

探索人工智能增强的 STEAM 课程中小学生的计算思维过程：一项滞后序列分析 析方法

Exploring Primary School Students' Computational Thinking Process in an AI-Enhanced STEAM Course: A Lag Sequential Analysis Approach

潘东晨¹, 龙陶陶^{2*}, 李吉梅³

¹²³ 华中师范大学人工智能教育学部

* taotaolong@ccnu.edu.cn

【摘要】 STEAM 教育要求学习者能够运用跨学科知识，从不同学科中汲取智慧，解决复杂的现实问题；计算思维能力涉及分解问题、抽象问题和设计算法等过程；人工智能的个性化支持能力可促进 STEAM 课程有效开展。分析人工智能增强的 STEAM 课堂中小学生的计算思维行为，能帮助教师了解学习行为模式，诊断培养计算思维的潜在挑战。本研究在一所资源匮乏的小学的志愿教学项目中开展，探讨人工智能增强校本 STEAM 课程中师生的计算思维行为模式。该课程为期六周，共收集了 798 个学生和教师行为样本。通过滞后序列分析，得到了分解问题、设计算法和总结归纳三个关键行为序列。

【关键词】 AI；计算思维；STEAM；滞后序列分析

Abstract: STEAM education requires learners to be able to utilize interdisciplinary knowledge to draw wisdom from different disciplines to solve complex real-world problems, from which computational thinking capacity is necessary for decomposing problems, abstracting problems and designing algorithms. The personalized support capabilities of artificial intelligence can facilitate effective STEAM courses. Analyzing students' computational thinking behaviors in AI-enhanced STEAM classrooms can help teachers understand patterns of learning behavior. In this study, the computational thinking behavioral patterns of teachers and students in an AI-enhanced school-based STEAM course was developed for a voluntary teaching program for an under-represented primary school was explored. This course lasted for six weeks and a total of 798 behavioral samples were collected from students and teachers. Three behavioral sequences, which were decompose problems, design algorithms, and summarize, were derived from lagged sequence analysis.

Keywords: AI; computational thinking; STEAM; lag sequential analysis

1. 引言

学生越来越需要综合大量信息并运用跨学科知识来解决复杂的现实问题 (Nadelson & Seifert, 2017)。STEAM 教育的主旨是通过整合各个学科的知识 and 经验来培养学生的解决问题能力，使他们能够更有效、更灵活地应对复杂的现实挑战。同样可以确定的是，人工智能已被广泛采用和应用于教育领域 (Chen et al., 2020)。特别是，人工智能可以提供个性化支持，使学生能够创造性的解决问题。STEAM 教育和人工智能都需要计算思维，这是数字时代蓬勃发展所必需的核心问题解决技能 (Dolgopolas & Dagienė, 2021; Tian, 2024)。

2.文献综述

2.1. STEAM

STEAM教育将科学、技术、工程、艺术和数学五个学术领域的知识有机地结合在一起,培养跨学科思维、解决问题的能力 and 创造力(魏晓东 et al., 2017)。鉴于计算思维的跨学科性质,STEAM也是一种跨学科教育,因此计算思维和STEAM之间存在着天然的联系。在STEAM教学中,学生分解、抽象、建模、设计算法,迭代和优化复杂问题以解决它们,从而培养学生解决问题的计算思维。目前,以往的研究聚焦于培养学生计算思维的效果,但往往忽视了对他们的计算思维行为模式。

2.2. 教育中的人工智能

人工智能(AI)越来越多地融入STEAM教育,为提高学习效果提供了新的可能。人工智能可以作为一个教育支架,促进人工智能辅助的以人为中心的理解,提高学生的人工智能素养(How & Hung, 2019a)。人工智能提供了多样化的学习方法,能够有效地分析学生的表现,并促进反馈(魏晓东 et al., 2017)。将人工智能融入STEAM教育旨在培养高阶思维、创造力和解决问题的能力(Chang & Chou, 2020; Gasnaş & Globa, 2023)。虽然人工智能在加强STEAM教育方面显示出良好的前景,但仍需要进一步的研究来挖掘其全部潜力,并解决在复杂的教育系统中整合各种人工智能技术的挑战(Xu & Ouyang, 2022)。

2.3. 计算思维

计算思维是一系列思维活动,应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,涵盖计算机科学的各个领域。2006年,Jeannette Wing引入了计算思维的新概念,强调它不仅限于计算机科学领域,而且是所有学科解决问题的关键技能(M, 2006)。计算思维被视为适应未来所需的一项重要能力,越来越多的研究关注将教育与计算思维整合(Hsu et al., 2018)。在K-12教育中发展计算思维一直是一个主要焦点,努力将其融入现有课程并创造独特的计算思维体验(Weintrop et al., 2023)。已有研究表明,使用Arduino进行物理计算活动可以显著提高基础学校学生的多维度计算思维能力(Juškevičienė et al., 2021)。然而,大多数计算思维研究都集中在对学生的编程或计算技能的评估上(Tang et al., 2020),但编程和计算能力不会显著迁移到其他领域(Kurland et al., 1986)。这种情况可能会削弱学生在跨学科背景下全面解决问题的能力,甚至阻碍他们发展成为具有多种能力的全面发展的人(Tej, n.d.)。

虽然现有研究强调了将人工智能融入STEAM教育的潜力,但对学生计算思维行为模式的探索有限,为进一步研究留下了空间。近年来,人工智能在STEAM教育中的融合引起了广泛关注。研究表明,人工智能在STEM教育中的应用可以提高学习成果并满足复杂的教育需求(Xu & Ouyang, 2022)。目前,随着人工智能深度融入STEAM课程培养学生计算思维,我们也面临如何准确把握学生思维发展过程、如何组织教学活动的挑战。因此,我们引入滞后序列分析,希望能够识别学生行为序列中计算思维各要素的呈现顺序和相互关系,探索人工智能在STEAM课程中提升小学生计算思维行为模式的特点,旨在为教育实践提供更有效的指导和改进策略。

3.方法

3.1. 背景和参与者

本研究来源于一项志愿服务。研究人员选择了一所资源匮乏的小学,这所学校位于大城市旁的乡镇地区。由于就近招生政策,大多数在校学生是这些城市低收入农民工的孩子。截至2023年,该校教职员工老龄化,教师人数不足,被市教育局列为薄弱学校。教师的平均

年龄在 50 岁以上，只有一名以前教语文的教师兼任科学教师，因此无法开展高质量的科学课程。

在这个项目中，来自一所大型研究型大学的五名职前科学教师在这所学校设计并教授了一系列以“水净化”为主题的 STEAM 课程。志愿项目每周一节课，持续六周，每周 40 分钟，40 名五年级学生参加了该 STEAM 课程。所有 40 名学生和 5 名职前教师都自愿参加该项目。

3.2. 编码

许多学者指出，计算思维抽象、分解、模式识别、算法设计、迭代和优化。本研究以 S-T 模型为基础，将研究人员根据计算思维的定义(Selby & Woollard, 2013)与 STEAM 教育的特点相结合，开发了一个编码系统来分析计算思维相关的师生行为。该编码系统不包括 AI，如表 1 所示。

表 1 师生计算思维行为编码表

分类	编码	行为	描述
教师行为 (T)	T11	提问	根据问题情境，向学生提问
	T12	引导	引导学生分析问题
	T21	演示	通过多媒体演示
	T22	示范	通过实物操作，给学生做演示
	T23	指示	针对分解而来的问题提供详细具体的指导，帮助学生解决问题
	T31	组织交流	
	T32		
	T4	点评	组织学生展示成果
	T5	总结归纳	点评学生作品
	S1	监督控制	总结归纳学习内容
学生行为 (S)	S2	明确问题	教师管理监督课堂
	S3	分解	清楚问题情境，描述问题
	S4	抽象	对问题进行分解
	S5	算法	将具体的问题抽象化成应用方案（算法或模型）
	S6	调试	设计和应用方法、方案解决问题
	S7	评估	探究方法是否可行、运行和调试程序
	S8	概括	评价现有的本小组工作，便于进一步优化
	S9	交流	通过发言、画思维导图等方式概括学习过程和所得
		无关行为	展示和交流本小组的工作
			发呆、吵闹、玩耍等和学习无关的行为

3.3. 数据分析

本研究使用滞后序列分析（LSA）来检验 STEAM 课堂中师生的计算思维行为模式。LSA 是一种基于统计理论研究行为之间顺序关系的方法(Bakeman & Gottman, 1997)。这种方法最初由 Sackett 于 1978 年提出，已被心理学和社会学用于分析行为模式，主要是评估一种行为跟随另一种行为的概率，并确定这种关系是否具有统计学意义。这种方法使人们能够探索和总结在复杂的交互式行为序列中发生的交叉依赖关系(Faraone & Dorfman, 1987)，并且可以将行为序列中的重复行为组织成一个关键行为序列(Pohl et al., 2016)。本研究收集了五节课堂的视频记录。视频每隔一分钟采样一次。两名研究人员从视频观察中独立编码了教师和学生行为，然后对编码结果进行了一致性检查。最终的 Kappa 系数为 0.85，表明编码器间的可靠性非常强。在最终编码之后，根据 LSA，使用 GSEQ5.1 分析行为样本(Bakeman &

Quera, 2011), 并获得相应的频率表和残差值表。通过计算每个序列连接的残差值表中的 z 分数, 研究人员确定了统计显著性, z 分数高于 1.96 表示序列具有显著性 ($p < 0.05$) (Mei et al., 2024)。

4.结果

研究人员每隔一分钟对视频进行一次采样, 共得到 798 个行为样本。学生行为发生 300 次, 占总数的 37.6%, 教师行为发生 498 次, 占 62.4%。在学生行为中, 最常见的行为是 S2 (分解)、S4 (算法) 和 S7 (总结), 共出现 172 次, 占有所有学生行为的 57.3%。在教师行为方面, 最常见的是 T11 (提问) 和 T23 (指导), 分别出现了 90 次和 77 次, 约占所有教师行为的 33.5%。基于残差值表, 创建了 STEAM 课堂中教师和学生计算思维的行为模式图, 如图 1 所示。根据行为频率分析, 本研究深入探讨了教师和学生 STEAM 课堂上的计算思维行为模式。特别是, 我们发现了三个具有显著价值的行为序列。

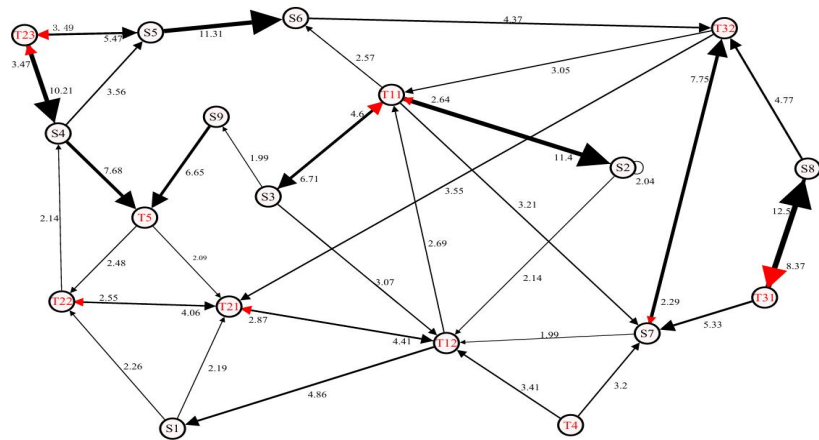


图 1 师生计算思维行为模式图

4.1. 解构问题序列

图 2 表示, 学生分解问题之前的许多行为都指向教师主导的行为 (T12), 然后指向学生的分解问题 (S1)。在教师引导下, 教师根据问题情境向学生提出有针对性的问题, 学生解构问题或使用人工智能抽象、概念化问题 ($T12 \rightarrow T11 \rightarrow S2$, $T12 \rightarrow T11 \rightarrow S3$)。此时, 教师在解构和抽象初始问题 ($S2 \rightarrow T12 \rightarrow S1$, $S3 \rightarrow T12 \rightarrow S1$) 的基础上, 进一步引导和帮助学生进一步澄清问题, 理解问题情境。此外, 教师的多媒体演示和问题总结也有助于他们的指导 ($T21 \rightarrow T12$, $T4 \rightarrow T12$)。

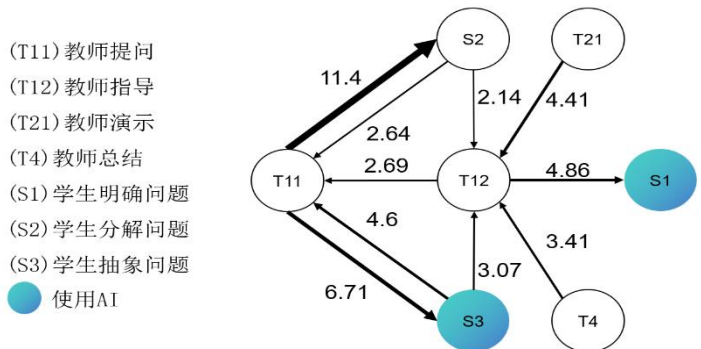


图 2 解构问题行为模式图

4.2. 设计算法序列

图 3 表示, 当学生设计算法和调试时, 在收到老师的指示 (T23) 后, 学生-老师的行为中有两个重要的行为序列, 一个是 ($S5 \rightarrow S6$), 另一个则是 ($S4 \rightarrow T5$)。设计算法和评估

改进对小学生来说是一项具有挑战性的学习活动，他们经常感到困惑，需要教师指导。当学生设计算法时，教师可以提供详细而具体的指导，帮助他们基于分解的问题设计算法。学生将自己的知识与教师的指导相结合，设计算法。设计算法的过程要求教师扮演组织者和提醒者的角色，将学生的讨论带回解决问题的背景（T23→S4→T5）。当学生调试和评估算法时，教师可以对问题的分解提供指导，帮助他们探索该方法是否可行，并评估当前的小组工作。学生还可以向人工智能寻求改进建议，以帮助评估当前的算法。人工智能反馈后，学生将进行修改和评估，然后给出反馈以优化现有的算法设计（T23→S5→S6）。

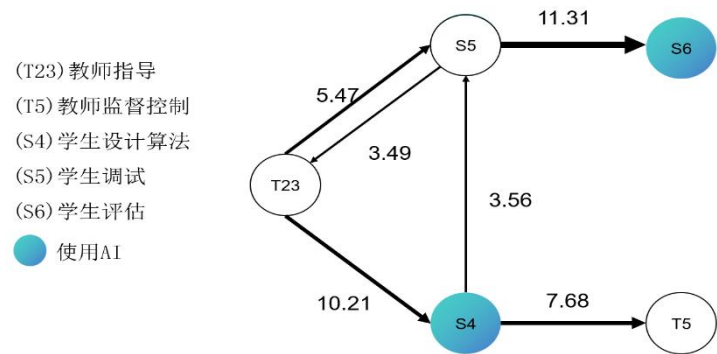


图3 设计算法行为模式图

4.3. 总结归纳序列

图4表示，当学生进行总结时，教师可以提供教学支架和评论来帮助他们进行总结。在课程结束时，一方面，老师通常会组织学生总结他们所学的内容，学生通过画一张思维导图或回答老师的问题进行总结。老师根据他们的答案做出进一步的点评，突出关键信息（T31→S7→T32）。另一方面，教师不断组织学生交流，帮助学生更有效、更合理地与其他小组（T31→S8，S8→T31）进行交流学习。学生的概括往往并不完善，需要教师的点评，教师需要评估他们的回答并给出反馈（S8→T32）。

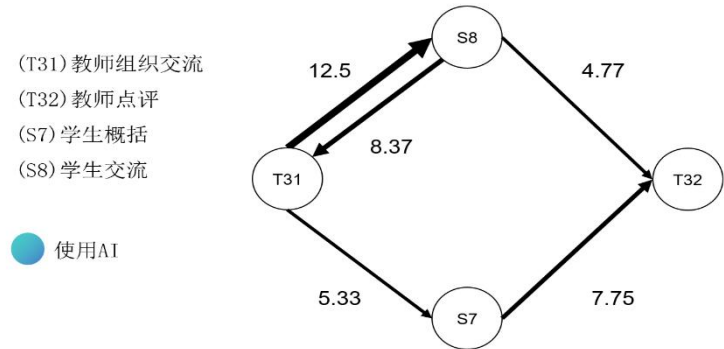


图4 总结归纳行为模式图

5.讨论

本研究探讨了在一所资源匮乏的学校中，教师和学生的人工智能集成到STEAM课程中的计算思维行为模式。LSA结果揭示了三个关键的行为序列，解构问题，设计算法，总结归纳过程过程，它们恰好对应本课程中基于问题的学习过程的三个阶段。

第一个关键的计算思维行为序列是分解问题。教师的提问和学生对问题的抽象是双向关联的行为（T11→S3），这种情况类似于相关研究中提出的人工智能执行细化。人工智能可以帮助学生通过各种感知方式理解抽象概念，提供听觉和视觉信息的替代品，帮助他们更直观地理解课程内容(Pertusa Mirete, 2023)。抽象（S3）是指学生使用人工智能来抽象化概念。虽然抽象和精炼是相反的，但它们都是学习者学习知识的过程 (Gentner & Hoyos, 2017)。另

一方面,我们可以验证抽象知识是否是 STEAM 课程需要为学生提供的知识。教师的提问与学生的分解行为密切相关(T11→S2, 11.4),没有使用人工智能。它也与大卫·乔纳森的理论(Jonassen, 2011)和基于问题的学习原则密切相关。虽然人工智能有助于解构问题,但人类需要对解构实际问题的决定负责(Ninaus & Sailer, 2022)。通过这种方式,学生可以培养解决问题和批判性思维的能力。

二是算法设计行为序列。学生在算法(S4)和评估(S6)中使用了人工智能。在设计算法时,学生不仅在老师的指导下逐步解决问题,而且人工智能学生提供了脚手架。这也与先前的研究结果的论点相一致,人工智能分析可以用作培养 STEAM 学习者人工智能思维技能的教育支架,从而提高解决问题的能力(How & Hung, 2019b)。

三是总结归纳行为序列。研究表明,教师的指导仍然是一种重要的工具。老师指导学生总结他们从活动中学到的知识,并根据学生的回答帮助他们进一步复习知识。这与 STEAM 的课程目标相一致。STEAM 教育的目标是加强个别学科的学习,以产生超越任何单一学科的新理解和成就(Peppler & Wohlwend, 2017)。另一方面,如背景所述,这项研究是在一所资源匮乏的学校进行的。学生缺乏参与协作学习的机会。从这个意义上讲,教师的指导和支持是必要的。学生可以获得合作和交流的机会,从而提高他们的沟通和合作技能。

6. 总结和意义

基于问题的学习(PBL)应该被认为是将人工智能整合到 STEAM 学习中的有效方法。具体来说,教师应该引导学生分解问题,学生使用人工智能通过回答子问题来补充领域知识。在此之后,学生应用所获得的知识来解决原始问题。人工智能帮助学生获得可能欠缺的知识,学生应该积极地将其与自身的推理相结合。这种方法可使人工智能支持学生学习,同时使学生保持积极的角色,促进对问题更深入的理解。避免陷入依赖人工智能的经典误区“只有成果,没有成长”。

此外,教师明确和有针对性的指导至关重要。小学生在设计算法的过程中面临理解和操作方面的挑战。教师不仅是知识的传递者,也是学习活动的组织者和解决问题的促进者。通过具体和情境化的指导,教师可以帮助学生在复杂的任务中找到切入点,并通过问题驱动的方法逐渐掌握算法设计的核心逻辑。人工智能可以作为学生选择问题解决方案的辅助工具,并对这些解决方案进行及时评估。然而,具体的调试过程仍然依赖于教师的明确指导。总之,明确教师和人工智能在算法设计中的角色至关重要。教师的组织和指导能力,结合人工智能的及时评估支持,共同为学生在算法设计方面提供强有力的支持。

7. 限制与未来研究

本研究有两个局限性。首先,在学习成果方面,本研究主要关注 STEAM 课程中的计算思维行为,但缺乏知识测试成绩或绩效评估等实证数据。此外,该研究是在小学阶段的 STEAM 环境中进行的,研究结果可能不适用于其他教育背景。因此,未来的研究可以探索为 STEAM 课程设计的更专业的人工智能工具的应用,这些工具可以在算法设计的不同阶段提供个性化支持。此外,未来研究可扩大研究范围,涵盖不同教育阶段、不同地区和不同学科的 STEAM 课程,探究研究结果在其他教育背景下的适用性。

参考文献

魏晓东,于冰,于海波.美国 STEAM 教育的框架、特点及启示.华东师范大学学报(教育科学版),2017,35(4): 40-46,134,135.

- Bakeman, R., & Gottman, J. M. (1997). *Observing interaction: An introduction to sequential analysis, 2nd ed* (pp. xiii, 207). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511527685>
- Bakeman, R., & Quera, V. (2011). *Sequential analysis and observational methods for the behavioral sciences* (pp. xv, 183). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139017343>
- Chang, Y.-S., & Chou, C. (2020). Integrating Artificial Intelligence into STEAM Education. In J. Shen, Y.-C. Chang, Y.-S. Su, & H. Ogata (Eds.), *Cognitive Cities* (pp. 469–474). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-6113-9_52
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial Intelligence in Education: A Review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Dolgopolas, V., & Dagienė, V. (2021). Computational thinking: Enhancing STEAM and engineering education, from theory to practice. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 5–11. <https://doi.org/10.1002/cae.22382>
- Faraone, S. V., & Dorfman, D. D. (1987). Lag sequential analysis: Robust statistical methods. *Psychological Bulletin*, 101(2), 312–323. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.101.2.312>
- Gasnaș, A., & Globa, A. (2023). Interacțiunea dintre inteligența artificială și conceptul STEAM. *Proceedings of The Third International Scientific Conference “Inter/Transdisciplinary Approaches in the Teaching of the Real Sciences, (STEAM Concept)” = Materialele Conferinței Științifice Internaționale “Abordări Inter/Transdisciplinare În Predarea Științelor Reale, (Concept STEAM),”* 313–320. Inter/transdisciplinary approaches in the teaching of the real sciences, (STEAM concept) = Abordări inter/transdisciplinare în predarea științelor reale, (concept STEAM). <https://doi.org/10.46727/c.steam-2023.p313-320>
- Gentner, D., & Hoyos, C. (2017). Analogy and Abstraction. *Topics in Cognitive Science*, 9(3), 672–693. <https://doi.org/10.1111/tops.12278>
- How, M.-L., & Hung, W. L. D. (2019a). Educating AI-Thinking in Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education. *Education Sciences*, 9(3), Article 3.
<https://doi.org/10.3390/educsci9030184>
- How, M.-L., & Hung, W. L. D. (2019b). Educating AI-Thinking in Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education. *Education Sciences*, 9(3), Article 3.
<https://doi.org/10.3390/educsci9030184>
- Hsu, T.-C., Chang, S.-C., & Hung, Y.-T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education*, 126, 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.004>
- Jonassen, D. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1256>
- Juškevičienė, A., Stupurienė, G., & Jevsikova, T. (2021). Computational thinking development through physical computing activities in STEAM education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 175–190. <https://doi.org/10.1002/cae.22365>

- Kurland, D. M., Pea, R. D., Clement, C. A., & Mawby, R. (1986). A study of the development of programming ability and thinking skills in high school students. *Journal of Educational Computing Research*, 2(4), 429–458. <https://doi.org/10.2190/BKML-B1QV-KDN4-8ULH>
- M, W. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*.
<https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Mei, A., Long, T., & Liu, Z. (2024). How blue hat co-regulate pre-service teachers' collective reflection based upon the six-hat thinking technique: A lag sequential analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 53, 101626. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101626>
- Nadelson, L. S., & Seifert, A. L. (2017). Integrated STEM defined: Contexts, challenges, and the future. *The Journal of Educational Research*, 110(3), 221–223.
<https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1289775>
- Ninaus, M., & Sailer, M. (2022). Closing the loop—The human role in artificial intelligence for education. *Frontiers in Psychology*, 13, 956798. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.956798>
- Peppler, K., & Wohlwend, K. (2017). Theorizing the nexus of STEAM practice. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 88.
- Pertusa Mirete, J. (2023). Inteligencia artificial aplicada a la educación: El futuro que viene. *Supervisión 21: revista de educación e inspección*, 69 (Julio), 3.
- Pohl, M., Wallner, G., & Kriglstein, S. (2016). Using lag-sequential analysis for understanding interaction sequences in visualizations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 96, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.07.006>
- Selby, C., & Woollard, J. (2013, January 12). *Computational thinking: The developing definition*.
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies. *Computers & Education*, 148, 103798.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- Tej, T. of E. J. (n.d.). *The effect of training Six Thinking Hats method on improving cognitive skills of agricultural students in entrepreneurship course*. Retrieved April 6, 2025, from
https://www.academia.edu/44104322/The_effect_of_training_Six_Thinking_Hats_method_on_improving_cognitive_skills_of_agricultural_students_in_entrepreneurship_course
- Tian, S. (2024). Exploring the Interactive Relationship between Computational Thinking and the Development of Artificial Intelligence. *Journal of Education and Educational Research*, 9(2), 177–180. <https://doi.org/10.54097/2zzt5026>
- Weintrop, D., Rutstein, D. W., Bienkowski, M., & McGee, S. (Eds.). (2023). *Assessing Computational Thinking: An Overview of the Field*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781003431152>
- Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: A systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59.
<https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>