

面向储运煤管控的数字孪生技术研究

李 栋

中国矿业大学(北京), 网络与信息中心, 北京

收稿日期: 2021年9月16日; 录用日期: 2021年10月20日; 发布日期: 2021年10月27日

摘 要

储运煤管控系统的智能化是行业未来的发展趋势, 数字孪生作为新一代信息技术在矿山、工厂等自动化建设方面发展迅速并得到广泛认可。本文尝试将数字孪生技术架构应用于储运煤管控平台, 从煤港码头的应用需求出发, 基于数据融合、数字孪生体构建、优化决策与调度、可视化智能交互等关键技术, 提出了智慧堆场数字孪生系统架构。基于数字孪生技术的储运煤智能化管控系统可为煤港码头等储运煤核心堆场的建设提供技术支撑, 并有效提高煤炭堆存管控系统的智能化管控效率和转运作业效率。

关键词

数字孪生, 储运煤, 智慧堆场, 煤港码头

Research on Digital Twin Technology for Coal Storage and Transportation Control

Dong Li

Network and Information Center, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing

Received: Sep. 16th, 2021; accepted: Oct. 20th, 2021; published: Oct. 27th, 2021

Abstract

The intelligence of storage and transportation coal control system is the future development trend of the industry, and digital twin as a new generation of information technology is developing rapidly and widely recognized in the automation construction of mines and factories. In this paper, we try to apply the digital twin technology architecture to the storage and transportation coal control platform, and propose the intelligent yard digital twin system architecture based on the key technologies of data fusion, digital twin construction, optimal decision-making and scheduling, and visualized intelligent interaction from the application requirements of coal port terminals. The intelligent coal storage and transportation control system based on digital twin technolo-

gy can provide technical support for the construction of coal storage and transportation core yards such as coal port terminals, and effectively improve the intelligent control efficiency and transshipment operation efficiency of coal storage control system.

Keywords

Digital Twin, Coal Storage and Transportation, Smart Yard, Coal Port Terminal

Copyright © 2021 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

国际煤炭行业正在经历一场深刻的革命，未来发展方向将以煤炭产业链现代化、智能化为方向，以绿色生产、安全生产、高效生产为核心。目前，我国能源行业积极实施能源转型，建设煤炭智能产业链，主动应对新一轮产业变革与科技革命，逐步向实现碳达峰目标迈进。加强现代化智能煤炭产业链理论基础研究，着力解决智能煤炭储运领域具有战略性、前沿性的关键技术难题。

以煤炭港口为代表的煤炭转运堆场正在迎来信息化、智能化的设备和工作模式型[1]。为提升煤炭港口运行效率，提升质量效益，国内港口紧跟国际先进港口改造步伐，并进行了大量实践。实现了以设备远程管控代替传统组织方式，以设备远程集控代替现场调度，以改造的无人化作业设备代替手动控制[2]。通过物联网、大数据和信息集成等手段，实现对环境、水网等要素的实时监控和环境应急指挥调度[3]。在很大程度上提高了生产作业效率，降低了工作人员劳动强度，改善了工作环境。

数字孪生是充分利用物理模型、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。数字孪生已成为新一代信息技术和国家新基建重点发展方向。数字孪生技术直接面向人工智能现代化国家战略中先进制造发展、能源产业发展等任务的需求。目前，数字孪生技术已成为计算机仿真和集成等领域愈发重要的研究方向，已在智能制造、能源开发利用等领域产生了大量的研究并受到广泛的关注[4] [5]。在发展的初期，数字孪生技术架构主要被应用军工及航空航天领域，随后在船舶、发电厂、立体仓库、医疗和制造车间等领域也得到了拓展应用，并且由于国内“网络化协同制造与智能工厂”与“加快煤矿智能化发展”等专项措施的实施，使得数字孪生在国内得到了有力的发展[6]-[15]。由数据驱动的智能服务是国际科技前沿与应用智能化未来的发展趋势，因此可以预见，诸如“人工智能”、“虚拟现实”、“增强现实”等新一代信息技术将会与数字孪生进一步深度融合，并为储运煤的智能化管控提供关键技术支撑，同时也为智慧转运堆场的构建提供了新的发展思路。

随着工业互联网、大数据、5G 和 AI 等新型技术的兴起与广泛应用，数字孪生技术在未来能源工业和煤炭储运管控、装卸煤调度、智能环境监控、设备远程故障诊断与健康预测等方面具有应用潜力。

2. 数字孪生在储运煤管控中的应用

2.1. 数字化转运堆场建设

煤炭储运堆场具有流程复杂程度低，管理流程多，管理难度大等特点，建立集中化管理平台可有效提高管理效率，降低生产管控难度。

数字孪生技术的应用可推进数字化转运堆场建设,实现结构优化、质量提高、实力增强,加快管理数字化与智能化发展。通过精准分析煤炭转运流程的储存、装卸、运输等环节与转运堆场精确数字建模技术,构建针对转运堆场的仿真模型、逻辑模型、物理模型和数据模型,实现转运堆场的物理实体与数字孪生体之间的虚实映射和实时交互。建立基于数字孪生与数据驱动技术的数字孪生转运堆场智能化管理平台,通过充分利用 5G 通信技术、边缘计算、超高带宽和超低延时等特性,为转运堆场数字孪生智能监控和智能调度提供技术支持,为数字化转运堆场建设提供新思路和新途径。

2.2. 智能煤炭转运调度

煤炭的转运调度作业主要包括铁路线运输的装卸、海运线运输的装卸、场内皮带运输、堆取料机装卸等。如何制定合理、高效的作业计划以及如何直观展示、如何准确干预是调度工作的关键。现代港口煤炭转运的调度系统已将数据库、物联网等信息技术进行了融合,在一定程度上实现了生产管控系统的信息化、网络化。借助数字孪生技术,引入云计算、反馈交互、实时控制、智能决策等功能,实现煤炭转运调度系统向智能化的转变和发展。通过构建煤炭转运场景三维模型,实现来港船只、转载及堆取料机机械设备、仓库、堆场等物理实体与对应各数字孪生体之间的虚实映射,通过先进的无线通信和网络技术实现实时交互。进一步通过对映射关系及虚拟对象的功能拓展,实现场区无人化作业的深度感知和全过程智能化运行控制等。确保数字孪生体能够精确表征物理实体的时空演化特性,提升映射重构性能。通过对架构的优化和提升,实现对堆场生产调度过程的远程智能控制、生产场景及设备状态的集中监控,达到提升煤炭行业储运煤管理环节安全、绿色、高效和智能化生产水平的最终目标。

2.3. 堆存状态智能监控

转运堆场安全监控正在由信息化、网络化逐渐向智能化方向转变和发展。通过建立基于网络建设、信息建设的工业互联网平台数字孪生管控智能化系统,可实现对生产作业场景的实时监控。利用三维可视化平台统一获取堆场垛位实时堆存信息、堆垛实时状态指标和洒水设备实时运行数据。通过利用数据融合、深度学习、迭代优化等手段实现对大量生产数据的自动化分析和处理,解决转运堆场智能洒水系统存在的堆垛状态监控不精准、可视化效果较差等问题,并对堆垛起尘、自燃等事故提前预警。

3. 堆场数字孪生模型架构

3.1. 架构设计

堆场数字孪生模型架构包含五个基本层,分别是堆场全要素物理实体层、堆场信息物理融合层、堆场数字孪生 3D 模型层、堆场孪生数据交互层和堆场智能应用服务层。通过各层级间的服务支持和协作,为实现智能堆场的泛在感知、协同控制和智能决策与优化等提供场景。本文所提出的煤炭转运堆场数字孪生模型架构如图 1 所示。

1) 堆场全要素物理实体层:作为堆场数字孪生模型体系结构的最基础层,负责为后续各层提供实时生产作业计划及运行数据接口和物理建模参考对象。为后续实现全平台资源融合、虚拟模型的仿真模拟、逻辑验证和数据分析与计算提供最基础的服务支持。

2) 堆场信息物理融合层:链接虚拟孪生体与物理实体之间的交互映射,并通过控制系统实现同步状态反馈。堆场信息物理融合层贯穿智能堆场全生命周期,为堆场物理实体元素的智能感知、对应模型构建、孪生数据交互与智能服务提供全面的信息和数据支撑。

3) 堆场数字孪生 3D 模型层:实现智能堆场生产周期规划设计、生产作业过程控制管理、大型机械设备运行维护和故障预测等各种功能的核心组件。由物理模型、仿真模型、逻辑模型和数据模型相互耦

合集成，在堆场大量实时数据驱动下实现对物理堆场的对象孪生、过程孪生和性能孪生。

4) 堆场孪生数据交互层：通过主要用于实现各结构与模型间的信息交互与数据的迭代优化，物理模型、虚拟模型与数据层之间通过交互层形成了一个整体，实现了各结构间的互联互通，从而避免了信息孤岛的产生。通过数据的实时交互与迭代，各类业务能够被有效集成融合，井下作业过程能得到优化后的方案并对接下来的生产作业进行反馈指导，从而提高生产效率与质量。

5) 堆场智能应用服务层：堆场数字孪生模型中提供应用服务的平台。通过传感器统一接口提取堆场数字孪生模型实时传感数据，利用数据、算法与仿真搭建模型，并利用工具组件等来实现应用服务功能，定制设备控制、堆垛监测、安排作业、信息收集等功能。应用服务层主要包括面向操作人员与面向模型两方面的服务功能。面向模型的服务功能主要包括数据与模型管理，针对数据类型的服务包括数据采集与存储、数据管理与传输以及各结构间数据的连接交互等内容。针对模型管理的服务则主要包括模拟仿真与模型间的耦合等内容。以上这些服务通过相关平台或软件提供稳定的输入与输出，可以实现更加便捷的需求，而面向操作人员的服务是整个服务流程中最重要的部分，是堆场智能化的外在表现。

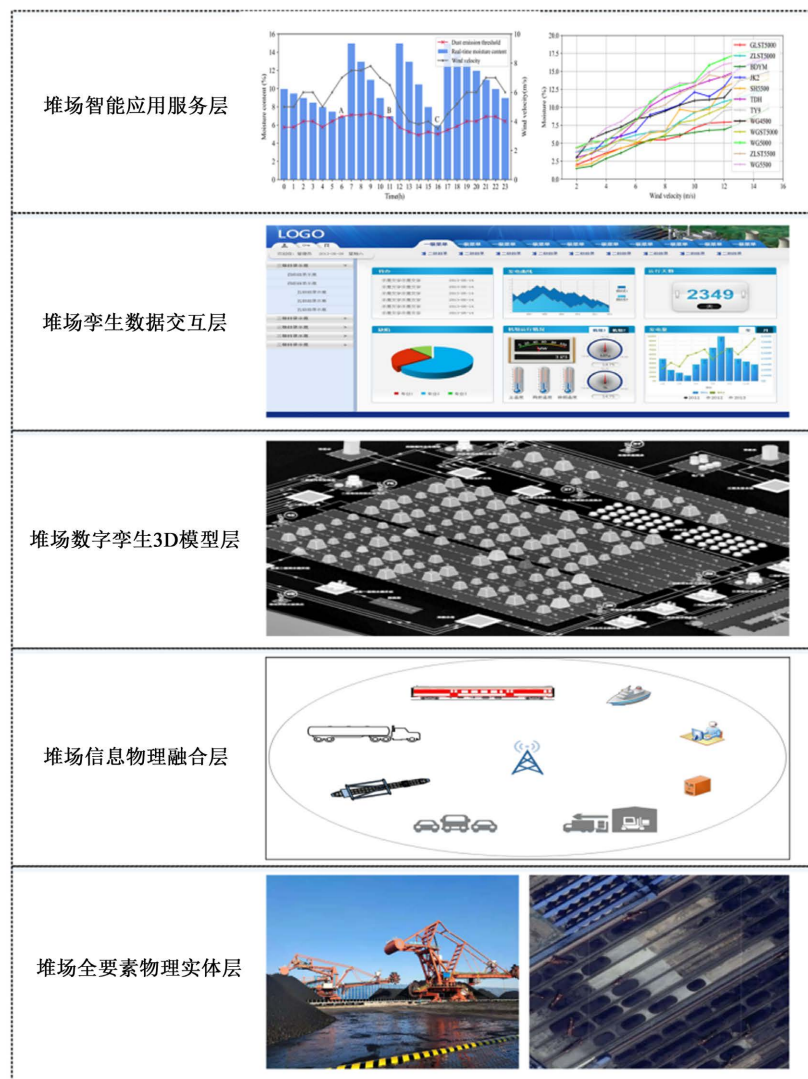


Figure 1. Digital twin model architecture of coal transfer yard
图 1. 煤炭转运堆场数字孪生模型架构

3.2. 场景应用

港区堆场智能管控数字孪生系统的部署涉及进出港船只及车辆管理、翻车机作业计划发布、堆取料场地规划、堆取料机实时调度及监控、储煤状态监控等港区主要生产环节。数字孪生系统为施工者和管理者提供高度集成的管理和操作平台,使调度和监管工作更加便捷、高效。

4. 结论

本文讨论了建设数字孪生智慧煤炭储运管控系统的构想和模型架构。通过数字孪生技术的设计开发,可对煤炭储运环节的装卸调度和堆存监控进行智能化控制。努力实现降低人员劳动强度、自动化分析决策、精细化设备管理的目的,在港口现有设备改造难度大、技术要求高、改造总成本受限的条件下,努力达到既定的实施目标,改造工作产生良好的经济价值和社会价值,对传统港口的智能化改造工作提供可借鉴的架构。期望相关工作能够为煤炭储运技术的智能化发展提供一部分启发,推动煤炭产业链数字孪生技术的进一步研究与发展。

参考文献

- [1] 刘林. 黄骅港煤炭港口智慧转型实践[J]. 港口科技, 2020(12): 4-6+25.
- [2] 王超亮. 港口物流企业管控一体化系统研究和设计[J]. 中国港口, 2020(8): 45-47.
- [3] 刘华实. 黄骅港煤炭码头生产运行研究[J]. 中国高新科技, 2020(21): 53-54.
- [4] 张帆, 李闯, 李昊, 等. 面向智能矿山与新工科的数字孪生技术研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(5): 15-20.
- [5] 郑孟蕾, 田凌. 基于时序数据库的产品数字孪生模型海量动态数据建模方法[J/OL]. 清华大学学报(自然科学版): 1-8. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2021.26.006>, 2021-10-21.
- [6] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1): 1-18.
- [7] 葛世荣, 张帆, 王世博, 等. 数字孪生智能采煤工作面技术架构研究[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 1925-1936.
- [8] 杨林瑶, 陈思远, 王晓, 张俊, 王成红. 数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望[J]. 自动化学报, 2019, 45(11): 2001-2031.
- [9] 石婷婷, 徐建华, 张雨浓. 数字孪生技术驱动下的智慧图书馆应用场景与体系架构设计[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(3): 149-156.
- [10] 陶飞, 张萌, 程江峰, 戚庆林. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9.
- [11] 董雷霆, 周轩, 赵福斌, 贺双新, 卢志远, 冯建民. 飞机结构数字孪生关键建模仿真技术[J]. 航空学报, 2021, 42(3): 113-141.
- [12] Teng, S.Y., Touš, M., Leong, W.D., How, B.S., Lam, H.L. and Masa, V. (2021) Recent Advances on Industrial Data-Driven Energy Savings: Digital Twins and Infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **135**, Article ID: 110208.
- [13] 张文杰, 王国新, 阎艳, 褚厚斌, 王晶, 曹志松. 基于数字孪生和多智能体的航天器智能试验[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(1): 16-33.
- [14] Deryabin, S.A., Temkin, I.O. and Zykov, S.V. (2020) About Some Issues of Developing Digital Twins for the Intelligent Process Control in Quarries. *Procedia Computer Science*, **176**, 3210-3216.
- [15] 周圣文, 郭顺生, 杜百岗, 郭钧, 李益兵, 王磊, 查大虎, 张富江, 于磊. 数字孪生净水厂运维管控一体化平台关键技术及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(2): 432-444.