

现阶段元宇宙发展形势与未来展望

吴添元

浙江理工大学经济管理学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2024年9月19日; 录用日期: 2024年10月16日; 发布日期: 2024年11月21日

摘要

近年来元宇宙一词逐渐流行, 元宇宙相关产业也纷纷涌现。元宇宙从本质上来说是立足于大数据、AR、VR、AI、5G以及新一代互联网基础设施及技术的世界, 是现实和虚拟的结合, 元宇宙相关产业, 无论是硬件端还是软件端都有相当广阔的前景。目前互联网发展已经达到一个临界点, 而元宇宙是人们对突破临界点的一条探索之路, 它致力于结合现有且已经成熟的技术和已经出现但尚在发展期的新技术, 在两类技术的应用上进行结合创新推动“互联网3.0”时代的到来。元宇宙的发展不可能一蹴而就, 这必定会是一个十分漫长的过程, 但是不可否认的是, 对元宇宙道路的探索, 必将对全球互联网世界的秩序造成巨大的冲击。

关键词

元宇宙, 虚拟现实, 互联网, NFT

The Current Development Situation and Future Prospects of the Metaverse

Tianyuan Wu

School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Sep. 19th, 2024; accepted: Oct. 16th, 2024; published: Nov. 21st, 2024

Abstract

In recent years, the term “metaverse” has gradually gained popularity, and industries related to the metaverse have emerged in succession. Essentially, the metaverse is a world based on big data, AR, VR, AI, 5G, and the new generation of internet infrastructure and technologies. It represents a fusion of reality and virtuality, and industries related to the metaverse, both on the hardware and software ends, have considerable potential for growth. Currently, the development of the internet has reached a critical juncture, and the metaverse represents an exploratory path towards breaking through this juncture. It aims to integrate existing and mature technologies with emerging, yet still

developing, new technologies. By combining and innovating these two types of technologies, it strives to usher in the era of "Internet 3.0." The development of the metaverse will not happen overnight; it is bound to be a lengthy process. However, it is undeniable that the exploration of the metaverse's path will have a significant impact on the order of the global internet world.

Keywords

Metaverse, Virtual Reality, Internet, NFT

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

在科技迅猛发展的当下，元宇宙作为数字技术、人工智能、区块链及物联网等尖端科技融合的产物，正引领一场深刻的社会转型。元宇宙超越了物理空间限制，集成了沉浸式交互、数字孪生、去中心化经济、人工智能及物联网信息流动，构建了一个前所未有的数字生态。它不仅是经济活动的全新载体、社交网络的拓展空间，更是文化创新的试验田。本文对元宇宙的底层逻辑和技术基础进行了详细的论述，此外，本文分别对元宇宙 C 端、B 端两个应用方向进行详细论述，本文的论述可以帮助人们了解元宇宙发展的技术基础，以及元宇宙不同应用方向的发展情况。

2. 元宇宙的起源

2.1. “元宇宙”的火爆

2021 年以来“元宇宙”一词迅速火爆起来，在 2021 年 10 月 28 日 Facebook 正式更名为 Meta (即元宇宙)后，“元宇宙”彻底引爆市场，多家全球性的大企业例如英伟达、谷歌、苹果、微软、字节跳动、腾讯、阿里巴巴、网易等纷纷宣布布局元宇宙，普华永道预估元宇宙市场规模到 2030 年将达 1.5 万亿美元。互联网巨头纷纷加速布局元宇宙赛道，以期抢占新一轮技术变革的风口。

2.2. “元宇宙”的来源

近期火爆的元宇宙概念似乎是突然间冒出来的，其实不然，元宇宙概念最早出现于 1992 年美国科幻作家尼尔·史蒂芬森写的小说《雪崩》，小说中畅想未来的人们可以在一个虚拟的世界中以虚拟的形象相互交流。早在 1990 年我国杰出科学家钱学森在给时任“863 计划”智能计算机专家组组长的汪成为同志的信中，就提出了“灵境”概念，钱老先生认为灵境技术是继计算机技术革命之后的又一项可以对全人类生活造成重大变革的技术革命，灵境不仅仅是 VR 技术“虚”的应用，而应该是实事求是的，所以用灵境一词最为恰当。在钱学森 1993 年写给汪成为的信中，钱学森表达了对灵境技术可以扩展人脑知觉，使人类进入“前所未有的新世界”的浓厚兴趣和无限期待。钱学森对灵境的设想中，多处与元宇宙的概念不谋而合，因此许多业内人士甚至提议将钱学森称为“元宇宙之父”。

3. 元宇宙的底层逻辑和技术基础

3.1. 元宇宙的底层逻辑

元宇宙从本质上来说是立足于大数据、AR、VR、AI、5G 以及新一代互联网基础设施及技术的世界，

它不只是一个单纯的虚拟世界。元宇宙是虚拟与现实的集合，在时间和空间上也是紧密联系的。元宇宙不是独立于现实世界之外的，而是通过虚拟世界互补现实世界，对现实世界的发展起辅助作用，元宇宙的发展可以间接促进现实世界的发展。人们可以在元宇宙中建立新的城市和体系，可以创建虚拟化分身，用一个全新的身份与其他用户进行交流，同时，用户可以在元宇宙中利用海量的资源进行创造性活动，创造出的有价值的内容可以和现实世界互通。元宇宙是一种起始于游戏平台，奠基于数字货币，并由一系列集合式数字技术和硬件技术同步涌现所支持的人类生活深度介入其中的虚拟世界及生存愿景[1]。从传播学视角看，元宇宙是集成与融合现在与未来全部数字技术于一体的终极数字媒介，它将实现现实世界和虚拟世界连接革命，进而成为超越现实世界的、更高维度的新型世界[2]。

元宇宙是一个极具包容性的词，VR、AR、人工智能等都是元宇宙的一环，它包含着人类对未来科技发展和人类生活的无穷想象，承载着人们的希望。目前互联网发展已经达到一个临界点，对过去的互联网技术的应用已经达到瓶颈。互联网的发展只有两条路可以走，一条是对现有技术进行革新升级，诚然，世界上无数科学家在这条路上已经走了很久，并且有了不小的收获；另一条路就是结合现有且已经成熟的技术和已经出现但尚在发展期的新技术，在两类技术的应用上进行结合创新，推动“互联网 3.0”时代的到来，元宇宙无疑就是人们对这一道路的探索。可以说元宇宙是继桌面互联网时代和移动互联网时代之后的一个新信息互联网时代，人们利用互联网进行信息交互的方式也会从最开始的 PC、现在的智能手机逐渐往可穿戴设备转移。

3.2. 元宇宙发展的技术基础

元宇宙的研究主要聚焦于其应用领域和社会意义[3]。技术视角下，元宇宙构建需依托智能芯片、物联网、网络与运算技术为基石，以 AI 为核心的信息技术为主干，利用扩展现实头显、智能穿戴及脑机接口实现与现实世界的沉浸式互动，通过数字孪生构建虚实交融内容，并由 AI 模型与算法驱动自然交互与内容自动生成，最终在操作系统上形成元宇宙的终端入口[4]。在元宇宙的发展中，可穿戴式的 VR、AR 设备是必不可少的。目前全球 VR 和 AR 产业处于蓬勃发展阶段，VR 技术的发展已经走上快车道，2020 年全球 VR 头显出货量为 670 万台，2020 年全球 VR 用户数量已超过千万。2021 年 9 月份，Facebook 发布的新款一体机 VR: Oculus Quest 2，不仅支持以有线方式连接，同时也支持无线方式连接 PC 使用，分辨率显著提升，刷新率提升至 90Hz，而其售价仅为 299 美元，因此仅当年第四季度其销量就达到 109.8 万台。VR、AR 技术必须要解决的一个问题是用户使用时会有眩晕感，而高刷新率和高分辨率可以有效缓解眩晕感。5G 技术的发展使得 VR、AR 应用可以实现高速率、大容量、低延时，有效降低了用户的眩晕感，提升用户体验。此外，XR2 等定制芯片使 VR 成本更低，性能更高，同时高分辨率和高刷新率可以大幅改善纱窗效应，使画面更加平滑，减少画面延迟、重影，缓解眩晕感。国内企业例如蔚来与 AR 设备企业 Nreal 联合开发了一款支持 3DoF 内容交互、可投射出视距 6 米，等效 201 英寸屏幕的 AR 眼镜，其重量仅为 76 克。此外，区块链技术既是元宇宙世界的数据存储库，也是链接虚拟和现实的经济系统[5]。区块链主要依靠去中心化技术、共识机制技术、加密算法技术、智能合约技术这四大技术为元宇宙提供安全、去中心化、可信的交易和社交体验，提高元宇宙中数字资产交易的效率和安全。

物联网推动了人机交互和智慧城市的发展[6]，元宇宙设想利用物联网设备来实现元宇宙内的人类交互，从而实现物理世界的全面数字化[7]。物联网技术既承担了物理世界数字化的前端采集与处理职能，也承担了元宇宙虚拟世界去渗透乃至管理物理世界的职能。

元宇宙将需要高达数千千兆瓦的数据传输和存储容[8]。目前 5G 的发展已经走入正轨并且逐渐走向成熟，全球范围内来说，美国率先实现毫米级波频率组网，欧盟众多国家初步开展 5G 的商用计划，韩国 5G 用户已经达到 1584 万。而看向国内，我国自 2019 年开始建设 5G 基站，目前已经建成 77 万个 5G 基站，其中 2020 年新增 5G 基站数为 60 万个，此外，2021 年我国已经实现全球第一张规模最大的共建共

享 5G 网络，全球最大 5G SA 共享网络和全球第一个 200 MHz 大带宽高性能 5G 网络。无线网络技术的发展对 VR、AR 技术的应用起到了支持作用。5G 技术以其独特的优势，包括增强型移动宽带能力、支持海量机器类通信以及提供超高可靠性和低时延的通讯特性，使得在需要大连接量、高带宽和低时延的复杂场景下实现高速、流畅的通信成为可能[9]。

4. 元宇宙中用户的交互形式

4.1. 元宇宙 C 端市场的运用

元宇宙的发展过程中，除了硬件设备的发展外，下游应用软件方面是另一个风口和爆点。技术始终是为服务的，因此如何利用现有技术开发可以供人们使用的软件应用以及人们如何利用它、用它能创造什么价值是十分重要的问题。以元宇宙为代表的第四次工业革命，是融合了数字、生物工业及物理边界的全面技术革新，它超越了单一技术的兴起，通过数字与物理世界的深度融合，重塑全球产业结构，并催生新的消费动力。在此背景下，新一代文娱产业正经历前所未有的变革，元宇宙以其“超链接”打破界限、“新生态”构建全新商业模式以及“体验感”的极致提升，驱动着数字艺术、数字教育、虚拟娱乐、虚拟社交等领域的全方位产业革新[10]。

4.1.1. 虚拟人物形象

目前元宇宙概念应用分布最广、相对规模最完善的下游应用市场为 C 端市场，该类市场通过打造虚拟人物形象或者虚拟世界社交生态吸引用户。有学者认为虚拟人物形象是虚拟人在视觉上的表现形式，能够反映虚拟人的个性、情感和社会属性[11][12]。目前比较成功的应用有虚拟人物直播带货、虚拟人物明星等。事实上，早在 2018 年日本虚拟偶像初音未来就通过 3D 全息影像技术开过演唱会。近两年来我国本土虚拟偶像洛天依、荷兹 HeZ 都曾引起轰动，抖音平台的虚拟人物柳夜熙通过一个视频爆火，一夜之间涨粉 130 万；INS 上的虚拟模特 Noonour & Imma 在 2019 年的巴黎时装周上亮相；Riot Games 公司开发的 K-POP 流行女子虚拟偶像组合 K/DA……可以看出，就目前来看市场对虚拟人物的关注度很高，市场的热情很浓，各大公司纷纷入场布局，像字节跳动、哔哩哔哩这样的互联网企业也纷纷着手打造自己的虚拟人物，试图在这一市场上抢占先机。

4.1.2. 元宇宙游戏和 NFT 作品

目前最有可能成功打造用户沉浸式体验场景的下游应用为元宇宙游戏。虚拟人物主播和偶像的生产者是创造他们的企业，用户只能接收信息但是没办法自主创造，且用户之间没有办法实现交互功能。元宇宙的生态中最基础的特性一定是创造性和交互性。元宇宙游戏的出现给用户的创造和交互提供了场景和资源。2021 年 11 月份，元宇宙游戏平台 The Sandbox 上的一块虚拟土地以 430 万美元的价格成交，打破了不久前 243 万美元价格的记录。不久前知名歌手林俊杰花费 12.3 万美元在元宇宙中购买了三块虚拟土地，新世界发展集团 CEO 郑志刚花费约 500 万美元购买虚拟地产。仅在 2021 年的 11 月 22 日至 28 日，四个主要的元宇宙房地产交易平台的总交易额接近 1.06 亿美元。在元宇宙的场景中用户可以进行社交和娱乐活动，2021 年初知名音乐人 Marshmello 通过动作捕捉技术举办了虚拟音乐会，整场演出有 1070 万人参与，随后 11 月著名歌手 Justin Bieber 在虚拟音乐平台举行了元宇宙演唱会，这些演唱会的举办无疑是对元宇宙交互功能的一种尝试。虽然以目前的技术来看想要真正实现元宇宙接轨现实世界是不可能的，但是每一次尝试都给未来元宇宙的畅想带来了新的可能。

与虚拟房地产同样交易火爆的产品还有 NFT 作品。作为虚拟与现实的交互的桥梁和载体，NFT 实现了元宇宙中数字资产的确权和交易，为元宇宙的发展提供重要保障[13]。譬如基于以太坊链的 NFT 头像 CryptoPunks (加密朋克)、Bored Ape Yacht Club (无聊猿游艇俱乐部)、Hashmasks (哈希掩码)也曾交易出天

价——NBA 球星库里花费 55 ETH (约 18 万美元) 买下一个“无聊猿”头像，波场 TRON 创始人孙宇晨花费 1050 万美元买下一个 Tpunk 的 NFT 头像作品。2021 年 NFT 的全球销售额超过 25 亿美元[14]。

探寻元宇宙房地产和 NFT 作品交易量迅速增加的原因，就需要从其本质开始研究。NFT 的中文名为非同质化代币，是基于区块链的数字加密资产，通常以图像、视频、艺术和游戏等形式存在，具有唯一性、真实性和可追溯性[15]。其与同质化代币的区别体现在：同质化代币例如 BTC (比特币)、ETH (以太坊) 等每一个代币都是等价的，是可以相互替代的；而 NFT 每一单位的代币都是独一无二的，就像世界上没有两块相同的石头，世界上也没有两个相同的 NFT。NFT 的这一特性和艺术品的特性非常相似——两者都不可复制，都是唯一的。有市场就会有人愿意参与价值的创造，虚拟房地产和 NFT 作品频频拍出高价无疑会吸引更多的人增加对元宇宙关注，也会吸引不少价值创造者的加入。在元宇宙的世界中每一个人都是信息的接收者，每一个人也可以是价值的创造者，用户可以在元宇宙中利用海量的资源发挥自身优势进行创作。在我国，NFT 的应用模式与国外有一些差别。有学者指出当前的数字藏品多是基于 NFT 技术发行的非同质化数字资产，其本质是实体资产的一种数字权益映射，适用于解决元宇宙中的所有权归属问题[16]。也有学者则指出国内部分平台数字藏品仅模仿 NFT 概念，缺乏跨链流通能力[17]。有学者则认为 NFT 数字藏品是 NFT 的衍生品，它可以被视为传统艺术作品、古董藏品等在虚拟平行世界的数字延伸，消费者借此数字产品来构建亚文化资本[18]。

4.2. 元宇宙在 B 端市场中的应用

元宇宙除了在游戏娱乐产业中有发展前景，在工业领域的应用也有很大的想象空间。元宇宙的发展在教育、商业、旅游业等产业应用中有巨大的潜力。目前世界多所高校和图书馆已经建成数字化图书馆，用户通过电脑手机等互联网设备就可以轻松获得想要的图书；在新冠疫情影响的时间里，网络教育产业也取得了迅猛的发展，但是目前网络教育都局限于移动设备的屏幕中。但是随着 VR、AR 技术的发展，未来用户可以沉浸在元宇宙中进行学习，在元宇宙世界中你可以和授课老师、同学面对面交流；你可以在元宇宙的图书馆中阅览书籍，完全沉浸式的体验不受几英寸的屏幕限制。文旅产业在元宇宙中的运用也值得我们探索。2021 年张家界景区成立“元宇宙研究中心”，西安大唐不夜城也宣布将在唐朝历史文化的背景下打造元宇宙项目《大唐开元》。关于元宇宙在文旅产业中的应用，有学者的研究指出，5G 技术通过提供高速、低延迟的网络连接，显著提升了游客在旅游过程中的体验感知[19]。还有学者的研究表明，5G 技术的引入为数字文化的传播与体验带来了革命性的变化[20]。有学者则认为利用 5G 的高带宽和低时延特性，可以实现对非遗项目的远程高清直播、3D 扫描与重建、以及基于 VR/AR 的互动体验，让更多人能够身临其境地感受非遗的魅力[21]。有些学者的研究则聚焦于 5G 技术在休闲体育旅游领域的应用[22]。他们发现，5G 不仅提升了体育赛事的直播质量和观众的观看体验，还通过智能穿戴设备、物联网等技术手段，实现了对运动员训练状态的实时监测与数据分析，为休闲体育旅游提供了更加个性化、智能化的服务方案，进一步推动了该领域的融合发展。

元宇宙的出现或许将颠覆人们对传统旅游业的认知。目前许多景区面临着管理困难，人流量密集的困境，每逢节假日去热门景区旅游成了“数人头”。游客选择旅游地点也受到距离、预算等因素的限制。而文旅产业与元宇宙结合后可以打造出突破时空界限的“旅游景区”，通过构建立足于现实世界场景的虚拟世界，以及算法和互联网技术的改造，让人们随时可以在元宇宙中穿越时间和空间感受自然风景和人文的魅力。元宇宙对商务领域的影响，包括电子商务、支付及企业并购领域，又以电子商务的研究居多。元宇宙在电子商务领域的研究包括电商平台、消费者行为及零售网页应用程序等方面，如：使用数字技术将实时商务与元宇宙结合，提出了一种新的电商平台创业商业模式，能够克服现在电商存在的内容枯燥、聊天沟通有限、卖家直播空间有限、消费者对品牌和产品缺乏体验等缺点[23]。

5. 元宇宙的未来展望

元宇宙作为一个融合了虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、区块链、人工智能(AI)等多种前沿技术的综合性数字空间，不仅仅是一个技术概念，更被视为未来互联网、数字经济乃至人类生活方式的一次深刻变革。以下是对元宇宙几种发展方向的展望：

5.1. 技术融合与创新加速

随着 5G、6G 通信技术的普及，以及云计算、边缘计算能力的提升，元宇宙所需的高带宽、低延迟网络环境将日益成熟。同时，VR/AR 设备的硬件性能将持续提升，成本逐渐降低，使得更多用户能够便捷地接入元宇宙。此外，区块链技术将为元宇宙提供去中心化、安全可信的经济系统和身份验证机制，而 AI 则能增强虚拟世界的交互性和智能化水平，这些技术的深度融合将推动元宇宙的快速发展。

5.2. 数字经济与商业模式创新

元宇宙有望成为数字经济的新引擎，通过数字商品、虚拟土地、NFT 等新型资产形式，创造出前所未有的经济价值。企业可以在元宇宙中建立虚拟店铺、举办活动、推广产品，甚至构建完整的供应链和生态系统。同时，随着元宇宙平台搭建的日渐完善，元宇宙用户的体量逐渐增加，元宇宙也将促进新的商业模式诞生，如虚拟服务、数字内容创作与交易、游戏内经济等，为用户提供更多元化的收入来源。此外，人们还可以通过虚拟与现实世界结合的方法提供商业服务，例如在电子商务销售领域，电商平台可以巧妙地运用元宇宙平台来创造拥有思考能力的个性化购物助手。这些数字人会通过与用户的对话交流，针对每位用户的独特需求，为客户推荐最为契合的商品，并附上详尽的商品信息及推荐依据，成为每位用户的专属服务顾问。

5.3. 社交与文化新体验

元宇宙提供了一个跨越物理界限的社交平台，人们可以在其中以虚拟身份进行互动、交流、学习和娱乐，形成新的社交网络和社群文化。这种沉浸式的社交体验有助于增进人与人之间的理解和连接，同时也为艺术创作、文化传播提供了无限可能。元宇宙可能成为保护和传承文化遗产、促进全球文化交流的新阵地。文化遗产具有多维价值(科学、历史、艺术、经济)且不可再生。通过旅游开发促进地方经济是常见做法，但过度开发或游客破坏导致保护与开发的矛盾不断。技术、资金限制使部分开发简单粗暴，资源数量和质量成了阻碍，非物质文化遗产则面临传承人断裂、受众认同难、传承路径困难等问题。而文旅元宇宙的相关技术具备将计划开发或已开发的文化遗产资源，以原比例精准复制至虚拟空间的能力，从而达成文化遗产的数字化呈现，进一步消除交互的局限性和地域的束缚，借助虚拟场景建模技术，促成人于虚拟空间的深度互动，促使用户建立起认知与情感的联系。这种联系不仅影响用户的内心世界，还能激发他们在现实中对非遗文化的记忆，最终增强集体凝聚力与文化认同感。

5.4. 工作与教育数字化转型

元宇宙的普及将深刻影响工作和教育领域。远程办公、虚拟会议将变得更加高效和直观，员工可以在虚拟环境中协同工作，享受如同面对面交流般的体验。在教育方面，元宇宙能够提供互动式、情境化的学习环境，让学生在虚拟实验室、历史场景中学习，极大地提升教学效果和兴趣。

6. 结语

元宇宙极有可能是下一次互联网革命的风口，元宇宙的应用范围已经扩展到娱乐、医疗、教育、电子商务等领域。元宇宙基于数字孪生、人机交互、区块链、物联网等技术，将虚拟世界和现实世界紧密

融合，将为人们的生活方式带来前所未有的改变。就目前而言，我们对元宇宙世界的构建仍处于探索阶段，以目前的技术来看想真正实现人们对元宇宙的构想还有很长的路要走。但是这不妨碍我们对元宇宙的未来充满期待。元宇宙的愿景很宏伟，但是其发展必须遵循产业发展的客观规律，稳固技术的基本面，打牢底层逻辑。不妨让我们对元宇宙多一些期待，少一些炒作，共同推进元宇宙产业的发展。

参考文献

- [1] 袁园, 杨永忠. 走向元宇宙: 一种新型数字经济的机理与逻辑[J]. 深圳大学学报(人文社会科学版), 2022(1): 84-94.
- [2] 喻国明, 耿晓梦. 何以“元宇宙”: 媒介化社会的未来生态图景[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 43(3): 110-118+2.
- [3] Park, S. and Kim, Y. (2022) A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges. *IEEE Access*, **10**, 4209-4251. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3140175>
- [4] 王文通, 张智军, 张铭洋. 元宇宙关键技术、研究进展与应用综述[J/OL]. 计算机科学, 2024: 1-18. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=WStw-PbchozuXeLTsXwQuv516meg-BzlvAFo4q06WVxaclzJEuZcOXQ-x3iaDPxxXMaGqQsl7uqm5EJRlCqErL8d-uorm8hb-x7OKM9DrkO7OaX-BLMQ2cxUofGuELqQ-fhMFoCMp0r50aPO4Oz_zNK9_GwNTa89ToJWbVk_dVjIzh37RjCrm2_GbS43BHbQT&uniplatform=NZKPT&language=CHS, 2024-09-13.
- [5] Jeon, H.J., et al. (2022) Blockchain and AI Meet in the Metaverse. In: Fernández-Caramés, T.M. and Fraga-Lamas, P., Eds., *Advances in the Convergence of Blockchain and Artificial Intelligence*, IntechOpen, 73-82.
- [6] Ramaraj, E. and Indira, D. (2021) Data Fusion Method and Internet of Things (IoT) for Smart City Application. 2021 *Conference on 3rd Intelligent International Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, Tirunelveli, 4-6 February 2021, 284-289.
- [7] Zhou, Y., Huang, H., Yuan, S., Zou, H., Xie, L. and Yang, J. (2023) MetaFi++: Wifi-Enabled Transformer-Based Human Pose Estimation for Metaverse Avatar Simulation. *IEEE Internet of Things Journal*, **10**, 14128-14136. <https://doi.org/10.1109/jiot.2023.3262940>
- [8] Kasture, S., Maurya, S., Verma, R., Pathak, N., Joshi, P. and Rakesh, N. (2024) Green Cloud Computing for the Metaverse: Powering the Future of the Internet with Renewable Energy. 2024 *11th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, Noida, 14-15 March 2024, 1-6. <https://doi.org/10.1109/icrito61523.2024.10522167>
- [9] 李德仁. 展望 5G/6G 时代的地球空间信息技术[J]. 测绘学报, 2019, 48(12): 1475-1481.
- [10] 梁福春. 超链接、新生态、体验感: 元宇宙赋能文娱产业的底层逻辑[J]. 传媒, 2024(17): 55-57.
- [11] 刘懿璇. “交互式沉浸”下文化社区虚拟形象自我重构与社交体验[J]. 青年记者, 2022(24): 110-112.
- [12] 宋辰婷, 邱相奎. 数实交互与赛博集群者: 虚拟形象直播中的认同建构[J]. 新视野, 2022(6): 54-61.
- [13] 陈加友, 李晓琴, 吴桐. 元宇宙: 底层网络、运行规则、表达形式和组织结构[J]. 管理学报, 2023, 36(1): 43-55.
- [14] Lee, C.T., Ho, T. and Xie, H. (2023) Building Brand Engagement in Metaverse Commerce: The Role of Branded Non-Fungible Tokens (BNFTs). *Electronic Commerce Research and Applications*, **58**, Article ID: 101248. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101248>
- [15] Aharon, D.Y. and Demir, E. (2022) NFTS and Asset Class Spillovers: Lessons from the Period around the COVID-19 Pandemic. *Finance Research Letters*, **47**, Article ID: 102515. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102515>
- [16] 冯学钢, 程馨. 文旅元宇宙: 演化路径与产业逻辑[J]. 上海经济研究, 2022(7): 70-83.
- [17] 陈志刚. 论非同质化通证的数据财产属性[J]. 政法论丛, 2023(5): 149-160.
- [18] 陈龙, 经羽伦. 作为亚文化资本的 NFT 数字藏品及其交往实践意义[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2023, 52(2): 106-113.
- [19] 刘秀丽. 5G 技术引领下乡村旅游形象的游客感知与优化[J]. 农业经济, 2020(12): 140-142.
- [20] 解学芳, 陈思函. “5G + AI”技术群赋能数字文化产业: 行业升维与高质量跃迁[J]. 出版广角, 2021(3): 21-25.
- [21] 于凤静, 王文权. 场景重构: 5G 非遗传播要素的嬗变与影响[J]. 当代传播, 2020(2): 107-109.
- [22] Liang, F., Mu, L., Wang, D. and Kim, B. (2021) A New Model Path for the Development of Smart Leisure Sports

Tourism Industry Based on 5G Technology. *IET Communications*, **16**, 485-496. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12271>

- [23] Jeong, H.J., Yi, Y.Y. and Kim, D.S. (2022) An Innovative e-Commerce Platform Incorporating Metaverse to Live Commerce. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, **18**, 221-229.