

◆特邀专稿◆

元宇宙技术及应用研究进展^{*}蒋明^{1,2,*}, 李琪^{1,2}, 龚才春^{1,3}, 张峰^{1,2}, 刘章珩²

(1. 桂林电子科技大学元宇宙研究院, 广西桂林 541004; 2. 广西数科院科技有限公司, 广西南宁 530022; 3. 武汉元宇宙研究院, 湖北武汉 430040)

摘要:元宇宙(Metaverse)是一个虚拟时空的集合,由一系列的增强现实(Augmented Reality, AR)、虚拟现实(Virtual Reality, VR)和互联网(Internet)组成,是一个平行于现实世界运行的人造空间,也被认为是互联网的下一个阶段,是由AR、VR、3D等技术支持的虚拟现实的网络世界。自2021年以来,国内外掀起了研究元宇宙的热潮。本文介绍了元宇宙的起源和定义、发展元宇宙的意义、元宇宙的技术体系、发展面临的问题和风险等;重点分析了元宇宙的主流技术体系和典型应用场景,列举了相关研究成果和观点;最后给出了元宇宙未来的研究方向。

关键词:元宇宙;数字经济;数字科技;虚拟现实;区块链;集成创新

中图分类号: TP183 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2023)01-0014-13

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20230308.002

元宇宙(Metaverse)是2021年当之无愧的全球最热词。先有号称“Metaverse 第一股”的Roblox在纽约证券交易所上市,后有互联网巨头Facebook更名为Meta。随着苹果、微软、腾讯、阿里巴巴等科技界巨头,以及清华大学、北京师范大学等国内顶尖研究机构的跟进,元宇宙迅速成为风口,2021年甚至直接被冠名为“元宇宙元年”。

元宇宙作为集合了互联网(Internet)、大数据、区块链(Blockchain, BC)、人工智能(Artificial Intelligence, AI)、物联网(Internet of Things, IOT)、脑机接口(Brain Computer Interface, BCI)、3D图形渲染、

高性能计算、云计算、全息光场等新一代信息技术的集成创新结晶,它整合多种技术形成虚实相融的互联网应用和社会新形态,“向虚”延伸,形成以消费者为中心的元宇宙;“向实”发展,形成以生产者或实体产业为中心的产业元宇宙。前者相对注重沉浸式虚拟世界体验的不断升级,后者则相对注重由虚拟世界与现实世界的交互融合而对实体经济带来的价值赋能。

关于元宇宙的本质,从技术角度来看,它是区块链、人工智能、大数据、扩展现实(Extended Reality, XR)、物联网等数字科技的集成创新所构建的虚实融

收稿日期: 2022-12-28

修回日期: 2023-02-04

*“广西元宇宙发展策略及其在产业场景运用研究”项目(2022ZL00193)资助。

【第一作者简介】

蒋明(1975-),男,博士,教授,主要从事元宇宙和人工智能应用技术研究、场景应用创新和产业发展规划研究, E-mail: mjiang@guet.edu.cn。

【**通信作者】

【引用本文】

蒋明,李琪,龚才春,等. 元宇宙技术及应用研究进展[J]. 广西科学, 2023, 30(1): 14-26.

JIANG M, LI Q, GONG C C, et al. Research Progress on the Technology and Application of Metaverse [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(1): 14-26.

生的虚拟空间;从产业角度来看,它是数字经济的迭代升级,虚拟经济与实体经济的深度融合、相互赋能和裂变;从哲学角度来看,它是现实宇宙到虚实融生的超宇宙延伸;从生产力的角度来看,它是信息化、数字化到元宇宙化的不断进步;从生产关系的角度来看,它是专创、众创的中心化经济模式到共创、共建、共用、共享、共治经济模式的改进。

本文主要从元宇宙的技术基础角度出发,对元宇宙的技术框架、技术支持和技术体系分别进行介绍,重点阐述元宇宙在教育、医药、智慧城市、商业、文化和制造业等六大领域的应用,最后介绍元宇宙所带来的风险和相应的对策,以帮助读者更好地了解如何涉入元宇宙。

1 元宇宙的起源和定义

元宇宙的英文“Metaverse”最早出现在1992年出版的美国科幻作家尼尔·史蒂芬森(Neal Stephenson)的科幻小说《Snow crash》^[1]中,书中这样描述:Hiro并非真正身处此地,实际上他在一个由电脑生成的世界里,电脑将这片天地描绘在他的目镜上,将声音送入他的耳机中。这个虚构的空间叫作“Metaverse”^[2]。

2021年3月11日,Roblox正式登陆纽约证券交易所,成为元宇宙第一股。同一时间,钛媒体APP发表了一篇题为“淡马锡、腾讯参与投资,原生元宇宙概念股Roblox上市了”^[3]的文章,这是Metaverse首次被翻译成“元宇宙”并在国内媒体上出现。

2021年10月28日,Facebook宣布将公司更名为Meta,更是让元宇宙成为全球热点。在元宇宙领域,尤其是新闻传播界和资本界,最多的传言莫过于“一千个人心中有一千个元宇宙”^[4]。为了引起广泛关注,部分人并未思考其言语是否符合科学精神和未来的发展趋势,而只是一味追求“语不惊人死不休”,各种荒诞怪异的观点见诸报端。

关于元宇宙技术,目前国际上还没有统一的定义。2022年7月初,全国科学技术名词审定委员会(以下简称“全国科技名词委”)开始组织专家起草“元宇宙”的定义。来自学术界和产业界元宇宙相关领域的19位专家用了两个多月的时间为“元宇宙”及其8个核心技术起草定义。2022年9月13日,全国科技名词委邀请李德仁院士、庄松林院士、龚才春博士、蒋明博士等国内元宇宙学术和产业研究专家,审定了元宇宙、化身、数字人等3个核心术语的草拟定义,形成

了以下征求意见稿——中文名“元宇宙”,英文对照名“Metaverse”,释义:人类运用数字技术构建的、由现实世界映射或超越现实世界的、可与现实世界交互的虚拟世界。

2 元宇宙的技术基础

元宇宙的构建需要各种新技术、协议和创新。随着不同技术、功能和服务的发展融合,元宇宙将逐步建立。

2.1 框架

元宇宙的框架可以概括为4层,包括交互层、网络层、应用层和支持技术层。交互层的主要任务是实现人类与虚拟世界之间的通信,并确保用户的沉浸式体验。该层涉及的技术主要包括感知设备、BCI^[5]、XR技术和机器人。网络层包括实现网络传输的技术和硬件基础,为元宇宙提供高带宽、低延迟、稳定和安全的网络环境。目前主要的网络技术是5G和6G。应用层主要与元宇宙的内容生产和维护相关,包括空间映射、内容生成和认证机制。空间映射是基于真实世界的完整实时映射,与数字孪生(Digital Twins,DT)、全息和人工智能相关。内容生成是元宇宙运营的驱动力,元宇宙与AI、可视化技术相关。认证机制包括委员会认证(Board certified)和非同质化通证(Non-Fungible Token,NFT)等技术,是元宇宙稳定运行的保证,为元宇宙提供了一个安全、可认证的数字环境。此外,计算能力、标准、协议以及安全措施是实现元宇宙的基础技术。

2.2 技术支持

2.2.1 网络

网络的主要任务是实现计算机之间的信息传输、接收和共享。通信技术和网络是元宇宙形成与现实世界互联的虚拟世界的基础,其发展和局限性影响元宇宙中的产品和服务。用于衡量网络性能的主要指标是带宽、延迟和可靠性。

首先,带宽是指在给定时间等条件下流经特定区域数据的最大比特数,理论上可以是网络中传输数据的最大速率。元宇宙中真实世界的完整重建不是一次性的,而是数据同步,并实时与真实世界进行交互。随着虚拟仿真的复杂性增加,需要通过网络传输的数据量急剧增加。元宇宙需要网络来提供大规模连接、高性能端到端传输延迟、网络计算缓存和灵活的处理能力,因此,迫切需要对现有网络架构进行更改。目前,通信技术的代表是5G,因此根据元宇宙场景构建

匹配的基础设施是必然的选择,例如建设5G基站和其他网络设施。无线(局域)网(Wireless Fidelity, Wi-Fi)、6G通信等技术能够满足元宇宙中大规模信息交换和及时响应的需求。其次,作为一个超大型虚拟孪生平台,元宇宙必须确保网络的低延迟,以保证用户的社交体验和期望。当前的社交应用对网络延迟(如同步视频通话)的要求不高,然而,元宇宙的社交性质和迎合各种场景的需求意味着它需要低延迟。元宇宙中实现XR、触觉协同、全息感知通信和其他技术的目标是实现1 ms的端到端延迟。当使用边缘计算时,边缘计算节点的构建可以缩短信息流传输的距离,从而减少元宇宙网络的传输延迟。最后,网络的可靠性是元宇宙稳定运行的基础。无论是远程医疗、自动驾驶、虚拟劳动,还是虚拟教育,都非常有必要使用合理的网络结构和容错设计来确保服务的可靠性。

2.2.2 计算

作为数字世界的载体,元宇宙需要强大的计算能力来满足各种功能和服务,如物理计算、渲染、数据同步等,计算能力将决定元宇宙的上限。作为一个始终运行的镜像世界,元宇宙有着巨大的、持续的计算需求。同时,大规模和高度复杂的数字孪生空间和数字人的建模需要许多设计师的协同创作,而现实世界和数字世界之间的交互需要实时、高清的3D渲染计算能力和低延迟的网络数据传输。该计算和传输技术提高了云协作的处理需求,以及所需的大量图形和图像计算需求。元宇宙的应用将涉及多种类型的物理模拟,如功率、热量和流体,这需要使用高精度的数值计算来支持物理模拟和科学可视化。此外,元宇宙还将涉及人机交互等AI应用场景。人工智能驱动的数字人通常需要结合语音识别和自然语言处理(Natural Language Processing, NLP)等人工智能算法来实现交互能力。这些模型需要强大的AI计算能力来支持其训练需求。构建高度逼真的数字世界和实现数亿用户之间的实时交互面临许多挑战,包括大场景规模、高场景复杂性、实时渲染、模拟、交互等,这些对支持元宇宙构建和运营的核心能力——计算能力,提出了更高的要求。这一需求不仅是一个高性能、低延迟、易于扩展的硬件平台,而且是一个端到端、生态丰富、易于使用的软件堆栈。

硬件计算能力和边缘云计算能力的发展将进一步增强用户的低延迟和高保真体验。首先,硬件计算能力的提高,特别是图形处理器(Graphics Process-

ing Unit, GPU)计算能力的提升,可以进一步增强元宇宙和云游戏的显示效果,使建模更真实的场景和项目成为可能。其次,通过边缘云计算,可以降低终端设备的性能要求。联网设备在边缘数据中心或本地处理数据,而无需将数据传输回中央服务器,这将减少云上的负载,显著提高处理速度,为用户提供更快的响应,同时网络的安全性也有所提高。边缘计算在不同的数据中心和设备之间分配数据处理,黑客如果只攻击一个设备将不能影响整个网络。此外,动态分配计算能力的云计算系统将是元宇宙基础设施的一部分,包括云存储和云渲染。

2.2.3 虚拟和真实交互界面

在现实生活中,用户访问元宇宙的方式应该易于操作、方便且适应性强。目前,连接现实和元宇宙的技术主要有XR、BCI和机器人等。XR包括虚拟现实(Virtual Reality, VR)、增强现实(Augmented Reality, AR)^[6]和混合现实(Mixed Reality, MR)^[7]。VR是一种向用户呈现与真实世界相似或不同的虚拟环境的技术。AR在保留真实世界的基础上叠加了一层虚拟信息,允许用户获得经过计算机实时分析和处理的数据和信息,可以帮助用户进行工作和决策。MR是指通过融合现实世界和虚拟世界而创建的新视觉环境,是VR和AR的融合。XR技术通过捕捉用户动作并使用用户的视觉、听觉和触觉,实现元宇宙中信息的输入和输出。这些XR技术属于沉浸式媒体,可以从第一人称视角向用户呈现元宇宙中的数字内容,是实现虚拟现实交互的支持技术。目前,XR技术依赖于屏幕和传统控制系统,其中一些技术还使用用户的触觉和嗅觉。然而,为了实现稳定的长期虚拟世界,需要探索和利用BCI。BCI的目标是完全取代屏幕和物理硬件,利用用户的思维驱动应用程序。BCI的应用正成为科技巨头竞争的焦点,目前主要应用于医疗领域。未来,BCI的发展将使人类的思想能够被跟踪、记录和共享。机器人作为物理模拟,可以在现实世界中扩展人类的能力,并成为连接元宇宙的另一个渠道。从虚拟世界生成的合成数据可能会引导机器人解决问题,并取代人类从事高风险工作。

2.2.4 内容制作

元宇宙所提供的一个服务的重要部分是其内容,包括内容生成、演示和审查。

首先是内容生成。构建一个与现实世界高度一致甚至超越现实世界的元宇宙,需要大量的数据模拟

和强大的计算能力来创建一个虚拟世界,其关键核心是 DT。DT 是元宇宙的基石,是在虚拟空间中创造真实事物的动态孪生^[8],在传感器的帮助下,本体的操作状态和外部环境数据可以实时映射到孪生体。DT 是跨越其生命周期的对象或系统的虚拟表示,并使用机器学习等技术辅助决策,最初用于工业制造^[9]。虚拟模型通过传感器准确地反映真实对象或系统,这些传感器主动将与它们的功能和环境相关的数据实时转发给它们的数字孪生。物理对象或系统的任何变化都会导致数字表示的变化,反之亦然。该系统使用数据分析方法来预测机器何时会发生故障,并在故障发生之前进行维修。元宇宙需要 DT 以极其丰富的细节构建一个真实的环境,创造一种身临其境的体验。DT 的成熟度决定了元宇宙在虚拟现实映射和交互中能够支持的完整性。模拟和同步真实世界只是构建元宇宙的第一步,用户无需重复即可获得的大量内容是元宇宙服务的关键组成部分。数字内容创作的智能化水平随着人工智能的发展而不断提高。从最初的专业生成内容(Professional Generated Content,PGC),到用户生成内容(User Generated Content,UGC)和人工智能生成内容(Artificial Intelligence Generated Content,AIGC),再到未来的全自动化 AIGC,虽然内容创建成本在降低,但对智能的要求正在逐步提高^[10]。人工智能创造和产生的内容是未来产业的重要生产力,低代码和自动化内容将成为主流,并将大大降低创作门槛和创作成本,创意市场将从小众转向大众。

其次,如何将元宇宙的内容合理地呈现给用户是值得思考的问题。DT 为内容展示提供了一个平台,元宇宙使用 DT 构建的真实世界的数字副本作为切入点,为用户提供完全连接的 3D 体验。同时,XR 技术和各种传感器被用于优化物理世界,增强用户在现实世界中的沉浸感。由 AI 驱动的数字化身以有组织的方式向用户呈现元宇宙的内容。人工智能用于处理大量非结构化数据,并提高复杂环境中的计算效率。通过扩展知识图,AI 可以参与决策、规划、执行和调整的全过程,进一步提高自动化水平,从而全面提高复杂系统的决策智能。

最后,内容审查也是必要的,AI 技术用于审查无法在元宇宙中手动完成的大量内容,以确保元宇宙的安全性和合法性。

2.2.5 身份验证机制

与人类社会不同,元宇宙是完全数字化的。因

此,需要一种新的认证机制在元宇宙中构建一个独特的信用系统,并解决传统互联网遗留的集中化问题。一方面,稳定的经济体系可以鼓励用户独立生成内容,从而确保元宇宙中有丰富的内容供用户使用和消费,在经济体系中,信用体系是不可或缺的。另一方面,数字世界的特点是集中化,且易于复制和传播^[11]。集中式系统在虚拟世界的创建和运行中存在巨大风险,如黑客攻击、恶意软件和集中式决策。现实世界的认证机制在数字世界中是无效的,很难保护创作者和用户的权利。BC 将这些风险降至最低,并使构建一个稳定的虚拟世界成为可能。BC 的分布式账本实现了每个节点存储完整的数据,这些数据不能被篡改或删除,并且可以及时追溯。BC 依靠共识机制和非对称加密来确保存储的一致性和用户数据的安全性。基于这种可信且不可变的数据,智能合约可以有效地管理元宇宙中参与者之间的经济、法律、社会和其他关系。NFT 是一种基于 BC 的数字资产权利证书,数字资产被铸造成 NFT 后,将永久存储在 BC 上,这是唯一且不可变的^[12]。一般来说,构建真正的元宇宙需要解决系统中的资产和身份问题,每个人的资产、身份和其他数据都通过 BC 技术以分散的方式记录,同时,每个虚拟资产通过 NFT 合同记录并确认所有权,不会因被复制或伪造而损失价值。基于去中心化网络的虚拟货币使元宇宙中虚拟身份的归属、流通和价值实现以及认证成为可能。

2.3 技术体系

元宇宙是新一代信息技术的集大成者,是众多最新数字科技的集成创新。从元宇宙由一个科幻术语转变为科技术语开始,专家们就开始梳理元宇宙的技术体系,元宇宙的技术体系逐步成熟和完善。各专家团队提出的技术体系,从最初的罗列元宇宙可能涉及的技术体系,如 BAND 技术体系、BIGANT 技术体系和 We aimed to begin 技术体系,到分门别类的梳理,如 BASIC 技术体系和参考架构,再到分层的技术模型。这些体系都是以信息基础设施(互联网、5G/6G 网络、物联网、Wi-Fi 6 等通信设施)为载体,以虚拟现实(VR/AR/MR/XR)为核心技术支撑,运用云计算、人工智能、区块链等为代表的数字化新技术,以数据为基础性战略资源构建而成的数字化时空域,最终在基础芯片、元器件、操作系统等硬件技术基础上构成“元宇宙”终端入口。

2.3.1 BAND 技术体系

2021 年 5 月 30 日,国盛证券分析师宋嘉吉发布

行业深度研究报告《元宇宙：互联网的下一站》，提出构建元宇宙的四大支柱 BAND，即区块链 (Blockchain)、游戏 (Game)、网络算力 (Network) 和显示方式 (Display)^[13]。这四大支柱分别从价值交互、内容承载、数据网络传输及沉浸式展示融合构建元宇宙。

2.3.2 BIGANT 技术体系

赵国栋、邢杰、易欢欢、徐远重等老师集前人之所长，在他们写的《元宇宙》《元宇宙通行证》《元宇宙大投

资》这几本书中，创造性地提出了元宇宙的六大技术，即区块链 (Blockchain) 技术、交互 (Interaction) 技术、游戏引擎和空间计算 (Game Engine and Spatial Computing)、人工智能 (Artificial Intelligence)、网络 (Network) 技术和物联网 (Internet of Things) 技术，简称 BIGANT (大蚂蚁)。BIGANT 技术体系 (图 1) 是目前影响非常大、传播非常广的技术体系，代表了早期对元宇宙核心技术进行罗列和阐述的巅峰。

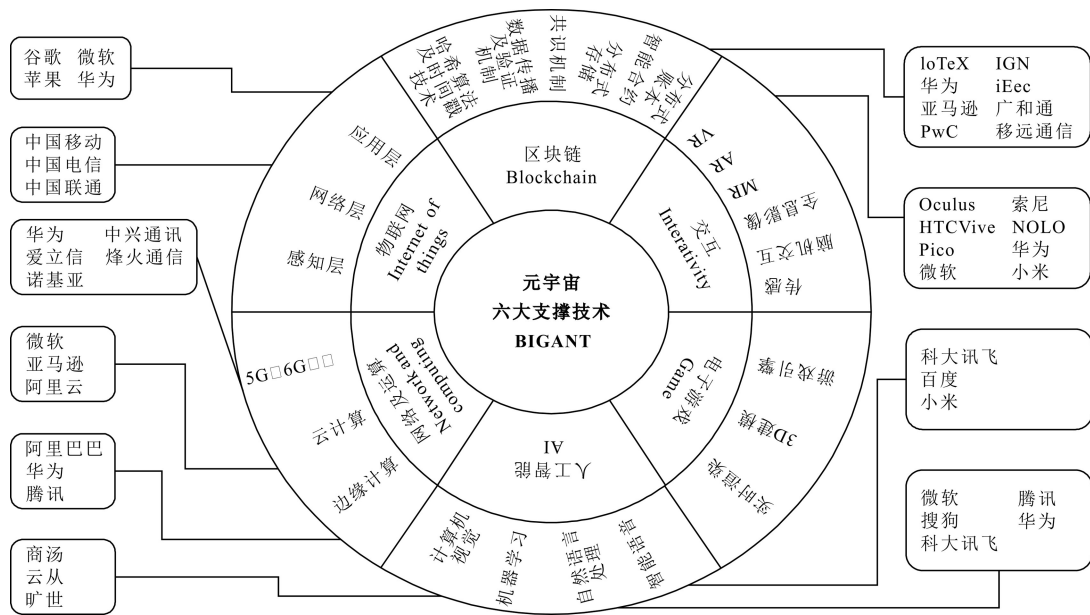


图 1 BIGANT 元宇宙技术体系^[13]

Fig. 1 BIGANT Metaverse technology system^[13]

2.3.3 We aimed to begin 技术体系

清华大学沈阳教授团队在《元宇宙发展研究报告 2.0 版》中也总结了元宇宙的技术体系。沈阳教授团队进一步丰富了 BIGANT 技术体系，认为元宇宙是由 Web 3.0、AI、3D 建模、游戏引擎、大数据、数字孪

生、操作系统、区块链、扩展现实、5G、交互技术、物联网等 12 项关键技术组成。选取这 12 项关键技术英文表述的首字母或特定字母，连起来就是“*We aimed to begin*”，因此，沈阳教授团队提出的技术体系一般又称为 *We aimed to begin* 技术体系 (图 2)。

We aimed to begin. (我们志在启程)

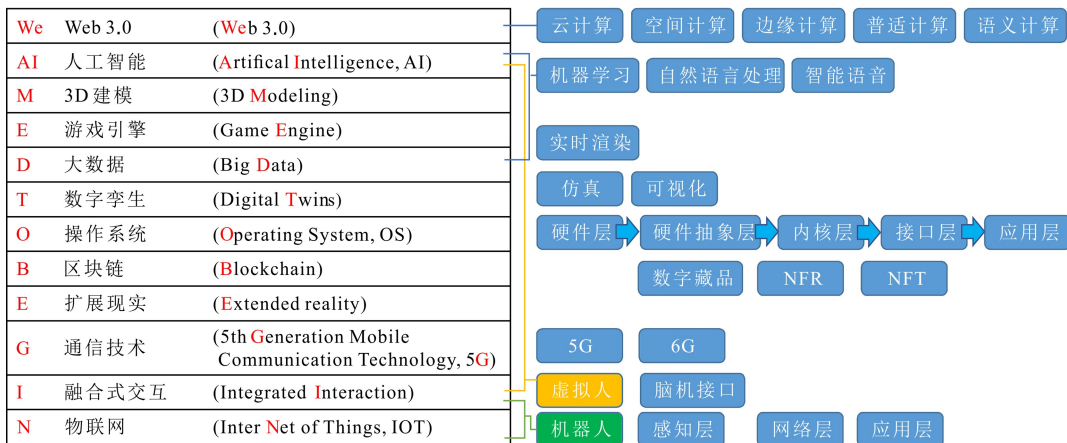


图 2 “We aimed to begin” 元宇宙技术体系^[14]

Fig. 2 “We aimed to begin” Metaverse technology system^[14]

2.3.4 BASIC 技术体系

颜阳博士博采众长,仔细分析了元宇宙的各项技术,在其《元宇宙科技产业党政干部学习详解》一书中提出 BASIC 技术体系,该体系主要由 1B、2A、3S、4I、5C 5 个部分组成。

1B:主要指区块链(Blockchain),包括公链、非同质化通证(NFT)、中国数字货币(Digital Currency Electronic Payment,DCEP)以及分布式金融。海外的 NFT 大多建立在以太坊上,因此在落地实施时需要对其进行改造,采用符合我国监管要求的公链技术。

2A:指游戏(Game)技术和人工智能(Artificial Intelligence)。

3S:指空间计算(Spatial Computing)、安全(Security)、数字孪生和数字原生的集合体(Synthesis of Digital Twins and Digital Born)。

4I:指交互技术(Interactive Technology)、脑机接口(Brain Computer Interface)、物联网(Internet of

Things),以及 VR、AR、MR、XR 等相关技术(Integration of VR/AR/MR/XR)。

5C:指云计算(Cloud Computing)、芯片(Chips)、通信网络(Communication Network)、边缘计算(Edge Computing)以及能源的重构建设(Energy Construction)。

颜阳博士认为,BASIC 技术体系加之时、空、物三者不同的场景组合,形成了一个较为完整的元宇宙技术生态。

2.3.5 元宇宙技术参考架构

在龚才春博士主编的《中国元宇宙白皮书》(2022 版)^[15]中,孙喜庆老师给出了元宇宙技术参考架构(图 3),这是一个元宇宙的整体参考架构。元宇宙技术参考架构可分为接入访问终端、现实世界、虚拟世界和基础支撑平台四大部分,其中,元宇宙是指“虚拟世界”部分。

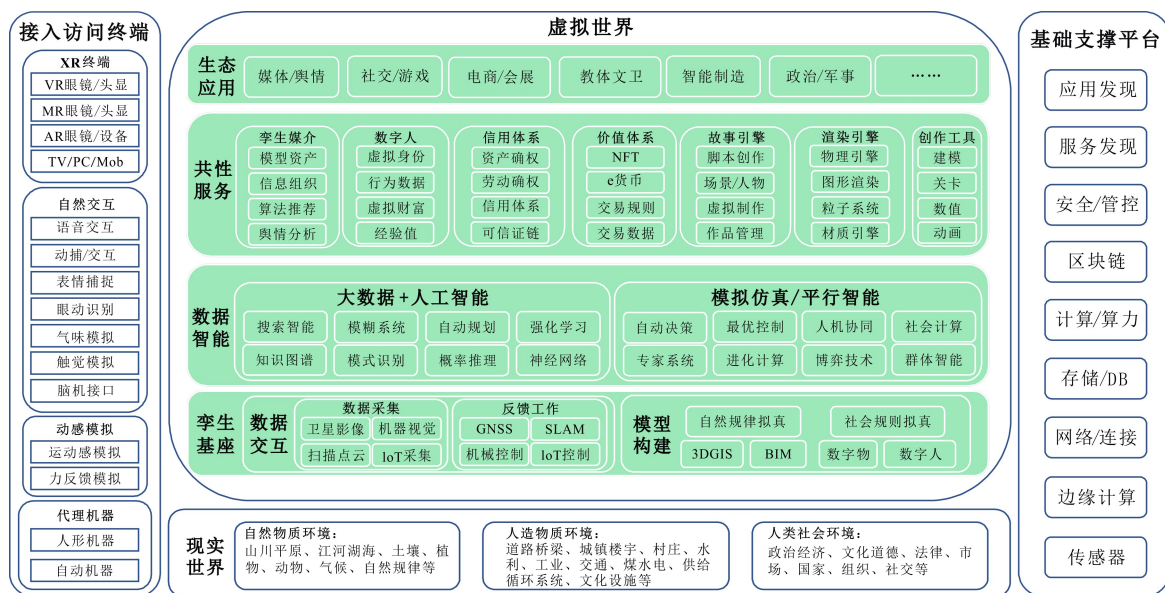


图 3 元宇宙技术参考架构^[15]

Fig. 3 Metaverse technical reference framework^[15]

2.3.6 元宇宙的分层技术模型

龚才春博士认为元宇宙不是若干技术的集合,而是集成创新^[15]。集成创新不是集合创新,集成创新要求将局部事物进行有机的组合,而不是简单的拼凑。从历史的角度来看,任何技术的创新都是在前人已有技术的基础上做集成创新,集成创新的关键是如何把已有的若干项事物有机地结合起来,产生新的价值,并使其具有新的应用场景。龚才春博士在前人研究的基础上结合技术的关联性,提出了元宇宙的分层

技术模型^[15],将元宇宙的核心技术分层描述,具体如图 4 所示。



图 4 元宇宙的分层技术架构^[15]

Fig. 4 Hierarchical technical architecture of the metaverse^[15]

元宇宙是众多信息技术达到一定奇点的产物,也是众多技术发展一定阶段的必然结果。如图4所示,元宇宙的核心技术分为6层,研究者应在深刻理解元宇宙各项核心技术之间关系的基础上,理解如何将几十个元宇宙核心技术组合成一个元宇宙的应用场景。例如:元宇宙健身房通过引入无线通信技术、AI、芯片等,能够打造一个居家健身平台入口,元宇宙健身房支持用户随时随地利用碎片化时间健身,通过体感设备和检测指标与教练在线互动,虚拟身份支持加入虚拟社群,与健身爱好者互相交流;元宇宙旅游通过数字化方式捕捉空间的3D图像,并将景点放入云端展示,游客只需要戴上VR眼镜便能够来一场“说走就走”的旅行,各种讲解和仿真式的互动更可以帮助游客获得超越现实旅游的沉浸式体验。

3 元宇宙的应用领域

3.1 教育

在新型冠状病毒感染流行之前,在线教育每年都在稳步增长。虚拟环境中的有效教学一直是研究的热点^[16,17]。随着新型冠状病毒感染在全球蔓延,许多学生的学校生活受到了干扰,特别是处境困难的学生。根据联合国儿童基金会的数据,2020年4月,大多数国家的线下教学受到影响,全球超过91%的学生无法参加线下课程^[18]。新型冠状病毒感染疫情的出现限制了人们在物理空间中的流动,并显著加快了数字内容的增长。在线教学可以解决地理限制带来的不便,但传统在线教学方法往往无法取得好的效果。例如,在游戏环境中学生会分心,教师和学生之间通过电子屏幕和语音进行的交流不像现实世界中那样方便和有效。随着计算能力和网络等各种数字技术的发展,在教育领域使用沉浸式虚拟环境逐渐成为现实。通过XR、云计算和其他技术,教师和学生可一起在同一虚拟学习空间^[18,19]。教师和学生之间的互动以可视化虚拟教学,在打破物理距离限制的同时,教学效果也大大提高。

在恢复传统课堂的基础上,元宇宙的应用可以实现许多现实条件下难以实现或不可能实现的事情。例如,在元宇宙中,学生可以自己进行涉及危险化学实验的实验,这也有助于安全教育的发展^[20];医学实验通常需要苛刻的环境和大量的材料,但学生需要多次重复实验以提高熟练程度,标准的虚拟实验环境可以满足高标准教学需求,同时降低教育成本^[21]。此外,残疾儿童的教育问题可以在元宇宙中得到解决,

使用基于AI系统的模拟人类手势的化身远程教授手语,可以让听障儿童的学习过程变得更加轻松有趣。应该注意的是,在设计与教育相关的虚拟环境时,应该遵循学生的学习规律和原则,而不是仅仅追求有趣的东西来吸引学生的注意力,过多的互动可能会导致学生分心,从而忽视知识获取和能力训练。目前,教育元宇宙仍有很多需要构建和探索的地方,元宇宙的表示及其可访问性是首要任务。

3.2 医药

如何保持健康是人们生活中非常重要的话题,因此人们一直在追求医疗领域的不断创新和发展。从磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)扫描和X射线到机器人手术和VR,医疗保健行业正在经历大规模的数字化转型^[22]。在3D虚拟环境中实现远程医疗、医学教育和医疗保健,可以克服物理因素带来的限制,为医学研究带来新的视角。

3.2.1 远程医疗

作为各种数字技术的组合,元宇宙非常适合互连物理和虚拟对象,包括用于提供实时医疗服务的空间和对象。在虚拟世界中,基于化身的医患咨询的使用突破了地域限制,还可以直接将元宇宙中现有的远程医疗服务整合起来。Yang等^[23]提出了医学元宇宙的定义,即使用AR和VR技术的医学物联网(Medical Internet of Things, MIoT),MIoT的3个基本功能是全面感知、可靠传输和智能处理。Skalidis等^[24]提出了CardioVerse,强调了元宇宙在辅助心血管治疗中的可行性和重要性。通过高分辨率显微CT扫描和3D建模技术,医生可以在虚拟器官内进行工作。这种方法从新的角度加深了研究人员对人体器官的理解,提高了疾病治疗的效率。使用Microsoft HoloLens技术作为手术辅助,外科医生可以更准确地检测、诊断和治疗疾病。

3.2.2 医疗保健

首先,在治疗或康复过程中为患者提供一个轻松愉快的虚拟环境,可以缓解患者的痛苦和焦虑,有利于患者早日康复。其次,BC是医疗保健行业的关键部分。BC通过智能合约控制去中心化社区,并记录数字世界中所有数据的所有权。目前,健康数据通常以低效和不透明的方式传输。由于健康数据通常保存在中央计算机上,因此很容易被盗,BC可以为健康数据的管理和安全提供解决方案。将患者数据转换为NFT可以从根本上提高共享和管理电子健康记录的安全性和可靠性^[25]。再次,在虚拟世界中,患者

自己的数字双胞胎被构建为患者的个人“测试假人”,以预测患者如何从手术中恢复或制定个性化治疗计划。

3.3 智慧城市

3.3.1 数字城市

数字城市是指使用各种软件、通信网络和物联网来收集城市中的各种数据,并分析这些数据以获得改善公共生活的智能解决方案。许多国家已经开始建设数字城市,旨在改善交通条件、节约能源、提高城市安全指数,并为城市建设提供最佳规划解决方案。数字城市技术不仅可以提高制造业、城市农业、能源使用等方面的效率,还可以连接各种服务,为市民提供联合解决方案。在元宇宙中,使用DT构建数字城市和实时模拟真实城市环境可以促进经济发展,实现人力资源的有效管理,改善生态环境,从而提高居民的整体生活质量^[26]。

3.3.2 城市规划

传统的城市规划方法需要实地调查,同时,数据收集和程序设计消耗大量人力和物力。基于DT和XR技术,元宇宙通过数据构建的城市镜像可以通过物联网技术反映镜像中的实时城市情况,并通过数据处理计算和模拟复杂场景^[27]。这种方法将彻底重构城市建设和运营的逻辑,优化城市设计布局,并在模拟规划和优化治理方面高效指导城市建设。元宇宙可以为城市规划者提供一个全面的动态模拟器,允许他们获得虚拟城市中每个房屋的实时状态数据和环境数据,并通过人工智能算法获得合适的城市规划方案,提高决策效率。

3.3.3 智能交通

智能交通是指在元宇宙中使用DT、ML和IOT等技术,实时收集交通数据并将其输入已建立的交通模型系统,实现交通系统的数字虚拟映射。大数据分析、人工智能和交通模拟技术可以评估现有方案并获得交通优化方案。元宇宙中的交通系统必须是一个数字孪生体^[28],它可以全面覆盖交通管理、监督、规划、设计以及交通服务。在元宇宙中管理虚拟流量的同时,该系统可以加深对真实物理世界的理解,并做出更准确的预测,从而在流量管理中实现真正的人工智能。例如,在交通基础设施建设中,大数据分析被广泛应用于智能交通的高效设计和规划,以形成合理的城市交通布局^[29]。在交通管理中,智能交通可以监控交通流量并优化交通灯以减少拥堵,同时为驾驶员和乘客提供实时信息,以减少事故并改善道路安

全。在基于物联网的智能交通环境中,适当的预处理、实时分析和通信模型可以实现道路交通中的友好通信,并在很大程度上避免道路事故。随着城市中的车辆越来越多,智能停车变得非常重要,目前,已有关于利用物联网优势进行停车管理的相关研究。智能停车技术不仅可以帮助司机轻松找到停车位,而且还支持数字支付。此外,飞行员利用AR模型可以轻松实现在各种机场和航线进行飞行训练,AR模型还可以模拟各种天气和时区的飞行场景,节省大量培训成本。

3.4 商业

3.4.1 零售

元宇宙为线上和线下销售的融合提供了技术和平台支持^[30]。零售业的企业可以利用数字技术为消费者创造身临其境的购物体验。使用DT将实时商务与元宇宙相结合可以克服现有在线购物的局限性^[31],用户可以通过数字化身访问虚拟世界中的商店,并像在现实世界中一样进行购买。与访问在线购物网站不同,用户不仅可以查看产品,还可以在虚拟世界中通过数字化身试用产品。同时,AR技术可以让消费者在购买前充分了解产品的质量和风格,有效降低退货率,为商家和消费者提供便利。随着这些新兴技术的发展,电子商务已经从“点击购买”方式转变为“体验购买”方式。这将使元宇宙客户能够像往常一样在家中浏览商店、查看产品展示和购买。这是线下商业的沉浸式本质和在线购物的便利性的独特融合。此外,元宇宙和商业的结合也为引入新的复杂产品提供了更优的解决方案。例如,零售商可以通过让客户虚拟地试用新产品以获得反馈并进行改进。元宇宙可以为用户提供完全不同的体验,通过改善设计服务,提高客户参与度并增强沟通。借助自然语言处理、数据驱动决策和实时物联网数据,公司可以做出最佳业务决策,如设计选项,以确保品牌知名度和客户忠诚度^[32]。

3.4.2 营销

使用元宇宙进行广告和营销具有巨大潜力。推动虚拟世界广告发展的重要因素是可及性和多样性。元宇宙可以通过让用户创建自己的体验来打破现有广告模式的限制。企业可以销售他们在现实世界中销售的几乎任何产品的虚拟对象,并使用元宇宙进行广告宣传。使用AR技术,用户可以在虚拟世界中随时体验新产品^[33]。例如,在虚拟世界中,消费者更愿意尝试新款服装,因此,许多品牌在网络游戏的虚拟

环境中进行营销。在游戏环境中融入品牌,同时不扰乱玩家体验。目前最受欢迎的两个网络游戏品牌是Fortnite和Animal Crossing。此外, AI算法可以通过分析元宇宙中的海量数据来探索消费者的消费习惯和态度,为企业提供最营销策略并降低营销成本。

3.5 文化

3.5.1 博物馆

自新型冠状病毒感染疫情暴发以来,世界主要博物馆的参观人数大幅下降,这增加了文化部门实现收入来源多样化的紧迫性。同时,消费者对不同类型游客体验的需求也在逐渐上升^[34]。为了生存与发展,博物馆必须能够满足游客对数字内容以及居家体验的需求。从藏品和展览到社交互动和用户体验,元宇宙提供了很好的解决方案,包括在线展览、数字藏品、沉浸式体验和游戏化参与。数字博物馆打破了传统博物馆的画廊形式,可在虚拟空间中为游客提供新颖的社会和文化体验^[35]。许多组织和公司开始探索博物馆数字化的可行性。与传统展览形式相比,游戏化展览可以吸引更广泛的年轻观众。世界各地的博物馆已经在提升他们的数字和虚拟内容游戏。

3.5.2 艺术和展览

元宇宙通过提供将物理环境与数字创意充分结合的技术,为艺术家提供了前所未有的机会^[36]。元宇宙的虚拟世界模式有助于创造新颖的创意类型,如沉浸式艺术、机器人艺术和其他以用户为中心的展览方法。为了应对突发情况,还可以采取线上和线下同步举办艺术展览的策略。VR画廊、AR地图和在线音频评论丰富了用户的访问体验。AR艺术地图可以帮助人们更高效、更顺畅地找到城市中的参展商。例如,扎哈·哈迪德建筑师事务所展示了一个虚拟艺术画廊——NFTism,该画廊结合了大型多人在线游戏(Massive Multiplayer Online Game, MMOG)和交互式服务,游客可以通过各种设备访问这个沉浸式和交互式的3D世界。然而,艺术与元宇宙的结合不仅需要技术方面的支持,也需要注意数字隐私和数字艺术品所有权识别等问题,这些问题需要同时解决。

3.6 制造业

自第三次工业革命开始以来,系统和机器的有效结合不仅能够提高生产力,而且降低了产品成本。数字化转型延续了这一趋势,通过数字化运营可以更好地了解工厂绩效。就制造业而言,人们希望能够将数字空间转化为物理世界,而不仅仅是增强数字空间。

元宇宙可将不同来源的数据汇集在一起,以实时可视化的方式呈现生产流程,为领导者提供了一个全新的业务流程视角。工程师可以使用虚拟空间来监控产品性能、识别问题,甚至在非常精细的级别上解决问题。元宇宙对难以到达的地点(如矿山和油田)具有明显的优势,工程师可以借助远程工作为这些地点的现场技术人员提供建议。此外,元宇宙模拟将允许制造商测试数千种潜在的工厂场景,并能够预测放大或缩小的结果,从而确定自动化和优化设施的方法。制造商可以使用XR及时识别设备问题,从而实现有效的质量控制和维护检查^[37],这将有助于降低缺陷产品的生产率,同时降低维护成本。NVIDIA推出了一款基于VR的协作工具——Omniverse,该工具可用于设计团队协作和多GPU实时开发平台的3D仿真,目前已成功应用于工业领域。

4 风险及对应的防范措施

元宇宙是一个开放、共享和持久的数字环境,包括产品、娱乐、工作空间、商业和现实世界的许多其他方面。随着越来越多的人类活动发生在虚拟空间中,用户信息、敏感数据和沉浸式体验将需要更强的加密和保护以防受到网络攻击。因此,与安全 and 隐私相关的问题及其解决方案变得更加重要。与其他新技术一样,元宇宙在安全和隐私方面存在相当大的困难和挑战。由于元宇宙尚处于起步阶段,这为开发安全性处于设计过程最前沿的技术提供了机会。引入更高效的区块链网络等安全保护技术可以为安全威胁提供解决方案,区块链和加密空间的发展将为元宇宙的发展提供丰富的空间^[38]。在元宇宙的所有发展中,安全问题在确定元宇宙未来发展方向方面发挥着至关重要的作用。

4.1 数据

元宇宙是一个数据世界。从物联网设备获取的数据包含大量有用的信息,然而,关于如何捕获和使用数据,以及数据的机密性、完整性和可用性等,仍存在未能解决的严重问题。因此,与数据相关的安全问题是目前关注的主要问题。

4.1.1 数据采集

作为数据分析的第一步,收集准确和真实的数据非常重要。元宇宙中收集的大量数据是由多个异构源生成的,这对数据质量构成了挑战。数据的来源和数据完整性的合理确定至关重要,因为数据的质量几乎影响元宇宙中的所有工作。例如,物联网设备(如

可穿戴传感器和人群感应传感器)可能会生成不准确的数据,从而影响虚拟世界中参考项目的构建。除了来自物联网设备的数据输入外,还有一部分数据来自用户。如果用户以UGC模式生产低质量内容以获取利润,将误导元宇宙中与用户行为相关的数据分析和模型培训。

4.1.2 数据存储

元宇宙中有大量数据需要存储,而且这些数据还在不断增长。数据的爆炸式增长对存储容量、扩展速度和数据备份能力提出了更高的要求。用户之间的实时交互需要更快的读写速度和更高的安全性,同时,由于用户生成内容数据及其相互关系的多样性和复杂性,存储系统需要将模型从单一文件类型转换为各种半结构化和非结构化数据关系模型。由于基础架构成本较高,这些特性使得集中式存储方法难以跟上数据生产的数量和类型,此外,数据泄露、篡改或丢失的风险将大大增加。因此,集中存储不再适用于元宇宙。

4.1.3 数据攻击

大多数网络攻击都是在未经授权的情况下获取或破坏系统中的敏感数据,因此与数据相关的攻击也是元宇宙中的主要安全威胁之一。常见的数据攻击方法包括虚假数据攻击和数据篡改攻击。虚假数据攻击是一种数据攻击形式,当攻击者更改或修改传感器提供的原始测量值时,会影响控制中心的计算能力。虚假数据攻击主要分为3类:虚假数据注入(False Data Injection,FDI)攻击、重放攻击和零动态攻击。FDI是指攻击者通过入侵系统获取配置数据,从而操纵系统中受保护的数据;或者攻击者在不被检测的情况下尽可能多地将伪造数据注入系统,从而对系统构成巨大威胁,并且难以及时识别。与FDI攻击相反,重放攻击是指攻击者在设定的时间段内重复向终端设备上传秘密数据,攻击者通过窃听数据一次又一次地发送相同的数据来欺骗中央管理机构。零动态攻击是指攻击者使用不稳定的零作为漏洞来攻击系统^[24]。此外,许多网络攻击涉及数据篡改。为了控制系统,攻击者通过插入执行恶意活动的新文件来更改系统配置文件;为了隐藏访问记录,攻击者通常会删除或修改日志文件。

4.1.4 对策

元宇宙中的数据量巨大,原始的数据管理方法不再有效。大数据技术可用于开发基于元宇宙的新数据管理方式^[12]。大数据技术能够在元宇宙中存储、

处理和分析大量数据,从而从数据中获得有价值的见解。元宇宙应考虑数据安全,其目的是保护易受攻击的数据免受丢失或盗窃。敏感信息,如用户生物特征和行为数据最容易受到攻击。因此,有必要提供一些机制来保护元宇宙中的私人业务和个人数据。首先,确保服务器和用户设备的物理安全^[26]。用户的数据无论是存储在本地、企业数据中心还是公共云中,管理者都需要确保设施不会受到损害或破坏。其次,合理的访问管理和控制是非常必要的。整个元宇宙都应遵循最低访问权限原则。例如,对数据库和网络的访问应给予每次法律行动的最低权限。这是为了保护数据和功能不受错误或恶意行为的影响。最后,维护所有关键数据的可用且经过良好测试的备份副本是任何强大数据安全策略的核心组成部分。所有备份都应采取相同的安全措施,以控制对主数据库和核心系统的访问^[39]。

4.2 隐私

4.2.1 潜在风险

随着用户参与虚拟活动,并在虚拟世界中获得更多沉浸式体验,他们将创建大量数据。同时,元宇宙从不同的传感器(如可穿戴设备、麦克风、用户交互)收集大量用户相关数据。这将引起公众的极大关注,因为如此大量的数据收集很容易导致用户的隐私受到侵犯^[20]。元宇宙是真实世界的映射,虚拟世界中的用户数据对应真实世界中的身份信息,隐私数据一旦泄露,意味着大量与用户的生物特征和行为相关的敏感信息丢失,将给用户造成极大的隐私风险。随着用户将更多的个人数据转移到元宇宙,敏感或机密数据泄露的风险将随之增加。同时,元宇宙的实现需要在用户的生活环境中使用更多的传感器,对用户行为和生理数据的实时监控将使这些设备越来越容易受到有针对性的网络攻击。此外,在线信息泄露将为现实世界中的欺诈、跟踪和其他非法活动提供机会。有关用户行为的数据被转化为数字资产后将对数据管理构成严重威胁,数字资产的所有权是一个值得讨论的问题。除了将这些数据货币化之外,私有数据的存储、处理和保护方面还有许多问题需要解决。

4.2.2 对策

用户数据的加密和匿名化是元宇宙隐私保护的基础。元宇宙需要为用户提供易于使用的数据管理平台,并允许用户控制共享内容。透明度对隐私数据至关重要,这意味着如何准确识别要收集的数据。元宇宙中的数据来源广泛,因此精确定位每个数

据元素的来源很重要。XR 可以直接从虚拟世界获取用户的面部信息等生物特征数据,这些数据必须受到特别保护。因此,基于区块链的数字生物识别 ID 成为解决方案。生物特征数据可以用作密码基础,以生成一对公钥和私钥。这些密钥将作为用户在网络上的身份证明,其持有者能够用于签署和接收交易。基于密钥对的数字 ID 可以提供更安全和受保护的身份证。此外,UGC 将成为元宇宙的重要组成部分,但 UGC 包含大量敏感的用户信息,具有很高的隐私风险。元宇宙可以开发基于区块链的隐私保护框架和方案,以规范用户的行为,防止其隐私泄露。

5 展望

随着元宇宙在技术、产业和文化 3 方面的演进,映射现实世界法律的数字契约进化形成数字文明,现实宇宙文明进化形成虚实联动的元宇宙文明,构成并制约着人们所能触及四维时空的一切,是人类命运共同体的数字梦想。元宇宙发展的风险分析和相关防范也变得更加重要。

当今世界,科技革命风起云涌,每隔 10 年就会有一波新的技术浪潮。科技革命对社会、生产、生活,乃至国家兴衰都有重要影响。美国由于抓住了汽车革命的机遇,迅速成为“车轮上的国家”;中国由于抓住了新能源汽车产业发展的机遇,汽车出口量跃居全球第二,仅次于日本。元宇宙正是这样一个全新的赛道。从信息化到数字化,从数字化到元宇宙化,每一个阶段都涉及运用科技改造产业,并创造出更巨大的价值。元宇宙正处于起步阶段,这是我国加快发展数字经济,抢占元宇宙制高点,实现换道超车的最佳时机。元宇宙是互联网发展史上一次伟大的体验升级,为我国经济发展带来了新机遇。随着我国经济进入减速提质的高质量发展阶段,抢抓数字经济与元宇宙发展新机遇,加强元宇宙与产业的融合,提升科技竞争力和创意竞争力,无疑是做大、做强数字经济产业的关键之举。从互联网的发展历程看,互联网发展至今已经历了 PC 互联网、移动互联网两大阶段,而元宇宙被认为是互联网的下一代形态,具有无限的发展潜力。2022 年 1 月, Morgan Stanley 起草了研究简报《The metaverse—the next mobile internet?》^[40], 预估我国元宇宙潜在市场规模为 52 万亿人民币。

元宇宙底层核心技术中的芯片、人工智能、区块链技术、脑机接口等,大部分与当前信息技术领域里的“卡脖子”技术相重叠,因此,系统性地研究规划元

宇宙相关核心技术的发展路径,是我国全面突破“卡脖子”问题的关键举措。技术与应用螺旋式地相互促进,将会不断刺激核心技术的迭代升级,而这对于逐步解决“卡脖子”困境,实现关键核心技术自主可控,构筑国家竞争优势具有重要的推动作用。如 5G 的理论速率是 1.25 GB/s,要满足元宇宙的真实感、沉浸感,至少要达到 150 GB/s,应用可以倒逼技术进步。

元宇宙将现实宇宙的四维时空宇宙拓展到五维时空宇宙,未来,元宇宙的研究方向可以概括为以下 4 个方面。

(1)硬件。让用户沉浸式体验的元宇宙硬件,如 AR/VR 等穿戴设备,同样包括企业层面的工作型硬件,如用于 3D 建模或全景拍摄的全景相机、跟踪扫描传感设备等。

(2)算法。身处元宇宙次元,不同位置、身高比例的用户,要看到虚拟物品的位置、大小、比例、动/静态等能接近真实,需要极为精确的算法和算力才能做到。

(3)生态。类似苹果手机 AppStore 或者微信小程序等,能够提供整套的元宇宙标准化技术框架或者技术引擎,吸引不同类型的创业者加入平台,从而再次形成更大的生态。

(4)支付。区块链技术去中心化的用户共识更容易被用户接受,支付网络被看作加密货币的未来,因此国外元宇宙项目正在被广泛植入加密货币。

参考文献

- [1] Stephenson N. Snow crash [M]. New York: Bantam, 1992.
- [2] NIKIFOROVA A. Definition and evaluation of data quality: user-oriented data object-driven approach to data quality assessment [J]. Baltic Journal of Modern Computing, 2020, 8(3): 391-432.
- [3] 竞核. 淡马锡、腾讯参与投资,原生元宇宙概念股 Roblox 上市了[EB/OL]. (2021-03-11)[2022-11-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1693899232011348244&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 孙梦真,郭燕花,孙梦成. 计算机与移动互联网技术的发展研究[J]. 现代信息科技, 2019, 3(24): 102-103.
- [5] SAHA S, MAMUN K A, AHMED K, et al. Progress in brain computer interface: challenges and opportunities [J]. Frontiers in Systems Neuroscience, 2021, 15: 578875.
- [6] ZHAN T, YIN K, XIONG J H, et al. Augmented reality

- and virtual reality displays: perspectives and challenges [J]. *Iscience*,2020,23(8):101397.
- [7] SIRIWARDHANA Y, PORAMBAGE P, LIYANAGE M, et al. A survey on mobile augmented reality with 5G mobile edge computing: architectures, applications, and technical aspects [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*,2021,23(2):1160-1192.
- [8] RASHEED A, SAN O, KVAMSDAL T. Digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective [J]. *IEEE Access*,2020,8:21980-22012.
- [9] SHAFIQUE K, KHAWAJA B A, SABIR F, et al. Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: a review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios [J]. *IEEE Access*,2020,8:23022-23040.
- [10] ONDREJKA C. Escaping the gilded cage: user created content and building the metaverse [J]. *New York Law School Law Review*,2005,49:80-101.
- [11] NAAB T K, SEHL A. Studies of user-generated content: a systematic review [J]. *Journalism*, 2016, 18(10):1256-1273.
- [12] VIDAL-TOMÁS D. The new crypto niche: NFTs, play-to-earn, and metaverse tokens [J]. *Finance Research Letters*,2022,47(Part B):102742.
- [13] 宋嘉吉. 元宇宙:互联网的下一站[Z/OL]. (2021-11-30)[2022-11-10]. <https://www.bilibili.com/video/av592101781/>.
- [14] 谭天. 用户·算法·元宇宙——互联网的三次传播革命[J]. *新闻爱好者*,2022(1):22-25.
- [15] 龚才春. 中国元宇宙白皮书[M]. 2022版. [S. l.: s. n.],2022.
- [16] SUH W, AHN S. Utilizing the metaverse for learner-centered constructivist education in the post-pandemic era: an analysis of elementary school students [J]. *Journal of Intelligence*,2022,10(1):17.
- [17] DÍAZ J E M, SALDAÑA C A D, AVILA C A R. Virtual world as a resource for hybrid education [J]. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*,2020,15(15):94-109.
- [18] DREESEN T, AKSEER S, BROSSARD M, et al. Promising practices for equitable remote learning: emerging lessons from COVID-19 education responses in 127 countries [Z/OL]. (2020-10)[2022-11-10]. <https://www.unicef-irc.org/publications/1090-promising-practices-for-equitable-remote-learning-emerging-lessons-from-covid.html>.
- [19] SUZUKI S, KANEMATSU H, BARRY D M, et al. Virtual experiments in metaverse and their applications to collaborative projects: the framework and its significance [J]. *Procedia Computer Science*,2020,176:2125-2132.
- [20] LOCURCIO L L. Dental education in the metaverse [J]. *British Dental Journal*,2022,232(4):191.
- [21] ALMARZOUQI A, ABURAYYA A, SALLOUM S A. Prediction of user's intention to use metaverse system in medical education: a hybrid SEM-ML learning approach [J]. *IEEE Access*,2022,10:43421-43434.
- [22] CLAUDIO P, MADDALENA P. Overview: virtual reality in medicine [J]. *Journal of Virtual Worlds Research*,2014,7(1):1-34.
- [23] YANG D W, ZHOU J, CHEN R C, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine [J]. *Clinical eHealth*,2022,5:1-9.
- [24] SKALIDIS I, MULLER O, FOURNIER S. CardioVerse: the cardiovascular medicine in the era of metaverse [J/OL]. *Trends in Cardiovascular Medicine*, (2022-05-11)[2022-11-10]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1050173822000718>.
- [25] WIEDERHOLD B K. Metaverse games: game changer for healthcare? [J]. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*,2022,25(5):267-269.
- [26] ALLAM Z, SHARIFI A, BIBRI S E, et al. The metaverse as a virtual form of smart cities: opportunities and challenges for environmental, economic, and social sustainability in urban futures [J]. *Smart Cities*,2022,5(3):771-801.
- [27] DEMİR Ç. Metaverse teknolojisinin otel sektörünün geleceğine etkileri üzerine bir inceleme [J]. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*,2022,10(1):542-555.
- [28] SUANPANG P, NIAMSORN C, POTHIPASSA P, et al. Extensible metaverse implication for a smart tourism city [J]. *Sustainability*,2022,14(21):14027.
- [29] MONACO S, SACCHI G. Travelling the metaverse: potential benefits and main challenges for tourism sectors and research applications [J]. *Sustainability*,2023,15(4):3348.
- [30] KNOX J. The metaverse, or the serious business of tech frontiers [J]. *Postdigital Science and Education*,2022,4(2):207-215.
- [31] REHM S, GOEL L, CRESPI M. The metaverse as mediator between technology, trends, and the digital transformation of society and business [J]. *Journal for Virtual Worlds Research*,2015,8(2):1-6.

- [32] KIM T, KIM S. Digital transformation, business model and metaverse [J]. *Journal of Digital Convergence*, 2021, 19(11):215-224.
- [33] ANSHARI M, SYAFRUDIN M, FITRIYANI N L, et al. Ethical responsibility and sustainability (ers) development in a metaverse business model [J]. *Sustainability*, 2022, 14(23):15805.
- [34] ANDO Y, THAWONMAS R, RINALDO F. Level of interest in observed exhibits in metaverse museums [C]//*Proceedings of the Innovations in Information and Communication Science and Technology IICST*, [S. l.: s. n.], 2012:62-66.
- [35] CHOI H, KIM S. A content service deployment plan for metaverse museum exhibitions—centering on the combination of beacons and HMDs [J]. *International Journal of Information Management*, 2017, 37(1):1519-1527.
- [36] GUAN S L, LEI S J, QIAN Y M, et al. Review on metaverse's market development [J]. *Highlights in Business, Economics and Management*, 2022, 1:14-17.
- [37] YANG Q L, ZHAO Y T, HUANG H W, et al. Fusing blockchain and AI with metaverse; a survey [J]. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, 2022, 3:122-136.
- [38] TEIMOOR R A. A review of database security concepts, risks, and problems [J]. *UHD Journal of Science and Technology*, 2021, 5(2):38-46.
- [39] BOURAGA S. A taxonomy of blockchain consensus protocols: a survey and classification framework [J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 168:114384.
- [40] Morgan Stanley. The metaverse—the next mobile internet? [R/OL]. (2022-01-25)[2022-10-12]. <https://www.waitang.com/report/44836.html>.

Research Progress on the Technology and Application of Metaverse

JIANG Ming^{1,2**}, LI Qi^{1,2}, GONG Caichun^{1,3}, ZHANG Feng^{1,2}, LIU Zhangheng²

(1. The Research Institute of Metaverse, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. Guangxi Institute of Digital Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530022, China; 3. Wuhan Institute of Metaverse, Wuhan, Hubei, 430040, China)

Abstract: The metaverse is a collection of virtual time and space, composed of a series of Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) and the Internet, which is an artificial space running parallel to the real world. It is also considered as the next stage of the Internet, the virtual reality network world supported by AR, VR, 3D and other technologies. Since 2021, there has been an upsurge in the study of the metaverse at home and abroad. This paper introduces the origin and definition of the metaverse, the significance of developing the metaverse, the technical system of the metaverse, the problems and risks faced by the development, etc. The mainstream technology system and typical application scenarios of the metaverse are emphatically analyzed, and the relevant research results and viewpoints are listed. Finally, the future research direction of the metaverse is given.

Key words: metaverse; digital economy; digital technology; virtual reality; blockchain; integrated innovation

责任编辑: 陆雁
