

元宇宙赋能数字工厂：架构、应用与挑战

李琦琦, 宋涛, 韩玲, 高信波, 樊森

中国信息通信研究院工业互联网与物联网研究所, 北京

收稿日期: 2022年9月8日; 录用日期: 2022年10月7日; 发布日期: 2022年10月17日

摘要

在工业互联网中, 标识解析体系是打通物理世界的关键环节, 区块链是实现信用传递和数据安全共享的关键技术, 而元宇宙是基于互通物理世界, 将区块链、人工智能、VR/AR等技术进行整合, 并对现实世界所涉及的内容生产、经济系统、用户体验等实施改造。通过分析当前数字工厂存在的问题、现实世界与虚拟世界的关系以及当前工厂元宇宙的研究现状, 构建了基于标识解析体系和“星火·链网”体系的工厂元宇宙6层体系架构, 详细阐述了物理层、软件层、数据层、策略层、应用层、交互层的功能和作用。通过对一些特定场景的分析和描述, 认为工厂元宇宙发展虽然可能面临很多挑战, 但是它能够改变传统数字化工厂的生产模式, 促进产业生产力的发展。

关键词

标识解析, 区块链, 工厂元宇宙, 生产模式

Metaverse Empowered Digital Factory: Architecture, Applications, and Challenges

Qiqi Li, Tao Song, Ling Han, Xinbo Gao, Sen Fan

Industrial Internet and IoT Research Institute, China Academy of Information and Communications Technology (CAICT), Beijing

Received: Sep. 8th, 2022; accepted: Oct. 7th, 2022; published: Oct. 17th, 2022

Abstract

In the Internet industry, identification and resolution system is a key link in the process of getting through the physical world, block chain is the key technology that realize sharing credit transfer and data security. Metaverse is based on mutual physical world, and integrates block chain, artificial intelligence, VR/AR technology, and transforms content involved in the production of the real world, such as economic system, the user experience to upgrade. This paper analyses the current

problems existing in the digital factory, the relationship between real world and virtual world and the current research status of the universe, factory built based on the analytical system identification and the spark, chain network system of factory yuan universe 6 layer architecture, detailed elaboratedly the physical layer, software layer, data layer, tactics layer, application layer, the function and role of interaction layer. Through the analysis and description of some specific scenes, it is concluded that although the development of factory metauniverse may face many challenges, it can change the production models of traditional digital factory and promote the development of industrial productivity.

Keywords

Identity Resolution, Block Chain, Factory Metaverse, Production Models

Copyright © 2022 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/>



Open Access

1. 引言

在 2021 年 3 月, 中国政府发布了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》, 在加快推进数字产业化和推进产业数字化转型方面, 明确提出要培育壮大人工智能、大数据、区块链、云计算、网络安全等新兴数字产业, 提升通信设备、核心电子元器件、关键软件等产业水平, 构建基于 5G 的应用场景和产业生态; 推动数据赋能全产业链协同转型, 深化研发设计、生产制造、经营管理、市场服务等环节的数字化应用, 培育发展个性定制、柔性制造等新模式, 加快产业园区数字化改造。

目前, 随着我国两大新型基础设施体系(即: 国家工业互联网标识解析体系、国家区块链“星火·链网”体系)的建立、应用和推广, 促进了工业数字化及智能化的发展, 解决了工业企业之间的“数据孤岛”问题, 保障了工业数据的安全性和可信性。但是由于工业互联网的快速发展, 大型工厂规模不断扩大, 存在着智能监控装置部署分散、日常巡检与管控压力大、人员成本高、生产协同困难、产品定制化困难、系统维护自动化程度低和上岗工人培训耗时费力且成效不够显著等一系列问题, 根据相关研究报告, 元宇宙技术能够达到远程操控作业、虚拟运维、模拟运行、实境培训等需求, 为解决当前存在的问题提供了方向。

为带动生产力提升、改进工厂生产模式、人员协同模式, 促成企业数字化转型和以人为本的转型, 优化产业生态, 进而促进价值分配与经济模式转变, 保障人员生产安全和设备运行安全, 打造工厂元宇宙成为了数字化工厂进一步升级转型的关键。元宇宙作为集成了扩展现实(XR)、人工智能、区块链和 5G 等多种技术的融合成果, 大型工厂作为具有相对固定场景且数字化程度较高的物理环境, 使得工厂完全具备构建元宇宙条件与优势。因此, 本文基于工业互联网标识解析与星火·链网体系, 对元宇宙赋能未来工厂展开研究, 提出基于元宇宙概念的打造工厂元宇宙的技术架构、应用与挑战, 对减少人力成本、时间成本和避免资源浪费有着正向促进作用, 对实现产品个性化定制、产品全生命周期管理、资产价值链传递和高效运维等具有重要意义, 同时, 对实现“十四五”规划将起到推动性作用。

2. 元宇宙概述

2021 年被称为“元宇宙元年”, 相关报告习惯将超出现实世界物理限制的虚拟世界称为“元宇宙”。随着“元宇宙”投资市场飓风的掀起, 多方资本介入, 相关概念股持续大涨, Roblox 股价暴涨, 估值超

600 亿美元, INVIDIA 推出元宇宙平台 Omniverse, 2021 年 8 月, 字节跳动公司为提前布局元宇宙, 共斥资 90 亿元收购 Pico, 2021 年 10 月, 一直致力于数字孪生平台研究的供应商——DataMesh 公司, 为打造工业“元宇宙”, 实现了接近 1 亿元的资本融合。在资本驱动和巨头的叠加效应下, 作为新兴概念的元宇宙被完全引爆, 成为 2021 年贯穿工业互联网、智能制造、互联网、数字化、娱乐、区块链等多个行业的爆点。

随着虚拟现实、数字孪生、5G 通信技术、区块链、AI、低时延远程控制等技术的发展, 元宇宙的定义不断具象化, 如 Wright [1]等(2008)认为元宇宙不仅仅是简单的电脑或游戏程序, 而是一个能同时支持大量人员进行社交互动的大型 3D 虚拟网络世界。Rehm [2]等将元宇宙定义为技术发展趋势与社会和商业数字化转型之间的中介, 他们相信通过虚拟分身和沉浸式的辅助技术可以实现这种连接。清华大学沈阳教授认为元宇宙是通过整合人工智能、大数据等新技术而形成的一个理念或概念, 并不是一种单纯的技术。

随着工业数字化的发展, 将元宇宙概念引入至工业场景成为了可能, 据相关分析报告定义, 以“工业元宇宙”为标志的未来工厂发展的三个阶段, 第一阶段: 黑灯工厂与无人化车间, 第二阶段: 以数字孪生、CPS 信息物理系统和全连接工厂为标志的未来工厂, 第三阶段: 以“工业元宇宙”为标志的未来工厂, 如今第一阶段和第二阶段均已实现, 正在向第三阶段迈进。比如: 拥有 1.8 万平方的小米黑灯工厂, 车间没有工人, 却能每秒生产一部小米手机。综上所述, 元宇宙是未来工厂的发展方向, 通过利用扩展现实、数字孪生和区块链等多种前沿技术, 使用户以数字替身的方式进行生产、创作和经济交易, 通过这种方式保持着对现实世界全面的感知与控制, 但又与现实世界平行。

3. 研究现状分析

3.1. 元宇宙相关政策动向

随着元宇宙相关概念的提出及相关技术的发展, 各个国家和组织对元宇宙表现出不同的态度。美国是首先对元宇宙进行探索的国家, 其主要关注元宇宙在开放性条件下如何保障相关数据的安全性和隐私性。韩国为打造本土的虚拟现实平台, 成立了“元宇宙”联盟, 联盟内成员主要包括 SK 公司、LG 公司、现代汽车等公司。欧盟注重元宇宙的规则、监管和安全问题, 为充分保障用户权益和网络安全, 先后出台了《人工智能法案》、《数字服务法案》等法律法规。我国一直致力于推进产业数字化转型升级和工业数字经济的快速发展, 出台了多项推动元宇宙发展的政策(如表 1 所示)。2018 年 12 月, 国家工信部在《关于加快推进虚拟现实产业发展指导意见》一文明确指出: 到 2025 年, 需要将我国虚拟现实产业整体提实力进入全球前列, 2021 年 3 月, 国家工信部提出“双千兆”网络协同发展行动计划(2021-2023 年), 形成增强现实/虚拟现实等典型行业千兆应用示范, 2022 年“两会”提案成立国家级“元宇宙”研发机构, 届时工信部明确提出了在我国培育进军元宇宙的创新型企业的建议。

3.2. 元宇宙行业发展现状

2007 年 Metaverse Roadmap 团队就确定了元宇宙世界的四个主要场景: 增强现实、生命日志、虚拟世界和镜像世界[9]。在 2014 年 Facebook 收购 Oculus VR, 率先进行元宇宙产业布局, 于 2021 年 10 月公司更名为“Meta”, 宣布正式向元宇宙进军[10]。腾讯公司在元宇宙系统布局上开展了多项投资, 如: 与 Roblox 合作成立公司, 投资 Epic Games, Avakin life 等游戏。另外, 腾讯还推出智慧信息底层平台 Citybase, 正式进军城市信息模型领域[11]。除此之外, 字节跳动对元宇宙也采取了积极的应对态度, 分别向“中国版 Roblox”投资 1 亿元和以 90 亿元的价格收购 VR Pico, 进入 VR 赛道。除这些互联网巨头外, 谷歌、苹果、百度、阿里巴巴等公司也都在积极筹划元宇宙相关业务。

Table 1. Policies of each unit/region to promote the development of the metaverse**表 1.** 各单位/地区推动元宇宙发展的政策

地区/部门	政策	时间	内容
国家政策			
工信部	中小企业发展相关工作新闻发布会	2022/1/24	在我国培育一批新兴领域的企业，包含：元宇宙、区块链、人工智能等方向。[3]
中国人民银行	《金融科技发展规划(2022-2025年)》	2022/1/5	构建多元化、融合化并具有互通性的服务模式，升级打造多模态、沉浸式、交互型网点。[4]
国家发改委、科技部、工业和信息化部、财政部	《关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见》	2020/9/11	打造具有高度沉浸式体验的产品体验与展览中心，提供多元化消费体验服务，如：VR 虚拟旅游、AR 虚拟营销、数字文博馆等。[5]
地方政策			
北京市	《关于加快北京城市副中心元宇宙创新引领发展的八条措施》	2022/1/19	支持元宇宙初创项目，突出元宇宙与文化旅游融合发展的特色，规划“1个创新中心+N个特色主题园区”的元宇宙产业布局。[6]
上海市	《上海市电子信息产业发展“十四五”规划》	2021/12/30	加强元宇宙底层核心技术研发，推进深化感知交互的新型终端研制和系统化的虚拟内容建设。[7]
武汉市	《2022年武汉市政府工作报告》	2022/1/11	推进元宇宙、大数据、云计算、区块链等前沿高端技术与实体经济的深度融合发展，建设我国新一代人工智能创新发展试验区。[8]

3.3. 工厂元宇宙研究现状

2022年1月7日消息，韩国现代汽车宣布与3D内容平台Unity开展合作旨在打造元宇宙数字虚拟工厂[12]。宝马构思并设计的最新工厂可实现1分钟下线1辆车，所生产的每辆车均可实现定制化，整个生产的流程均在Omniverse元宇宙环境下进行模拟。我国在工厂元宇宙的研究仍处于起步阶段，根据《中国元宇宙商标申请企业画像报告(2021年)》[13]，于2021年底，我国相关企业申请的元宇宙商标共计1.14万个，包含小鹏汽车、比亚迪汽车、国联云等在内的企业现在已经开始推进元宇宙数字化工厂的平台建设，期望通过模拟工厂生产，优化生产工艺和流程，实现降本增效和绿色低碳的发展。

4. 技术架构

4.1. 总体架构设计

当前元宇宙处于探索阶段，针对不同场景下元宇宙应用技术架构在学术界和工业界并未形成统一的定义。Jon Radoff[14]基于出口市场价值链的产业分工提出了7层元宇宙架构，以满足产业需求，该架构从底层到顶层分别为：基础设施、人机交互、去中心化、空间计算、创造者经济、发现系统、用户体验。华子荀等[15]基于教育元宇宙的教学场域提出了4层元宇宙架构，包含物理层、软件层、应用层、分析层，以满足师生在物理世界和虚拟世界的教与学需求。李默[16]基于智慧图书馆服务模式提出了图书馆元宇宙体系6层架构，包含物理层、软件层、数据层、规则层、应用层和交互层，为元宇宙在智慧图书馆的应用研究提供了参考。

元宇宙通过实现全真互联网，赋能现实工厂的工艺设计、排产计划、生产流程、员工交流、个性化定制、设备和系统维护等环节，从而实现改变工厂生产模式和员工工作、生活、交流方式的目的。在工

厂数字原生世界中,通过我国构建的标识解析和“星火·链网”两大基础设施体系,实现了工业企业内外各平台数据的互联互通和数据的可信传递。但由于打造工厂元宇宙需要对现实世界进行映射,映射过程中需要对现实世界物理身份进行绑定,同时元宇宙需要依靠区块链技术实现信用价值安全传递。因此,本文结合元宇宙的相关技术、基本特点、核心要素和工业互联网标识解析平台、星火·链网平台、工厂数字化平台,构建工厂元宇宙模型,设计工厂元宇宙体系架构,该架构共6层,分别为物理层、软件层、数据层、策略层、应用层、交互层,如图1所示。

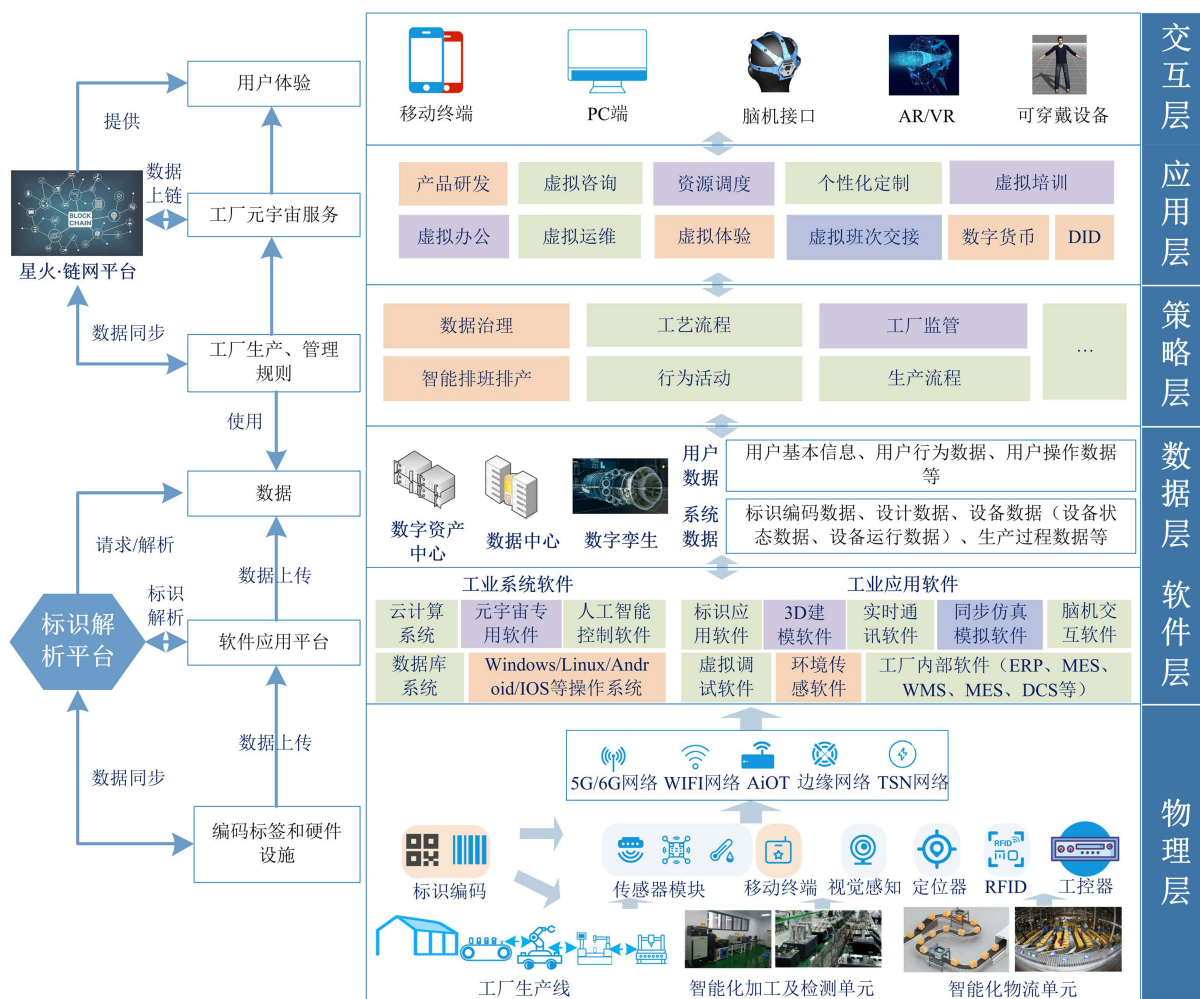


Figure 1. 6-Layer architecture of factory metaverse

图 1. 工厂元宇宙 6 层架构

3.2. 分层介绍

1) 物理层

物理层是构建整个工厂元宇宙体系的基础,是数据生成、数据保存、数据传输的有效载体,该层主要包含赋有标识编码的感知设备、工控设备、生产线、智能化加工及检测单元、智能化物流单元等数字化基础设施。感知设备主要是利用智能移动终端、传感器模块、视觉感知摄像头、高精度 GPS、RFID 等设备,感知、识别工厂内部的设备(如:生产、加工、物流、控制设备等)和工厂环境(如:温湿度、光照强度等),以及获取建设工厂元宇宙的基本数据(如:用户的数据信息可以通过移动终端和 GPS 进行获取),

最终利用自动标识扫码器、RFID 实现对工厂物料、产品、设备的使用数据进行实时上传。

物理层和软件层中间的传输通道是整个物理层最关键的部分，通过利用 5G/6G 网络、WIFI 网络、AioT 网络、边缘计算网络、TSN 网络形成的通信管道，实现海量数据的实时传输。通过 AioT、TSN 等网络将多维度的物联网数据在云端和边缘端进行保存，并将数据上传至软件层进行使用。

2) 软件层

软件层是整个架构的关键层，该层主要包含两大软件，即：工业系统性软件和工业应用性软件。软件层主要是负责加工、分析和处理经物理层上传的数据，同时为数据层提供应用数据源支撑，该层在工厂元宇宙中起到了核心驱动器的作用。工业系统软件用途主要是控制、协调工厂内部接入的硬件设备，支撑应用软件的设计、研发、部署和运行，该部分主要包括元宇宙系统软件、云计算系统、人工智能控制软件、数据库系统、Windows/Linux/Android/IOS 操作系统等多种系统。应用软件则是指一些定制化软件，这些软件可以实现工厂元宇宙定制化功能，通过应用软件与工业互联网标识解析体系结合，打通与物理层、现实应用场景之间的关系，构建一个基础性的 EOP 平台，为整个数字工厂的 3D 构建软件、实时通信软件、脑机交互软件等提供公共型服务。

3) 数据层

数据层主要由数据中心、数字资产中心和数字孪生三个部分组成。数据中心实现对工厂元宇宙产生的用户数据(用户基础数据、行为和操作数据等)、系统数据(标识编码数据、设计数据、设备数据(设备状态数据、设备运行数据)、能耗数据、生产数据、物料信息数据、环境数据、模拟仿真数据、质量检测数据、系统日志数据、设备故障与维护数据等)等海量原始数据的汇聚与存储，为数据的更上层的应用提供原始数据分析和参考。数字资产中心是一个底层基础平台，基于该平台可实现数字资产交易，平台采用分布式去中心化的区块链技术实现资产的可信性、安全性和数字化，同时，通过采用虚拟电子形式对非货币性资产数据进行统筹管理。数字孪生是对工厂的内外部环境、实时数据和历史状态的复现，通过构建与现实数字化工厂一一对应的数字孪生体，可实现智能工厂的精细化管理，为员工、用户提供更优质的服务。

4) 策略层

策略层主要是为数据应用建立规范化的策略，构建监管体系，维护数字化工业生产秩序。策略层主要包括数字治理、工艺流程、组织监管、生产流程、智能化排班排产、行为活动、推理计算、强化学习等。其中，数字治理就是依托数据要素作为驱动力，构建开放、创新、协同的治理体系；工艺流程是以工业产品生产为依托，构建产品工艺模型，实现工艺流程的管控；组织监管主要是为保障制度的实施；生产流程主要是基于生产要素，利用推理计算策略和强化学习方法构建生产过程模型，实现生产流程的虚拟透明化。此外，策略层还需要通过生产流程和工厂制度实现智能化排班排产、约束生产者的行为活动，保障生产的有序执行。

5) 应用层

应用层位于策略层之上，以物联网技术、网络及运算技术、虚拟现实技术、人工智能技术、区块链技术作为支撑，并与工厂元宇宙融合，共同为工厂内外的不同类型用户提供应用。工厂元宇宙利用物联网技术为工厂内万物连接及虚实共生提供技术保障，利用网络及运算技术将应用层上各系统的运算结果传输至用户端，比如面向用户的虚拟咨询、虚拟办公、社交服务、虚拟培训、资源调度等；采用人工智能技术为用户提供智能生产、班次交接、互动交流等功能应用；采用区块链技术，依托星火·链网平台研发虚拟数字货币及对应的数字化交易软件，搭建虚拟经济体系和 DID 用户身份认证体系，实现用户虚拟资产价值的安全传递和安全交易。

6) 交互层

交互层为用户提供工厂元宇宙入口,用户可通过 AR/VR、移动终端、PC、脑机接口、可穿戴设备等获得在工厂元宇宙中的全感官沉浸式体验。通过人机交互设备打通一条可使用户抵达工厂元宇宙的隧道,采用触觉、视觉、语音、动作、意图等多种感知技术,实现工厂元宇宙与用户多感官的信息交互,远程指导工厂自动化生产、设备自动化检查和维护。

4. 应用场景

4.1. 场景 1: 虚拟生产

工厂员工利用可穿戴虚拟现实设备(如:VR/AR、脑机接口、肢体感知设备等)进入工厂元宇宙,在工厂元宇宙中会自动生成一个镜像数字替身(数字替身通过星火·链网平台进行 DID 身份注册并与现实世界中的用户 ID 进行唯一性绑定),数字替身进入基于现实工厂的元宇宙数字孪生工厂。生产开始前,数字替身首先在元宇宙中查看订单状态、设备状态、产品状态,通过人工智能算法找到最优的生产方案后下达生产计划。生产过程中,数字替身可以在元宇宙中远程监控并实时调整车间的生产状态,现实工厂和工厂元宇宙同步运行,依照数字替身在元宇宙中下达的指令自主完成物料配送、生产节拍、质量管理、数据采集等协同生产过程。生产完成后,数字替身在元宇宙中通过操控智能物流系统和智能仓储系统,自动根据订单状态并完成产品无人分拣、智能搬运和智能仓储等流程。

4.2. 场景 2: 工作交接

员工的本班次结束后,元宇宙智能云计算系统立即统计出生产工人的工作量和当前生产进度,并将数据自动上传至工厂管理云平台,云平台自动分析该员工的产量、效率、能耗、工时等数据,公司生产管理调度系统依据这些生产信息进行生产计划安排和调整。同时,换班员工通过虚拟现实设备进入元宇宙,交接班员工的数字替身通过查看生产计划表、语音交流,确定已完成和待完成工作内容,在元宇宙内完成生产权限、生产进度和设备状态的交接。交接工作完成后,上一班次员工下线,换班员工的数字替身向管理人员确认生产计划后按计划元宇宙中进行生产,同时,现实工厂同步推进生产工作。

4.3. 场景 3: 故障维护

当工厂设备运行发生故障时,维护人员穿戴虚拟现实设备进入工厂元宇宙,通过元宇宙中的数字孪生工厂结合原生设备的三维模型,定位设备故障点,并根据现场传感器返回的数据确定故障原因。依托元宇宙强大的云计算能力,基于人工智能算法预测设备故障原因,确定维修预案,维护人员的数字替身直接在元宇宙中进行设备维护。同时,维护人员可以邀请设备供应商的专家进入工厂元宇宙进行设备维护,远程专家通过工厂元宇宙查看工厂的故障报警情况并了解故障基本信息,然后对故障和缺陷进行虚拟化检测,并在元宇宙世界中给予维修指导意见,现场维修人员或维修机器人收到维修指令后立即进行维修操作,快速恢复生产制造。

5. 面临的挑战

工厂元宇宙是智能工厂数字化转型的终极目标,它通过 VR/AR 技术实现工业流程的全贯穿,突破空间限制,实现沉浸式生产体验。用户利用穿戴设备进入虚拟化生产场景,查看现实工业企业映射和生产过程,设计定制化产品,提前感受产品形态和功能,还能进行远程虚拟化办公和设备运维,但由于工厂元宇宙面向的对象复杂多样、信息量巨大、实时性要求极为苛刻、技术集成度非常高且存在较大的安全风险,因此在实现工厂元宇宙可能面临巨大挑战,主要如下:

1) 挑战 1: 技术壁垒突破难

在构建工厂元宇宙过程中, 技术壁垒将是工厂元宇宙发展道路上的最大阻碍, 主要存在以下几个方面: ① 底层技术难以满足应用需求。目前, 市面上比较成熟的 AR/VR、区块链、人工智能、大数据等底层技术无法满足工厂元宇宙落地应用需求; ② 系统/平台算力要求极高。由于现实工厂中的设备数量众多, 每秒将产生海量的数据, 同时, 现实工厂需要与元宇宙中的数字孪生工厂进行实时联动, 且需要实现可编辑世界、多人在线、UGC、虚拟社交、经济系统等多要素的融合, 对网络、边缘设备、服务器等设备/系统的并发量、吞吐量和计算能力要求极高, 虽然云计算、5G 网络技术不断发展, 但还是难以支撑海量数据的实时计算。因此, 技术壁垒是元宇宙难以落地实施的关键性因素之一。

2) 挑战 2: 安全隐私保护难

构建工厂元宇宙的出发点是为促进工厂生产效率, 给员工带来沉浸式交互体验, 但是在实现元宇宙的过程中, 不仅需要对进入元宇宙的用户进行身份属性、社会属性、人际关系、实时位置、生物特征、脑电波模式等个人信息采集, 还将对工厂内设备基础信息、控制指令、监测接口等工厂内部信息进行采集, 同时还会对周围的环境数据进行全面采集。通过对以上信息的深度挖掘、分析、处理、存储和实时同步, 以满足工厂元宇宙对数据资源的基本要求, 如果这些个人数据或环境数据出现泄露或者被不法分子滥用, 将会严重影响现实世界中用户的正常生活, 也会对现实工厂的生产造成影响, 导致直接经济损失。因此, 安全隐私保护将成为元宇宙难落地实施的关键因素之一。

3) 挑战 3: 标准法规推动难

目前, 元宇宙这一新兴概念在各界尚未进行标准化定义, 国家/行业制定标准、法规缺乏可信的依据。同时, 由于构建工厂元宇宙的前提是需要打通与其他不同元宇宙生态系统关系, 从而实现元宇宙生态系统的广泛连接, 为满足上述要求, 国家及各行业需要制定相关的标准、规则和协议, 引导企业之间进行规范化、标准化的合作, 建立一套属于元宇宙的标准体系, 但是由于构建元宇宙体系将涉及多个领域、多种行业、多个企业且不同行业、领域、企业均存在不同层面的监管机构, 这些监管机构可能会造成信息割据、资源垄断、经济风险和信息安全风险等多种问题。因此, 在推动建设统一化的标准法规方面可能存在阻碍, 这个问题也就成为了元宇宙难落地实施的关键因素之一。

6. 结语

目前, 工厂元宇宙处于发展初期, 在技术、安全隐私保护和标准法规推动层面的思考尚未成熟。本文以提高工厂生产力、改进工厂生产模式、促成企业数字化转型和以人为本的转型为出发点, 基于工业互联网标识解析体系与星火·链网体系, 提出了工厂元宇宙的技术架构, 并对该架构进行了详细阐述。同时, 通过构建不同的应用场景, 验证了工厂元宇宙实现的可能性。

随着科学技术的进一步发展和人类思维方式的变化, 元宇宙将以数字网络形式融入我们的生活的方方面面。通过打造工厂元宇宙能够实现工厂生产模式的转变, 促进生产力提升, 而要实现这一目标还需要对工厂元宇宙的技术、服务、安全性防护和标准法规等方面进行研究和探索。

基金项目

工业互联网创新发展项目: 网络标识建设项目(2020)。

参考文献

- [1] Wright, M., Ekeus, H., Coyne, R., *et al.* (2008) Augmented Duality: Overlapping a Metaverse with the Real World. *International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Yokohama, 3-5 December 2008, 263-266. <https://doi.org/10.1145/1501750.1501812>

-
- [2] Rehm, S.V., Goel, L. and Crespi, M. (2015) The Metaverse as Mediator between Technology, Trends, and the Digital Transformation of Society and Business. *Journal of Virtual Worlds Research*, **8**, 1-6.
<https://doi.org/10.4101/jvwr.v8i2.7149>
- [3] 中小企业局工信微报. 工业和信息化部举行支持中小企业发展工作情况新闻发布会(附实录) [EB/OL].
https://www.miit.gov.cn/xwdt/gxdt/dhd/art/2022/art_90d4d94a528d468caed5b458f3371ae5.html, 2022-01-24.
- [4] 数据观. 金融科技发展规划(2022-2025 年) [EB/OL]. <http://app.myzaker.com/news/article.php>, 2022-01-14.
- [5] 成都发展改革. 关于扩大战略性新兴产业投资, 培育壮大新增长点增长极的指导意见[EB/OL].
https://m.thepaper.cn/baijiahao_9306204, 2020-09-23.
- [6] 区政府办. 关于加快北京城市副中心元宇宙创新引领发展若干措施的通知(通政办发〔2022〕4号) [EB/OL].
<http://www.bjtz.gov.cn/bjtz/jdhy/202203/1515478.shtml>, 2022-03-03.
- [7] 济语知识产权. 上海市电子信息产业发展“十四五”规划[EB/OL].
<https://view.inews.qq.com/a/20211230A0BX4K00>, 2021-12-30.
- [8] 长江日报. 武汉市政府工作报告(2022年1月11日程用文) [EB/OL].
http://district.ce.cn/newarea/roll/202202/11/t20220211_373224_51.shtml, 2022-02-11.
- [9] Kim, J. (2021) Advertising in the Metaverse: Research Agenda. *Journal of Interactive Advertising*, **21**, 141-144.
<https://doi.org/10.1080/15252019.2021.2001273>
- [10] 郭全中. 元宇宙的缘起, 现状与未来[J]. 新闻爱好者, 2022(1): 26-31.
- [11] 奇偶派. 元宇宙的技术, 基础设施, 场景和未来猜想[J]. 大数据时代, 2021(11): 6-15.
- [12] 腾讯网. 韩国现代汽车计划建设元宇宙工厂[EB/OL]. <https://xw.qq.com/cmsid/20220107A0COHO00>, 2022-01-07.
- [13] 中国传动网. 工业元宇宙=工业乌托邦[EB/OL]. <https://www.chuandong.com/news/news249691.html>, 2022-02-10.
- [14] Duan, H., Li, J., Fan, S., et al. (2021) Metaverse for Social Good: A University Campus Prototype. *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia (MM'21)*, Virtual Event, 20-24 October 2021, 153-161.
<https://doi.org/10.1145/3474085.3479238>
- [15] 华子荀, 黄慕雄. 教育元宇宙的教学场域架构, 关键技术与实验研究[J]. 现代远程教育研究, 2021, 33(6): 23-31.
- [16] 李默. 元宇宙视域下的智慧图书馆服务模式与技术框架研究[J/OL]. 情报理论与实践, 2022, 45(3): 89-93, 88.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20220111.1104.002.html>