

国际计算创造力 及其教育应用研究可视化分析与展望

张毅^{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. 广东环境保护工程职业学院, 广东佛山 528216)

[摘要] 计算创造力是人工智能研究领域的前沿,有望成为促进教育变革的重要推动力。本文综述了创造力与计算创造力的定义,运用文献计量法和文献分析法对国际计算创造力领域研究进行了可视化分析和内容分析。研究发现,计算创造力研究大体历经酝酿期、形成期和发展期三个阶段,计算创造力研究呈现出理论与实践应用相互促进的发展逻辑;主要研究主题为系统设计与评估、基本概念与理论、创造力认知计算模型、创意构思计算方法四个关键聚类,计算思维一个与教育相关的特殊聚类;创造性思维与计算思维的结合、计算创造力系统的教育应用是研究热点。计算创造力与教育结合的未来研究方向是《计算创造力》课程研究、创造力支持系统研究和计算创造力促进教学变革研究。

[关键词] 创造力;计算创造力;人工智能;计算思维

[中图分类号] G434

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2021)02-0051-11

创造力是人类最宝贵的财富,人类历史就是一部由创造力推动的历史。如何为人工智能赋予更多的创造力是人类当前追求的目标。计算创造力(computational creativity, CC),也有译为创新计算(文贵华等,2003),是人工智能发展的一个分支,是对人工智能具有创造能力,并能进行拟人创作的描述。人工智能的发展推进了计算创造力的发展,不断涌现的诗歌创作机器人、谱曲机器人、画画机器人等,都是计算创造力发展的印证。教育人工智能的关键技术主要体现在知识的表示方法、机器学习与深度学习、自然语言处理、智能代理、情感计算等方

面(闫志明等,2017),而计算创造力将是下一个可能的关键技术领域,可以为人类创造力的训练、评价和培养提供机会。本研究系统梳理了国际计算创造力领域的研究进展,以期对计算创造力与教育融合前瞻性思考提供方向。

一、背景与定义

(一)提出背景

创造力研究与经济社会的发展休戚相关。随着经济社会的发展,创造力研究受到各个学科关注,计算创造力也随之出现。1950年,创造心理学奠基人

[收稿日期] 2021-01-20

[修回日期] 2021-02-08

[DOI编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2021.02.006

[基金项目] 2019年广东普通高校重点项目(人文社科)“基于慕课的高校混合式教学模式创新研究”(2019WZDXM012),广东省教育科学规划课题“‘互联网+’教育精准帮扶研究”(2017GXJK029)。

[作者简介] 张毅,博士研究生,华南师范大学教育信息技术学院,广东环境保护工程职业学院副教授,研究方向:教育信息化、教学创造力(zhangyi0801@qq.com);张倩苇(通讯作者),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、教师专业发展(zhangqianwei@m.scnu.edu.cn)。

[引用信息] 张毅,张倩苇(2021). 国际计算创造力及其教育应用研究可视化分析与展望[J]. 开放教育研究,27(2):51-61.

之一吉尔福德(Guilford)在美国心理学年会上作了题为“创造性”的著名演讲,之后创造力快速成为心理学研究热点。到20世纪下半叶,世界竞争表现为知识经济的竞争,创造力在管理领域大受追捧,相关研究随之逐渐走向成熟。21世纪初,随着计算机科学的发展,创造力受到人工智能科学家的关注,计算创造力逐渐成为新的交叉研究领域。计算创造力研究的目的是使用计算机建模、模拟或复制创造力(Toivonen & Gross, 2015; Gobet & Sala, 2019)。

(二) 创造力定义

早期,沃拉斯(Wallas, 1926)将创造视为一种心理历程,分为准备期、酝酿期、豁朗期、验证期四个阶段。在之后的近一百年中,从不同学科提出的60多种创造力定义,大致可归纳为从学科视角出发的学理定义和从操作视角出发的标准定义。

1. 学理定义

斯腾伯格(Sternberg, 1988)从认知科学的角度认为,创造力是智力、认知风格及人格/动机三方面交互作用的一种心理特质,是将元成分(metacomponent)、表现成分(performance component)与知识获得成分(knowledge-acquisition component)等应用于新颖的作业或情境,或以新颖的方法应用到熟悉的作业或情境的历程。巴恩斯和雪莉(Barnes & Shirley, 2007)从行为科学角度,将创造力定义为两个或以上的想法、材料或活动放在一起的行为,对创作者而言是一种原创的、令人惊讶的和有价值的方式。坎皮里斯等(Kampylis et al., 2009)从社会学角度将创造力定义为,在特定的时空、社会和文化框架中发生的活动(包括精神和身体上的),并导致有形或无形的成果,这些成果对创造者来说是原始的、有用的、合乎道德和可取的。无论从哪个学科视角下定义,创造力都被视为一种作业的能力或过程,或二者皆有,产生新颖、有用的结果。

2. 标准定义

为了使创造力定义更具操作性,学者们提出一系列标准来定义创造力。这样,定义标准成了争论的焦点,包括生产新颖的、有价值的、适应性强的、与问题相关的、被认可的东西(Martin & Wilson, 2017)。伦科和耶格(Runco & Jaeger, 2012)阐述了创造性的标准定义,将新颖性(novelty)或独创性(originality)、有用性(usefulness)或有效性(effective-

ness)作为创造力的两个必要组成部份。因此,创造力可以被理解为一种设计或生产新颖、有效的事物的能力或技能(Creely et al., 2020)。

以新颖性区分创造力,有利于加强对创造力的辨识。齐克森特米哈里(Csikszentmihalyi, 1998)将大创造力(Big-C)指向杰出的、影响深远的创造,小创造力(Little-C)指向日常生活的新想法。鉴于这种二分法存在局限,考夫曼和贝赫托(Kaufman & Beghetto, 2009)增加了指向学习过程的个体内在创造力(Mini-C)和指向依托专业知识的专业创造力(Pro-C),构建了“4C”模型。其中,个体内在创造力的创造性比小创造力小,而指向专业知识的专业创造力远不及大创造力。

总之,创造力涉及多个学科,且各学科对其定义不同,学界至今未达成一致,但标准定义法逐渐成为最有效指导实践的定义方法。以新颖程度区分创造力,更利于深入理解创造力的现实存在。

(三) 计算创造力定义

计算创造力研究领域奠基人之一博登(Boden, 1998)指出,创造力是人类智能的基本特征,人工智能也不能忽视创造力。计算创造力被认为是超越人工智能其他子领域的前沿(Colton & Wiggins, 2012)。计算创造力的最终愿景是为人工智能赋予创造性。因创造力的定义尚不明确,精准定义计算创造力也相当困难,归纳起来有系统视角的规定性定义和工程视角的工作定义。

1. 规定性定义

威金斯(Wingings, 2006)认为计算创造力是通过计算的手段和方法,研究和支持自然系统和人工系统表现出来的行为。它如果在人类中表现出来,将被视为具有创造性的。计算创造力研究指导委员会的定义是:通过计算手段对自然和艺术行为的研究和模拟,它如果在人类身上观察到,将被认为是创造性的(Jordanous, 2012)。这两种定义基本一致,都将计算创造力视为计算系统的创造性能力,并规定了主体对象、方法手段和评价标准,但对“创造”的规定较含糊。

2. 工作定义

为促进计算创造力的研究与实践,有学者提出计算创造力的工作定义,即为共同工作的人士能理解、接受,并有效指导开展工作的定义。科尔顿和威

金斯(Colton & Wiggins, 2012)提出计算创造力的工作定义为:计算系统的哲学、科学和工程学,它通过承担特定的责任,表现出被不带偏见的观察者认为具有创造性的行为。这一定义强调两点:一是“责任”,即为了凸显计算创造力系统与创意支持工具的区别,表现出主动性和创造性;二是“不带偏见的观察者”,即强调客观公正地评估机器产生的创造性。由于计算创造力在艺术方面表现突出,计算创造力国际会议(International Conference on Computational Creativity, ICCC)基于科尔顿和维金斯的工作定义,在哲学、科学和工程学基础上扩增了“艺术”(ICCC, 2014)。ICCC 国际会议自 2010 年每年举办一次,自 2014 年以来一直沿用该工作定义。

工作定义增强了计算创造力的可操作性。理解该定义需注意四点:一是计算创造力的最终目的是使计算系统具有创造性行为,主体是计算系统;二是计算创造力是计算系统的能力,可由计算输出的创造性产品展现出来;三是创造性的评判者应客观公正、不带偏见,评判标准与创造力标准定义的指标一致;四是计算创造力在学科发展和创造实践上应以艺术、哲学、科学和工程学为基础,寻求学科融合的同时需符合各学科的逻辑要求。

二、数据来源与研究方法

(一)数据来源

本研究以 Web of Science 核心数据库为文献来源,检索时段为 1985 年 1 月至 2020 年 9 月,选用计算创造力领域采用的 computational creativity artificial intelligence、computation、computing、creative 为搜索词,结合高级检索方法进行组合检索。将检索条件设置为 $TS = ((\text{computational creativity}) \text{ OR } (\text{creativity AND}(\text{artificial intelligence})))$,以 computational creativity 或 artificial intelligence 为词组与 creativity 结合分别在标题、关键字、摘要中精准检索。结合条件 $AB = (\text{computational AND creativity})$,检索摘要同时含有 computational 和 creativity 的文献,再结合条件 $TI = (\text{comput} *) \text{ AND}(\text{creativ} *)$ 、 $KP = (\text{comput} *) \text{ AND}(\text{creativ} *)$,检索标题和关键词以 comput 为词头并同时含有 creativ 为词头的文献。本研究通过对检索文献进行筛选,增加未检索到的相关文献,去除不相关文献,最终得到 446 篇文献作为数据

来源。

(二)研究方法

本研究采用文献计量法和文献分析法:用文献计量法分析文献的发文时间、发文所属学科,了解该领域研究发展阶段及客观现状;用 CiteSpace 软件(5.6.R5 版本)进行关键词共现分析、作者共被引分析、文献共被引分析、聚类分析,以展现其发展历程、研究重点、关键人物及重要文献;用文献分析法梳理关键人物的主要研究贡献、关键文献的重要观点,绘制计算创造力研究的整体知识网络结构。

三、计算创造力研究现状

(一)描述性统计分析

本研究用文献计量法对 446 篇文献进行了描述性统计分析,呈现计算创造力研究的整体概貌;并依据每年发文量,将计算创造力近 30 年研究历程分为三个阶段(见图 1)。

第一阶段(1987 ~ 2004 年)为研究酝酿期。该阶段发文量普遍偏少,年均 2.3 篇,研究处于基础理论探索阶段。1987 年,《科学发现:对创造过程的计算探索》(Langley et al., 1987)一书问世标志着“计算”与“创造”作为交叉新领域进入了研究者视野。1999 年后,计算创造力研讨活动作为人工智能会议、推理协会会议的子议题被纳入讨论。

第二阶段(2005 ~ 2014 年)为研究形成期。年发文量超 15 篇的有 5 年,年均 14.1 篇。该阶段理论和实践研究并存,丰富了计算创造力的相关理论,促进了与其他学科的交叉融合。会议附带的讨论活动发展为一年一届的专门研讨会,再到计算创造力国际会议。持续递进的学术交流,推动了该研究领域向学科迈进。

第三阶段(2015 年 ~ 至今)为研究发展期。年发文量均超 20 篇,并呈现稳定增长态势,2019 年发文量达 68 篇,计算创造力研究步入新发展阶段。

统计分析发现,计算创造力研究呈现研究方向广阔、学科交叉性强、应用性强、欧美领先等特点。

按文献所属学科研究方向进行归类统计发现,共有计算机科学(295 篇)、工程学(80 篇)、心理学(78 篇)、神经科学(56 篇)、教育教学研究(26 篇)、商业经济学(15 篇)等 32 个方向,各学科领域都青睐与计算创造力研究结合,可见其研究方向广阔,学

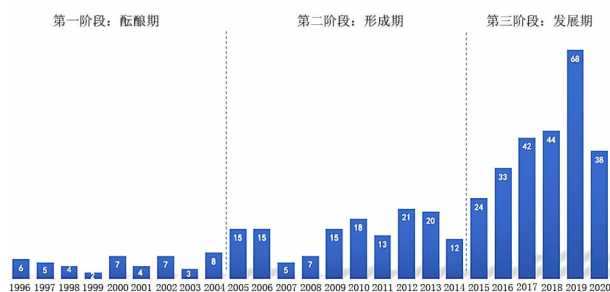


图1 计算创造力领域年发文量统计

科交叉性强。

根据文献所属研究类别统计发现,排名前六的依次是人工智能(158篇)、计算机科学理论方法(60篇)、神经科学(55篇)、计算机科学跨学科应用(44篇)、计算机科学信息系统(37篇),软件工程(37篇)。可见,计算机科学类文献较多,呈现工程性、应用性强的特征。

按作者所在国家统计可以得出,排名前五的是美国(136篇)、英国(67篇)、西班牙(41篇)、中国(28篇)及意大利(27篇)。其中,美英两国合计占45.5%,在该领域的研究中走在世界前列。按作者所在机构统计发现,排名前五的是马德里康普斯顿大学(17篇)、伦敦玛丽女王大学(15篇)、斯坦福大学(8篇)、科英布拉大学(8篇)、苏塞克斯大学(8篇),该领域的研究重镇大多集中在欧洲,这些大学都有较强的艺术类学科。

(二) 关键词共现分析

关键词是文章的核心提炼,体现文章的研究领域、研究内容及创新点。本研究根据关键词频数、中心度和出现的年份,分析追踪了该领域各时段的研究热点,并借助 CiteSpace 软件对 446 篇样本文献进行关键词共现分析,时间片为 1 年,排除其他干扰,分析源仅设为 Author Keywords(DE) 字段,节点类型选择为 Keyword,数据抽取对象为 TOP50,得到 43 个关键词节点。研究获得共现频次统计排名前十的共现关键词(见表一),这些词体现了计算创造力研究领域的重点和热点。与人工智能本身的研究热点相比,认知结构和概念整合、艺术是与创造力紧密相关的特殊热点。

本研究结合最大似然算法进行聚类,按频数生成关键词聚类时区图(见图2)。时区图的节点与关键词一一对应,文字和节点大小与频数正相关,将时

区图结合计算创造力研究的三阶段,可分析各阶段的研究热点与发展逻辑。

表一 计算创造力领域研究关键词共现频次统计

序号	频数	中心度	关键词	初现年份
1	91	0.65	computational creativity 计算创造力	2006
2	85	1.08	creativity 创造力	1996
3	31	0.33	artificial intelligence 人工智能	1995
4	12	0.00	computational thinking 计算思维	2017
5	6	0.00	cognitive architecture 认知结构	2016
6	5	0.59	evolutionary computation 演化计算	2005
7	5	0.16	machine learning 机器学习	2018
8	5	0.00	conceptual blending 概念整合	2017
9	4	0.62	optimization 优化	2005
10	4	0.08	art 艺术	2010

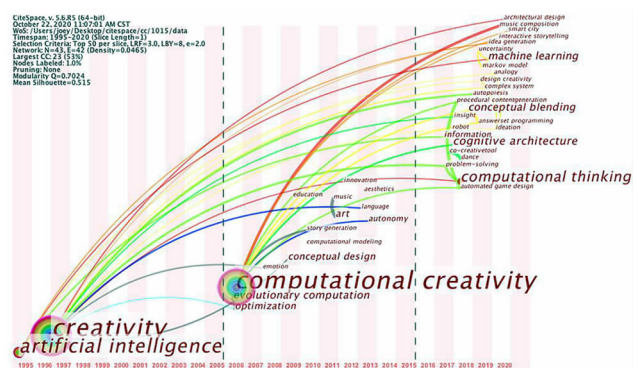


图2 计算创造力研究领域关键词聚类时区图谱

计算创造力研究中 artificial intelligence 和 creativity 两个热点关键词先于关键词 computational creativity 出现,可见,计算创造力是在人工智能及创造力理论发展基础上孕育的新领域。

在研究酝酿期,关键词 creativity 出现时间早、频数高,表明在该领域创造力研究本身的基础性和中心性。与计算创造力相关的理论研究包括创造力如何发生?影响创造力发挥的环境如何?如何评价创造性产品?基于创造力的基本理论,结合人工智能和人机交互技术,坎迪(Candy,1997)提出的基于知识的计算机创意支持,成为该时段实践研究的主要内容。为设计者提供知识支持是前期研究创意支持系统的重要目的。

在研究形成期,围绕计算创造力理论开展了许多跨学科应用研究,计算创造力逐渐成为学术关注热点。计算创造力最早在2004年首届计算创造力研讨会中被提出,作为关键词于2006年同期出现在威金斯(Wiggins, 2006b)和里奇(Ritche, 2006)的文章中。该阶段出现的热点关键词有演化计算、概念设计、优化、自治、艺术等。分析文献得知该阶段计算创造力的研究多基于某一理论并结合相关算法,设计自主的创造性系统并开展实践研究;系统算法及模型优化受到高度关注;实践领域包括音乐、绘画、游戏、诗歌、舞蹈等艺术领域。

在研究发展期,研究延伸到计算创造力系统的各种可能应用场景,深入到各种认知模型下的计算系统理论与实践探究。该阶段涌现出一批新关键词,它们与计算创造力直接关联,如计算思维、认知结构、概念整合、机器学习等。计算思维在该阶段受到重点关注,它是计算创造力与教育领域的重要结合点,研究主要集中在认识计算创造力与计算思维的关系,以及借助创造性计算系统培养学生计算思维。此外,认知结构的研究被认为是实现计算系统创造性的关键,研究者根据不同的应用场景,结合认知理论,提出相应的计算创造认知体系结构,如类人机器人舞蹈认知结构。另外,概念整合是认知科学

提倡的一种概念创造方法,是创造性思维的基础。构建概念整合的计算框架研究也是该阶段的热点。

从计算创造力研究的关键词共现结果来看,酝酿期的创意支持系统到形成期的自主创造性系统,再到发展期的不同认知模型下的创造力系统,都凸显了计算创造力理论与实践交相促进的发展特征。计算创造力不断吸收其他学科的成果,已初步构建了自身的理论体系,建立了稳定的学术研讨组织,正朝着成为学科方向迈进。

(三)重要学者

本研究利用Citespace软件,统计分析446篇文献的作者共被引情况,设置时间分片为1年,节点类型为Cited Author,数据抽取对象为TOP50,门限阈值设置为20,生成计算创造力研究领域的作者共被引状况图(见图3)。

在作者共被引网络中,节点越大,表明作者的共被引值越高,在该领域的地位越重要。其中也包括有关创造力的心理学理论研究和人工智能理论研究的学者。结合他们在计算创造力研究的发文量、中心度、学者H指数和研究贡献,可准确获取该领域的重要代表人物(见表二)。

本研究分析得出该领域10位重要代表人物。H指数和中心度表明奠基人物有博登、科尔顿、威金

表二 计算创造力研究领域重要学者

序号	作者	共引频次	中心度	初引年份	H指数	发文量	研究方向	典型贡献
1	Margaret A. Boden 玛格丽特·A·博登	93	0.26	2001	40	6	人工智能、认知科学、哲学	开创从计算视角研究创造力,提出三种不同类型创造力的计算模型
2	Simon Colton 西蒙·科尔顿	71	0.12	2009	35	5	计算创造力、计算机艺术、人工智能	提出创意三角框架、FACE/IDEA模型和计算创造力的工作定义
3	Graeme Ritchie 格雷姆·里奇	42	0.10	2006	33	3	计算创造力评估、自然语言处理	提出创造力评估的经验标准
4	Geraint A. Wiggins 杰伦特·A·威金斯	41	0.16	2009	44	7	计算创造力、音乐认知	确证了博登的计算创造力概念空间搜索模型;提出了创造性系统的描述框架
5	Tony Veale 托尼·维尔	32	0.03	2012	35	6	计算创造力、计算语言学	著有《爆发创造力神话:语言创造力的计算基础》,在创造性语言现象的计算研究方面成果显著
6	Anna Jordanous 安娜·乔丹诺斯	22	0.05	2015	14	5	计算创造力、音乐信息学	提出创新系统的评价标准化程序
7	Pablo Gervás 巴勃罗·杰维斯	18	0.12	2006	28	15	创意文本生成、计算创造力	在创意文本生成领域,致力于自动生成隐喻、诗歌、童话和小说,提出了多种模型
8	Agnes Augello 阿涅斯·奥杰罗	8	0.06	2016	20	6	社交机器人、认知结构、计算创造力	在机器人对话研究中,结合认知结构理论提出多种创造力计算模型
9	Ana-Maria Olteteanu 安娜-玛丽亚·奥尔蒂蒂亚努	15	0.02	2018	10	6	认知系统、计算创造力	主持创造性认知系统(Creative Cognitive Systems, CreaCogs)项目,提出了创造性问题解决的理论框架及方法
10	Amílcar Cardoso 阿米尔卡·卡多索	8	0.01	2012	25	5	计算创造力、人工智能	推动了早期计算创造力社区建立,长期致力于推动ICCC国际会议发展

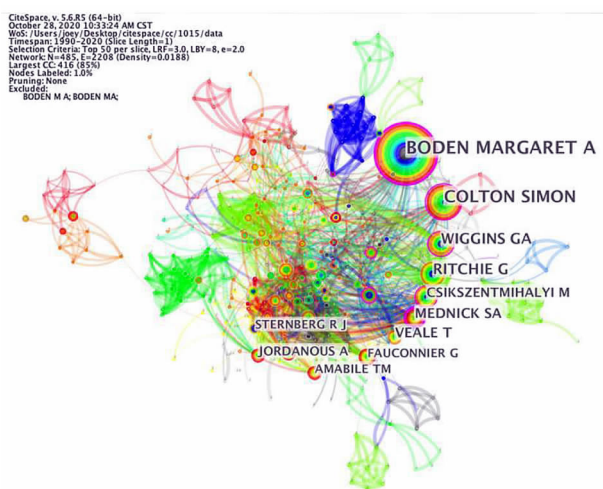


图3 计算创造力研究作者共被引网络

斯三位具有较高的学术地位和影响力,他们提出了计算创造力的基本理论和框架,使创造计算成为可能;计算创造力的评价是该领域的重要研究内容,里奇、乔丹诺斯的研究为计算创造力系统评价提供了基础标准;维尔、奥杰罗、奥尔特蒂亚努、杰维斯结合不同领域开展了实践研究。从发文量和中心度看,杰维斯最活跃,与多个学者合作紧密,共同提出了多种创造力计算模型,在机器人创作方面颇有建树;卡多索长期致力于推动计算创造力的研究社区,在推

动计算创造力发展上作出了重要贡献。

(四) 文献共被引分析

文献被引频次是体现其学术价值的重要指标,共引分析侧重于探究共引文献的同质网络。分析文献共被引的频次和中心度可以探究该领域的重要文献和研究主题。本研究利用 CiteSpace 对 446 篇文献进行共被引分析,节点类型选择 Reference,数据抽取对象 K 值为 25,得到关键词节点 877 个;利用 LLR 聚类算法对文献共被引网络进行聚类,得到 172 个聚类,聚类模块值 Modularity $Q = 0.89306 > 0.3$,表明划分的聚类结构显著;平均轮廓值 $S = 0.5726 > 0.5$,表明聚类效果清晰合理;以关键词提取聚类标签,得到文献共被引聚类图(见图 4)。聚类#0、#1、#3 和 #5 是 4 个典型核心聚类,#9 号聚类是与教育相关的特殊聚类。

共被引聚类分析是对主要相关文献的引文网络特征进行分析,以部分呈现共被引文献的主题(Chen,2006)。本研究结合共被引频次、中心度和突现值,得出 12 篇重要文献(见表三)。

本研究通过对重要文献进行分析,推断出当前与计算创造力较相关的主题及该领域的基础知识。对关键文献回顾,可以加深对计算创造力领域的研究主题和基本理论的理解。文献 1、2、3 和 6 属于#0

表三 计算创造力研究领域重要文献统计

编号	文献标题	第一作者	共被引值	中心度	突现值	发表年份	所属聚类
1	Computational creativity: The final frontier?	Simon Colton	32	0.07	7.32	2012	#0
2	A standardised procedure for evaluating creative systems: Computational creativity evaluation based on what it is to be creative	Anna Jordanous	16	0.22	4.15	2012	#0
3	Computer models of creativity	Margaret A. Boden	15	0.12	6.75	2009	#0
4	The creative mind: Myths and mechanisms (2nd ed.)	Margaret A. Boden	10	0.05	5.54	2004	#5
5	Computational creativity theory: The FACE and IDEA descriptive models	Simon Colton	9	0.19	3.70	2012	#1
6	Some empirical criteria for attributing creativity to a computer program	Graeme Ritchie	9	0.13	4.09	2007	#0
7	Converging on the divergent: The history (and future) of the international joint workshops in computational creativity	Amílcar Cardoso	8	0.01	3.58	2009	#5
8	comRAT-C: A computational compound remote associates test solver based on language data and its comparison to human performance	Ana-Maria Olteteanu	8	0.03	3.92	2015	#1
9	Computational creativity: Coming of age	Simon Colton	7	0.00	0.00	2009	#5
10	The meaning of "near" and "far": The impact of structuring design databases and the effect of distance of analogy on design output	Katherine Fu	7	0.00	0.00	2013	#3
11	A preliminary framework for description, analysis and comparison of creative systems	Geraint A. Wiggins	6	0.04	3.50	2006	#5
12	Computational creativity exercises: An avenue for promoting learning in computer science	Markeya S. Peteranetz	5	0.00	0.00	2013	#9

注:下文中的文献代号与编号对应,如文献 1 指编号为 1 的文献。

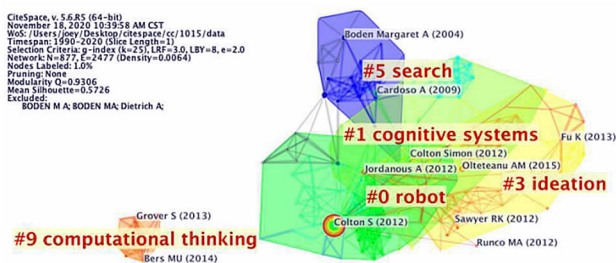


图4 计算创造力研究领域文献共被引聚类图

号聚类,该聚类规模最大,含68篇文献。主题是创造性系统的设计与评估。文献3是重要的理论基础文献,博登(Boden,2009)奠定了计算创造力系统设计的基础理论,他将创造力分为三种类型:“组合型”创造力、“探索型”创造力、“变革型”创造力。组合型是两个关联概念共享固有的概念结构,探索型和变革型是对原有概念空间维度的改变(含增加新维度或改变原有维度)。转换越基本,其结构越新,该理论推动了计算创造力的实践进程。文献1是推进实践研究的重要文献,科尔顿和威金斯(Colton & Wiggins,2012)在该文献中界定了计算创造力的“工作定义”,肯定了计算创造力是人工智能研究前沿的技术,是文化革命的关键。这不但鼓舞了研究者的信心,也为研究者指明了方向,所以该文献共被引值和突现值最高。文献2和6是计算创造力评估理论的重要文献,讨论了计算创造力系统评估的模型及方法。里奇(Ritchie,2007)在文献6中讨论了程序的创造力评估标准,提出建立评估公式判定应用程序的创造性行为。乔丹诺斯和安娜(Jordanous,2012)在文献2中提出评估创意系统的标准化程序,解决计算创造力中出现的“方法论缺陷”。

文献4、7、9、11同属#5号聚类,该聚类含25篇文献,聚合了关于计算创造力的基本概念、理论及其发展的相关文献。文献4是博登(Boden,2004)专著《The creative mind: Myths and mechanisms》的第二版,该著作最先提出了计算创造力的概念和模型,如计算创造力、创造性系统、创造性行为等概念,让更多学者了解该领域。文献11是对博登在创造性描述层次中提出模型的形式化。威金斯(Wiggins,2006a)提出了描述创意系统的框架,报告了博登的变革创造力实际上是元层次上的探索性创造力,而他们给出的创造性行为六个分类,可以直接从创造

性系统的行为中识别出来。文献9是关于计算创造力的期刊社评,科尔顿等(Colton et al.,2009)为正确看待计算创造力以及公正评价计算创造及其产物指明了方向。他还指出,计算创造力实践中,除了关注生产者及产品,也需根据实际关注过程和环境。在文献7中,卡多索等(Cardoso et al.,2009)对计算创造力相关的研讨会进行了综述,促进了计算创造力的国际交流与合作。

文献5、8属于#1号聚类,该聚类含53篇文献,主要聚焦创造性认知计算模型研究主题。用计算模型描述创造性认知理论,进而实现创造性计算、创造生成,是计算创造力研究的重要内容。科尔顿等(Colton et al.,2011)在文献5中提出计算创造力理论(computational creativity theory, CCT),包括FACE模型(描述软件的创造性表现)和IDEA模型(描述软件创造性行为的影响)。该模型引入计算创造力研究,为计算创造力发展提供了计算模型参考。文献8中奥尔特蒂亚努和法洛米尔(Olteteanu & Falomir,2015)在创造性认知问题解决(CreaCogs)理论框架下探索计算求解器,提出了基于特定类型的知识组织和过程的方法(comRAT)。

#3号聚类主题是创意构思计算方法,含文献34篇。类比是核心的认知过程,借助先前的经验产生新的想法,是创造性构思的重要方法。文献10共被引值为7,是该聚类的代表文献,研究了类比设计中的类比刺激与设计问题间的距离关系,得出类比距离的“近”与“远”是相对的,设计类比存在一个“最佳点”(Fu et al.,2012)。该研究为类比构思工具的开发提供了理论基础。

#9号聚类主题是计算思维,含文献18篇,也是与教育领域最相关的特殊聚类。温(Wing,2006)指出,计算思维包括借鉴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。计算思维是解决问题的通用范式(刘敏娜等,2018),提倡对问题进行计算求解。计算上还需创造性解决。计算创造力体现了计算思维与创造性思维的协同,受到计算机科学教育领域的广泛关注。文献12中,彼得兰茨等(Peteranetz et al.,2017)通过实证研究得出计算思维和创造性思维的整合是由二者的优势所推动的,计算思维为创造性过程提供结构支持,提高过程的效率;创造性思维有助于解决计算问题的新颖性

和独创性,提高问题解决的有效性。

(五) 计算创造力与教育相关研究分析

本研究利用 CiteSpace 软件对 446 篇文章的关键词进行聚类,并显示为时间线图,选中节点 education 可以发现,计算创造力与教育主题相关研究的关键词包括 model、thinking、torrance test(托兰斯测试)、K12、computational thinking、skill、machine learning 等。可见,与教育相关的研究结合点主要是计算思维、计算工具、创意设计、创造性问题解决等(见图 5)。

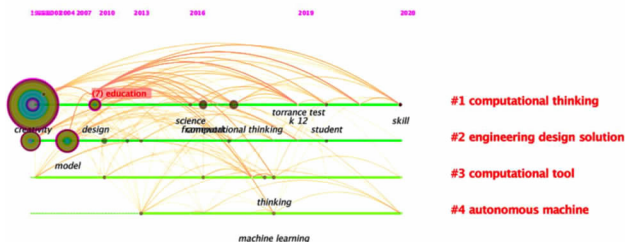


图 5 计算创造力与教育主题相关研究的时间线图谱

分析发现,自 2009 年起,国际学术界加强了计算创造力与教育相结合的探讨。研究主要集中在两方面:一是从认知维度探讨计算创造力与计算思维的关系,探索计算思维与创造性思维的结合,如希尔等(Shell et al., 2014)认为在计算机科学课程中增加计算创造力练习(computational creativity exercises, CCEs)对学生提升计算思维和促进计算机科学知识和技能的学习有积极作用;二是从工具维度研究、设计用于教育的、有创造力的计算系统,并探索其教育应用价值,如奇塔等(Città et al., 2017)讨论了使用跳舞的类人机器人作为创新技术支持和增强 STEAM 学习活动的可能。莫里斯和费布利克(Morris & Fiebrink, 2013)探讨了利用计算创造力工具支持艺术教学的可行性并得出结论:机器学习系统 Songsmith 可以帮助教师鼓励学生音乐创新,体现了算法对学生音乐创造力的支持作用,这一结论在其他艺术学科领域也有重要教学参考价值。

四、研究展望

研究计算创造力主要有三类动机:一是从认知科学视角提供关于人类创造力的计算视角,帮助人们理解创造力;二是从工程学视角,使机器具有创造性,以某种方式改善人类生活;三是从辅助工具视

角,生产增强人类创造力的工具,帮助人类提升创造力(Pease & Colton, 2011)。无论哪种动机取向,都为计算创造力的教育应用提供了机会。辅助工具视角更是肯定了计算创造力在教育技术研究中的潜在价值。

目前,学界对人工智能教育的关注集中在人工智能技术作为教学内容或作为新技术在教育中的应用。计算创造力作为人工智能的子领域,“计算创造力与教育”研究应在计算创造力的教学内容和计算创造力技术在教育中的应用研究两方面给予重视。参考国际上计算创造力在认知、工具维度的教育应用经验,再结合当前计算创造力的机器学习、概念整合、计算思维、认知结构等研究热点,从课程、系统和教学变革三个角度可以洞悉计算创造力与教育融合的未来研究方向。

(一) “计算创造力”课程研究

作为一门新兴课程,国外已有乔治亚理工学院、莱顿大学、赫尔辛基大学等开设。2016 年 ICCC 第 8 届国际会议上,阿克曼等(Ackerman et al., 2017)提供了计算创造力的教学指南,并呼吁关注计算创造力课程教学研究。该课程的跨学科特点,使其教学对象不应仅限于计算机专业,还应成为各学科创新型人才培养的重要课程。“计算创造力”课程研究未来应重点聚焦教学内容、教学方法及学习评估策略等。教学内容层面应重点包含计算创造力概念、理论、创造生成方法及创造系统的评估模型等。教学方法层面,理论部分可重点运用案例教学法开展教学,实践部分可关注计算创造力练习 CCEs 方法的设计与应用。苏等(Soh et al., 2015)总结了 CCEs 设计使用框架,该框架规定每个 CCE 由目标、任务、CS 弹框(CS 概念与解释活动)、学习对象四个部分组成,为计算思维与创造性思维的融合训练提供了支持。教学评价层面应以形成性评价为主,探索基于过程的多元评价模式。

国内学者对计算创造力领域的关注严重不足,主要是计算创造力的综述性介绍及尝试性应用,如文贵华等(2001)探讨了创新计算及其应用,樊阳程(2006)简要综述了计算创造力研究。目前,我国尚未有高校开设“计算创造力”课程。在人工智能时代,我国学者应积极关注该领域的研究,在高校探索并推广该课程。

(二) 创造力支持系统研究

创造力支持系统(creativity support systems, CSS)是计算创造力研究的重要内容。它致力于支持创造性工作的开展。卢伯特(Lubart, 2005)把计算机支持创造力类比为四类,即教练(提供建议、帮助实施和应用技术)、笔友(为协作提供支持)、保姆(监督工作进展并提供框架)、同伴(计算机产生自己想法和解决方案)。不同类型的创造力支持系统依托不同的创造力理论与技术模型(Gabriel et al., 2016)。未来教育领域中的创造力支持系统应为教师和学生提供支持,辅助实现创意资源生成、设计方案生成、创造性问题解决等。教育中创造力支持系统的研究,理论上应关注创造力计算模型理论与教学系统设计理论及相关学习理论的结合,指导系统设计;技术上可重点关注计算创造力技术相关方法,如演化计算、机器学习、概念整合、状态空间搜索、马尔科夫链方法等;研究上可结合国际研究经验,遵循从系统框架设计到算法模型设计再到系统应用模式及评价研究的路径。

我国学者对创造力支持系统的研究匮乏,主要有关于创造力支持系统的介绍和模型与体系的构建,如群体支持系统与创造力支持系统的比较(唐锡晋等,2006),创造力支持系统层次结构模型探索(冯勤超等,2006),创造力支持系统的体系结构研究(梁志成等,2010),未见对教育创造力支持系统的相关研究。因此,我们呼吁教育技术学、计算机科学、心理学等学科加强在教育计算创造力支持系统领域展开合作。

(三) 计算创造力促进教学变革研究

计算创造力是人工智能的高级形式,随着技术的发展,如何利用计算创造力推进创造性教与学,将成为教学变革研究的重要课题。在人工智能赋能教育的大背景下,创造力支持系统将在推动教师创造性教学和学生个性化学习改革中发挥着独特作用,它将变革教学系统的基本要素、教学目标、教学过程、评估方式等。计算创造力支持下的课堂教与学是研究重点。机器不仅是工具,还能担当共同创造伙伴的角色和责任(Veale & Pérez, 2020)。未来的创造性机器人将走进教学,作为工具,教师如何借助创造力支持系统生成的创造性教学方案、创意案例整合教学资源,进行创造性教学设计并开展创造性

课堂教学实践,以及效果如何评价;作为学伴,学生如何借助自主创造性系统协同完成作品创造,激发兴趣,促进学生创造力发展,实现个性化学习,以及效果如何评价,这些都将是新的研究内容。

李建会等(2020)通过对人工智能获得的创造力分析后指出,人类创造力将在计算创造力的协助下得到前所未有的解放。未来计算创造力有机会促进教育变革,助力21世纪四大核心能力,即批判性思维、协作能力、交流能力及创造力的培养。我国教育技术学界,应加强计算创造力支持下的课堂教与学的理论与实证研究,为深度推进教育变革提供政策建议。

智能时代的人才培养,首先应反映智能时代的特点——智能泛在,教育的主要任务不是知识的传承,而是知识的生产,但更重要的是发展人类的创造力。随着人工智能的发展,教育将走向利用人工智能手段辅助创造性思维的训练,利用计算创造力支持系统作为智能伙伴发展人类的创造力,计算创造力在未来教育领域将大有可为。

[参考文献]

- [1] Ackerman, M., Goel, A., Johnson, C. G., Jordanous, A., León, C., Pérez, R. P., Toivonen, H., & Ventura, D. (2017). Teaching computational creativity[A]. Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Creativity[C]: 9-16.
- [2] Barnes, J., & Shirley, I. (2007). Strangely familiar: Cross-curricular and creative thinking in teacher education[J]. Improving Schools, 10(2): 162-179.
- [3] Boden, M. A. (1998). Creativity and artificial intelligence[J]. Artificial Intelligence, 103(1): 347-356.
- [4] Boden, M. A. (2004). The creative mind: Myths and mechanisms 2nd ed. [M]. London: Routledge; 88-127.
- [5] Boden, M. A. (2009). Computer models of creativity[J]. AI Magazine, 33(3): 23-34.
- [6] Candy, L. (1997). Computers and creativity support: Knowledge, visualisation and collaboration[J]. Knowledge-Based Systems, 10(1): 3-13.
- [7] Cardoso, A., Veale, T., & Wiggins, G. A. (2009). Converging on the divergent: The history (and future) of the international joint workshops in computational creativity[J]. AI Magazine, 30(3): 15-22.
- [8] Città, G., Arnab, S., Augello, A., Gentile, M., Zielonka, S. I., Ifenthaler, D., & Allegra, M. (2017). Move your mind: Creative dancing humanoids as support to STEAM activities[A]. International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Serv-

ices[C]: 190-199.

[9] Colton, S., Charnley, J. W., & Pease, A. (2011). Computational Creativity Theory: The FACE and IDEA Descriptive Models [A]. Proceedings of the Second International Conference on Computational Creativity[C]: 90-95.

[10] Colton, S., & Wiggins, G. A. (2012). Computational creativity: The final frontier? [J]. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 242: 21-26.

[11] Chen, C. (2006). Citespace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 57(3): 359-377.

[12] Colton, S., Ramon, L. D. M., & Stock, O. (2009). Computational creativity: Coming of age[J]. Ai Magazine, 30(3): 11-14.

[13] Creely, E., Henriksen, D., & Henderson, M. (2020). Three modes of creativity [J]. The Journal of Creative Behavior, (5): 1-13.

[14] Csikszentmihalyi, M. (1998). Reflections on the field[J]. Roeper Review: A Journal on Gifted Education, 21(1): 80-81.

[15] 樊阳程(2006). 计算视角的创造力研究初探[A]. 北京市科学技术协会、中国创造学会、北京创造学会(2006). 国际创造学学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社: 382-384.

[16] 冯勤超,江孝感,孙锦(2006). 基于经验学习的创造力支持系统层次结构模型[J]. 中国工程科学,(4): 19-23.

[17] Fu, K., Chan, J., Cagan, J., Kotovsky, K., Schunn, C., & Wood, K. (2013). The meaning of “near” and “far”: The impact of structuring design databases and the effect of distance of analogy on design output[J]. Journal of Mechanical Design, 135(2): 1-12.

[18] Gabriel, A., Monticolo, D., Camargo, M., & Bourgault, M. (2016). Creativity support systems: A systematic mapping study [J]. Thinking Skills and Creativity, (21): 109-122.

[19] Gobet, F., & Sala, G. (2019). How artificial intelligence can help us understand human creativity[J]. Frontiers in Psychology, 10(6): 1-6.

[20] ICCC. (2014). ICCC 2014 5th International Conference on Computational Creativity [EB/OL]. [2020-10-10]. <https://computationalcreativity.net/iccc2014/>.

[21] Jordanous, A. (2012). A standardised procedure for evaluating creative systems: Computational creativity evaluation based on what it is to be creative[J]. Cognitive Computation, 4(3): 246-279.

[22] Kamyliis, P., Berki, E., & Saariluoma, P. (2009). In-service and prospective teachers' conceptions of creativity[J]. Thinking Skills and Creativity, 4(1): 15-29.

[23] Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The four c model of creativity[J]. Review of General Psychology, 13(1): 1-12.

[24] Langley, P., Simon, H. A., Bradshaw, G. L., & Zytkow, J. M. (1987). Scientific discovery: Computational explorations of

the creative process[M]. London: MIT Press: 3-37.

[25] 李建会,夏永红(2020). 人工智能会获得创造力吗? [J]. 国外社会科学,(5): 52-60.

[26] 梁志成,于跃海,仲伟俊(2010). 创造力支持系统的体系结构研究[J]. 中国工程科学,12(1): 74-80.

[27] 刘敏娜,张倩苇(2018). 国外计算思维教育研究进展[J]. 开放教育研究,24(1):41-53.

[28] Lubart, T. (2005). How can computers be partners in the creative process: Classification and commentary on the special issue[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 63(4-5): 365-369.

[29] Martin, L., & Wilson, N. (2017). Defining creativity with discovery[J]. Creativity Research Journal, 29(4): 417-425.

[30] Morris, D., & Fiebrink, R. (2013). Using machine learning to support pedagogy in the arts[J]. Personal & Ubiquitous Computing, 17(8): 1631-1635.

[31] Olteteanu, A. M., & Falomir, Z. (2015). comRAT-C: A computational compound remote associates test solver based on language data and its comparison to human performance[J]. Pattern Recognition Letters, 67(1): 81-90.

[32] Pease, A., & Colton, S. (2011). On impact and evaluation in computational creativity: A discussion of the turing test and an alternative proposal[A]. Proceedings of the AISB symposium on AI and Philosophy[C]: 15-22.

[33] Peteranetz, M. S., Flanagan, A. E., Shell, D. F., & Soh, L. K. (2017). Computational creativity exercises: An avenue for promoting learning in computer science[J]. IEEE Transactions on Education, (4): 1-9.

[34] Ritchie, G. (2006). The transformational creativity hypothesis[J]. New Generation Computing, 24(3): 241-266.

[35] Ritchie, G. (2007). Some empirical criteria for attributing creativity to a computer program [J]. Minds & Machines, 17(1): 67-99.

[36] Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity[J]. Creativity Research Journal, 24(1): 92-96.

[37] Shell, D. F., Hazley, M. P., Soh, L. K., Miller, L. D., Chiriacescu, V., & Ingraham, E. (2014). Improving learning of computational thinking using computational creativity exercises in a college CSI computer science course for engineers[A]. IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2014) Proceedings[C]: 1-7.

[38] Soh, L. K., Shell, D. F., Ingraham, E., Ramsay, S., & Moore, B. (2015). Learning through computational creativity [J]. Communications of the ACM, 58(8): 33-35.

[39] Sternberg, R. J. E. (1988). The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives[M], New York: Cambridge University Press: 125-147.

[40] 唐锡晋,刘怡君(2006). 从群体支持系统到创造力支持系统[J]. 系统工程理论与实践,(5): 63-71.

[41] Toivonen, H., & Gross, O. (2015). Data mining and machine learning in computational creativity [J]. Wiley Interdisciplinary

Reviews; Data Mining and Knowledge Discovery, 5(6): 265-275.

[42] Veale T. , & Pérez, R. T. Y. (2020). Leaps and bounds: An introduction to the field of computational creativity[J]. New Generation Computing, 38(4): 551-563.

[43] Wallas, G. (1926). The art of thought[M]. New York: Harcourt, Brace and Company.

[44] 文贵华,丁月华,郑启伦(2003). 创新计算的研究进展[J]. 模式识别与人工智,16(2): 185-191.

[45] 文贵华,郑启伦,丁月华(2001). 创新计算及其应用研究[J]. 小型微型计算机系统,22(6): 654-656.

[46] Wiggins, G. A. (2006a). A preliminary framework for description, analysis and comparison of creative systems[J]. Knowledge

Based Systems, 19(7): 449-458.

[47] Wiggins, G. A. (2006b). Searching for computational creativity[J]. New Generation Computing, 24(3): 209-222.

[48] Wing, J. M. (2006). Computational thinking[J]. Communications of the ACM, 49(3):33-35.

[49] 闫志明,唐夏夏,秦旋,张飞,段元美(2017). 教育人工智能(EAI)的内涵、关键技术与应用趋势——美国《为人工智能的未来做好准备》和《国家人工智能研发战略规划》报告解析[J]. 远程教育杂志,35(1): 26-35.

(编辑:赵晓丽)

Visual Analysis and Prospect of International Computational Creativity and Its Educational Application Research

ZHANG Yi^{1,2} & ZHANG Qianwei¹

- (1. School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;
2. Guangdong Polytechnic of Environmental Protection Engineering, Foshan 528216, China)

Abstract: Computational creativity is the frontier of artificial intelligence research and is expected to become an important driving force to promote educational reform. The paper reviews the definition of creativity and computational creativity, and makes a visual analysis and content analysis of the international research in the field of computational creativity by bibliometrics and literature analysis. It shows that computational creativity research has gone through three stages: brewing stage, formation stage and development stage; The key words co-occurrence analysis draws out the research hotspots in each stage, showing the development logic of mutual promotion between theoretical research and practical application; Ten key scholars and their field contributions were summarized by author co-citation analysis; Four key clusters, namely, system design and evaluation, basic concepts and theories, cognitive computing model of creativity, computing methods of creative ideas, and computational thinking, a special cluster related to education, were summarized by co-citation analysis of literature. By analyzing the research related to educational themes, it is found that exploring the combination of creative thinking and computational thinking, and the educational application of computational creativity system are the research hotspots. The future research directions of the combination of computational creativity and education are the course of Computational Creativity, creativity support system, and computational creativity promoting teaching and learning reform.

Key words: creativity; computational creativity; artificial intelligence; computational thinking