

人工智能教育视角下的教育元宇宙探索与思考



丰江帆*, 罗小波

重庆邮电大学计算机科学与技术学院, 重庆 400065

摘要: 人工智能是科学技术和经济发展的重要方向, 适应智能化社会需求的人才培养已成为一项紧迫而艰巨的任务。元宇宙作为一种模拟的全息环境, 集成了扩展现实、人工智能、区块链、数字孪生、脑机接口等新一代信息技术, 提供了无限的知识资源和实际应用场景, 是教育数字化转型的重要支撑, 对推动人工智能教育的发展具有巨大潜力。然而, 元宇宙在推动人工智能教育的过程中, 也带来了诸多挑战。要充分发掘教育元宇宙的潜能并控制潜在的风险, 需要综合多种技术和规则。为理清其概念和架构, 本文从人工智能教育的视角重新审视教育元宇宙的理论框架, 从概念体系、对人工智能教育的影响、案例分析、存在的问题与挑战等方面进行论述, 旨在为进一步认识教育元宇宙提供更为清晰、深入的解释。

关键词: 元宇宙; 人工智能; 专业教育; 虚拟化

DOI: [10.57237/j.jeit.2023.03.001](https://doi.org/10.57237/j.jeit.2023.03.001)

Exploration and Reflection on Education Metaverse from the Perspective of Artificial Intelligence Education

Feng Jiangfan*, Luo Xiaobo

School of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

Abstract: Artificial intelligence (AI) holds significant importance as a driving force behind scientific, technological, and economic advancement. The pressing and formidable task at hand is the cultivation of talent that can adapt to the demands of an intelligent society. The metaverse emerges as a simulated holographic environment, seamlessly integrating cutting-edge information technologies including augmented reality, AI, blockchain, digital twins, and brain-computer interfaces. This integration equips educators with limitless knowledge resources and practical application scenarios, providing crucial support for the digital transformation of education and presenting enormous potential for the advancement of AI education. Nonetheless, the metaverse also presents numerous challenges in the context of AI education development. Unleashing the potential of the education metaverse and managing associated risks necessitate

基金项目: 重庆市高等教育教学改革研究重点项目“基于数字化思政案例库的空间大数据智能核心课程群建设”(项目编号 201019S);
重庆邮电大学教育教学改革项目“空间信息技术类课程体系优化与教学内容改革研究和实践”(项目编号 XJG20202).

*通信作者: 丰江帆, fengjf@cqupt.edu.cn

收稿日期: 2023-08-07; 接受日期: 2023-09-14; 在线出版日期: 2023-09-19

<http://www.jeduit.com>

comprehensive integration of diverse technologies and regulations. To elucidate its conceptual framework, this paper critically examines the theoretical underpinnings of the education metaverse from the perspective of AI education. The examination encompasses discussions on the concept system, impact on AI education, case analyses, existing issues, and challenges. The overarching objective is to deliver a lucid, comprehensive analysis that fosters a deeper understanding of the education metaverse.

Keywords: Metaverse; Artificial Intelligence; Higher Education; Virtualization

1 前言

元宇宙概念起源于尼尔·斯蒂芬森于1992年发表的科幻小说《雪崩(Snow Crash)》[1]。2021年Facebook更名为Meta之后将元宇宙领域的开发和拓展作为最重要的业务,元宇宙才逐渐演变成热点。2021年12月,首届中国元宇宙峰会通过社交媒体进行了现场直播,正式宣告了亚洲元宇宙时代的开启。此后,全球范围内众多新兴科技初创企业纷纷投身于元宇宙平台和应用的开发。元宇宙的核心理念是构建一个沉浸式的互联网络,该理念在推动娱乐、电子商务和教育等领域快速发展和应用方面发挥了重要作用[2]。在教育领域,教育元宇宙已经被广泛应用于从基础教育到高等教育以及企业培训等各个环节。

元宇宙建立在包括扩展现实(XR)、5G、人工智能(AI)、数据处理等新兴技术基础上。其中,XR包括虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)以及社交媒体等[3]。同时,元宇宙也被认为是下一代的社交连接方式,它提供了一个由创建者定义规则的虚拟世界,人们可以在这个世界中“生活”。元宇宙可以是完全虚拟的,例如像虚拟现实系统那样完全虚拟的世界,也可以是部分虚拟的,例如在现实世界中使用增强现实。在元宇宙建构的虚拟空间中,人们可以参与社交活动,比如讨论问题、合作项目、玩游戏,并通过经验或问题求解过程来进行学习[4]。元宇宙中的伙伴或朋友可以是真实的人或虚拟角色[5]。此外,元宇宙中可以有各种各样的活动或事件,就像现实世界一样,例如经济活动、社会事件和自然灾害[6]。在这样的虚拟世界中,唯一的限制是人们的想象力。

从技术的角度讲,人工智能和元宇宙是相辅相成的关系,二者有机结合可以推动数字化世界的发展和创新。人工智能技术可以为元宇宙提供更加智能和个性化的体验,而元宇宙则为人工智能提供了更多实际应用的场景。例如,为了确保元宇宙建构的虚拟世界按照其创建者定义的规则运行,需要运用人工智能技

术。当元宇宙的用户之间存在冲突时,人工智能模块执行的一个功能是“仲裁”。例如,在基于元宇宙的游戏,很可能会出现竞争或战斗,因此需要进行仲裁,判断谁赢谁输以及确定后果。另一个可能由人工智能模块提供的功能是“模拟”。例如,当用户种植植物或养殖动物时,需要模拟功能来确定植物或动物随着时间的推移的状态。由人工智能技术提供的“模拟”功能更重要的用途是使非玩家角色(NPC)在元宇宙中表现得像人类一样。当然,人工智能模块还需要能够根据创建者预定义的规则做出决策,例如根据预定义的规则确定事件发生时的后果。

当前,人工智能是科学技术和经济发展的重要方向,智能化技术有可能触发新一轮经济增长甚至第四次产业革命。世界各国都制定了发展人工智能技术和产业的长期规划,在这些规划中,适应智能化社会需求的人才培养已被列为一项艰巨而紧迫的任务。为此,中国教育部、发改委、财政部于2020年联合提出深化人工智能内涵,构建综合型人才培养体系,探索深度融合的学科建设和人才培养模式,表明国家高度重视智能化人才培养。随着计算机技术、人工智能技术的发展,智能时代已经替代了信息化时代,使人工智能学科和专业人才在经济和社会发展中占有重要位置。但同时也要看到,人工智能技术面临着与其他行业的深度融合问题,人工智能教育也面临着传统教学模式的挑战。在智能时代的教育模式中,多元主体、多方联动、多措并举的趋势得到了发展。然而,各通识学科内容与智能类专业学科的交汇融合受到了限制,这制约了“智能+X”的发展和应用[7]。针对这一问题,元宇宙能够在人工智能教育中扮演着重要的角色。首先,元宇宙能够通过提供逼真的虚拟环境,让学生能够模拟真实场景进行学习和实践,比如虚拟实验室等。其次,通过沉浸式的学习体验,学生能够与虚拟对象和角色互动,从而激发他们的学习动机和兴趣。此外,

元宇宙还提供了跨地域教学平台，实现了远程教学和学习，使学生能够获得丰富的学习资源，并与不同地方的同学和教师进行互动和合作。

元宇宙作为一种模拟的全息环境，可以为学习者提供无限的知识资源和实际应用场景的体验。这意味着学习者可以在虚拟的空间中尝试各种复杂的知识技能，无论是解决数学难题还是进行科学实验，都能够尽可能地贴近真实情境。这对于推动人工智能教育的发展具有巨大潜力。然而，要充分发掘元宇宙的潜能并控制潜在的风险，需要进一步推动技术的发展，并将多种技术和规则进行综合整合。因此，本文从人工智能教育的视角重新审视教育元宇宙的理论框架，旨在理清相关概念，并进行更深入的探索与思考，为教育元宇宙的可持续发展提供参考。

2 元宇宙的相关概念分析

2.1 元宇宙与虚拟现实

有研究者将元宇宙与传统虚拟现实（VR）或增强现实（AR）区分开来[8]，并归因于其具备的“共享性”、“持久性”和“去中心化”三个关键特征。对于公众而言，“共享性”和“去中心化”易于理解，而“持久性”则较为抽象。学术界通常把“持久性”定义为存在于时间、空间和用户之外的元宇宙实体。换言之，持久性指的是虚拟世界的持续存在和发展，与个别用户的存在、行为和意志无关。此外，元宇宙的正常运作需要依赖人工智能技术，它按照创造者定义的规则来运行。因此，虚拟现实系统或增强现实系统可以作为元宇宙的组成部分，呈现虚拟内容。另外，为确保经济活动的安全性，保护个人财产和元宇宙中的合同免受他人的修改，采用了“去中心化”技术（例如区块链）。

因此，教育元宇宙与虚拟仿真实验教学的区别在于它们的虚拟化程度、用户参与度和交互性。虚拟仿真实验教学通过计算机模拟实验环境，提供比传统实验更多的灵活性和安全性，并允许学生进行实际操作和观察。然而，它受限于场景和设备性能的限制。相比之下，教育元宇宙以高度虚拟化的方式呈现学习环境，将学生从现实世界带入一个全新的虚拟世界。在元宇宙中，学生可以实时交流和合作，灵活地探索和创造内容。教育元宇宙通过身临其境的交互体验，提供更加沉浸和个性化的学习机会，同时增强学生的参与感和动机。综上所述，虚拟仿真实验教学注重提供

实验环境，而教育元宇宙则以虚拟化程度更高、用户参与度更大和交互性更强的方式呈现学习环境。两者各有优势，可以相互为补充以满足不同的学习需求。

2.2 设计思路

元宇宙能够提供的沉浸感之一是通过使用虚拟化身来实现的，人们可以通过一些新兴设备比如可穿戴设备来体验元宇宙。例如，扎克伯格将头戴式显示器（HMD）如 Oculus 称为“社交计算平台”。此外，除了虚拟现实（VR）和增强现实（AR），脑机接口（BCI）的进步也将进一步促进元宇宙的应用。BCI 是一种将脑信号翻译成计算机或其他机器可执行命令的设备；尽管 BCI 仍在发展中，但它对于有认知学习障碍的人群具有巨大的潜力。

沉浸式技术进一步推动了元宇宙技术和工具在教学中的广泛应用。在由扩招智能技术支持的元宇宙世界中，学生可以通过其虚拟角色与教师互动，创造一种沉浸式学习场景，增强学生的学习兴趣。例如，Syaev 等人[9]研究了在工业维修中使用元宇宙平台提升学习体验，用于飞机维修。González Crespo 等人[10]分析了教育虚拟环境应用，以及在元宇宙中使用 OpenSim 进行自由课程的知识传播。Saundarajan 等人[11]研究了用于数学教学的 AR 移动学习应用 Photomath，并通过实验结果验证了 AR 对数学教学的促进作用。此外，Park 和 Kim [12]确定了 Edu-Metaverse 中的不同世界类型，包括生存、迷宫、多重选择、跳跃和逃生等。

2.3 教育元宇宙应用平台

目前，在虚拟现实和增强现实领域涌现出了许多商用平台和应用系统。随着元宇宙的进一步发展，教育领域也将迎来一场变革，虚拟现实和增强现实技术在教育领域已有诸多成功应用。而元宇宙作为更高级别的虚拟世界，将为学生和教育工作者带来更广阔的可能性。在国内，一些创新的教育平台已经开始利用元宇宙进行教学实践。例如，“好未来”公司推出的基于元宇宙的虚拟实验室，可以让学生在家中进行实验操作。通过虚拟技术，学生们可以身临其境地进行实验，观察和分析现象，从而提高实验操作的趣味性和实用性。类似地，国外的平台如 Roblox 和 Minecraft 也已经通过创建虚拟教室和模拟实验等手段，将教育引入到元宇宙。这些平台不仅提供了一个虚拟的学习场景，还鼓励学生积极参与其中，通过与其他学生合作解决

问题, 培养团队合作和创新思维能力。此外, 哈佛大学、斯坦福大学等高校也开始开设线上课程, 节点不限, 灵活性极高。通过与元宇宙相结合, 学生可以通过虚拟形象身体力行地参与到课程中, 与教师和其他学生进行实时互动[13]。

无论是虚拟实验室, 虚拟教室, 还是个性化的学习环境, 都可以帮助学生更好地参与学习, 增强对知识的理解和掌握能力。此外, 元宇宙教育还能够为教师提供更多创新教学的机会, 推动教学方法的创新和研究。例如在人工智能教育方面, 一个完整的智能计算系统涉及芯片、系统结构、编程环境、软件等諸多方面, 内容十分庞杂, 利用教育元宇宙平台能够以的智能应用为牵引, 使学生对智能系统的各层软硬件的技术和相互联系进行形象的体验, 达到举一反三、触类旁通的效果。

3 教育元宇宙对人工智能教育的影响

3.1 对教学模式的影响

尽管“以学生为中心”的教育模式已经被广泛接受, 但由于资源有限和应试压力等原因, 目前仍然是以教师为中心的教育模式占据主导。在教育元宇宙中, 通过技术和服务的驱动力能够有效地推动“以学生为中心”的教育模式变革。在技术驱动方面, 教育元宇宙将扩展现实、数字孪生和人工智能等技术与教育活动全面融合, 提供强大的交互服务、虚拟环境构建、个性化课件制作以及大数据智能分析能力, 从而实现了“以学生为中心”的教育实践。例如, 教育元宇宙能够创建逼真的虚拟场景, 支持跨时间和跨空间的场景式教学。学生可以根据自己的兴趣选择不同的虚拟教学场景, 并自由浏览、探索和重置由数字技术生成的虚拟教学工具[14]。同时, 教育元宇宙可以记录和智能分析每个学生的学习情况, 及时发现学生的兴趣点和知识薄弱点, 并提供相应的课程提示或自动调整[15]。

而在服务驱动方面, 教育元宇宙通过运用大数据、人工智能和人工智能生成内容 (AIGC) 等技术, 全面提升了多维数据分析、智慧教育和教育资源生成等服务的能力, 更好地支持“以学生为中心”的教育理念。例如, 教育元宇宙可以记录学生的学习进度、题目解答

过程、实验操作以及操作方式等数据, 并基于多维的大数据分析准确识别学生的优势和特长, 因材施教, 实现个性化和精准化的差异化教育。此外, 教育元宇宙还可以为学生提供虚拟同伴、实验伙伴、学习助手等智能陪伴服务, 以支持以学生掌握知识为中心的教学活动。并且, 它还能生成大量新颖且针对性极强的教学内容资源, 满足不同地区、不同文化背景和不同类型学习者的需求。

3.2 对教学交互方式的影响

教育元宇宙是一种具备虚拟仿真、自由交互和时间持久性等技术特征的教育模式。它创造了各种新型的数字孪生、数字原生、虚实联动的教育服务场景, 并使学生能够通过视觉、听觉、触觉和嗅觉等多种感官进行直观感受和交互操作。教育元宇宙以其独特的特点为学生带来了前所未有的学习体验。首先, 通过数字建模和科学可视化技术, 把难以理解的理论教学具象化, 帮助学生更好地理解知识。通过虚拟世界中的智能算法的可视化展示, 学生能够深刻理解复杂的理论知识。其次, 教育元宇宙构建了高度沉浸感的教学场景, 结合数字孪生和混合现实技术, 将虚拟数字画面与现实世界相融合。例如, 在城市规划课程中进行交互设计, 在测绘课程中进行教室空天地一体化数据采集等活动, 增强了学生对课程的兴趣和参与度。教育元宇宙还推动了学生参与现实世界难以实施的实验, 通过游戏引擎和人工智能技术, 将危险的物理和化学实验移植到虚拟世界中, 如雷电实验和危化品稳定性测试等。此外, 教育元宇宙提供智能化的学习服务, 通过人工智能、自然语言处理和机器人等技术, 为学生提供个性化的学习辅助服务。学生可以通过智能化学习助手制定学习计划、获取教育资源, 并监督和检查学习的完成情况。最后, 通过区块链和数字身份技术, 学生的学习进度可以随时保存, 并在虚拟世界中进行学习。这样, 学生可以多次尝试和更新自己的学习成果, 甚至支持实现终身教育的目标。学生可以在虚拟世界中反复尝试考试过程, 不断提升自己的学习成果。

3.3 对教学角色的影响

技术的进步不仅有助于提升体验的真实感, 还将增加大量有意义的教育内容。在传统教学中, 教师需要自己完成课件, 并回答学生的问题, 并对结果进行

解释。然而，随着人工智能及生成式人工智能技术的发展，教育元宇宙中的人工智能系统可以代替教师完成这些任务，并以数字人的形态呈现，甚至提供更高质量的问题解答。此外，教育元宇宙中的教育活动以学生为中心，教师的角色由传统的知识传播者转变为引导者，观察学生进展并引导他们进入适宜的教学场景。同时，学生也从被动的知识接收者转变为主动的学习者，能够自主选择课程和进度。此外，教育元宇宙中将出现大量的数字人，有的充当教师的角色，讲解、演示实验案例等，有的成为学生的协作伙伴和助手。专业的资源制作者设计制作丰富的教育内容和虚拟教学场景，利用计算机网络、数字孪生和人工智能等技术，甚至融入各种激励机制。随着教师角色的改变，教学方法和学生评价也将发生重大变革。个性化、精准化和智能化的教学方法将成为主要趋势，教育元宇宙能够根据学生的学习状态制定个性化学习方案。同时，全面、实用和智能的学生评价方法将取得重要地位，教师结合教育元宇宙服务提供的评价，能够为

学生进行客观全面的综合素质评价。

4 典型案例分析

面向人工智能教育，元宇宙环境下的医院动态疏散综合实验案例可以作为一个典型的应用案例，帮助学生理解和应用智能算法和强化学习在实际场景中的作用，基本思路如图 1 所示。假设在每个室内空间和走廊安置摄像头或其他传感器，并利用物联网（IoT）技术，获取建筑物内人员的具体分布情况。进一步地，结合烟雾传感器等非视觉传感器获得的信息，智能算法可以分析路径可达性。此外，通过远程连接云服务器和数据库，可以识别每个个体，检查疏散人数以确保模型的准确性。需要注意的是，人与人之间的社交关系也会影响逃生者的路径选择。在灾难发生时，一些人可能会优先选择与亲人或朋友汇合，而不是按照指导进行疏散。

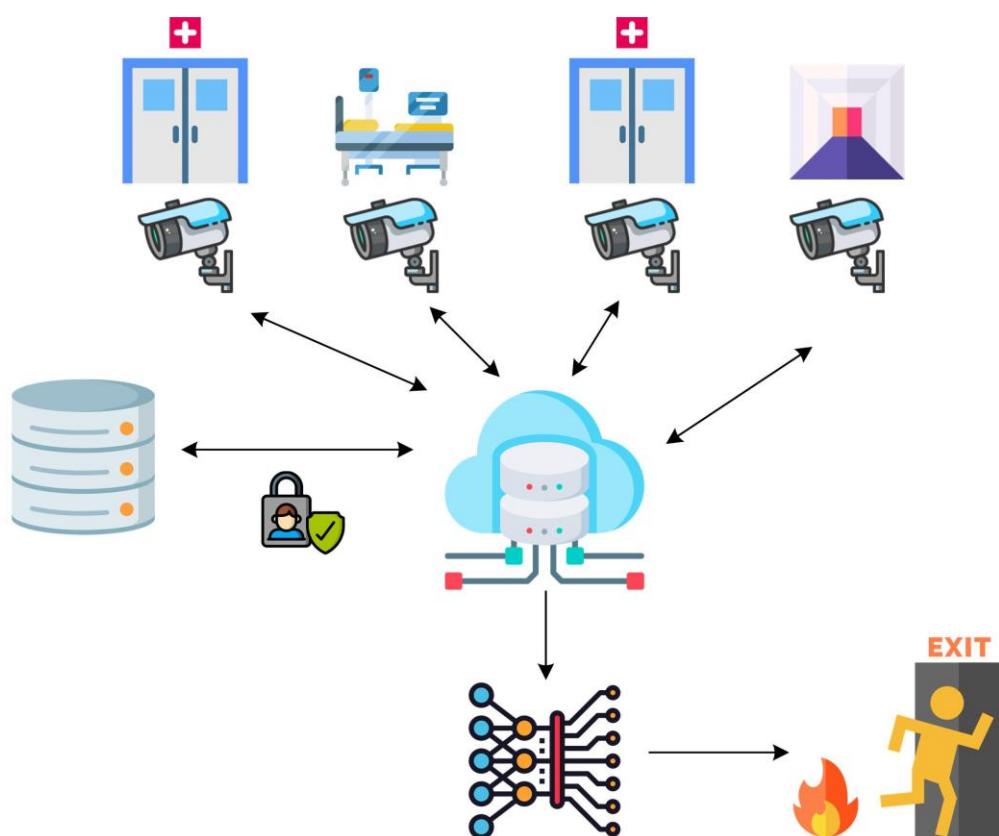


图 1 元宇宙环境下医院动态疏散智能算法实验基本思路

采集到的数据被提交到云服务器进行分析，生成一系列场景布局和其他模型参数。应急疏散系统以这

些参数作为输入，并使用强化学习算法自动学习和训练模型，以找出最优的路径规划策略。最终得到一个

疏散模型,反映了在当前建筑布局和人员分布下如何以最高效率地引导人群到达安全出口。对于强化学习算法而言,通常需要一个模拟环境来模拟真实的物理世界,这与元宇宙的概念相匹配。进一步地,在多智能体系统中,每个参与者都有自己的意图,并希望优化自己的利益。因此,在多智能体交互场景下,构建一个高效、公平和安全的社会结构需要借助元宇宙的概念和技术。

如上所述,通过设计和实现相关算法,学生可以学习如何建立传感器网络、数据收集和分析、模型训练和优化等方面的知识和技能。此外,他们还需要考虑数据的准确性、传感器的可靠性以及系统的稳定性与扩展性等实际问题,并制定相应的策略和规则来引导人员在紧急情况下做出正确的决策和行动。这样的实践性教学可以培养学生的问题解决能力和创新思维,为他们将来在人工智能领域的职业发展打下坚实的基础。

5 教育元宇宙的问题与挑战

教育元宇宙面临的挑战不仅仅涉及技术和基础设施方面,还涉及诸多伦理问题。特别是技术伦理问题如隐私保护、公平性和知识产权保护等。目前,当人们仍在致力于弥合“数字鸿沟”时,可能面临一个新的“元宇宙鸿沟”。首先是隐私保护问题。在教育元宇宙环境中,学习者必须共享自己的个人信息、行为和学习数据,这些数据的隐私保护应予以优先考虑。开发者和教育用户应该确保制定并实施严格的隐私政策,以确保学习者的个人信息不会受到滥用或泄露。其次,公平性也是一个重要的问题。在教育元宇宙中,不同学习者之间可能存在技术访问及使用的不平等。例如部分学习者可能无法访问或使用必要的硬件和软件设备。为了解决这个问题,应该提供公平的技术和资源支持,确保所有学习者都能够平等地参与到教育元宇宙环境中。此外,知识产权问题也是需要重视的。在元宇宙环境中,学习者可能会使用和共享各种知识和内容。为确保知识产权的合法保护,防止未经授权的使用和侵权行为是必要的,应该制定适当的政策和制度来保护知识产权,并为学习者提供学习和遵守相关法律和道德规范的指导。

总之,在发展教育元宇宙的同时,应该重视教育元宇宙环境所面临的伦理问题,多方协同并采取相应措施来预防和解决与不平等和分歧相关的问题,以确

保这一新兴教育领域的可持续和公平发展。

6 总结

推动人工智能教育发展是当前中国高等教育的重要任务。元宇宙作为虚拟全息世界,带来了无尽的学习资源和实践场景,催生了人工智能教育的普及化。虚拟现实技术可提供身临其境的学习体验,让学生亲身参与实践活动,通过沉浸式学习提升理解技能。增强现实则将虚拟元素与真实世界融合,创造出与现实互动的学习场景,使学生能在真实环境中进行实际操作和实验。另外,教育元宇宙需要整合各种人工智能技术,提供个性化和智能化的学习服务。人工智能通过分析学生的数据和行为,为他们提供针对性的学习建议和指导。同时,人工智能可以模拟人类教师的角色,实现自动化教学和评估,提高学习效率和个性化程度。

然而,要充分发挥元宇宙的潜力并限制其潜在弊端,需要进一步的技术发展,并辅以规则的约束。为保障教育元宇宙的安全和可信度,还需制定相关技术和规则。首先,确立数据隐私保护机制,防止学生个人信息被滥用或泄露。其次,建立严格的内容审核和管理制度,确保教育元宇宙的学习资源和活动符合教育准则和伦理。最后,制定普适的技术标准和互操作规范,保证不同教育元宇宙间的数据和功能兼容和互通。总之,通过技术发展和综合整合,教育元宇宙将得到健康发展,为人工智能教育提供广阔发展空间。然而,多方的积极参与和合作是不可或缺的。只有共同努力,才能更好地利用元宇宙潜力,推动人工智能教育迈向更高水平。

参考文献

- [1] Stephenson N. Snow crash [M]. New York: Bantam Books, 1992: 63.
- [2] S. Mystakidis. Metaverse [J]. Encyclopedia. 2022, 2(1): 486-497.
- [3] Guo H, Gao W. Metaverse-powered experiential situational English-teaching design: An emotion-based analysis method [J]. Front. Psychol. 2022(13).
- [4] Jovanović A, Milosavljević A. VoRtex metaverse platform for gamified collaborative learning [J]. Electronics. 2022, 11(3): 317.

[5] Park SM, Kim YG. A metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges [J]. IEEE Access. 2022, 10: 4209-4251.

[6] Díaz J, Saldaña C, Avila C. Virtual world as a resource for hybrid education [J]. Int. J. Emerg. Technol. Learn. (iJET). 2020, 15(15): 94-109.

[7] 胡纯蓉, 廖翠姣, 刘强等. 人工智能专业教育的教学模式探讨 [J]. 计算机教育, 2021(11): 67-71. DOI: 10.16512/j.cnki.jsjjy.2021.11.016.

[8] Min T, Cai W. Portrait of decentralized application users: An overview based on large-scale ethereum data [J]. CCF Trans. Pervasive Comp. Interact. 2022, 4(1): 124-141.

[9] Siyaev A, Jo G-S. Towards aircraft maintenance metaverse using speech interactions with virtual objects in mixed reality [J]. Sensors. 2021, 21(6).

[10] Crespo RG, Escobar RF, Aguilar LJ, Velazco S, Sanz AGC. Use of ARIMA mathematical analysis to model the implementation of expert system courses by means of free software OpenSim and Sloodle platforms in virtual university campuses [J]. Expert Syst. Appl. 2013, 40(18): 7381-7390.

[11] Saundarajan K, Osman S, Kumar JA, Daud MF, Abu MS, Pairan MR. Learning algebra using augmented reality: A preliminary investigation on the application of photomath for lower secondary education [J]. Int. J. Emerg. Technol. Learn. 2020, 15(16): 123-133.

[12] S. Park, S. Kim. Identifying world types to deliver gameful experiences for sustainable learning in the metaverse [J]. Sustainability. 2022, 14(3).

[13] Tianyu Shen, Shi-Sheng Huang, Deqi Li, Zhiyuan Lu, Fei-Yue Wang, Hua Huang. VirtualClassroom: A Lecturer-Centered Consumer-Grade Immersive Teaching System in Cyber-Physical-Social Space [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2023, 53(6): 3501-3513.

[14] European Student Union. Overview on Student- Centered Learning in Higher Education in EUROP [EB/OL]. <https://esu-online.org/publications/overview-on-student-centred-learning-in-higher-education-in-europe/>, 2015-05-11.

[15] 杨宗凯. 高等教育数字化转型的路径探析 [J]. 中国高教研究, 2023, 355(3): 1-4.