计算思维倾向的的双因素协方差分析结果

| 变量 | 平方和 | 自由度 | 均方 | <i>F</i> | <i>P</i> | η^2 |
|------------|--------|-----|-------|----------|----------|----------|
| 班级 | 3.179 | 1 | 3.179 | 14.720** | .000 | .211 |
| 元认知分组 | .012 | 1 | .012 | .056 | .814 | .001 |
| 班级 * 元认知分组 | 1.290 | 1 | 1.290 | 5.973* | .018 | .098 |
| Error | 11.878 | 55 | .216 | | | |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

进一步分析元认知水平对学生计算思维倾向的简单主效应，如表 6 所示。结果表明，实验 1 班($F = 3.658, p > 0.05$)和实验 2 班($F = 2.783, p > 0.05$)学生的元认知水平在计算思维倾向方面均没有显著性差异。

表 6 元认知水平对学生计算思维倾向的简单主效应分析结果

| 变量 | 平方和 | 自由度 | 均方 | <i>F</i> | <i>P</i> | η^2 |
|-------------------|-----|---------|----|----------|----------|----------|
| 实验 1 班 (反思型支架) | 组间 | .819 | 1 | .819 | 3.658 | .064 |
| | 组内 | 6.042 | 27 | .224 | | |
| | 总计 | 437.417 | 30 | | | |
| 实验 2 班 (支持型支架) | 组间 | .588 | 1 | .588 | 2.783 | .129 |
| | 组内 | 5.709 | 27 | .211 | | |
| | 总计 | 561.083 | 30 | | | |

表 7 学习支架类型对学生计算思维倾向的简单主效应分析结果

| 变量 | 平方和 | 自由度 | 均方 | <i>F</i> | <i>P</i> | η^2 |
|--------|-----|-------|----|----------|-----------|----------|
| 低元认知水平 | 组间 | 4.247 | 1 | 4.247 | 18.527*** | .000 |

| | | | | | | | |
|--------|----|---------|----|------|------|------|------|
| | 组内 | 5.960 | 26 | .229 | | | |
| | 总计 | 474.083 | 29 | | | | |
| 高元认知水平 | 组间 | .151 | 1 | .151 | .744 | .314 | .018 |
| | 组内 | 5.687 | 28 | .203 | | | |
| | 总计 | 524.417 | 31 | | | | |

*** $p < 0.001$

表 7 所示为学习支架类型对学生计算思维倾向的简单主效应分析结果。低元认知水平的学生在学习过程中使用不同的学习支架，计算思维倾向发展有显著性差异($F = 18.527$, $p < 0.001$)。高元认知水平的学生在学习过程中使用不同的学习支架，计算思维倾向发展没有显著性差异($F = 0.744$, $p > 0.05$)。结果表明，相比元认知水平高的学生，学习支架更有利于元认知水平低的学生。

图 1 为学习支架类型与元认知水平对学生计算思维倾向影响的交互作用图。结果表明，采用支持型学习支架的学生比使用反思型学习支架的学生具有更高的计算思维倾向。此外，当使用支持型学习支架时，低元认知水平的学生的计算思维倾向发展明显高于高元认知水平的学生。

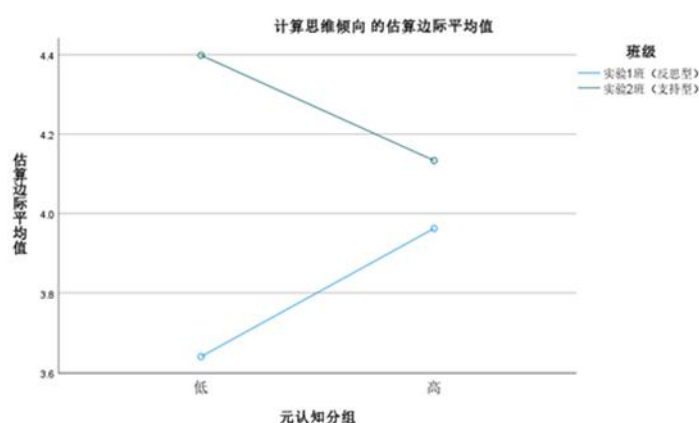


图 1 学习支架和元认知水平在计算思维倾向中的交互作用

4. 讨论与结论

本研究考察了学习支架类型对不同元认知水平学生的学习成绩、计算思维倾向和元认知倾向的影响。实验结果表明，在计算思维倾向和元认知倾向方面，学习支架类型与元认知水平具有交互作用。对于低元认知水平学生而言，支持型学习支架比反思型学习支架更有利于提升他们的计算思维倾向和元认知倾向。然而，学习支架类型和个体元认知水平之间的交互对学习成绩没有显著影响。

在学习成绩方面，根据研究结果，学习成绩并未受到支架类型、元认知水平以及这两者相互作用的影响。这种现象可能源于实验持续时间较短和教学课时不足，这限制了支架对学生学习干预的效果。

在计算思维倾向的发展上，分析结果显示，支架类型与元认知水平之间存在显著的相互作用。具体来说，接受支持型学习支架的学生展现出比使用反思型学习支架的学生更强烈的计算思维倾向。以往研究发现，在空间能力自我效能方面，支持性学习支架比反思性学习支架更有效，这与本研究的发现相呼应(Atman Uslu et al., 2022)。因此，可以推断支持型学习支架对于促进学生计算思维倾向的发展起到了更为关键的作用。

此外，本研究也存在一些局限性。首先，本研究的样本总量较小，可能导致实验结果代表性弱，推荐后续研究可以扩大样本量。其次，本实验的实验周期较短，对于习惯传统模式教学的学生来说，支架的干预作用并不明显，使某些方面的实验结果并不显著。建议未来的研究者考虑延长实验时间，以增强支架对学生学习过程的干预效果。

参考文献

- Acovelli, M., & Gamble, M. (1997). A Coaching Agent for Learners Using Multimedia Simulations. *Educational Technology*, 37, 44-48.
- Atman Uslu, N., Yildiz Durak, H., & Ay, G. M. (2022). Comparing reflective and supportive scaffolding in 3D computer - aided design course: Engineering students' metacognitive strategies, spatial ability self - efficacy, and spatial anxiety. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(5), 1454-1469.
- Basu, S., Biswas, G., & Kinnebrew, J. S. (2017). Learner modeling for adaptive scaffolding in a Computational Thinking-based science learning environment. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27(1), 5-53.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Kampylis, P., Dagienė, V., Wastiau, P., Engelhardt, , & K., E., J., Horvath, M.A., Jasutė, E., Malagoli, C., Masiulionytė-Dagienė, V. and Stupurienė, G. (2022). Reviewing Computational Thinking in Compulsory Education.
- Chen, C. H., Liu, T. K., & Huang, K. (2023). Scaffolding vocational high school students computational thinking with cognitive and metacognitive prompts in learning about programmable logic controllers. *Journal of Research on Technology in Education*, 55(3), 527-544.
- Denner, J., Werner, L., & Ortiz, E. (2012). Computer games created by middle school girls: Can they be used to measure understanding of computer science concepts? *Computers & Education*, 58(1), 240-249.
- F Joseph Agbo, S. S. O., J Suhonen, M Tukiainen. (2021). iThinkSmart: Immersive virtual reality mini games to facilitate students' computational thinking skills.
- Huang, Y., & Zheng, X. (2021). Effects of Scaffolding Types and Individual Metacognition Levels on Learning Achievement in Online Collaborative Argumentation.
- Hwang, G.-J., & Li, K.-C. (2020). Trends and strategies for conducting effective STEM research: Gwo-Jen Hwang arch and applications: a mobile and ubiquitous learning perspective.
- Kale, U., Akcaoglu, M., Cullen, T., Goh, D., Devine, L., Calvert, N., & Grise, K. (2018). Computational What? Relating Computational Thinking to Teaching. *TechTrends*, 62(6), 574-584.
- Kim, J. Y., & Lim, K. Y. (2019). Promoting learning in online, ill-structured problem solving: The effects of scaffolding type and metacognition level. *Computers & Education*, 138, 116-129.
- Kim, N. J., Vicentini, C. R., & Belland, B. R. (2021). Influence of Scaffolding on Information Literacy and Argumentation Skills in Virtual Field Trips and Problem-Based Learning for Scientific Problem Solving. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(2), 215-236.
- Lai, C.-L., & Hwang, G.-J. (2014). Effects of mobile learning time on students' conception of collaboration, communication, complex problem-solving, meta-cognitive awareness and creativity.

- Rijke, W. J., Bollen, L., Eysink, T. H. S., & Tolboom, J. L. J. (2018). Computational Thinking in Primary School: An Examination of Abstraction and Decomposition in Different Age Groups [Article]. *Informatics in Education*, 17(1), 77-92.
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2022). The effect of scaffolding programming games and attitudes towards programming on the development of Computational Thinking. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6845-6867.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Zhou, Y., Chai, C. S., Li, X., Ma, C., Li, B., Yu, D., & Liang, J.-C. (2023). Application of Metacognitive Planning Scaffolding for the Cultivation of Computational Thinking. *Journal of Educational Computing Research*, 61(6), 1123-1142.
- 秦利民, & Zhang, L. J. (2022). 近 10 年(2011-2020)国际元认知研究动态:回顾与展望. *外语学刊* (3), 98-106.