

基于马扎诺教育目标新分类学的计算思维评价框架构建

孙立会, 王晓倩

(天津大学 教育学院, 天津 300350)

[摘要] 计算思维评价框架构建是计算思维教学实践的基础。以计算思维三维框架与马扎诺教育目标新分类学为基础构建国际计算思维评价 C-M-S 分类框架,该框架由认知水平评价、元认知水平评价及自我水平评价构成。认知水平评价强调通过试题、量表等静态测量工具量化基础认知的形成,元认知水平评价侧重观察解决问题过程中学习者计算思维的形成与发展,自我水平评价指向计算思维自我内化成效。计算概念厘清计算思维、计算机科学及编程的基本概念,夯实以计算机科学概念为基础的评价内容;过程迁移层重视计算思维的元认知过程性评价,以“分层列点”的方式进行过程性学习评价;思维理念层正确看待计算思维评价工具的形式,以“3E”原则普及计算思维的应用与评价。

[关键词] 计算思维;评价方式;三维框架;教育目标新分类学;C-M-S 框架

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 孙立会(1985—),男,吉林白城人。副教授,博士,主要从事儿童编程教育研究。E-mail:sunlh777@163.com。

一、引言

身处计算机越来越重要的信息化时代,几乎每个人都在享受智能机器所带来的福祉。为了更好地参与“计算机世界”、最有效地利用计算机的计算能力,我们需要发展一种可以与计算机进行有效沟通或像计算机科学家一样思考问题的能力——计算思维(Computational Thinking)。计算思维这一术语最早由西蒙·派珀特(Seymour Papert)提出^[1],后经美国卡内基·梅隆大学周以真(Jeannette M. Wing)教授界定^[2],并被众多研究者探讨。然而,计算思维概念定义的“多元”与“暧昧”导致其评价的“困难”与“朦胧”,缺少科学有效的评价方式做支撑,计算思维培养很难被纳入 K-12 教育体系中^[3]。课堂教学目标的设计对教学评价的开展起到风向标作用。罗伯特·马扎诺(Robert J. Marzano)博士着力于构建指向思维技能培养课堂的教育目标分类体系,其 2007 年出版的《教育目标新分

类学》一书中详细介绍了认知目标分类学及其与知识领域间的相互作用关系^[4]。作为一种普遍认识与普适技能的思维能力,计算思维理应归于马扎诺教育目标新分类学指向对象的范畴。伯南与雷斯尼克(Karen Brennan & Mitchel Resnick)提出的计算思维三维框架与马扎诺在其教育目标新分类学中所阐述的知识领域的分类在划归角度与内容指向上的契合,为计算思维评价框架构建提供了从计算思维本身出发的理论导向。

二、映射与建构:计算思维三维框架与马扎诺教育目标新分类学

(一)定义原点:伯南与雷斯尼克计算思维三维框架

目前在国际上具有较强影响力与较高认同度的计算思维定义当属伯南与雷斯尼克基于编程环境构建的计算思维三维框架,该框架分为三个维度:(1)计算概念:学生在从事面向计算思维的实践时所涉及的

基本概念,如算法思维、分解、抽象、并行、概括等;(2)计算实践:学生在接触概念时培养与发展实践的能力,包括数据收集、模型设计、调试模拟等;(3)计算视角:学生在理解这些概念和从事此类实践时,对自己与周围世界的看法,涉及学生自身能动性和技术流畅性等方面^[5]。

(二)目标导向:马扎诺教育目标新分类学

马扎诺对布鲁姆教学目标分类体系中逻辑表述模糊、线性思维贯穿、思维本质与学习关系的简化等不足进行弥补与完善,构建具有浓厚心理学色彩的崭新体系^[6],其勾勒的教育目标新分类学框架中涉及知识领域与加工水平两个维度。其中,知识领域涉及三个内容:信息、心智程序以及心理动作程序,分别代表内容性知识(术语、事实、原理等“是什么”的问题)、过程性知识(技巧、算法、规则等“如何做”的问题)以及复杂的身體活动能力(技能、过程等层面的行动与思维),任何知识领域都可以是这三种具体类别知识的不同结合^[6]。计算思维三维框架能够与马扎诺对知识领域的分类完美契合。加工水平分为六个水平、三个系统层次,分别是信息提取(认知系统)、理解(认知系统)、分析(认知系统)、知识应用(认知系统)、元认知系统、自我系统,通过自我系统产生对学习任务的价值判断,利用元认知系统生成问题解决的策略与方法,调用认知系统的基本认知技能完成任务,三个系统的运转与协作离不开知识领域的支持基础。

(三)融合创生:计算思维评价 C-M-S 分类框架

伯南与雷斯尼克提出的计算思维三维框架与马扎诺的知识领域三方面能够完美映射,马扎诺教育目标新分类学中对加工水平的划分,为我们探讨计算思维的学习与评价提供了思路与方向。马扎诺的新分类法本就具有提供思维技能课程框架的功能,早在1987年,雷斯尼克就谈到思维技能课程不应被戴上“高阶的帽子”而被束之高阁,这是在学生通过练习与实践以掌握知识领域的基础技能之后传授与培养的一项内容^[7]。因此,计算思维以依附知识系统的形态存在于课程中,这也是运用马扎诺教育目标新分类学的理论来探讨计算思维评价方式的可行性所在,是一种在思维培养与目标指向上的贯通与融合。利用计算思维三维框架在知识领域三方面的映射关系,基于教育目标新分类学思维系统的划分,建构计算思维评价 C-M-S 分类框架,以期对计算思维评价提供理论可循且条理清晰的划分依据,如图1所示。将计算思维评价中侧重的内容方面及目标指向划分为认知水平评价(Cognitive Level Evaluation)、元认知水平评价

(Metacognitive Level Evaluation)以及自我水平评价(Self Level Evaluation),认知水平评价指向计算思维基本维度认知与技能运用的“概念维”,元认知水平评价侧重学习者运用计算思维生成问题解决方案及策略的“过程维”,自我水平评价则是与利用计算思维思考生活问题的内在驱动与思维建构相关的“思想维”。

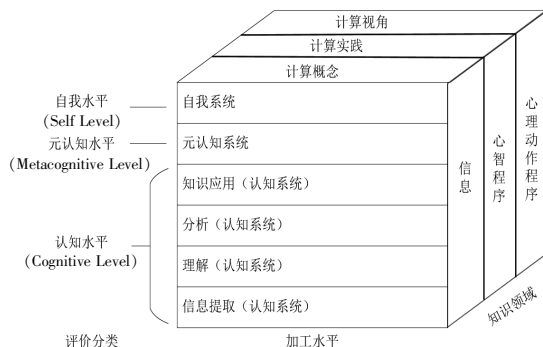


图1 计算思维评价 C-M-S 分类框架及其来源依据

三、划归与统整:计算思维评价框架层次

(一)认知水平:计算思维的静态测量彰显基础认知形成

1. 五维度 CT 测试题设计

2015年, Marcos Román González 构建了一套针对12~13岁西班牙学生的计算思维测试工具,每道题均从计算概念、交互界面、回答方式、有无嵌套以及所需任务五个维度进行设计,并根据39位专家的评审反馈,进一步完成了测试题2.0版本的修订^[8]。试题按照由易到难的顺序排列,每一道题涉及一个或多个计算概念。试题的编制主要依据计算机科学的基本概念和使用编程语言的逻辑语法,包括基本序列、循环、迭代、条件、函数和变量等。试题也被用来测评西班牙小学生参与“非计算机化的活动”(Unplugged Activities)后计算思维水平的变化^[9]。

2. 注重迁移应用的 CT 测试题设计

陈冠华等人认为,计算思维就应该能够像其他技能一样进行迁移应用,由此开发了一款针对五年级学生学习机器人课程的SDARE计算思维评估方案^[10]。SDARE框架基于计算思维的操作定义^[11]提出,S指语法(Syntax)——使用机器可识别的语法制定问题和解决方案;D指数据(Date)——组织和分析数据;A指算法(Algorithms)——通过算法概念化并生成解决方案(一系列有序步骤);R指表示(Representing)——通过多种外部手段(如模型和公式)表示问题和解决方案;E指效率和效果(Efficient and Effective)——生成、修订和评估解决方案,目标是实现最有效率和效

果的步骤和资源组合^[10]。该测试题的内容涉及两个不同的问题情境,即机器人编程试题以及五年级学生计算思维推理题,并开发了一组试题的编码量化规则^[10]。试题随后在美国东南部城市公立小学的机器人课堂中进行试验,结果表明,该试题具有良好的心理测量学特性,能够揭示学生在计算思维培养过程中面临的挑战和取得的进步^[10]。

3. 基于分类组合法的 CT 测试题设计

Meerbaum 等人开发了一套基于图形化编程工具对教学进行测评的方案。在修订的布鲁姆分类法与 SOLO 分类法相结合的基础上,从单点结构层次、多点结构层次和关联结构层次三个维度进行分类,每个维度又包括理解、应用和创造三个子类别,从而产生了九层分类法,据此设计了调查问卷和测验来评估学生计算概念的习得和内化,并在两所中学的正式课堂中进行了测验,试题分别在教学实施前、中、后被用作前测、中测和后测^[12]。该评价方法在评价过程中不仅使用描述性统计的方法评估学生计算机科学概念的内化,还使用内容分析法分析媒体的实际内容和内部特征,是一次定性和定量评估相结合的尝试。

计算思维应用与拓展的基础是由计算机科学基础概念提炼总结的程序运演原理,因此,对计算概念掌握情况的测评同样是计算思维评价的重要组成部分;计算思维静态测量工具的最大优势在于其可被用于纯粹的预测试中,因此,便于大规模筛选和早期发现高水平的学生,也可用于收集定量数据对学生计算思维的习得进行后测等,使得测评更具科学性。但其局限性在于,这种评价只停留在计算思维的概念基础表层,未能真正触及计算思维内涵,类似于传统的总结性评价,一般注重对学习结果的测量,可能会忽视学生学习过程中思维及能力的发展,所以其结果不能完全反映学生计算思维的发展水平。

(二)元认知水平:计算思维的动态测评展现元认知发展

计算思维的动态测评指向学生元认知的过程,学生通过积极参与评估过程来监控自身计算思维的习得和发展,这为他们提供了调整、重新思考以及表达自己理解和想法的机会,是新一轮的反馈和学习的延伸。而往往复杂的技能如监控、自我调节等,也只有在不断地反馈和实践中才能真正掌握。相较于学生做了什么,怎么做则更能体现学生的计算思维。

1. 从游戏设计到科学模拟

Koh 等人利用视觉语义分析技术开发了一款实时语义评估系统,借用计算思维模式图(Computational

Thinking Pattern) 对学生学习到的计算思维概念进行可视化处理,并关注学生的计算思维技能在科学模拟情境中的应用^[13]。CTP 图的内部基本原理是“程序行为相似性”(Program Behavior Similarity),能够在没有程序执行的情况下识别语义级别模式^[13]。因此,CTP 为游戏中的潜在语义提供了一个真实图景,反映了学生计算思维的发展水平,一定程度上表明学生从游戏到科学模拟过程中计算思维的迁移。

2. 可视化程序块迭代测试

新泽西学院开发的 Scrap^[14]、Boe 等人开发的 Hairball^[15] 以及 MIT 基于图形化编程软件开发的 Dr. Scratch^[16] 是计算思维动态测评的有效工具。其中,Scrap 通过对用户上传的项目组合(作品集)进行分析,并生成所使用(或未使用的)程序块的可视图,从而反映学生对计算概念的学习掌握情况^[14];Hairball 是一种代码分析工具,可以检测出程序中存在的潜在问题,如未正确初始化的属性、从未执行的代码、没有对象接收的消息等^[15];Dr. Scratch 是一个免费且开源的 Web 应用程序,它改进了 Hairball 必须手动启动 Python 脚本这一弊端,从而更便于教师和学生对作品进行分析^[16]。以上三种工具都是基于学生作品的程序块进行分析,可以生成每个项目中所使用的(或未使用)程序块的可视图,从而得知学生对每类程序块的使用频率,进而推断学生对某类计算概念掌握的熟练程度,以此来反映学生对计算机科学概念的习得情况。但 Scrap 主要侧重对程序块使用频率的测评,从而推断出学生对某类计算概念掌握的熟练程度;Hairball 侧重于对事件驱动编程即状态初始化和消息传递方面的学习评估;Dr. Scratch 侧重对作品水平的综合分析,除了给学生的作品进行 CT 评分(0~21 分),还可诊断出程序中潜在的错误或某些编程的不良习惯,从而提出修改意见等反馈信息,鼓励学生不断提高自己的编程技能。

3. 基于同伴采访的 CT 测评

Portelance 等人使用图形化编程软件为一所公立小学的二年级学生介绍基础的计算思维概念,并让他们通过 iPad 进行基于作品的同伴视频采访(Peer Video Interviews),以此作为一种评估学习者早期计算思维学习的方法,通过与同龄人的交流访谈,学习者能够彼此分享、互相学习,并且对作品的每一个新构想都可能变成推动故事情节发展的新契机^[17]。同时,教师也可在情境化的项目中通过观察、交流和指导来了解学习者对编程学习的思考^[17]。结果表明,这种基于视频的采访方法比传统的其他技术更能广泛地评估学生的计算思维^[17]。

计算思维的动态测评中,学生可以成为评价的主体,他们为自己和同伴提供描述性反馈(自评和同伴互评),并通过对计算思维作品的定期测评促使自己成为一个反思性的、自我监控的学习者。学生通过使用 Scrap、Hairball 等分析工具对自己的作品进行分析,可以得到可视化的测评反馈以及相应的测评分数,学生可以根据测评报告上的反馈信息开始自己下一步的修改和学习,这是一个修改—测评的迭代过程,是学生进行自我反思和调整的过程。这种评价方式能够在很大程度上激发学生的学习热情,使他们作为学习的主人积极参与学习,通过询问同伴、教师、家长等人的意见,在原有作品的基础上提出新的想法。将计算思维的训练与测评融入学生课堂项目制作以及问题解决的过程之中,使学生对目标有更加清晰的定位,同时教师也可借助这些可视化分析工具,将学生作品档案袋的分析等作为对学生计算机科学概念习得的评价补充,记录他们的学习轨迹,测量每个学生学习改进的具体方面。

(三)自我水平:计算思维观念层评价凸显自我内化成效

1. 基于 PTD 框架的 CT 测评

Bers 提出用 PTD (Positive Technological Development)理论框架来设计儿童机器人的编程课程活动^[18]。PTD 是一种跨学科的研究方法,它将应用发展科学的研究与计算机中介通信、计算机支持的协作学习、建构主义学习及技术的思想相结合^[18]。PTD 关注技术支持的积极行为(6C):交流(Communication)、合作(Collaboration)、社区建设(Community Building)、内容创作(Content Creation)、创造力(Creativity)和行为选择(Choice of Behavior)^[18]。以 PTD 框架为指导原则设计的儿童学习与发展评价主要从三个方面展开^[18]:一是学生的作品档案,包括学生的设计日志、编程的脚本代码和学生创作的机器人项目,旨在评估项目的复杂程度和复杂性随时间的变化情况;二是视频日志,用来记录学生一直在做什么并解释他们的活动;三是 SSS 评价量表,SSS 分别代表句法(Syntactic)、语义(Semantic)和系统(System)三个不同层级的理解水平。句法水平指只理解单个指令的功能,但不了解如何选择和组合它们来完成一个给定目标的功能程序;语义水平指能够为程序选择适当的指令并按正确的顺序排列,即理解以某种方式将各个部分组合在一起会产生一个整体的结果,但可能无法创建完全满足给定目标的程序;系统水平指理解每个程序指令的功能以及它们的排列顺序会产生特定的总体结果,并且能

够有目的地按照正确的顺序将正确的指令放到程序中来实现给定的目标。量表对整个课程中的每个学习目标以及不同复杂程度的每个任务按照 0~5 分的标准进行划分和制定,一般由两部分组成。每堂课程结束时,教师通过完成量表的一系列问题来记录和评估学生的学习以及对机器人程序的理解水平。此外,通过分析学习者长期以来的合作网以及学习者对科技圈的参与度来评估学习者的合作和沟通能力;通过观察孩子的学习参与度和对 TangibleK 项目的整体参与度以及对学习环境的贡献,来评估孩子的社区建设能力和行为选择能力。因此,基于 PTD 框架的 CT 测评主要是通过对学生的作品档案、视频日志、评价量表以及与教师和同伴的交流访谈等进行分析,注重学生爱心、信心等方面的培养以及学习过程中想象创造、协作交流、问题解决等能力的发展,进而提高学生计算思维的应用水平,而不是仅仅将计算思维评价体现在计算概念的获得与基于项目的计算思维应用层面,基于 PTD 框架的 CT 测评更具长远视角,是计算思维评价理念与方式的结合。

2. PTD 框架彰显 CT 的本真

与其他评价方式相比,这种评价站在面向学生的学习过程以及未来发展的高度,而这正是计算思维发展的核心要义。如若仅将计算思维的评价停留在计算机环境的编程学习或是游戏设计中,则将与计算思维的培养目标“貌合神离”,因为这仍是对计算机科学概念习得水平的测量,将计算思维的内涵与应用方式局限于工具形式中,缩小了计算思维的应用领域,故其测评成绩的优劣并不能完全表明学习者计算思维能力的高低。关注计算思维作为一种方式方法的普适性特征,正是指向计算思维作为一种问题解决思维的本源之意,只有形成计算思维大环境意识,计算思维才能发挥其社会性意义上的作用^[9]。虽然这种评价方式较抽象且在具体操作中更具难度,但我们认为这正是计算思维训练与评价的最终聚焦之处,只有当计算思维真正成为人类生产生活实践的思维指导方式与问题解决的方法时,才堪称“思维”二字。

四、应用与启发:计算思维 C-M-S 评价框架 实施建议

(一)计算概念层——对计算思维的基础性认知整合

1. 厘清计算思维、计算机科学及编程的概念

计算思维缘起于计算机科学,又高于计算机科学。计算思维作为一种逻辑思维方式,具有抽象性的

本质,但不可否认,计算思维提炼于计算机基本概念及程序运行原理。序列、循环、条件、并行、算法等具体的概念是计算思维应用与迁移的基础,离开计算机具体概念内容,计算思维理解将成为一种抽象的状态,成为一种虚无的哲学。与计算机科学不同,计算思维能够将计算概念与技能迁移到计算机以外的领域^[20],有着更广泛的应用范围,包含了一种思考日常活动与问题的方法^[21],倡导人们学会像计算机科学家一样思考。有研究表明,编程是计算思维培养的重要实现形式,与问题解决密切相关^[22],不可否认,编程形式确实是计算机科学概念掌握、计算式思考方式形成及计算思维养成的重要形式,但计算思维不是计算机编程,像计算机科学家一样思考比编写程序更有意义。在开展计算思维评价时,首先应厘清概念,正确地把握计算思维的开展形式及实施范围,计算思维的应用与评价不应局限于计算机科学的相关领域或必须依托计算机及其他技术环境,由此才能更好地把握评价的目标与方向。

2. 夯实以计算机科学概念为基础的评价内容

知识与思维操作是分不开的,就如在日常生活中用“序列”这一计算机概念解决做饭这一实际问题一样,若不了解程序运行的序列原理,便无须再谈其实际应用。计算概念相对客观固定,所以对其测量可采用量化的方式,如使用测试题、量表等评价工具。桑代克曾指出,凡是客观存在的事物都是有数量的,凡是有数量的东西都是可以测量的^[23]。量化具有科学性,是评价当中重要且具有说服力的一种“武器”,在教育评价中不应也不会被轻易舍弃。虽然我们更强调计算思维作为一种普适思维方式的全面性,但也要重视认知信息的基础作用。对可以测验的计算机基本概念的理解掌握情况进行总结性评价,可作为计算思维以及学习者“计算感”测评的基础依据,并以此为依据开展对计算思维技能以及情感态度等方面的评估。

(二) 过程迁移层——作为计算思维的元认知实践与监控

1. 强调计算思维的元认知过程性评价

学科核心素养的要义有二:一是让学科核心观念植根于真实问题情境;二是让学生通过亲身参与学科实践而学习学科^[24]。计算思维作为学生应该掌握的基本核心素养之一,不论是否与何种课程进行整合,均应体现在真实问题情境下的实践学习中,这在一定程度上强调了学生的过程性学习。计算思维的评估需要动态的过程性信息,以此反映随着时间推移学习者的能力发展情况。计算思维的发展必须体现在某一情境

下学习者的应用过程中,同时也体现在学习者是否能够将这一技能迁移到其他情境中。要促进相应思维技能的提升,需要有建设性的学习环境,让学习者有机会反复设计解决方案并反思自己的学习过程^[25]。将计算思维的训练与评估同特定的基于某种技术环境的项目程序性操作相结合,体现并训练学习者的元认知能力,让学习者更多地了解他们用于调试问题的策略,并不断地改进他们的方法,以此支持学习者思考自己的思维与学习。

2. 以“分层列点”的方式进行计算思维过程性学习评价

周以真教授曾表示,抽象是计算思维的基础,可以以“层”的角度来呈现应用计算思维解决问题的过程,同时要正确处理不同“层”之间的关系^[26]。计算思维主要体现在学生发现问题、解决问题的过程中,体现计算思维的问题解决过程一般可以总结为抽象模拟、分解、调试、自动化、泛化等,基于学习者过程性学习的特点设想“分层列点”评价学习者问题解决过程中所体现的计算思维,以“计算思维采分点”的形式来完善这种过程性评价形式,如评价实施者可以按照以下层次来对学习者的问题解决过程中所体现的计算思维进行测评:(1)学习者是否能够将目标事件抽象为一个具体可解的问题;(2)是否能够对抽象的问题展开分析,将问题分解为具体易解的模块;(3)是否在问题解决的过程中经过不断地试误,直至输出正确的结果;(4)是否对问题的解决操作过程熟练掌握并达到自动化的程度;(5)是否能够提炼本次操作的技能,并将该技能应用到相似情境中。以“采分点”这一形式帮助处理过程性评价中的主观以及抽象程度更高的问题,能够增强评价的客观性,更好地实施测评。

(三) 思维理念层——促进计算思维的普及应用与自我内化

1. 正确看待计算思维评价工具的形式

目前,国际上对学习者的计算思维的训练与评估大多以计算机技术环境为依托,研究者一般基于所用技术工具的可操作性以及便利性的特点,倾向于在不同的研究中开发与应用自己编制的CT测量方法^[26],如根据所用工具的操作性特点,将计算思维划分为不同维度,对各维度进行总结性或形成性评价,此做法使得评价“依附”并“服务”于工具本身,不利于计算思维的应用与发展。研究者应深知,不能以工具形式来决定评价的方式方法,而应依据计算思维的本质内涵来指导评价的开展,我们并不希望计算机妨碍我们对计算思维的理解与应用,不希望人们只会使用这种工具

而不理解计算思维的含义,就如一个人会使用计算器但是不懂得算数一样^[2]。计算思维关注的是人们如何使用计算机来解决或研究问题,而不是在计算机硬件上模仿计算机的思维模式^[27]。当然我们并不否认以技术工具为依托的计算思维训练与评估形式对学生计算思维习得和测评带来的便利,并且可以帮助学生强化对计算思维概念的理解与应用,使得抽象变得可视化,但是过于外化的工具主义缩小了计算思维的评价范围,阻碍了其拓展实施,计算教育观念的转变尤为重要^[28],研究人员在开展计算思维的评价时应探索多样化的评价形式并将其融入学习者的基础课程学习与生活实践中。

2. 以“3E”原则普及计算思维的应用与评价

计算思维体现了思维方式中“人”这一层面,其体现在学习者基础课程与生活实践的方方面面,由于实践情境的复杂多变,对计算概念层和应用迁移层的相关维度进行单一测评难以满足对计算思维本质的理解和内化,故我们在以上两层基础上拓展出计算思

维框架的思维理念层,以适应多样化的计算思维应用情境,力求达到对计算思维本质的认识 and 践行,促使计算思维作为一种生活哲学方法论而存在^[29]。计算思维应根植于每一个人的认知与行为方式中,将其内化为个体的思维理念,普及计算思维的应用范围。我们倡导每一个人都是计算思维的践行者与评判者,将计算思维的日常应用与评价判断相结合,才能真正加快计算思维向基础能力方向的演化步伐,真正实现计算思维作为思维方式的转变。我们倡导计算思维应回归“人”这一层面,践行“3E”原则,即计算思维的应用与评估应面向全体受众,而不仅仅是计算机科学家或计算机相关专业的从业人员(Everyone),并且要将其渗透在人们日常生活与学习的方方面面,不拘泥于工具形式,而是作为一种思想来指导我们的生活(Everywhere),同时尝试捕捉日常生活和学习事件中与计算思维的“接口”及契合之处(Everything),加速计算思维真正成为指导人类行为方式的思想与哲学。

[参考文献]

- [1] PAPERT S. An exploration in the space of mathematics educations [J]. International journal of computers for mathematical learning, 1996(1):95-123.
- [2] WING J M. Computational thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3):33-35.
- [3] GROVER S, PEA R. Computational thinking in K-12;a review of the state of the field[J]. Educational researcher,2013,42(1):38-43.
- [4] MARZANO R J, KENDALL J S. The new taxonomy of educational objectives[M]. 2nd ed. California:Corwin Press,2007.
- [5] BRENNAN K, RESNICK M. New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking [C]//Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association. Vancouver:AERA, 2012;25.
- [6] 盛群力.旨在培养解决问题的高层次能力——马扎诺认知目标分类学详解[J].开放教育研究,2008,14(2):10-21.
- [7] RESNICK M, LAUREN B. Education and learning to think[M]. Washington:The National Academies Press,1987.
- [8] GONZÁLEZ M R. Computational thinking test: design guidelines and content validation[C]//Proceedings of education 15th conference. Barcelona: ACM,2015:2436-2444.
- [9] BRACKMANN C P, GONZALEZ M R, ROBLES G, et al. Development of computational thinking skills through unplugged activities in primary school [C]//Proceedings of 12th Workshop in Primary and Secondary Computing Education. Nijmegen:Association for Computing Machinery,2017,65-72.
- [10] CHEN G H, SHEN J, COHEN L B, et al. Assessing elementary students' computational thinking in everyday reasoning and robotics programming[J]. Computers & education,2017,109(1):162-175.
- [11] ISTE, CSTA. Operational definition of computational thinking for K-12 education (2010)[EB/OL]. (2015-11-23)[2020-01-13]. <http://www.iste.org/docs/pdfs/Operational-Definition-of-Computational-Thinking.pdf>.
- [12] SALANT O M, ARMONI M, ARI M B, et al. Learning computer science concepts with Scratch [J]. Computer science education, 2013,23(3):239-264.
- [13] KOH K H, BASAWAPATNA A, BENNETT V E, et al. Towards the automatic recognition of computational thinking for adaptive visual language learning[C]//Proceeding of IEEE Symposium on Visual Languages and Human-centric Computing. Leganés-Madrid: IEEE,2010,59-66.
- [14] WOLZ U, HALLBERG C, TAYLOR B. Scrape: a tool for visualizing the code of Scratch programs [C]//Proceedings of the 42nd

- ACM Technical Symposium on Computer Science Education. Dallas:ACM,2011,1-12.
- [15] BOE B, HILL C, LEN M, et al. Hairball: lint-inspired static analysis of scratch projects [C]//Proceedings of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. New York:ACM,2013,215-220.
- [16] LEON J M, ROBLES G, GONZALEZ M R. Dr. Scratch: automatic analysis of Scratch projects to assess and foster computational thinking[J]. Journal of distance education,2015,46(15):1-23.
- [17] PORTELANCE D J, BERS M U. Code and tell: assessing young children's learning of computational thinking using peer video interviews with ScratchJr[C]//Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children. New York:ACM, 2015,271-274.
- [18] BERS M U. The tangibleK robotics program: applied computational thinking for young children [J]. Early childhood research and practice,2010,12(2):1-20.
- [19] 孙立会,王晓倩.计算思维培养阶段划分与教授策略探讨——基于皮亚杰认知发展阶段论[J].中国电化教育,2020,27(3):32-41.
- [20] BERLAND M, WILENSKY U. Comparing virtual and physical robotics environments for supporting complex systems and computational thinking[J]. Journal of science education and technology,2015,24(1):628-647.
- [21] WING J M. Computational thinking and thinking about computing [J]. Philosophical transactions of the royal society a mathematical physical and engineering sciences, 2008,366(1881):3717-3725.
- [22] ISRAEL M, PEARSON J, TAPIA T, WHERFEL Q, REESE G. Supporting all learners in school-wide computational thinking: a cross-case qualitative analysis[J]. Computers & education, 2015,82(1):263-279.
- [23] 罗伯特·J.马扎诺,约翰·S.肯德尔.教育目标的新分类学[M].高凌飏,吴有昌,苏峻,译.北京:教育科学出版社,2012.
- [24] 张华.论学科核心素养——兼论信息时代的学科教育[J].华东师范大学学报(教育科学版),2019,37(1):55-63,166-167.
- [25] RESNICK M. All I really need to know (about creative thinking) I learned (by studying how children learn) in kindergarten[C]// Proceedings of the 6th ACM SIGCHI Conference on Creativity & Cognition. New York:ACM,2007,1-6.
- [26] KIM B, KIM T, KIM J. Paper-and-pencil programming strategy toward computational thinking for non-majors: design your solution [J]. Journal of educational computing research, 2013,49(1):437-459.
- [27] HSU T C. How to learn and how to teach computational thinking:suggestions based on a review of the literature [J]. Computers & education,2018,126(7):296-310.
- [28] 孙立会,周丹华.基于 Scratch 的儿童编程教育教学模式的设计与构建——以小学科学为例[J].电化教育研究,2020,41(6):75-82.
- [29] WING J M. Computational thinking:what and why?[EB/OL]. (2010-11-17) [2020-01-10].<http://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>.

Construction of Evaluation Framework of Computational Thinking Based on Mazano's New Taxonomy of Educational Goals

SUN Lihui, WANG Xiaoqian

(School of Education, Tianjin University, Tianjin 300350)

[Abstract] The construction of evaluation framework of computational thinking is the foundation of the teaching practice of computational thinking. Based on the three-dimensional framework of computational thinking and the new taxonomy of Mazano's educational goals, the C-M-S classification framework for the evaluation of international computational thinking is constructed, which is composed of cognitive level evaluation, metacognitive level evaluation and self-level evaluation. Among them, cognitive level evaluation emphasizes quantifying the formation of basic cognition through static measurement tools such as test questions and scales, while metacognitive level evaluation focuses on observing the formation and development of learners' computational thinking in the process of problem solving. Self-level evaluation

(下转第 33 页)

Enactive Cognition Promotes Formation of Higher-order Thinking —From the Perspective of Concepts Development

HU Hanlin, SHEN Shusheng

(College of Educational Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu 210097)

[Abstract] The cultivation of higher-order thinking has always been the focus of teaching practice, and its formation not only relies on the cognitive process, but also takes the development of concepts as concrete manifestations. Enactive cognition, as a mechanism and explanation for the formation of learner's cognition, can effectively develop learner's higher-order thinking. The article analyzes the specific meaning and practical problems of higher-order thinking, analyzes the connotations of enactive cognition, and proposes a cultivation path for higher-order thinking based on the emergent, embodied and action-oriented characteristics of enactive cognition: the process of contextual understanding, which creates real, virtual and augmented contexts for learners to facilitate the formation of concepts; the re-engineering process of embodied interaction, in which learners acquire concepts in the process of conceptual metaphors and embodied interaction; the creative process of reflective practice, which promotes the development of concepts by surpassing technical rationality in teaching and learning, solving complex problems, and engaging in reflective practice, so as to realize the formation of learners' higher-order thinking.

[Keywords] Higher-order Thinking; Enactive Cognition; Conceptual Development; Embodied Action; Reflective Practice

(上接第 26 页)

points to the effectiveness of self-internalization of computational thinking. The computational concept layer clarifies the basic concepts of computational thinking, computer science and programming, and compels the evaluation content based on the concepts of computer science. The process transfer layer attaches importance to the metacognitive process evaluation of computational thinking, and evaluates process learning in a way of "hierarchical column points". The thinking concept layer correctly treats the form of evaluation tools of computational thinking, and popularizes the application and evaluation of computational thinking with the principle of "3E".

[Keywords] Computational Thinking; Evaluation Method; Three-dimensional Framework; New Taxonomy of Educational Goals; C-M-S Framework