



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112085261 B

(45) 授权公告日 2022.06.21

(21) 申请号 202010835136.X

G06N 3/04 (2006.01)

(22) 申请日 2020.08.19

G06F 30/27 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06F 16/33 (2019.01)

申请公布号 CN 112085261 A

G06F 16/31 (2019.01)

H04L 67/1097 (2022.01)

(43) 申请公布日 2020.12.15

(56) 对比文件

(73) 专利权人 浙江工业大学

CN 110196575 A, 2019.09.03

地址 310014 浙江省杭州市下城区潮王路18号

CN 111230887 A, 2020.06.05

CN 111413887 A, 2020.07.14

(72) 发明人 王亚良 范欣宇 倪晨迪 高康洪 张敏

CN 111061232 A, 2020.04.24

CN 111208759 A, 2020.05.29

CN 110187686 A, 2019.08.30

(74) 专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公司 33201

董雷霆. 飞机结构数字孪生关键建模仿真技术.《航空学报》.2019,第50卷第406-449页.

专利代理师 王兵

Schleich B. Shaping the digital twin for design and production engineering.

《CIRP Annals》.2017,第66卷第141-144页.(续)

(51) Int. Cl.

审查员 方萍

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 50/04 (2012.01)

H04L 67/51 (2022.01)

G06T 17/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法

能够提高企业生产效率、改善企业生产现状,提高产品产出质量。

(57) 摘要

基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法,包括:步骤1.对企业生产过程中的生产资源及运行数据进行划分;步骤2.通过一定的映射关系和预测孪生系统得到的数据对物理实体车间实现虚拟化或数字化,形成孪生车间;步骤3.运用人工智能技术和数字孪生技术对所得孪生车间生产要素的数据进行预测;步骤4.诊断和改进系统;步骤5.监控系统对企业生产中存在的风险进行监控;步骤6.运用云端融合技术将云侧的云端服务平台和端侧的物理实体车间实现实时交互连接,将云侧获得的数据、优化方案等特征通过孪生车间投影反馈至物理实体车间,满足物理实体车间中各实体的适配机制。本发明



CN 112085261 B

[接上页]

(56) 对比文件

王安邦. 基于数字孪生与深度学习技术的制造加工设备智能化方法研究.《工程设计学报》.2020,第26卷(第6期),第666-674页.

张翔翔. 基于产品数字孪生模型的制造信息测度与协同研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库(工程科技II辑)》.2020,(第3期),全文.

WEYER S.Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example form the automotive industry.

《IFAC-Papers On Line》.2016,第49卷(第31期),第97-102页.

THOMAS H J.The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems.《Procedia Manufacturing》.2017,第9卷第113-120页.

郭飞燕. 数字孪生驱动的装配工艺设计现状及关键实现技术研究.《机械工程学报》.2019,第55卷(第17期),第110-132页.

1. 一种基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法,包括如下步骤:

步骤1. 对企业生产过程中的生产资源及运行数据进行划分;其中企业生产资源包括同产品生命全周期相关的因素,即车间面积、设备种类、设备数量、物流路线、企业员工、原材料;企业运行数据包括产能、在制品数、生产工艺、车间布局、生产计划数据;利用调研、查找历史数据、追踪传感器或机器视觉传输技术对数据进行收集;

步骤2. 将划分后的企业生产资源、运行数据、调研数据、当前运行数据、历史数据利用大数据技术对其进行抽取和清洗消除无效数据,利用数字孪生技术将物理实体车间进行虚拟化,即通过一定的映射关系和预测孪生系统得到的数据对物理实体车间实现虚拟化或数字化,形成孪生车间;孪生车间中所包含的三个层次分别为生产要素、生产行为、生产规则;其中生产要素有车间的几何形状、车间尺寸大小、设备物料数量、操作人员;生产行为包括在应对生产计划变更或订单扰动情况下,能响应外界扰动的车间行为;生产规则包括车间有序运行的规律;形成的虚拟实体是对物理实体车间的真实反映,所涉及的孪生车间中的各要素是通过大量的协议或是连接方法进行连接;孪生车间的建模流程的具体步骤如下:

2a. 首先对虚拟层要素进行划分:

$$M_v = \{P_v, B_v, R_v\} \quad (1)$$

其中 M_v 是虚拟层要素, P_v 为生产要素, B_v 为行为要素, R_v 为规则要素;

2b. 模型预处理,对上述生产要素按照生产过程中的逻辑结构、物流特性、组织规则进行描述;

2c. 利用三维建模仿真软件对生产现场中的设备、物料、人员进行场景搭建,实现几何模型的建模;

2d. 使用Automation ML对搭建完成的几何模型进行行为标准化建模;

2e. 选取开源平台做中间件,供其他系统提取相关信息;

2f. 提供系统间通信机制,进一步扩大系统覆盖范围,从而完成对物理实体车间的映射,生成孪生车间;

步骤3. 运用人工智能技术和数字孪生技术,即灰色理论和RBF径向基神经网络对所得孪生车间生产要素的数据进行预测,具体预测步骤如下:

3a. 将步骤2得到的数据记为原始数据为 $x_i^{(0)} = \{x^0(1), x^0(2), x^0(3), \dots, x^0(n)\}$,累加生成新的序列 $x_i^{(1)} = \{x^1(1), x^1(2), x^1(3), \dots, x^1(n)\}$,其中

$$x_i^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x_i^{(0)}(t), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

3b. 定义灰微分方程:

$$v^{(0)}(k) + \alpha x^{(1)}(k) = \varepsilon \quad (3)$$

其中 $x^{(0)}(k)$ 为灰导数, α 为发展系统, $z^{(1)}(k)$ 为白化背景值, ε 为灰作用量;

3c. 由灰微分方程求解白微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)}(t) = \varepsilon \quad (4)$$

3d. 求解微分方程得时间相应序列 x_c ,并得到预测序列 x_{ct+1}^1 ;

3e. 累减还原得原始数据预测值:

$$x_{ci+1}^0 = x_{ci+1}^1 - x_{ci}^1 \quad (5)$$

3f. 建立基于原始数据和预测序列差值的RBF径向基神经网络模型；

3g. 对RBF径向基神经网络模型进行训练,并修正差值；

3h. 获得更为稳定和准确的预测值 x_{ci+1}^0 ；

步骤4. 诊断和改进系统；利用人工智能技术对影响企业生产和产品全生命周期过程的因素进行诊断分析和优化改进；实施过程分为诊断过程和改进过程；影响企业生产的因素包括生产工艺流程、生产车间布局、生产调度计划、设备配置方案、人员排班、在制品数量、库存量、车间物流、生产安全性；从诊断和改进系统中获得的数据及优化方案将会反馈至虚拟实体中,并通过二次投影对孪生车间进行更新和修正,获得最优的生产环境与状态；

诊断过程包括环境诊断、生产调度诊断、设备诊断、经营效益诊断、人员安全诊断、在制品及库存诊断,通过将实地调研数据、当前运行数据、历史数据以及趋势运行数据通过整合有基于规则推理RBR和基于案例推理CBR的专家系统进行诊断；专家系统中存储有大量企业生产领域专家知识和经验,同时模拟人类专家诊断过程,对当前企业的生产运行状态进行评估和判断,并对当前生产中存在的异常和问题给予解决策略；改进过程是指利用基于数字孪生车间的生产管理服务技术对上述诊断过程中诊断出的问题进行改进优化；其具体步骤如下：

4a. 专家系统读取数据,基于案例推理,根据一定的索引机制在案例库中检索案例,检索方法耦合了最近相邻法、归纳法、知识导引法；

4b. 判断案例库检索结果；

4c. 当检索成功时,参照案例库中案例对当前数据进行改写、测试、解释、修正、案例存储,进一步导出诊断结果；

4d. 当检索不成功时,基于规则推理判断,判断是否存在异常；

4e. 当存在异常时,对当前异常进行案例存储,进一步导出诊断结果；

4f. 当不存在异常时,对当前数据进行判断,符合案例存储条件时,将该数据进行存储；不符合案例存储则直接导出诊断结果；

4g. 运用数字孪生技术对当前诊断结果进行评估预测,即对诊断结果进行建模、智能优化算法求解、生成预选方案、方案的迭代优化；

4h. 输出最终优化方案；

步骤5. 监控系统对企业生产中存在的风险进行监控；通过监控系统的实时监控,能达到异常追踪、异常报警、及时关断的功能；当监控系统对孪生车间生产过程中的异常实行追踪、警报、关断的操作后,孪生车间也会给予监控系统反馈,更新当前异常状况；

步骤6. 运用云端融合技术将云侧的云服务平台和端侧的物理实体车间实现实时交互连接,将云侧获得的数据、优化方案通过孪生车间投影反馈至物理实体车间,满足物理实体车间中各实体的适配机制。

2. 如权利要求1所述的一种基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法,其特征在于:步骤6中数据的存储和计算均在云侧完成；云侧是远离物理实体车间的一侧,基于云计算并能够提供云服务的平台；端侧指靠近物理实体车间的一侧,即直接接触企业,具有终端接口的企业中的物料、设备、人员、生产环境。

基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种企业生产现状的诊断方法。

背景技术

[0002] 数字孪生是一种新兴的智能化技术,是一种将实体、虚拟数据以及连接两者之间的枢纽进行集成以形成新的方法技术或系统。基于数字孪生技术,可以将现实中的物理实体虚拟化,即借助数据对物理实体在现实中的行为进行模拟、仿真,并在信息化的平台上进行实时监控,也可通过预置接口对现实中的物理实体进行操作控制。同时通过一定的反馈系统与性能的迭代优化,结合相应的人工智能技术,将模拟的孪生体数据再实时反馈至物理实体中,物理实体可以根据反馈数据进行自我优化和自我学习,以达到提升物理实体能力的目的。数字孪生可渗透至产品生产的全生命周期,不仅是对物理实体的映射,也是对物理实体中各数据的集成。

[0003] 云的概念是指基于云计算技术,并通过物联网将万物之间的数据或资源进行共享应用与互联互通,其中云计算技术是各种计算机和网络技术的集成技术,具有规模大、虚拟化、处理信息速度快、服务费用低的特点。传统的云计算和物联网结合的框架中,物联网的数据传输到云平台,再通过预置接口将处理过后的数据传输给接收端,具有一定的延迟性。云端融合旨在改善这种分离模式,在结合云侧和端侧优点的同时,克服各自的缺点从而实现云平台到终端的延伸以及终端与云平台的动态实时交互,形成一个有机整体。

[0004] 企业诊断是促进企业生产管理现代化和科学化的重要手段,其主要对象是生产现场状况,即针对现场生产状况进行分析并利用一系列技术手段制定相应的改善措施,从而达到提高生产效率,改善生产管理现状的目的。在企业生产诊断中可涉及到产品、设备、人员多方面。

[0005] 目前对数字孪生的研究多集中在模型的建立和求解上,其在辅助技术方向上的研究进展较快,但就其实际的应用性和同相关产业或技术的结合还相对较少,也缺乏一定具体的框架。同时我国制造业整体呈现大而不强的态势,除在核心技术上受制于人,在生产管理上也存在着管理粗放、生产计划制定不够科学、库存周转率较低的现象等。因此如何有效地利用数字孪生技术来提高企业生产效率,以及如何有效地利用数字孪生和云端融合技术对企业生产现状进行诊断并改善不足成为亟需解决的问题。现有的企业生产诊断方法存在着技术落后、尚未充分利用云服务以及云侧和端侧数据交互存在较大延迟的缺陷。

发明内容

[0006] 本发明要克服现有技术存在的上述缺点,提供一种基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法。

[0007] 一种基于云端融合和数字孪生技术的企业生产现状诊断方法,流程如图1所示,其具体步骤如下:

[0008] 1. 对企业生产过程中的生产资源及运行数据进行划分。其中企业生产资源包括同

产品生命全周期相关的因素,如车间面积、设备种类、设备数量、物流路线、企业员工、原材料等。企业运行数据包括产能、在制品数、生产工艺、车间布局、生产计划等数据。可利用调研、查找历史数据、追踪传感器或机器视觉传输技术对数据进行收集。

[0009] 2.将划分后的企业生产资源、运行数据、调研数据、当前运行数据、历史数据利用大数据技术对其进行抽取和清洗消除无效数据,利用数字孪生技术将物理实体车间进行虚拟化,即通过一定的映射关系和预测孪生系统得到的数据对物理实体车间实现虚拟化或数字化,形成孪生车间。孪生车间中所包含的三个层次分别为生产要素、生产行为、生产规则。其中生产要素有车间的几何形状、车间尺寸大小、设备物料数量、操作人员等。生产行为包括在应对生产计划变更或订单扰动情况下,能响应外界扰动的车间行为。生产规则包括车间有序运行的规律。形成的虚拟实体是对物理实体车间的真实反映,所涉及的孪生车间中的各要素是通过大量的协议或是连接方法进行连接。孪生车间的建模流程如图2所示,其具体步骤如下:

[0010] a.首先对虚拟层要素进行划分:

$$[0011] \quad M_v = \{P_v, B_v, R_v\} \quad (1)$$

[0012] 其中 M_v 是虚拟层要素, P_v 为生产要素, B_v 为行为要素, R_v 为规则要素;

[0013] b.模型预处理,对上述生产要素按照生产过程中的逻辑结构、物流特性、组织规则进行描述;

[0014] c.利用三维建模仿真软件对生产现场中的设备、物料、人员进行场景搭建,实现几何模型的建模;

[0015] d.使用Automation ML对搭建完成的几何模型进行行为标准化建模;

[0016] e.可选取开源平台做中间件,供其他系统提取相关信息;

[0017] f.提供系统间通信机制,进一步扩大系统覆盖范围,从而完成对物理实体车间的映射,生成孪生车间。

[0018] 3.运用人工智能技术和数字孪生技术,即灰色理论和RBF径向基神经网络对所得孪生车间生产要素的数据进行预测,具体预测步骤如下:

[0019] a.将上述筛选过后的数据记为原始数据为 $x_i^{(0)} = \{x^0(1), x^0(2), x^0(3), \dots, x^0(n)\}$,累加生成新的序列 $x_i^{(1)} = \{x^1(1), x^1(2), x^1(3), \dots, x^1(n)\}$,其中

$$[0020] \quad x_i^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x_i^{(0)}(t), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

[0021] b.定义灰微分方程:

$$[0022] \quad x^{(0)}(k) + \alpha z^{(1)}(k) = \varepsilon \quad (3)$$

[0023] 其中 $x^{(0)}(k)$ 为灰导数, α 为发展系统, $z^{(1)}(k)$ 为白化背景值, ε 为灰作用量;

[0024] c.由灰微分方程求解白微分方程:

$$[0025] \quad \frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)}(t) = \varepsilon \quad (4)$$

[0026] d.求解微分方程得时间相应序列 x_c ,并得到预测序列 x_{ci+1}^1 ;

[0027] e.累减还原得原始数据预测值:

$$[0028] \quad x_{ci+1}^0 = x_{ci+1}^1 - x_{ci}^1 \quad (5)$$

[0029] f.建立基于原始数据和预测序列差值的RBF径向基神经网络模型;

[0030] g.对RBF径向基神经网络模型进行训练,并修正差值;

[0031] h.获得更为稳定和准确的预测值 X_{ci+1}^0 。

[0032] 4.诊断和改进系统;利用人工智能技术对影响企业生产和产品全生命周期过程的因素进行诊断分析和优化改进。实施过程分为诊断过程和改进过程。影响企业生产的因素包括生产工艺流程、生产车间布局、生产调度计划、设备配置方案、人员排班、在制品数量、库存量、车间物流、生产安全性等。从诊断和改进系统中获得的数据及优化方案将会反馈至虚拟实体中,并通过二次投影对孪生车间进行更新和修正,获得最优的生产环境与状态。

[0033] 诊断过程包括环境诊断、生产调度诊断、设备诊断、经营效益诊断、人员安全诊断、在制品及库存诊断,通过将实地调研数据、当前运行数据、历史数据以及趋势运行数据通过整合有RBR(基于规则推理)和CBR(基于案例推理)的专家系统进行诊断。专家系统中存储有大量企业生产领域专家知识和经验,具有覆盖领域广的特点,同时模拟人类专家诊断过程,对当前企业的生产运行状态进行评估和判断,并对当前生产中存在的异常和问题给予解决策略。改进过程是指利用基于数字孪生车间的生产管理服务技术对上述诊断过程中诊断出的问题进行改进优化。诊断和改进的流程如图3所示,其具体步骤如下:

[0034] a.专家系统读取数据,基于案例推理,根据一定的索引机制在案例库中检索案例,该处的检索方法耦合了最近相邻法、归纳法、知识导引法;

[0035] b.判断案例库检索结果;

[0036] c.当检索成功时,参照案例库中案例对当前数据进行改写、测试、解释、修正、案例存储,进一步导出诊断结果;

[0037] d.当检索不成功时,基于规则推理判断,判断是否存在异常;

[0038] e.当存在异常时,对当前异常进行案例存储,进一步导出诊断结果;

[0039] f.当不存在异常时,对当前数据进行判断,符合案例存储条件时,将该数据进行存储;不符合案例存储则直接导出诊断结果;

[0040] g.运用数字孪生技术对当前诊断结果进行评估预测,即对诊断结果进行建模、智能优化算法求解、生成预选方案、方案的迭代优化;

[0041] h.输出最终优化方案。

[0042] 5.监控系统能对企业生产中存在的风险进行监控。通过监控系统的实时监控,能达到异常追踪、异常报警、及时关断的功能。当监控系统对孪生车间生产过程中的异常实行追踪、警报、关断的操作后,孪生车间也会给予监控系统反馈,更新当前异常状况。

[0043] 6.运用云端融合技术将云侧的云服务平台和端侧的物理实体车间实现实时交互连接,将云侧获得的数据、优化方案等特征通过孪生车间投影反馈至物理实体车间,满足物理实体车间中各实体的适配机制,以达到改进不足、优化资源、提高效率、减低成本的目的。

[0044] 优选地,步骤6中上述数据的存储和计算均在云侧完成。云侧是远离物理实体车间的一侧,基于云计算并能够提供云服务的平台。

[0045] 端侧指靠近物理实体车间的一侧,即直接触达企业,具有终端接口的企业中的物料、设备、人员、生产环境。

[0046] 本发明的有益效果是:传统的企业生产过程诊断方法存在过程繁琐,耗时长,时效性短、方案单调的缺陷,针对此类问题,对企业生产过程中产生的数据利用数字孪生技术建立孪生车间,利用人工智能技术和数字孪生技术对孪生体中的数据进行加工、预测,在实现

资源充分共享的同时,能借助云计算技术、大数据技术、人工智能技术,对数据进行分析处理并得到更好的服务。监控系统能对企业生产中的各影响因素进行监控,实现实时监控、异常追踪、异常报警。诊断和改进系统能对生产过程进行诊断并给出改善方案,完成对企业生产过程的调整。物理实体车间所在的端侧直接触达企业,能直接处理企业生产需求。利用云端融合技术,将基于企业生产车间的云侧和端侧互相融合,在解决云侧离用户遥远、具有一定延迟,端侧计算、存储、处理数据能力有限的缺陷的同时,能将企业生产中互不关联的个体关联为一个系统,对整个系统的数据集成处理,打破信息孤岛现状,将云侧获取的各项生产要素的数据同物理实体车间所在的端侧进行实时交互,以达到提高企业生产效率、改善企业车间布局调度、降低企业生产能耗、减少在制品数量、优化企业设备和员工配置,提高产品产出质量的目的。

附图说明

- [0047] 图1是本发明的流程图。
[0048] 图2是本发明的数字孪生车间建模过程流程图。
[0049] 图3是本发明的诊断和改进过程的示意图。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图,进一步说明本发明的技术方案。

[0051] 1.将此方法应用于某生产仪器仪表的制造装配型企业的生产现状诊断过程中,首先对该企业生产过程中的生产资源及运行数据进行划分。其中企业生产资源包括同产品全生命周期相关的因素,如车间面积、设备种类、设备数量、物流路线、企业员工、仓储等数据。企业运行数据包括产能、在制品数、生产工艺、车间布局、生产计划等数据。可通过如下操作对数据进行收集:

[0052] a.实地调研。专人负责对生产现场的员工排班、生产节拍、物流路线顺畅程度等进行实地调研,并记录数据。

[0053] b.查找历史数据。在企业数据库中可查找出生产资源及运行数据的存档。

[0054] c.追踪传感器或机器视觉传输技术。追踪传感器安装在诸如机床、冲床、工业机器人等生产设备上,实时监控生产现场的工作环境和运行状态,实现物理实体层的实时感知。机器视觉传输技术是利用机器视觉产品捕捉图像信号,并将图像信号转化为数字信号,从而实现对工作环境和运行状态的测量和数据收集。

[0055] 此处通过放置在注塑、冲压、SMT(表面贴片技术)等生产环节中生产设备上的传感器,可采集到当前企业生产线上设备的负荷时间、非计划停机时间、开动时间。

[0056] 2.将划分后的企业生产资源、运行数据、调研数据、当前运行数据、历史数据利用大数据技术,对其进行抽取、清洗以消除无效数据、分析。此处对上述获得的设备的负荷时间、非计划停机时间、开动时间的数据在云侧进行处理,可得表1数据,其中OEE(设备综合效率)是评估设备运行效率高低的指标。

[0057] 表1云侧处理过后所得数据

机台号	负荷时间	非计划 停机时间	开动时 间	总理论 加工周 期	时间开 动率	性能开 动率	合格品 率	OEE
1	485	121	364	269.40	75.05%	74.01%	99.53%	55.28%
2	485	55	430	341.66	88.66%	79.46%	99.76%	70.28%
3	485	70	415	255.83	85.57%	61.65%	100.00%	52.75%
4	485	90	395	252.70	81.44%	63.97%	100.00%	52.10%
[0058] 5	485	49	436	324.45	89.90%	74.42%	99.62%	66.64%
6	485	36	449	350.00	92.58%	77.95%	99.54%	71.84%
7	485	99	386	363.83	79.59%	94.26%	99.06%	74.31%
8	485	211	274	337.07	56.49%	100.00%	98.81%	55.82%
9	485	74	411	282.10	84.74%	68.64%	99.78%	58.04%
10	485	95	390	321.75	80.41%	82.50%	99.48%	66.00%
11	485	59	426	411.00	87.84%	96.48%	98.61%	83.57%
平均	485	87.18	397.82	319.07	0.82	0.79	0.99	0.64

[0059] 同时利用数字孪生技术将当前的物理实体车间虚拟化,即通过一定的映射关系和预测孪生技术将物理实体车间实现虚拟化或数字化,形成孪生车间。在获得的孪生车间中共包含三个层次,分别为:生产要素、生产行为、生产规则。此处生产要素包括生产车间的几何形状、生产车间的面积尺寸大小、设备的物理属性及数量、操作人员数量等。生产行为包括在应对生产计划变更或订单出现扰动情况下,能响应外界变化的行为。生产规则包括当前车间能有序运行的规律。形成的虚拟实体是对该制造装配型企业生产车间的真实反映,同时所涉及的孪生车间中的各个要素是通过大量的协议或连接方法进行连接的,该协议或连接方法是基于企业诊断化、服务标准化、统一规范化的。对当前的制造装配型企业生产车间进行孪生车间建模、其具体步骤如下:

[0060] a. 对该车间虚拟层要素进行划分有:

$$[0061] \quad M_v = \{P_v, B_v, R_v\} \quad (1)$$

[0062] 其中 M_v 是虚拟层要素, P_v 为生产要素, B_v 为行为要素, R_v 为规则要素;

[0063] b. 模型预处理,对上述生产要素按照生产过程中的逻辑结构、物流特性、组织规则进行描述;

[0064] c. 利用三维建模仿真软件如ProE、OpenInventor等对生产现场中的设备、物料、人员进行场景搭建,实现几何模型的建模,所搭建模型严格对应于物理实体车间;

[0065] d. 在确定实体的物理属性之后,使用Automation ML对搭建完成的几何模型进行行为标准化建模;

[0066] e. 选取开源平台如Fiware等做中间件,对模型提供开放格式,供其他生产系统提取相关信息;

[0067] f. 提供系统间通信机制,进一步扩大系统覆盖范围,从而完成对物理实体车间的映射,生成孪生车间。

[0068] 3. 所生成的孪生车间的功能在于预测未来数据,其中关键技术包含人工智能技术和数字孪生技术,此处采用灰色理论和RBF(径向基)神经网络对孪生车间中的生产要素数

据进行预测,便能获取到该企业未来一段时间的各项生产数据。灰色理论预测出的数据具有一定的规律性,而RBF神经网络训练具有局部逼近的特点,能很好的满足实时性的要求,因此考虑两种结合以提高预测的准确度。具体预测步骤如下:

[0069] a. 将上述筛选过后的数据记为原始数据为 $x_i^{(0)} = \{x^0(1), x^0(2), x^0(3), \dots, x^0(n)\}$, 累加生成新的序列 $x_i^{(1)} = \{x^1(1), x^1(2), x^1(3), \dots, x^1(n)\}$, 其中

$$[0070] \quad x_i^{(1)}(k) = \sum_{t=1}^k x_i^{(0)}(t), k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

[0071] b. 定义灰微分方程:

$$[0072] \quad x^{(0)}(k) + \alpha z^{(1)}(k) = \varepsilon \quad (3)$$

[0073] 其中 $x^{(0)}(k)$ 为灰导数, α 为发展系统, $z^{(1)}(k)$ 为白化背景值, ε 为灰作用量;

[0074] c. 由灰微分方程求解白微分方程:

$$[0075] \quad \frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)}(t) = \varepsilon \quad (4)$$

[0076] d. 求解微分方程得时间相应序列 x_c , 并得到预测序列 x_{ci+1}^1 ;

[0077] e. 累减还原获得得原始数据预测值:

$$[0078] \quad x_{ci+1}^0 = x_{ci+1}^1 - x_{ci}^1 \quad (5)$$

[0079] f. 建立基于原始数据和预测序列差值的RBF径向基神经网络模型;

[0080] g. 对RBF神经网络模型进行训练, 并修正差值;

[0081] h. 获得更为稳定和准确的预测值 x_{ci+1}^0 。

[0082] 4. 诊断和改进系统是利用人工智能技术对影响企业生产和产品全生命周期过程的因素进行诊断分析和优化改进的集成系统。实施过程分为诊断过程和改进过程, 影响企业生产的因素包括生产工艺流程、生产车间布局、生产调度计划、设备配置方案、人员排班、在制品数量、库存量、车间物流、生产安全性等。从诊断和改进系统中获得的数据及优化方案将会反馈至虚拟实体中, 并通过二次投影对孪生车间进行更新和修正, 获得最优的生产环境与状态的反馈。

[0083] 诊断过程包括环境诊断、生产调度诊断、设备诊断、经营效益诊断、人员安全诊断、在制品及库存诊断。通过将实地调研数据、当前运行数据、历史数据以及预测运行数据通过耦合有RBR(基于规则推理)和CBR(基于案例推理)的专家系统进行诊断。专家系统中存储有大量企业生产领域专家知识和经验, 具有覆盖领域广的特点, 同时模拟人类专家诊断过程, 对当前企业的生产运行状态进行评估和判断, 并对当前生产中存在的异常和问题给予解决策略。改进过程是指利用基于数字孪生车间的生产管理服务技术对上述诊断过程中诊断出的问题进行改进优化。此处对上述所得该制造装配型企业生产过程中机器设备使用情况综合诊断和改进, 具体步骤如下:

[0084] a. 专家系统读取该企业产品生产过程中的机器设备使用情况数据, 基于案例推理, 根据一定的索引机制在案例库中检索案例, 该处的检索方法耦合了最近相邻法、归纳法、知识导引法;

[0085] b. 判断案例库检索结果;

[0086] c. 当检索成功时, 参照案例库中的案例对当前数据进行改写、测试、解释、修正、案例存储, 进一步导出当前企业生产状况诊断结果。此处检索案例库并未找到相同案例, 因此

进入到步骤d；

[0087] d.当检索不成功时,基于规则推理判断,判断该生产过程是否存在异常；

[0088] e.当不存在异常时,对当前数据进行判断,符合案例存储条件时,将该数据进行存储,形成新的案例数据;不符合案例存储则直接导出诊断结果；

[0089] f.当存在异常时,对当前异常进行案例存储,并进一步导出诊断结果。从上述所得数据可知设备的开动率达到82%,性能开动率达到79%,合格率达到99%,平均设备综合利用率为64%,依据案例库中企业所属行业云侧对比数据可知需达到如下的目标:设备的开动率应大于等于90%,性能开动率大于等于95%,合格品率大于等于99%,设备综合效率大于等于85%,因此得出如表2所示的诊断结果；

[0090] 表2诊断结果

项目	该企业数据	企业所属行业云侧对比数据	诊断结果
[0091] 设备开动率	82%	90%	诊断当前设备开动率低,性能开动率低,设备综合效率低,设备保养维修水平较差,设备生产水平存在一定波动。
性能开动率	79%	95%	
合格品率	99%	99%	
设备综合效率	64%	85%	

[0092] g.运用数字孪生技术对当前诊断结果进行评估预测,即对诊断结果进行建模、智能优化算法求解、生成预选方案、方案的迭代优化；

[0093] h.当系统完成上述步骤,对当前企业生产状况生成诊断报告的同时,给出如表3所示的优化措施,同时对生产过程及现场进行改善；

[0094] 表3优化措施

序号	措施
[0095] 1	改善车间换模方式,主要着眼于减少产线停顿时间
2	制定操作工标准作业
3	减少待料、缺料、停机的状况,建立物料供给体系
4	推行6S,减少生产现场可能存在的混乱现象
5	对生产计划重排,并给出改善后的新计划
6	制定全员生产保全提升设备保养维护水平
7	建立人员培养体系提高业务水平和改善思维

[0096] 5.监控系统能对企业生产中存在的风险进行监控。通过监控系统的实时监控,能达到异常追踪、异常报警、及时关断的功能。当监控系统对孪生车间生产过程中的异常实行追踪、警报、关断的操作后,孪生车间也会给予监控系统反馈,更新当前异常状况。在该制造装配型企业中设置有温湿度传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器等,其中温湿度传感器能对生产车间温湿度状况进行监控,能耗传感器能对生产车间的能耗状况进行监控,速度传感器和加速度传感器能对工业机器人的旋转速度进行监控等。

[0097] 6.运用云端融合技术将云侧的云服务平台和端侧的物理实体车间实现实时交互

连接,云侧实现对该制造装配型企业中数据的计算,并获取相关的优化方案,将上述决策方案反馈至控制器,再由控制器反馈至终端,从而完成对生产现状的控制;端侧则负责采集获取的数据、控制命令和生产过程管理。云端融合技术通过泛在网络将齿轮制造企业的云侧和端侧进行融合,孪生车间的各特征也能投影反馈至物理实体车间,满足各实体的适配机制,以达到改进不足、优化资源、提高效率、减低成本的目的。

[0098] 上述数据的存储和计算均在云侧完成。云侧是远离物理实体车间的一侧,基于云计算并能够提供云服务的平台。

[0099] 端侧指靠近物理实体车间的一侧,即直接触达齿轮制造企业,具有终端接口的企业中的物料、设备、人员、生产环境。

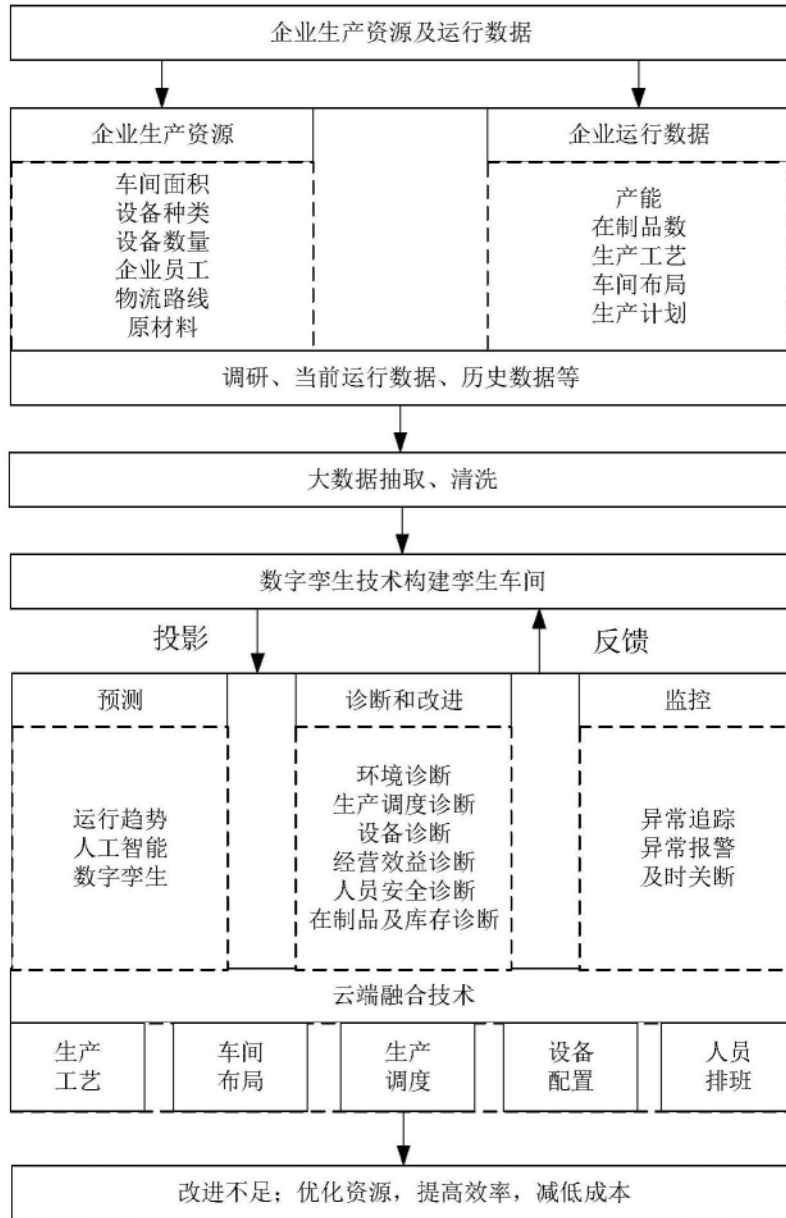


图1

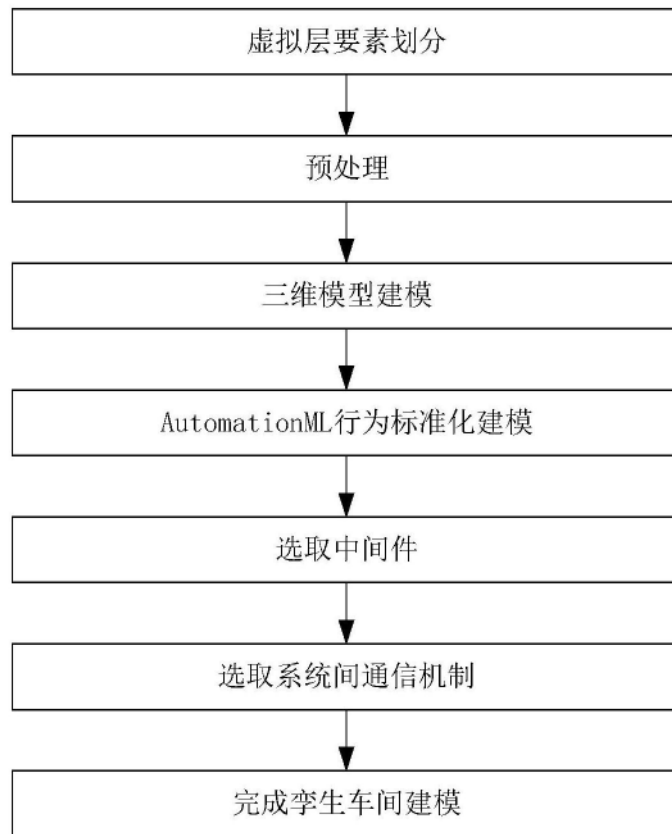


图2

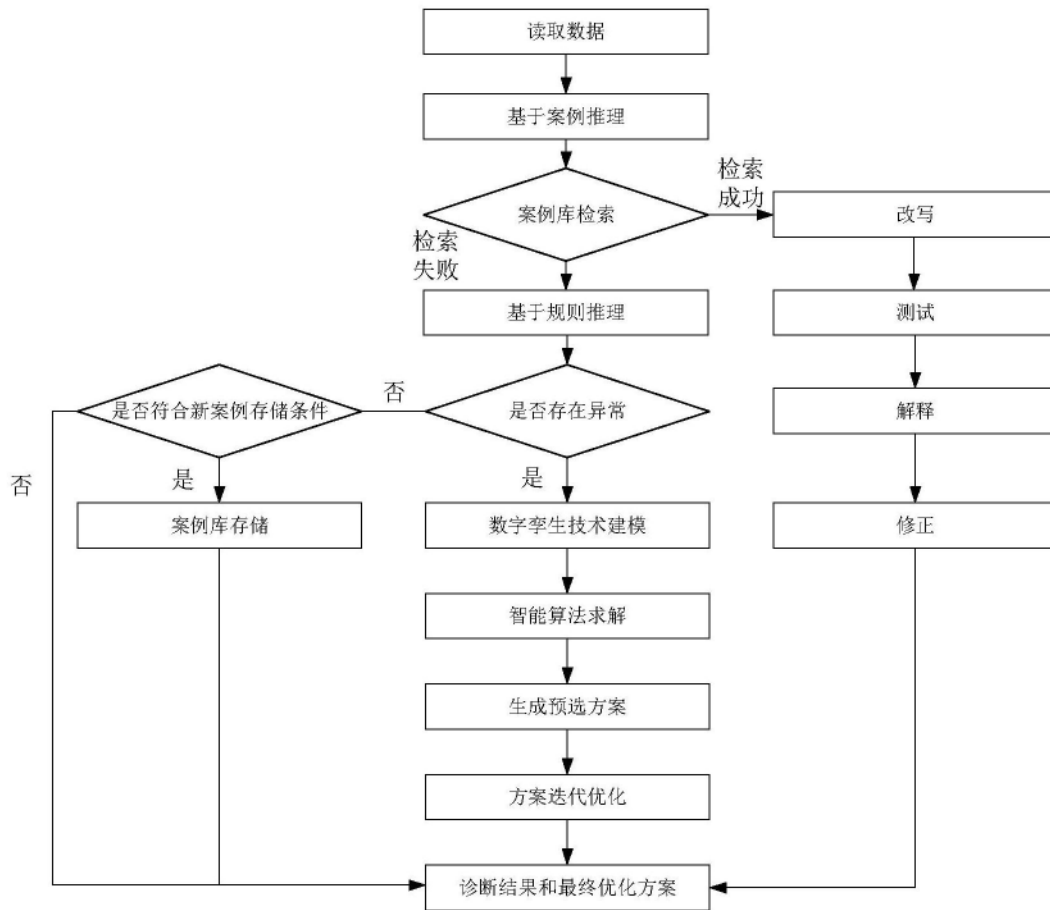


图3