

智能教育中可计算感知技术:系统性综述

刘峰, 刘雅旋, 柴新宇, 季昊涵, 郑之行

引用本文

刘峰, 刘雅旋, 柴新宇, 季昊涵, 郑之行. [智能教育中可计算感知技术:系统性综述](#)[J]. 计算机科学, 2024, 51(10): 10-16.

LIU Feng, LIU Yaxuan, CHAI Xinyu, JI Haohan, ZHENG Zhixing. [Computational Perception Technologies in Intelligent Education: Systematic Review](#) [J]. Computer Science, 2024, 51(10): 10-16.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[面向业务的资源按需解析模型构建研究](#)

Study on Building Business-oriented Resource On-demand Resolution Model
计算机科学, 2024, 51(10): 178-186. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.230800191>

[基于速度与准确率权衡的深度认知诊断模型](#)

Speed-Accuracy Tradeoff-based Deep Cognitive Diagnostic Model
计算机科学, 2024, 51(10): 170-177. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240300121>

[教育元宇宙视域下虚拟交互式师范生教学技能训练模式的创新构建](#)

Virtual Interactive Teaching Skills Training Mode for Normal Students in Educational Metaverse Perspective
计算机科学, 2024, 51(10): 144-152. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240400120>

[基于边缘计算和WebRTC的元宇宙教育通信技术方案研究与实现](#)

Research and Implementation of Metaverse Educational Communication Technology Scheme Based on Edge Computing and WebRTC
计算机科学, 2024, 51(10): 94-104. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.231200082>

[课堂师生交互智能分析技术研究综述](#)

Survey on Intelligent Analysis Techniques for Classroom Teacher-Student Interaction Research
计算机科学, 2024, 51(10): 40-49. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240400084>

智能教育中可计算感知技术:系统性综述

刘 峰^{1,2} 刘雅旋³ 柴新宇² 季昊涵² 郑之行²

1 华东师范大学上海国际首席技术官学院 上海 200062

2 华东师范大学计算机科学与技术学院 上海 200062

3 华东师范大学教育学部 上海 200062

摘 要 随着教育技术的进步和发展,以深度学习、机器学习、虚拟现实、物联网为代表的可计算感知技术在以人为本的教育中的应用愈发广泛,同时也是赋能教育发展变革的关键力量之一。然而,目前对于可计算感知技术在智能教育中的应用还知之甚少。以面部表情、语音、文本、眼动、触觉、生理信号等可感知的物理及虚拟空间中可感知数据为基础,对当前公开发表的期刊文献和会议论文进行筛选和统计,系统分析了智能教育中可计算感知技术的进展与应用,并提出了其对教育实践的潜在影响和挑战。最后,基于结论对智能教育中可计算感知技术的未来发展方向展开了前瞻讨论。

关键词: 可计算感知;智能教育;计算机视觉;自然语言处理;物联网;虚拟现实

中图分类号 G642

Computational Perception Technologies in Intelligent Education: Systematic Review

LIU Feng^{1,2}, LIU Yaxuan³, CHAI Xinyu², JI Haohan² and ZHENG Zhixing²

1 Shanghai International School of Chief Technology Officer, East China Normal University, Shanghai 200062, China

2 School of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China

3 Faculty of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract With the advancement and development of educational technology, computational perception technologies such as deep learning, machine learning, virtual reality, and the Internet of Things are increasingly being applied in human-centric, empathetic education, playing a key role in empowering educational transformation. However, there is still limited knowledge regarding the application of these technologies in intelligent education. This study systematically analyzes the progress and applications of computational perception technologies in intelligent education, drawing on perceptible data from both physical and virtual spaces, such as facial expressions, speech, text, eye movements, touch, and physiological signals. This study conducts a statistical analysis and screening of currently published journal articles and conference papers. The study explores the advancements and applications of these technologies, discussing their potential impacts and challenges in educational practice. Finally, a forward-looking discussion on the future development directions of computational perception technologies in intelligent education is presented based on the conclusions of this study.

Keywords Computational perception, Intelligent education, Computer vision, Natural language processing, Internet of Things, Virtual reality

1 引言

人工智能、机器学习、物联网等技术的不断进步,增强了对复杂环境的感知与理解,大幅度地扩展了“以人为本”的感知计算场景,使得更多的计算方法被应用于捕获、分析和反馈感知数据^[1],并通过对数据的分析为改进行为和决策提供依据,促进了感知计算设备在日常生活的普遍应用^[2]。以人为本

的计算灵感源自于人类的认知和感知,旨在通过赋能机器支持高度明智且即时的决策制定,丰富人类的生活品质,从而有效提升人类的生产力^[3]。

可计算感知的核心在于可计算和感知两部分,感知是通过感觉和知觉对外界事物进行识别、分析,形成其整体表象和特性,为理性思维提供概念和意义的基础的认知过程^[4],是一个积极的、循环往复的探索和解释过程^[5]。如图 1 所示,感知

到稿日期:2024-04-15 返修日期:2024-07-07

基金项目:上海市科学技术委员会资助项目(22511105901);北京大学行为与心理健康北京市重点实验室资助项目;华东师范大学计算机科学与技术学院“人工智能赋能心理/教育学科交叉人才培养专项基金(2024JCRG10)”

This work was supported by the Shanghai Municipal Science and Technology Commission(22511105901), Beijing Key Laboratory of Behavior and Mental Health at Peking University and Special Fund for Talent Cultivation of Artificial Intelligence Enabled Psychology/Education Interdisciplinary Cross-disciplinary Talents(2024JCRG10), School of Computer Science and Technology, East China Normal University.

通信作者:刘峰(lsttoy@163.com)

计算关注计算机通过收集、理解和分析人类在多维空间的感知数据来实现与人类的交互,基于人工智能的感知计算技术有望提供更客观的情绪状态和行为测量。较为常见的计算技术包括机器学习、深度学习、自然语言处理等,感知计算技术则主要包含情感计算、计算机视觉和计算行为分析等,其利用算法分析使用可穿戴设备和其他个人设备从个体收集被动和连续的行为数据^[6-8],在各类场景中得到应用。然而,人类感知具有复杂性,当前存在不可被计算机理解和分析的部分。

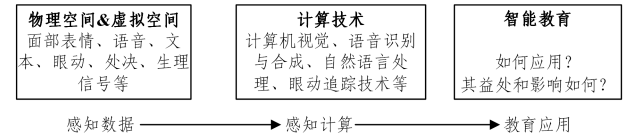


图1 可计算感知在智能教育中的应用研究框架

Fig. 1 Research framework of computable perception in intelligent education

华东师范大学袁振国教授团队在教育智能化早期提出了教育技术转型问题,教育数字化转型赋能为重塑教育方式与学习方式带来了新的可能性,数字技术的发展打破了教育的时空限制,丰富了教育内容,延伸了教育互动,为实现大规模的个性化教育带来变革力量^[9]。智能教育即智能技术支持的教育、学习智能技术的教育和促进智能发展的教育^[10]。而随着人工智能算法和系统在教育中的应用逐年增长^[11],以技术为中心的“冷智能”教育的局限性逐渐暴露出来^[12]。智能教育,究其根本是服务于人的社会活动,其核心在于教育的价值理性,因此在智能教育发展中要坚持以人为中心的主体思路,以促进人的自由、全面、个性化发展为最终目的,实现技术育人^[13]。智能技术支持的教育分为计算智能+教育(浅层应用)、感知智能+教育(中层应用)、认知智能+教育(深层应用)^[14]。尽管当前人工智能在教育中的应用主要处于第一层次,随着以机器学习、自然语言处理等为代表的人工智能技术的突破性进展及其在教育中的应用^[15-18],赋能以人为本的智能教育将走向更高层次。感知计算技术最独特的能力之一是能够通过生物行为测量自动推断情绪、认知或情绪状态^[19-20],体现出对人类个体多维数据的进一步深入挖掘。在此基础上,华东师范大学周爱民教授团队提出了教育中可以用计算的情感来实现有温度的教育,即可计算感知技术以其对学习者情感和行为的分析和识别能力,为发展个性化、有温度的智能教育创造全新的可能性。然而当前对于可计算感知技术如何在教育中应用的研究还较少。本文旨在对可计算感知技术在智能教育中的应用进行系统性的回顾,呈现可计算感知技术的发展现状以及其在教育中的应用场景,剖析其对教育实践的潜在影响、益处以及挑战和限制。

2 研究设计

为了解国内外智能教育中可计算感知技术的发展与应用现状,对 Web of Science、Scopus、EI village 和中国知网 4 个数据库中公开发表的期刊文献和会议论文进行统计分析,这些数据库中的文献较为全面地涵盖了可计算感知技术在智能教育中的应用领域。本研究致力于回答以下两个问题:1)可计算感知技术的发展现状如何? 2)可计算感知技术在智能教育中有哪些应用?

2.1 研究方法

系统性文献综述(Systematic Review Methodology)是研究者在不同数据库中运用多种检索与分析技术获取文献,并全面梳理某一领域的研究现状,对原始研究结果进行客观评价和系统整合的一种标准化研究方法^[21]。相较于传统的叙事性和评论性综述方法,系统性文献综述通过其明确且可复制的文献识别、筛选、纳入和分析流程,减少研究者在文献选择上的偏差,具有更强的客观性和科学性^[21]。

2.2 研究步骤

本研究严格遵循系统性文献综述的流程来确定样本文献,筛选与检索流程如图 2 所示。

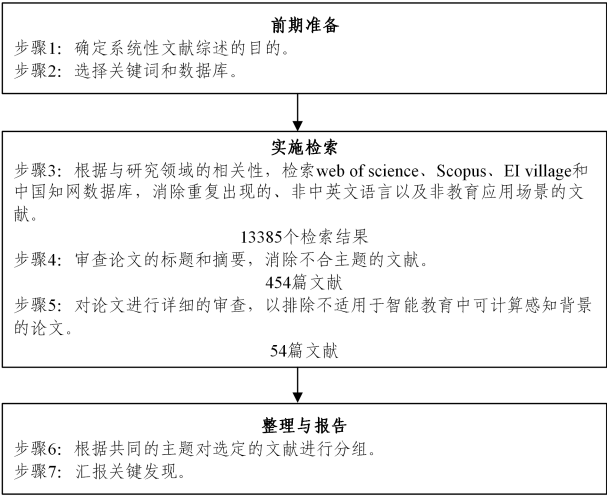


图2 系统性文献综述步骤

Fig. 2 Steps for a systematic literature review

检索词集如表 1 所列。各检索词间使用“OR”布尔运算符,检索年份为 2020 年 1 月至 2024 年 3 月,去除重复的文献后最终获得 13 385 篇文献(检索截止日期为 2024 年 3 月 20 日)。

表 1 文献检索词条

Table 1 Literature retrieval terms

主题	检索词条
可计算感知技术	IoT;VR;ASR;NLP;TTS;虚拟现实;物联网技术;视觉、人工智能;情绪感知
And 智能教育	Technology application;Intelligent education;Artificial intelligence applications in education;Perceptual Computing;可计算感知;教育;智能教育;课堂;学习

如表 2 所列,根据研究,需要设定纳入与排除标准来对文献进行初步筛选,阅读文献题目、摘要并粗读全文,确定 454 篇文章进入下一阶段,最后对 454 篇文章进行全文阅读,并继续根据文献纳入与排除标准进行深度复筛,最终确定 54 篇文献。

表 2 文献纳入与筛选标准

Table 2 Literature inclusion and screening criteria

文献纳入标准	文献排除标准
全文可获取	全文不可以获取
中英文	非中英文
涉及可计算感知技术在教育领域的应用	不涉及可计算感知技术在教育领域的应用

对检索到的 54 篇文献进行了分析,智能教育中可计算

感知技术文献的历年分布情况如图 3 所示。可以看出,相关的可计算感知技术文献呈逐年增长的趋势。

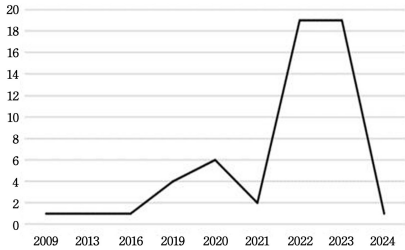


图 3 智能教育中的可计算感知技术文献数

Fig. 3 Number of computable perception technology literatures in intelligent education

同时,从文章发表年份和使用的技术来看(见图 4),近五年来,可计算感知技术在教育中的应用关注度越来越高,且相关文献数量陡增。当前主要的可计算感知技术为计算机视觉、自然语言处理、虚拟现实和物联网技术,分属于感知中的视觉计算、语音语言计算以及传感和空间计算。从信息采集要素的角度来看,视觉感知信息要素最多,其次是语音文本,最后是其感知。接下来将依次介绍视觉感知计算、语音文本感知计算和其他感知计算技术的发展趋势及其在智能教育中的应用。

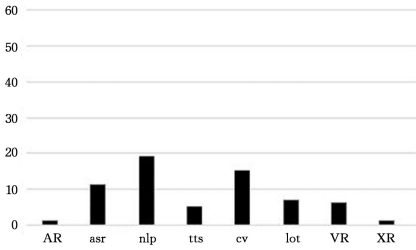


图 4 可计算感知技术出现数

Fig. 4 Numbers of occurrences of computational perception technology

3 智能教育中可计算感知技术的进展与应用

3.1 视觉感知技术

计算机视觉(Computer Vision,CV)技术主要指使计算机能够从数字图像或视频中提取和理解视觉信息,并根据这些信息作出相应行动的技术。CV 的工作原理类似于人类的视觉,它通过获取、处理、分析数字图像或传感器数据,从中提取高维度数字信息,进而从中分离出有意义的符号信息。一个成熟的 CV 模型往往需要通过大量的图像数据和标记训练才能得到。CV 的核心技术之一是卷积神经网络(Convolutional Neural Networks,CNN)^[22],它可以帮助深度学习模型分析图像,将数据分解成有标签的像素模块以进行数学计算和预测,通过卷积运算和预测结果进行反复对比训练,达到较高的预测准确性。另一个核心技术之一是目标检测^[23],这是一种在图像中定位和识别重要物体的技术。

计算学生的课堂注意力水平是当前 CV 技术在教育场景中的主要应用^[24]。CV 技术主要通过识别学生肢体动作^[25-29]、或依靠面部特征与面部表情^[30]等进行情感和行为计算^[31-33],在线上线下教育教学中得到了广泛应用。此外,自动

监考^[28-29]、自动课堂考勤^[31]等也是当前常见的应用方式。近年来开始出现结合了学生动作与表情以及情绪状态来评估学生上课注意力水平的新方法^[31-32],也有研究探索 4 种不同面部情感分类指标与网课中学生注意力的相关性^[33]。当前可计算感知技术在教学领域的主要应用场景有人脸识别(考勤)与行为检测。针对学生课堂状态的研究主要依靠检测和分析学生动作实现,而不是学生的情感与感知。我们认为动作分析技术方向比较发达的原因是针对人体动作的视觉识别更容易实现,并且互联网上拥有大量预训练过的成熟的人体动作检测模型,如 YOLO^[23]模型等,对研究者的开发比较友好。

然而,可计算感知在教育领域的研究和应用目前还较少,虽然计算机视觉在智能教育领域的应用已经比较广泛,但主要停留在可见数据的分析阶段,对学生情感和感知的研究较少。部分在教育场景中结合情感或面部识别的技术仅仅实现了初步探索,目前没有针对不同情感和注意力水平相关性的成型的独立研究,也缺乏公开且标注了情感方向和注意力水平的训练数据集,以及普遍公认的评价技术指标,因此视觉感知技术具有广阔的发展前景。

3.2 语音感知技术

语音感知技术通过一系列复杂的算法和模型的运算,使机器能够理解和处理人类的语音,主要包括自动语音识别(Automatic Speech Recognition,ASR)、自然语言处理(Natural Language Processing,NLP)和语音合成(Text-To-Speech,TTS)三大部分。语音感知的过程如图 5 所示。计算机接收语音信号,通过深度学习提取特征,使用声学模型建立映射,识别不同的语音单元如音素或词;解码器进一步将这些单元转换为文本,利用语言模型优化识别结果,确保文本序列符合语言习惯。自然语言理解系统(Natural Language Understanding,NLU)分析文本,明确用户需求;自然语言生成系统(Natural Language Generation,NLG)基于此信息创建结构化内容;语音合成系统利用深度网络模拟人声,将文本生成语音,并通过自然的语言回应,完成了从接收语音信号到产生响应语音的完整流程。



图 5 语音感知技术过程图

Fig. 5 Process diagram of speech perception technology

语音识别技术在教育领域的应用越来越广泛,当前主要在辅助学习技术、个性化分析和智能教学支持等领域应用。ASR 技术通过深度神经网络,如卷积神经网络和循环神经网络,分析和处理语音信号。对这些网络进行训练以识别语音的不同特征,并将这些特征映射到语音单元,如音素或词。对于有视觉障碍等生理缺陷的学生,ASR,TTS 与深度学习、图片识别等技术相结合,获取信息以辅助学生完成学习任务,将课堂录播^[34]、讲解录音和文本字幕^[35]转换为易于处理的数据形式^[36],突破了传统教材的限制^[37],便于资料的保存与分享^[38]。在语音学习方面,这些技术不仅能即时纠正学生的发音^[39],还能为学生个人提供个性化的评价^[40],进行一对一

辅导^[41]和自我检测^[42]。进一步地,教师利用机器学习和深度学习技术,能够设计出贴合学生需求的课堂大纲^[41],密切关注学生的情感波动^[43]和心理健康^[44],管理班级氛围^[45]。ASR 技术还可以用于自动评估学生的口语考试和演讲,为学生提供关于发音、流利度和语言使用的即时反馈^[46],在减轻教师负担的同时,为学生提供个性化的学习建议^[47]。并且通过分析大数据,创造多样化的学习情境和讨论场景,提升学生的协作、沟通和批判性思维能力^[48]。此外,语音感知分析还可以对文本的可读性进行分析,为教学材料的设计和调整提供建议^[49]。我们可以在一个智能教学系统中集成 ASR 和 TTS 技术,允许学生通过语音与系统互动。学生可以口头回答问题,系统即时使用 ASR 技术识别语音并将其转换为文本,随后利用 NLP 技术分析文本内容,评估学生的回答质量。系统利用 TTS 技术给出语音反馈,指导学生如何改进。

综上所述,语音感知技术可以为学生提供更加个性化和高效的学习体验,帮助教育者优化教学方法,提高教学质量。语音感知技术在教育领域仍面临一些挑战,如语音识别在噪音环境下的准确性、方言^[50]和口音的处理^[51]、学生对人工智能的过度依赖^[42]和教育环境影响的虚假剽窃问题^[44]、大模型的准确性问题^[52]、隐私^[53]和数据安全问题^[54]等。

3.3 物联网下的可穿戴式设备和 VR 技术

物联网(Internet of Things, IoT)一词是由麻省理工学院自动识别中心的创始人凯文·艾什顿创造的^[55],最早出现在 1999 年宝洁公司关于射频识别(RFID)的演讲中。物联网的核心理念在于不同物理设备之间的连接和通信,通过升级日常物品的识别、传感器、网络和处理能力,使它们能够互相通信,并通过互联网与其他设备和服务进行交互,以实现万物互联的目的^[56]。这种改进赋予了这些物品“智能对象”的标签,因为它们可以独立生成、交换和管理数据,减少或无需人工干预。此外,近年来云计算、大数据等相关技术的综合应用给物联网提供了更多可能性^[57]。目前,研究者们基于物联网已经提出了一系列概念,如智能移动/交通、智能网格、智能住宅/建筑/城市、公共安全和环境监测、医药和医疗保健、农业和种植等。在教育领域,物联网技术为教学和管理提供了新方式,如构建智慧教室^[58]、创立智能校园管理系统、提供智能教室组件^[59]、丰富教学方式等,使教学不再局限于课堂,并且提高了校园管理的效率和安全性^[60]。同时,物联网技术也被应用于构建智慧图书馆^[61]、改善师生借阅图书的体验。此外,通过穿戴式设备和智能传感器监测学生健康数据,如睡眠质量、运动量等,可以帮助学校和家长及时了解学生的健康状况,并提供个性化的健康管理服务。

单纯物理现实环境下的教学方式难以满足日益增长的教学需求,尤其是新冠肺炎疫情以来远程教育需求的增长^[62],目前主要运用物联网技术下的虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术来满足远程沉浸式教育的需求。

VR 指利用计算机技术模拟人工环境。虚拟环境的沉浸感取决于硬件和软件的复杂性。随着 5G、云计算等新技术的出现,设备间低延迟、高稳定性的数据传输使得 VR 技术在娱乐、游戏制造、教育、医疗、军事、设计等行业得到广泛应用^[63]。虚拟现实的目标是提供 5 种感官的感觉,但目前味觉

和嗅觉技术仍然是化学的而非电子的,视觉、听觉、触觉目前已经可以提供真实感。目前在教育领域,VR 技术可以在为体育教学提供近乎真实的场景体验的同时降低传统体育教学中的风险,从而提高教学质量^[64];在语言类教学中,VR 与传统教学相比具有沉浸感、想象力和互动感等优势,能够提高语言类教学的质量^[65];在科学技能教学方面,虚拟现实可以实现抽象概念的可视化,提高教学效率^[66]。另外,VR 技术也是教育元宇宙的主要实现技术之一。

除了 VR 技术之外,增强现实(Augmented Reality, AR)^[67]、混合现实(Mixed Reality, MR)^[68]技术在教育领域也有一定的发展前景,但目前由于 VR 技术的沉浸感强,发展成熟,因此目前多用 VR 技术构建虚拟教育场景^[69]。在虚拟场景中,学生和教师可以实现远程面对面交流,改善教学过程中的师生交流效果。同时,可穿戴式设备提供了可计算感知的数据来源,而 VR 技术为可计算感知提供了输出窗口。通过设备的密切人机交互,使得在智能教育中应用可计算感知技术提高教学质量成为可能。

4 智能教育中可计算感知技术述评

Luo 等在中小学数字化教学中提出了“教-学-评”体系,并强调教师教、学生学与评价的有机融合,做到及时、科学评价,实现以评促教、以评促学,进而提升教学效率和学习效果^[70]。

如图 6 所示,在智能教育生态系统中,教、学、评共同构成了一个互动的、动态的关系网络。教学是激活和维持学习过程的关键,教师通过智能教学平台设计符合学生需求的教学内容和活动,学生在教师的引导和智能系统的支持下,通过互动和参与学习知识和技能。教与学是双向的互动过程,学生的反馈能即时影响教学的调整,教学策略的变化反过来又可即时应用于学习活动的设计。评价不仅是教学过程的结果,也是过程的组成部分。通过智能评价,教师可以获得关于学生学习效果的实时反馈,包括认知进步、情感态度、技能掌握等多个维度的信息,从而指导教师做出调整,进而形成一个闭环的教学-评价循环。学生通过多维评价了解个人学习状态,增强自主学习的能力,从而优化学习过程。

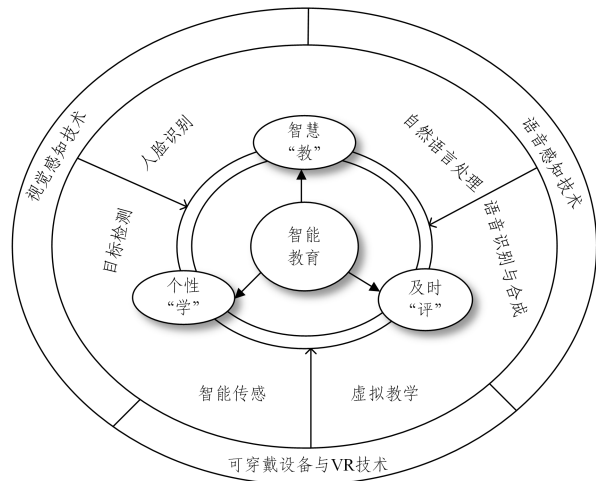


图 6 可计算感知技术赋能教学评一体化

Fig. 6 Computational perception technology enabling the integration of teaching and assessment

可计算感知技术以其多维数据的采集、分析和生成为教学评一体化带来了新的突破,智能技术的应用使得这三者进一步相互渗透、相互促进,共同构建起一个自适应、互动、持续优化的教育生态。可计算感知技术能够实时捕捉学生的学习行为和情绪状态,如注意力集中度、情绪波动等,并及时反馈给教师和学生,进行教学调整和策略优化。可计算感知技术同样可以应用于教学准备过程,通过对感知数据的采集和分析,智能生成和优化相关教学材料,减轻教师负担、提升教师教学效率。可计算感知技术还可以辅助实现个性化学习路径的设计,根据学生的行为和情绪数据形成适合学生的学习材料和活动,使学习资源的配置更加高效和精确。

可计算感知在智能教育中的应用带来的不仅仅是技术的进步和应用领域的扩展,更是教育模式和教育理念的深刻变革,从而促进智能教育中各个元素的进一步有机融合,构建一个富有温度和生命力的整体,推动以人为本的智能教育向更加自动化、个性化的方向发展。

结束语 通过系统性地回顾与分析,本文针对当前人工智能、情感计算、教育技术及物联网技术等主流计算技术的发展现状、趋势进行了梳理,并针对智能教育中的应用展开了分析。技术的发展变革提升了计算的效率和计算结果的准确性,可计算感知技术的应用场景也日益广泛,为教育领域带来了革新和改进。可计算感知技术在物理空间中通过采集面部、音频、生理信号等多模态数据,对学习者的学习特征和行为进行分析,提供精准的个性化学习支持和反馈以及高效的教学辅助,为学习改进提供参考,同时也为虚拟空间的生成以及促进虚拟空间中更好的“教”与“学”提供依据,体现了以人为本的特性。可计算感知技术正以其独特的能力,推动教育向更高智能水平发展。

然而,可计算感知技术仍面临着一些挑战和局限。除隐私保护、数据安全敏感性和伦理问题等普适性议题外^[71],还面临着数据采集的困境及数据本身的教育属性表征问题。数据是产生智能的基础,足够的高质量数据才能促进人工智能技术价值的发挥^[72]。教育数据采集的有限性制约着技术促进教育教学的进一步精确、高效和个性化改进。同时,教育活动的复杂性意味着仅通过外部行为数据往往难以全面反映教育过程的实质^[73]。如何准确地解读数据,避免唯指标、唯数据主义,坚持以人为本的核心理念,将数据转化为有效的教育洞见和实践,仍是需要进一步探索的方向。

综上所述,可计算感知技术在智能教育中展现出了巨大的潜力和价值,但同时也伴随着一系列问题和挑战。未来的研究应更加注重技术的精准性、智能性和伦理性,探索更加全面和深入的应用场景,以推动智能教育的持续创新和发展。

参 考 文 献

[1] SHETH A. Computing for human experience: Semantics-enabled sensors, services, and social computing on the ubiquitous web[J]. IEEE Internet Computing, 2009, 14(1): 88-91.

[2] YU Z W, LI Q Y, WANG Q R, et al. Research progress and prospect of human-centred perceptual computing[J]. Foresight Technology, 2023, 2(1): 118-131.

[3] SHETH A, ANANTHARAM P, HENSON C. Semantic, cognitive, and perceptual computing: Paradigms that shape human ex-

perience[J]. Computer, 2016, 49(3): 64-72.

[4] LIB X. Letting students really feel the objective world: Classroom perceptual learning and its representational inference[J]. Educational Research and Experimentation, 2023(6): 40-49.

[5] GREGORY R L. Knowledge in perception and illusion. Philosophical Transactions of the Royal Society of London[J]. Series B: Biological Sciences, 1997, 352(1358): 1121-1127.

[6] INSEL T R. The NIMH research domain criteria (RDoC) project: precision medicine for psychiatry[J]. American Journal of Psychiatry, 2014, 171(4): 395-397.

[7] ONNELA J P, RAUCH S L. Harnessing smartphone-based digital phenotyping to enhance behavioral and mental health[J]. Neuropsychopharmacology, 2016, 41(7): 1691-1696.

[8] TOROUS J, BUCCI S, BELL I H, et al. The growing field of digital psychiatry: current evidence and the future of apps, social media, chatbots, and virtual reality[J]. World Psychiatry, 2021, 20(3): 318-335.

[9] YUAN Z G. Digital Transformation in Education: What to Turn and How? [J]. Journal of East China Normal University (Educational Sciences), 2023, 41(3): 1-11.

[10] CHEN L, CHEN P, LIN Z. Artificial intelligence in education: A review[J]. IEEE Access, 2020, 8: 75264-75278.

[11] ZHU Z T, PENG H C, LEI Y H. Intelligent education: The practical path of intelligent education[J]. Open Education Research, 2018, 24(4): 13-24, 42.

[12] YUAN Z G. Artificial Intelligence Facilitates the Realization of Personalized Education [N]. China Information Weekly, 2021-12-13(012).

[13] YUAN Z G. Educational Governance under the Perspective of Digital Transformation[J]. Journal of the Chinese Society of Education, 2022(8): 1-6, 18.

[14] WANG Y F, LIU B Q. An overview of intelligent education application research [J]. Modern Education Technology, 2018, 28(1): 5-11.

[15] ZHOU A, YANG X, WEN W, et al. Computational affection: A catalyst for human-centered education [J]. Science, 2021, 374: 28-30.

[16] LIU F, WANG H, SHEN S, et al. OPO-FCM: A Computational Affection Based OCC-PAD-OCEAN Federation Cognitive Modeling Approach[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 10(4): 1813-1825.

[17] SHEN S, LIU F, ZHOU A. Mingling or Misalignment? Temporal Shift for Speech Emotion Recognition with Pre-Trained Representations [C] // 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Greece: IEEE, 2023: 1-5.

[18] WANG H, LI B, WU S, et al. Rethinking the Learning Paradigm for Dynamic Facial Expression Recognition [C] // 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2023: 17958-17968.

[19] HAMMAL Z, COHN J F. Automatic, objective, and efficient measurement of pain using automated face analysis [M] // Social and Interpersonal Dynamics in Pain: We Don't Suffer Alone. 2018: 121-146.

[20] SAGANOWSKI S, KOMOSZYŃSKA J, BEHNKE M, et al.

- Emognition dataset;emotion recognition with self-reports, facial expressions, and physiology using wearables[J]. *Scientific Data*, 2022, 9(1):158.
- [21] RUDNICKA A R, OWEN C G. An introduction to systematic reviews and meta-analyses in health care[J]. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2012, 32(3):174-183.
- [22] GIRSHICK R. Fast r-cnn [C]// 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). Santiago, Chile, 2015: 1440-1448.
- [23] TERVEN J, CORDOVA-ESPARZA D M, ROMERO-GONZÁLEZ J A. A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS [J]. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 2023, 5(4): 1680-1716.
- [24] LIU S, WANG Y, ZHENG Y. Computational intelligence in science education [C]// Proceedings of the 6th International Conference on Frontiers of Educational Technologies (ICFET '20). Tokyo Japan; Association for Computing Machinery, 2020: 34-38.
- [25] WU T T, LEE H Y, WANG W S, et al. Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education; effect of engagement and self-efficacy [J]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2023, 20(1):53.
- [26] ZHANG Y, QIU C, ZHONG N, et al. AI Education Based on Evaluating Concentration of Students in Class: Using Machine Vision to Recognize Students' Classroom Behavior [C]// Proceedings of the 2021 5th International Conference on Video and Image Processing (ICVIP '21). New York, United States: Association for Computing Machinery, 2021:126-133.
- [27] GIPPERT C, HÖRTER P, JUNKER R, et al. Professional vision of teaching as a focus-specific or focus-integrated skill e Conceptual considerations and video-based assessment [J]. *Teaching and Teacher Education*, 2022(117):103797.
- [28] ALKHALISY M A E, ABD S H. Student Abnormal Behavior Detection Using Dlib Combined With YOLO Models [C]// 2022 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IOE). Hadhramaut, Yemen; 2022:1-7.
- [29] SULTANA S M, RAO M K, SANTHI S G. Detecting Cheating in Online Assessments Using Face Recognition and Head Pose Estimation[C]// Rising Threats in Expert Applications and Solutions. Springer, Singapore; 2022:615-622.
- [30] ZHANG X, ZHANG X, DOLAH J B. Intelligent Classroom Teaching Assessment System Based on Deep Learning Model Face Recognition Technology [J]. *Scientific Programming*, 2022 (10):1851409.
- [31] THOLETI P, THIRUMALESH B, ANU B, et al. Facial and Behavioural Analysis for Classroom Management using Computer Vision[EB/OL]. [2024-02-18]. <https://doi.org/10.1109/icaa-ic56838.2023.10140607>.
- [32] NAIDU S L, BEBINA H, BHATIA P, et al. Classroom engagement evaluation using 360-degree view of the camera with deep learning techniques [EB/OL]. [2024-02-18]. <https://doi.org/10.1117/12.2664147>.
- [33] DAVIDSON J L. Multi-Label Classification Computer Vision Models to Measure Online Classroom Engagement[D]. Terre Haute; Indiana State University, 2023:91-92.
- [34] AGARWAL A, SEN B, MUKHOPADHYAY R, et al. Towards moocs for lipreading; using synthetic talking heads to train humans in lipreading at scale[C]// Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. Waikoloa, HI, U. S. A, 2023:2217-2226.
- [35] DAI Q. Application of a short video caption generation algorithm in international chinese education and teaching[J]. *Int. J. Web-Based Learn. Teach. Technol.*, 2023, 18:1-19.
- [36] SRIRAM R, HARALALKA R R J. Image to audio captioning for the visually impaired[C]// 2023 International Conference on Recent Advances in Science and Engineering Technology(ICRA-SET). B G Nagara, India, 2023:1-5.
- [37] BALLENGER S. Voices from industry access for deaf and hard of hearing individuals in informational and educational remote sessions[J]. *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, 2022, 16(Special Issue 2):45-55.
- [38] YASHINA E, RUBANIK T, CHUKHRAI A. Speech-to-text software design for the high education learning[C]// International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence. Łódź, Poland, 2022:44-56.
- [39] FILIGHERA A, BONGARD L, STEUER T, et al. Towards a vocalization feedback pipeline for language learners[C]// 2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). Bucharest, Romania, 2022:248-252.
- [40] WANG L. A machine learning assessment system for spoken english based on linear predictive coding[J]. *Mobile Inf. Syst.*, 2022, 2022:1-12.
- [41] LO C K. What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature[J]. *Education Sciences*, 2023, 13(4): 410.
- [42] ELSHINY R M, HAMDY A. Automatic question generation using natural language processing and transformers[C]// 2023 International Conference on Computer and Applications (ICCA). Cairo, Egypt, 2023:1-6.
- [43] FAKHRURROJA H, UTARI T, VICTOR A, et al. Talk to me: artificial intelligence “virtual friend” for depression sufferers using term frequency-inverse document frequency(TF-IDF) and finite state machine method[C]// 2022 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS). Bandung, Indonesia, 2022: 1-6.
- [44] DEHBOZORGI N, KUNUKU M T. Affective computing; a topic-based ser approach on collaborative discussions in academic setting[C]// 2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). College Station, Texas, USA, 2023:1-7.
- [45] TAYAL M A, JOSHI R, DARVEKAR M, et al. Automated exam paper checking using semantic analysis[C]// 2023 OITS International Conference on Information Technology (OCIT). Raipur, India, 2023:957-962.
- [46] BAI Y, HUBERS F, CUCCHIARINI C, et al. Asr-based evaluation and feedback for individualized reading practice[C]// Proc. Interspeech 2020. Shanghai, China, 2020:3870-3874.
- [47] ALQAHTANI T, BADRELDIN H A, ALRASHED M, et al. The emergent role of artificial intelligence, natural learning pro-

cessing, and large language models in higher education and research[J]. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 2023, 19(8): 1236-1242.

[48] PUTJORN T, PUTJORN P. Augmented imagination: exploring generative ai from the perspectives of young learners[C]// 2023 15th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). Chiang Mai, Thailand, 2023: 353-358.

[49] NARIAI T, ITAI S, KOJIMA H. The effect of english text readability on speech duration of second language learners[C]// 2022 6th International Conference on Universal Village (UV). Boston, Massachusetts, U. S. A., IEEE, 2022: 1-6.

[50] CHEN C Y, HSU Y H, CHANG C. Accelerating hakka speech recognition research and development using the whisper model [C] // Proceedings of the 35th Conference on Computational Linguistics and Speech Processing (ROCLING 2023). Taipei City, Taiwan: The Association for Computational Linguistics and Chinese Language Processin (ACLCLP), 2023: 367-370.

[51] YU T, FRIESKE R, XU P, et al. Automatic speech recognition datasets in cantonese: a survey and new dataset [C] // Proceedings of the 13th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2022). Marseille: ELRA, 2022: 6487-6494.

[52] ANDERSON N, MCGOWAN A, GALWAY L, et al. Implementing generative ai and large language models in education[C]// 2023 7th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS). Istanbul, Turkey: IEEE, 2023: 1-6.

[53] SHAIK T, TAO X, LI Y, et al. A review of the trends and challenges in adopting natural language processing methods for education feedback analysis [J]. *IEEE Access*, 2022, 10: 56720-56739.

[54] YU J, LUO G, XIAO T, et al. Moocube: a large-scale data repository for nlp applications in moocs [C]// Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods. Online: Association for Computational Linguistics, 2020: 3135-3142.

[55] ASHTON K. That ‘internet of things’ thing[J]. *RFID Journal*, 2009, 22(7): 97-114.

[56] GUBBI J, BUYYA R, MARUSIC S, et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems* [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2013, 29(7): 1645-1660.

[57] GURGU E, ANDRONIE M, ANDRONIE M, et al. Does the convergence of the blockchain, the internet of things and artificial intelligence changing our lives, education and the known world of the internet? Some changes and perspectives for the international economy [C] // International Conference on Economic Sciences and Business Administration. 2019: 69-88.

[58] HUANG K, LIU R, CHENG Y, et al. IoT Based Smart Classroom Environmental Monitoring System Design and Implementation [C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Applications. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022: 827-834.

[59] JASIM N A, ALRIKABI H T S, FARHAN M S. Internet of Things (IoT) application in the assessment of learning process [C] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021.

[60] AL-TAAI S H H, KANBER H A, AL-DULAIMI W A M. The importance of using the internet of things in education [J]. *Int. J. Emerg. Technol. Learn.*, 2023, 18(1): 19-39.

[61] LI M. Research on Service Mode and Technical Framework of Smart Library from the Perspective of Metaverse [J]. *Information Studies: Theory & Application*, 2022, 45(3): 89-93, 88.

[62] WANG J, JING L. A Virtual Reality Whiteboard System for Remote Collaboration Using Natural Handwriting [J]. *Electronics*, 2022, 11(24): 4152.

[63] SLATER M, SANCHEZ-VIVES M V. Enhancing our lives with immersive virtual reality [J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2016, 3: 74.

[64] DING Y, LI Y, CHENG L. Application of Internet of Things and virtual reality technology in college physical education [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 96065-96074.

[65] PAN Z, SUN Y, YAO Z W, et al. Application of virtual reality in English teaching [C] // 2021 3rd World Symposium on Artificial Intelligence (WSAI). IEEE, 2021: 64-71.

[66] LUCAS J, GAJJAR D. Influence of virtual reality on student learning in undergraduate construction education [J]. *International Journal of Construction Education and Research*, 2022, 18(4): 374-387.

[67] CHEN P H C, GADEPALLI K, MACDONALD R, et al. An augmented reality microscope with real-time artificial intelligence integration for cancer diagnosis [J]. *Nature Medicine*, 2019, 25(9): 1453-1457.

[68] MAAS M J, HUGHES J M. Virtual, augmented and mixed reality in K-12 education: A review of the literature [J]. *Technology, Pedagogy and Education*, 2020, 29(2): 231-249.

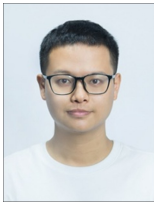
[69] XIE F. Application and research on immersive classroom teaching based on virtual reality technology under 5G network [J]. *Computer Engineering and Science*, 2019, 41(S1): 14-17.

[70] LUO Z H, XU M Y. Integration of Teaching and Evaluation in Junior High School English Courses Supported by Smart Learning Spaces [J]. *Digital Teaching in Primary and Secondary Schools*, 2022(4): 74-78.

[71] YU Z W, YU Z Y, ZHOU X S. Socially aware computing: Concepts, issues and their research progress [J]. *Journal of Computing*, 2012, 35(1): 16-26.

[72] YANG X M, ZHANG H, GUO L M, et al. Development challenges and breakthrough path of educational artificial intelligence [J]. *Modern Distance Education Research*, 2018(3): 30-38.

[73] ZHENG Y H, ZHOU D H, ZHANG Y H, et al. ChatGPT in the perspective of computational pedagogy: connotation, themes, reflections and challenges [J]. *Journal of East China Normal University (Education Science Edition)*, 2023, 41(7): 91-102.



LIU Feng, born in 1988, Ph.D, is a senior member of CCF (No. 93542S). His main research interests include deep learning technology, computation affection and blockchain.