

以学习者为中心的智联学习环境： 内涵、框架与实施路径

祁彬斌¹，包昊昱²，郑娅峰³，李艳燕¹

(1.北京师范大学 互联网教育智能技术及应用国家工程研究中心，北京 100875；
2.中国教育科学研究院 基础教育研究所，北京 100088；
3.北京师范大学 教育科技中心，广东 珠海 519087)

[摘要] 学习环境的构建是教育数字化转型、学与教方式变革的基础。推动学习环境的改造与智能升级，构建以学习者为中心的智联学习环境，实现精准推送学习服务，是发展数字教育、建设高质量教育体系的现实需求。围绕学习环境智联计算关键问题，从学习环境多模态感知与监测、多场景学习过程记录与分析、跨场域学习场景建模与推荐、人机协同学习社群建构与支持四方面界定智联学习环境的内涵。遵循“数据处理、模型训练、智能服务”的逻辑，设计出涵盖物理环境改造与数据汇聚、数据指标与算法模型构建、精准自适应支持与智能服务的整体框架。以场景化人工智能教育应用为抓手，提出跨场域学习环境设计与评测标准、智慧学习环境计算引擎及大规模智慧教室监测平台研发、循证导向的规模化示范应用的实施路径。最后，探讨了实现智联学习环境的关键挑战，包括云边缘算力基础设施、智能模型的教育可解释性、人机协同与交互体验设计、数据安全与隐私保护。

[关键词] 智联学习环境；学习者为中心；云边缘协同；智能教育；教育数字化转型

[中图分类号] G434 **[文献标志码]** A

[作者简介] 祁彬斌(1992—)，男，江苏盐城人。助理研究员，博士，主要从事智慧学习环境、虚拟现实教育应用研究。
E-mail: qidoublebins@163.com。李艳燕为通信作者，E-mail: liyy@bnu.edu.cn。

一、引言

党的二十大报告提出“推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”^[1]。教育数字化正成为我国开辟教育发展新赛道和塑造教育发展新优势的重要突破口。其中，学习环境的构建是实现学与教方式变革的基础^[2]，目前的学习环境正由传统封闭式校园过渡到基于互联网的学习环境，并从学校延伸至家庭、社会等场域^[3]。近二十年来，依托国家层面教育信息化政策文件的持续牵引，教育信息化实践从“三通两平台”“互联网+教育”大平台、再到教育新型基础设施建设，我国的信息化办学条件已根本改观。据统计，全国各级各类学校共有 49.83 万余所^[4]，

中小学(含教学点)互联网接入率已达 100%，网络多媒体教室超过 580 万间，约占全国教室数量的 68%。然而，我国学习环境建设的基础性优势未能较好地转化为教学改革与发展的动能，学习环境建设仍面临着学校、场馆、家庭等场域难以协同，本地远端、线下线上学习难以融通，个性化服务支持不足等方面的难题。

新时期，如何推动学习环境的整体改造与智能升级，构建出以学习者为中心的智联学习环境，精准推送学习服务，成为发展数字教育、建设高质量教育体系必须正视的现实问题。《新一代人工智能发展规划》明确提出“开发立体综合教学场”“建立以学习者为中心的教育环境，提供精准推送的教育服务，实现日常教育和终身教育定制化”^[5]。为此，通过突破跨场域、多

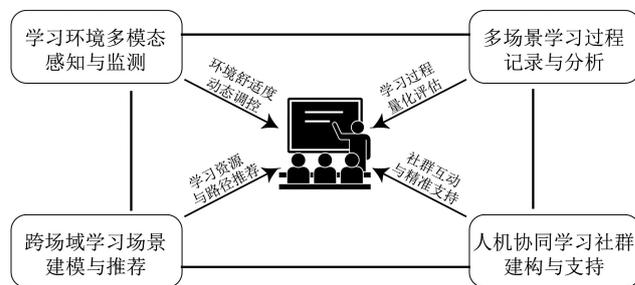
场景的物理环境感知与监测、学习过程记录与分析、学习场景建模与服务、学习社群连接与支持等关键技术难题,研发规模化智慧教育监测平台,形成跨场域、以教室为中心的线上线下融合、空间智联感知的泛在学习环境,可有效促进学习体验与绩效的提升,进而将加快推进教育数字化转型和智能升级,为构建高质量教育体系提供基础技术支撑,服务国家“数字中国”战略和教育强国战略。

二、智联学习环境的内涵

智联学习环境是信息化学习环境的升级,其将学习者和学习活动作为环境改造和升级的核心关注点,旨在打造“以人为中心”的智能化学习环境。智联学习环境具有以下特点:(1) 聚焦智能时代学习方式变革的人本化学习环境。智能时代的学习观,强调在由物联网、智能工具等构成的智联学习环境中,学习者通过与同伴、教师等人类参与者以及互联智能体的协同建构活动,获取知识、技能和态度的过程^[6]。智联学习环境应立足于数字化、低碳化的发展理念,以可信、智联、融通为特征,依托学习环境持续智能化升级提升师生学与教的体验,从而为跨场域、多场景下人类学习提供重要支撑。(2) 实现三元空间融合智能化学习环境。智联学习环境作为新一代人工智能在教育领域的创新应用,对于建设“人类社会、物理世界和信息空间”三元融合的数字教育具有重要意义。其通过融合时空特征进行智联感知与学习场景建模,实现跨场域的学习行为分析与自适应支持服务。(3) 促进跨场域学习体验和绩效有效提升的融通性学习环境。智能技术通过对学习活动的支持来促进有效学习的发生,实现真正的数字化学习、促进学生的成长。探索“学校+场馆(基地)+家庭共建”等创新模式,形成家、校、社协同育人的良好格局。

智联学习环境聚焦学习者的学习活动,其核心要素如图1所示,包括:(1) 学习环境多模态感知与监测。基于物联网技术进行环境感知与控制,在提升学习环境的舒适性、降低校园能耗的同时,也直接影响着教师和学生的身心健康以及教学活动的顺利开展。基于物联网和各类环境传感器,研发学习环境感知与监测的边缘计算节点,动态采集教室、实验室、图书馆和科技馆中的声光电、温湿度、网络等数据,建立典型学习场所的多模态环境状态数据库。基于学习环境的原始状态数据流,构建学习环境动态表征及其数字孪生模型,监测分析各类学习环境的空间状态、网络质量和教学设备运行情况。(2) 多场景的学习过程记录

与分析。相较于以往基于观察、经验的教学行为研究,教与学过程性的行为数据可为教学过程评价和主体行为分析提供更为客观、细粒度的基础。因此,构建多场景的学习过程记录与分析,需要研制面向多媒体教室、虚拟学习环境和线上线下融合学习空间等多维度数据采集规范和工具,开展非介入、无感的数据采集与汇聚,记录多维度、全过程学习活动行为数据,通过多主体行为标注技术,建立阅读、讨论、练习、实验等活动行为的多维信息编码库。基于行为编码库,开展基于跨媒体计算的学与教行为自动识别,追踪与评估知识点激活、学习投入度、同伴交互等多种学习状态,自动生成可解释的评课记录。(3) 跨场域的学习场景建模与推荐。针对家庭、学校和场馆等场域,构建融合场域、主体等特征的学习场景模型,进行复杂学习活动表征识别,生成场景感知的个人、小组学习活动多粒度学情画像表征。针对跨场域的多个时序学习场景,挖掘学习者和学习小组的兴趣点与潜在意图,实现跨场域、多场景下的自适应学习内容和个性化学习路径推荐。(4) 人机协同的学习社群建构与支持。通过定义学习认知模板的数据采集与测量规范,提取学段、先前知识、学习投入、学习风格、认知负荷等维度,形成多维度的学习者认知模板库。自动识别学习者、参与者及学习环境之间的交互行为,基于时空环境、知识资源和认知行为等,自动绘制融合多层信息的学习社群网络拓扑。基于专家知识与教学交互网络,建立人在回路(Human in the Loop)^[7]的精准教学推荐与干预策略库,支持多场景下自适应学习支持服务。总体而言,通过将学习环境核心要素与智能技术进行融合,推进人工智能教育环境建设,构建起智能互联的学习环境,从而支持和优化典型学习场景下的、以学习者为中心的真实教与学活动。



三、智联学习环境的框架设计

数据、算法和算力是人工智能发展的三大要素,也是优质、个性化智能教育服务的关键。为了推进智联学习环境的建设,笔者提出涵盖设备层、数据层、模

型层和服务层的整体框架,通过智能设备收集数据,处理和分析数据以构建指标体系,在训练算法模型的基础上,最终为师生提供个性化学习资源和支持服务。这一框架遵循“数据处理、模型训练、智能服务”的总体逻辑,本节将从物理环境改造与数据汇聚、数据指标与算法模型构建,以及精准自适应支持与智能服务三方面进行详细阐述,具体框架设计如图2所示。

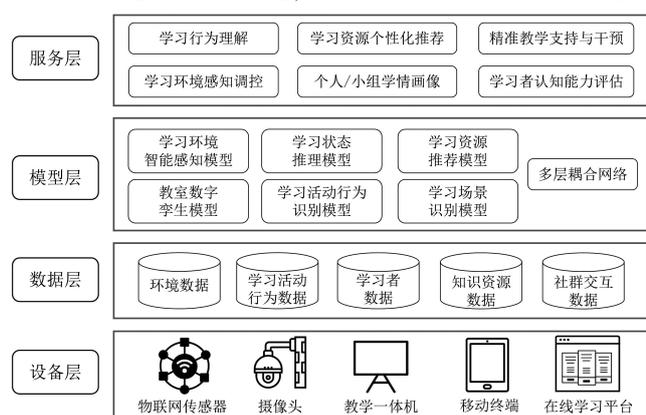


图2 智联学习环境的整体框架

(一)物理环境改造与数据汇聚

学习者、学习环境的数据采集与记录是智联学习环境构建的前提,需对现有多媒体教室、实验实训室等学习场所进行改造与增强,通过部署物联网传感器、摄像头等智能感知设备,进行环境参数、音视频等数据实时采集。基于部署的边缘节点,汇聚典型学习场所的多模态传感信息,包括声光电、温湿度、网络设备使用状态等指标,硬件设施的尺寸、材质、空间布局等物理参数,构建学习环境特征指标集。针对线下学习活动行为的感知,主要是基于文本、语音、图像和视频等数据模态,标注和提取出注视点、动作姿态、面部表情、语音内容与音调等特征,在多模态特征融合的基础上形成学习活动行为数据集。同时,在线学习平台汇聚了点击流、知识浏览等学习序列行为数据,也包括讨论、留言、分享等社群交互数据。此外,可使用特定量表和问卷测量学习者的先前知识、学习风格、心理状态、认知水平等认知状态。在此基础上,对于线下教室、在线平台等不同来源,以及音视频、文本、地理位置等多源异构数据进行清洗与汇聚。依据时间戳的次序,构建涵盖学习环境、学习者、学习资源、学习活动行为以及社交网络等多类别的智联学习环境数据池。

(二)数据指标与算法模型构建

针对单帧图像、视频片段中的师生主体或其他物体,通过目标检测、多目标追踪、属性识别等基础模型进行学习主体的自动识别。此时,考虑到教育场景中学习者隐私保护问题,可以利用行人重识别(Person

Re-identification, ReID)^[8]技术,从不同摄像头或同一摄像头的不同视频序列中定位出相同身份的目标对象,以避免在时空数据挖掘中暴露人脸特征。然后,基于学习活动行为数据集,训练出多场景的学习活动行为识别模型,将个体相关的多模态数据自动识别为学与教的行为序列。随后,基于教师、学生的个体行为序列,结合学习过程中的课堂笔记、师生问答、面部表情等,计算教学内容关联知识点的激活量,评估学习投入度、师生交互、同伴交互等活动行为状态的变化情况。

除了线下教室的活动行为数据,在线学习平台的日志文件(即点击流、论坛帖子和作业记录等)记录着个体学习和社群交流的行为数据,涉及的形式包括文本、音视频、网络关系数据和时空数据等。通过登录在线学习平台时的IP地址以及注册时填写的位置信息,可以获取空间属性对应的地理空间数据,例如所在城市、校区等,而时间属性通常对应视频观看、讨论互动时的时间序列数据。知识资源数据表现为课程大纲、课堂讲义、MOOC视频等,这些非结构化多媒体中蕴含着知识图谱的实体与关系数据。此外,从不同模态的数据中分析与识别学习者的认知能力、学习路径与社交互动行为。例如:师生、学生之间的交互行为存在于网络关系数据中,可以通过实体抽取和关系抽取等技术,揭示数据中隐含的拓扑结构。基于上述数据的特点,构建融合时空环境、知识资源和认知行为多层信息的图结构,该图结构包括节点(如地点、知识点、行为等)和边(如空间关系、知识关系、行为关系等)。依据具体任务需求,添加相关的编码器和解码器模块,以便在不同场景下进行图结构数据的学习和推理,图神经网络(Graph Neural Network, GNN)能够捕捉节点之间的关联关系和局部特征,分析网络中的关键节点、社群结构和传播路径等。利用可视化工具可绘制出动态多层耦合网络的拓扑图,帮助理解学习社群网络中各要素之间的关系,探索隐藏的复杂特征和关联模式。

通过建立学习场景特征指标集,并结合学习环境特征和学习活动行为特征的指标集,构建面向学校、家庭、社会等不同学习场景的多模态数据集。在多模态数据集初步构建后,采用深度学习目标检测方法确定学习主体,基于学习者的活动行为时间序列,通过长短期神经网络(LSTM)构建跨场域学习场景识别模型,以分析多场景下的学习活动环节与整体过程。依据学习活动行为、学习者认知模板、同伴交互以及知识点激活等,进行个人和学习小组的多尺度学情画像

表征,涵盖学习行为特点、成绩变化、方法偏好、学习习惯等维度。依据不同场景下的学习表现,定期收集新的数据对学情画像进行动态调整,从而实现场景感知的学情画像刻画。

(三)精准自适应支持与智能服务

通过对物理环境、活动过程、学情画像、学习社群等方面进行智能计算,进而提供学习环境监测调控、可解释学习行为理解、自适应学习资源推荐、学习社群支持与教学干预等智能服务。具体包括:(1)构建学习环境智能感知模型,实现环境舒适度的动态调控。考虑到照明光线对于学生视觉健康、环境噪声对于课堂沉浸度等方面的影响,建立环境舒适度多维度评价指标。通过部署的边缘节点,实时提取环境中的声光电、温湿度和网络等数据流,利用深度神经网络构建学习环境智能感知模型。该模型能够根据网络情况自适应调节端侧感知设备的音视频编码参数,实现室内学习环境舒适度实时预测与动态调控。(2)制定评课规则与指标,生成可解释的课堂智能反馈。在学与教的个体活动行为序列、多场景下的活动状态序列的基础上,通过提炼一线教师的经验,并结合学科教学专家的知识,制定出分场景的评课规则与指标体系。然后,通过层次分析等方法,对学习投入、课堂互动、教师授课和教学组织等维度进行计算,生成交互式、可解释的课堂智能反馈报告,可为教师和教育管理者提供有价值的参考,以改进教学策略并提升课堂效果。(3)基于活动感知的学情画像,进行个性化学习资源推荐。基于识别出的跨场域复杂学习活动、个人与小组学情画像维度,结合场景中的学习活动,生成符合学习者个性特征和偏好的提示词(Prompt),以进行个性化的学习资源推荐。例如:在操作类实验实训场景中,自适应学习资源推荐可辅助教师的实验备课和精准化教学。基于实验步骤的引导和错误操作提示,提供交互式学习支持,帮助学习者反思并加深对知识点的理解。此外,结合学习者间的相似性和差异性生成推荐结果,为学习小组提供适合共同学习和讨论的资源,激发小组成员之间的互动和合作。(4)识别学习社群的网络结构,提供精准教学支持与干预。通过多层耦合网络的原型系统,教学者可对社群网络数据进行聚类分析和交互探索,从而深入了解学习社群的内部结构和运行机制。结合学习社群网络和专家教学干预策略库,这些干预策略包括学习心理疏导、社群伙伴支持以及家、校、社共同干预等^[9],基于可信的人机交互闭环,能够针对不同教学场景提供精准教学支持与干预服务。

四、智联学习环境的实施路径

基于智联学习环境的整体框架,依托上述的算法模型与智能服务,将其应用于实际教育场景,为规模化应用示范提供支撑。本节将从四方面探讨智联学习环境的实施路径,分别是:跨场域学习环境设计与评测、事件驱动的学习环境计算引擎、云边端协同的智慧教室监测平台、循证导向的规模化示范应用。

(一)跨场域学习环境设计与评测

基于智能技术改造和增强跨场域学习环境,场景化人工智能教育应用成为关键抓手^[10]。场景驱动的技术创新是通过场景引导人工智能技术实现突破,从而形成智能技术供给和教育需求的互动演进^[11]。首先,调研班级授课、协作学习/教研、实验实训、在线自学等各类学习场景的典型实例,分析出学校现有的软硬件等基础设施状况,制定出传统学习环境升级改造的建设标准与技术指南。针对典型学习场景,剖析学习事件/活动、学习主体、技术设备以及学习空间等要素,并进行数据化、结构化建模。其次,提炼学习者在不同阶段的活动行为、情绪变化、痛点需求等,形成“以学习者为中心”的用户旅程图^[12]。基于教育学基础理论,设计自适应学习服务流程,提出智联技术支持学习活动的基本逻辑思路。最后,邀请师生和专家进行反馈与评测,通过多轮迭代优化智联学习环境的设计。

(二)事件驱动的学习环境计算引擎

在智联学习环境中,物联网设备、音视频感知设备和在线学习平台等是数据的重要来源。这些设备和平台产生的行为或动作,通常被定义为事件,包括环境传感器状态、用户操作行为和外部服务响应等。为了构建核心算法模型库,需要集成环境感知、过程记录、场景识别以及社群连接等,从而研制事件驱动的学习环境计算引擎,感知跨场域复杂学习场景下的师生行为与状态变化。事件驱动架构(Event-Driven Architecture,EDA)^[13]是一种基于事件的软件架构模式,其核心思想是系统的各个组件通过“发布—订阅”机制触发和处理事件,实现松散耦合、可扩展性和高灵活性。事件驱动的学习环境计算引擎可通过事件队列、事件调度器、事件通道和事件处理器等组件,依据事件的类型和属性设计出相应的事件处理和响应机制,并基于事件流主动提供服务。此外,需要基于环境状态、行为编码、认知模板、学情画像和教学支持与干预策略等实体关联及因果关系,构建学习环境智联计算的知识库,归纳实体关系描述及推断规则,为跨场域、多场景下的精准学习服务提供参考依据。

(三)云边端协同的智慧教室监测平台

云边端协同的智慧教室监测平台以数据计算和智能处理为中心,通过云边端分层协同计算^[14],实现云端计算集群、边缘网络节点和物联网智能终端共同参与感知、学习和决策。终端层通过 Zigbee、LoRa、Wi-Fi 等物联通信协议,满足跨厂家、跨设备、跨业务的泛物接入。边缘计算网关作为 IoT 设备、学习终端与云端之间的数据通信“桥梁”,承担数据采集与预处理、通信协议转换、实时数据分析与决策、远程监测与控制,实现边端协同的智慧学习环境感知调度。边缘计算节点处理视频关键帧时,可在本地可信执行环境中运行或调用云侧的 AI 模型,并将识别结果上传至云端时序数据库。云平台负责边缘计算节点管理、AI 模型训练等核心功能,通过设计教育物模型,定义出物联网设备的属性、功能与事件,将边缘节点及其子设备注册并接入云平台。AI 模型训练依据学习场景数据、数字资源进行模型训练和大模型微调,依据云边协同消息通信与模型分发规范,实现智能模型云端训练和边端分发部署。基于云边端协同技术框架,大规模智慧教室监测平台集成仿真设计、状态监测、效率评估等功能模块,全过程地记录、监测和分析学习者和学习环境数据,为学习者提供适应性学习支持。

(四)循证导向的规模化示范应用

按照“设计开发、实施验证、分析评价、完善优化”的实验流程,采用实验或准实验研究方法开展对照实验,比较不同反馈组学生在学习过程和结果上的差异,探索智能技术与服务(如评课记录生成、学习资源推荐、自适应学习支持)对学生和教师绩效(如知识水平、实验技能、情感动机等)的影响,挖掘智能技术支持学习的内在规律,明确典型学习场景下有效学习支持的原则和策略,提供可解释性证据支持学习者为中心的理念。将优化后的“立体综合教学场设计”应用到实际教学活动中,通过溯源技术明晰智能技术在教学活动中的关键作用,分析其在教与学中的实质性的辅助或支持作用。结合学习活动理论与系统性教学设计原则,分析关键事件和要素,确定影响最终事件的关键要素。结合已有教育学理论模型,梳理出智能技术与教育教学活动的融合机理,提炼若干针对不同典型学习场景的智能技术支持下的教与学融合设计原则,以指导与改进各类教育教学活动。随后,开展规模化典型区域应用示范,验证立体综合教学场整体解决方案的有效性 with 智能技术的教育成效,为大规模智联环境下跨场域教学支持服务提供支撑。

五、智联学习环境实现的关键挑战

受限于技术成熟度、伦理风险和教育基础设施等,以人为中心的智联学习环境的构建仍面临诸多制约。本节将从云边端算力基础设施、人工智能模型的教育可解释性、人机协同与交互体验设计、数据安全与隐私保护四个方面探讨关键挑战。

(一)云边端算力基础设施

智联学习环境依托云边端协同的技术框架,迫切需要改造与升级教育行业现有网络基础设施。围绕跨场域学习场景,立足“数据、算法、算力”三要素,亟须推动公共算力对场景化教育应用的支撑。在规模化落地验证时,可依托国家一体化算力服务体系,为各级教育机构提供混合异构算力的动态供给,支持 AI 模型构建、训练和推理。面对智联学习场景的差异化诉求,需智能推荐与匹配算力、存力和运力,实现多策略驱动的分布式算网协同调度服务。此时,边缘智能计算节点通常提供 CPU、GPU、NPU 等算力资源,支持 AI 模型推理、3D 图形渲染、视频解码等计算任务;当本地算力不足时,可从区域级算力枢纽调度资源,实现跨场域学习环境的混合异构算力动态供给,满足高算力、低时延等智联学习场景的需求。

(二)智能模型的教育可解释性

随着智能技术逐步融入教育情境,通用分析模型难以直接适用于师生活动行为,单一智能算法无法应对复杂教育场景,且容易引发以偏概全的风险。同时,可解释性成为教育人工智能的重要问题,人类分析与决策依赖于自身背景知识,如何跨越人类可理解的语义空间与数据特征空间的鸿沟至关重要^[15]。此时,需要引入教育专家经验,构建活动行为、学习场景和学习状态的编码表,为可解释计算提供先验知识。教学活动是课堂观测分析的主要依据,应以此为桥梁/枢纽,连接计算机可识别的底层数据特征与教育学高层语义,研发智能技术核心算法。同时,针对深度学习模型的“黑箱”问题^[16],可通过可视化和交互技术解释 AI 模型的基本逻辑与工作机理,增强学习者和教师对 AI 决策结果的理解,克服决策过程不透明所引发的不信任感。

(三)人机协同与交互体验设计

人机交互与人本人工智能都旨在辅助学习任务执行、增强人类认知能力,从而提升感知、思考、行动和创造的能力^[17]。因此,需要重点关注人工智能系统的用户界面(UI)和交互机制,基于以人为中心的设计方法与原则,针对不同应用场景提供异常事件响应、学习者主动唤醒等交互方式,实现错误提示、学习引

导等类型的反馈。通过可用性、心理和生理状态等指标评估交互体验,确保轻松、投入、有效的学习体验。同时,在人类与AI协作方面,学习者的特征和AI的外观、角色等因素会影响其对AI的感知和使用意愿^[8]。应考虑教育场景中的活动流程、角色分工和情感因素,促使AI系统或者教学代理自然融入教与学流程。通过融合学习者经验与AI生成计算结果,提升交互任务的执行效率和质量。

(四)数据安全与隐私保护

数据作为新型生产要素,已成为教育未来发展的关键战略资源。智联学习环境将采集与汇聚环境、学习者、活动行为、社群交互和学习资源等多类数据,教育行业公共数据资产的管理与合规使用尤为重要。因此,亟须推动数据基础设施建设,明确各类教育数据的责任主体和边界,通过健全共享开放机制,促进跨机构、跨部门的专业数据可信、高效流通和利用。同时,应高度关注学生和教师的隐私保护,重视个人敏感数据的脱敏和合规风险。需制定严格的数据管理制度和技术规范,加强数据加密与访问权限控制;采用可信密态计算^[9]、隐私计算、联邦机器学习等^[10]技术手段,通过软硬件结合的方式,在保护数据隐私的同时,实现多模态数据的安全合规与有效利用。

六、结束语

面对教育高质量发展的迫切需求和以人工智能为代表的新一代信息技术变革的复杂性、不确定性,科技与教育融合的进程依然存在挑战。在智能时代,智慧学习环境成为推动教育数字化转型和创新的重要基础。通过将学习环境核心要素与智能技术进行融合,突破学习环境多模态感知与监测、多场景的学习过程记录与分析、跨场域的学习场景建模与推荐、人机协同的学习社群建构与支持等技术,构建起以学习者为中心的智联学习环境。它遵循“数据处理、模型训练、智能服务”的总体逻辑,涉及物理环境改造与数据汇聚、数据指标与算法模型构建,以及精准自适应支持与智能服务等层面。以场景化人工智能教育应用为关键抓手,通过制定跨场域学习环境设计与评测标准,研发智慧学习环境计算引擎及大规模智慧教室监测平台,推动人工智能在教育中的大规模应用。智联学习环境是新一代人工智能在教育领域的创新应用,为个性化学习、终身学习和扩大优质教育资源覆盖面提供有效技术支撑。同时,对构建网络化、数字化、个性化、终身化的教育体系,建设“人人皆学、处处能学、时时可学”的学习型社会也具有重要意义。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. (2022-10-16)[2024-01-02]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm.
- [2] 黄荣怀. 智慧教育的三重境界:从环境、模式到体制[J]. 现代远程教育研究, 2014(6):3-11.
- [3] 李艳燕. 科技赋能教育创新:学习环境的变革与升级[J]. 人民论坛·学术前沿, 2023(20):73-79.
- [4] 中华人民共和国教育部. 2023年全国教育事业基本情况[EB/OL]. (2024-03-01)[2024-08-14]. http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2024/55831/sfcl/202403/t20240301_1117517.html.
- [5] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发《新一代人工智能发展规划》的通知[EB/OL]. (2017-07-08)[2024-01-02]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5216427.htm.
- [6] 黄荣怀, 虎莹, 刘梦彧, 等. 迈向数字时代教学变革的基本理论:数字教学法[J]. 电化教育研究, 2024, 45(6):14-22, 33.
- [7] MOSQUEIRA-REY E, HERNÁNDEZ-PEREIRA E, ALONSO-RÍOS D, et al. Human-in-the-loop machine learning: a state of the art[J]. Artificial intelligence review, 2023, 56(4):3005-3054.
- [8] YE M, SHEN J, LIN G, et al. Deep learning for person re-identification: a survey and outlook [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2021, 44(6):2872-2893.
- [9] 武法提, 高姝睿, 田浩. 人机智能协同的精准学习干预:动因、模型与路向[J]. 电化教育研究, 2022, 43(4):70-76.
- [10] 中华人民共和国科学技术部. 科技部等六部门关于印发《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》的通知 [EB/OL]. (2022-07-29)[2024-01-02]. https://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgnr/fgzc/gfxwj/gfxwj2022/202208/t20220812_181851.html.
- [11] 张晓林, 梁娜. 知识的智慧化、智慧的场景化、智能的泛在化——探索智慧知识服务的逻辑框架[J]. 中国图书馆学报, 2023, 49(3):4-18.
- [12] ALVAREZ J, LÉGER P M, FREDETTE M, et al. An enriched customer journey map: how to construct and visualize a global

- portrait of both lived and perceived users' experiences?[J]. *Designs*, 2020,4(3):29.
- [13] 汤小春,张克,赵全,等. 基于事件驱动架构的分布式流处理弹性资源分配策略研究[J]. *计算机学报*,2023,46(2):244-259.
- [14] YAO J, ZHANG S, YAO Y, et al. Edge-cloud polarization and collaboration: a comprehensive survey for AI [J]. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 2022,35(7):6866-6886.
- [15] 张钊,朱军,苏航. 迈向第三代人工智能[J]. *中国科学:信息科学*,2020,50(9):1281-1302.
- [16] 卢宇,章志,王德亮,等. 可解释人工智能在教育中的应用模式研究[J]. *中国电化教育*,2022(8):9-15,23.
- [17] SHNEIDERMAN B. *Human-centered AI* [M]. Oxford:Oxford University Press, 2022.
- [18] 姜婷婷,许艳闰,傅诗婷,等. 人智交互体验研究:为人本人工智能发展注入新动力[J]. *图书情报知识*,2022,39(4):43-55.
- [19] ZHAO C, ZHAO S, ZHAO M, et al. Secure multi-party computation: theory, practice and applications [J]. *Information sciences*, 2019,476:357-372.
- [20] WEI K, LI J, DING M, et al. User-level privacy-preserving federated learning: analysis and performance optimization [J]. *IEEE transactions on mobile computing*, 2021,21(9):3388-3401.

A Learner-centered Intelligent Learning Environment: Connotation, Framework and Implementation Paths

QI Binbin¹, BAO Haogang², ZHENG Yafeng³, LI Yanyan¹

(1.National Engineering Research Center for Cyberlearning and Intelligent Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2.Institute of Basic Education Research, China National Academy of Educational Science, Beijing 100088; 3.Center for Educational Science and Technology, Beijing Normal University, Zhuhai Guangdong 519087)

[Abstract] The construction of learning environments is the foundation of the digital transformation in education and the transformation of learning and teaching methods. Promoting the renovation and intelligent upgrading of learning environments, constructing learner-centered intelligent learning environments, and realizing precise delivery of learning services are the realistic demands for the development of digital education and the construction of a high-quality education system. Focusing on the key issues of intelligent computing in learning environments, the connotation of intelligent learning environments is defined from four aspects: the multimodal perception and monitoring of learning environment, the recording and analysis of learning process in multiple scenarios, the modeling and recommendation of cross-disciplinary learning scenarios, and the construction and support of human-computer collaborative learning communities. Following the logic of "data processing, model training, and intelligent services", a framework was designed covering physical environment transformation and data aggregation, data index and algorithmic model construction, precise adaptive support and intelligent service. Taking the application of scenario-based artificial intelligence in education as a starting point, the implementation paths were proposed, which included the design and evaluation criteria for cross-disciplinary learning environments, the development of intelligent learning environment computing engines and large-scale smart classroom monitoring platforms, and the evidence-based large-scale demonstration applications. Finally, the key challenges for realizing intelligent learning environments were discussed, including cloud-edge-device computing infrastructure, the educational interpretability of intelligent models, human-computer collaboration and interaction experience design, and data security and privacy protection.

[Keywords] Intelligent Learning Environment; Learner-centered; Cloud-Edge-Device Collaboration; Intelligent Education; Digital Transformation in Education