

# 人机协同教学：基于虚拟化身、数字孪生和教育机器人场景的路径设计

黄荣怀<sup>1,2</sup> 刘德建<sup>2</sup> 阿罕默德·提利利<sup>1,2</sup> 张国良<sup>1,2</sup> 陈莺<sup>1,2</sup> 王欢欢<sup>1,2</sup>

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. 北京师范大学智慧学习研究院, 北京 100875)

**【摘要】** 生成式人工智能推动智能社会加速演进, 智能技术赋能教育正引发教育组织和服务模式的深刻变革。教学实践转向教师智能和机器智能的互补与融合, 人机协同教学将成为未来主流教学方式, 以适应智能时代个性化、高效率、包容性和多元化教学需求。为释放人机协同教学潜能, 推动其安全有序发展, 本研究基于“计算机作为社会行动者”理论和人机协同教学的探索实践, 分析物理空间、虚拟空间和混合空间中人机协同教学的典型形态, 界定人机协同教学的内涵和关键场景, 构建人类教师与教育机器人、虚拟化身/代理和数字孪生有机联动的人机协同教学框架——iSTAR。该框架将人机协同教学的实践层次分为人使用机器、基本人机协作、双重人机协作和复杂人机协作四个级别, 强调以人为本妥善规划人机协同教学路径, 包括从数据采集到人机交互的全流程合理设计, 机器使能规范、伦理与数字素养保障, 以及社会实验驱动的技术准入、场景规范和影响评估等, 以为智能时代人机协同教学发展提供理论借鉴和行动指南。

**【关键词】** 人机协同; 协作教学; 虚拟化身; 数字孪生; 教育机器人

**【中图分类号】** G434 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1007-2179(2023)06-0004-11

## 一、智能社会演进引发人机协同教学

以 ChatGPT 为代表的生成式人工智能技术正引领智能社会的新一轮科技革命, 重构社会组织与运作模式, 改变知识生产与传播方式, 并对人类智能进化产生巨大影响。教育作为重要的社会子系统, 其组织和服务模式也将发生巨大变化。教育数字化转型阶段, 智能技术对教育全过程的冲击、介入和改造推动教学方式迎来深刻转变。传统

“师—生”二元教学结构已不能满足教育对智能化、个性化和高效率的需求, 智能教学环境将推动教育教学逐渐向“师—生—机”三元教学结构过渡发展。在这场智能社会的教育变革中, 科技与教育正以主动姿态向对方渗透, 呈现深度融合的发展趋势和变革特征, 人机协同教学观得到发展(黄荣怀, 2023)。智能时代的教学实践开始进入由教师智能和机器智能共存、共同主导和控制的智能协同场域, 引发教师角色、知识权威地位和教学

**【收稿日期】** 2023-10-20 **【修回日期】** 2023-10-26 **【DOI 编码】** 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2023.06.001

**【作者简介】** 黄荣怀(通讯作者), 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 人工智能与教育、智慧学习环境及教育信息化(huangrh@bnu.edu.cn); 刘德建, 博士, 高级工程师, 联席院长; 阿罕默德·提利利(Ahmed Tlili), 博士, 副教授, 研究方向: 智慧教育; 张国良, 博士研究生, 研究方向: 智慧学习环境(zhangguoliang@mail.bnu.edu.cn); 陈莺, 博士后, 研究方向: 教育机器人; 王欢欢, 助理研究员, 研究方向: 人工智能与教育。

**【引用信息】** 黄荣怀, 刘德建, 阿罕默德·提利利, 张国良, 陈莺, 王欢欢(2023). 人机协同教学: 基于虚拟化身、数字孪生和教育机器人场景的路径设计[J]. 开放教育研究, 29(6): 4-14.

设计工作范式的变化(秦丹等, 2020), 人机协同教学已然成为未来教育实践形态的发展方向。

我国《新一代人工智能发展规划》提到人机协同已成为智能社会经济的主流生产和服务方式, 并强调要利用智能技术加快人才培养模式与教学方法改革, 构建包含智能学习、交互式学习的新型教育体系, 推动人工智能在教学、管理、资源建设等全流程中的应用(国务院, 2017)。教育部等(2021)六部门《关于推进教育新型基础设施建设构建高质量教育支撑体系的指导意见》进一步强调“人机共教、人机共育”。在教学实践环节, 智能技术工具在存储、感知、计算效率等方面的优势能够与人类教师在情感培育、道德和价值观引导、高阶思维训练等方面的优势互补结合、协同和创新, 有效辅助教师开展差异教学、增强教学和协同教学, 以满足多元化教学需求(黄荣怀等, 2021), 人机协同教学的现实需求和时代价值日益凸显。然而, 教育领域对人类教师和与之协同教学的机器类型与相应的教学形态、关键场景和层次如何分级, 设计和实施人机协同教学的规范和伦理考量等问题缺乏系统性反思与论述, 面向智能时代的未来教育发展需要进一步关注人机协同教学。

## 二、三元空间视域下的人机协同教学形态

人类社会不同时期的教育形态也有所不同(杨现民等, 2021)。人机协同教学作为智能时代的主流教学模式(郑永和等, 2023), 已成为教育实践的重要方式。未来教学实践的发展场域, 可按照人机协同教学需要依托的外部环境要素的种类, 从表征形态上分为物理空间、虚拟空间和混合空间三类。

(一)物理空间: 教育机器人构成双师教学新形态

从传统教室、多媒体教室到智慧教室, 物理教学空间的不断演进为教学实践提供了新场景和新能力。教育机器人是面向教育领域专门研发的以培养学生分析、创造和实践等能力为目标的机器人(黄荣怀等, 2017), 具有教学适用性、人机交互性和可扩展性等特点(卢宇等, 2020)。2019年英国开放大学发布《创新教学报告》提到“机器人陪

伴学习”将成为教育领域的一种创新教学法(李青等, 2019)。联合国教科文组织2021年发布的《人工智能与教育: 政策制定者指南》指出, 在教育中使用智能机器人是利用人工智能加强教育的重要方式(UNESCO, 2021a)。教育机器人的教育应用日益广泛, 展现出创变教学形态、增强教学效果的巨大潜力。

教育机器人作为智能学习环境的重要组成部分, 在多模态传感器、自然语言处理、语音识别、知识图谱和学习分析等技术的融合赋能下, 不仅能够作为教师助手提供答疑解惑、个性化学习内容供给、学习过程管理等服务, 辅助教师开展精准教学, 还能够作为学习同伴协助管理时间和任务、营造学习氛围、参与或引导互动, 为学习者提供情感交互和具象社交(黄荣怀等, 2017; 柳晨晨等, 2020)。例如, 在学前教育领域, 幼儿教师通过社会辅助机器人(KinSAR), 可在基于社会互动的教育游戏活动中促进学龄前儿童几何思维和元认知能力的发展(Keren et al., 2014); 具备可爱外形和情感识别功能的教育机器人(Keepon)可用于有效提高自闭症儿童的情感表达、抽象思维和情绪管理等能力(Costescu et al., 2017)。教育机器人在物理空间中的应用, 可赋能STEM教育、编程教育、语言学习、特殊教育、认知训练等众多领域, 构成机器人教师 and 人类教师协同的人机双师教学新形态。

(二)虚拟空间: 虚拟化身延展教师教学实践能力

从在线学习平台到教育元宇宙, 技术扩展了教学边界, 新型虚拟教学环境不断涌现, 虚拟教学空间成为实体教学空间的有效补充。教学实践不再局限于真实场景, 而伴随着空间拓展发生转移。在此情况下, 人类教师与代理和虚拟化身之间的人机协同教学不仅能够有效应对新型智能教学环境给教师带来的挑战, 还能以技术优势实现教师教学实践能力的延伸。其一, 在增速快、体量大、结构复杂的在线教学空间中, 人类教师难以驾驭信息的实时变化, 需要借助外部智能工具辅助信息的派发处理和思考(余胜泉等, 2019), 优化学习者体验和教学服务。教学代理在数字化学习环境中可通过语音、文本、肢体动作、面部表情等方式为学习者提供学习支持, 提升他们的认知和情感体验水平(徐

振国等, 2021)。该类计算机驱动的代理程序也常被称为智能导师系统、会话代理或虚拟人(Dai et al., 2022), 可作为智能代理工具根据学习者需求提供实时答疑支持、学习进度监控等服务, 减轻教师教学压力。例如, 米兹拉希等(Mizrahi et al., 2022)使用预先编程设计的虚拟机器人充当支持教学过程的代理, 以减轻学习材料理解难度, 提高十年级学生的在线对话效率和参与程度; 在 MOOC 等异步在线学习空间中使用会话代理, 也可帮助教师解决为大规模学习者提供个性化支持挑战, 为学习者提供自适应学习支持(González-Castro, 2021)。

其二, 人类教师通过创设虚拟化身能够突破真实时空限制和教学障碍, 支持远程实时教学和满足特殊教育需求, 达成实体环境难以实现的功能。例如, 德玛蒂诺等(De Martino et al., 2017)通过语音识别技术和 3D 化身将人类教师的语音译成手语, 为聋哑和听障学习者提供教育服务, 解决弱势群体教育干预不足的问题; 虚拟现实技术还能够用于创建多用户虚拟学习空间, 使师生通过虚拟化身进入共享空间开展远程教学, 提高师生的参与度和表现水平。总之, 代理和虚拟化身可有效支持虚拟空间的人机协同教学, 增强教师的多时段、跨地域教学能力, 满足多元教学需求。

### (三)混合空间: 数字孪生融通虚实教学空间边界

5G、扩展现实、物联网等新一代信息技术的加速融合与协同创新, 使得跨时空、跨模态、跨组织的教学要素重组, 虚实有机融合的混合环境构建成为可能(杨现民等, 2021)。数字孪生技术能够实现人、机、物、环境等状态数据的全面采集和实时处理, 创生真实世界的数字版本, 打造实时联动、虚实融合的混合空间。其一, 数字孪生有助于解决区域间师资与教学资源分布不均等问题, 创设更包容、公平的教育环境。尤其是在设备操作与技能练习等特定教育领域, 受场所和设备的可获得性限制, 教师往往需要借助数字孪生技术获得真实教学资源和虚拟教学环境的共同支持以满足教学需求。例如, 卡莱拉等(Kaarlela et al., 2022)开发了基于数字孪生的机器人远程操作平台, 可实现远程操作与编程、实时监控机器人、机器人时间调度和用户间社会互动等功能, 配合学生完成机器人编程, 解决

设施资源使用机会上的教育公平问题; 塞帕斯戈扎尔(Sepasgozar, 2020)在建筑课程中利用混合现实、数字孪生等技术突破真实场地的访问限制, 学习者可以远程学习重型建筑设备知识和工程实践技能。

其二, 数字孪生有助于实现人类教师与其数字孪生体的“分身在场”(张刚要等, 2023), 创新教学活动组织模式和教学形态。例如, 远程教育机器人(Engkey)能够通过非接触式视觉识别等数字孪生技术实现物理空间与虚拟空间的信息互通, 实时驱动实体教育机器人肢体及机器人屏幕的 3D 面部化身, 模仿教师的表情、口型和动作, 达成真人教师远程控制教育机器人及其 3D 分身开展英语授课的功能(Yun et al., 2013)。2022 年 8 月, 科技部《关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知》强调构建虚实融合与跨平台支撑的智能教育基础环境(科技部, 2022)。虚实融合的教学空间正成为教学空间发展的重要方向。

## 三、人机协同教学的内涵、场景与复杂度

人机协同对教育资源配置、活动组织和教学模式的优化和创新, 使得个性化教、自适应学习等教育形式得以实现, 对教育提质增效有重要意义(杨现民等, 2021)。然而, 目前尚未有研究提出全面、整体性的人机协同教学框架, 描述未来人机协同教学的实践样态和发展趋势。深化技术对教学过程的赋能需要进一步释放人机协同教学的潜能, 推动人机协同教学有序发展。

### (一)内涵界定

从计算机辅助教学、智能导师系统到教育机器人, 智能教学工具的发展在某种程度上实现了对教师工作的模拟、延伸甚至代替(秦丹等, 2020)。历史上新兴技术的产生及其教育应用总是伴随着机器能否代替教师角色的争论。然而, 在教育实践中, 人类教师与智能教学工具之间既非技术决定论下的直接替代关系, 亦非工具隐喻视角下的简单使动关系, 而是互融共生、互相理解、共同决策(武法提等, 2023)。

协同(synergistics)一词源自古希腊语, 其内涵包括合作、和谐、协调、协作等(毛刚等, 2021)。

20 世纪 60 年代, 利克莱德首次提出“人机共生”(man-computer symbiosis)的前瞻性观点描绘人与计算机紧密耦合、合作互动的未来发展方向(Licklider, 1960), 自此围绕人机关系的讨论不断更新迭代。随着人类与智能机器之间的关系从人机共存与合作转变为人机协作(Schmidtler et al., 2015), 近年人机融合、人机共创等概念涌现。这些表述都反映了人类和机器彼此协同以达到特定实践目的的价值取向。教育是有目的地培养人的社会活动, 人机协同作为人类与机器竞争与合作的创序过程, 指人与机器一致地指向理想目标, 朝向有序方向发展的动态过程(祝智庭等, 2023), 更符合教学实践活动对人机关系的描述。因此, 人机协同教学可认为是人类教师和机器在多种教育环境中作为整体交互并共同发挥效用, 以实现共同目标、提高教学效果的方式。人机协同教学在实践形态上表现为人机协作等形式, 在实践目的上期望在协作的基础上达成协同效应, 即将人类智能和机器智能相结合以增强彼此优势, 实现“1+1>2”的“协同智能”(Collaborative Intelligence)(Wilson et al., 2018), 提高教学效果。

### (二) 关键场景

人机协同思想诞生于工业时代, 强调人与机器在劳动层面的协作关系(毛刚等, 2021)。20 世纪 60 年代, 社会技术系统(socio-technical systems, STS)概念在劳工研究背景下产生, STS 理论强调人与机器间的互惠关系(Ropohl, 1999)。随着以 ChatGPT 为代表的新一代人工智能及其驱动的智能代理工具的发展, 机器智能不断增强, 任务处理范围不断扩大, 然而实现有效人机协同的关键在于人类主体的灵活调度。教育活动的开展高度依赖教师的能动性和教学实践智慧, 人机协同教学需要强调教师的中心主体地位。

技术对人类的辅助取向要求机器被设计成具备类人能力或特征, 以使得机器能够像人类一样行动。计算机作为社会行动者理论(computers are social actors, CASA)认为, 人类会潜意识地将用于人类互动的社会规则和期望迁移应用于机器(Nass et al., 2000), 并强调机器与人进行社会交互时的拟人化。将人类特征归因于机器(Qiu et al., 2009), 常

被用来指导人机交互设计与实践领域的研究(Gambino et al., 2020)。基于 CASA 视角和已有的人机协同教学实践案例, 教育机器人、虚拟化身/代理可作为与人类教师开展人机协同教学的类人技术, 前者适用于在教室等物理空间场景下与人类教师协同, 后者允许在网络等虚拟空间场景与人类教师协同。此外, 智能时代的教学空间日益呈现物理空间和网络空间虚实融合、联动的发展趋势, 数字孪生是融通真实空间和虚拟空间边界的关键技术, 可作为人机协同教学的另一项重要技术, 支持虚实融合混合空间场景中开展人机协同教学。基于上述分析和已有案例的归纳, 本研究确定了人类教师与数字孪生(digital twin)、虚拟化身/代理(avatar/agent)和教育机器人(robot)有机联动的人机协同教学框架——iSTAR, 其构成要素和服务场景见图 1。

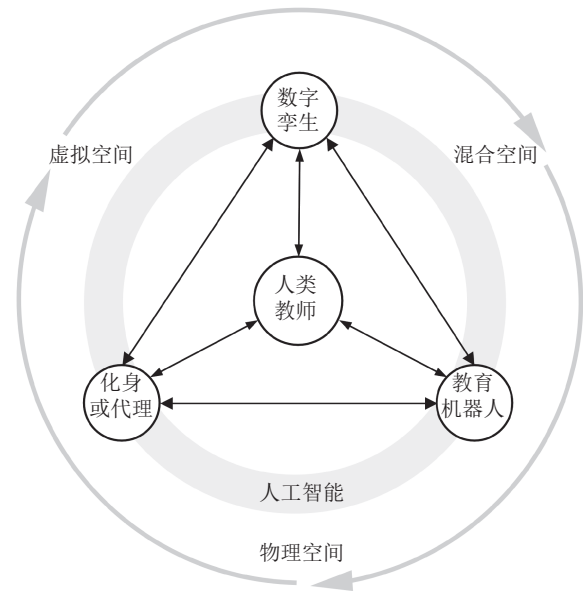


图 1 人类教师与虚拟化身、数字孪生和教育机器人协同教学框架

iSTAR 以人类教师为中心, 侧重通过数字孪生、虚拟化身/代理和实体机器人等三种“机器”类型形成人机协同教学关系:

- 1) 数字孪生包含物理和虚拟两个系统(Liljaniemi et al., 2020), 信息数据可在物理和数字对象之间流转并双向整合, 使得虚拟系统不仅能够表征、监视物理系统, 还能理解、评估和预测物理对象的状态。
- 2) 化身是一种在虚拟空间中可感知

的数字化表征,通常能实时反映特定人类的行为,代理则是为实现特定目标而设计的计算机程序(Bailenson et al., 2004)。具体来说,化身通常是人类用户控制的 2D 图像或 3D 模型的数字化表征(Blake et al., 2010);代理则由计算机控制,可具备拟人化图形外观以增强社会互动(Baylor, 2011),也可不具备数字化表征,其教育应用也被称为教学代理。3)教育机器人在课内外活动中可被用作教学辅助工具,或作为共同学习者、同伴、导师(Mubin et al., 2013)。

### (三)协同层级划分

多元构成要素间的关系具备多种联结形式和复杂程度。1981年,钱学森支持的人—机—环境系统工程(Man-Machine-Environment System Engineering, MMESE)这一交叉技术科学诞生,它旨在利用系统科学理论和系统工程方法处理人、机和环境之间的复杂作用关系,以实现人—机—环境系统的最佳组合(Long et al., 2022)。这一工程认为,凡有人类参与的工作系统均可视为人—机—环境系统,并根据系统性能的特点和复杂程度将其分为简单、复杂和广义三层。基于该观点,教育领域的人机协同教学可被视为一种具备不同复杂层次的系统,iSTAR 框架下的人类教师可与其他技术类型形成不同层次的人机协同教学关系以满足教学实践需求。

基于现有实践案例和未来发展趋势,iSTAR 人机协同教学在实践层次上可分为人使用机器(HUM)、基本人机协作(HMC)、双重人机协作(HM<sup>2</sup>C)和复杂人机协作(HM<sup>3</sup>C)四级(见表1)。

其中,0级指无人机协作,即人类教师仅将机器用作工具,如将计算器作为计算工具。1级指基本人机协作,包括“人师—数字孪生(HCM1)”“人师—化身/代理(HCM2)”和“人师—教育机器人(HCM3)”三种协作类型,即人类教师只与 iSTAR 框架的一种机器类型建立协作关系。2级指双重人机协作,包括 HM<sup>2</sup>C1(人师—化身/代理—数字孪生)、HM<sup>2</sup>C2(人师—化身/代理—教育机器人)和 HM<sup>2</sup>C3(人师—数字孪生—教育机器人)三种人机协同类型, HM<sup>2</sup>C 的人机协作范围相较于 HMC 进一步扩大。3级指复杂人机协作。该级别是对人机协同教学领域未来发展取向的描述,即人类教师能够在安全平衡的人机生态系统中与多种机器开展协作以实现特定教育目标。随着技术进步和教学需求的动态变化,iSTAR 构成要素和实践场域也将得到补充和发展。

## 四、人机协同教学发展路径

人机协同教学实践包含设计、实施和评价三个阶段。设计是 iSTAR 开展的起点,伦理是 iSTAR 开展的前提条件和过程保障,教学与评估是 iSTAR 实施效果的直接反映,可作为实现有效、合乎伦理的人机协同教学重点考虑的关键节点。鉴于此,本研究提出 DELTA 考量模型(见图2),以促成人机协同教学向以人为本有序发展。

### (一)从数据采集到人机交互的全流程合理设计

#### 1. 数据来源、类型和结构

教育数据涵盖教育实践活动所产生或关联的全部数据集合(张誉元等, 2022),人机协同教学的

表1 iSTAR 人机协同教学的实践层次分级和实践案例

分级	类型	类型描述	相关实践案例
3级	复杂人机协作	人与两种以上类型机器协作	—
2级	双重人机协作	化身/代理+数字孪生	如支持虚拟现实环境、数字化学习环境和虚实混合环境的教学实践 (Al Hakim et al., 2022; Lugrin et al., 2016; Yun et al., 2013)
		化身/代理+教育机器人	
		数字孪生+教育机器人	
1级	基本人机协作	数字孪生	如促进在线学习、特殊教育、学前教育以及教育公平方面的教学实践 (De Martino et al., 2017; Kaarlela et al., 2022; Keren et al., 2014; Mizrahi et al., 2022; Sepasgozar, 2020)
		化身/代理	
		教育机器人	
0级	人使用机器	人仅将机器用作工具	—



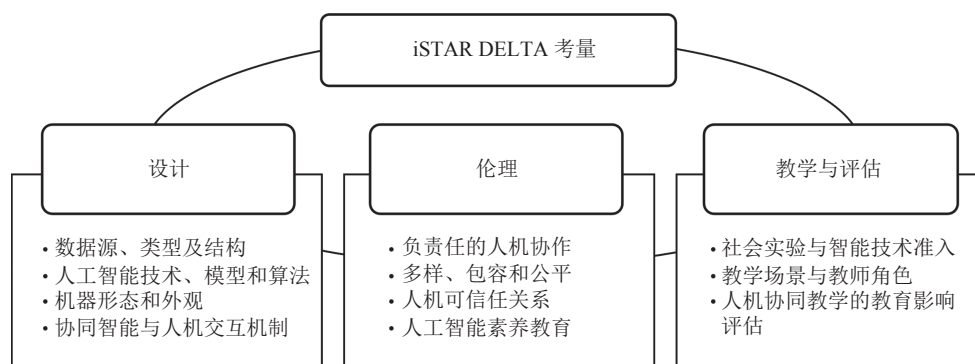


图2 iSTAR 的 DELTA 考量

相关数据具有多样性特点。人机协同教学的数据可分为人类数据和机器数据。人类数据包括行为和面部表情等数据；机器数据包括响应准确性、执行和反馈时间等数据。人机协同教学的数据类型和结构主要来自不同传感器或不同格式的多模态数据，如文本、图像、语音、视频、笔记、日志、手势等。数据内含机器与师生互动的有用信息，可为进一步分析和改进学习体验提供证据。人机协同教学需要根据对核心教育目标的分析，在保证数据采集和使用规范的前提下分析处理所需的教育数据，实现数据的标准化、对齐处理和深度融合 (Jabeen et al., 2023)，为揭示教育过程的规律提供更多见解。

## 2. 人工智能技术、模型和算法

人工智能可以通过机器学习和深度学习技术实现感知、决策等功能并将其应用于人机协同教学。机器学习包括强化学习、监督学习和无监督学习，在多元教育场景中具有巨大应用潜力。例如，强化学习可用于优化人与机器间的任务分配，系统可利用收到的奖励或惩罚不断更新分配策略，提高自身性能和决策水平；无监督学习可在无标签数据中聚类数据，查找规律，发现数据的隐藏结构或关系，聚类分析可用于分析了解学习者学习偏好以实现个性化指导；监督学习则可被集成到智能导师系统中，通过识别学习者的学习领域以提供针对性指导或训练，提高学习效果。深度学习指使用神经网络解决机器学习任务，可借助卷积神经网络、递归神经网络和转换器等模型。当前深度神经网络已经广泛应用于计算机视觉、自然语言处理、推荐系

统等算法任务中，以满足特定教学场景需求。设计人机协同教学相关活动需要根据特定教学场景、目标或任务选择合适的人工智能技术、模型和算法，同时强调以人为中心的教育应用，实现技术赋能人机协同教学的最优化。

## 3. 机器形态和外观

机器的形态和外观在很大程度上影响着用户的使用体验，因此科学的设计尤为重要。其一，人机协同教学中机器的差异化形态可分为人形、半人形和其他仿生动物形态。其中，性别、肤色、尺寸等外显化差异会影响用户的决策、印象和判断。例如，根据学习者性别设计教学代理的外观表征可以在沉浸式虚拟学习中发挥重要作用，即当性别匹配时学习效果更好 (Makransky et al., 2019)；恐怖谷效应认为人类对人形机器人的反应会随着机器人的拟人程度提高而从移情转变为厌恶 (Mori et al., 2012)。因此，机器人的设计应避免引发恐怖谷效应。其二，机器的形态和外观需要根据教育发展需要设计。例如，虚拟教师代理一旦具备机器人外观，其教授机器人相关的历史知识比教授人类历史知识更有效 (Matsui et al., 2019)；学龄前儿童对蜜蜂等小动物外形的机器人更感兴趣 (Ringwald et al., 2023)。这些表明，有效人机协同教学的实现不仅要合理选择机器类型，还需要根据学生的教育水平和教育背景等因素选择合适的形态和外观。

## 4. 协同智能与人机交互机制

协同智能指人工智能和人类智能在完成给定的任务时优势互补以实现双方能力的融合或增强，这一概念与“集体智能” (collective intelligence)

语义相似(Suran et al., 2020), 两者均强调通过多元协同增强个体的能力。人机协同教学的协同智能体现在将人类教师的领导力、团队合作、创造力和社交技能等人类智能与智能机器的计算速度、可扩展性等人工智能优势结合与互补, 以实现整体综合效果优于局部效果之和。人机协同教学需要合理运用教师和机器的不同能力实现最佳实践效果, 同时需要关注人机交互机制以提高人类认知和人工认知之间的信息交换的有效性。人机交互指人与计算机之间通过某种人机交互接口, 以一定的交互方式实现信息交换的过程。它可通过脑机交互、体感交互、视觉交互或语音交互等多样化方式增强信息交换通道的能力(郝祥军等, 2023)。良好的人机交互机制是达成协同教学功效的必要条件。

## (二) 机器使能规范、伦理与数字素养保障

### 1. 负责任的人机协作

负责任的人机协作指以人类的价值观指导机器的行动, 以确保机器在可接受的道德界限内运行。人机协同教学的实现需要在实践层面强调负责任的人机协作。这包括: 一是人的尊严。人工智能必须尊重人类价值观, 不能破坏人类尊严(Coeckelbergh, 2017)。机器不应以任何方式贬低人类, 而应该支持人类的基本权利; 也不能因种族、性别、残障情况或宗教等因素歧视某些群体。二是数据隐私与治理。教育数据涉及师生大量隐私信息, 在收集、使用和传播过程中容易出现数据安全等伦理问题。这需要通过加密和访问控制等手段确保数据保护与治理系统的可靠性, 并保证用户具备对个人数据共享和访问的控制权。三是技术稳健性和安全性。人机协作实现的重要条件是机器的技术稳健性(European Commission, 2019)。机器需要通过故障保护和纠错机制的良好设计确保应用期间不发生故障或意外错误, 防止对人类或环境造成危害; 机器必须经过全面的测试和评估, 以确保达到安全标准, 保障教育应用安全规范。

### 2. 多样、包容和公平

确保人工智能系统在整个生命周期的多样性、包容性和公平性是避免偏见和歧视的必要条件(European Commission, 2019)。若人工智能的训练数据集存在偏见数据, 那么技术可能会延续甚至放

大现有的社会偏见。为保障人机协同教学的技术伦理, 设计者开发人工智能系统的过程中要使用多样化和代表性的训练数据集, 避免歧视和偏见; 注重人工智能系统的无障碍和通用设计, 以人为本, 使技术能够服务于广泛的社会群体; 建立成员背景和专业技能多样化的跨学科团队, 在设计、开发、测试、维护和部署人工智能系统的过程中考虑不同的观点、需求和目标(European Commission, 2019), 通过多方利益攸关者参与和合作共同确保人工智能公平、有效地服务于教学系统。例如, 人工智能系统的设计和开发人员需要在学习科学的指导下, 摆脱单一技术需求思维的局限, 理解真实教学需求, 设计与开发符合学习科学规律的人工智能系统, 切实增强智能工具的适用性和有效性。

### 3. 人机可信任关系

人工智能系统的有效运作需建立在人机间透明、可解释和可问责的信任关系基础上(Felzmann et al., 2020)。其一, 人工智能系统需要在教学决策过程中保持透明, 为人类理解决策背后的原因提供条件; 其二, 问责是人机协同教学关系的另一项重要伦理考量, 即人工智能不仅需要对其行为和决策担责, 还需要建立问责机制规避其潜在风险。总之, 人工智能具有侵犯学习者个人隐私、监控和操纵行为等潜在风险, 人工智能的设计与开发需要考虑这些伦理因素以规避智能教学工具失信。

### 4. 人工智能素养教育

人工智能素养高的个体可以更好地将人工智能融入社会各方面, 并有效避免技术采用意愿低或技术滥用等不良后果。人工智能素养教育涉及个体与智能机器开展有效、合乎伦理互动所必需的一整套知识、技能和态度。联合国教科文组织强调个体需要具备与智能技术有效合作的必要技能(UNESCO, 2021b), 并在《关于人工智能的北京共识》中建议相关机构动态审查和重新定义教师的新角色和所需能力, 以便为教师在智能教育环境中高效工作做好准备(UNESCO, 2019)。人机协同教学场景对师生人工智能素养提出了更高要求, 因此人工智能素养教育对于师生与智能机器有效和合乎道德的互动至关重要。实现这一目标, 需要将人工智能素养教育纳入各级教育、专业发展和终身学

习中, 采用创新和有吸引力的教育方法, 并通过体制化行动提高社会各级人员的基本人工智能素养 (UNESCO, 2019, 2021b)。

(三) 社会实验驱动的技术准入、场景规范和影响评估

### 1. 社会实验与智能技术准入

智能技术的教育准入是人机协同教学开展的前提。社会实验 (social experiment) 是一种检验特定政治、经济、科技因素被引入真实社会情境所产生效应的经典方法论 (童莉莉等, 2022)。研究者可从某一社会现象出发研究教育实践活动的真实社会影响, 揭示智能时代教育变革的隐性进程规律, 并在此基础上提出应对方法或干预措施 (黄荣怀等, 2020)。在人机协同教学进程中, 教育社会实验为挖掘相关智能技术教育准入的影响因素、验证人机协同教学试行方案的有效性等提供了新的方法, 可促进人机协同教学实践活动有序开展。具体而言, 推进人机协同教学的教育社会实验研究可从三方面着手: 一是完善研究体系, 鼓励实验校、科研机构、高校、实验基地等研究主体参与实验研究; 二是明确实验规范, 对社会实验涉及的投入、活动进程、资源流动过程等开展研究, 针对数据操作、开放与保护等建立细化的实验规范; 三是推进实验区和实验校建设, 组织相关的实践共同体, 开展协同研究, 通过研究方法培训等提升参与主体的组织实施与管理能力。

### 2. 教学场景与教师角色

人机协同教学场景下, 机器可扮演各种角色, 与教师一起有效实现特定教育目标。人机协作的核心问题之一是“谁做什么” (Kaber, 2018), 人机协同教学实践需要明确机器和教师可以完成和执行哪些角色和任务。例如, 比特纳等 (Bittner et al., 2019) 提出了人机协作团队组成和机器角色的分类方法。该方法将对话代理的角色归为促进者、同伴和专家等以促成人机协同。总之, 机器不应取代人类并接管团队的所有角色, 其设计是为了完成某些最合适的活动, 并补充或增强人类优势 (Dellermann et al., 2019)。例如, 重复性、单调性和例规性工作可由机器负责, 创造性、情感性和启发性工作则由教师负责 (祝智庭等, 2018)。人机协同

教学需要在不同教学场景下依据特定教育目标 and 需求确定机器和教师的差异化角色。设计者可通过教育社会实验研究人机协同教学模式创新的影响因素, 在实战中积累特定教学场景下的案例经验和成熟方案, 以规范实践活动有序开展。

### 3. 人机协同教学的教育影响评估

评估可用于衡量目标实现程度, 为改善教与学提供参考, 对促进学生学习、教师专业发展和教育质量提升有重要参考价值。推进人机协同教学评估的重点可聚焦以下方面:

其一, 在评估手段上深化智能时代教育评价方式和机制的改革。设计者可在优化数据采集标准, 构建人机协同教学评价体系的基础上, 采用大数据分析等技术构建跨区域、跨场景的教育测评系统平台和工具, 探索学生学习全过程的纵向评价、德智体美劳全要素的横向评价的全新方式, 打破传统评价方式的局限。其二, 在评估级别上关注智能时代人机协同教学的多层次教育影响。设计者要将教育影响评估分为微观、中观和宏观三个级别, 并在评估时重点关注目标、实现和成就三个质量维度, 构建完整的评估体系, 实现以评促教 (Stracke, 2017, 2019)。其三, 在评估途径上强调智能技术变革教育的循证研究和社会实验。教育改革实践将引发教育系统性变革, 也将带来教育研究范式的转变。例如, 教育社会实验可用于在微观层面探索人机协同教学场景下技术对个体适应性的影响, 在中观层面研究人机协同教学对学校教育体系的影响, 在宏观层面探究技术教育应用对社会政策等的影响 (鲍婷婷等, 2023)。大范围、宽口径、长周期的教育社会实验方法能够为持续跟踪、分析和评估技术融合教育的社会影响提供新途径。

## 五、结语

人机协同教学是深化智能技术赋能教育、提高教学效率与质量的重要途径。本研究以计算机作为行动者为理论指导, 在已有实践案例的基础上, 提炼出人类教师与虚拟化身、数字孪生和教育机器人协同教学的三类典型场景, 并将其纳入人机协同教学框架进行整体性考虑; 在 MMESE 视角下视人机协同教学为人—机—环境系统, 划分人机协同



教学的四层协同程度;最后提供了智能时代人机协同教学的发展路径。本研究发​​现, iSTAR 能够为教育政策制定者、教育研究人员、教育实践者、教育产品开发人员等人机协同教学利益相关方提供新的认识视角, 服务教育实践发展需求。然而, 本研究尚未涉及人机协同教学的具体操作, 未来可在 iSTAR 框架指导下探索人机协同教学的关键技术、教学模式和服务建设, 打造标杆案例、总结实践方案、形成应用推广, 以充分发挥人机协同教学功效, 应对智能时代教育实践需求和未来发展的动态变化。

#### [ 参考文献 ]

- [1] Al Hakim, V. G., Yang, S. H., Liyanawatta, M., Wang, J. H., & Chen, G. D.(2022). Robots in situated learning classrooms with immediate feedback mechanisms to improve students' learning performance[J]. *Computers & Education*, 182: 104483.
- [2] Bailenson, J. N., & Blascovich, J. (2004). Avatars. *Encyclopedia of human-computer interaction*[J]. Berkshire Publishing Group, 64-68.
- [3] 鲍婷婷, 柯清超, 马秀芳(2023). 人工智能教育社会实验的理论基础与实践框架 [J]. *电化教育研究*, 44 (1): 54-60.
- [4] Baylor, A. L.(2011). The design of motivational agents and avatars[J]. *Educational Technology Research and Development*, 59: 291-300.
- [5] Bittner, E., Oeste-Reiß, S., & Leimeister, J. M. (2019). Where is the bot in our team? Toward a taxonomy of design option combinations for conversational agents in collaborative work[C]. *Proceedings of the 52th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*.
- [6] Blake, A. M., & Moseley, J. L.(2010). The emerging technology of avatars: Some educational considerations[J]. *Educational Technology*, 50(2): 13-20.
- [7] Coeckelbergh, M.(2017). Can machines create art?[J]. *Philosophy & Technology*, 30(3): 285-303.
- [8] Costescu, C. A., Vanderborght, B., David, D. O.(2017). Robot - Enhanced CBT for Dysfunctional Emotions in Social Situations for Children With ASD[J]. *Journal of Evidence-Based Psychotherapies*, 17(2): 119-132.
- [9] Dai, L., Jung, M. M., Postma, M., & Louwerse, M. M.(2022). A systematic review of pedagogical agent research: Similarities, differences and unexplored aspects[J]. *Computers & Education*, 190: 104607.
- [10] De Martino, J. M., Silva, I. R., Bolognini, C. Z., Costa, P. D. P., Kumada, K. M. O., Coradine, L. C., Brito, P. H. da S., do Amaral, W. M., Benetti, Â. B., Poeta, E. T., Angare, L. M. G., Ferreira, C. M., & De Conti, D. F.(2017). Signing avatars: Making education more inclusive[J]. *Universal access in the information society*, 16: 793-808.
- [11] Dellermann, D., Ebel, P., Söllner, M., & Leimeister, J. M.(2019). Hybrid intelligence[J]. *Business & Information Systems Engineering*, 61: 637-643.
- [12] European Commission (2019). Ethics guidelines for trustworthy AI [EB/OL]. [2019-04-08]. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>.
- [13] Felzmann, H., Fosch-Villaronga, E., Lutz, C., & Tamò-Larrieux, A.(2020). Towards transparency by design for artificial intelligence[J]. *Science and Engineering Ethics*, 26(6): 3333-3361.
- [14] Gambino, A., Fox, J., & Ratan, R. A.(2020). Building a stronger CASA: Extending the computers are social actors paradigm[J]. *Human-Machine Communication*, 1: 71-85.
- [15] González-Castro, N., Muñoz-Merino, P. J., Alario-Hoyos, C., & Kloos, C. D.(2021). Adaptive learning module for a conversational agent to support MOOC learners[J]. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(2): 24-44.
- [16] 国务院(2017). 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [EB/OL]. [2017-07-20]. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content\\_5211996.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm).
- [17] 郝祥军, 张天琦, 顾小清(2023). 智能时代的人机协同学习: 形态、本质与发展 [J]. *中国电化教育*, 441 (10): 26-35.
- [18] 黄荣怀(2023). 人工智能正加速教育变革: 现实挑战与应对举措 [J]. *中国教育学刊*, (6): 26-33.
- [19] 黄荣怀, 李敏, 刘嘉豪(2021). 教育现代化的人工智能价值分析 [J]. *国家教育行政学院学报*, (9): 8-15+66.
- [20] 黄荣怀, 刘德建, 徐晶晶, 陈年兴, 樊磊, 曾海军(2017). 教育机器人的发展现状与趋势 [J]. *现代教育技术*, 27 (1): 13-20.
- [21] 黄荣怀, 王欢欢, 张慕华, 逯行, 高博俊, 杜静(2020). 面向智能时代的教育社会实验研究 [J]. *电化教育研究*, 41 (10): 5-14.
- [22] Jabeen, S., Li, X., Amin, M. S., Bourahla, O., Li, S., & Jabbar, A. (2023). A review on methods and applications in multimodal deep learning[J]. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, 19(2s): 1-41.
- [23] 教育部, 中央网信办, 国家发展改革委, 工业和信息化部, 财政部, 中国人民银行(2021). 教育部等六部门关于推进教育新型基础设施建设构建高质量教育支撑体系的指导意见 [DB/OL]. [2021-07-08]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202107/t20210720\\_545783.html?eqid=87a238db0029f40b00000004642d8807](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202107/t20210720_545783.html?eqid=87a238db0029f40b00000004642d8807).
- [24] Kaarlela, T., Arnarson, H., Pitkäaho, T., Shu, B., Solvang, B., & Pieskä, S.(2022). Common educational teleoperation platform for Robotics Utilizing Digital Twins[J]. *Machines*, 10(7): 577.
- [25] Kaber, D. B.(2018). Issues in human-automation interaction modeling: Presumptive aspects of frameworks of types and levels of automation[J]. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 12(1): 7-24.
- [26] 科技部(2022). 科技部关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知 [EB/OL]. [2022-08-12]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/15/content\\_5705450.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/15/content_5705450.htm).
- [27] Keren, G., & Fridin, M.(2014). Kindergarten social assistive

robot (KindSAR) for children's geometric thinking and metacognitive development in preschool education: A pilot study[J]. *Computers in human behavior*, 35: 400-412.

[28] Licklider, J. C.(1960). Man-computer symbiosis[J]. *IRE transactions on human factors in electronics*, (1): 4-11.

[29] Liljaniemi, A., & Paavilainen, H.(2020). Using digital twin technology in engineering education—course concept to explore benefits and barriers[J]. *Open Engineering*, 10(1): 377-385.

[30] 李青,闫宇(2019). 新技术视域下的教学创新:从趣悦学习到机器人陪伴学习——英国开放大学《创新教学报告》(2019版)解读[J]. *远程教育杂志*, 37(2): 15-24.

[31] 柳晨晨,宛平,王佑镁,杨刚(2020). 智能机器人及其教学应用:创新意蕴与现实挑战[J]. *远程教育杂志*, 38(2): 27-36.

[32] Long, S., Huang, Y. (2022). Man-machine-environment system engineering and its historical mission. In: Long, S., Dhillon, B. S. (eds) *Man-Machine-Environment System Engineering: Proceedings of the 21st International Conference on MMESE*[C]. MMESE 2021. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Springer, Singapore, 800: 3-20.

[33] Lugin, J. L., Latoschik, M. E., Habel, M., Roth, D., Seufert, C., & Grafe, S.(2016). Breaking bad behaviors: A new tool for learning classroom management using virtual reality[J]. *Frontiers in ICT*, 3: 26.

[34] 卢宇,薛天琪,陈鹏鹤,余胜泉(2020). 智能教育机器人系统构建及关键技术——以“智慧学伴”机器人为例[J]. *开放教育研究*, 26(2): 83-91.

[35] Makransky, G., Wismer, P., & Mayer, R. E.(2019). A gender matching effect in learning with pedagogical agents in an immersive virtual reality science simulation[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3): 349-358.

[36] 毛刚,王良辉(2021). 人机协同:理解并建构未来教育世界的方式[J]. *教育发展研究*, 41(1): 16-24.

[37] Matsui, T., & Yamada, S. (2019). The design method of the virtual teacher[C]. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, 97-101.

[38] Mizrahi, E., Danzig, N., & Gordon, G.(2022). vRobotator: A Virtual Robot Facilitator of Small Group Discussions for K-12[J]. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 6(CSCW2): 1-22.

[39] Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N.(2012). The Uncanny valley [from the field][J]. *IEEE Robotics & automation magazine*, 19(2): 98-100.

[40] Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Al Mahmud, A., & Dong, J. J.(2013). A review of the applicability of robots in education[J]. *Journal of Technology in Education and Learning*, 1(209-0015): 13.

[41] Nass, C., & Moon, Y.(2000). Machines and mindlessness: Social responses to computers[J]. *Journal of social issues*, 56(1): 81-103.

[42] 秦丹,张立新(2020). 人机协同教学中的教师角色重构[J]. *电化教育研究*, 41(11): 13-19.

[43] Qiu, L., & Benbasat, I.(2009). Evaluating anthropomorphic

product recommendation agents: A social relationship perspective to designing information systems[J]. *Journal of management information systems*, 25(4): 145-182.

[44] Ringwald, M., Theben, P., Gerlinger, K., Hedrich, A., & Klein, B.(2023). How should your assistive robot look like? A scoping review on embodiment for assistive robots[J]. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 107(1): 12.

[45] Ropohl, G.(1999). Philosophy of socio-technical systems[J]. *Society for Philosophy and Technology Quarterly Electronic Journal*, 4(3): 186-194.

[46] Schmidtler, J., Knott, V., Hölzel, C., & Bengler, K.(2015). Human centered assistance applications for the working environment of the future[J]. *Occupational Ergonomics*, 12(3): 83-95.

[47] Sepasgozar, S. M.(2020). Digital twin and web-based virtual gaming technologies for online education: A case of construction management and engineering[J]. *Applied Sciences*, 10(13): 4678.

[48] Stracke, C. M. (2017). The quality of MOOCs: How to improve the design of open education and online courses for learners?. In *learning and collaboration technologies [C]. Novel Learning Ecosystems: 4th International Conference*, 10295: 285-293.

[49] Stracke, C. M.(2019). Quality frameworks and learning design for open education[J]. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 20(2): 180-203.

[50] Suran, S., Pattanaik, V., & Draheim, D.(2020). Frameworks for collective intelligence: A systematic literature review[J]. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(1): 1-36.

[51] 童莉莉,张晨,黄荣怀,雷凤宇,杨赞波(2022). 教育社会实验:人工智能融入教育的研究新探索[J]. *中国电化教育*, 422(3): 62-68.

[52] UNESCO (2019). *Beijing Consensus on Artificial Intelligence and Education* [EB/OL]. [2019-05-18]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>.

[53] UNESCO (2021a). *AI and education: Guidance for policy-makers* [EB/OL]. [2021-12]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>.

[54] UNESCO (2021b). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence* [EB/OL]. [2021-11-26]. <https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/recommendation-ethics>.

[55] Wilson, H. J., & Daugherty, P. R.(2018). Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces[J]. *Harvard Business Review*, 96(4): 114-123.

[56] 武法提,田浩(2023). 人机协同的精准学习干预:动力机制、逻辑理路与实践模型[J]. *开放教育研究*, 29(2): 81-90.

[57] 徐振国,刘志,党同桐,孔玺(2021). 教育智能体的发展历程、应用现状与未来展望[J]. *电化教育研究*, 42(11): 20-26+33.

[58] 杨现民,赵瑞斌(2021). 智能技术生态驱动未来教育发展[J]. *现代远程教育研究*, 33(2): 13-21.

[59] Yun, S. S., Kim, M., & Choi, M. T.(2013). Easy interface and control of tele-education robots[J]. *International Journal of Social Robot-*

ics, 5: 335-343.

[60] 余胜泉, 王琦(2019). “AI+教师”的协作路径发展分析[J]. 电化教育研究, 40(4): 14-22+29.

[61] 张刚要, 陈煜(2023). 从机械身体论到“在世存在”身体论: 教育技术实践中的身体景观[J]. 电化教育研究, 44(9): 12-18.

[62] 张誉元, 张海(2022). 数据生命周期视阈下教育数据伦理问题及规约之径[J]. 中国电化教育, 429(10): 118-125.

[63] 郑永和, 王一岩, 郑宁等(2023). 教学数字化转型: 表征样态与实践路径[J]. 电化教育研究, 44(8): 5-11.

[64] 祝智庭, 戴岭, 赵晓伟(2023). “近未来”人机协同教育发展新思路[J]. 开放教育研究, 29(5): 4-13.

[65] 祝智庭, 彭红超, 雷云鹤(2018). 智能教育: 智慧教育的实践路径[J]. 开放教育研究, 24(4): 13-24+42.

(编辑: 李学书)

## Intelligent Human-Machine Synergy in Collaborative Teaching of Intelligent Era: Path Design Based on Avatar, Digital Twin, and Robot

HUANG Ronghuai<sup>1,2</sup>, LIU Dejian<sup>2</sup>, Ahmed Tlili<sup>1,2</sup>, ZHANG Guoliang<sup>1,2</sup>,  
CHEN Ying<sup>1,2</sup> & WANG Huanhuan<sup>1,2</sup>

(1. National Engineering Research Center of Cyberlearning and Intelligent Technology, Beijing Normal University, Beijing, China 100875; 2. Smart Learning Institute, Beijing Normal University, Beijing, China 100875)

**Abstract:** Generative artificial intelligence (AI) is driving the rapid evolution of intelligent society, while AI-enhanced education is leading the profound transformation of educational organization and service mode. Educational practices are shifting towards the complementarity and integration of human intelligence and machine intelligence. Intelligent Human-Machine Synergy in Collaborative Teaching (IHMSCT) is poised to become the mainstream teaching form in the future, catering to the diverse needs of personalized, efficient, and inclusive education in intelligence era. This study integrates the guidance of the "Computers are Social Actors" theory (CASA) and the revelation of related practice cases to release the potential of IHMSCT and promote its safe and gradual development. It analyzes the practice forms of IHMSCT in physical space, virtual space, and mixed space, defines the essence and key scenarios of IHMSCT, and proposes the framework of Intelligent Synergies between Humans, Digital twins, Avatars/Agent, and Robots (iSTAR). The iSTAR framework categorizes the practice levels of IHMSCT into four tiers: Human-Utilize machine (HUM), Human-Machine Collaboration (HMC), Dual Human-Machine Collaboration (HM<sup>2</sup>C), and Complex Human-Machine Collaboration (HM<sup>n</sup>C). Meanwhile, it emphasizes the human-centered ideology in planning the development pathway of iSTAR, including the reasonable design in the entire process from data collection to human-machine interaction, assurance of technologies norms, ethics, and digital literacy, as well as technology admission, scenarios, and impact assessment driven by social experiment. The iSTAR framework can provide a theoretical foundation and action guidelines for the development of IHMSCT in intelligence era.

**Key words:** human-machine synergy; collaborative teaching; Avatar; digital twin; robot