

· 专家论坛 ·

DOI: 10.12464/j.issn.0253-9802.2025-0325

基于大语言模型的多智能体系统在护理健康教育 智能化转型中的应用与展望

周炜杰, 宗旭倩, 袁长蓉✉
(复旦大学护理学院, 上海 200032)



通信作者简介:袁长蓉, 教授, 博士生导师, 美国护理科学院院士, 复旦大学护理学院患者体验研究中心主任, 患者报告结局国际联盟中国中心(PNC-China)负责人。研究方向为交叉护理学、健康与慢病护理学、健康信息学。兼任国务院学位委员会第八届学科评议组成员、中国优生优育协会护理学专委会主任委员、中华护理学会第二十八届理事会科研工作委员会副主任委员、中国生命关怀协会人文护理专业委员会副主任委员、全国护理学名词审定委员会健康与慢病管理名词审定分委会副主任委员、上海市中西医结合学会第二届护理学专业委员会主任委员、中国卫生信息与健康医疗大数据学会护理学分会副主任委员、上海市抗癌协会肿瘤护理专委会副主任委员。担任 *Cancer Nursing*、*Journal of Transcultural Nursing*、*Journal of American Academy of*

Nurse Practitioner 等多本国内外护理期刊编委及同行评议专家。近年来获国家自然科学基金、美国癌症协会科研基金、上海市自然科学基金、上海市科委国际合作基金、上海市科学技术委员会软科学研究基金等课题 20 余项。以第一作者或通信作者发表论文 320 余篇。曾入选上海市浦江人才计划, 获军队育才银奖、个人三等功、上海市三八红旗手标兵、全国三八红旗手、复旦大学“钟扬式好老师”, 连续 6 年入选爱思唯尔(Elsevier)中国高被引学者。E-mail: yuancr@fudan.edu.cn。

【摘要】 健康教育作为以患者为中心护理服务的重要工作, 贯穿患者就诊、住院及出院随访的全过程。然而, 受限于护理人力紧张与工作负荷增加, 传统教育方式在个性化不足、执行效率低以及提升患者主动参与度等方面存在明显局限。近年来, 人工智能技术特别是基于大语言模型的多智能体在自然语言交互、自主感知和推理决策等方面展现出的独特优势, 为护理健康教育的智能化转型提供了新契机。文章聚焦多智能体在护理健康教育中的应用与现实挑战, 并根据不同的临床应用场景和实践功能, 提炼可能有助于健康教育的多智能体集合及其协同模式, 旨在为未来多智能体落地护理实践提供思路。

【关键词】 多智能体; 护理; 健康教育; 人工智能

Large language model-driven multi-agent systems for the intelligent transformation of nursing health education: applications and prospects

ZHOU Weijie, ZONG Xuqian, YUAN Changrong✉
(School of Nursing, Fudan University, Shanghai 200032, China)
Corresponding author: YUAN Changrong, E-mail: yuancr@fudan.edu.cn

【Abstract】 Health education, as an essential component of patient-centered nursing services, spans the entire care continuum including patient visits, hospitalization, and post-discharge follow-up. However, constrained by limited nursing staff and increasing workloads, traditional approaches often face clear limitations such as insufficient personalization, low implementation efficiency, and limited patient engagement. In recent years, artificial intelligence—particularly multi-agent systems based on large language models—has demonstrated unique advantages in natural language interaction, autonomous perception, and reasoning-based decision-making, offering new opportunities for the intelligent transformation of nursing health education. This paper focuses on the applications and practical challenges of multi-agent systems in nursing health education. From the perspectives of precision, adaptability, workload reduction, interactivity, and scalability, it outlines innovative pathways through which multi-agent systems can

收稿日期: 2025-09-22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72374048)

第一作者简介: 周炜杰, 博士研究生, 研究方向: 健康信息学、人工智能, E-mail: wjzhou@metamedia.com

empower health education. Furthermore, based on different clinical application scenarios and practice functions, the paper identifies potential configurations of multi-agent systems and their collaborative modes that may support health education. The aim is to provide insights for advancing the practical implementation of multi-agent systems in nursing practice.

[Key words] Multi-agent systems; Nursing; Health education; Artificial intelligence

护理健康教育是指护士在护理过程中,根据患者的健康状况、护理阶段与具体需求,运用科学的方法和沟通技巧,有计划、有针对性地向患者及其家属提供健康知识、生活指导和自我管理训练,帮助其形成正确健康行为与生活方式。健康教育贯穿入院、住院、治疗、出院等护理全流程,是实现高质量、以患者为中心护理服务的重要环节^[1-2]。然而,传统健康教育模式存在着教育内容缺乏精准适配性、教育方式互动性不足、教育效果评估困难、人力与时间资源紧张等诸多困境^[3],在人工智能(artificial intelligence, AI)时代下急需智能化转型。智能体(agent)是指具备一定智能程度的计算机程序或系统,能够感知环境、进行决策和执行操作,以达到既定目标的实体^[4-5]。基于大语言模型构建的智能体因具备自主感知、智能决策、持续学习与人机交互等能力^[6],已在多种医疗场景中得到初步探索与测试^[7-8]。然而,复杂且动态变化的医学环境往往难以依靠单一智能体独立完成任务,更需要多智能体之间的协同、合作与调度,通过模块化与集群化的分工共同应对复杂问题^[9-10]。多智能体系统(multi-agent system, MAS)是由多个具有独立自主能力的智能体通过交互协作或竞争组成的系统,其具有更好的任务选择和查询分解准确性,并可以提供结构化检索和可解释性^[10]。因此,本文将从介绍基于大语言模型的MAS出发,提出多智能体赋能护理健康教育的架构,为未来护理健康教育领域多智能体的开发构建理论框架,为护理健康教育智能化转型提供参考。

1 基于大语言模型的智能体与多智能体概述

不同类型的智能体可为MAS注入语言理解、图像识别、工具调用等多样化能力^[11-12]。通过持续学习与适应,智能体能够不断优化自身的行为与决策,从而间接提升MAS的整体效能^[13-14]。智能体可以根据不同应用场景表现为多样化的结构,

其核心组成包括四大模块:感知、规划、记忆与执行^[15]。其中,感知模块能够收集环境中不同源头的信息格式,例如文本、视觉、听觉、触觉反馈等,将上述信息转换来辅助智能体进行决策与执行相关操作,是智能体与环境交互的桥梁。规划模块依托大语言模型的推理能力,将复杂任务拆解为子任务,并通过注意力机制、上下文理解、逻辑推理以及人类反馈或工具调用结果等不断优化计划执行^[16-17]。记忆模块负责存储与调用历史信息,既包括短期记忆(如对话上下文)也包括长期记忆(跨任务经验)。通过长下文窗口、外部存储与检索增强等机制,记忆模块为智能体提供决策依据。执行模块负责具体操作步骤的生成与实施,包括调用外部工具、利用内在知识生成内容,并与环境进行交互,形成感知—规划—记忆—执行的闭环^[5]。虽然单一智能体系统在特定领域展现出一定的自主学习和决策能力,但在处理复杂任务上的能力存在局限性。

与单一智能体相比,MAS最初源自分布式AI,其由多个智能体组成并通过通信、协作或竞争的方式来实现共同或各自的目标,因此更适合应对高度复杂和动态的任务环境^[18-19]。近年来,随着深度学习技术的迅速发展,大语言模型逐渐成为智能体的核心“大脑”,显著增强了其在规划、记忆与决策等方面的能力。基于大语言模型的MAS不仅具备更强的推理与泛化优势,还能够更高效地支持垂直领域的微调训练,并能模拟多样化的社交与协作场景,因此逐步在医疗、教育等多个领域得到应用与探索^[14, 20]。例如吴永和等^[20]根据智能体承担的任务和角色,将教育中的智能体分为百科全书型、智能学伴型、教学助手型、专业教师型,使教育智能体能够提供更加高效和个性化的学习体验,满足不同用户的学习需求,促进教育发展和进步。周介立等^[21]提出了一个基于大语言模型的创新性多智能体协作平台,通过5个专业智能体——询问智能体、评估智能体、建议智能体、安排智能体以及辅助智能体的协同运作,实现患者教育的全流程智能管理。因此,在护理

健康教育方面亟需通过多智能体解决复杂任务,发挥其在人机交互、自主感知和推理推断方面的优势,从而推动护理教育中“人—机—患者”三者协同的新范式和形成。

2 多智能体系统赋能护理健康教育的架构设想

由于传统医学模式受限于时间和空间,患者往往无法接受高质量的健康管理^[22-23]。其中,护理健康教育涉及多个环节,覆盖了患者从住院到居家的全流程场景。为了加速多智能体在护理健康教育中的模式创新,本文提出护理健康教育 MAS 架构,并对其功能进行梳理与定义。

2.1 健康计划智能体

健康计划智能体是整个 MAS 的“总指挥”,主要用于确保健康教育计划动态闭环的实施。在教育领域,有研究者提出了用于技能培训的智能体框架,从而改善传统师范生教学技能训练中情境适应性差、教师指导个性化不足、模拟与实际教学脱节等问题^[24]。对于护士而言,健康计划智能体能够帮助护士将护理宣教内容转化为个性化的教育计划。而在患者的角度,健康计划智能体则能够根据患者的实际情况,生成相对应的日常饮食、运动和作息计划。与此同时,健康计划智能体需要具备与其他智能体协作的功能,通过与智能体间信息的交流给予匹配的执行方案并协调智能体同步实施,确保将对应的信息反馈给医师和家属。

在系统协作层面,健康计划智能体不仅需要自身制定计划,还需要与其他专业智能体(如营养、运动、情绪智能体)进行信息交流与协作,实现方案的细化与同步更新。例如,营养智能体可生成个性化饮食菜单,运动智能体可规划锻炼方案,情绪智能体可提供心理调适建议。健康计划智能体通过协调各智能体的任务执行,并将执行情况与医师和家属进行信息反馈,从而确保教育方案的持续优化和闭环管理。通过这种全面协同的方式,健康计划智能体能够实现真正的个性化健康教育,即“千人千面”的健康管理。它不仅是整个 MAS 的核心与中枢,更是系统中协调、控制和推动其他智能体协作的关键枢纽,从而保证 MAS 在护理健康教育中的高效运行和动态优化。

2.2 营养/运动引导智能体

营养/运动引导智能体通过接受健康计划智能体的分解任务,聚焦于患者的健康饮食和运动作息管理,并为患者提供细分领域的专业化护理建议与措施。营养/运动智能体需要为患者提供具体的可执行方案,接受患者在执行方案时产生的生理指标数据与效果(文字、语音、视频、照片等)并反馈给健康计划智能体作为下一个整体健康教育计划的数据输入。营养/运动引导智能体需要和习惯追踪智能体协作来监督患者是否良好地执行了智能体的计划,同时也需要与情绪感知智能体协作,根据患者的情绪波动提供对应的优化建议。在运动智能体的开发方面,Ozolcer 等^[25]基于可穿戴设备传感器数据开发了一个能够预测用户每日压力水平、肌肉酸痛程度与运动损伤风险的个人健康智能体管家,为个体健康长期监测提供个性化管理参考。

2.3 情绪感知与支持智能体

情绪感知与支持智能体是情绪中枢,负责心理层面的动态调整与干预。该智能体能够通过分析患者的语言、行为以及打卡的数据来判断患者的心理状态,并同步给护士进行实时更新,帮助医护人员做出相应的调整。同时向健康计划和营养/运动引导智能体发送“情绪信号”,促使它们结合医护人员的建议,调整对应的建议计划,并向沟通协调智能体发出提醒,让家属进行患者的健康教育、管理并给予患者支持。在心理相关领域智能体的开发方面,Hu 等^[26]通过整合 15.5 万条单轮对话、1.15 万组多轮对话、1 万条知识型对话的高质量心理数据集,提出基于 Qwen1.5-14B-Chat 微调的专业心理大语言模型,显著提升了智能体对心理状态的判断精度。Kampman 等^[27]则设计了一款能够通过大语言模型驱动的支持多个专业化智能体交互与沟通、减轻服务提供者认知负荷、同时确保干预内容专业性的人机协同双对话系统。

2.4 习惯追踪与激励智能体

习惯追踪与激励智能体可通过收集患者的日常行为数据来持续为营养/运动引导智能体、情绪感知与支持智能体和健康计划智能体提供执行情况,帮助上述智能体提出更贴切的科普教育内容和行为激励计划,从而帮助患者更细致地了解自身的情况。同时习惯追踪与激励智能体作为数据的接收方,可以将数据传递给护士与医师用以反

馈患者的依从性情况。例如, Abbas 等^[28]开发的一款基于 GPT-4 的规划与反思智能体, 通过晨间规划与晚间反思双时段交互, 为科研工作者提供全流程的任务管理与自我反思支持, 体现了智能体在行为追踪与习惯养成中的潜在价值。

2.5 知识普及智能体

知识普及智能体是整个 MAS 的理论核心。作为内容提供者, 它为其他智能体奠定坚实的知识基础, 并持续输出专业的护理健康教育资源。因此, 构建专业的知识库与语料库对保证知识普及智能体输出知识的准确性非常重要。As'ad^[29]提出一种融合生成式 AI 与专业 AI 的智能体辅导新方法, 其核心为双层验证框架, 即第一层通过大语言模型生成初始响应, 第二层由另一 AI 模型验证并优化响应, 以确保内容的可靠性、角色的合规性及教学目标的一致性。此外, 知识普及智能体还能够与护士协作生成适配患者的教育资料; 向患者提供多模态教育内容(文字、语音、视频)以及向家属提供疾病与护理知识等等, 有助于患者和家属全方位地了解自身的情况、减少对于疾病的焦虑和恐惧, 并激励患者更加主动地参与到自身的健康管理之中。

2.6 沟通协调智能体

沟通协调智能体是数据与信息的中枢调度者, 负责打通和协调多方信息流, 例如其能够向医师同步患者状态与执行情况; 向护士反馈患者的行为数据与情绪信号; 向家属发送患者治疗进展, 提示他们参与照护以及与健康计划智能体协作, 实现计划的动态闭环调整等。在 Moritz 等^[30]提出的医疗 MAS 中, 沟通协调智能体(如护理协调智能体 Cory、全科医师智能体 MyGP)扮演数据与信息中枢调度者角色, 能够协调多方信息流, 例如向医师同步患者诊疗数据与流程执行情况, 向医疗团队反馈患者监测数据, 还可联动保险、调度等其他代理传递关键信息。沟通协调智能体不仅能支撑患者诊疗全流程的信息协同, 还可与健康计划智能体协作, 结合患者动态数据调整诊疗与照护计划, 实现健康管理的动态闭环, 并通过自然语言交互确保信息传递的可解释性与高效性。

2.7 预警智能体

预警智能体被认为是患者的安全守门员, 他们主要用来保障健康教育过程的可控性与安全性。当出现患者执行偏差、情绪异常以及其他突发情况时, 预警智能体会与医护协作并发出风险提示。

同时, 预警智能体也与健康计划智能体和沟通协调智能体协作, 并及时根据应急情况的发生做出相应的调整计划或干预措施。Shaik 等^[31]提出了一种基于多智能体深度强化学习的监测框架, 专门用于应对因压力和抑郁引起的复杂、生理信号变化的实时监控难题。该系统由多个专门学习不同生理参数(如心率、呼吸、体温)的智能体构成, 并通过与通用医疗监测环境的交互学习患者行为模式来评估报警级别, 以便及时通知医疗急救团队。

综上, 通过上述智能体的协同运行, 可逐步形成闭环、个性化、动态优化的健康教育与自我管理体系。在这一体系中, 患者不仅能够获得多维度、分层次的健康知识与行为指导, 还可以在持续反馈中推动教育内容不断迭代, 从而实现从“被动接受”到“主动管理”的转变, 推动护理教育由“教”向“会”, 由“懂”向“做”的跨越。

3 多智能体赋能护理健康教育的优势及面临的挑战

3.1 优势

基于大语言模型所构建的护理健康 MAS 打破了传统医务工作者单方面输出的局限, 通过多智能体间的精准协作与高效分工展现出以下优势。

3.1.1 精准化赋能

多源数据是实现患者状态精准感知的基础。未来, 智能体, 尤其是多智能体可对自我报告、可穿戴生理指标、实验室指标、日常行为等多方面数据进行感知及收集, 同时结合患者所处的空间信息进行综合判断^[32-33], 从而科学制定健康方案。未来, 随着可穿戴设备的发展, 无感、贴合人体设计的可穿戴设备将逐渐融入患者的生活中, 进一步拓展多智能体能够感知到的患者数据边界, 以此全方位了解患者的疾病变化, 实现更精准、更个性化的健康教育及管理方案。

3.1.2 动态化赋能

生态瞬时干预(ecological momentary intervention, EMI)通过移动设备根据收集的信息, 能够随时间的推移自适应地调整干预措施, 以便在最需要的时候提供最合适的干预方案^[34]。EMI 由于其实时性在促进患者健康行为方面得到广泛应用。有研究已证实, 基于大语言模型生成的 EMI 方案在适

配性、吸引力、感知有效性及专业性上显著优于人类生成内容，且具备跨角色、跨情境的适应性，这为MAS的智能决策模块提供了技术验证^[35]。随着技术的拓展，研究者把AI赋能于现有的干预方式中，智能体将进一步补充和丰富患者教育的形式和内容。因此针对传统院内教育“一次性”且院外缺乏督导的问题，未来MAS可通过各模块数据交互实现自我优化，例如通过习惯追踪与激励智能体积累的患者行为数据，通过可反哺决策模块调整干预阈值，通过沟通协调智能体收集的患者教育反馈提供持续适配方案，真正实现院内外健康管理的无缝衔接与数据驱动的患者教育全周期迭代。

3.1.3 互动化赋能

人机协同MAS能够重构医患及多方参与模式。例如患者可通过习惯打卡、情绪反馈主动投身自我健康管理；护士将依托沟通智能体获取需求优化方案；医师借助数据精准把控病情，从而构建起多方共建的互助支持网络，显著提升患者参与度与依从性，让健康教育更具针对性与人文温度。

3.2 挑战

尽管多智能体在护理教育中展现出广阔的应用潜力，但其大规模部署仍面临多重挑战。首先，多智能体的运行依赖于强大的算力和持续的维护升级，带来了高昂的硬件与运营成本，如何在收益产出与资源投入之间寻求平衡亟待解决。其次，基于大语言模型的智能体存在幻觉与偏差风险，导致任务执行过程中的不确定性和不稳定性，这要求在基座模型与智能体层面建立更精细化的监控与评估机制^[36]，以提升决策的准确性和可控性。此外，智能体之间的数据流通虽然是协同工作的前提，但也带来了巨大的隐私与安全风险，尽管当前差分隐私、联邦学习与数据脱敏等方法能在一定程度上缓解问题^[37]，但如何在保障性能的同时实现全面、安全的隐私保护仍有待进一步探索。最后，智能体决策逻辑复杂且难以追溯，限制了临床使用者的理解与信任，因此提升系统整体的可解释性与透明度，构建清晰可追溯的决策路径，是未来应用落地的重要方向。其中，有学者阐述了未来医疗场景智能体的适配性特征，其认为医疗领域的智能体需具备自主性、适应性、可拓展性与概率决策能力这四大核心特征，从而使智能体能够在不同的医疗场景中提供强大、高效且具有情境感知能力的解决方案^[14]。

4 结语与展望

面对护理教育这一兼具临床实践需求与学科发展价值的核心问题，基于大语言模型构建的MAS为护理教育与患者健康管理提供了新的可能性。其在人机交互、自主感知与推理推断等方面的优势，使其能够在替代或辅助护士完成基础教育、提升护士沟通与决策能力、为患者构建个性化的健康教育与自我管理支持等层面展现出独特潜力。然而，目前这一领域仍处于探索与构建的初步阶段，多智能体在减少大语言模型幻觉、提升跨智能体协同效率、保障数据隐私与安全、增强决策过程的可解释性等方面仍面临诸多挑战。

此外，本文从应用角度提出了未来多智能体赋能护理健康教育的架构。该架构包含了以健康计划智能体为核心的一系列智能体，并阐述了各个智能体之间应该如何相互配合以实现更个性化、动态化的患者健康教育。在这一过程中，通信协议作为实现可控、可信及以患者为中心协作的核心枢纽，使智能体能够与用户、智能体和环境进行多模态信息交换和动态行为协调^[38]。目前，模型上下文协议(model context protocol, MCP)和智能体到智能体(agent-to-agent, A2A)协议正逐渐成为促进智能体间高效协作的标准。未来，如何在复杂的医疗环境下，以保证患者安全为前提，探索多智能体协作、提升多智能体整体性能、多智能体的推理框架和多智能体通信也是目前研究者关注的主要方向^[39-40]。期望在AI快速发展的背景下，护理人员能够以开放和积极的姿态主动拥抱新技术，从临床问题导向出发，不断思考、设计与挖掘护理实践中的真实需求，探索以智能技术赋能护理科研与临床应用的新范式，从而推动护理教育模式向智能化、个性化和可持续化的方向发展。

利益冲突声明：本研究未受到企业、公司等第三方资助，不存在潜在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] HEALTHCARE EDUCATION ASSOCIATION. Patient Education Practice Guidelines for Health Care Professionals [M]. Madison: Jones & Bartlett Learning, 2019: 542.
- [2] 孙玉梅, 张立力. 健康评估 [M]. 4版. 北京: 人民卫生出版社, 2017.

- SUN Y M, ZHANG L I. Health Assessment [M]. 4th Ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2017.
- [3] 范亚硕, 廖化波, 孙明杰, 等. 运用新媒体实施健康宣教在结肠癌患者院外护理中的应用 [J]. 中华现代护理杂志, 2020, 26 (6): 779-784. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-2907.2020.06.015.
- FAN Y S, LIAO H B, SUN M J, et al. Application of health education using new media in nursing outside the hospital among colon cancer patients [J]. Chin J Mod Nurs, 2020, 26 (6): 779-784. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-2907.2020.06.015.
- [4] FENG Z, XUE R, YUAN L, et al. Multi-agent embodied AI: advances and future directions [J]. arXiv, 2025: 2505.05108. DOI: 10.48550/arXiv.2505.05108.
- [5] WOOLDRIDGE M. An Introduction to MultiAgent Systemst [M]. 2nd Ed. London: Wiley, 2009: 8.
- [6] CHEN X, XIANG J, LU S, et al. Evaluating large language models and agents in healthcare: key challenges in clinical applications [J]. Intell Med, 2025, 5 (2): 151-163. DOI: 10.1016/j.imed.2025.03.002.
- [7] GAO S, FANG A, HUANG Y, et al. Empowering biomedical discovery with AI agents [J]. Cell, 2024, 187 (22): 6125-6151. DOI: 10.1016/j.cell.2024.09.022.
- [8] ALTERMATT F R, NEYEM A, SUMONTE N, et al. Performance of single-agent and multi-agent language models in Spanish language medical competency exams [J]. BMC Med Educ, 2025, 25 (1): 666. DOI: 10.1186/s12909-025-07250-3.
- [9] ISRANI M, RENUSE S, V P. AutoMed: multi-agent AI system for personalized medical knowledge retrieval and summarization [C]//2025 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI). Chennai, India: IEEE, 2025: 1-6. DOI: 10.1109/ICDSAAI65575.2025.11011656.
- [10] 郭陆祥, 王越余, 李芊玥, 等. 大语言模型智能体操作系统研究综述 [JOL]. 计算机科学, 2025: 1-14. (2025-07-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1075.TP.20250722.1601.005.html>.
- GUO L X, WANG Y Y, LI Q Y, et al. A survey of the research on large language model agent operating system [JOL]. Comput Sci, 2025: 1-14. (2025-07-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1075.TP.20250722.1601.005.html>.
- [11] FU M, GOU J. Design of task allocation and decision-making styles for AI agents based on LLM [C]//2025 10th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analytics (ICCCBDA). Chengdu, China: IEEE, 2025: 693-697. DOI: 10.1109/ICCCBDA64898.2025.11030412.
- [12] PARTHASARATHY K, VAIDHYANATHAN K, DHAR R, et al. Engineering LLM powered multi-agent framework for autonomous CloudOps [C]//2025 IEEE/ACM 4th International Conference on AI Engineering-Software Engineering for AI (CAIN). Ottawa, ON, Canada: IEEE, 2025: 201-211. DOI: 10.1109/CAIN66642.2025.00031.
- [13] KARUNANAYAKE N. Next-generation agentic AI for transforming healthcare [J]. Inform Health, 2025, 2 (2): 73-83. DOI: 10.1016/j.infoh.2025.03.001.
- [14] KRISHNAN N. Ai agents: evolution, architecture, and real-world applications [EB/OL]. arXiv, 2503.12687, 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2503.12687.
- [15] SU B, PENG J, XU H, et al. The personalized scene-based AI agents: exploring Chinese language learning among international students [C]//2025 5th International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE). Suzhou, China: IEEE, 2025: 117-122. DOI: 10.1109/ICAIE64856.2025.11158030.
- [16] LI Y, LIU S, ZHENG T, et al. Parallelized planning-acting for efficient LLM-based multi-agent systems [J]. arXiv, 2503.03505, 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2503.03505
- [17] CHEN X, YI H, YOU M, et al. Enhancing diagnostic capability with multi-agents conversational large language models [J]. NPJ Digit Med, 2025, 8 (1): 159. DOI: 10.1038/s41746-025-01550-0.
- [18] STONE P, VELOSO M. Multiagent systems: a survey from a machine learning perspective [J]. Auton Rob, 2000, 8 (3): 345-383. DOI: 10.1023/A: 1008942012299.
- [19] 翟雪松, 季爽, 焦丽珍, 等. 基于多智能体的人机协同解决复杂学习问题实证研究 [J]. 开放教育研究, 2024, 30 (3): 63-73. DOI: 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.03.007.
- ZHAI X S, JI S, JIAO L Z, et al. Empirical investigation of human-machine collaboration in solving complex learning problems through a LLM-based multi-agent framework [J]. Open Educ Res, 2024, 30 (3): 63-73. DOI: 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.03.007.
- [20] 吴永和, 姜元昊, 陈圆圆, 等. 大语言模型支持的多智能体: 技术路径、教育应用与未来展望 [J]. 开放教育研究, 2024, 30 (5): 63-75. DOI: 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.05.007.
- WU Y H, JIANG Y H, CHEN Y Y, et al. Multi-agent systems supported by large language models: technical pathways, educational applications, and future prospects [J]. Open Educ Res, 2024, 30 (5): 63-75. DOI: 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.05.007.
- [21] 周介立, 周禄庭, 辛弘毅. 5A MedAgent: 面向患者教育的医疗大语言模型多智能体协作系统 [J]. 元宇宙医学, 2024, 1 (4): 12-16. DOI: 10.61189/120911ncgfaf.
- ZHOU J L, ZHOU L T, XIN H Y. 5A MedAgent: a multi-agent collaborative system based on large language models for patient education [J]. Metaverse Med, 2024, 1 (4): 12-16. DOI: 10.61189/120911ncgfaf.
- [22] 李雪梅, 夏雅娟. 国内外慢性病防控策略 [J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32 (3): 117-121. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2483.2021.03.027.
- LI X M, XIA Y J. Research on chronic disease prevention and control strategies at home and abroad [J]. J Public Health Prev Med, 2021, 32 (3): 117-121. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2483.2021.03.027.
- [23] 徐雪芬, 王红燕, 郭萍萍, 等. 人工智能在慢性病患者健康管理中的应用进展 [J]. 中华护理杂志, 2023, 58 (9): 1063-1067. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2023.09.006.
- XU X F, WANG H Y, GUO P P, et al. Progress on the

- application of artificial intelligence in chronic disease health management [J]. *Chin J Nurs*, 2023, 58 (9): 1063-1067. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2023.09.006.
- [24] XIAO K, HE Y. Adaptive AI agent systems for personalized learning: frameworks, algorithms, and practical applications in education [C]//2025 5th International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE). Suzhou, China: IEEE, 2025: 108-112. DOI: 10.1109/ICAIE64856.2025.11158641.
- [25] OZOLCER M, BAE S W. SePA: A search-enhanced predictive agent for personalized health coaching [EB/OL]. arXiv, 2025: 2509.04752. DOI: 10.48550/arXiv.2509.04752.
- [26] HU J, DONG T, GANG L, et al. PsycLLM: Enhancing LLM for Psychological Understanding and Evaluation [J]. arXiv preprint arXiv: 2407.05721, 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2407.05721.
- [27] KAMPMAN O P, PHANG Y S, HAN S, et al. A multi-agent dual dialogue system to support mental health care providers [EB/OL]. arXiv, 2024: 2411.18429. DOI: 10.48550/arXiv.2411.18429.
- [28] ABBAS A, WOHN C, HU D, et al. PITCH: designing agentic conversational support for planning and self-reflection [C]//Proceedings of the 7th ACM Conference on Conversational User Interfaces. Waterloo, Canada: ACM, 2025: 1-22. DOI: 10.1145/3719160.3736634.
- [29] AS'AD M. Intelligent tutoring systems, generative artificial intelligence (AI), and healthcare agents: a proof of concept and dual-layer approach [J]. *Cureus*, 2024, 16 (9): e69710. DOI: 10.7759/cureus.69710.
- [30] MORITZ M, TOPOL E, RAJPURKAR P. Coordinated AI agents for advancing healthcare [J]. *Nat Biomed Eng*, 2025, 9 (4): 432-438. DOI: 10.1038/s41551-025-01363-2.
- [31] SHAIK T, TAO X, LI L, et al. AI-driven multi-agent reinforcement learning framework for real-time monitoring of physiological signals in stress and depression contexts [J]. *Brain Inform*, 2025, 12 (1): 14. DOI: 10.1186/s40708-025-00262-1.
- [32] ADAMCZYK P G, HARPER S E, REITER A J, et al. Wearable sensing for understanding and influencing human movement in ecological contexts [J]. *Curr Opin Biomed Eng*, 2023, 28: 100492. DOI: 10.1016/j.cobme.2023.100492.
- [33] BEYER K B, WEBER K S, CORNISH B F, et al. NiMBaLWear analytics pipeline for wearable sensors: a modular, open-source platform for evaluating multiple domains of health and behaviour [J]. *BMC Digit Health*, 2024, 2 (1): 8. DOI: 10.1186/s44247-024-00062-3.
- [34] 张祎, 徐岚, 潘习, 等. 生态瞬时干预在健康行为促进中的应用进展 [J]. *护理学杂志*, 2024, 39 (2): 116-121. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2024.02.116.
- ZHANG Y, XU L, PAN X, et al. Application progress of ecological momentary intervention in health behavior promotion [J]. *J Nurs Sci*, 2024, 39 (2): 116-121. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2024.02.116.
- [35] HAAG D, KUMAR D, GRUBER S, et al. The last JITAI? exploring large language models for issuing just-in-time adaptive interventions: fostering physical activity in a prospective cardiac rehabilitation setting [C]//Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Yokohama Japan: ACM, 2025: 1-18. DOI: 10.1145/3706598.3713307.
- [36] JIMENEZ-ROMERO C, YEGENOGLU A, BLUM C. Multi-agent systems powered by large language models: applications in swarm intelligence [J]. *Front Artif Intell*, 2025, 8: 1593017. DOI: 10.3389/frai.2025.1593017.
- [37] HARIPRIYA R, KHARE N, PANDEY M. Privacy-preserving federated learning for collaborative medical data mining in multi-institutional settings [J]. *Sci Rep*, 2025, 15 (1): 12482. DOI: 10.1038/s41598-025-97565-4.
- [38] 姜春宇, 韩晓璐, 王超伦. 智能体技术演进: 场景分析、关键技术与发展趋势 [J/OL]. *大数据*, 2025: 1-12. [2025-09-19]. <https://doi.org/10.11959/j.issn.2096-0271.2026001>.
- JIANG C Y, HAN X L, WANG C L. Evolution of agent technology: scenario analysis, key technologies and development trends [J/OL]. *Big Data Res*, 2025: 1-12. [2025-09-19]. <https://doi.org/10.11959/j.issn.2096-0271.2026001>.
- [39] LI X, WANG S, ZENG S, et al. A survey on LLM-based multi-agent systems: workflow, infrastructure, and challenges [J]. *Vicinagearth*, 2024, 1 (1): 9. DOI: 10.1007/s44336-024-00009-2.
- [40] 项凤涛, 罗俊仁, 谷学强, 等. 群视角下的多智能体强化学习方法综述 [J]. *智能科学与技术学报*, 2023, 5 (3): 313-329. DOI: 10.11959/j.issn.2096-6652.2023.26.
- XIANG F T, LUO J R, GU X Q, et al. Survey on multi-agent reinforcement learning methods from the perspective of population [J]. *Chin J Intell Sci Technol*, 2023, 5 (3): 313-329.

(责任编辑: 洪悦民)