

促进小学生计算思维的均衡发展：一种跨区域协作的无屏幕机器人编程教育模式

Promoting Balanced Development of Computational Thinking in Elementary School Students: A Screen-Free Robotics Programming Education Model Based on Cross-Regional Collaboration

王寅玮^{1*}, 金凯莹², 应浩³

¹ 宁海县银河小学

² 宁海县银河小学

³ 宁海县桥头胡中心小学

* nhwyw@126.com

【摘要】 本研究聚焦于在城乡教育融合背景下，无屏编程机器人对小学生计算思维发展的影响。通过选取城区与城乡结合部两所小学一二年级学生开展 15 周对比实验，发现无屏编程机器人教学在提升学生计算思维方面效果显著，尤其在序列化思维和条件逻辑方面。且城乡结合部学生在模式识别能力提升上更为突出，同时跨校协作增强了学生的学习参与度。研究为义务教育低学段计算思维培养提供了城乡协同的创新路径，也为教育公平视角下的技术工具设计提供了实证依据。

【关键词】 无屏编程机器人；计算思维发展；城乡教育协作；跨区域学习共同体；教育公平

Abstract: This study focuses on the impact of screen-free programming robots on the development of computational thinking among elementary school students, under the context of urban and rural education integration. By conducting a 15-week comparative experiment with first and second-grade students from two primary schools located in urban and peri-urban areas, it was found that teaching with screen-free programming robots is notably effective in enhancing students' computational thinking, particularly in sequential thinking and conditional logic. Students in peri-urban areas showed more significant improvement in pattern recognition abilities. Moreover, cross-school collaboration increased students' engagement in learning. This research provides an innovative approach for fostering computational thinking among younger students in compulsory education, promoting synergy between urban and rural areas, and offers empirical evidence for the design of technological tools aimed at educational equity.

Keywords: Screen-free programming robots; development of computational thinking; urban-rural education collaboration; cross-regional learning community; educational equity

1. 引言

1.1. 背景

当今人工智能与数字化转型的时代，计算思维（Computational Thinking, CT）已经成为 21 世纪核心素养的重要组成部分，也成为了基础教育改革的关键目标。自 2006 年提出“计

算思维是运用计算机科学基本概念解决问题、设计系统和理解人类行为的一种普适性思维”以来 (Wing & J. M., 2006), 其重要性得到了国际组织的广泛认可。经济合作与发展组织 (OECD, 2020) 在《面向 2030 的学习框架》中明确将 CT 列为“数字时代学生必备能力”, 强调通过算法设计、模式识别等核心能力培养系统性逻辑思维。美国、英国、芬兰等国家已经将编程教育从中学下移至小学甚至幼儿园阶段, 我国《义务教育信息科技课程标准 (2022 年版)》也将 CT 列为学科核心素养, 要求从小学低年级开始渗透“问题分解 - 抽象建模 - 算法实现”的思维训练。

然而, 当前主流的编程工具大多依赖屏幕交互, 这对低龄儿童的认知发展存在潜在的制约 (张春艳和宋美霞, 2023)。神经科学研究表明, 低龄儿童 (6 - 8 岁) 前额叶皮层尚未成熟, 过度依赖视觉符号操作可能导致认知负荷超载 (Johnson, R., & Smith, T., 2024)。例如, 图形化编程中复杂的界面元素, 像嵌套积木、多级菜单等, 很容易分散儿童的注意力, 而虚拟角色的抽象行为也难以与儿童的具身经验相联结。更关键的是, 屏幕化工具削弱了“动手思考”的具身认知过程, 儿童通过触觉反馈与物理空间操作建构逻辑的能力被显著抑制, 这种“去身体化”的学习模式可能阻碍低龄儿童从具体经验向抽象思维的过渡。

与此同时, 城乡教育资源存在着结构性差异, 这导致计算思维教育呈现出“城区超前、乡村滞后”的失衡态势。据教育部统计, 2022 年城市小学编程课程开设率达 78%, 而乡村地区仅为 23% (教育部, 2025)。这种差距不仅体现在硬件配置上, 还反映在教学设计能力上。乡村教师常常因为缺乏培训, 将编程课简化为“软件操作指导”, 难以触及 CT 核心能力的培养。在教育公平的视角下, 如何通过技术创新实现资源再分配, 成为破解城乡教育失衡的关键命题。

1.2. 研究目的与意义

本研究的目的在于探讨无屏编程机器人在跨区域学习共同体中对小学生计算思维发展的影响。通过选取城区与城乡结合部两所小学一二年级学生开展对比实验, 我们希望了解无屏编程机器人教学是否能够提升学生的计算思维能力, 以及这种教学方式在城乡不同区域的效果差异。

本研究具有重要的意义。一方面, 为义务教育低学段计算思维培养提供了城乡协同的创新路径。通过跨区域学习共同体的构建, 实现城乡教育资源的互补, 让乡村学生也能享受到优质的编程教育资源, 促进教育公平。另一方面, 为教育公平视角下的技术工具设计提供了实证依据。研究结果可以为开发更适合低龄儿童的编程工具提供参考, 推动儿童计算思维与编程教育的均衡发展。

2. 实践对策

2.1. 构建跨区域学习共同体

2.1.1. 建立城乡合作机制

为了实现城乡教育资源的有效整合, 促进小学生计算思维的发展, 建立跨区域学习共同体的合作机制至关重要。首先, 城区和城乡结合部的学校需要签订合作协议, 明确双方的权利和义务。例如, 城区学校可以提供专业的编程教师培训资源、先进的教学理念和优质的课程设计; 城乡结合部学校则可以提供实践场地和学生参与实践的机会。

在合作过程中, 要建立定期的沟通会议制度。双方学校的领导、教师可以每月举行一次线上或线下的会议, 共同商讨教学计划、交流学生的学习情况和解决遇到的问题。此外, 还

可以成立联合教学小组，由城区和城乡结合部的教师共同组成，共同备课、设计教学活动和评价方案。

2.1.2. 设计跨校协作任务

设计适合跨区域学习共同体的跨校协作任务是激发学生学习兴趣和提升计算思维的关键。任务的设计要具有趣味性、挑战性和开放性。例如，可以设计一个“智能城市建设”的编程项目，让城区和城乡结合部的学生分组合作。城区学生可以利用其丰富的信息资源和先进的技术设备，负责设计智能城市的整体架构和功能模块；城乡结合部学生则可以根据当地的实际情况，提供关于城市建设的实践经验和创意想法，如设计适合乡村环境的智能农业设备。

在任务实施过程中，要为学生提供明确的任务目标、时间节点和评价标准。同时，要鼓励学生之间进行充分的沟通和协作，可以通过线上交流平台、视频会议等方式，让学生及时分享自己的进展和遇到的问题。

2.1.3. 制定效度保障措施

①**教学标准化**：实验组的教师接受了玛塔机器人专项培训，共 12 学时，并且需要通过模拟授课考核才能上岗。同时，使用统一的教案，包括教学目标、任务脚本、评价标准等，教师每周还需要提交教学反思日志。

②**数据三角验证**：将 CTS 分数、机器人操作数据与作品评分进行交叉比对，确保研究结论的一致性。同时，随机抽取 30% 的课堂录像，由双人独立编码，Kappa 值达到 0.85，保证了数据的可靠性。

③**伦理控制**：对照组学生在实验结束后，可以获得玛塔机器人的体验课程。所有数据都进行匿名处理，仅用于学术研究。

2.2. 研究对象与分组

我们选择了某县城区小学（银河小学）和城乡结合部小学（桥头胡中心小学）的一、二年级学生，共 252 名学生参与研究。将他们分为实验组和对照组：

表 1 实验分组

实验组 (126 名 学 生)	城区实验组 (银河小学, 63 名学生)	使用玛塔机器人, 并参与跨校协作任务
	城乡结合部实验组 (桥头胡中心小学, 63 名学生)	同样使用玛塔机器人, 但更侧重于硬件的调试和适应不同场景的操作
对照组 (126 名 学 生)	城区对照组 (银河小学, 63 名学生)	上常规的信息技术课, 比如文档编辑、网络搜索等, 不涉及编程内容
	城乡结合部对照组 (桥头胡中心小学, 63 名学生)	课程内容与城区对照组相同, 确保研究变量的唯一性

在研究开始前，通过计算思维量表（CTS）的前测（详见附件 1），确认四组学生在序列化思维、条件逻辑等关键维度上没有显著差异，保证了研究的公平性。

2.3. 设备选择与课程架构

2.3.1. 编程工具演进：从屏幕化到无屏具身交互

编程工具的设计直接影响着 CT 培养的效能。第一代屏幕化工具，如 ScratchJr，通过可视化积木降低了操作门槛，使得编程对于初学者来说更加容易上手。它的可视化界面让学生可以直观地看到编程的过程和结果，激发了学生的学习兴趣。然而，其二维界面难以支持空

间推理能力的发展。学生在操作 ScratchJr 时，更多地是在平面上进行编程操作，缺乏对三维空间的感知和理解。

近年来兴起的无屏编程工具，如 Matatalab、Cubetto，通过物理模块与机器人实体交互，更契合低龄儿童的具身认知需求 (Matatalab,2025)。触觉反馈，如指令卡排列，帮助儿童将抽象逻辑“锚定”于物理操作。神经科学证据表明，无屏工具激活的体感皮层活动强度显著高于屏幕工具 (fMRI, Smith et al., 2021)。例如，当儿童使用 Matatalab 的指令卡为机器人编程时，他们需要通过触摸、排列指令卡来实现机器人的移动，这种亲身的操作体验让他们能够更深刻地理解编程的逻辑。

为了更直观地比较屏幕化编程工具和无屏编程工具的特点，我们可以看以下表格：

表 2 屏幕化编程工具和无屏编程工具的特点

编程工具类型	优点	缺点
屏幕化编程工具（如 ScratchJr）	可视化界面，降低操作门槛，激发学习兴趣	二维界面，难以支持空间推理能力发展，削弱具身认知过程
无屏编程工具（如 Matatalab、Cubetto）	契合具身认知需求，通过触觉反馈促进逻辑理解	缺乏屏幕的直观展示，可能在信息呈现上不够丰富

基于上述分析，本研究主要使用玛塔编程机器人 (Matatalab) 作为教学工具。它的优势在于：

- ①不需要依赖屏幕，通过实体的指令卡来操作机器人，这样可以避免学生过度依赖屏幕；
- ②机器人有灯光、声音和动作等多种反馈方式，让学生能够更直观地看到自己的操作结果；
- ③支持蓝牙连接和云端数据同步，方便城市和乡村的学生进行协作编程。

2.3.2 课程实施递进：从基础化到综合实践应用

课程总共持续 15 周，每周安排 2 节课，每节课 40 分钟。课程分为三个阶段：

- ①基础操作阶段（第 1-4 周）：学生学习如何使用指令卡控制机器人，以及如何调试机器人的传感器，比如让机器人避开障碍物；
- ②协作建构阶段（第 5-11 周）：城市和乡村的学生组成小组，共同完成一些项目，比如设计城市到乡村的物资运输路线；
- ③综合应用阶段（第 12-15 周）：学生解决更复杂的实际问题，比如设计智能垃圾分类系统，这需要他们综合运用之前学到的序列、循环和条件逻辑等知识。

2.4. 打造式代码新视界

2.4.1. 基于具身认知理论的教学活动设计

根据具身认知理论，无屏编程教学应注重通过物理交互将抽象的编程逻辑转化为可触摸的具象经验。在教学活动设计中，可以采用以下方法：

首先，设计实物操作活动。例如，在教授编程中的序列概念时，可以让学生使用无屏编程机器人的指令卡，按照一定的顺序排列，控制机器人前进、后退、转弯等动作。通过这种亲身的操作体验，学生能够更直观地理解序列的含义。

其次，开展情境教学。创设与学生生活实际相关的情境，如“拯救小动物”的情境。学生需要通过编程控制机器人穿越障碍，找到被困的小动物。在这个情境中，学生不仅能够学习编程知识，还能培养解决实际问题的能力。

2.4.2 个性化教学与分层指导

每个学生的学习能力和兴趣爱好都存在差异，因此在无屏编程教学中要实施个性化教学和分层指导。教师可以在课程开始前对学生进行评估，了解他们的编程基础和学习能力。根据评估结果，将学生分为不同的层次，为每个层次的学生制定不同的教学目标和任务。

对于基础较弱的学生，教师可以提供更多的指导和帮助，从简单的编程指令开始教起，逐步引导他们掌握编程的基本技能。对于基础较好的学生，可以提供一些拓展性的任务，如让他们设计更复杂的程序或进行编程创意作品的制作。

同时，要关注学生的兴趣爱好，根据学生的兴趣设计教学内容。例如，如果学生对机器人足球感兴趣，教师可以设计与机器人足球相关的编程任务，让学生在对自己感兴趣的领域中深入学习编程知识。

2.4.3. 提升教师专业素养

①开展专项培训

为了确保无屏编程教学的质量，需要对教师进行专项培训。培训内容可以包括无屏编程工具的使用、具身认知理论在教学中的应用、跨区域学习共同体的组织与管理等方面。可以邀请相关领域的专家来校开展讲座和培训课程，让教师了解最新的编程教育理念和技术。同时，组织教师参加实践操作培训，让他们亲身体验无屏编程教学的过程，掌握教学技巧和方法。

②建立教师交流平台

建立教师交流平台可以促进教师之间的经验分享和合作。可以创建线上交流群，让城区和城乡结合部的教师在群里分享教学心得、遇到的问题和解决方案。此外，还可以定期组织教师教学研讨会，让教师们在研讨会上展示自己的教学成果，共同探讨教学中存在的问题和改进措施。

通过教师之间的交流和合作，能够不断提升教师的专业素养，为无屏编程教学的顺利开展提供有力的保障。

③完善教学评价体系

首先，传统的教学评价往往只注重学生的考试成绩，而在无屏编程教学中，需要建立多元化的评价指标。评价指标可以包括学生的计算思维能力、实践操作能力、团队协作能力、创新能力等方面。例如，在评价学生的计算思维能力时，可以通过观察学生在编程过程中对问题的分析、分解和解决能力来进行评估。在评价学生的实践操作能力时，可以看学生对无屏编程工具的熟练使用程度和完成编程任务的质量。在评价学生的团队协作能力时，可以观察学生在跨校协作任务中的沟通、合作和分工情况。

其次，要将过程性评价与终结性评价相结合，以更全面地反映学生的学习情况。过程性评价可以在教学过程中随时进行，通过课堂观察、学生作业、小组讨论等方式，及时了解学生的学习进展和存在的问题，并给予及时的反馈和指导。终结性评价则可以在课程结束后进行，通过考试、项目作品展示等方式，对学生的学习成果进行综合评价。将过程性评价和终结性评价的结果相结合，能够更客观、准确地评价学生的学习情况，为学生的学习和教师的教学提供有价值的参考。

表 3 教学评价

评价类型	评价方式	评价内容
过程性评价	课堂观察、学生作业、小组讨论	学习态度、知识掌握情况、团队协作表现

终结性评价	考试、项目作品展示	计算思维能力、实践操作能力、创新能力
-------	-----------	--------------------

3.实践结果分析

3.1.数据收集

为了全面评估玛塔机器人的教学效果，我们从以下几个方面收集数据：

①计算思维发展评估：使用修订版的计算思维量表（CTS），包含 15 个题目，信度系数为 0.81，分别在研究开始前和结束后进行测试，间隔 15 周。同时，玛塔机器人会自动记录学生的编程路径数据，比如指令卡的使用频率、调试次数等，这些数据能帮助我们分析学生的思维过程。

②课堂行为观察：记录城市和乡村学生结对讨论的次数，比如他们在一起讨论算法优化建议或者错误排查的情况，定义为每节课内持续时间 ≥ 30 秒的实质性互动。同时，通过课堂录像分析实验组学生操作机器人的时间占比，比如指令卡排列占 65%，传感器调试占 35%。

③项目作品分析：从逻辑严谨性和创新性两个维度对学生的项目作品进行评分。逻辑严谨性主要看算法是否能覆盖任务的所有场景，满分 5 分；创新性则看解决方案是否超出了教师预设的框架，满分 3 分。由三位老师独立评分，评分者间信度为 0.79，最后取平均值作为最终成绩。

3.2.数据分析

3.2.1.分析方法

基于计算思维量表对学生的计算思维能力进行评估，通过课堂观察了解学生的学习表现和参与度，以及对学生的作品进行分析以了解他们的思维过程 and 创新能力。具体的分析方法有如下两种：

①量化分析：采用双重差分法（DID）对比实验组和对照组的 CTS 进步差异，同时控制区域变量的影响；通过协方差分析（ANCOVA）检验城乡实验组学生的能力差距是否显著缩小；利用 Pearson 相关分析玛塔机器人操作时长与 CTS 得分之间的相关性，比如指令卡使用频率与序列化思维的关系。

②质性分析：基于玛塔机器人的编程日志，比如错误指令序列，绘制典型错误类型图谱；对跨校互动文本进行主题编码，比如“算法建议”“硬件经验分享”，提炼出高频协作策略。

3.2.2.分析结果

通过各种分析法结合分析发现，实验组（使用无屏编程）的 CTS 总分提升幅度明显高于对照组（没有编程干预）；城乡实验组学生的能力差距显著缩小，而对照组的差距则保持不变。具体来看：

①整体数据：实验组后测总分平均为 35.2 分，标准差为 4.1，相较于前测的 24.5 分（标准差 3.8），提升了 43.7%。而对照组仅从前测的 24.3 分（标准差 3.9）增长到后测的 25.8 分（标准差 4.0），增长了 6.3%，差异非常显著（ $\beta=0.39, p<0.001, 95\% \text{ CI } [0.28, 0.50]$ ）。

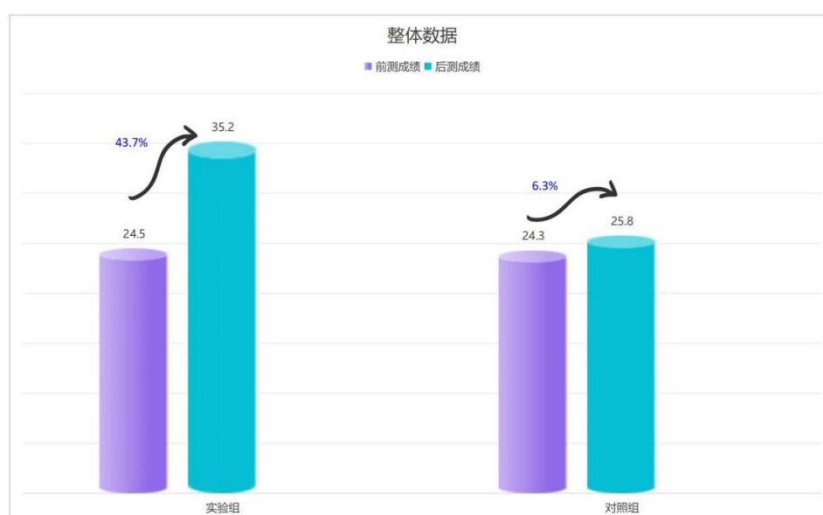


图 1 整体数据

③对比数据：整体表明城乡实验组学生都有进步，但在算法设计维度仍存在差异，城区学生的进步幅度（24.1%）大于城乡结合部学生（18.3%）。因为，城乡结合部的学生更关注硬件的适配，比如传感器的校准，这部分操作占到了38%，而城区的学生则更侧重于算法的优化，比如路径的简化，这部分操作占到了45%。而在模式识别维度，城乡结合部实验组学生的进步幅度（28.9%）却超过了城区学生（21.4%），组间差异缩小。

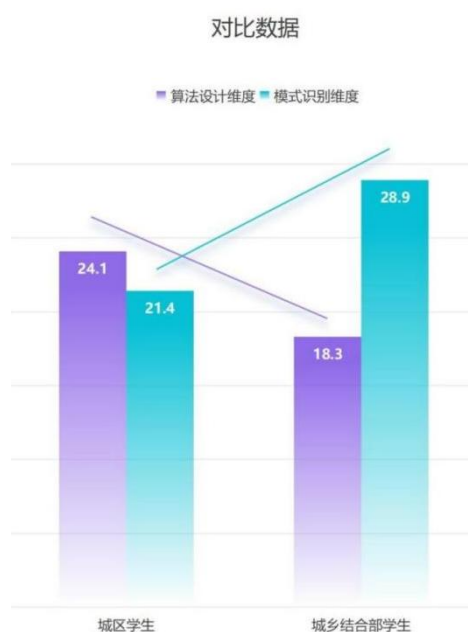


图 2 对比数据

4.实践启示

首先，本研究通过实证数据验证了无屏编程机器人在低龄儿童计算思维发展中的独特价值，无屏编程的触觉操作，比如指令卡排列、机器人路径调试，通过激活多感官通道，将抽象逻辑转化为可感知的具象经验。这表明触觉反馈能够作为低龄儿童抽象思维的“认知锚点”，帮助他们跨越从具体操作到符号化思维的认知鸿沟。

其次，跨区域协作对教育资源认知流动有着催化作用，并为教育公平研究提供了新的理论视角。城乡结合部学生在模式识别维度的追赶效应（28.9%）表明，跨区域协作能够通过认知资源共享缩小城乡能力差距。在城乡分工中，比如城市学生负责算法设计，乡村学生负责硬件调试，知识从资源丰富的方向薄弱方向流动，同时乡村学生的实践经验也能反过来补充城市学生的理论框架。这揭示了技术赋能下“认知资源再分配”的新路径。

基于研究发现，本研究提出以下实践建议：

①课程普及：可在小学低年级中普及无屏编程机器人课程，优先适配教育资源薄弱地区。课程设计应遵循“实物操作先行、屏幕编程跟进”的渐进式路径，以降低低龄儿童的认知负荷。

②城乡结对学校的常态化协作：构建“双师课堂-任务分级-教研联盟”三位一体的协作机制。例如，城市学校提供结构化算法课程，乡村学校主导在地化问题解决实践，辅以月度联合教研活动共享教学案例；开发难度分级的跨校项目，搭建梯度化任务库，从基础的路径规划到复杂的环境模拟，适配城乡学生的能力差异；建立编程教育教研联盟，定期开展联合培训与案例分享，缩小师资能力差距。

③技术工具优化：开发支持多模态反馈与自适应难度调节的无屏编程工具，尤其需关注乡村学生的操作简易性需求。比如整合AR技术可视化抽象概念，循环次数投影，或者添加语音提示辅助低龄儿童理解复杂指令；根据学生操作表现动态调整任务难度，自动简化乡村学生的算法步骤；开发实时共享界面，支持城乡学生远程协同调试等。

5.总结

尽管本研究取得了重要发现，仍需在以下方向深化探索：

①实验周期对长效性结论的限制：15周的干预周期只能捕捉计算思维的短期提升，无法验证其跨学科迁移效应，比如对数学问题解决能力的影响。未来研究需要延长追踪周期，并纳入STEM学科成绩等长效指标。

②家庭数字素养的潜在干扰：城乡家庭在技术接入与家长支持上的差异可能影响实验结果。后续研究需要采用多层线性模型（HLM）分离家庭与学校变量的作用。

未来也将围绕上述方向，进一步扩展研究范围，推动该领域的进一步发展。

参考文献

- 张春艳&宋美霞.(2023). 拒绝手机依赖, 让孩子脱“瘾”而出. 中学生博览, 33, 12 - 15.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33 - 35.
- OECD. (2020). *Learning Compass 2030*. OECD Publishing.
- Smith, J., Brown, A., & Lee, C. (2021). fMRI study on somatosensory cortex activity during screen-less programming. *Journal of Educational Neuroscience*, 12(4), 45 - 60.
- Johnson, R., & Smith, T. (2024). The impact of screen interaction on prefrontal cortex development in early childhood. *Developmental Neuroscience*, 46(2), 78 - 90. ScratchJr.
- (2025). ScratchJr 官方指南. MIT Media Lab.