

智能工厂数字化车间数字孪生技术研究

景兴洪 黄顺利

机械工业第六设计研究院有限公司 河南 郑州 450007

摘要:《中国制造2025》是我国全面推进实施制造强国的重大战略。该战略明确指出,推进制造过程智能化,在重点领域试点建设智能工厂/数字化车间。开展智能工厂/数字化车间建设,是传统产业转型升级和提升我国先进制造能力的重要举措,是破解我国制造业发展瓶颈的理想途径,更是抢占未来高技术领域阵地,迎接新一轮工业革命挑战的必然选择。我国提出“中国制造2025”战略,大力推动智能制造新模式探索,助力制造业升级转型。智能车间作为智能制造的应用落地,其“智能”特征主要体现在科学规划与持续优化能力。本文以某智能终端结构件加工车间为对象,开展数字孪生车间关键技术研究及应用,为车间建设规划和生产执行提供决策支持。

关键词:智能工厂;数字化车间;数字孪生技术

1 引言

数字孪生车间,是由中国国内北京航空航天大学陶飞博士等在二零一七年提出的一个未来厂房生产运营模型,通过陶飞等人研究的数据孪生应用点和技术,弥补了传统数据孪生体系短板,对其基础理论研究与实践探索提出了重要的理论借鉴价值。他认为,数据孪生厂房是指利用数字化手段建立物理厂房的数据孪生模式,利用虚拟模拟厂房的工作规律与生产实际活动,利用物联网等新型信息技术,进行对物理厂房、虚拟厂房、服务的全要素、全过程、全服务信息的汇集和整合,并利用虚实互动反馈、数据融合分析、信息迭代优化等技术手段,完成厂房的全要素控制、生产项目控制、生产流程管理等的综合功能。数字孪生厂房技术将极大的促进生产组织数字化、网络化的提升改造,有助于智慧生产的加快推进。

由于信息、通讯、电子计算机、新一代人工智能等高新技术的快速开发和运用,数字孪生高新技术得到了人类普遍和高度的重视,其理论与应用都获得了巨大的开发成就,同时也与物联网、虚拟化现实、新一代人工智能、强化现实等最前沿高新技术密切交融,表现形式与概念也不断丰富,公司在未来将运用数字孪生提高产业技术创新、经营效益到了一个全新的高度。特别在生产应用领域,其使用范围和深度更加广阔,由设计阶段逐步扩展至车间建造和生产运维服务等阶段。

2 数字孪生车间关键技术特点

数字孪生车间关键技术路线等方面十分相似,又存在自身的特点,主要描述如下:

2.1 数据采集融合

与其他的工业信息管理系统技术相比,对车间人、

机、料、法、环、测等真实多源异构数据信息加以收集和融入,是完成数码孪生虚实相互融合、工业信息物理交换的核心技术所在。数据采集方式也有很多,对于内部本身配备一定的感应器和存储通讯模块的各类产品或装备,可利用其DNC、OPC、串口方式及以太网等通信接口直观获取数据,又或是要求利用其电气电路或PLC来完成采集,又或是利用其外接的智能数采装置,如感应器、RFID、条形码、终端录入等,又或是采用系统集成的方法。

数字孪生的使用目的也有所不同,其数据收集内容、数据获得方法、数据处理特点等也会有很大的不同。比如,当数字孪生运用于在生产运维过程时,主要需要对震动、压力、声音发射、电压、环境温度等信息数据进行采集,用以分析当前生产过程或设备状态的变化状况,所收集的信息数据具备了即时化要求高、信息量大、采集频次高等优点,而在针对面向生产运输过程的数字孪生车间中使用,则主要需要对生产过程数据、设备状态数据等进行收集,数据的即时化要求和数据处理密度都相对较低,据传输内存管理压力也较小,并能够通过和其他信息系统交换相关数据获得。相对于前者,往往注重与单一的产品/装置的数据与感知互动,而数字孪生车间则对整个车间物联环境的建设需求更高,在物理车间要素之间可以实现较高层次的信息互通与互联,孪生模型则可以实时仿真这些规律机制,并可在经过决策分析后实现一定的以虚控实。

2.2 虚拟建模仿真

不同于对物理场、工艺环境的模拟,针对生产物流环节的数据孪生车间研发与应用中所使用到的模拟方法指的是通过系统模拟技术,在电脑上对系统的工作流

程与状况变化加以仿真,从而进行了对特定问题的真实表现。系统模拟一般分为离散事件模拟和连续系统仿真二个模型方式,其中大多数的生产车间和厂房都属于离散事务系统,但相对于外国更完善的系统仿真技术与环境,中国国内生产系统的模拟研发与应用起步相对较晚,现在基本缺乏商品化的工业生产系统模拟软件产品,各应用领域的模拟软件产品市场也几乎为外国独占,是目前国内外数字孪生的开发的重要障碍。

国内工业界对系统仿真的认可度仍不高,目前对其了解主要停滞于布局等生产方案在规划设计阶段的评价及可视化研究,以认识设计问题和管理瓶颈,通过优选资源配置方法,以实现生产的综合性能达到预期要求。但在智能工厂制造实施阶段,也可以使用虚拟工厂建立车间生产控制体系,通过与工厂设备层、管理人员间的信息数据相互交换,以及实时地与MES等生产管理系统的信息相互融合,进行远程透明地控制智能车间制造流程,以提升制造管理的技术先进性。企业系统仿真的实际应用时间和投入都远远不够,目前真正具备系统仿真能力的研究团队主要聚集在高等院校及其他科研机构,因此学术界中关于系统虚拟建仿真的研究热度也有增无减,除了以系统模拟作为计算验证的主要手段,也有不少学者运用系统模拟于车间生产计划调整。如周金平等人运用系统仿真技术,综合实验设计、遗传算法等方式,进行了流水线、并行机、作业车间生产的启发式和优化型调制,对于企业车间生产仿真调度有着良好的指导意义。Dennis Pegden等用随机过程模拟,提出基于风险的规划与调整方法,进行生产组织的风险判断与调整。朱海平首先给出了一个基于多目标和高优先级车间资源调度方案的随机规划模式,并根据随机模拟、神经网络和遗传算法等技术提出的算法。

2.3 实时仿真优化

在对比方法数量较少、问题的解决空间有限时,仿真模式往往根据试验设计理论来完成试验,从而得到模拟数值。而What-if分析方法则是仿真分析中最常见的方式,通过比较不同方法的模拟试验结果输出指标,选出较优方法;通过大数据分析的方式,对仿真算法模式的投入输出加以敏感性评估,以选择不确定性原因中对结果影响程度最大的原因,从而得出较优的投入输出参数选择方法。在问题解决空间较大时,人们通常把仿真算法模式视为一种实值函数,在仿真过程中通过嵌入优选方法实现对模拟输入的迭代寻优,而不是简单枚举地在所有可行解中找到最佳方法。

数字孪生车间技术不仅对仿真建模的即时性做出了高度规定,对模拟运行中优化方式的适应性也提供了极

大的挑战。当数据孪生模式伴随现实系统持续进行态的改变时,仿真运行战略和优化方法都必须可以应对改变所产生的影响,又或者这种策略和方法都是动态的,可以利用预先设置的快速反应机制或自组织自适应学习等方式伴随现实系统态的改变而自动优化,但即时离散动态系统仿真技术仍有待发展突破。以机器学习为基础的大数据分析技术的迅速火热的开发,也推动着对数据孪生新的探索与应用方法,孪生模式不仅能够给监督训练者带来更丰富的训练样本信息,而且反过来机器学习的技术也可以极大增强数据孪生的动态模型、组合判断、自适应优化等方的功能。而且数字孪生技术由于具有的可以真实模拟的特点,所以能够与强化学习的技术很好的结合,而强化学习技术主要包括了无模板和基于模型的学习技术,其中的模式指的是人类智体根据对现实环境的认知,建立一种模型来模拟物理环境,然后在决策时根据所设想的模型预演未来可能的情况和系统结果,然后选取其中最佳的情况。

3 数字孪生车间总体框架

数字孪生车间总体框架主要包括以下五部分内容:数字孪生车间建模、基于数字孪生的车间物流仿真分析、基于数字孪生的车间生产计划评估优化、基于数字孪生的车间生产过程虚拟监控、基于数字孪生的车间物流配送调度优化。

通过数字孪生车间建模模块(可结合三维建模软件),在仿真平台所提供的标准模型库和定制模型库的基础上,构建车间虚拟映射对象,包括二维、三维模型及相关动画,并完成模型轻量化处理,同时建立工件或工装载具等可移动对象在车间生产物流运行逻辑,并以参数化的方式设置对象属性参数和运行逻辑参数,实现通过数据表的方式驱动数字孪生模型建立。

通过基于数字孪生的车间物流仿真分析模块,在新车间/生产线规划建设或旧车间/生产线升级改造阶段,在数字孪生模型的基础上,导入生产计划、随机因素等数据,利用仿真实验设计和数理统计分析方法,实现车间布局规划、产能评估、生产物流分析、参数优化设计、瓶颈分析优化、方案对比分析等,以科学指导车间方案选择。

通过基于数字孪生的车间生产计划评估优化模块,在车间运行时期生产准备阶段,基于数字孪生模型的超实时仿真能力,提前预演生产计划执行情况,及时发现未来可能发生的风险,评估和优化生产计划。同时,通过仿真对比分析,在实际生产调度时辅助以基础数据支持和优化策略推荐。

通过基于数字孪生的车间生产过程虚拟监控模块,

获取生产实况和绩效数据,以数字孪生模型为载体,实现数据与模型关联、实时数据驱动模型、生产状况可视化展示、交互控制与漫游等功能,并实现一定的管控指令和分析优化结果的反馈。

通过基于数字孪生的车间物流配送调度优化模块,实现物流调度过程仿真验证,并针对车间实时情况,评估物流运输能力,对比分析物流调度规则,实时调整运输策略,实现物流配送精准调度。

4 数字孪生车间的建模过程

4.1 层次化车间对象建模

利用树形结构来表达车间内各对象以及对象组成部分间的逻辑关系,根据实际车间的构成,将车间对象主要分为生产线、物流、立体仓库、可移动对象等类型,每种类型内按照层级关系进行进一步细分。每一类车间对象包含多种属性,主要包括布局、运行参数,其中显示图表对象需要与车间的其他对象属性进行关联,如生产线产量、设备状态、报表等。每种属性值的取值范围根据实际情况进行设置,在仿真平台预先进行对象和其属性编辑,导出保存在对象库中,并记录到对象表。

4.2 车间仿真运行逻辑建模

将实际车间系统中的生产物流规则和策略转化成仿真运行逻辑,在对象 Method 中编写以驱动可移动实体在数字孪生车间内部的运转,并实现相关规则策略的参数化设置。提炼实际车间对象的运行策略,以流程图的方式展现出来。

5 数字孪生模型的车间规划仿真分析

以往的车间生产系统规划与设计过程依赖从业人员的工作经验,在方案的规划与设计时带有一定的盲目性与随机性,对产线、仓储、物流方案的评价停留于定性分析层面,方案的规划与设计阶段难免产生部分偏差,对车间建设后续的开展与实施产生极大影响。为避免此类问题发生,以车间的数字化改造为前提,根据车间生产的工艺、物流、仓储等信息,建立物理车间与数字化车间的映射关系。通过离散事件驱动的生产与物流仿真技术,对车间的产能和瓶颈等关键性能指标进行综合定量分析,及早发现规划车间的生产瓶颈与物流问题,找出影响产能与物料转运的关键因素,为车间规划方案的设计与调整提出合理建议与改善方向。

5.1 生产线产能评估分析

由于智能终端结构件加工车间的生产线上存在上下料机械手、传送带、复杂的生产线交互调度策略,生产线真实的产能必须通过仿真分析来获得。生产线仿真分析的主要思路是在物料供给充足、物料回收及时的情况

下,对生产线资源和产能进行数据统计分析,充分发挥现有资源潜力,获得最大产能。

5.2 立体仓库仿真验证

对于立体仓库来说,存储库位数量太多导致规划浪费和成本积压,库位数量太少,车间规避风险能力差,规划合理的库位数量至关重要。同时,立体仓库堆垛机的运输能力必须充足,否则无法满足每天的生产线的消耗与产出时毛坯成品的及时出入库操作,影响车间整体效率。通过仿真运行对库位的利用情况以及堆垛机的使用情况进行分析,并对立体仓库综合能力进行验证。

6 研究展望

本文主要以面向智能车间生产物流过程为对象,开展关于规划仿真、计划仿真、实时仿真等关键技术理论与应用研究,在研究过程中仍然存在一些值得改进和进一步探索的地方,主要体现在以下几个方面:

(1) 本文研究的动态优先级调度等方法,主要是对算法作用进行实例验证,对于算法的计算效率方面的研究不足。

(2) 本文研究实时数据驱动的仿真运行机制,赋予数字孪生模型一定的实时性,

并应用于车间状态还原与虚拟监控。然而实时仿真的潜力绝不仅限于此,其相关技术和应用领域仍有很大研究空间,对于模型的自我迭代更新方面的研究也具有巨大的价值。

(3) 本文在数字孪生思想的指导下,实现一定程度的数据驱动的自动化仿真建模,然而离高水平集成的数字孪生仍存在较大的差距,如何利用物联网、云计算等先进技术,实现物理信息系统的高度融合,仍需要深入研究。制造领域数字孪生涉及到不同对象、不同粒度等许多方面的研究,如何实现多领域仿真的交叉,数字孪生与物理世界的融合,同样是一个重要的课题。

参考文献:

- [1]熊文泽.智能工厂/数字化车间安全一体化模型概述[J].中国仪器仪表,2018(04):21-27.
- [2]王麟琨,王春喜.智能工厂/数字化车间参考模型概述与分析[J].中国仪器仪表,2017(10):63-72.
- [3]杨一帆,邹军,石明明,李月峰,杨波波,王洪荣,施成章,金龙悦,路鑫.数字孪生技术的研究现状分析[J].应用技术学报,2022,22(02):176-184+188.
- [4]吴雁,王晓军,何勇,黄新伟,肖礼军,郭立新.数字孪生在制造业中的关键技术及应用研究综述[J].现代制造工程,2021(09):137-145.DOI:10.16731/j.cnki.1671-3133.2021.09.023.