



# 计算机科学

COMPUTER SCIENCE

## 元宇宙技术发展与应用综述

曹明伟, 张迪, 彭圣洁, 李宁, 赵海峰

### 引用本文

曹明伟, 张迪, 彭圣洁, 李宁, 赵海峰. 元宇宙技术发展与应用综述[J]. 计算机科学, 2025, 52(3): 4-16.

CAO Mingwei, ZHANG Di, PENG Shengjie, LI Ning, ZHAO Haifeng. [Survey of Metaverse Technology Development and Applications](#) [J]. Computer Science, 2025, 52(3): 4-16.

---

## 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)

### [LpDepth:基于拉普拉斯金字塔的自监督单目深度估计](#)

LpDepth:Self-supervised Monocular Depth Estimation Based on Laplace Pyramid

计算机科学, 2025, 52(3): 33-40. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240800069>

### [元宇宙中三维场景重建技术综述](#)

Survey on 3D Scene Reconstruction Techniques in Metaverse

计算机科学, 2025, 52(3): 17-32. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.241000043>

### [三维视觉与元宇宙专题论文点评](#)

计算机科学, 2025, 52(3): 1-3. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.qy20250301>

### [元宇宙关键技术、研究进展与应用综述](#)

Review of Key Technologies, Research Progress and Applications of Metaverse

计算机科学, 2024, 51(12): 2-11. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.240400166>

### [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>

# 元宇宙技术发展与应用综述

曹明伟 张迪 彭圣洁 李宁 赵海峰

安徽大学计算机科学与技术学院 合肥 230601

(cmwqq2008@163.com)

**摘要** 元宇宙是一个结合了虚拟现实、增强现实、人工智能和互联网技术的虚拟世界,它不仅提供了一个数字化的沉浸式环境,还代表着一种新的社会互动和经济模式。随着一些科技巨头和创新企业的积极投入,元宇宙的快速发展在多个领域引起了广泛关注。着眼于元宇宙的起源、技术基础、当前应用以及对社会和经济的影响,探讨了其面临的隐私和安全问题,并展望了未来的发展方向。通过对元宇宙的多个方面进行深入分析,以期为理解和探索这一复杂前沿领域提供全面的理论框架,并为未来进一步对其进行研究和实践提供参考。

**关键词:** 元宇宙; 虚拟世界; 应用技术; 隐私安全; 未来发展

**中图分类号** TP391.41

## Survey of Metaverse Technology Development and Applications

CAO Mingwei, ZHANG Di, PENG Shengjie, LI Ning and ZHAO Haifeng

School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China

**Abstract** The metaverse is a virtual world that integrates virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, and internet technologies, offering not only a digital immersive environment but also a new paradigm for social interaction and economic activity. With the active investment of technology giants and innovative companies, the rapid development of the metaverse has garnered widespread attention across various fields. This paper reviews the origins, technological foundations, current applications, and socio-economic impacts of the metaverse, while also examining the privacy and security challenges it faces. By providing a comprehensive analysis of different aspects of the metaverse, this paper aims to offer a framework for understanding and exploring this complex frontier and to serve as a reference for future research and practice.

**Keywords** Metaverse, Virtual world, Application technology, Privacy and security, Future development

### 1 引言

元宇宙 (Metaverse) 作为一个结合了虚拟现实 (Virtual Reality, VR)、增强现实 (Augmented Reality, AR) 以及互联网等多种先进技术的虚拟世界概念,描绘了一个融合现实与数字世界的全新社会和经济系统。近年来,元宇宙引起了广泛的关注和讨论,它是一个由数字技术创建的虚拟环境,用户可以在其中通过虚拟身份进行互动、交流、娱乐、工作和其他活动。元宇宙不仅是一个虚拟世界,还代表了一种新的社会形态,许多科技公司和研究机构都在积极布局这一前沿领域,其具有广泛的应用前景和深远的影响。Duan 等<sup>[1]</sup>在其研究中表明,众多创新型企业在元宇宙中投入大量资源,致力于元宇宙相关技术和平台的开发,力图在这一新兴领域中占据领先地位。例如,Facebook 在 2021 年正式更名为 Meta,标志着其转型为一家专注于构建元宇宙的公司;旗下的 Oculus

VR 设备为其元宇宙战略提供了硬件支持,并推出了“Horizon Worlds”这样的虚拟社交平台,允许用户在虚拟空间中创建和参与各种活动。Microsoft 在 2021 年推出了 Microsoft Mesh 平台,允许用户通过虚拟和增强现实技术进行跨平台的沉浸式协作。Mesh 平台通过结合微软的云计算服务平台 (Azure),为用户提供虚拟会议、远程协作和混合现实体验。尽管 Google 没有如 Meta 那般大规模推广元宇宙概念,但其在 AR 和人工智能领域的研究为元宇宙奠定了基础。Epic Games 宣布计划投入十亿美元用于推动元宇宙的发展,并与其他公司合作打造一个开放、互操作的元宇宙生态系统。元宇宙不仅是科技进步的展示,更代表了未来数字经济和社会互动的新模式。随着这些企业的持续投入,元宇宙将继续演化,成为未来社会不可或缺的一部分。

2021 年被称为“元宇宙元年”,标志着元宇宙从科幻概念走向现实应用。虚拟现实和增强现实技术在不断发展,相关

到稿日期:2024-10-21 返修日期:2025-01-21

基金项目:安徽省高校科研项目(2024AH050045);国家自然科学基金(62372153,62076005)

This work was supported by the Anhui Province University Research Project(2024AH050045) and National Natural Science Foundation of China (62372153,62076005).

通信作者:李宁(ln@stu.ahu.edu.cn)

领域的研究显示,这些技术已成为元宇宙沉浸式体验的核心支柱。VR与AR技术不仅为用户提供了视觉、听觉等多感官的沉浸体验,还通过改进的交互技术让用户与虚拟环境中的角色和物体实现了高度真实的互动。2021年Meta公司推出了更为轻便、性能更高的VR头显设备(Oculus),这标志着虚拟现实设备的技术瓶颈逐渐突破,进而推动了元宇宙的体验升级。区块链技术通过去中心化的方式,确保了虚拟资产的唯一性和安全性。区块链技术的发展不仅推动了虚拟艺术品、虚拟地产的交易,还为虚拟经济在元宇宙中的可持续发展奠定了基础。虚拟音乐会、虚拟演出等活动的流行,使得文化创作与虚拟空间的结合成为一种趋势。

图1展示了元宇宙的一些典型应用场景。元宇宙不仅代表当前科技发展的新趋势,还代表了一种新的社会互动和经济模式。通过提供一个沉浸式、持续存在的虚拟空间,元宇宙有望改变人们的社交、工作、娱乐和教育方式。用户可以在元宇宙中创建和定制虚拟身份,参与虚拟经济,购买和交易数字资产,这些活动的范围和深度远超出当前互联网体验的范畴。然而,元宇宙的快速发展也带来了诸多挑战和风险。首先,技术限制仍然是元宇宙大规模应用的主要瓶颈。尽管虚拟现实和增强现实技术已经取得了显著进展,但要实现大规模、无缝的虚拟世界体验,仍需解决计算能力、带宽需求以及硬件设备普及的问题。其次,隐私和数据安全问题在元宇宙中更加突出。用户在虚拟世界中的行为、交易和身份信息可能面临黑客攻击、数据泄露等安全威胁,如何保护用户隐私和确保数据安全是亟待解决的重要课题。再次,法律与伦理问题也是元宇宙发展中的重大挑战。由于元宇宙虚拟世界的去中心化和跨国界特性,传统的法律体系和监管机制可能无法有效适用于这一新兴领域,如何在虚拟世界中保护用户权益、规范经济活动、解决纠纷等问题仍需要深入研究。元宇宙的构建和发展是当今数字智能技术积累与创新的集中体现,它的潜力不仅在于技术上的突破,还在于对人类社会未来生活方式的深刻变革。未来的研究和实践需要在技术发展与社会应用之间找到平衡,既要推动技术创新,又要考虑社会责任,确保元宇宙的发展能够带来广泛的社会效益并应对可能的风险与挑战。

元宇宙应用领域

自动化;  
制造业;  
人员培训;  
教育;  
游戏;  
远程医疗;  
旅游;  
房地产等。

例:顾客在购买前  
试用服装或珠宝;  
提前查看家具在房  
间中的摆放效果;  
虚拟家庭影院等。



图1 元宇宙的应用场景<sup>[2]</sup>

Fig. 1 Application scenes for metaverse<sup>[2]</sup>

本文首先介绍元宇宙的历史背景和概念定义,然后探讨其技术基础和主要应用平台,分析元宇宙对社会和经济的潜在影响,以及面临的隐私和安全问题。目前关于元宇宙的相关综述研究仅总结了相关技术的发展与趋势,并未深入分析

这些技术的实际应用场景。与此不同,本文结合一些元宇宙的真实案例,着重强调各种技术可实现的应用场景,并深入探讨在实现过程中所面临的挑战。最后,全面综述元宇宙的起源、技术基础及其应用场景、社会与经济影响,以及未来的发展趋势与挑战。通过回顾相关文献与研究,希望为理解与探索元宇宙这一复杂且前沿的领域提供一个更加全面的框架,并为未来的研究和实践提供有益的参考。

## 2 元宇宙概述

### 2.1 元宇宙的概念

元宇宙作为一个新兴的虚拟世界概念,最具有代表性的定义是:“元宇宙”是一个平行世界,是独立于现实世界的虚拟空间,是映射现实世界的在线虚拟世界,是越来越真实的数字虚拟世界。元宇宙在技术、社会和经济等多个领域引起了广泛关注和深入讨论。尽管元宇宙的概念尚无统一的定义,但学术界和社会对其有不同的理解和阐述。

Meta公司创始人扎克伯格将元宇宙描述为一种“具象化的互联网”,在一个3D虚拟空间中,用户可以通过虚拟现实设备进入其中,体验比传统社交媒体更为丰富的互动方式。元宇宙领域的著名作者Matthew Ball认为,元宇宙不仅仅是一个或几个虚拟空间的组合,而是一个广泛的生态系统,其中包含多个相互连接的虚拟环境。Epic Games创始人兼首席执行官Tim Sweeney将元宇宙定义为一个没有边界的虚拟世界网络,用户可以在这个世界中自由探索和创造,任何人都可以参与其中,共同构建一个共享的虚拟空间。Meta公司元宇宙内容副总裁Jason Rubin将元宇宙视为一个虚拟的经济体,用户可以在其中创建、共享和交易各种数字资产,如虚拟物品、虚拟房地产和虚拟货币等。Second Life创始人Philip Rosedale表明,元宇宙不仅是一个虚拟环境,还代表了一种新型的社会结构。在这个结构中,用户不仅是消费者,还是创造者,他们的行为、创造和互动将塑造这个虚拟世界的规则和文化。国外著名科学家Jaron Lanier认为<sup>[3]</sup>元宇宙作为一个开放的基础技术平台,其重要性在于用户在其中扮演了核心角色,用户通过创造场景内容,并与之进行交互,促进元宇宙技术的不断演化和发展。

科学家们对元宇宙的认识提供了多维度的视角,涵盖了技术、社会、经济和哲学等方面。虽然他们的观点各不相同,但都强调了元宇宙作为一个新兴虚拟生态系统的巨大潜力和面临的挑战,为理解和探索元宇宙提供了重要参考和启示。

### 2.2 元宇宙的起源

“元宇宙”一词最早来源于科幻文学。Neal Stephenson在1992年出版的小说*Snow Crash*中首次提出了“Metaverse”一词,描述了一个由计算机生成的虚拟的、沉浸式的数字世界<sup>[4]</sup>。在这个世界中,用户可使用虚拟身份进行互动。William Gibson在1984年的小说*Neuromancer*中也描述了一个类似的虚拟现实世界,尽管他没有使用“元宇宙”这个术语。许多电影和电视剧也探讨了类似元宇宙的虚拟现实概念。影片*The Matrix*(1999年)展示了一个完全沉浸式的虚拟世界,人类被连接到一个虚拟现实系统中,而现实世界只是

一个模拟。*Ready Player One* (2018年)则描绘了一个名为“OASIS”的虚拟世界,用户可以在其中探索、游戏和社交,这与现代元宇宙的概念非常契合。

元宇宙的概念也为后续虚拟游戏的发展以及其他艺术作品中元宇宙的畅想提供了重要的启发。2003年推出的*Second Life*是一个早期的虚拟世界平台,用户可以在其中创建虚拟身份,建造虚拟财产,进行社交和商业活动。这一平台展示了用户生成内容和虚拟经济的潜力,被视为元宇宙的早期雏形之一,之后更是开启了虚拟世界在线游戏的新潮流,例如*World of Warcraft*和*Final Fantasy XIV*等大型多人在线角色扮演游戏为元宇宙概念的构建提供了重要支撑。这些游戏允许数百万玩家在同一个虚拟世界中互动、合作和竞争,展示了元宇宙在社交互动方面的巨大潜力。

2021年3月,游戏公司Roblox在一本29年前出版的科幻小说里找到了概念“Metaverse”,并写到了自家招股书中,成为了“元宇宙第一股”<sup>[5]</sup>。上市当日,市值达到了383亿美元,暴涨了10倍。2021年8月,字节跳动斥巨资收购了VR创业公司Pico。2021年11月,微软发布Mesh for Microsoft Teams,允许用户通过虚拟形象参与会议并体验沉浸式虚拟工作空间。2021年11月,韩国率先成立了元宇宙协会,并推出了一系列发展政策。2024年以来,北京、上海和合肥等地也出台了元宇宙发展政策和规划。

由此可见,元宇宙的爆火是技术进步、社会和文化变化、商业和经济动因以及创新生态系统共同作用的结果。随着人工智能、5G、大数据等新一代信息技术的出现,元宇宙正在迅速发展,覆盖多个应用领域,吸引了大量投资和用户。然而,随着元宇宙的不断扩展和深入,技术、隐私、安全和法律等方面的问题也需要得到充分关注和解决。

## 2.3 元宇宙的特征

### 2.3.1 沉浸性和互动性

沉浸性指的是用户在元宇宙中所体验到的逼真感和存在感。沉浸性使用户感觉自己真正置身于一个虚拟的环境中。Kofoed-Ottesen<sup>[6]</sup>认为通过虚拟现实和增强现实技术,用户可以感觉到自己真正身处一个虚拟世界,周围的景象、声音以及触觉反馈都与现实极为相似。这种混合现实的体验增强了虚拟世界的沉浸感,使得元宇宙的虚拟元素和现实世界无缝融合。元宇宙的沉浸性不仅限于视觉和听觉,还包括其他感官的体验。例如,通过嗅觉发生器,用户可以在虚拟环境中闻到花香、咖啡味等,这种多感官的融合进一步增强了虚拟环境的真实感和沉浸感。

互动性指的是用户在虚拟环境中可以自由地与其他用户、虚拟对象和环境进行交互,主要指用户与用户、虚拟环境、虚拟对象、虚拟经济等的互动。这些互动不仅丰富了用户的体验,还可以激发用户的创造力和探索欲望,使得元宇宙更具吸引力,同时增加了其现实意义和实用性。

元宇宙的沉浸性和互动性是其吸引力的关键所在。沉浸性使得用户能够全身心地投入到虚拟环境中,体验到逼真的感官刺激和存在感;互动性则使得用户能够在虚拟环境中进行多种形式的交流、合作和创造。

### 2.3.2 持久性和共享性

持久性指的是元宇宙中的虚拟环境和内容具有持续存在的特性。虚拟环境是持续存在的,无论用户是否在线。例如,虚拟世界中的天气变化、时间流逝、经济活动等都能够保持连续性和一致性;元宇宙中的用户生成内容,如虚拟物品、建筑、艺术作品等,也具备持久性。这意味着用户在元宇宙中的行为和互动会产生长期的影响,虚拟世界中的状态和事件不会因为用户的离开而停止或重置。

共享性指的是元宇宙中的虚拟环境和内容是多个用户共同参与和体验的,用户可以在同一个虚拟空间中进行互动和交流。共享性体现在用户可以在同一个虚拟空间中进行实时的同步互动。无论是虚拟会议、多人游戏、虚拟演唱会,还是其他社交活动,用户都可以与其他用户共享同一个虚拟环境,并实时交流和互动。共享性还体现在其跨平台和互操作性的特性上。用户可以在不同的设备和平台上访问元宇宙,并在其中进行互动和交流。

元宇宙的持久性和共享性使得元宇宙成为一个能够长期存在和不断发展的数字生态系统。持久性确保了元宇宙中用户的数据、创作和资产永久保存,增强了用户的归属感和投入度。共享性则为用户提供了一个多人集体创作和协同建设的平台,使得元宇宙成为一个真正的社交和经济系统。

### 2.3.3 去中心化和开放性

去中心化是指元宇宙的架构和运营模式不依赖于单一的中心化实体或平台,而是由多个分布式节点或参与者共同管理和控制。去中心化首先体现在其分布式架构上。与传统的中心化平台不同,元宇宙使用区块链技术和去中心化网络来管理虚拟世界的运行和数据存储,确保数据的安全性和透明性,防止单点故障和数据篡改。用户可以自由创建、分享和交易内容,可以自由参与虚拟经济活动,如购买和销售虚拟物品、虚拟房地产,甚至发行自己的虚拟货币。

开放性指的是元宇宙的虚拟世界是一个开放的生态系统,任何人都可以自由进入、参与和贡献。这首先体现在对用户的开放访问权限上。任何人都可以通过互联网访问元宇宙;其次体现在其跨平台互操作性上,用户可以在不同的设备和平台上访问元宇宙,并在不同的虚拟世界中无缝移动和互动。元宇宙允许开发者创建和发布自己的虚拟世界、应用程序和内容。例如,开发者可以使用开放的应用程序编程接口(Application Programming Interfaces, API)、软件开发工具包(Software Development Kits, SDK)和其他开发工具来构建和扩展元宇宙的功能。开放性确保了元宇宙的多样性和包容性,使得用户能够在一个开放的平台上自由探索和互动。

元宇宙的去中心化和开放性是其作为新型数字生态系统的关键特征,且这两个特征相辅相成。去中心化使用户对自己的数据拥有完全控制权,减少了对中心化机构的依赖,确保了数据的安全性和透明性。开放性使得用户体验更加个性化和自由,让更多创作者和开发者参与建设。

## 2.4 国内外研究现状

为全面和准确地分析国内外元宇宙的相关研究概况,分别以“Web of Science”核心数据库、中文社会科学引文索引CSSCI子数据库为国内外文献来源,并借助“CiteSpace 6.3.1”

软件进行文献可视化分析<sup>[7]</sup>。2024年9月25日,设置时间区间为“2010年1月1日至2024年9月25日”,在中国知网CSSCI子数据库中以“SU=元宇宙 OR SU=虚拟世界”为检索式搜集得到1648篇相关中文文献;在“Web of Science”核心数据库中以“(TI=(Metaverse)) OR TI=(Virtual World) AND 论文(文献类型)”为检索式搜集得到1962篇相关外文文献。

2.4.1 国内外相关文献数量对比

图2展示了2010至2024年间国内外元宇宙相关文献发表数量的趋势变化。整体来看,2010至2021年国内外文献发表数量都趋于稳定,且外文文献明显多于中文文献,但总体发文量都偏少。从2021年开始,受“元宇宙元年”的影响,元宇宙相关话题开始火爆起来,国内外相关发文量都显著增加,并且中文文献数量略高于外文文献数量。然而,由于元宇宙本身的相关技术并不成熟,未来的发展仍然充满不确定性。随着元宇宙话题热度的降低,大量研究的投资与实际反馈之间出现不成正比的情况,导致许多研究机构可能减少了对元宇宙的投入。目前来说,用户的需求仍相对有限,相关内容创作和应用场景也较少。同时,伴随着生成式AI、大模型的兴起,人们对元宇宙的关注度有所下降,这可能是2023至2024年间相关研究减少的原因。

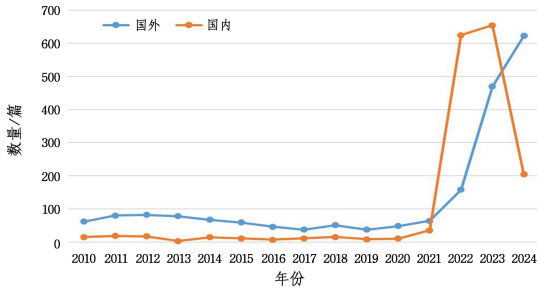


图2 2010至2024年国内外元宇宙相关发文量的变化趋势

Fig.2 Trends in the number of publications related to metaverse at home and abroad from 2010 to 2024

2.4.2 研究热点对比

为了进一步分析国内外研究的差异,使用CiteSpace软件的词频分析功能对样本数据进行统计,得到关于元宇宙的国内外研究高频词统计表,如表1和表2所列。

表1 国外高频词分布统计

Table 1 Statistics on distribution of foreign high-frequency words

序号	频次	中心度	年份	关键词
1	323	0.15	2010	Virtual Reality
2	320	0.21	2010	Virtual Worlds
3	121	0.15	2011	Technology
4	117	0.17	2011	Model
5	115	0.07	2017	Augmented Reality
6	86	0.12	2010	Impact
7	83	0.03	2010	Second Life
8	74	0.05	2022	Artificial Intelligence
9	69	0.11	2010	Environments
10	69	0.07	2011	Reality
11	66	0.07	2011	2nd Life
12	64	0.14	2010	Education
13	63	0.12	2010	Design
14	62	0.18	2010	Behavior
15	61	0.13	2010	Internet

表2 国内高频词分布统计

Table 2 Statistics on distribution of high-frequency words in China

序号	频次	中心度	年份	关键词
1	944	0.67	2021	元宇宙
2	93	0.19	2017	虚拟现实
3	86	0.45	2010	虚拟世界
4	61	0.20	2017	人工智能
5	54	0.03	2021	区块链
6	37	0.07	2022	数字经济
7	30	0.03	2022	数字孪生
8	30	0.07	2022	数字技术
9	24	0.05	2022	数字藏品
10	23	0.03	2022	数字出版
11	15	0.06	2022	互联网
12	15	0.03	2022	数字化
13	15	0.02	2022	智慧服务
14	14	0.09	2022	虚拟空间
15	13	0.03	2022	媒体融合

从表中可以看出,国外对元宇宙相关研究的历史更加悠久。国外的相关研究中高频词为虚拟现实、虚拟世界(Virtual Worlds)、模型(Model)、第二世界(Second Life)以及环境(Environments)等。国内研究中出现次数较多的则是元宇宙、虚拟现实、人工智能、区块链、数字技术等。总体来看,国内外高频关键词主要集中在人工智能、数字模型、互联网等基础性技术原理上。

2.4.3 关键词聚类分析

根据搜集得到的文献数据集,使用CiteSpace软件的关键词聚类图谱功能得到以2010至2024年间国内外元宇宙文献研究为主题的聚类图谱,如图3和图4所示。

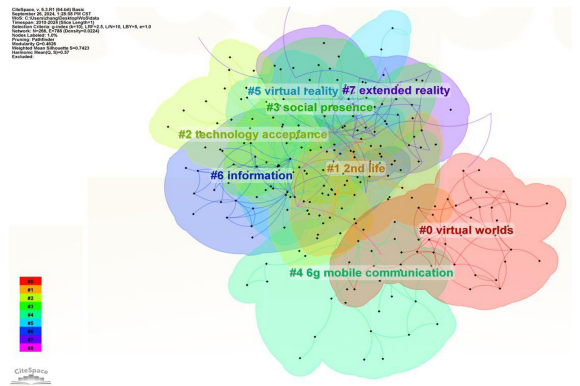


图3 Web of Science 核心数据库文献关键词聚类图谱

Fig.3 Keyword clustering mapping of Web of Science core database literature

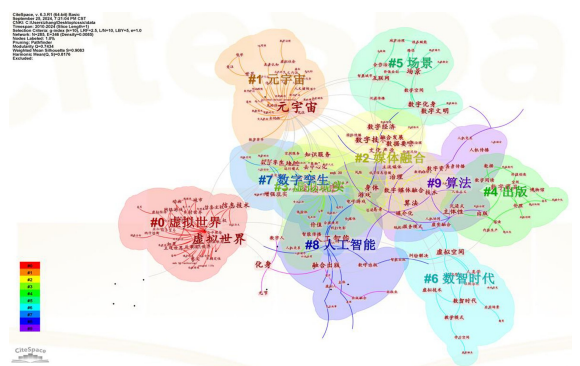


图4 CSSCI 数据库文献关键词聚类图谱

Fig.4 Keyword clustering mapping of CSSCI database literature

两张聚类图谱的 Q 值和 S 值均大于给定的标准值,证明了其合理性。图 3 中显示了前 8 个聚类结果,结果表明国外对元宇宙的相关研究不仅关注虚拟世界(Virtual Worlds)、第二世界(2nd)等基本概念问题,也高度关注一些由技术发展所带来的一些社会伦理道德和个人隐私等问题。相比之下,图 4 中的国内文献的聚类结果更丰富,元宇宙基础技术和理念带动多种技术共同发展,媒体融合、数智时代、数字孪生、人工智能等领域百花齐放,呈现出多元化的发展趋势。

由国内外文献的高频词分布统计和关键词聚类图谱结果可知,目前国内外科研人员对元宇宙相关课题的研究不仅重视技术和应用等问题,还表现出了对科技伦理和隐私安全等社会问题的担忧。因此,本文将以元宇宙技术发展和未来所

面临的挑战为主要线索,对元宇宙的发展进行综述,并在此基础上展望其未来。

### 3 元宇宙的基础技术及应用

元宇宙的构建是多个技术领域协同发展、相辅相成的结果。图 5 显示出元宇宙由多个关键的技术方向组成,每个方向涵盖了不同的技术领域。同时,电子游戏技术在虚拟现实领域的发展,为元宇宙积累了大量有价值的技术和经验。因此,虚拟与增强现实技术、网络运算技术、人工智能、电子游戏技术、数字孪生技术以及区块链技术共同支撑着元宇宙的构建和发展。这些技术不仅为用户提供了沉浸式的多感官体验,还通过高效的连接与处理能力推动了虚拟世界的可持续性运作。

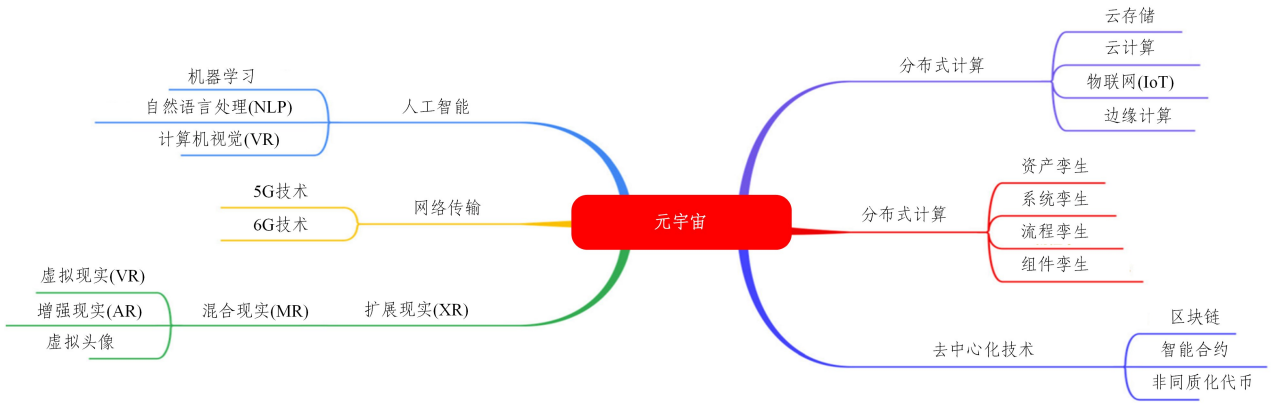


图 5 元宇宙的支持技术体系<sup>[2]</sup>

Fig. 5 Supporting technology system of metaverse<sup>[2]</sup>

#### 3.1 元宇宙中的区块链技术

图 6 展示了区块链技术在元宇宙中的应用,其提供了虚拟世界重要的去中心化基础架构、透明的数字经济与虚拟经济

和可靠的身份验证管理,确保了数字资产的所有权、交易的透明性和安全性以及用户隐私保护<sup>[9]</sup>。区块链不仅推动了元宇宙经济的蓬勃发展,还为用户提供了更多的自主权和可信度。

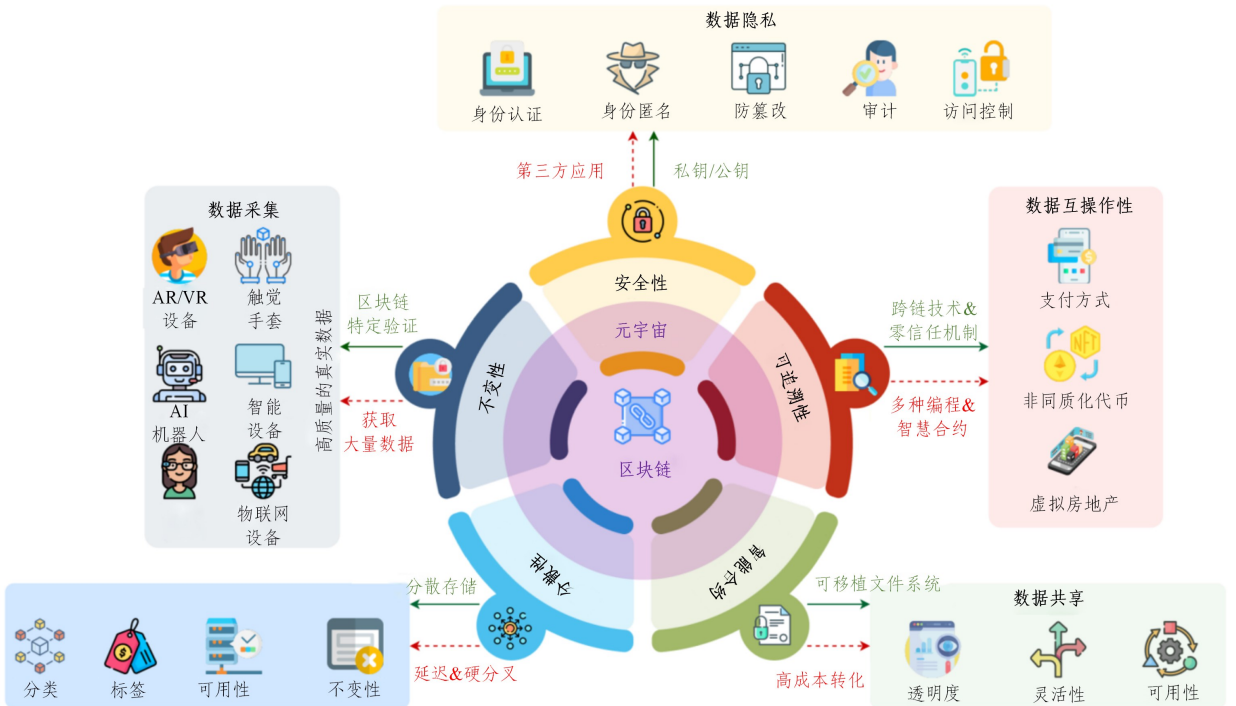


图 6 关于元宇宙的区块链技术<sup>[8]</sup>

Fig. 6 Blockchain technology about metaverse<sup>[8]</sup>

### 3.1.1 去中心化架构

区块链技术通过去中心化的数据存储,使元宇宙的数据不再依赖于单一的中心化服务器或平台。数据的去中心化存储,确保了虚拟世界的持久性和安全性。元宇宙支持去中心化的治理模式,如去中心化自治组织(Decentralized Autonomous Organization,DAO)没有传统组织的集中管理层,根据决策结果可自动将区块链上的代币分配给成员,无需第三方干预<sup>[10]</sup>。在元宇宙中,用户可以通过DAO参与虚拟世界的管理和决策,这种治理模式使得用户拥有更多的自主权和控制权。Wang等<sup>[11]</sup>认为Web3社区将元宇宙定义为一种去中心化的虚拟世界,其中Web3是元宇宙的基础,而元宇宙是承载Web3去中心化技术落地的场景。

现阶段,去中心化的主要应用为去中心化金融。去中心化借贷平台,如Aave和Compound,允许用户在区块链上借贷加密货币。这些平台通过智能合约自动执行借贷协议,消除中介,降低成本,提高效率。去中心化交易所,如Uniswap和SushiSwap,允许用户在没有中央权威或中介的情况下进行加密货币交易。这些平台通过区块链上的智能合约实现自动化的交易撮合和结算,提供了更高的透明性和安全性。

### 3.1.2 数字资产与虚拟经济

区块链技术支持元宇宙中的虚拟加密货币,如比特币(Bitcoin,BTC)、以太坊(Ether,ETH)等<sup>[12]</sup>。这些虚拟货币可以用于购买虚拟商品和支付虚拟服务,形成了一个完整的虚拟经济体系。非同质化代币(Non-Fungible Token,NFT)是基于区块链的数字资产<sup>[13]</sup>,其不可复制性和独特性使得每个代币都有独特的价值,用户可以通过NFT进行资产的买卖和转让,真正拥有虚拟物品的所有权。区块链技术确保了虚拟货币交易的透明性和安全性,避免了传统金融系统中的欺诈和双重支付问题。

现阶段,数字虚拟经济主要应用于加密货币领域。BTC和ETH作为去中心化的数字货币,允许用户在没有中介机构的情况下进行点对点的交易。其交易记录通过区块链技术进行加密和存储,确保了交易的安全性和不可篡改性。稳定币(如USDT和USDC)是与美元挂钩的加密货币,旨在减少加密货币市场的波动,提供一个相对稳定的价值存储和交易媒介,特别适用于跨境支付和价值转移。

### 3.1.3 身份验证与安全

区块链技术支持分布式的数字身份管理。在元宇宙中,用户可以使用基于区块链的数字身份进行登录和认证,这种身份验证方式比传统的用户名和密码更加安全和便捷。区块链的加密技术可以有效保护用户的数据隐私。在元宇宙中,用户的个人数据和虚拟资产都可以通过区块链加密存储和传输,防止数据泄露和非法访问。此外,用户的数字身份可以跨平台使用,提高了虚拟世界的互操作性。

现阶段,身份验证主要应用于数字身份认证。Ning等<sup>[14]</sup>认为可以借助用户的生物特征信息对用户的数据安全进行分析验证。例如,微软的ION项目就是一个基于区块链的去中心化身份系统,其允许用户在网络上自主管理他们的数字身份。身份验证技术也可用于存储和验证教育证书、职业资格证书等,麻省理工学院和新加坡管理大学已经在使用

区块链技术为其毕业生颁发可验证的数字证书。

## 3.2 元宇宙中的物联网技术

物联网和元宇宙的结合,开辟了全新的应用场景和发展方向。Zhou等<sup>[15]</sup>认为物联网技术可以将现实世界中的物理设备和传感器连接到元宇宙中,增强虚拟世界的互动性和现实感,同时也使得现实世界和虚拟世界之间的数据流动更加顺畅。物联网技术在元宇宙中的具体应用包括数字双胞胎、虚拟健康与远程医疗、智能城市与虚拟城市管理、虚拟购物与智能零售等。物联网技术与元宇宙的结合为虚拟和现实世界之间的互动提供了新的可能性。通过物联网技术,元宇宙能够实现对现实世界设备和环境的实时监控和管理,增强虚拟世界的真实感和互动性。这种结合不仅提升了用户的虚拟体验,还推动了各个行业的数字化转型和智能化发展。随着物联网技术的不断进步和元宇宙的发展,预计将会有更多创新应用和场景出现,为社会带来更大的变革。

### 3.2.1 数字双胞胎

物联网技术通过传感器和数据采集设备创建物理设备的数字双胞胎,是物联网设备在虚拟世界中的数字化模型,能够实时反映现实设备的状态和行为<sup>[16]</sup>。利用物联网传感器收集的数据,这些虚拟模型能够精确地模拟现实世界中的物理对象或系统。元宇宙可以利用这些数字双胞胎创建虚拟设备的映射,用户可以在虚拟世界中观察和操作这些设备,从而实现对现实世界设备的远程控制和监测。例如,在智能城市建设中,城市中的交通灯、监控摄像头和环境传感器等设备可以在元宇宙中创建其数字双胞胎,城市管理者可以通过虚拟城市对这些设备进行实时监控和管理,优化城市运营和资源分配。同时,物联网设备生成的实时数据可以被集成到元宇宙中,增强虚拟现实体验。例如,虚拟环境中的气象条件可以根据现实世界的气象数据进行动态调整,使虚拟世界中的天气和环境更加真实和逼真。

### 3.2.2 虚拟健康与远程医疗

物联网健康设备(如智能手表、血压计等)可以监测用户的生理数据,并将这些数据实时传输到元宇宙中的虚拟健康平台。Moztarzadeh等<sup>[17]</sup>认为医生和健康顾问可以在虚拟环境中查看患者的健康数据,提供远程诊断和健康建议。用户可以在元宇宙中与虚拟医生或健康顾问进行互动,根据物联网设备提供的健康数据进行实时咨询和诊断,获取个性化的健康管理方案。

### 3.2.3 智能城市与虚拟城市管理

物联网传感器可以监控城市中的交通流量、空气质量、水资源等基础设施,并将数据集成到元宇宙中的虚拟城市模型中,帮助城市管理者实时监控和优化城市运营<sup>[18]</sup>。元宇宙中,用户可以通过虚拟交通平台查看现实世界中的交通流量情况,可以在虚拟城市环境中查看和分析城市环境中的空气质量、噪声水平等数据。

### 3.2.4 虚拟购物与智能零售

智能货架、库存管理系统等物联网设备可以实时更新商品的库存和销售情况,这些数据可以集成到元宇宙中的虚拟商店中,用户可以在虚拟环境中浏览和购买商品。在元宇宙中,用户可以试穿虚拟服装,查看家具在虚拟房间中的效果,

甚至通过物联网技术了解商品的库存和配送情况。物联网设备也可以收集用户的购物偏好和行为数据,提升购物体验的真实性和便利性。

### 3.3 元宇宙中的交互技术

交互技术是定义元宇宙的复杂交互和体验的关键推动因素之一。图 7 中展示了扩展现实(Extended Reality, ER)、虚拟现实、增强现实、混合现实(Mixed Reality, MR)等技术,这些技术通过模拟人类的感官体验,使用户能够身临其境地参与到虚拟世界中。VR 技术通过头戴显示器和追踪设备提供完全沉浸的虚拟环境,使用户能够在虚拟世界中自由移动、互动,体验身临其境的感觉。在 VR 环境中,用户可以通过虚拟化身与其他用户实时互动,模拟真实的社交场景。VR 社交平台支持多人虚拟聚会、活动和合作任务,扩展了社交和合作的边界。而 AR 技术通过智能设备将虚拟元素叠加在现实世界中,实现虚拟与现实的无缝结合。在元宇宙中,AR 可以将虚拟物体、信息或任务叠加到用户的现实环境中,增强现实体验。例如,AR 游戏可以让用户在现实环境中寻找虚拟物品或完成任务,创造更丰富的互动体验。增强互动体验,可加入触觉技术使得用户感知虚拟物体的质感、硬度和温度等特性,从而实现更真实的虚拟互动。

交互技术在元宇宙中有着广泛的应用。(1)交互技术会带来更自然直观的交互方式。用户可以通过肢体动作和表情识别与元宇宙中的物体和人物进行交互<sup>[19]</sup>,不再局限于键盘鼠标或控制器。脑机接口技术允许用户直接用大脑控制元宇宙中的虚拟角色和环境,实现更直观的交互方式。未来,元宇宙将提供更丰富的感官体验,包括触觉、嗅觉、味觉等。(2)交互技术会带来更沉浸式的体验。随着硬件技术的进步,用户

将得到更高分辨率和更逼真的画面。随着 VR 和 AR 技术的成熟,如更轻便的 VR 头戴设备、更逼真的 AR 效果等,用户可进行更自然、更深入的互动。(3)交互技术会带来更个性化的体验。用户将能够根据自己的喜好和需求定制虚拟环境,创建更具个性化的虚拟角色,如创建自己的虚拟房屋、虚拟花园,为角色选择不同的外貌、服装、性格等。元宇宙可根据用户的喜好和行为提供个性化的交互体验,例如推荐更符合用户兴趣的内容,提供更符合用户需求的服务。



图 7 扩展现实<sup>[2]</sup>

Fig. 7 Extended reality<sup>[2]</sup>

### 3.4 元宇宙中的人工智能技术

图 8 展示了 AI 技术在元宇宙构建中的协同作用,强调了技术融合如何推动虚拟和现实世界的互联,以及元宇宙对未来数字社会可能产生的深远影响。AI 技术在元宇宙中的应用极大地提升了虚拟环境的智能化和个性化体验。从智能虚拟角色和内容生成,到个性化服务和数据分析,AI 技术正在推动元宇宙的创新和发展。AI 技术通过提供智能化、自动化的服务和功能,推动着元宇宙的多样化发展,赋予元宇宙更强的交互性、个性化和沉浸感<sup>[20]</sup>。

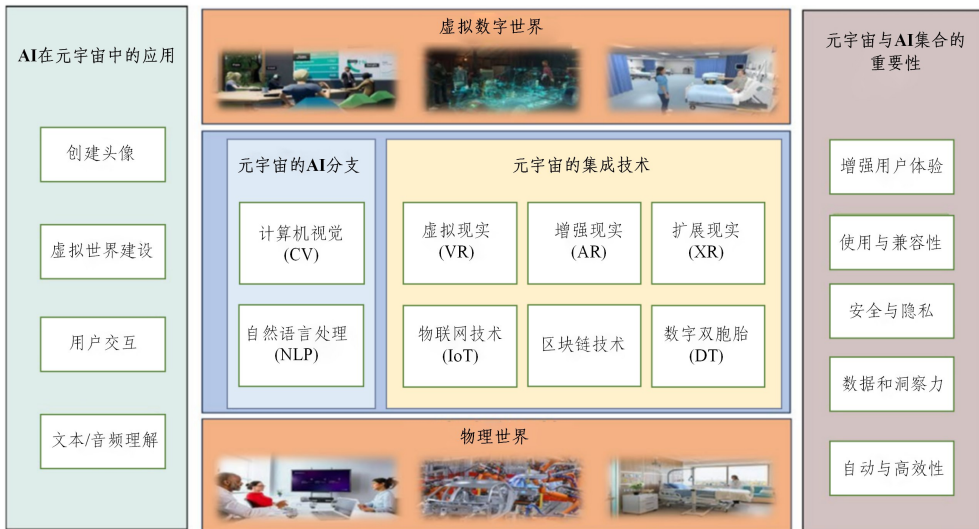


图 8 元宇宙与人工智能的关联<sup>[21]</sup>

Fig. 8 Correlation between metaverse and artificial intelligence<sup>[21]</sup>

#### 3.4.1 智能虚拟角色和 NPC

智能虚拟角色是指在虚拟环境中由 AI 驱动的身体化身,其可以根据用户的行为和环境进行响应和互动。图 9 展示了用户可以利用 AI 技术自动生成具有用户个性化特征的虚拟人物。非玩家角色(Non-player Character, NPC)则是由计算机控制的角色,通常用于增强游戏性和推动剧情发展。

在元宇宙中,这些角色不是预先编写的简单角色,而是可以通过 AI 实现动态行为和互动的智能体。行为树和有限状态机是 AI 在游戏和虚拟环境中常用的决策机制。通过这些方法,NPC 可以在不同状态下进行不同的动作和反应,例如在受到攻击时躲避或者反击。更复杂的 NPC 可以使用决策树和强化学习来根据环境和用户的动作学习并调整自己的行

为。自然语言处理(Nature Language Processing, NLP)技术用于创建更加自然和流畅的对话系统<sup>[22]</sup>,使得NPC能够理解和回应用户的文本或语音输入。这些对话系统可以是规则驱动的,也可以是由AI模型(如GPT系列)训练的生成模型,能够处理更复杂的语言任务。通过情感分析,NPC能够感知用户的情绪,并根据这些情绪调整自己的对话或行为<sup>[23]</sup>。同时,AI还可以生成适当的情感反应,使NPC的表现更接近人类。



图9 利用OpenCV自动生成的虚拟人物<sup>[21]</sup>

Fig.9 Automatically generated avatars using OpenCV<sup>[21]</sup>

人工智能技术赋予了元宇宙中的智能虚拟角色和NPC更多的智能性和互动能力。Sutton等<sup>[24]</sup>认为通过行为建模、自然语言处理、情境感知等技术,智能虚拟角色能够提供更加自然、真实和个性化的用户体验。未来的AI将使NPC能够自主学习和自适应环境变化,使智能虚拟角色能够在不同平台上跨越多种互动模式,并且可能使智能虚拟角色具备更高层次的情感共鸣和道德决策能力,为用户带来前所未有的虚拟体验。

### 3.4.2 内容生成与创作

人工智能通过各种技术手段,如自然语言处理、计算机视觉、深度学习等,赋能元宇宙中的内容创作。AI算法能够自动生成虚拟世界中的环境、地形、建筑物和其他元素<sup>[25]</sup>。通过程序化生成技术,开发者可以快速创建大规模的虚拟环境,并根据用户的需求实时调整这些环境。NLP技术使得AI能够生成自然的文本内容和对话。例如,在虚拟社交平台或游戏中,AI驱动的对话系统可以根据用户的输入自动生成对话内容,提升互动体验。通过机器学习和数据分析,AI可以分析用户的行为、兴趣和偏好,从而推荐个性化的内容。这种推荐包括虚拟商品、游戏任务、社交活动等,从而增强用户的参与感和粘性。AI可以帮助用户生成高质量的虚拟内容,例如自动生成虚拟人物的外观、虚拟房间的布置等。AI还可以为用户提供创意建议和辅助工具,使创作过程更加简单和有趣。Goodfellow等<sup>[26]</sup>认为深度学习技术(如生成对抗网络)能够生成高质量的图像和音频,为虚拟世界中的角色、环境和音效创作提供支持。例如,AI可以自动生成逼真的角色头像、背景音乐和音效,提升虚拟环境的真实感。

人工智能在元宇宙中的内容生成与创作方面发挥着至关重要的作用。通过自动化生成、个性化推荐和创意辅助,AI技术可使元宇宙更加丰富和多样化。Brigan等<sup>[27]</sup>认为未来AI将能够更加智能地适应用户的需求和情境,生成个性化的内容,使用户和开发者能够更加高效地创建和编辑虚拟内容。AI将作为虚拟世界中的创作助手,与人类用户协同工作。通过AI的辅助,用户可以更快地实现创意,并通过虚拟世界展示和分享自己的作品。未来的内容生成技术将结合增强现实AR和混合现实MR,使得虚拟内容能够无缝集成到现实世界

中。例如,AI可以根据用户的现实环境自动生成虚拟内容,创造出更为逼真的沉浸式体验。随着AI技术的进一步发展,元宇宙中的内容创作将变得更加智能、个性化,且互动性强,为用户带来更加沉浸和富有创意的虚拟体验。

### 3.4.3 数据分析与用户行为预测

数据分析与用户行为预测是提升用户体验和个性化服务的重要手段。通过对用户在虚拟世界中的各种行为数据进行分析,人工智能可以预测用户的未来行为,优化推荐系统,并提供定制化的体验。数据分析与用户行为预测的基础在于大量的用户数据,用户数据主要分为行为数据、环境数据、用户生成内容,以及生理和心理数据。

数据分析是指通过各种传感器、用户设备、软件日志等途径获得数据,并将收集到的数据进行预处理,包括数据清洗、数据格式化、数据去重等<sup>[28]</sup>。预处理后的数据更适用于后续的分析和建模。特征提取是数据分析的关键步骤,这些特征可以是用户直接操作的结果,也可以是间接推断的。使用机器学习算法对提取的特征进行建模,可以帮助理解用户行为的规律。例如,分类算法可以用来预测用户是否会进行某种操作,回归算法可以预测用户在某个场景中的停留时间。聚类算法可以将用户分成多个群体,每个群体具有相似的行为特征。例如,频繁访问特定虚拟场景的用户可能对该场景的主题特别感兴趣。此模式可帮助平台更好地理解用户的多样性,从而提供更加精准的个性化服务。

用户行为预测的实现主要分为预测模型的构建、强化学习和自适应系统。元宇宙中的许多用户行为具有时间连续性,通过时间序列分析可以预测用户未来的行为。例如,通过分析用户的过去登录时间,可以预测用户的下次登录时间。Ghorbantanhaei等<sup>[29]</sup>认为深度学习模型(如长短期记忆网络)在处理复杂的时序数据和预测用户行为方面表现出色。它们能够从大量历史数据中自动提取特征,捕捉用户行为的变化规律,从而实现高准确度的预测。强化学习可以在用户行为预测中优化长期回报。通过试错和学习,AI可以得到最有效的推荐策略,促进用户长期参与并提升满意度。基于强化学习的自适应推荐系统可以根据用户的实时反馈调整推荐策略,使推荐内容更加精准地契合用户的兴趣和偏好。

## 3.5 元宇宙中的电子游戏技术

电子游戏技术与元宇宙的发展有着紧密的联系。作为一个正在快速发展的虚拟世界,元宇宙从电子游戏技术中汲取了大量的灵感和技术支持,如图形与渲染技术、物理引擎与仿真技术、多用户与在线交互技术、游戏化机制与用户体验设计等。电子游戏技术与元宇宙的发展相互促进,电子游戏为元宇宙提供了丰富的技术基础和设计经验;而元宇宙也为电子游戏技术提供了新的应用场景,推动了其在虚拟世界中的创新和发展。元宇宙游戏的显著特点之一是高度重视社交互动,旨在通过虚拟环境促进玩家之间的互动,形成社区和小组活动。随着技术的进一步发展,电子游戏和元宇宙的界限可能会变得越来越模糊,未来的虚拟世界可能会更加沉浸,互动性和多样化更强,为用户提供前所未有的体验。

电子游戏在图形和渲染技术方面取得了显著的进步,这些技术为元宇宙提供了逼真和沉浸式的视觉体验。现代电子

游戏通常采用高分辨率的 3D 图形,元宇宙利用这些技术来创建逼真的虚拟环境和角色模型。实时渲染技术使得元宇宙中的场景可以动态变化,实时响应用户的操作和环境变化<sup>[30]</sup>。这些高质量的视觉效果可以增强用户的沉浸感,使虚拟世界更加生动和真实。Shi 等<sup>[31]</sup>认为游戏引擎某种程度上来说可以看作是一组预先定义的、机器能够理解的、针对特定游戏的代码。物理引擎是电子游戏中用来模拟现实世界物理现象的核心组件,这些技术同样适用于元宇宙的开发和构建。元宇宙需要模拟真实世界中的物理现象,如重力、碰撞、流体力学等。物理引擎技术可以帮助元宇宙实现这些仿真,为用户提供更真实的交互体验。许多电子游戏已经采用 VR 和 AR 技术来增强游戏体验,元宇宙借鉴这些技术,使用户能够通过头戴显示器、手柄等设备更直接地与虚拟环境互动。电子游戏中的多人在线游戏提供了丰富的经验和技能积累,游戏开发商积累了大量关于服务器架构、网络延迟处理、数据同步和用户管理的经验。现代电子游戏不仅仅是娱乐工具,还是一个强大的社交平台。元宇宙借鉴了这些社交互动的机制,包括实时聊天、虚拟交易、协作任务等,使用户能够在虚拟世界中进行丰富的社交活动,形成虚拟社区和社会关系。

### 3.6 元宇宙对网络及计算性能的依赖

网络无线技术是实现元宇宙中虚拟世界的重要技术基础<sup>[32]</sup>。网络技术是实现元宇宙实时交互和远程沉浸式交互的关键部分。实时交互指的是在当前时刻以最小的延迟发生的交流,使参与者近乎面对面交流。远程沉浸式交互则是指应用程序来模拟共享的虚拟/物理环境,使远程参与者能够像身处同一空间一样进行交互,自然地融入到支持物理和数字的实时融合的网络中。网络无线技术的发展被视为物理和数字领域实时融合的推动者之一。Bui 等<sup>[33]</sup>认为网络无线技术发展可以利用 XR、VR/AR、MR、触觉和脑机交互相关服务的数据来实现数字-物理的快速融合。图 10 展示了各种应用程序对网络的不同要求,随着网络速度的提升,各种技术的表现也将得到更好的优化。元宇宙需要无缝连接各种设备,例如 VR/AR 头戴设备、智能手机、电脑等,才能提供更完整的体验,但这需要极快的网络传输速度才能实现。5G/6G 技术的出现,提供了高达数 Gbps 的传输速度和低至 1ms 的延迟,可确保用户在元宇宙中进行实时互动和高清内容流媒体播放时的流畅体验。元宇宙开发人员可以利用元宇宙 5G 的低延迟将现实世界实时地传输到应用程序<sup>[34]</sup>。而随着以元宇宙和人工智能为核心的智能系统的发展,数据传输速率需求更高的应用程序诞生了,如脑机接口和 XR,5G 的网络传输速度并不能完全地发挥出其效果。Zawish 等<sup>[35]</sup>的研究表明,6G 通信系统将提供更高的数据速率,运行在 3 Thz 带宽,可以更好地支持数据级应用,如在线游戏和虚拟角色交换。虚拟教育和培训、精确导航和本地化、沉浸式游戏和远程医疗应用,都将通过人工智能和 6G 在元宇宙中实现<sup>[36]</sup>。元宇宙需要位置感知技术,才能实现虚拟世界与现实世界的融合。基于位置的网络技术,如蓝牙、GPS 等,将被用于元宇宙中,极大地增强了用户体验的真实性和互动性,为用户提供更精准的位置信息,使得虚拟环境能够准确反映现实世界的位置数据。

网络无线技术在元宇宙中需有更多突破性的发展,才能满足元宇宙日益增长的需求和更具沉浸感的体验需求。超高速、超低延迟网络支持更复杂的元宇宙应用,例如实时多人互动、高分辨率图像和视频传输,以及更逼真的虚拟现实体验,6G 网络将成为未来元宇宙网络的重要组成部分。无线边缘计算将计算资源部署到网络边缘,可以有效降低延迟,提高响应速度。同时,边缘云将为元宇宙提供更强大的计算能力和存储能力,支持更复杂的应用和服务。空间感知网络具有更精准的定位技术,例如,超宽带技术将为元宇宙提供更精确的空间感知能力,实现虚拟世界与现实世界的无缝融合。智能化网络可根据用户的需求和环境的变化进行动态调整,例如自动优化带宽分配,从而达到降低延迟的效果。量子加密技术将为元宇宙提供更安全的网络连接,防止黑客攻击和数据泄露。网络无线技术在元宇宙中将被不断突破,为用户提供更高速、更稳定、更安全、更具沉浸感的体验。

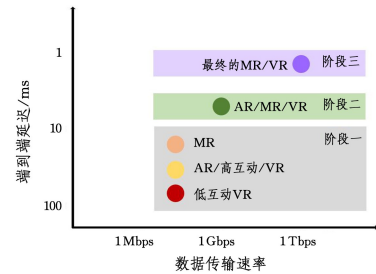


图 10 元宇宙技术应用的不同网络要求<sup>[2]</sup>

Fig. 10 Different network requirements for metaverse technology applications<sup>[2]</sup>

## 4 元宇宙的风险

元宇宙作为一种前沿的虚拟空间技术,虽然具有巨大的潜力和机遇,但也面临着一系列的风险和挑战。隐私和数据安全、法律与监管、社会与心理影响,以及文化与伦理问题都需要重点关注和解决。只有在这些领域取得平衡和突破,元宇宙才能持续健康地发展,为用户提供安全、创新和有价值的体验。未来的发展需要多方合作,包括技术公司、监管机构、学术界和社会公众,共同制定合理的规则和标准,推动元宇宙朝着积极方向演进。

### 4.1 隐私和数据安全

元宇宙作为一个依赖于互联网和先进技术的虚拟平台,用户在虚拟世界中会生成和分享大量的个人数据,包括生物特征、行为模式、社交互动和财务信息,这些的数据敏感度极高,而元宇宙去中心化和跨平台的特性大大增加了平台受到网络攻击的可能性。数据泄露可能导致用户隐私被侵犯,甚至引发金融损失和身份盗用。用户数据的所有权和控制权在元宇宙中尚未明确。用户是否能够完全控制自己的数据,或者数据是否会被平台和第三方滥用,都是亟待解决的问题。Zhang 等<sup>[36]</sup>认为元宇宙需要处理大量的实时数据和复杂的计算任务,平台可能会面临系统漏洞和崩溃的风险。元宇宙中的匿名性和虚拟身份可能会被不法分子利用,以传播虚假信息、恶意内容或实施诈骗。平台需要有效的机制来监测和防止这些行为,以保护用户的隐私安全并获取信任。

## 4.2 法律与监管不确定性

现有的法律体系大多基于现实世界的规则和规范,而元宇宙的虚拟环境和特性常常无法被传统法律框架有效覆盖。Khan 等<sup>[37]</sup>认为虚拟资产的所有权、虚拟行为的合法性等缺乏明确的法律定义和规定。元宇宙中涉及的法律问题常常超出了现有法律的适用范围。例如,虚拟财产的定义与保护、虚拟货币的监管等问题尚无统一的法律标准,需要不断完善现有的元宇宙政策和法规。许多公司、学术界人士和民间社会专家、监管机构都在倡导制定新法律和新法规,以使在现实世界中不被允许的事情在网络空间中同样不被允许。例如,Whitney Wolfe Herd(Bumble 公司的 CEO)提出,“如果不雅行为在街上是一种犯罪,那么为什么在手机或电脑上不是呢?”因此,他正在尝试向立法机构提出将网络闪现即将通过隔空投送或蓝牙向陌生人发送淫秽图片的行为定义为犯罪。Grocki(曾在司法部领导整治儿童剥削和猥亵的部门)表示,“我们的社会说我们要在物理世界中保护孩子,但我们还没有在数字方面看到同样的保护措施”。法律和政策的更新往往滞后于技术的发展,导致在元宇宙的快速演变中,法律和监管框架可能无法及时跟上<sup>[38]</sup>。这种滞后性可能导致法律执行难度的增加。

元宇宙是一个全球化的虚拟平台,不同国家和地区对虚拟行为、虚拟资产、数据隐私等方面的法律规定可能存在差异,这种差异可能导致法律适用上的冲突和不一致。例如,一个国家对于虚拟货币的监管政策可能与另一个国家的政策完全不同,如何处理这些政策冲突,协调不同国家的法律要求,是一项重大挑战。为了应对这些挑战,需要全球范围内的合作,包括政府、法律专家、技术开发者和社会公众,共同制定和完善法律法规,建立有效的监管机制,确保元宇宙的健康、可持续和公平发展<sup>[39]</sup>。另一个关键是对法律和监管进行动态调整和适应,以应对快速变化的虚拟环境。

## 4.3 社会与心理影响

元宇宙的沉浸式体验可能对用户的社交行为和心理健康产生深远的影响。元宇宙提供了一个新的社交平台,用户可以与世界各地的人建立联系,打破了地理和时间的限制。元宇宙可能会使用户更加沉迷于虚拟世界,从而减少与现实世界的互动。过度依赖虚拟社交可能会导致现实生活中的社交关系被忽视,人们可能会减少与家人和朋友的面对面互动,导致社交隔离和关系疏远。过度的沉浸感可能导致用户对现实世界的感知变得模糊,甚至混淆虚拟与现实的界限。Bao 等<sup>[40]</sup>认为用户在元宇宙中可以创造不同的虚拟身份,但虚拟自我可能与现实中的自我存在差异,长时间沉浸在这种虚拟身份中可能导致用户对现实自我的认知和评价发生改变。元宇宙中,用户可能会不断比较自己的虚拟资产、外观和社交地位,维护一个理想的虚拟身份可能会给用户带来心理压力,尤其是在元宇宙中展现出的形象与现实生活中的自我差距较大时。用户可能会感到必须维持某种虚拟身份的压力,导致焦虑和自我怀疑。在未来的发展过程中,如何平衡这些影响,保护用户的心理健康和社会福祉,将是元宇宙及其相关利益者需要面对的重要课题。制定合理的规则和政策,推动技术和社会责任的协调发展,才能实现元宇宙的健康和可持续发展。

## 4.4 文化与伦理规范

元宇宙汇聚了来自不同文化背景的用户,这可能导致文化冲突和误解。例如,某些文化中的行为在其他文化中可能被视为冒犯或不尊重。元宇宙中需建立有效的跨文化沟通和互动机制,以尊重不同文化的差异。虚拟环境中可能出现文化挪用的现象,即未经授权使用和展示其他文化的元素,这可能会引发文化敏感问题。元宇宙应允许用户自由地表达和展示他们的文化背景和个性,但过度的文化表现可能引发争议或冒犯他人。元宇宙中的内容和活动应能够反映全球用户的文化多样性,同时避免过度倾斜于某一文化或地域。

元宇宙中可能出现虚拟暴力与恶意行为,如虚拟骚扰、欺凌等,这些行为可能对用户的心理健康产生负面影响。在元宇宙中,恶意内容的传播,如虚假信息、仇恨言论等,可能对用户的体验和安全造成威胁。如何界定虚拟暴力的范围,并制定有效的管理和干预措施,是元宇宙发展面临的一个巨大挑战。元宇宙中存在许多现实世界没有的虚拟行为,如虚拟角色之间的关系、虚拟资源的使用等。用户在虚拟世界中的行为可能会影响他们在现实世界中的道德标准和行为,如何处理这种虚拟与现实的道德冲突是一个需要思考的问题。元宇宙平台的运营方需要对用户的行为和虚拟环境中的伦理问题负责,这包括制定和执行伦理规范,处理用户投诉,确保虚拟环境的公平和安全。平台需要在道德责任和商业利益之间找到平衡。用户在使用元宇宙平台时,需自觉遵守伦理规范和道德标准,提高用户的道德意识和责任感,以构建一个健康的虚拟环境。

元宇宙中的文化与伦理规范面临的挑战涉及文化多样性的管理、虚拟行为的伦理规范、道德标准的建立以及社会责任的履行。面对这些挑战,需要技术开发者、平台运营者、法律专家、文化学者和社会公众等多方合作,共同制定和落实合理的文化和伦理规范,以确保元宇宙的健康和可持续发展。通过加强文化尊重,规范虚拟行为,设立道德标准和关注社会影响,才能构建一个包容、公正和安全的虚拟环境。

## 5 元宇宙的未来发展趋势与展望

元宇宙的未来将依赖于多种技术的融合,包括人工智能、区块链、虚拟现实、增强现实、5G/6G 通信、云计算、边缘计算等<sup>[41]</sup>。随着技术的不断迭代和用户需求的演变,元宇宙也将逐步成为一个融合了虚拟与现实的综合性平台,为人们的生活、工作和社交提供更加丰富和多样化的体验。元宇宙的未来充满了无限的可能性,其发展方向也会对社会需求、用户行为和政策法规产生深刻影响。面对元宇宙的广阔前景,也需要正视其面临的挑战。展望未来,以下几个方面将是元宇宙未来研究与实践的重点方向。

### 5.1 沉浸式未来:元宇宙重塑教育与培训

元宇宙的引入会深刻改变教育与技能培训的传统模式,更会为教学和学习提供前所未有的沉浸式学习体验。然而这也伴随着新的技术挑战,最为突出的问题在于,虚拟教育环境中实时交互与个性化教学资源的高效分配仍然存在瓶颈。例如,在虚拟课堂中,动态场景的渲染和多用户协同交互所需的计算资源极为庞大,这可能导致系统响应延迟、场景卡顿。解

决这些问题的技术创新路径有:(1)采用云计算技术,为大规模虚拟课堂提供动态、灵活的计算资源配置;(2)利用边缘计算优化数据处理路径,从而显著降低数据传输延迟;(3)结合AI,为学习者提供高度个性化学习的内容推荐和实时指导。这些技术创新各有侧重,无论采取哪种策略,都需要强大的技术基础与持续的研发投入,以充分释放元宇宙在教育领域的潜力。因此,提高虚拟教育系统的响应速度和智能化水平是未来元宇宙发展的重要方向之一。

## 5.2 医疗新纪元:元宇宙赋能数字健康

随着元宇宙技术的快速发展,医疗领域正在经历深刻的变革。元宇宙的应用能够为医疗提供沉浸式诊疗模式和智能化健康管理,但同时也面临着诸多技术挑战。例如,Sandrone等<sup>[42]</sup>认为在虚拟诊疗场景中,医生可以通过元宇宙平台获取患者信息,包括患者的实时生理数据、三维医疗影像以及多维度动态交互。如果系统的计算压力过大或响应延迟,可能导致诊疗的精度降低,患者体验受损。解决这些技术难题对于构建高效且智能的虚拟医疗系统具有重要的理论价值和实际意义。目前解决这些问题的技术路径有:(1)采用边缘计算与分布式云架构,将实时数据处理任务分散至本地设备与云端节点,降低系统延迟;(2)引入AI,通过智能算法提升医疗影像分析和个性化健康建议的精准性;(3)利用数字孪生技术,创建患者的虚拟模型,实现疾病的动态预测和远程干预。因此,提升元宇宙技术在医疗场景中的适应性和可靠性是未来的重点研究方向之一,但要在元宇宙中实现全面且鲁棒性的医疗应用仍然是一项复杂的任务。

## 5.3 重构虚拟经济:元宇宙的商业创新

虚拟经济体系是元宇宙发展中不可或缺的一部分,其为商业模式带来了全新机遇,同时也带来了不可忽视的挑战。元宇宙的经济活动涵盖虚拟资产交易、数字货币流通和去中心化治理等多个领域,其复杂性对交易效率与资产安全提出了更高的要求。例如,跨平台的虚拟资产流动性不足和智能合约的安全漏洞可能破坏经济生态的稳定性。解决这些问题对于构建一个高效、透明且安全的元宇宙经济体系具有重要的战略意义。目前的技术解决路径有:(1)利用跨链技术实现虚拟资产的无缝迁移,增强其流动性;(2)利用AI优化智能合约的算法设计,提升交易的安全性;(3)结合区块链与NFT技术,支持用户资产的数字化变现,激励用户进行创新。因此,优化虚拟经济架构和探索创新商业模式是元宇宙未来发展的重要方向之一。

## 5.4 未来社交:元宇宙中的文化新体验

随着元宇宙的快速发展,社交互动与文化娱乐正经历前所未有的跨越式变革。用户通过虚拟身份,可以在元宇宙中参与实时互动,欣赏沉浸式虚拟演出,举办个性化社交活动,甚至打破文化壁垒,开展跨文化交流。这些创新型应用场景为用户带来了全新的体验,但也对底层技术和系统设计提出了更高的要求。例如,大规模用户同步、个性化虚拟场景高效生成,以及虚拟身份管理的安全性问题,都是当前需要关注和解决的关键问题。解决这些问题的创新路径有:(1)利用AI生成高度个性化的虚拟场景,增强用户参与感与体验沉浸度;(2)利用分布式计算和边缘技术,确保在多用户场景中提供

流畅且稳定的实时互动体验;(3)结合区块链技术,强化虚拟身份的隐私保护与安全管理。解决这些问题对打造一个富有活力和创意的元宇宙社交文化生态至关重要。因此,提升社交体验的技术支持与场景创新是元宇宙未来发展的重点方向之一。

## 5.5 动态安全:元宇宙的隐私与信任

用户隐私的安全性一直是关注的重点问题,尤其是在虚拟世界的快速发展过程中,这一问题显得尤为重要。元宇宙中实时生成并流通着大量的用户数据,包括身份信息、行为数据以及虚拟资产的交易记录。而去中心化的架构和开放的交互环境增加了数据泄露、身份盗用和虚拟资产被盗的风险。应对这些挑战的关键在于建立动态保护机制和完善信任体系。实现这一目标的创新路径有:(1)引入零知识证明技术,允许用户在不暴露具体数据的前提下完成身份验证和交易操作;(2)采用分布式身份管理系统,赋予用户对自身数据的完全控制权;(3)利用区块链技术的不可篡改特性,为虚拟资产交易提供透明、安全的记录。因此,实现一个安全、透明和高效的数字社会环境是元宇宙未来发展的关键方向之一。

## 5.6 绿色元宇宙:可持续发展的新动力

绿色可持续发展是当今世界的重要议题。如何有效利用元宇宙平台,减少人为行为对自然环境的负面影响并实现可持续发展,已经成为技术创新的核心方向。元宇宙的绿色发展不仅依赖于高效的能源管理,还必须通过技术创新实现虚拟世界与现实生态系统的深度协同。目前绿色元宇宙的创新方向有:(1)采用虚拟生态模拟与环境管理,创建现实世界的虚拟模型,可以帮助政府和企业实时监控和优化能源使用、交通流量和生态环境;(2)通过虚拟化办公,减少对办公空间、基础设施和资源的需求,从而降低能源消耗和碳排放。元宇宙为绿色可持续发展提供了全新的路径,通过虚拟化和数字化的技术手段,推动社会各领域的绿色转型。未来,随着虚拟世界与现实世界的深度融合,元宇宙将成为生态保护的有力工具,实现虚拟世界与自然环境的良性互动,为实现全球可持续发展目标贡献关键力量。

## 6 大模型赋能元宇宙

三维空间<sup>[43-44]</sup>是元宇宙的核心构成要素,其重要性具体体现在对沉浸式体验、交互性能和生态构建的全面支持。三维空间不仅仅是元宇宙场景设计和功能实现的基础,更是承载多用户共同协作、虚拟经济活动以及跨领域应用的关键技术。对比传统的人机交互,三维空间中能够真实还原物理世界的结构、动态和细节,为用户提供更加直观且多维度的虚拟体验。如何高效、动态、智能地构建三维空间,已经成为元宇宙发展的核心挑战之一。

随着大模型技术的快速发展,以ChatGPT和Sora等为代表的生成式人工智能为三维空间的构建提供了全新思路。从元宇宙的横空出世、生成式大模型的飞速发展、脑机接口的突破性进步、移动通信与智能终端的快速迭变来看,元宇宙教育教学的数字化转型正在加速演变。面对不同体验背景的用户加入到元宇宙中有不同的需求,借助大型语言模型,用户可以在进入元宇宙时生成基于以前探索历史的上下文答案,促进用户对虚拟环境中地点和活动的了解。大模型能够按照

自然语言或图像输入的要求,直接生成特定的三维场景。虽然还无法达到人类所期望的效果,但这样的解决方案明显降低了建模门槛,提高了生成效率。同时,大模型还具备持续学习的能力,能够动态适配多样化的应用需求,为元宇宙三维空间的构建提供技术保障。未来,大模型将全面赋能三维空间的创建、管理和优化,进而推动元宇宙从构建单一场景向生成复杂虚拟生态系统的全面迈进。

**结束语** 元宇宙在数字经济、虚拟社交、虚拟教育等多个领域的探索和应用,已经成为当前技术创新的热点方向。总体来看,尽管元宇宙的未来发展潜力巨大,但尚未建立起完善的理论体系和技术架构。为了帮助研究者更全面地了解元宇宙的研究现状,系统分析了元宇宙的核心技术发展和应用场景,对现有元宇宙应用进行了深入评估,总结并分析了不同技术路径的优缺点。此外,本文还讨论了元宇宙发展所面临的挑战,并对元宇宙未来的技术融合和发展方向进行了展望。

### 参 考 文 献

- [1] DUAN H, LI J, FAN S, et al. Metaverse for social good: A university campus prototype[C]// Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia. 2021:153-161.
- [2] UDDIN M, OBAIDAT M, MANICKAM S, et al. Exploring the convergence of Metaverse, Blockchain, and AI: A comprehensive survey of enabling technologies, applications, challenges, and future directions [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2024, 14(6): e1556.
- [3] LANIER J. Dawn of the new everything: Encounters with reality and virtual reality [M]. Henry Holt and Company, 2017.
- [4] WU Q, JI X T, LV L Y. Artificial intelligence techniques and applications in metaverse [J]. Journal of Intelligent Science and Technology, 2022, 4(3): 324-334.
- [5] ZUO P F. What is the recent big hit meta-universe anyway? [J]. Middle School Reading (High School Edition) (First Half), 2021(12): 16-17.
- [6] KOFOED-OTTESEN M. On the possible phenomenological autonomy of virtual realities [J]. Indo-Pacific Journal of Phenomenology, 2020, 20(2): e1857945.
- [7] ZHOU X, WANG H Y, KE P, et al. A review of domestic and international metacosmos research [J]. Modern Intelligence, 2022, 42(12): 147-159.
- [8] HUYNH-THE T, GADEKALLU T R, WANG W, et al. Blockchain for the metaverse: A review [J]. Future Generation Computer Systems, 2023, 143: 401-419.
- [9] DAVID V D M. The metaverse as virtual heterotopia[C]// 3rd World Conference on Research in Social Sciences. 2021.
- [10] JENTZSCH C. Decentralized autonomous organization to automate governance [J/OL]. <https://lawofthelevel.lexblogplatformthree.com/wp-content/uploads/sites/187/2017/07/White-Paper-1.pdf>.
- [11] WANG L, CHEN H Z, CAI W. Education in the meta-universe: the present situation and the future of innovation [J]. Journal of East China Normal University (Educational Science), 2023, 41(11): 38-51.
- [12] PARK J, SEO Y S. A deep learning-based action recommendation model for cryptocurrency profit maximization [J]. Electronics, 2022, 11(9): 1466.
- [13] TOYGAR A, ROHM J C E, ZHU J. A new asset type: digital assets [J]. Journal of International Technology and Information Management, 2013, 22(4): 7.
- [14] NING H, HU S, HE W, et al. nID-based Internet of Things and its application in airport aviation risk management [J]. Chinese Journal of Electronics, 2012, 21(2): 209-214.
- [15] ZHOU Y, HUANG H, YUAN S, et al. Metafi++: Wifi-enabled transformer-based human pose estimation for metaverse avatar simulation [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2023, 10(16): 14128-14136.
- [16] SINGH M, SRIVASTAVA R, FNENMAYOR E, et al. Applications of digital twin across industries: A review [J]. Applied Sciences, 2022, 12(11): 5727.
- [17] MOZTARZADEH O, JAMSHIDI M, SARGOLZAEI S, et al. Metaverse and healthcare: Machine learning-enabled digital twins of cancer [J]. Bioengineering, 2023, 10(4): 455.
- [18] RAMARAJ E, INDIRA D. Data Fusion Method and Internet of Things (IoT) for Smart City Application[C]// 2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV). IEEE, 2021: 284-289.
- [19] GUO X S. Research on dynamic gesture recognition and application in human-computer interaction[D]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University, 2014.
- [20] HU Y, LIU C Y. "Meta-cosmic society": The inherent potential and transformative impact beyond discourse [J]. Nanjing Social Science, 2022(1): 106-116.
- [21] SOLIMAN M M, AHMED E, DARWISH A, et al. Artificial intelligence powered Metaverse: analysis, challenges and future perspectives [J]. Artificial Intelligence Review, 2024, 57(2): 36.
- [22] BROWN T B. Language models are few-shot learners [J]. arXiv, 2005. 14165, 2020.
- [23] DABRE R, CHU C, KUNCHUKUTTAN A. A survey of multilingual neural machine translation [J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2020, 53(5): 1-38.
- [24] SUTTON R S, BARTO A G. Reinforcement learning: An introduction[M]. MIT press, 2018.
- [25] SUN J H. Research on Artificial Intelligence Enabled Accessible User Interface Design [J]. Shanghai Packaging, 2024(5): 29-31.
- [26] GOODFELLOW I, POUGET-ABADIE J, MIZAR M, et al. Generative adversarial nets [C]// Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 2. 2014: 2672-2680.
- [27] BRIGANTI G, OLIVIER L M. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow [J]. Frontiers in medicine, 2020, 7: 509744.
- [28] MAO Y M. Research on large-scale data crawling and testing methods in software testing [J]. Computer Programming Skills and Maintenance, 2024(3): 94-96, 103.
- [29] GHORBANTANHAEI H, BOOZARY P, SHEYKHAN S, et al. Predictive analytics in customer behavior: Anticipating trends and preferences [J]. Results in Control and Optimiza-

- tion, 2024, 17:100462.
- [30] JIANG X Y, JIANG N, DU W. Research on virtual dynamic design based on meta-universe perspective [J]. *Footwear Technology and Design*, 2023, 3(21):21-23.
- [31] SHI F, NING H, ZHANG X, et al. A new technology perspective of the Metaverse: Its essence, framework and challenges [J]. *Digital Communications and Networks*, 2023, 10(6):1653-1665.
- [32] LEE L H. All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda [J]. *arXiv*:2110.05352, 2021.
- [33] BUI V P, PANDEY S R, CASPARSEN A, et al. The Role of Game Networking in the Fusion of Physical and Digital Worlds through 6G Wireless [J]. *arXiv*:2302.01672, 2023.
- [34] YOU X H, ZHANG C, TAN X S, et al. AI-based 5G technology-research directions and paradigms [J]. *SCIENCE CHINA: Information Science*, 2018, 48(12):1589-1602.
- [35] ZAWISH M, DHAREJO F A, KHOWAJA S A, et al. AI and 6G into the metaverse: Fundamentals, challenges and future research trends [J]. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2024, 5:730-778.
- [36] ZHANG T, REN Y J, YAN S, et al. Artificial intelligence-driven 6G networks: intelligence endogenous [J]. *Telecommunication Science*, 2020, 36(9):14-22.
- [37] KHAN M A, SALAH K. IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges [J]. *Future generation computer systems*, 2018, 82:395-411.
- [38] PREGOWSKA A, OSIAL M, GAJDA A. What will the education of the future look like? How have Metaverse and Extended Reality affected the higher education systems? *Metaverse Basic and Applied Research* [EB/OL]. <https://doi.org/10.56294/mr202457>.
- [39] SHARMA S, SINGH J, GUPTA A, et al. User Safety and Security in the Metaverse: A Critical Review [J]. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2024, 5:5467-5487.
- [40] BAO G G, YUAN L L. Exploration of ethical relations and ethical problems in the metacosmos [J]. *Natural Dialectics Newsletter*, 2024, 46(5):112-119.
- [41] XU H. Capital thinking in the era of meta-universe [J]. *Robotics technology and application*, 2023(1):23-27.
- [42] SANDRONE S. Medical education in the metaverse [J]. *Nature Medicine*, 2022, 28(12):2456-2457.
- [43] ZHANG C, CHU D H, ZHANG Q, et al. Meta-universe teaching: A higher-order form of digital pedagogical transformation in higher education [J]. *Computer Science*, 2024, 51(10):1-9.
- [44] HONG J, LEE Y, KIM D H, et al. A Context-Aware Onboarding Agent for Metaverse Powered by Large Language Models [C]// *Proceedings of the 2024 ACM Designing Interactive Systems Conference*. 2024:1857-1874.



**CAO Mingwei**, born in 1986, Ph.D, associate professor, master supervisor, is a member of CCF (No. 49221M). His main research interests include 3D reconstruction and computer vision.



**LI Ning**, born in 1985, Ph.D. Her main research interests include computer vision and metaverse.

(责任编辑:何杨)