

面向空间计算思维培养的跨学科主题学习活动设计与实践研究——以 SVVR 支持的地图绘制与解读类活动为例

Design and Practice Research on Interdisciplinary Theme-Based Learning Activities for Cultivating Spatial Computing Thinking——A Study of Taking Map Drawing and Interpretation Activities Supported by SVVR

张慕华 田漫宇 刘西庆
首都师范大学初等教育学院
zhangmuhua@cnu.edu.cn

【摘要】 本研究针对基础教育阶段计算思维与空间能力协同培养的理论缺位与实践困境，构建了球形视频虚拟现实技术（Spherical Video-based Virtual Reality, SVVR）支持的地图绘制与解读跨学科主题学习活动。研究发现，尽管 SVVR 的介入增强了学习的真实性与趣味性，但并未显著提升学生在空间计算思维任务上的表现，半结构化访谈发现 SVVR 引发的外部认知负荷可能是影响学习表现的主要原因。

【关键词】 计算思维；空间能力；SVVR；跨学科；地图绘制

Abstract: This study addresses the theoretical gap and practical challenges in the collaborative cultivation of computational thinking and spatial ability during the basic education stage. It has constructed a cross-disciplinary thematic learning activity for map drawing and interpretation supported by spherical video-based virtual reality technology (Spherical Video-based Virtual Reality, SVVR). The study found that although the integration of SVVR enhanced the authenticity and enjoyment of learning, it did not significantly improve students' performance on spatial computational thinking tasks. Semi-structured interviews revealed that the extraneous cognitive load induced by SVVR may be the primary factor influencing learning performance.

Keywords: computational thinking, spatial ability, SVVR, interdisciplinary, map drawing

1. 引言

计算思维强调通过抽象、分解、建模、算法设计等来解决问题，其本质是一种跨学科的思维模式(Ezeamuzie & Leung, 2022)，已被证明在跨学科学习活动中能够得到更好的培养(Wang et al., 2022)。空间能力被理解为一种复杂多维技能，其定义为在大脑中对二维和三维物体进行操作和想象的能力(Samsudin et al., 2011)。其不仅是进行几何学习、工程设计等活动的关键技能，更是预测个体未来在科学、技术、工程和数学(STEM)领域成就的重要指标(Wai et al., 2009)。尽管在跨学科领域中，研究者开始尝试将空间能力与计算思维放在同一情境下进行培养(Pellas, 2025)，但大多研究仍将其视为两种独立的能力。然而，在某些对空间能力要求较高的跨学科活动中，计算思维很大程度上依赖于空间能力。已有研究发现空间能力与计算思维存在中等强度的相关性，且某些空间能力是计算思维的核心认知技能(Città et al., 2019; Finke et al., 2022)。Sun 等(2024)指出在气象学中，仅靠计算思维无法解释气象学家是如何理解三维

大气运动过程,他整合空间能力与计算思维,提出“空间计算思维”的概念。在这类复杂的跨学科学习中计算思维和空间能力并不是两套独立的认知技能,而是完成学习任务不可分割的必要技能。近年来,虚拟现实技术为教育情境的创设与学习方式的变革提供了新的可能。其中,SVVR 凭借其成本较低、易于部署等特点,被视作在教育中推广 VR 应用的可行路径。SVVR 突破传统视频的视角限制,允许学习者在虚拟环境中自主环视与探索,显著增强学习情境的真实感、沉浸感与交互性(Rupp et al., 2019)。尤为重要的是,SVVR 能够提供直观的空间外部表征,有助于学生进行空间信息的感知、心理表征的构建与空间关系的推理(Jong, 2023)。

鉴于此,本研究聚焦于“空间计算思维”的培养,以地图绘制与解读这一典型融合空间表征与算法规划的现实任务为切入点,设计并实施了基于 SVVR 的跨学科主题学习活动。研究旨在探究:第一,相较于传统教学方式,SVVR 支持的跨学科学习活动是否能更有效地促进小学生空间计算思维的发展?第二,应如何系统设计此类活动,以充分发挥 SVVR 的技术优势并实现计算思维与空间能力的协同培养?

2. 研究设计

2.1. 研究对象与情境

本研究以华为 MatePad 为硬件平台(配备 40 台),以香港中文大学开发的 EduventureVR 软件为虚拟现实平台,结合 Insta360VR 相机在颐和园实地获取的全景图像数据,设计云游颐和园的跨学科主题教学活动。实验对象为北京市某小学五年级 3 个平行班共 123 名学生。

2.2. 跨学科活动设计

计算思维与空间能力的培养紧密结合信息科技、数学及地理课程标准的核心要求。在信息科技领域,通过路径规划任务训练抽象分解与算法设计能力,契合课标中“利用数字化工具解决真实问题”的要求。数学学科目标强调比例尺换算、时间-距离公式应用及空间方位判断,对应“图形与几何”模块中“发展空间观念”的课标要求。地理学科目标则指向地图符号识别、三维空间与二维平面转换能力,呼应“地图工具使用”与“区域认知”的课标条目。跨学科整合目标通过颐和园游览路线设计任务,实现计算逻辑(数学建模)、空间表征(地理定位)与路径设计(算法思维)的深度融合,促进核心素养的协同发展。

2.3. 实验流程

第一阶段:前测与基线校准阶段,确保组间同质性。第二阶段:跨学科任务实施阶段。其中实验组开展 SVVR《云游颐和园》活动,对照组采用传统纸质媒介续写的《颐和园探秘》。实验组与对照组均需完成三阶任务:①云游颐和园(激活空间定位);②路径生成;③路线规划。第三阶段:访谈阶段,总共抽取约 20%实验组学生(N=9)进行半结构化访谈。

2.4. 研究工具

前测工具采用整合式问卷,包含《中国小学生计算思维测评量表(CTA-CES)》与《空间推理工具(SRI)》的核心维度(Li et al., 2021; Ramful et al., 2017)。计算思维部分涵盖抽象、分解、算法设计、评估与模式识别各 2 题, Cronbach's $\alpha=0.76$;空间能力部分包括心理旋转、空间定向与空间可视化各 2 题,信效度经验证 Cronbach's $\alpha=0.845$ 。实验组与对照组使用相同的任务单,题目设计遵循“认知锚定-策略生成-方案迭代”逻辑链,确保跨组任务可比性。

2.5. 数据收集与分析

由于实验在真实课程情景中进行,导致部分学生缺乏前测或后测数据,共 72 名学生的全程参与实验,其中实验组(N=45),对照组(N=27)。数据正态性检验通过 Shapiro-Wilk 方法验证。总分前测数据,对照组($p=0.073$)符合正态分布,实验组($p=0.024$)不符合正态分布,因此使用曼-惠特尼 U 检验进行分析。任务单得分数据,对照组($p=0.015$)不符合正态分布,实验

组($p=0.100$)符合正态分布, 对照组 Q-Q 图呈 S 型偏移, 因此使用曼-惠特尼 U 检验进行分析。

3. 研究结果

3.1. 实验组与对照组任务单得分曼-惠特尼 U 检验

研究发现, 实验组与对照组在任务单得分上不存在显著差异。实验组与对照组的任务单得分的曼-惠特尼 U 检验结果显示 (见表 1), 实验组均值与中位数均低于对照组, 但无显著的统计学差异 ($p=0.269$)。

表 1 实验组与对照组任务单得分曼-惠特尼 U 检验

	中位数	均值	曼-惠特尼 U 检验	显著性
实验组	55.00	52.44	512.50	0.269
对照组	49.00	61.07		

3.2. 半结构化访谈数据分析

基于访谈数据可发现活动设计中存在的不足。首先, 技术体验并未完全转化为认知优势。多数学生 (如 S5, S7 等) 表示 SVVR 环境带来“身临其境”的游览感受, 增强了学习的真实性与趣味性, 未出现明显的眩晕等不适反应, 表明 SVVR 在小学生群体中具备较好的适用性。但同时也指出了影响沉浸感和操作流畅度的技术局限。例如, 有学生提到“人物他不会动”(S1)、“屏幕不是很大”(S4)、甚至有“摄影师被拍进去”的穿帮细节(S7)。这可能在一定程度上削弱了情境连贯性, 使得 SVVR 提供的“沉浸感”未能完全转化为更深层次的空间理解。其次, 任务设计可能未充分发挥 SVVR 的独特交互潜力。学生的反馈表明, 任务被普遍认为“不难”或“简单”(S8, S9)。虽然提高了任务的可行性, 但也可能意味着任务挑战度与 SVVR 提供的丰富信息之间不匹配。学生并未在三维空间中主动进行探索、推理和建构。这使得学习活动可能停留在“借助新工具解决旧问题”的层面, 其认知过程与传统使用地图和讲解进行方位学习无本质差异。SVVR 环境可能引入了新的认知负荷, 抵消了其情境化益处。在最具综合性的“路线规划与计算”任务中, 多名学生遇到了明显困难(S1“算的有点儿多”, S2“请教了旁边的人”, S7“有些就不算了”)。这表明, 在复杂空间情境中, 同时进行路径优化、时间估算和数学计算, 给学生带来了较高的认知负荷, 挤占了用于深度理解和知识整合的认知资源。相比之下, 传统教学中的同类任务可能因信息更集中, 反而降低了处理负担。

4. 结论和启示

研究结果表明, SVVR 支持的跨学科主题学习活动虽能显著提升学习的真实感与趣味性, 但并未在空间计算思维任务表现上带来预期的显著提升。半结构化访谈进一步揭示, SVVR 环境可能引入了较高的外部认知负荷。基于上述发现, 未来设计 SVVR 支持的跨学科学习活动时, 应着力于将技术特性、任务设计与思维培养目标深度整合: 首先, 需确保技术实现的高度流畅与交互自然, 避免因细节瑕疵或操作不连贯而打断学生的空间感知与连续思维过程。其次, 任务设计需引导学生主动进行空间探索、关系推理与模式识别, 而非仅依赖其完成与传统媒介无本质差异的方位判断题, 真正发挥 SVVR 在促进空间结构理解方面的独特价值。此外, 在引入路径规划等综合性计算任务时, 必须系统考量认知负荷的平衡, 支持学生完成从具象空间操作到抽象建模的转换。最后, 活动应具备一定的个性化与开放性, 满足不同起点学习者的需求, 促使每位学生都能在“最近发展区”内发展其空间想象与决策能力。通过上述针对性设计, SVVR 才能超越情境演示工具的角色, 成为有效培养与评估学生空间计算思维的融合性学习环境。

参考文献

- 教育部. (2022, March 25). 教育部关于印发义务教育课程方案和课程标准 (2022 年版) 的通知. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/21/content_5686535.htm
- Città, G., Gentile, M., Allegra, M., Arrigo, M., Conti, D., Ottaviano, S., Reale, F., & Sciortino, M. (2019). The effects of mental rotation on computational thinking. *Computers & Education*, 141, 103613.
- Ezeamuzie, N. O., & Leung, J. S. C. (2022). Computational Thinking Through an Empirical Lens: A Systematic Review of Literature. *Journal of Educational Computing Research*, 60(2), 481–511.
- Jong, M. S.-Y. (2023). Pedagogical adoption of SVVR in formal education: Design-based research on the development of teacher-facilitated tactics for supporting immersive and interactive virtual inquiry fieldwork-based learning. *Computers & Education*, 207, 104921.
- Li, Y., Xu, S., & Liu, J. (2021). Development and Validation of Computational Thinking Assessment of Chinese Elementary School Students. *Journal of Pacific Rim Psychology*, 15, 18344909211010240.
- Pellas, N. (2025). Enhancing Computational Thinking, Spatial Reasoning, and Executive Function Skills: The Impact of Tangible Programming Tools in Early Childhood and Across Different Learner Stages. *Journal of Educational Computing Research*, 63(1), 3–32.
- Ramful, A., Lowrie, T., & Logan, T. (2017). Measurement of Spatial Ability: Construction and Validation of the Spatial Reasoning Instrument for Middle School Students. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 35(7), 709–727.
- Rupp, M. A., Odette, K. L., Kozachuk, J., Michaelis, J. R., Smither, J. A., & McConnell, D. S. (2019). Investigating learning outcomes and subjective experiences in 360-degree videos. *Computers & Education*, 128, 256–268.
- Samsudin, K., Rafi, A., & Hanif, A. S. (2011). Training in mental rotation and spatial visualization and its impact on orthographic drawing performance. *Educational Technology & Society*, 14(1), 179e186.
- Sun, Y., Dyer, J., & Harris, J. (2024). Preparing Teachers for Teaching Spatial Computational Thinking With *Integrated Data Viewer* Visualization of Weather Data: A Discipline-Based Perspective of Computational Thinking. *Journal of Educational Computing Research*, 62(4), 841–866.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817–835.
- Wang, D.; Luo, L.; Luo, J.; Lin, S.; & Ren, G. (2022). Developing Computational Thinking: Design-Based Learning and Interdisciplinary Activity Design. *Applied Sciences*, 12, 1-13.