

国外计算思维教育研究进展

刘敏娜^{1,2} 张倩苇¹

(1. 华南师范大学教育信息技术学院, 广东广州 510631; 2. 宝鸡文理学院教育学院, 陕西宝鸡 721013)

[摘要] 计算思维作为21世纪学生应具备的关键能力,越来越受到教育者的关注。为了更好地开展计算思维教育,了解国外计算思维概念的发展及计算思维教育研究进展迫在眉睫。本研究通过对EBSCO数据库搜索计算思维文献,并采用“滚雪球”方法,共得到102篇相关文献,然后从计算思维概念的起源、发展和本质,教育内容,教育活动的实施及评价四方面进行内容分析。计算思维有算法思维和程序思维两种起源说;从算法思维、程序思维到计算思维正式提出再到实践中的计算思维,其内涵呈现多角度、交叉重叠且越来越精细的特征;计算思维的本质是抽象。计算思维教育内容主要涉及计算思维的过程阶段要素及其基本概念和能力,教育内容具有多样性。教育活动形式主要有基于屏幕的编程、制作和控制数字有形物及通用方法三种。计算思维评价分别在教育实施中评价、测试平台开发和评价量表上取得了一定研究成果。计算思维教育研究存在内容界定不清、学习结果评价重计算原理轻思维技能、课堂环境下的实证研究亟待加强、缺乏人文学科领域的研究以及教师的计算思维教学能力亟待提升等问题。

[关键词] 计算思维;算法思维;程序思维;计算参与;问题解决;21世纪技能

[中图分类号] G434 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-2179(2018)01-0041-14

正如印刷术推动人类阅读、写作和算术能力的发展一样,计算和计算机的广泛应用促使计算思维能力成为人们应掌握的一项基本能力。越来越多的学者呼吁将计算思维作为普适性能力,认为计算思维是未来工作中每个人应具备的八大技能之一(Weng, 2015),应该像读、写、算一样,并入学生的分析能力,而不仅仅是计算机科学家所特有的技能(Wing, 2006)。计算思维与21世纪技能相关,但又区别于其它21世纪技能,应该在课程中融入这项能力(Dede et al., 2013)。目前,各国正积极筹划并实施计算思维教育,探讨如何在各学段培养学生的计算思维能力。英国2014年9月开始应用新的计算

必修课程,旨在培养5-16岁学生的计算能力;美国2014年开发了面向学生计算思维能力的高中计算机科学原理课程框架(Yadav et al., 2017)。我国2016年新修订的高中信息技术课程标准,明确将计算思维作为信息技术课程的核心素养之一。现今,解决如何培养学生计算思维的问题迫在眉睫。计算思维教育首先要思考的问题是什么?什么是计算思维?计算思维教育的内容是什么?如何开展计算思维教育以及如何进行评价?本研究以在EBSCO数据库中选择题目或关键词中含有“computational thinking”的期刊文献(时间限定在2017年3月前),并结合“滚雪球”方法,最终得到102篇相关文献。

[收稿日期] 2017-09-30 **[修回日期]** 2017-12-24 **[DOI编码]** 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2018.01.005

[基金项目] 2016年广东省高等教育教学改革一般项目“基于开放在线课程的混合教学模式研究:以《信息素养》为例”;2017广东省高校特色创新教育科研类项目“‘互联网+’教育精准帮扶研究”。

[作者简介] 刘敏娜,华南师范大学教育信息技术学院在读博士生,研究方向:教育技术基本理论(liuminna1978@163.com);张倩苇,博士,教授,博士生导师,华南师范大学教育信息技术学院,研究方向:教育技术基本理论(zhangqianwei@m.scnu.edu.cn)。

研究者通过对这些文献的梳理,分析国际计算思维教育研究的进展,以期对我国计算思维教育提供借鉴和启示。

一、计算思维的起源、发展及本质

计算思维并不是一个新概念,早在 20 世纪下半叶就已出现。由于受将计算机等同于编程的观念的影响,那时的学者认为计算思维与计算机编程密切相关,将计算思维等同于程序思维、算法思维。2006 年,周以真第一次系统描述了计算思维。随后,计算思维研究再次兴起。经过随后十多年的研究推进,人们对计算思维的界定和理解也在发生变化,但其核心本质始终是抽象。计算思维的构成从单一的算法思维、程序思维到多种思维能力的综合;计算思维的过程要素,从通用的六要素到在各个学科中探索应用而产生特定学科的实践要素;从计算思维转向计算参与,在计算思维培养中考虑社会和文化因素。可以看出,计算思维逐渐从计算机学科分离出来,成为一种问题解决的通用范式,这一通用范式可在各学科应用,产生微观层面的具体实践应用要素。随着时间推移和计算机计算能力的不断增长,可以预料,计算思维在未来几年可能会形成完全不同的定义(Sanford et al., 2016)。

(一) 两种起源

1. 算法思维

2009 年,邓宁在《超越计算思维》一文中指出,计算思维在计算机科学领域已有悠久历史。在二十世纪五六十年代,计算思维被称为“算法思维”,指将问题转化为从输入到输出的转换过程,并寻找算法实施这些转换的心智导向(a mental orientation)。1975 年,物理学诺贝尔奖获得者威尔森基于其所创建的模型,在物理学方面取得了重大突破,提出模拟和计算是一种新的科学方法。二十世纪八十年代早期,威尔森与其他科学家一起倡导科学中巨大的挑战可能被计算攻破,呼吁政府通过支持建立超级计算中心网加速这一过程,并将其称为计算科学运动。计算思维在此已经成为常用术语。计算科学运动由物理和生命科学领域科学家发起,计算机科学家虽然也列其中,但不是关键角色。事实上,计算机科学家拒绝参与这一计划。因此,计算思维被视为科学本身的概念,而不是计算机科学引出的概念。

计算思维被看作是计算科学方法的一个特性,而不是计算机科学的显著特征。2017 年,邓宁在《科学中的计算思维》一文中重申了这一观点。

2. 程序思维

另一个计算思维源起于派珀特(Papert)提出的程序思维。派珀特使用 LOGO 编程语言教授学生数学概念时发现,计算机编程可以影响学生的思维。派珀特认为,学生会思考自己是如何思考的,程序思维强调学生使用程序化表征和符号系统来解决问题,像“计算机一样思考(thinking like a computer)”的“程序思维”将是学生思维技能的重要组成部分,并主张从儿童期就开始学习程序(Papert, 1980),希望程序思维能被视为学生思维技能的重要组成部分。1996 年,派珀特第一次简单界定了“计算思维”,指出计算思维是使用计算表征的功能表达重要观点,使其更加清晰、明了的过程(Papert, 1996)。大多数学者将程序思维作为计算思维的起源,将计算思维的实践和应用限定在计算机科学领域,对计算思维的培养也侧重在计算机编程的学习中。

(二) 正式提出

周以真 2006 年正式提出计算思维术语后,研究者从不同角度对计算思维是什么进行了解读,大致可归纳为两种视角:一种是“思维技能”说,主张计算思维是一项思维技能;另一种是“过程要素”说,认为计算思维是思考过程,可分为不同的阶段。

1. “思维技能”说

“思维技能”说认为,计算思维是使用计算原理解决问题的一系列心智技能的集合,是多种思维的组合。任何一种单一的思维技能可应用于解决问题的某个阶段,多种思维技能综合应用构成计算思维。计算思维不排斥其他思维模式,而是包容其他思维模式,如逻辑思维、数学思维、创新思维、工程思维等。

2006 年,周以真(Wing, 2006)第一次明确描述了计算思维,认为计算思维是一种使用计算机科学的基础概念解决问题、设计系统和理解人类行为等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。计算思维并不是像计算机一样思考,而是像计算机科学家一样进行思考,是在不同抽象水平上的思考,是培养有效使用计算解决人类复杂问题的一系列心智工具集。2008 年,周以真(Wing, 2008)进一步指出计算

思维是一种分析思维,在问题解决的不同阶段会用到数学思维,在设计和评价复杂系统时会用到工程思维,在理解概念时会用到科学思维。可以看出,计算思维是多种思维的综合应用。计算思维不是要让人类像计算机那样思考,而是要培养有效使用计算解决复杂问题所必需的一组心智工具集(Lu et al., 2009)。海门丁杰(Hemendinger, 2010)认为教授计算思维的目标是“教学生像经济学家、物理学家和艺术家那样思考问题,并理解如何使用计算解决问题,创建和发现能卓有成效进行探索的新问题”,并不是让每个人都像计算机科学家那样思考。曼尼拉等(Mannila et al., 2014)也强调计算思维是一系列思维技能。亚达夫等(Yadav et al., 2014)认为,计算思维是一项“抽象问题和制定可自动化执行解决方案的心智活动”。2015年,美国国际教育技术协会(ISTE, 2015)解读计算思维是创造力、算法思维、批判性思维、问题解决、合作思维和沟通技能共同体现。

2. “过程要素”说

任何思维技能都以解决问题为目的,计算思维也不例外。“过程要素”说强调计算思维是一个思考过程,这个过程可分为不同阶段,构成计算思维的过程要素。

2011年,周以真(Wing, 2011)进一步阐明,计算思维是“一个形成问题和制定问题解决方案的思考过程,这些解决方案所采用的形式是一种能够通过信息加工代理有效执行的表达形式。”同年,美国国际教育技术协会和计算机科学教师协会(ISTE & CSTA, 2011)与来自高等教育、工业和K-12教育领域的领导人联合推出针对中小学K-12教育计算思维能力的操作性定义。这个定义不但将计算思维描述为问题解决过程,而且给出了计算思维的六个阶段要素(包括但不限于这六个要素):1)提出问题,这些问题能通过计算机或其他工具解决;2)按逻辑组织和分析问题;3)通过抽象表征数据,如建模和仿真;4)使用算法思维(有顺序步骤)自动化解决方案;5)识别、分析和实施可能的解决方案,以实现最有效资源和步骤的组合;6)总结问题解决过程,并迁移到不同问题。后来,亚达夫等(Yadav et al., 2016)将其简化概括为问题分解、算法、抽象和自动化,与周以真(Wing, 2006)主张的计算思维的

三个关键部分算法、抽象、自动化相一致。

(三)新发展

近几年,计算思维概念在实践应用中有了新发展,即“计算参与”概念的提出、与具体学科知识相结合形成特定学科的实践阶段要素。计算参与是对计算思维的新解读,也是计算思维教育的一种范式(paradigm)。与学科结合的计算思维的实践要素从计算思维的一般性定义中分离出来,更加具体、清晰、准确。不同于强调计算机科学的核心概念和原理的定义,实践中的计算思维植根于真实、有意义的计算实践,是学生在该学科必须掌握的实践要素。如果说计算思维在具体学科中的实践应用产生的实践阶段要素是精细化发展,计算参与则是从社会和文化维度拓宽和加深了计算思维的内涵。

计算参与是在结构主义学习理论的影响下产生的。派珀特在其《头脑风暴:儿童、计算机及充满活力的创意》一书中提及该教学思想,但因受到“技术中心”价值观念(技术价值高于人和社会活动)的影响,这一教学思想被忽略。卡法伊等(Kafai & Burke, 2013)主张任何素养都会有功能、政治和个人目的,计算思维的功能是让学生进入社会学习其概念和技能,政治目的是要了解这些概念和技能为什么与社会相关,个人目的是构建和维护人际关系时这些概念和技能发挥作用。因此卡法伊认为,应该将计算思维放在更大的文化背景、个人学习和教育环境中培养,计算思维应转向计算参与。卡法伊在提出“计算参与”时,将其视为教授K-12学生学习编程的一种教学范式,主张从学习程序代码到使用代码创建应用,从使用代码设计工具到促进在社区中交流代码应用,从使用Scratch创作到在他人作品上进行修改和再创作。2016年,卡法伊(Kafai, 2016)再次提出使用计算参与重构计算思维,计算参与拓展了周以真的定义,强调是在计算的境脉中解决问题、设计系统和理解人类行为。一定程度上,计算参与是培养计算思维的新方法,通过从培养个人的计算思维知识、技能,到鼓励参与作品分享、社区讨论、再修改等,提升学生的计算思维能力,实现计算思维的动态培养。

以往的研究者对计算思维定义的讨论强调源自计算机科学的主题,比如抽象和算法,但是实践应用的计算思维更关注与具体学科知识内容的结合而产

生不同的实践要素。例如,温托宾等(Weintrop et al., 2016)根据数学和科学学科中使用的计算思维,总结了四个实践应用要素,分别是数据实践、建模和模拟实践、计算问题解决实践、系统思维实践,每部分又有特定的组成元素。

(四)计算思维的本质——抽象

计算思维的本质是抽象。抽象是省略不必要的细节,留下需要强调的环节的过程。周以真(Wing, 2006)认为,抽象赋予计算机科学家衡量和处理复杂性的能力。她指出,抽象是用来定义模式、从实例中概括以及参数化的过程。抽象让一个对象代表许多,捕获一组对象的一般本质特征,而隐藏它们之间不相关的区别。周以真(Wing, 2008)明确指出计算思维的本质是抽象,是最一般意义上的抽象,是决定哪些环节需要强调,哪些环节可以省略的过程,是计算思维的基础。不同于数学和物理学的抽象,计算思维的抽象更一般,数学的抽象是一种特殊性抽象。森古普塔等(Sengupta, 2013)分析了哲学的抽象,提出哲学家洛克将抽象分为特殊抽象和一般抽象两类。特殊抽象指限定应用在特定时空下,一般抽象可以应用于不同情境。在洛克的观点中,抽象是从特殊事物中获得同类事物一般特征的心理过程。基于此,森古普塔等人认为周以真所提的抽象是哲学家洛克所提抽象概念的一般类型的抽象。

计算思维的抽象和其它领域的抽象的不同在于,引入了层的思想。抽象有不同层次,两层次之间存在良好的接口,计算机科学家通常在至少两层之间进行活动处理。计算思维包含下列处理抽象细节的方式:1)定义抽象;2)确定多个层次的抽象;3)理解不同层次抽象的关系(Wing, 2008)。正如康斯特布尔(Constable)所指出的,尽管物理学和数学也以抽象为核心,但计算思维与其不同的是抽象层次的紧密联系,这些联系在自然科学中并不存在(National Research Council, 2010)。

正确理解计算思维的内涵,还需把握计算思维的特征。计算思维是人的思维,不是计算机的思维;是概念化的,不是程序化;是基础的,不是机械的技能;是思想,不是人造品;是数学和工程思维的互补与融合;是一种普适技能,将融入生活的方方面面(Wing, 2006)。笔者认为,计算思维是人们应用计算学科的原理、思想和方法解决问题中形成的一系

列思维技能或模式的综合,是一种动态、普适的思维技能,即在不同场景和学科背景下,其应用表现为不同的实践形式或阶段,并非是固定、机械的过程。计算思维从计算原理、思想和方法的角度表现为对数据、算法、递归、抽象等原理的应用;在过程阶段表现为提出问题、组织和分析问题、表征数据、自动化解决方案、分析和实施解决方案、迁移;从思维角度表现为算法思维、程序思维、创新思维、批判性思维、问题解决等多种思维的综合。显然,计算思维与其它思维技能的不同在于突出计算原理、思想和方法的应用,计算思维能力培养的关键在于抽象能力。

二、计算思维的教育内容

开展计算思维教育,首先面临的问题是计算思维的基础概念是什么?计算思维教育应该包括哪些内容?如何安排先后次序?现有研究中,计算思维教育内容主要有三种来源:1)计算思维操作性定义中包含的计算思维过程阶段要素、核心概念和能力;2)抽象;3)其它教育内容,如“伟大的计算原理”对计算的分类及用于编程环境下的计算思维教育内容(计算概念、计算实践和计算观念)。以第一类来源为教育内容的研究最多,即以数据收集、数据分析、数据表征、问题分解、抽象、算法和程序、自动化、模拟、并行化为主要内容,这些内容交叉重叠。因此,有学者将其概括为问题分解、算法、抽象、自动化。教育中采用将这些内容与学科知识内容相融合的方式开展教学。

(一)以计算思维过程阶段要素、核心概念和能力为教育内容

宏观层面,计算思维教育内容主要包括计算思维过程阶段要素、核心概念及能力。美国国际教育技术协会和计算机科学教师协会(ISTE & CSTA, 2011)联合推出的计算思维操作性定义,规定了计算思维的六个过程要素(提出问题、组织和分析问题、表征数据、自动化解决方案、分析和实施解决方案、迁移),与九项核心概念和能力(数据收集、数据分析、数据表征、问题分解、抽象、算法和程序、自动化、模拟、并行化)。多数研究将计算思维教育内容定为六个过程要素或九项核心概念和能力,亦或两者都包含,并与学科课程知识结合。有学者在这两部分内容基础上进行修改,增加或删除其中的元素。

例如,巴尔等(Barr & Stephenson, 2011)提出中小学教育中融合在不同学科(计算机科学、数学、科学、社会研究和语言艺术)内容中的计算思维教育内容框架和能力要求侧重于计算思维核心概念的说明,在九项核心概念和能力的基础上增加了分析和验证模型、测试和验证以及控制结构三项内容。波兰高中信息课的计算思维教育内容是计算思维的六个过程要素及九项核心概念和能力(Sysło & Kwiatkowska, 2013)。泽科卡瓦斯基(Czerkawski, 2015)介绍了非编程环境下高等教育领域适用的计算思维在线课程设计案例,课程内容采用计算思维的九个核心概念和能力要素。也有学者以计算思维的思考过程为主要内容,如安吉利等(Angeli et al., 2016)认为计算思维是使用抽象、一般化、分解、算法思维和调试(检测和纠正错误)的思考过程,据此提出了小学阶段计算思维培养的课程框架,主要内容是抽象、一般化、分解、算法和调试五部分,并将其从简单到复杂划分为K-2、K3-K4和K5-K6三级。

在微观层面,计算思维教育选择的内容主要是计算机科学基础知识、概念原理。例如,格罗佛等(Grover et al., 2016)借鉴学习科学和计算教育研究中关于如何更好地培养孩子计算思维和编程技能的教学思想,采用二次迭代,设计并完善了为期7周提高中学生计算思维基础的课程,内容主要来自中学计算机科学课程,将算法控制、数据和变量、布尔逻辑和高级循环等作为计算思维基础知识。霍斯科等(Hoskey & Zhang, 2017)将计算思维能力分为低层次计算思维和高层次计算思维。低层次计算思维是编码和执行,如编程入门级课程。高层次计算思维是问题解决、设计和建模。

(二)以抽象为教育内容

抽象是计算思维的本质,抽象也成为培养计算思维的重要内容。目前,以抽象为教育内容的计算思维教育主要培养学生建模和模拟仿真能力,参照算法思维的四级抽象水平:执行、编程、对象和问题,描述抽象的层次性,并以其中一个层次或多个层次开展计算思维教育。

抽象作为计算思维的本质,源于抽象也是计算机科学的基础和关键。在计算机科学的入门课程教学中,有学者主张应培养学生的抽象能力,提出适用于导入性课程理论框架(Armoni, 2013),并开展实

证研究(Statter & Armoni, 2016)。而在计算思维培养方面,柯曾等(Curzon et al., 2012)主张在幼儿期就培养学生的抽象能力,发展计算思维。森古普塔等(Sengupta et al., 2013)基于主体的计算方法,提出将计算思维与K-12中小学科学教育进行整合的理论框架,并通过建模和模拟支持的计算思维学习环境,帮助中学生学习物理和生物学。这里的计算思维教育内容为建模和模拟的抽象内容。巴萨瓦帕特纳(Basawapatna, 2016)指出学生可通过使用可视化编程工具(模拟创建工具箱),创建代理程序,模拟真实世界,在这个过程中学生使用抽象能力完成模拟和建模,发展计算思维。佩勒诺等(Perrenet et al., 2005)在描述如何知晓学生开始像计算机科学家一样思考时,将计算机科学学生算法概念掌握的思维抽象水平定义为四个层次:最低层次是执行(Execution),即一个算法在特定机器上运行,执行时间由机器决定;第二个层次是编程(Program),算法是一个过程,采用可执行编程语言编写的程序;第三个层次是对象(Object),算法是一个对象,没有与具体编程语言相联系,仅仅是根据输入功能讨论的复杂方法;最高抽象层次是问题(Problem),即个体能将问题作为生活中的对象考虑。这四级抽象水平所描述的内容和能力要求是计算思维培养的重要内容。

(三)其它

计算思维教育内容还包括“伟大的计算原理”中对计算的分类(计算、交流、协调、记忆、自动化、评价和设计),而在编程课程中多以计算概念(编程用的概念)、计算实践(使用概念时发展的实践)和计算观念(对周围世界和自己所形成的观念)为计算思维的教育内容。

塞特尔等(Settle et al., 2012)在跨课程计算思维教育项目中,侧重于修改已有的一般教育课程,在一定境脉中教授计算思维,其将邓宁的“伟大的计算原理”中对计算的分类作为计算思维的教育内容,并将这些内容与初高中计算机科学课程,以及高中的拉丁语、图形艺术、英语和历史课程融合教授计算思维。布伦南等(Brennan & Resnick, 2012)则在基于Scratch的编程环境中为计算思维的培养提供了详细的计算概念、计算实践和计算观念的教育内容的观点和内容界定,为基于程序的计算思维培养

提供了内容框架,这些内容也成为借助其它程序(Scratch 以外的程序)开展计算思维教育的内容体系。

三、计算思维教育的实施

加达尼迪斯等(Gadanidis et al., 2017)提出计算思维应用的三种方式:1)基于屏幕的编程;2)制作和控制数字有形物,如电路和可编程的机器人;3)用来解决问题的通用方法,侧重于算法的逻辑和设计或使用计算机执行的步骤序列。据此,本研究将现有研究中计算思维教育活动的实施分为基于屏幕的编程、制作和控制数字有形物、通用方法三类。

(一) 基于屏幕的编程

基于屏幕的编程主要使用编程工具编程,在电脑屏幕显示模拟或实现屏幕控制或显示效果。多数编程工具为可视化编程工具,如 Scratch、Alice、Python 等。这种方式是计算思维教育活动实施的主要形式,可以单独使用,也可以融合在课程教学中。利耶等(Lye & Koh, 2014)对 27 篇通过程序开发培养计算思维的实证研究进行综述分析后发现,幼儿、中小学和大学教育均可采用程序开发培养计算思维。已有研究主要发展了学生的计算概念,应用的教学方法主要有:强化计算概念、反思编程过程、信息处理和使用支架构建程序。在基于屏幕的编程中,计算思维的编程主要有游戏创建、游戏参与、人工制品设计与制作三种。

1. 游戏创建

游戏创建成为发展素养的一种重要方法,可以提升信息素养,同样也可用于培养计算思维。学习者采用游戏创建工具,将计算思维教育的内容(如基本的计算概念术语知识、抽象能力)与学科知识结合,通过编程或游戏创建工具构建、调试、修正以实现游戏的创建,继而培养计算思维。

詹森等(Jenson & Droumeva, 2016)在 67 名 6 年级学生使用 Game Maker Studio 工具创建游戏,培养学生的计算思维。在课堂环境下,学生采用编码形式结对创建游戏,他们将计算思维的分解、并行化、抽象和模式泛化,转化为可操作的计算机学术语和操作。结果表明,游戏创建方法促进了学生对基本计算术语和游戏创建领域知识的理解。巴萨瓦帕特纳(Basawapatna, 2016)详细介绍了模拟游戏创

建工具 Simulation Creation Toolkit 的功能和原理,并邀请 45 名 7 年级学生在生命科学课程中使用该工具学习生态系统和食物链内容。学生通过该工具编程,模拟创建捕食者/猎物游戏,游戏创建中使用了计算思维模式。这些模式是为了在游戏设计和创建模拟之间建立联系而构建的主体行为,用户在最初的游戏设计中学习这些行为,并将此迁移到模拟游戏,形成主体行为。研究者通过对创建模拟游戏时使用的计算思维模式应用的正确性和合理性,判定该工具对计算思维培养的作用。结果表明,新手可以使用该工具以最省时的方式有效地完成课堂环境中的模拟游戏创建,发展计算思维。

2. 游戏参与

与游戏构建不同,游戏参与的规则是已知的,参与者需要使用与计算思维相关的技能完成任务,逐级实现游戏目标,培养参与者的计算思维。李等人(Lee et al., 2014)选择 18 名 10-15 岁的学生,分别使用 CTArcade 教育游戏平台参与虚拟角色游戏和在传统纸质条件下参与井字游戏,对比两种游戏参与过程中使用的计算思维能力。从访谈和发声思维录音数据的量化和质性分析结果看,学生参与游戏的过程中使用了四类计算思维能力:问题分解、模式识别、模式归纳和算法思维,使用 CTArcade 游戏平台的学生能清晰描述更多的计算思维能力要素。卡齐奥卢等(Kazimoglu et al., 2012)在游戏任务设计中将计算思维能力(问题解决、建立算法、调试、模拟和社会化)与程序结构设计结合,学生通过编程和符号表征设计算法解决方案,完成游戏任务。学生可在游戏中根据算法解决方案的执行情况,调试、分析、重新设计程序结构以优化解决方案。该方案在 25 名高中生中进行了初步的实践应用,参与者的反馈表明,多数学生认为游戏参与能帮助学生理解编程结构,培养学生的问题解决能力。

3. 人工制品设计与制作

通过制作、开发多媒体作品或完成项目任务也可实现计算思维能力的培养,其中,计算思维能力和计算原理的基本概念和知识融合在作品或任务中。赛斯-洛佩斯等(Sáez-López et al., 2016)邀请 107 名不同小学的 6 年级学生分别在 5、6 年级的科学和艺术课程中使用可视化编程语言(Scratch),在课堂创作多媒体作品,构建侧重于“实验和迭代”的计算

实践,学生一步步开发项目,尝试新的内容和元素,应用不同的概念,并不断修正。研究者采用基于设计的研究,分析两年整合可视化编程语言的实验效果。结果表明,使用可视化编程语言制作多媒体作品的方法显著提高了学生的计算实践能力,促进了学生对计算概念的理解。

(二) 制作和控制数字有形物

制作和控制数字有形物的教学活动,主要通过物理机器人活动的设计和控制在,发展学生的计算思维能力。具体应用强调学生在机器人编程中学习和应用计算思维的核心概念,如抽象、自动化、分析、分解、模块化和迭代设计。研究表明,这对学生的批判思维、问题解决和元认知技能的发展有积极的促进作用。不难推测,设计和控制机器人活动也可促进计算思维能力的发展。

美国国家科学基金会 2011 年的研究表明,学生在编写机器人代理程序与环境交互的过程中,能发展抽象、自动化和相关的分析能力。伯斯等(Bers et al., 2014)在三所幼儿园课堂中,应用 TangibleK 机器人编程课程,让幼儿园二年级儿童学习计算思维、机器人、编程和问题解决技能。结果表明,幼儿对该课程学习机器人、编程和计算思维感兴趣,培养了调试、行动和指令的对应、指令顺序和控制流等能力。亚伊帕尔-亚马尼等(Jaipal-Jamani & Angeli, 2017)在一年级“小学科学教育方法课程”中选择 21 名职前教师作为研究对象;选择科学学科教授和教育技术教授作为教学人员,分别教授“齿轮”和机器人理论知识及计算概念,如算法、顺序、调试和循环控制流等。教学人员使用支架教学策略,指导职前教师在 3 周内使用乐高 WeDo 机器人套件,分别完成三项机器人编程活动。研究人员采用前后测试题、问卷,了解学生对齿轮知识的理解、对机器人教学的兴趣、自我效能以及获得计算思维能力的程度。结果表明,该教学对被试的科学知识、对机器人教学的兴趣、自我效能以及计算思维能力的掌握均有促进作用。艾特玛兹多等(Atmatzidou & Demetriadis, 2016)分别选取 89 名初中生和 75 名高职生参加为期 11 周的教育机器人学习活动,学生分组完成机器人编程。研究者在学习活动的不同阶段分别测量了学生的抽象、一般化、算法、模型化和分解等计算思维能力。结果表明,不同性别和年

龄学生的计算思维能力得到了同等水平的发展,但在不同计算思维能力维度表现出年龄和性别差异。

(三) 通用方法

通用方法的计算思维教育的实施,侧重于问题解决方案的系统化设计、执行、结果评价及方案的再修改和完善。通用方法的计算思维教育主要包括算法设计、数据表征、数据收集、分析和综合应用、抽象概括等更为一般的计算思维能力,可作为人文类学科计算思维培养的主要形式。

崔等人(Choi et al., 2017)认为计算思维是有效使用计算系统解决问题的思考过程,学习者必须能够为具体问题设计算法,并解决问题。其采用基于设计的研究开发了基于谜题的算法学习方法(Puzzle based algorithm learning program,简称 PBAL),强调算法设计技能在现实问题解决中的应用,并选择 4-6 年级共 82 名韩国学生作为研究对象,其中 44 人作为实验组研究对象,采用基于谜题的算法学习方法;38 人作为控制组研究对象,采用传统的算法学习方法,通过学生对问题解决过程的自我报告考察学生的计算思维能力,对两组学生的前后测结果进行 T 检验,发现使用基于谜题的算法学习方法能更有效地提升学生的计算思维能力。沃兹等人(Wolz et al., 2011)展示了融合计算思维培养的交互式杂志内容创建的研究项目,认为计算思维与说明文写作具有同构性。说明文写作需要收集、分析和综合信息,而计算思维能力(如算法设计、知识表征,从案例中抽象、总结和评价信息)对信息收集、分析和综合至关重要。

四、计算思维的评价

计算思维评价研究涉及计算思维教育活动实施中的评价、测试平台和可独立使用的测量量表三方面。计算思维教育活动实施中的评价主要与实施计算思维教育活动的内容和形式关联,评价是教育活动的一部分。计算思维教育活动实施中的评价,常采用多元评价方法。近年来,随着计算思维研究成果的丰富及对计算思维评价的迫切需求,有学者根据计算任务的完成情况,结合用到的计算概念和计算实践,设计并开发了能够自动化生成可视化测量报告的测试平台。有学者认为每个人随着年龄的增长具有不同水平的计算思维,进行了独立评价计算

思维量表的研究。

(一) 计算思维教育活动实施中的评价

由于教育目的、内容以及研究者所采用方法的差异,计算思维教育活动实施中的评价内容和方式有所不同。常见评价内容包括计算的基础知识、编程的基本概念以及计算思维的核心概念和能力。有学者同时测量研究对象对计算思维、计算机科学和计算应用的态度和信心,即评价内容围绕知识、技能和态度三方面,但对技能和态度方面关注度较低。

计算思维教育活动实施中的评价呈现评价内容和方式多元化的特征。格罗佛等(Grover et al., 2014)在中学开展了6周的“推进计算思维基础”课程教学,内容主要为计算的基础知识及计算思维的相关能力,方式为基于Scratch的任务教学。评价设计使用了针对计算概念、Scratch知识、读和解释算法的能力以及一般的编程问题的测试,并使用反思任务完成情况对Scratch任务进行等级评价。亚达夫等(Yadav et al., 2014)将计算思维融入职前教师教育心理学课程为期一周的教学,主要内容为计算思维的定义和计算思维的核心概念(问题确定和分解、抽象、逻辑思维、算法和调试),并结合实例说明在K-12课堂整合计算思维的益处。评价工具为开放式问题和态度量表,内容为学生对计算思维的理解、对计算思维整合进K-12课堂的态度以及如何进行整合的想法。艾特玛兹多等(Atmatzidou & Demetriadis, 2016)探究了计算思维教育模型对不同年龄、性别学生计算思维发展的影响。研究者共选择164名学生(初中89人,高职75人)参加教育机器人活动,为期11周,每周2小时,教学内容是融合在机器人教育活动中的计算思维能力。研究者使用测试、访谈和出声思维等方法,在不同教学阶段对学生的计算思维能力进行评价,评价内容为编程基础概念及学生对任务完成过程中抽象、一般化、算法、模块化和分解等内容的反思自评报告。伯兰等(Berland & Wilensky, 2015)根据画流程图的方式测试8年级学生的计算思维。詹森等(Jenson & Droumeva, 2016)认为不同研究中计算思维教学的研究目的不同,所采用的前后测方法也不同。例如,有证据表明编程绩效与对计算机科学的信心和态度有关,因此,评价学生的编程技能时可使用专门针对计算机科学的信心和态度的测量工具。

(二) 计算思维测试平台

计算思维测试平台是可自动生成可视化评价结果或给出评价得分的计算机软件系统。其中,研究者设计融合计算思维相关内容的任务,使用者完成平台提出的任务,提交任务作品,系统自动给出评价结果。评价内容由开发者根据平台任务自主选择,不具有统一性。遗憾的是,目前已有的计算思维测试平台并未进行可靠性和有效性验证。

美国科罗拉多大学科赫等(Koh et al., 2010)开发了评价学生创作视频游戏程序时计算思维概念使用的可视化语义评价工具。这款工具被命名为“计算思维模式图”,可以根据开发者上传的游戏任务,自动生成计算思维模式图,可视化游戏开发者用过的计算思维概念及频率。巴萨瓦帕特纳等(Basawapatna et al., 2011)通过设计的计算思维模式测验,评价学生能否将视频游戏编程中获得的计算思维模式迁移到新的科学环境。研究者在学生看完视频后,要求学生回答测试问题,据此判定学生能否识别非游戏编程环境中的计算思维模式。这里的计算思维模式是光标控制、创建、吸收、冲突、传输、推、拉、扩散和爬山算法等,是研究者根据游戏中常用的算法控制定义的内容。加利福尼亚大学沃纳等(Werner et al., 2012)开发了可在Alice平台应用的“精灵评价”(Fairy Assessment)工具,试图通过游戏编程任务,测量学生对抽象、条件逻辑、算法思维和其它用于解决问题的计算思维概念的理解和使用情况。平台共有三个任务,学生可根据执行效果修正程序方案,每个任务得分0~10分,由研究者对学生最终提交的游戏任务的解决方案进行评分,以实现计算思维能力的评价。

(三) 计算思维测量量表

近期,经过有效性和可靠性验证的计算思维测量量表的出现,是计算思维评价研究的新突破。计算思维测量量表作为通用测量工具,可以对特定研究群体计算思维能测量评价。

罗曼-冈萨雷斯等(Román-González et al., 2017)提出了针对中小学生的包含28个题目的计算思维测量量表,测试内容为计算概念,部分涉及计算实践。研究者邀请24所学校5-10年级的1251名学生使用该量表,对试题的可靠性和有效性进行验证。结果表明,该测量工具在高年级和利用移动设

备进行测试时可靠性相对在低年级和计算机上完成测试的要高。为了验证该测量工具的有效性,研究者将其与成熟的认知能力测试量表进行相关性分析,该测量工具与空间能力、推理能力及问题解决能力测试中度相关,表明它能够表达计算思维实质上是问题解决能力,也说明该测量工具是有效的。科尔克马兹等(Korkmaz et al., 2017)采用ISTE(2015)的观点,认为计算思维是创造力、算法思维、批判性思维、问题解决、合作思维和沟通技能的共同体现,分别使用这五种思维已有的测量量表,经过两次使用(首次应用在阿玛西亚大学726名学生中,第二次应用在580名远程教育的大学生中),最后确定了包含29个问题的五级里克特量表,并通过探索性因素分析、验证性因素分析、项目特殊性分析、内部一致性系数以及稳定性分析检验量表的有效性和可靠性。结果表明,该测量工具有效且可靠,可以测量学生的计算思维能力。

五、问题与反思

(一)计算思维教育内容边界不清、层次不明

计算思维教育内容源于对计算思维定义的理解,2006年周以真首次正式提出计算思维定义时,认为计算思维是通过使用计算机科学的基础概念解决问题、设计系统和理解人类行为等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。这个定义过于宽泛,对计算思维的内涵界定不够明确,致使计算思维的教育内容各不相同。尽管周以真在2008年补充解读了计算思维的本质,推出了针对K-12教育阶段的操作性定义,但计算思维教育内容体系仍有待明确。现有研究中计算思维教育内容有计算的基础知识和概念、程序的基础知识、计算思维的核心概念和过程要素、抽象、伟大的计算原理等,表现出视角不同、内容各异、层次不一、交叠重复等特征。当前人们采用最多的是邓宁(Denning, 2017)的定义,即认为计算思维是人们参与制定问题解决方案并将解决方案表示为可由信息处理代理有效执行的计算步骤和算法的思维过程。邓宁主张的定义还存在很多问题,例如,作为思考过程,计算思维包括哪些过程?已有定义描述的思考过程包括:数字表征、序列、选择方法、抽象、分解、测试、调试以及再使用,而这些很难完整表达计算思维。此外,计算思维教育内容既涉及基础

知识、概念和能力,也包含高级概念和技能,那么,哪些年龄和年级的学生可以接受抽象、自动化、分解等高级概念,以及如何渐进式地教授这些技能?

(二)学习结果评价重计算原理,轻思维技能

从现有研究成果看,研究者侧重对计算思维基础概念、计算机科学基础知识和原理的学习结果考察,而对计算思维能力和情感目标关注不够。究其原因,一,当下的计算思维教育活动并未走出计算机科学教育的范畴,致使计算思维教育活动偏重于计算原理知识的教学,忽视思维能力的提升;二,缺乏统一、有效、可靠的评价工具。计算思维教育评价虽然取得一些研究成果,但多数成果未经过有效性和可靠性验证。当前计算思维教育内容多源自计算机科学的基础概念和原理,内容灵活多样,难以统一,再加之开展方式以基于编程的教学活动为主,因此,计算思维评价也是与编程工具的使用紧密相关,缺乏一般通用、脱离编程的计算思维评价工具。计算思维的评价是一项挑战性工作。目前,非编程环境下有效且可靠的计算思维评价工具很少,更缺乏与具体学科教学知识相结合的计算思维评价工具。计算思维教育活动实施中,教育者需要考察计算思维活动是否按预期对学习者的学习结果产生了影响(Yadav et al., 2017)。这些影响不仅是计算基础原理知识的掌握,更重要的是思维能力上的变化。

(三)课堂环境下的实证研究亟待加强

尽管计算思维已引发研究者的广泛关注,但无论是在基础教育还是高等教育,计算思维教育的实证研究都亟待加强。国外计算思维教育研究成果集中在基础教育,高等教育研究成果相对较少,这与基础教育操作性定义的提出不无关系,该定义为这一领域开展计算思维教育提供了参考内容和依据。但是,目前基础教育的研究多为理论描述、方案设计和探索性尝试,已有的实证研究对学生计算思维的培养偏重计算概念而忽视计算思维能力,且对计算思维能力的效果考察不够明晰,有些研究还存在样本小的不足,尤其缺少课堂环境下培养学生计算思维能力的实证研究。邓宁(Denning, 2009)主张计算思维是一项实践,一种做事的方式,而不是一种原理,在实践中可以培养学习者不同水平的能力。计算思维能力的培养,应该在解决问题的实践中完成,计算思维教育应强调计算思维的应用,而其教育研

究应重视加强实证研究。

(四) 缺乏在人文学科领域中的研究

从计算思维的教育实践看,基于编程的教育是主要的方式,且集中在科学(数学、物理、生物、计算机科学)课程中。然而,邦迪(Bundy, 2007)认为计算思维几乎影响所有学科的研究,既包括科学领域也包括人文领域,计算促使研究者寻找新的问题和接受新的答案。计算思维改变了人们的思考方式,计算概念提供了描述新假设和理论的新语言。多数研究关注的计算思维内容为计算和计算机科学的基础知识和概念,并将其应用在编程中解决学科问题,这些应用并未走出计算机科学基础知识和技术应用的界限,是一种狭义的计算思维定位,而人文学科中的应用,关注的不是技术工具和概念原理本身,而是概念原理所传递的思想和方法,是一种广义的计算思维定位。

(五) 急需提升教师的计算思维教学能力

计算思维是学生应掌握的一项分析和解决问题的能力,是21世纪的核心素养之一。在这一背景下,各国推出不同的课程标准和教育举措。提升学生的计算思维,教师是关键。而现有的研究成果中,针对教师计算思维教学能力的研究匮乏。很少有侧重于培训在职教师将计算思维纳入中小学课堂的教师教育项目,而重新设计教育技术和方法课程是发展职前教师计算思维能力的关键,教育和计算机科学学院应协同工作,利用在计算和教师发展方面的专长促进教师的计算思维教学能力(Yadav et al., 2017)。安吉利等(Angeli et al., 2016)描述了小学生计算思维教育课程的内容框架,并根据TPACK模型框架简略呈现了教授该课程的教师应具备的知识能力体系。亚达夫等(Yadav et al., 2014)在职前教师二、三年级的教育心理学课程融入计算思维,目的在于让职前教师初步理解计算思维是什么,以及感受计算思维在中小学课堂教学的可能性。研究者已意识到教师计算思维教学能力的重要性,并进行了初步探讨,但还没有针对教师的计算思维教学能力开展深入研究。

六、展 望

未来,计算思维教育的以下方面有待加强:1)开展职前和在职教师计算思维培训,包括教师教育

应关注计算思维并整合进课堂教学(Yadav, Stephenson, & Hong, 2017),以及重新设计教育技术和方法课程,帮助教师发展计算思维能力。学术界、政府、公司等也应推进合作开发课程,提高教师的计算思维学科教学能力,帮助他们学会将计算思维与学科教学进行整合。教育和计算机科学教师应利用计算和教师发展的知识互补进行合作。2)开发计算思维的测评工具。教师一般不熟悉计算思维,难以发现计算思维与课程之间的联系。设计和开发可靠而有效的计算思维评估工具是计算思维嵌入学科教学的关键(Grover & Pea, 2013)。为判断计算思维整合进课程的有效性,研究者应开发计算思维测评工具,帮助教育工作者评价学习者学到什么,同时需要开发严密的基于具体的计算思维结构的工具,以用于所有教育领域(包括职业教育和教师教育)和具体学科的计算思维评价。3)开展计算思维教育研究。相比国外,我国计算思维教育研究亟待加强,包括促进中小学计算思维课程的开发,女生计算思维能力的发展,其他计算思维课程及其相关资源的开发等。以往研究多关注计算思维的定义和促进其发展的工具,极其需要应用学习科学如情境学习、分布式和具身认知理论等设计计算思维课程,从各类实证研究中获取新知,以扩大计算思维对学生的影响。

总之,我们期望学生参加计算思维发展课程后能做得更好,但是如何对他们进行评估呢?这是学校大规模引进计算思维课程首先需要回答的问题。比如,发展儿童计算思维(如递归)是否存在障碍或困难?这些障碍或困难如何解决?对计算思维和计算科学的倾向、态度和刻板印象,以及它们如何与学习者发展相关联?如何解决学生计算思维发展中的性别差异?这种差异在计算思维发展中有多重要?这些问题都是学生计算思维发展的理论和实践需要清晰了解的。

[参考文献]

- [1] Armoni, M. (2013). On teaching abstraction in computer science to novices [J]. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 32(3): 265-284.
- [2] Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2016). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences [J]. *Robotics and Autono-*

mous Systems, 75: 661-670.

- [3] Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J., & Zagami, J. (2016). A K-6 Computational thinking curriculum framework implications for teacher knowledge [J]. *Educational Technology & Society*, 19(3): 47-57.
- [4] Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community? [J]. *ACM Inroads*, 2(1): 48-54.
- [5] Basawapatna, A., Koh, K. H., Repenning, A., Webb, D. C., & Marshall, K. S. (2011). Recognizing computational thinking patterns [A]. *Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. [C] ACM: 245-250.
- [6] Basawapatna, A. (2016). Alexander Meets Michotte: A simulation tool based on pattern programming and phenomenology [J]. *Educational Technology & Society*, 1(19): 277-291.
- [7] Berland, M., & Wilensky, U. (2015). Comparing virtual and physical robotics environments for supporting complex systems and computational thinking [J]. *Journal of Science Education and Technology*, 24(5): 628-647.
- [8] Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum [J]. *Computers & Education*, 72: 145-157.
- [9] Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking [EB/OL] [2016-11-13]. http://web.media.mit.edu/~kbrennan/files/Brennan_Resnick_AERA2012_CT.pdf.
- [10] Bundy, A. (2007). Computational thinking is pervasive [J]. *Journal of Scientific and Practical Computing*, 1(2): 67-69.
- [11] Choi, J., Lee, Y., & Lee, E. (2017). Puzzle based algorithm learning for cultivating computational thinking [J]. *Wireless Personal Communications*, 93(1): 131-145.
- [12] Curzon, J. W. P., Marsh, W. & Sentence, S. (2012). Abstraction and common classroom activities [J]. *Science education*, 112-113.
- [13] Czerkawski, B. (2015). Computational thinking in virtual learning environments [EB/OL] [2016-11-12]. https://www.researchgate.net/publication/284550207_Computational_Thinking_in_Virtual_Learning_Environments.
- [14] Dede, C., Mishra, P., & Voogt, J. (2013). Advancing computational thinking in 21st century learning [EB/OL] [2017-2-18]. <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6168377>.
- [15] Denning, P. J. (2009). The profession of IT Beyond computational thinking [J]. *Communications of the ACM*, 52(6): 28-30.
- [16] Denning, P. J. (2017). Computational thinking in Science [J]. *American Scientist*, 105(1): 13-17.
- [17] Gadanidis, G., Hughes, J. M., Minniti, L., & White, B. J. (2017). Computational thinking, grade 1 students and the binomial theorem [J]. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 3(2): 77-96.
- [18] Grover, S., Cooper, S. & Pea, R. (2014). Assessing computational learning in K-12 [A]. *Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education* [C]. ACM: 57-62.
- [19] Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K-12: A review of the state of the field [J]. *Educational Researcher*, 42(1): 38-43.
- [20] Grover, S., Pea, R., & Cooper, S., (2016). Factors influencing computer science learning in middle school [A]. *Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education* [C]. ACM: 552-557.
- [21] Hemmendinger, D. (2010). A plea for modesty [J]. *ACM Inroads*, 1(2): 4-7.
- [22] Hoskey, A., & Zhang, S. (2017). Computational thinking: What does it really mean for the K-16 computer science education community [J]. *Journal of computing sciences in colleges*, 32(3): 129-135.
- [23] ISTE. (2015). CT leadership toolkit [EB/OL]. [2018-1-15]. <http://www.iste.org/docs/ct-documents/ct-leadership-toolkit.pdf?sfvrsn=4>.
- [24] ISTE & CSTA. (2011). Computational thinking teacher resources. [EB/OL] [2016-11-15]. <http://iste.org/computational-thinking>.
- [25] Jaipal-Jamani, K., & Angeli, C. (2017). Effect of robotics on elementary preservice teachers' self-efficacy, science learning, and computational thinking [J]. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2): 175-192.
- [26] Jensen, J., & Droumeva, M. (2016). Exploring media literacy and computational thinking: a game maker curriculum study [J]. *Electronic Journal of e-learning*. 14(2): 111-121.
- [27] Kafai, Y. B. (2016). From computational thinking to computational participation in K-12 education [J]. *Communications of the ACM*, 59(8): 26-27.
- [28] Kafai, Y. B., & Burke, Q. (2013). The social turn in K-12 programming: Moving from computational thinking to computational participation [A]. *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on computer science education* [C]. ACM: 603-608.
- [29] Kazimoglu, C., Kiernan, M., Bacon, L., & MacKinnon, L. (2012). Learning programming at the computational thinking level via digital game-play [J]. *Procedia Computer Science*, 9: 522-531.
- [30] Korkmaz, Ö., Çakir, R., & Özden, M. Y. (2017). A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS) [J]. *Computers in Human Behavior*, 72: 558-569.
- [31] Koh, K. H., Basawapatna, A., Bennett, V., & Repenning, A. (2010). Towards the automatic recognition of computational thinking for adaptive visual language learning [A]. *Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC), 2010 IEEE Symposium on* [C]. : 59-66.

- [32] Lee, T. Y., Mauriello, M. L., Ahn, J., & Bederson, B. B. (2014). CTAVcade-computational thinking with games in school age children [J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2(1): 26-33.
- [33] Lu, J. J., & Fletcher, G. H. (2009). Thinking about computational thinking [J]. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(1): 260-264.
- [34] Lye, S. Y., & Koh, J. H. L. (2014). Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12? [J]. *Computers in Human Behavior*, 41: 51-61.
- [35] Mannila, L., Dagiene, V., Demo, B., Grgurina, N., Mirollo, C., Rolandsson, L., & Settle, A. (2014). Computational thinking in K-9 education [DB/OL] [2017-1-8]. https://www.researchgate.net/publication/273772180_Computational_Thinking_in_K-9_Education.
- [36] National Research Council(2010). Report of workshop on the scope and nature of computational thinking[M]. Washington D. C.: National Academics Press.
- [37] Papert, S. (1980). Mindstorms: children, computers, and powerful ideas [EB/OL] [2016-12-20]. <http://kvannti.kapsi.fi/Documents/LCL/mindstorms-chap1.pdf>.
- [38] Papert, S. (1996). An exploration in the space of mathematics educations [J]. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 1(1): 95-123.
- [39] Perrenet, J., Groote, J. F., & Kaasenbrood, E. (2005). Exploring students' understanding of the concept of algorithm [EB/OL] [2016-11-14]. https://www.researchgate.net/publication/220808024_Exploring_students%27_understanding_of_the_concept_of_algorithm_levels_of_abstraction.
- [40] Román-González, M., Pérez-González, J. C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the computational thinking test [J]. *Computers in Human Behavior*, 72: 678-691.
- [41] Statter, D., & Armoni, M., (2016). Teaching abstract thinking in introduction to computer science for 7th graders [A]. *Proceedings of the 11th Workshop in Primary and Secondary Computing Education [C]*. ACM: 80-83.
- [42] Sanford, J. F., & Naidu, J. T. (2016). Computational thinking concepts for grade school [J]. *Contemporary Issues in Education Research (Online)*, 9(1): 23-31.
- [43] Sáez-López, J.-M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using "Scratch" in five schools [J]. *Computers & Education*, 97: 129-141.
- [44] Sengupta, P., Kinnebrew, J. S., Basu, S., Biswas, G., & Clark, D. (2013). Integrating computational thinking with K-12 science education using agent-based computation: A theoretical framework [J]. *Education and Information Technologies*, 18(2): 351-380.
- [45] Settle, A., Franke, B., Hansen, R., Spaltro, F., Jurison, C., Rennert-May, C., & Wildeman, B. (2012). Infusing computational thinking into the middle-and high-school curriculum [EB/OL] [2016-11-14]. https://www.researchgate.net/publication/254462492_Infusing_computational_thinking_into_the_middle_and_high-school_curriculum.
- [46] Sysło, M. M., & Kwiatkowska, A. B. (2013). Informatics for All High School Students [A]. *International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives [C]*. Springer, Berlin, Heidelberg: 43-56.
- [47] Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms [J]. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1): 127-147.
- [48] Werner, L., Denner, J., Campe, S., & Kawamoto, D. C. (2012). The fairy performance assessment: Measuring computational thinking in middle school [A]. *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on computer science education [C]*. ACM, 215-220.
- [49] Weng, W. (2015). Eight skills in future work [J]. *Education*, 135(4): 419-422.
- [50] Wing, J. M. (2006). Computational thinking [J]. *Communications of the ACM*, 49(3): 33-35.
- [51] Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366(1881), 3717-3725.
- [52] Wing, J. M. (2011). Research Notebook: Computational thinking—What and Why? [EB/OL] [2016-11-03]. <http://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>.
- [53] Wolz, U., Stone, M., Pearson, K., Pulimood, S. M., & Switzer, M. (2011). Computational thinking and expository writing in the middle school [J]. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 11(2): 1-22.
- [54] Yadav, A., Hong, H., & Stephenson, C. (2016). Computational thinking for all: pedagogical approaches to embedding 21st century problem solving in K-12 classrooms [J]. *TechTrends*, 60(6): 565-568.
- [55] Yadav, A., Good, J., Voogt, J., & Fisser, P. (2017). Computational thinking as an emerging competence domain [M]. In Mulder M. (eds). *Competence-based Vocational and Professional Education* (pp. 1051-1067). Springer International Publishing.
- [56] Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambruch, S., & Korb, J. T. (2014). Computational thinking in elementary and secondary teacher education [J]. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 14(1): 1-16.
- [57] Yadav, A., Stephenson, C., & Hong, H. (2017). Computational thinking for teacher education [J]. *Communications of the ACM*, 60(4): 55-62.

(编辑:魏志慧)

Advances of Research in Computational Thinking Education

LIU Minna^{1,2} & ZHANG Qianwei¹

(1. School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;
2. School of Education, Baoji University of Arts and Science, Baoji 721013, China)

Abstract: Computational thinking (CT) as a key 21st century skill for all students has been paid more and more attention by educators. In order to promote CT education, it is urgent to understand the concept of CT and discover the development of CT education. This study analyzed papers on CT education which were published prior to March of 2017. A total of 102 articles were identified by searching within the specialized database sources EBSCO host and using the “Snowball” method. Four aspects of content analysis were carried out. It includes the origin, development and the essence of CT; the content of CT education; the implementation and evaluation of educational activities. The literature review indicated that there are two kinds of CT origin, respectively algorithm thinking and procedural thinking. The development of the concept showed multi-perspective, overlapping and more elaborated from algorithm thinking, procedural thinking to CT formally proposed and to CT in practice. The educational content of CT is mainly based on the process, elements and basic vocabulary and skills of CT. There are three types of educational activities: it can be screen-based, involving computer programming; it can be used to make and control digital tangibles; it can be a more general approach to problem-solving. Furthermore, there are certain research results in the evaluation of CT educational activities, evaluation platform development, and evaluation scales, respectively. However, problems in CT education research also exist. For example, the educational contents of CT are unclear; the evaluation of CT learning outcomes emphasizes on computing principles but ignoring the skills of thinking; the empirical research in the classroom environment needs to be strengthened; it lacks humanistic disciplinary studies, and teachers’ CT teaching ability requires improvement. In future, computational thinking will be integrated into all disciplines as a universal skill or a problem-solving strategy. Researchers should focus on educational strategies to develop computational thinking knowledge and skills of students. Furthermore, future research should explore pedagogical strategies for integrating CT knowledge and skills into teacher education curricula. and provide more accurate CT framework to guide educational practice.

Key words: computational thinking; algorithmic thinking; procedural thinking; computational participation; problem-solving; 21st century skills

2017 年度新闻记者证核验人员名单公示

根据《新闻记者证管理办法》有关规定和国家新闻出版广电总局、上海市新闻出版局的具体要求,《开放教育研究》编辑部已对持有新闻记者证人员进行严格审核。现将编辑部通过新闻记者证 2017 年度核验人员名单予以公示。举报电话:021-64339117。

通过新闻记者证 2017 年度核验人员名单:

魏志慧 K3117245500001

《开放教育研究》编辑部
2018 年 1 月 23 日