

近十年国内教育人工智能研究综述

——基于CiteSpace知识图谱分析

郭莹莹, 刘丹

(辽宁师范大学 计算机与信息技术学院, 辽宁 大连 116081)

摘要:以CNKI和万方数据库中教育人工智能相关文献为数据来源,采用文献计量学分析法与内容分析法,运用CiteSpace知识图谱分析工具和Excel软件对2011-2021年间的教育人工智能相关文献进行可视化分析,发现近10年国内的教育人工智能研究呈现出4个特点:①教育人工智能研究发文量呈增长趋势,具体可分为两个阶段:萌芽发展期与快速发展期;②从发文期刊来看,大致可分为3类:教育综合类期刊、教育技术类期刊与中小学院校类期刊;③从研究作者及研究机构来看,主要包括高校教师和中小学教师,研究机构大多集中在北京、上海等地区;④从关键词热度来看,“人工智能教育”的中心度最高,位列其后的是“深度学习”“人工智能”“智能教育”等词。在此基础上,结合国内教育人工智能发展现状,揭示国内教育人工智能的前沿热点与发展趋势,以期后续研究与应用提供参考。

关键词:教育人工智能;人工智能;知识图谱;CiteSpace

DOI: 10.11907/rjdk.211849

中图分类号: G434

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1672-7800(2022)001-0069-06



Review of Studies on Artificial Educational Intelligence in China in the Last Ten Years: Based on CiteSpace Knowledge Graph Analysis

GUO Ying-ying, LIU Dan

(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

Abstract: Taking literatures related to education artificial intelligence in CNKI and Wanfang database as data sources, adopting bibliometrics analysis and content analysis, using CiteSpace knowledge mapping analysis tool and Excel software, conduct a visual analysis of the literature related to educational artificial intelligence from 2011 to 2021. There are four characteristics of education AI research in China in the last 10 years. Firstly, there is an build-uping drift in the number of papers on educational AI research. It can be divided into germination and rapid development period; Secondly, from the perspective of publishing journals, periodicals of educational AI research can be roughly divided into three categories: Educational comprehensive journals, educational technology journals and primary and secondary school journals. Thirdly, from the perspective of the types of researchers, mainly including university teachers and primary and secondary school teachers, the research units are mostly concentrated in Beijing, Shanghai and other regions; Fourthly, from the perspective of keyword popularity, “artificial intelligence education” has the highest degree of centrality, followed by “deep learning” “artificial intelligence” “intelligent education” and other words. On this basis, combined with the development status of domestic educational artificial intelligence, it promulgates the frontier plumes and development trend of domestic educational artificial intelligence, in order to provide reference for the follow-up research and application.

Key Words: educational intelligence; artificial intelligence; knowledge map; CiteSpace

0 引言

《新一代人工智能发展规划》的颁布要求全面提升我

国智能化转型速度,着力加快人工智能与各产业深度融合,提高新一代人工智能技术创新能力。该规划指明了未来人工智能发展的战略部署和总体任务,掀起了人工智能技术应用的浪潮。2018年《高等学校人工智能创新行动计

收稿日期: 2021-06-19

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究项目(WJ2019010); 辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(辽教函[2018]471号)

作者简介: 郭莹莹(1998-),女,辽宁师范大学计算机与信息技术学院硕士研究生,研究方向为教育信息化;刘丹(1981-),女,硕士,辽宁师范大学计算机与信息技术学院副教授、硕士生导师,研究方向为教育信息化、多媒体信息处理。本文通讯作者: 刘丹。

划》横空出世,教育部的这一计划为人工智能学科发展与人工智能技术应用提供了重大战略支撑。随后,2019年联合国教科文组织发布《教育中的人工智能:可持续发展的挑战和机遇》报告,该报告认为通过人工智能技术重塑教育生态意义重大,但发展中国家关于教育人工智能的探讨较少^[1]。钟绍春^[2]认为在解决教育瓶颈问题上,智慧教育将给教育领域带来一场空前的大规模常态化革命。通过初步调查发现,人工智能对推动教育变革起着至关重要的作用,但目前针对人工智能的研究综述主要集中在工业、医学等领域,很少涉及教育领域。因此,本研究选取中国知网和万方收录的803篇文献作为研究样本,采用文献计量学分析法与内容分析法,对2011-2021年6月间中国知网与万方中有关教育人工智能的期刊论文进行梳理、分析及呈现,以便更全面地了解我国人工智能在教育领域的发展现状与未来研究热点。具体工作包括运用可视化数据分析工具CiteSpace对发文数量、发文期刊、论文作者和研究机构、关键词、突现词5方面进行分析,总结我国人工智能在教育领域的研究热点与前沿,以期为后续研究与应用提供参考。

1 研究背景

1.1 人工智能

1950年艾伦·麦席森·图灵提出“图灵测试”,用于测试机器是否具有智能;1956年,在第一屆人工智能讨论会上,人工智能(Artificial Intelligence)这一概念被正式提出,并确定了其发展目标;1976年,由于机器翻译等项目的失败及一些学术报告的负面影响,人工智能研究陷入低谷期;1986年,Rumelhart发现了反向传播学习算法,突破了早期感知机的局限,人工智能开始受到广泛关注^[3]。微软公司在2014年发布了全球第一款个人智能助理微软小娜,该智能软件的出现掀起了人工智能研究的热潮^[4]。目前关于人工智能的定义有很多,从技术角度来看,人工智能是一门研究如何制造出类人的智能机器或系统,以模拟人类活动和思维,延伸与扩展人类智能的科学^[5];从理论角度来看,Chassignol等^[6]认为人工智能是一种指导计算机系统开发与应用的理论框架,包括视觉感知、语音识别等。近年来,由于大数据的崛起以及计算机相关技术的突破性发展,无人驾驶、智慧物流等智能产品也爆发式涌现,人工智能已经渗透到医疗、交通、物流、教育等领域,并在其中扮演着重要角色,成为推动社会发展的中坚力量^[7]。Haenleini等^[8]表示,人工智能技术将广泛应用于人们的日常生活,但不能只看到人工智能发挥的重要作用,当务之急是如何实现人机共存;Popenici等^[9]指出人工智能将带动社会变革,但人工智能也具有不稳定性等特点。以上研究表明,研究者既看到了人工智能在社会各个领域的应用前景广阔,又认识到人工智能存在一定局限性。

1.2 教育人工智能

教育人工智能(Educational Artificial Intelligence)则是

人工智能与学习科学相结合而形成的一个新领域^[10]。目前,教育人工智能的研究主要集中于其性质、内涵、应用趋势等几个方面。例如,闫志明等^[11]认为教育人工智能的目标是促进自适应学习的发展与人工智能工具在教育中的应用,更深入地分析学习过程,感知影响学习的因素,为学习者的高效学习创造条件;彭绍东^[12]认为人工智能教育包括利用人工智能赋能的教育和以人工智能为学习内容教育;梁迎丽等^[13]认为教育人工智能具有智能化、自动化、个性化、多元化和协同化5个特征。人工智能在教育中的应用主要经历了人工智能算法引入教育领域、智能技术与教育场景结合、认知智能与教育行业深度融合3个阶段,由于人工智能教育尚未引起各机构与部门的高度重视,目前我国智能教育应用主要集中于第二阶段^[14]。从环境角度来看,人工智能将促进教育教学环境的数字化、智能化升级,创造出更加个性化、人性化的智慧学习环境,提高教学服务质量;从教师的角度来看,人工智能技术将改变教师教学、评价与管理方式,从基于语音识别的口语测评到基于图像识别的智能情绪分析将为教师的因材施教提供便利;从学生的角度来看,智能教学系统、教育机器人等智能辅助产品可为学生提供更加个性化、精准化的学习方案,让学习变得更加高效。

人工智能以不同形式广泛应用于教育领域,人工智能在教育领域的研究也不断深入,但是人工智能在教育领域的研究进展却鲜有人进行归纳总结。因此,本文对相关研究进行归纳与分析,以期探索教育人工智能的发展现状与未来发展趋势。

2 研究过程与方法

2.1 研究数据

在中国知网高级检索界面分别输入“人工智能教育”或“教育人工智能”进行主题检索,发表时间设定为2011.1.1-2021.6.10,并以“人工智能教育”或“教育人工智能”进行关键词检索,通过二次筛选和手工剔除,共检索到相关期刊论文678篇,主要包括学术期刊307篇、学位论文19篇等。以同样方法在万方数据库进行检索,经过人工筛选,符合要求的文献有125篇。将检索到的803篇期刊论文以Refworks格式从知网与万方数据库中导出,得到用于CiteSpace分析的原始数据,然后导入CiteSpace软件绘制可视化知识图谱。

2.2 研究过程

本文采用德雷克塞尔大学陈超美博士基于JAVA平台研发的可视化数据分析工具CiteSpace,并利用该软件将知网和万方导出的Refworks格式文档转换成可操作的数据格式,再从发文数量、发文期刊、论文作者、研究机构、关键词、突现词等方面对数据进行分析,从而完成教育人工智能知识图谱绘制。研究流程如图1所示。

2.3 研究方法

为直观呈现教育人工智能研究现状与趋势,本文采用

文献计量学分析法与内容分析法,该方法可揭示文献内容的本质,并预测未来发展趋势,使得研究结果具有客观性^[15-16]。此外,借助CiteSpace可视化数据分析工具,从论文作者和关键词等方面绘制知识图谱,并借助该软件统计期刊来源、作者发文量及研究机构地理分布,总结出教育人工智能关注的主题以及未来前沿热点。

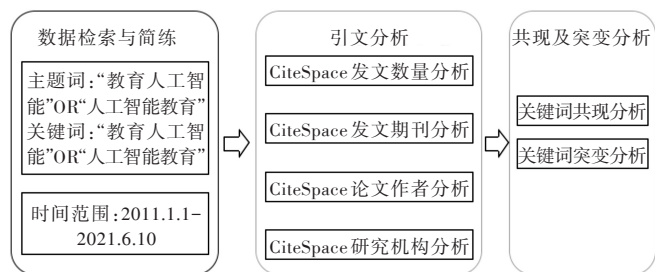


Fig. 1 Research flow

图1 研究流程

3 国内教育人工智能研究基本情况

3.1 发文数量变化

为初步了解了人工智能研究发展趋势,统计教育人工智能相关研究论文发表数量,近10年间教育人工智能具体发文量变化趋势如图1所示。

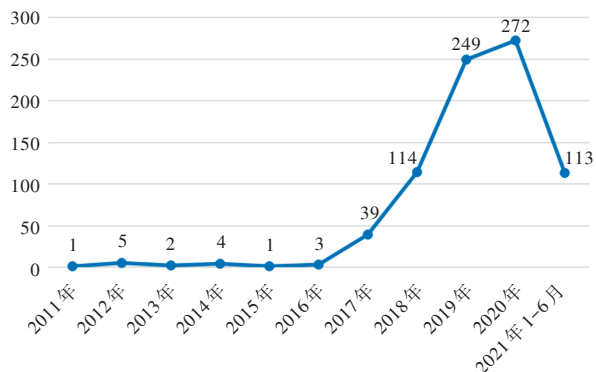


Fig. 2 Number of articles posted

图2 发文量

从整体上看,教育人工智能领域研究的发文量在10年间呈快速增长趋势,具体可分为两个阶段:①萌芽发展期(2011-2016年),这一时期除2012年发文5篇、2014年发文4篇外,其余时间每年发文量均少于4篇,共发文16篇。这一阶段研究主要围绕数字化教室构建与高校人工智能课程的初步探索展开;②快速增长期(2017-2021年),这一阶段发文量从16篇快速增长到803篇,每年发文量从39篇增长到272篇,共发文787篇。这4年间,论文数量保持快速增长态势,表明人工智能在教育领域的应用越来越受到重视,相关热点与话题越来越多,更新速度也越来越快。这从侧面反映了人工智能在教育领域的影响力越来越大,应用范围更加广泛。

3.2 发文期刊类别及发文情况

发文期刊类别是指刊载论文的期刊种类,通过发文期刊类别及发文情况可大致揭示教育人工智能的研究质量

与层次^[17]。在教育人工智能所有发表的期刊中,近10年来发文数量排前5位的期刊分别是《中国信息技术教育》、《中国电化教育》、《中小学信息技术教育》、《现代教育技术》和《电化教育研究》,如表1所示。其中,《中国信息技术教育》的发文数量最多,达到60篇,位列第二的《中国电化教育》共发文49篇,总计发文在30篇以上的期刊共有6个。教育人工智能研究的期刊大致可分为3类,分别为教育综合类期刊、教育技术类期刊和中小院校校类期刊。

Table 1 Journal source distribution

表1 期刊来源分布

期刊名称	载文数量	期刊名称	载文数量
中国信息技术教育	60	电化教育研究	34
中国电化教育	49	远程教育杂志	32
中小学信息技术教育	42	开放教育研究	24
现代教育技术	42	其他机构	520

3.3 研究作者及研究机构类别

为呈现核心作者分布情况以及各研究机构之间的合作方向与成果,对发文作者和研究机构进行挖掘分析与可视化呈现。从发文机构分布来看,如表2所示,教育人工智能研究机构主要划分为两类:第一类是高等院校,如北京师范大学、华东师范大学、华中师范大学等;第二类是中小学,如北京市景山小学、浙江省温州中学等;第三类是研究院,如北京教育科学研究院等。以上研究单位构成了教育人工智能研究的主要学术阵地,且一些研究机构建立了合作关系,例如北京市景山小学和浙江省温州中学针对创客教育的研究,广州市电化教育馆和上海师范大学针对人工智能时代教育理论与教育管理的研究等。

从出版机构的地理分布来看,研究机构相对分散,北京和上海成为重要发文地。研究成果不够集中,主要与当地的经济的发展情况以及对人工智能教育的重视程度有关。

Table 2 Distribution of issuing institutions

表2 发文机构分布

发文机构	发文数量	发文机构	发文数量
北京师范大学	37	陕西师范大学	12
华东师范大学	29	华南师范大学	12
华中师范大学	15	东北师范大学	11
首都师范大学	13	其他机构	674

随着人工智能教育相关成果的涌现,越来越多研究者开始关注这一新兴领域。通过CiteSpace绘制作者知识图谱,如图3所示(彩图扫OSID码可见,下同)。

根据对作者知识图谱的分析发现,教育人工智能研究者主要包括高等院校教师与中小学教师,其中一些高校已初步形成研究团队。例如,华东师范大学研究团队以任友群为代表,以教育信息化研究为主;浙江省温州中学以谢作如为代表,以人工智能伦理与创客教育研究为主;北京教育学院以钟祖荣和于晓雅为代表,以学科教师智能教育研究为主;西南大学以王素月和罗生全为代表,以整合人工智能的学科教学知识研究为主。各级各类研究员主要从人工智能教学改革角度对教育人工智能研究进行扩充

与完善,但研究水平有待进一步提高。

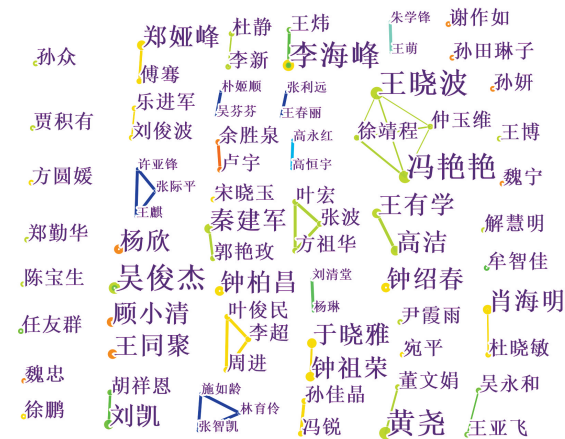


Fig. 3 Author knowledge graph

图3 作者知识图谱

通过数据分析可以发现,作者节点间的合作密度较低,仅为0.011 2,表明目前相关领域的科研人员比较分散,还没有形成真正意义上的合作关系。

Table 3 Number of articles published by the author

表3 作者发文量

序号	作者	发文数量	序号	作者	发文数量
1	谢作如	5	10	李海峰	4
2	吴俊杰	5	11	郑娅峰	4
3	高洁	5	12	黄尧	4
4	贾积有	5	13	杨欣	4
5	钟绍春	5	14	任友群	3
6	顾小清	5	15	乐进军	3
7	钟祖荣	4	16	秦建军	3
8	王有学	4	17	肖海明	3
9	王炜	4		总计	70

根据表3,2011年-2021年6月,发文数量在5篇以上的作者仅有6位。由此可知,教育人工智能领域的研究人员众多,但从人均发文量来看,国内期刊还没有高产作者,表明目前这一领域的研究深度较为欠缺。

3.4 当前研究的重要主题及趋势——基于关键词的统计

本文通过 CiteSpace 软件对教育人工智能的关键词进行统计分析,设置 Time slicing 为 2011.1-2021.6, Node Types 为 keyword, g-index 为 k=5。运行 CiteSpace 软件,得到 130 个关键词节点与 170 条连线。

由表4可知,“人工智能教育”的中心度最高,位列其后的是“深度学习”“人工智能”“智能教育”等。其中,关于“人工智能教育”的文献多达390篇,关于“人工智能”的文献有353篇,关于“人工智能课程”的文献有72篇。

Table 4 Key word frequency (top 20) and centrality statistics

表4 关键词频次(前20)与中心性统计

序号	频次	中心性	年份	关键词
1	390	1.14	2011	人工智能教育
2	353	0.93	2012	人工智能
3	72	0.06	2017	人工智能课程
4	48	0.06	2017	教育人工智能
5	46	1.06	2017	人工智能技术
6	45	0.72	2018	中小学
7	35	0.09	2013	教育
8	29	0.31	2018	创客教育
9	26	0.11	2017	智慧教育
10	24	0.49	2017	人工智能时代
11	22	0.2	2011	教育信息化
12	20	0.35	2017	深度学习
13	20	0	2017	教育应用
14	18	0.03	2017	智能教育
15	15	0.28	2018	编程教育
16	14	0.31	2018	人机协同
17	14	0.04	2019	信息技术
18	12	0.14	2018	人工智能应用
19	11	0.21	2018	信息技术教育
20	11	0.13	2019	智能时代

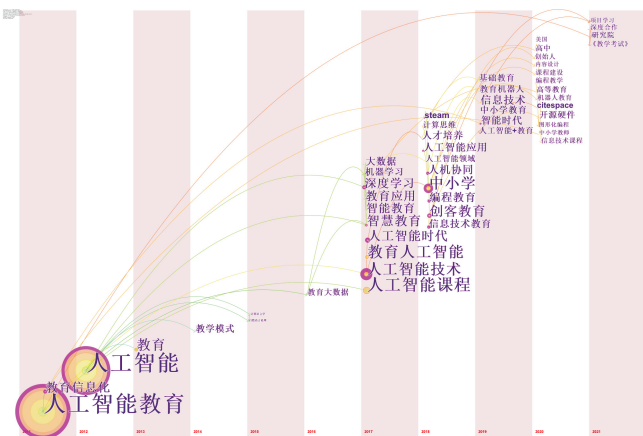


Fig. 4 Keyword knowledge graph

图4 关键词知识图谱

根据对关键词的共现分析,可将教育人工智能领域关注的主题归为三大类:“智能教育课程”、“智能教育技术”以及“智能教育应用”。其中,“智能教育课程”主要关注人工智能教育课程体系建设、中小学人工智能教学模式等,后续逐渐与创客教育及编程教育相结合;

3.5 教育人工智能研究前沿分析

为进一步了解每个阶段关键词的突现情况,利用 CiteSpace 进行关键词突现研究,得到如图5所示的教育人工智能领域突现词探测图。2011-2021年间共出现了11个突现词,“深度学习”和“整合人工智能的学科知识”两大类

别构成了教育人工智能领域的研究前沿。突现性数值代表关键词在某一时段内的出现频率高低,可反映研究领域的转变方向^[18]。这些重点关键词突现情况直接反映了教育人工智能领域研究趋势的转变。

Top 11 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2011-2021
gcce	2011	1.3547	2011	2012	
教育游戏	2011	1.3547	2011	2012	
泛在学习	2011	1.3547	2011	2012	
智能教学系统	2011	1.4758	2014	2019	
教育大数据	2011	1.379	2016	2017	
个性化学习	2011	3.4791	2017	2018	
机器学习	2011	1.875	2017	2018	
深度学习	2011	3.4916	2017	2018	
ai	2011	1.7342	2017	2018	
学习者	2011	1.9424	2017	2018	
人工智能领域	2011	1.462	2018	2019	

Fig. 5 Mutant word detection in the field of educational artificial intelligence

图5 教育人工智能领域突现词探测

3.5.1 深度学习

深度学习是学习科学视阈下对信息深度加工过程、教师深度引导过程、技术深度支持过程三者的最优整合^[19]。从传统纸质教材到现在的学习资源整合,从以往知识与技能的简单记忆到现在知识与信息的深度加工,深度学习算法在其中发挥着至关重要的作用。深度学习在教育领域的应用主要包括数据挖掘、算法应用、模型构建等方面。如陈兴冶等^[20]基于混合式学习等理论构建面向计算思维发展的深度学习模型,并将其应用于教学,指出该模型能提高学生的计算思维水平,并促进学生的深度学习;李浩君等^[21]将深度学习技术与个性化推荐相结合,设计一个在线学习资源自适应推荐系统,致力于改善学习者的学习体验,为学习者的个性化学习提供支持。深度学习理念、算法与技术为教育人工智能领域的发展提供了有力支撑,所以应合理运用智能技术不断提高教学效果,为学生打造个性化的学习环境,促进学生由“浅层”学习到“深度”学习的转变。

3.5.2 整合人工智能的学科知识

在“人工智能+教育”背景下,传统的学科教学知识与体系受到新技术的影响,面临知识维度比较单一、知识更新速度慢等挑战。因此,教师要在方便学生理解的基础上,打造符合学生认知观念并满足学生认知需求的整合人工智能的学科知识体系,更好地促进教育与人工智能的深度融合发展。人工智能课程包含多学科知识,是一个跨学科的课程,因此需要将学科知识、教学素养等与相关技术紧密联系起来,结合智慧校园理念建设一系列实验基地。整合人工智能的学科知识主要从2020年开始兴起,宋丹^[22]从跨学科的角度讨论人工智能教育及其内容框架,人工智能不仅给学生带来了改变,也对教师的知识结构体系产生了冲击;王素月等^[23]阐述了整合人工智能的学科教学知识

的内涵、特征及结构模型,教师不应只把人工智能看作教学辅助工具,人工智能本身就是一门学科知识,教师只有率先掌握人工智能相关知识与技术,才能更好地实现人机协同。此外,整合人工智能的学科知识设计与组织需符合未来学习的要求,才能不断促进师生共同发展。

4 研究结论与展望

本文以国内教育人工智能为主题的各类期刊文献作为分析对象,对发文数量、发文期刊、研究人员与机构及关键词进行分析,得出以下结论:近10年国内教育人工智能研究的发文量呈增长趋势,具体可分为两个阶段:萌芽发展期与快速发展期。从发文期刊来看,教育人工智能研究的期刊大致可分为3类:教育综合类期刊、教育技术类期刊和中小学院校类期刊。从研究者类型来看,囊括了不同教育阶层的教师,主要包括大学教师与中小学教师。建议高校研究者与中小学教师应相互协作,充分利用不同领域的优势,组建各具特色的科研团队,提高人工智能教育研究层次与水平。从研究机构来看,研究单位大多集中在北京、上海等地区,仅有部分研究机构之间有合作,且合作发文量不高。建议各机构间应形成长期友好合作关系,发表高质量的核心文章。从关键词热度来看,“人工智能教育”的中心度最高,其次是“深度学习”“人工智能”“智能教育”等词,说明未来几年深度学习将成为研究热点。

根据现有研究对教育人工智能领域的未来发展作出展望,并提出以下3点建议:

(1)现有的人工智能学科教育仅停留在知识与技能领域,而忽略了情感领域。在教学过程中要实现师生之间的双向互动,不仅要注重知识方面的交流,还应注重情感交流。因此,今后人工智能课程教学过程中应重视情感体验,给予学生适当的情感支持。人工智能教育要以育人为首要目标,做到以学生为主体,加强伦理教育。

(2)如今教育人工智能产品不断涌现,但大多数产品仍停留在计算智能阶段,没有走向认知智能阶段,技术尚不够成熟,不能解决目前教学中存在的所有问题,也不能很好地满足教师与学生的需求。未来教育人工智能技术需作进一步完善,实现对学生的细粒度分析与更加精准化的人工智能教育。随着人工智能技术的发展,教师与各级各类教研员应不断进行教学改革,重构教学模式,更新并整合人工智能学科知识,促进教育与人工智能的深度融合,使人工智能产品不仅具有“智能化”,更注重“情感化”。

(3)在人工智能时代,教学过程的一些简单任务将会被人工智能所替代,使教师的职业认同面临重大挑战,因此未来教师的角色将会发生改变。只有不断紧跟教育人工智能领域的发展趋势,相关产品的研发才能满足未来学校与教师的教学要求。当然,这单靠个别研究者的努力是不够的,还应不断提升教育相关职能部门(如教务处、学生处、研究生院等)对其的重视程度,协同、带动更多教师参与到相关调研、数据搜集与分析中,才能取得更好的效

果。此外,如何进行教师的教育教学创新,让机器与教师共同生存,实现人工智能时代的人才培养,将成为今后的研究重点。

参考文献:

- [1] REN Y Q, WAN K, FENG Y C. The sustainable development of artificial intelligence education—the interpretations and implications of artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development[J]. *Modern Distance Education Research*, 2019, 31(5): 3-10.
任友群, 万昆, 冯仰存. 促进人工智能教育的可持续发展——联合国《教育中的人工智能: 可持续发展的挑战和机遇》解读与启示[J]. *现代远程教育研究*, 2019, 31(5): 3-10.
- [2] ZHONG S C. How artificial intelligence supports educational revolution[J]. *China Educational Technology*, 2020(3): 17-24.
钟绍春. 人工智能如何推动教育革命[J]. *中国电化教育*, 2020(3): 17-24.
- [3] CHEN J. Study of ethical issues in the development of artificial intelligence technology[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
陈晋. 人工智能技术发展的伦理困境研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [4] TAO X Q. Research on human-computer social interaction design in the age of artificial intelligence[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
陶雪琼. 人工智能时代人机社会性交互设计研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- [5] BAHRAMMIRZAEI A. A comparative survey of artificial intelligence applications in finance: artificial neural networks, expert system and hybrid intelligent systems[J]. *Neural Computing and Applications*, 2010, 19(8): 1165-1195.
- [6] CHASSIGNOL M, KHOROSHAVIN A, KLIMOVA A, et al. Artificial intelligence trends in education: a narrative overview[J]. *Procedia Computer Science*, 2018, 136: 16-24.
- [7] MA Y H, BAI M L, ZHOU Z. Development of artificial intelligence education in China in smart education era—an interpretation and enlightenment of preparing for the future of artificial intelligence report of America[J]. *e-Education Research*, 2017, 38(3): 123-128.
马玉慧, 柏茂林, 周政. 智慧教育时代我国人工智能教育应用的发展路径探究——美国《规划未来, 迎接人工智能时代》报告解读及启示[J]. *电化教育研究*, 2017, 38(3): 123-128.
- [8] HAENLEIN M, KAPLAN A. A brief history of artificial intelligence: on the past, present, and future of artificial intelligence[J]. *California Management Review*, 2019, 61(4): 5-14.
- [9] POPENICI S, KERR S. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education[J]. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 2017, 12(1): 22-34.
- [10] LUCKIN R, HOLMES W. Intelligence unleashed: an argument for AI in education[EB/OL]. <https://www.pearson.com/news/blogs/CompanyBlog/2016/03/intelligence-unleashed-an-argument-for-ai-in-education.html>.
- [11] YAN Z M, TANG X X, QIN X, et al. The connotations, key technologies and application trends of educational artificial intelligence (EAI): interpretation and analysis of the two reports entitled “preparing for the future of artificial intelligence” and “the national artificial intelligence research and development strategic plan”[J]. *Journal of Distance Education*, 2017, 35(1): 26-35.
闫志明, 唐夏夏, 秦旋, 等. 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*, 2017, 35(1): 26-35.
- [12] PENG S D. Definition and principle mining of artificial intelligence education[J]. *China Educational Technology*, 2021(6): 49-59.
彭绍东. 人工智能教育的含义界定与原理挖掘[J]. *中国电化教育*, 2021(6): 49-59.
- [13] LIANG Y L, LIU C. The application status, typical characteristics and development trends of artificial intelligence in education[J]. *China Educational Technology*, 2018(3): 24-30.
梁迎丽, 刘陈. 人工智能教育应用的现状分析、典型特征与发展趋势[J]. *中国电化教育*, 2018(3): 24-30.
- [14] WANG Y F, LIU B Q. Research overview of the application of AI in education[J]. *Modern Educational Technology*, 2018, 28(1): 5-11.
王亚飞, 刘邦奇. 智能教育应用研究概述[J]. *现代教育技术*, 2018, 28(1): 5-11.
- [15] FAN Y Q, WANG B H, WANG W, et al. A review of Chinese literature on deep learning[J]. *Distance Education in China*, 2015(6): 27-33, 79.
樊雅琴, 王炳皓, 王伟, 等. 深度学习国内研究综述[J]. *中国远程教育*, 2015(6): 27-33, 79.
- [16] CHEN S M, ZHANG Y. Domestic research review of deep learning based on content analysis[J]. *China Information Technology Education*, 2020(Z2): 157-162.
陈双敏, 张燕. 基于内容分析法的深度学习国内研究综述[J]. *中国信息技术教育*, 2020(Z2): 157-162.
- [17] LYU S H, PENG Y W. A summary of the research on primary and secondary school mathematics textbooks in the past twenty years—based on CiteSpace knowledge map analysis[J]. *Journal of Mathematics Education*, 2019, 28(4): 48-54.
吕世虎, 彭燕伟. 近二十年中国中小学数学教科书研究综述——基于CiteSpace知识图谱分析[J]. *数学教育学报*, 2019, 28(4): 48-54.
- [18] CHEN Y, CHEN C M, LIU Z Y, et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253.
陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242-253.
- [19] DUAN M J, ZHENG H Y. Deep learning: optimal integration in the context of learning science[J]. *e-Education Research*, 2021, 42(6): 34-39, 59.
段茂君, 郑鸿颖. 深度学习: 学习科学视阈下的最优整合[J]. *电化教育研究*, 2021, 42(6): 34-39, 59.
- [20] CHEN X Y, MA Y Y, YANG Y. Deep learning model construction for the development of computational thinking: taking visual programming teaching as an example[J]. *e-Education Research*, 2021, 42(5): 94-100, 121.
陈兴治, 马颖莹, 杨伊. 面向计算思维发展的深度学习模型建构——以可视化编程教学为例[J]. *电化教育研究*, 2021, 42(5): 94-100, 121.
- [21] LI H J, ZHANG Z, GUO H D, et al. Personalized learning resource recommendation from the perspective of deep learning[J]. *Modern Distance Education Research*, 2019, 31(4): 94-103.
李浩君, 张征, 郭海东, 等. 深度学习视角下的个性化学习资源推荐方法[J]. *现代远程教育研究*, 2019, 31(4): 94-103.
- [22] SONG D. Analysis on the current situation of artificial intelligence education in mainland China from the perspective of communication[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2020.
宋丹. 传播学视角下中国大陆人工智能教育现状探析[D]. 北京: 北京印刷学院, 2020.
- [23] WANG S Y, LUO S Q. The construction of teachers' artificial intelligence pedagogical content knowledge[J/OL]. *Journal of Educational Science of Human Normal University*, 2021-03-10. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1381.G4.20210309.1058.008.html>.
王素月, 罗生全. 教师整合人工智能的学科教学知识(AI-PACK)建构[J/OL]. *湖南师范大学教育科学学报*, 2021-03-10. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1381.G4.20210309.1058.008.html>.

(责任编辑: 黄健)