

数字孪生技术赋能化工通信系统的智能化升级路径

王雪嫣

山东海成石化工程设计有限公司天津分公司 天津 300380

摘要: 本文探讨了数字孪生技术在化工通信系统智能化升级中的应用。通过构建数字孪生模型,实现化工通信系统的实时监控、预测分析、优化决策和故障快速响应。详细阐述了数字孪生技术在化工通信系统各环节的具体应用方式,包括数据采集与集成、模型构建与仿真、实时监控与预测分析、优化决策与故障快速响应以及数据安全保障等方面。数字孪生技术提高了通信系统的可靠性、安全性和效率,推动了化工行业的数字化转型。

关键词: 数字孪生技术; 化工通信系统; 智能化升级; 实时监控

1 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱,其生产过程的安全性、高效性和可持续性对于保障国家能源安全、促进经济发展具有重要意义。然而,化工行业具有投资规模大、风险高、环保监测严格等特性,对安全生产的要求极为严格。随着工业4.0和新一代信息技术的快速发展,数字化、网络化、智能化已成为化工行业转型升级的关键词。在这一背景下,数字孪生技术作为一种将物理实体或系统与实时数字模型相结合的新型技术,为化工通信系统的智能化升级提供了新的路径。

2 数字孪生技术概述

2.1 定义与特点

数字孪生(Digital Twin)是指通过数字模型或虚拟表示来反映现实世界中实体(物体、系统、过程等)的概念。它充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。数字孪生具有互操作性、可扩展性、实时性、保真度和闭环等特点。互操作性体现在物理对象和数字空间可以进行双向映射、动态交互和实时连接;可扩展性意味着技术具有集成、添加和替换数字模型的能力,可扩展多尺度、多物理、多层次的模型内容;实时性要求数据可以通过计算机识别和处理来管理,以表征随着时间轴变化的物理实体;保真度描述数字虚体模型与物理实体的接近程度,不仅需要保持几何结构的高度模拟,还需要在状态、相态和时态上进行模拟;闭环则是指数字孪生是闭环的,通过描述物理实体内在机理,分析规律、洞察趋势,基于分析与仿真对物理世界形成优化指令或策略。

2.2 发展历程

数字孪生这一概念最早由美国密歇根大学的Michael

Grievess教授在2002年的演讲中首次明确提出,他提出了与物理产品等价的虚拟数字化表达的概念。其发展历程大致可以分为以下几个阶段:

2.2.1 技术准备期(1960—21世纪初):

主要是CAD/CAE建模仿真、传统系统工程等预先技术的准备阶段。

2.2.2 概念产生期(2002—2010年):

数字孪生概念的提出和英文术语名称的确定。这段时间,预先技术继续成熟,出现了仿真驱动的设计、基于模型的系统工程(MBSE)等先进设计范式。

2.2.3 领先应用期(2010—2020年):

NASA、美军方和GE等航空航天等机构开始领先应用数字孪生技术。这段时间也是物联网、大数据、机器学习等外围使能技术的准备期。

2.2.4 深度开发和大规模扩展应用期(2020—2030年):

数字孪生技术的开发与外围使能技术深度融合,应用领域从智能制造等工业化领域向智慧城市、数字政府等城市化、全球化领域拓展。

3 化工通信系统的现状与挑战

3.1 现状

化工行业通信系统的可靠性直接影响安全生产水平。当前行业普遍采用传统多系统并行模式,消防调度使用对讲机集群,生产监控依赖工业光网,行政办公运行电话专网,这种割裂状态导致应急处置时信息传递延迟可达3分钟以上^[1]。例如,某沿海化工园区2022年事故分析报告显示,因通信系统协同失效导致救援延误占比达67%。

3.2 挑战

(1) 信息传递延迟:传统多系统并行模式导致信息传递延迟,影响应急处置效率。(2) 数据接入率低:尽管多数园区已建成数字孪生平台,但实际数据接入率

不足40%。这主要是由于企业端数据壁垒主要源于商业秘密顾虑,而非技术障碍。(3)技术选型误区:部分园区盲目采购5G专网设备,忽视化工装置对电磁干扰的敏感性。例如,山东某石化基地的教训显示,未做电磁兼容测试就部署的5G基站导致DCS系统误动作,造成非计划停车事故。(4)运维体系缺陷:调查显示,85%的园区采用外包运维,但服务商缺乏化工专业知识。这导致在运维过程中难以有效应对化工通信系统的特殊需求。(5)标准体系滞后:现行《化工园区通信系统设计规范》仍基于3G技术框架,对边缘计算、时间敏感网络(TSN)等新技术缺乏指导细则。

4 数字孪生技术赋能化工通信系统智能化升级的路径

4.1 构建化工通信系统的数字孪生模型

4.1.1 数据采集与集成

在化工通信系统的各个环节部署各类传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器、信号强度传感器等。例如,在通信线路的关键节点安装温度传感器,实时监测线路的温度变化,防止因过热导致线路故障;在通信设备上安装信号强度传感器,监测信号的传输质量。利用物联网技术,将传感器采集到的数据传输到数字孪生系统中。通过工业以太网、无线传感网络等技术,实现数据的实时、稳定传输。同时,采用数据集成平台,将不同来源、不同格式的数据进行整合,形成统一的数据格式,便于后续的分析 and 处理。

4.1.2 模型构建与仿真

(1)几何建模:根据化工通信系统的实际物理结构,利用三维建模软件创建其几何模型。例如,对通信基站、通信线路、通信设备等进行精确建模,包括设备的外观、尺寸、布局等信息,为后续的仿真分析提供基础。(2)物理建模:结合化工通信系统的物理特性,建立物理模型。例如,考虑通信信号的传播特性、电磁干扰等因素,建立信号传播模型;根据设备的电气特性,建立设备的能耗模型等。(3)行为建模:分析化工通信系统在不同工况下的行为特征,建立行为模型。例如,模拟通信系统在高峰时段的流量变化、设备故障时的通信中断情况等^[2]。(4)规则建模:制定化工通信系统的运行规则和约束条件,如通信协议、安全规则等,并将其融入到数字孪生模型中。通过仿真软件对数字模型进行模拟和优化,验证模型的正确性和有效性。例如,模拟通信网络在不同负载下的性能表现,评估网络拓扑结构的合理性等。

4.2 实现实时监控与预测分析

4.2.1 实时监控

将数字孪生系统中的实时数据以直观的图表、图形等形式展示出来,如通信线路的信号强度分布图、设备的运行状态指示灯等。通过可视化界面,运维人员可以实时了解化工通信系统的运行状况。利用数字孪生模型对实时数据进行分析,与预设的工艺标准数据进行对比。一旦发现异常情况,如信号强度突然下降、设备温度异常升高等,系统会立即触发预警反馈,便于管理人员及时介入处理,防止异常问题扩大。例如,当某个通信设备的温度超过预设阈值时,系统会发出警报,提示运维人员进行检查和维修。

4.2.2 预测分析

运用机器学习算法,如决策树、支持向量机、神经网络等,对采集到的数据分析和挖掘。例如,通过对历史故障数据的分析,建立故障预测模型,预测设备的故障发生概率和时间。基于数字孪生模型和实时数据,预测化工通信系统的性能变化趋势。例如,预测通信网络的带宽需求、设备的剩余寿命等,为系统的优化和升级提供依据。

4.3 优化决策与故障快速响应

4.3.1 优化决策

(1)网络优化:基于数字孪生系统的实时监控和预测分析结果,对化工通信系统的网络拓扑结构进行优化。例如,根据网络负载分布情况,调整通信基站的布局 and 功率,提高网络的覆盖范围和传输效率^[3]。(2)资源分配优化:合理分配通信系统的资源,如带宽、频谱等。根据用户的需求和优先级,动态调整资源分配策略,确保重要业务的通信质量。(3)设备维护计划制定:根据设备的运行状态和故障预测结果,制定合理的维护计划和备件储备策略。例如,对于故障概率较高的设备,提前安排维护时间,储备必要的备件,降低维护成本和提高设备利用率。

4.3.2 故障快速响应

当化工通信系统出现故障时,数字孪生系统可以快速定位故障点。通过对实时数据和模型的分析,确定故障发生的位置和原因。利用数字孪生模型对故障进行诊断,分析故障的影响范围和程度,并提供详细的故障信息和解决方案。例如,对于通信线路故障,系统可以提供故障修复的步骤和所需的工具。在故障处理过程中,数字孪生系统可以支持远程协作和指导。专家可以通过系统远程查看故障现场的情况,与现场运维人员进行实时沟通,提供技术支持和指导。

4.4 提升数据安全性与可信度

4.4.1 区块链技术应用

利用区块链技术的分布式账本特性,将化工通信系统的关键数据存储存储在区块链上。通过区块链的加密算法和共识机制,保证数据的完整性和不可篡改性。例如,将通信设备的运行记录、故障信息等存储在区块链上,便于后续的审计和追溯。通过智能合约实现数据的自动处理和共享^[4]。例如,制定数据访问规则,只有经过授权的用户才能访问特定的数据;当数据发生变更时,智能合约自动触发相应的操作,如通知相关人员、更新数字孪生模型等。

4.4.2 数据沙箱机制

建立数据沙箱机制,将不同来源、不同安全级别的数据进行隔离。同时,通过联邦学习等技术实现数据可用不可见,促进数据共享和协同应用。例如,在化工园区中,不同企业之间可以通过数据沙箱机制共享通信数据,共同优化园区的通信网络性能和安全生产水平,同时保护企业的商业机密。

5 案例分析:浙江某新材料产业园的融合通信系统升级

5.1 项目背景

该产业园之前采用传统多系统并行模式,存在信息传递延迟、数据接入率低等问题。为了提升通信系统的可靠性和智能化水平,产业园决定引入数字孪生技术进行升级。

5.2 实施方案

通过IP化改造实现多网合一,将19套独立通信系统整合为统一平台。核心设备采用双活云架构,部署边缘计算节点12处,通过软件定义网络(SDN)实现带宽动态分配。构建数字孪生系统,实时采集和分析通信系统的运行数据。利用仿真软件对数字模型进行模拟和优化,提高通信网络的性能和稳定性。开发了实时监控界面,将通信系统的实时数据以可视化形式展示出来。利用机器学习算法对采集到的数据进行分析,预测设备的故障发生概率和网络的性能变化趋势。根据实时监控和预测分析结果,对网络进行优化调整,提高了通信效率。当出现故障时,数字孪生系统快速定位故障点,并提供解决方案,缩短了故障处理时间。

5.3 实施效果

视频监控信号传输延迟从850毫秒降至120毫秒,应急广播覆盖响应速度提升4倍。通信系统的可靠性和智能化水平得到显著提升,为产业园的安全生产和高效运营

提供了有力保障。

6 数字孪生技术赋能化工通信系统智能化升级的意义

6.1 提高安全生产水平

通过数字孪生技术实现对化工通信系统的实时监控和预测分析,可以及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的措施进行防范和应对。这有助于降低安全事故的发生概率,提高化工行业的安全生产水平。

6.2 提升运营效率

数字孪生技术可以优化化工通信系统的性能,提高数据传输的效率和可靠性。这有助于加快生产流程中的信息传递速度,提高生产效率和产品质量。同时,通过优化决策和故障快速响应,可以减少停机时间和生产损失,进一步提升运营效率。

6.3 促进数字化转型

数字孪生技术是数字化转型的关键技术之一。通过构建化工通信系统的数字孪生模型,实现物理世界与虚拟世界的交互映射,可以推动化工行业的数字化转型。这有助于企业更好地适应市场变化,提高竞争力和可持续发展能力。

结语

数字孪生技术为化工通信系统的智能化升级提供了新的路径。通过构建数字孪生模型、实现实时监控与预测分析、优化决策与故障快速响应以及提升数据安全性与可信度等措施,可以显著提高化工通信系统的可靠性、安全性和效率。同时,数字孪生技术的应用还有助于推动化工行业的数字化转型和可持续发展。然而,数字孪生技术在化工通信系统的应用仍面临一些挑战,如数据安全性、隐私保护、技术成本等问题。为了克服这些挑战,需要加强技术研发和创新,提高技术的安全性和可靠性,同时降低技术成本,推动数字孪生技术在化工通信系统的广泛应用和发展。

参考文献

- [1]杨亮.数字孪生技术在化工企业数字化管网建设上的应用[J].石化技术,2024,31(11):208-210+182.
- [2]周程豪.基于数字孪生的化工园区装备模型轻量化与可视化管理平台的研究与应用[D].齐鲁工业大学,2024.
- [3]姚逵.数字孪生技术运用到石油化工企业数字化转型中的思考[J].中国战略新兴产业,2024,(02):33-35.
- [4]刘彤.数字孪生平台的化工行业联合仿真适配与优化[D].浙江大学,2023.