

引文格式: 孙元亮, 马文茂, 张超, 等. 面向数字孪生的智能生产线监控系统关键技术研究 [J]. 航空制造技术, 2021, 64(8): 58-65.
SUN Yuanliang, MA Wenmao, ZHANG Chao, et al. Research on key technologies of digital twin-oriented intelligent production line monitoring system[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(8): 58-65.

面向数字孪生的智能生产线监控系统关键技术研究*

孙元亮, 马文茂, 张超, 宋永杰, 崔晶
(中国航空规划设计研究总院有限公司, 北京 100120)

[摘要] 传统的生产管理往往面临着较为严重的“黑盒”问题,即不能及时掌握现场的各类信息,导致现场实际状态与预期计划脱节,并进一步导致效率降低、质量下降。针对这一问题,主要研究了面向数字孪生的监控系统实现关键技术,在虚拟空间中建立生产线的三维模型,通过现场数据的采集,实现数据与模型的关联映射,并通过各类状态及绩效看板,打造虚拟领导驾驶舱,从而解决生产现场的透明化,促进生产效率、质量的提高。

关键词: 数字孪生; 虚实映射; 智能生产线; 数据采集; 监控系统

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2021.08.058



孙元亮

工程师,主要研究方向为智能工厂规划、飞机装配智能化等,曾两次荣获航空科学技术学会三等奖。

传统的生产管理往往面临着较为严重的“黑盒”问题,现场的设备状态、计划执行进度、物料周转的实时位置、产品质量状态等信息的获取,对生产管理者来说至关重要,但又一直缺乏直观、有效的手段。如何对现场信息进行采集,并基于实时数据建立一种直观、可视化监控系统,成为实现生产透明化管理过程中亟待解决的关键问题。

近年来兴起的数字孪生技术是解决上述问题的有效途径,数字孪生概念在工业界及学术界形成了广泛讨论^[1-4]。究其内涵,数字孪生是指综合运用感知、计算、建模等信息技术,通过软件定义对物理空间进行描述、诊断、预测、决策,进而实现物理空间与赛博空间的交互映射^[5]。

在生产运营阶段,智能生产线的数字孪生价值体现在:(1)监控分析。

在生产线运行过程中,过程数据会实时反映在虚拟空间中,从而可以得到生产线实时可视化的过程监控。(2)问题诊断。通过对生产线运行过程中的历史数据进行分析,诊断生产线运行指标偏差甚至是错误的原因,实现对物理生产线的故障诊断、定位。(3)仿真预测。在生产过程中,将最新的检验和测量数据、进度数据、设备状态及工艺参数实测值等关联映射至虚拟生产线,在虚拟空间中进行实时模拟仿真,从而提前预测生产线的未来状态,通过仿真能够帮助决策者和工程师预测运营策略的变化对系统性能的影响^[6]。(4)智能决策。基于对生产线各类智能化规则的建模,实现对生产线运行管控的智能决策,如智能排产调度、基于质量大数据的分析优化等。这4个方面的价值从功能等级上看是逐渐递升的。

*基金项目:北京市西城区财政科技专项(XCSTS-TI2020-11)。

在上述4个功能等级中,第1个等级(即面向数字孪生的监控分析能力)是基础,在此方面有较多的理论研究及初步工程化应用。陈振等^[7]提出了飞机数字孪生装配车间架构,涵盖了物理装配车间、虚拟装配车间、车间孪生数据、装配车间服务系统4个部分。王峻峰等^[8]针对飞机大部件数字化制孔现场局部区域开放性差、人工观察视角受限、信息可视化程度不高等问题,提出了一种现场数据驱动的翼身制孔过程三维实时可视化监视方案。钟珂珂等^[9]构建了实时数据驱动的生产线运行状态监控平台,包括现场实时数据的采集与管理、生产线效能评估建模、人机交互式三维/二维集成可视化等模块。常仕军等^[10]基于中间件平台开发了生产过程监控系统,并在实际生产中进行了应用,该系统能够应用甘特图等多种方式直观、形象地展现监控结果。

通过上述研究可以看出,生产监控系统应基于实时数据进行驱动,并且应重视可视化效果表达。本文重点开展面向数字孪生的智能生产线监控系统关键技术研究,在虚拟空间中建立生产线的三维模型,并通过现场数据的采集与解析,实现数据与模型的关联映射,最终实现生产线三维监控。结合技术研究,开发了一种与现场数据同步的可视化监控原型系统,并在智能制造物理试验线上进行了部署验证。

面向数字孪生的监控系统总体框架

面向数字孪生的智能生产线三维可视化监控系统总体架构如图1所示,具体包括以下内容:

(1)数据采集以及数据接口层。该层实现物理生产线的动态数据实时采集,以及与业务系统(ERP、MES)的集成,是三维可视化监控系统的数据来源。在智能生产线上,

动态数据主要包括人员数据、设备数据、工装/工具数据、物流数据、生产进度数据、实作工时数据、生产质量数据等。其中,这些数据一部分可以通过现场物联网络,通过标签、RFID、阅读器以及传感网络实现采集;另外一部分则必须通过业务管理系统集成来获取,如质量管理系统、生产MES、ERP等。

(2)数据存储与服务层。该层主要负责进行数据存储及面向监控系统应用的数据服务工作。其中数据过滤服务主要针对采集到的大量数据进行过滤,保障数据的有效性和正确性;数据解析服务主要实现数据采集信息的识别以及监控系统应用数据的匹配。此外,还应包括数据推送以及数据管理,形成统一的数据应用服务。

(3)功能应用层。面向数字孪生的三维可视化监控系统从功能上来看,主要包括两个方面:一是虚拟空间中的三维场景建模及渲染。这是三维监控的模型基础,需要对生产线的各类要素进行三维建模,并且通

过统一的数据服务驱动生产线三维虚拟模型变换,支撑三维虚拟生产线的渲染和及时更新;二是状态监控以及生产优化功能。通过对生产线实时数据、历史数据的分析与应用,实现对产品生产过程、生产现场状态的实时监控及分析优化,优化控制指令可以反馈至现场,从而实现产品生产过程的闭环反馈控制以及虚实之间的双向连接。具体功能包括设备状态监控、计划交付监控、质量状态监控、人工绩效监控等。

系统实现关键技术

1 面向生产线可视化监控数据建模

三维可视化监控系统需要在现场数据采集的基础上进行三维模型的驱动,并在虚拟空间对生产线实时状态进行忠实记录和反映。因此,数据建模工作为三维监控系统提供数据基础。生产线运行过程中,会产生大量的数据信息,这些数据往往具有异构性、动态性、多维性。本文建立了面向生产线三维可视化监控的数据模型,用于实现对三维空间的数据

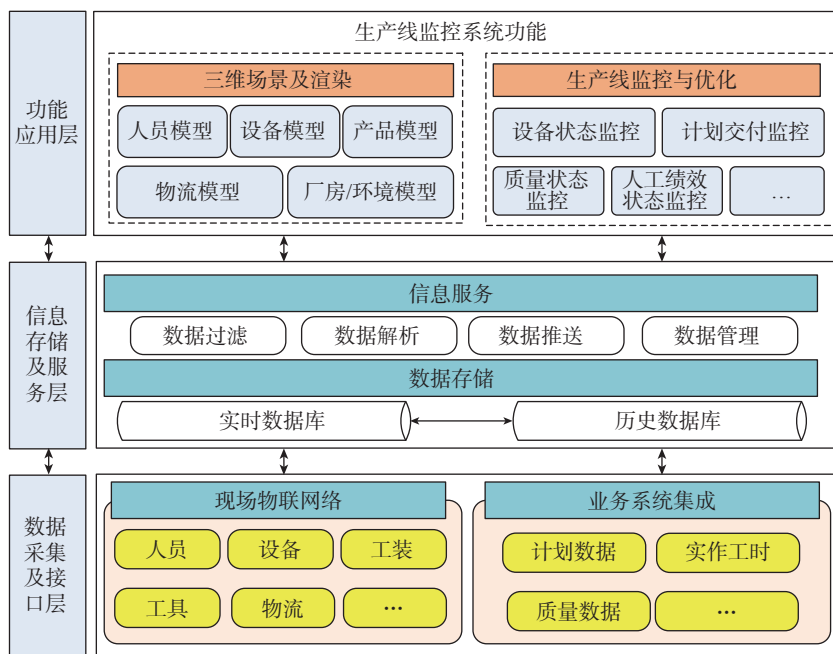


图1 智能生产线三维监控总体架构

Fig.1 Overall architecture of intelligent production line 3D monitoring system

关联与驱动,如图2所示,该模型包括生产线数据模型、生产线三维监控两部分。

生产线数据模型是三维监控的实时数据源,构成了监控系统实现的基础。参考“人、机、料、法、环”的生产要素分类方法,将生产数据模型分为人员信息模型、设备信息模型、物料实时数据模型、业务数据模型、环境信息模型。人员信息模型包括人员姓名、部门、工号等基本信息,以及工时、考勤等动态信息。基本信息可以进行静态配置或与人力资源管理系统进行集成来获取,动态信息需要与生产管控系统(如 Manufacturing execution system, MES)进行集成来获取。设备信息模型包含主设备数据模型、物流设备数据模型。设备数

据模型包括设备名称、设备编号、工作区域等基本信息,以及任务信息、状态信息、工作参数等动态信息。物料数据模型包括零件名称、物料编码等基本信息,以及物料状态、所属订单、当前位置、交付时间等动态信息,物料基本信息继承自 PDM 系统,而动态信息则通过与现场物料感知系统或生产执行系统进行集成来获取。业务数据模型包括工艺数据、计划数据、质量数据等,这些数据来源于工艺管理系统、计划管理系统、质量管理系统等业务系统。环境数据包括各工作区温度、湿度、能源等信息,采集自现场环境传感器。

生产线三维监控模型包括生产线物理映射信息以及生产线状态监

控信息两类,并且提供生产线物理映射及状态监控方法。生产线物理映射信息包括加工设备信息、物流设备信息、物料实时信息、人员映射信息,用于生产线三维实时驱动;生产线状态监控信息包括设备状态信息、计划执行信息、质量状态信息、人员绩效信息、环境状态信息,用于三维环境下的状态监控。生产线三维监控模型与生产线数据模型具有关联映射关系。

2 基于 OPC 的设备数据采集

智能生产线中的设备往往类型多样、集成难度较大,设备集成与数据采集对于三维可视化监控系统的性能具有至关重要的影响。OPC 技术为设备提供了一种高效、可靠、开放的驱动程序标准,现在大多数设

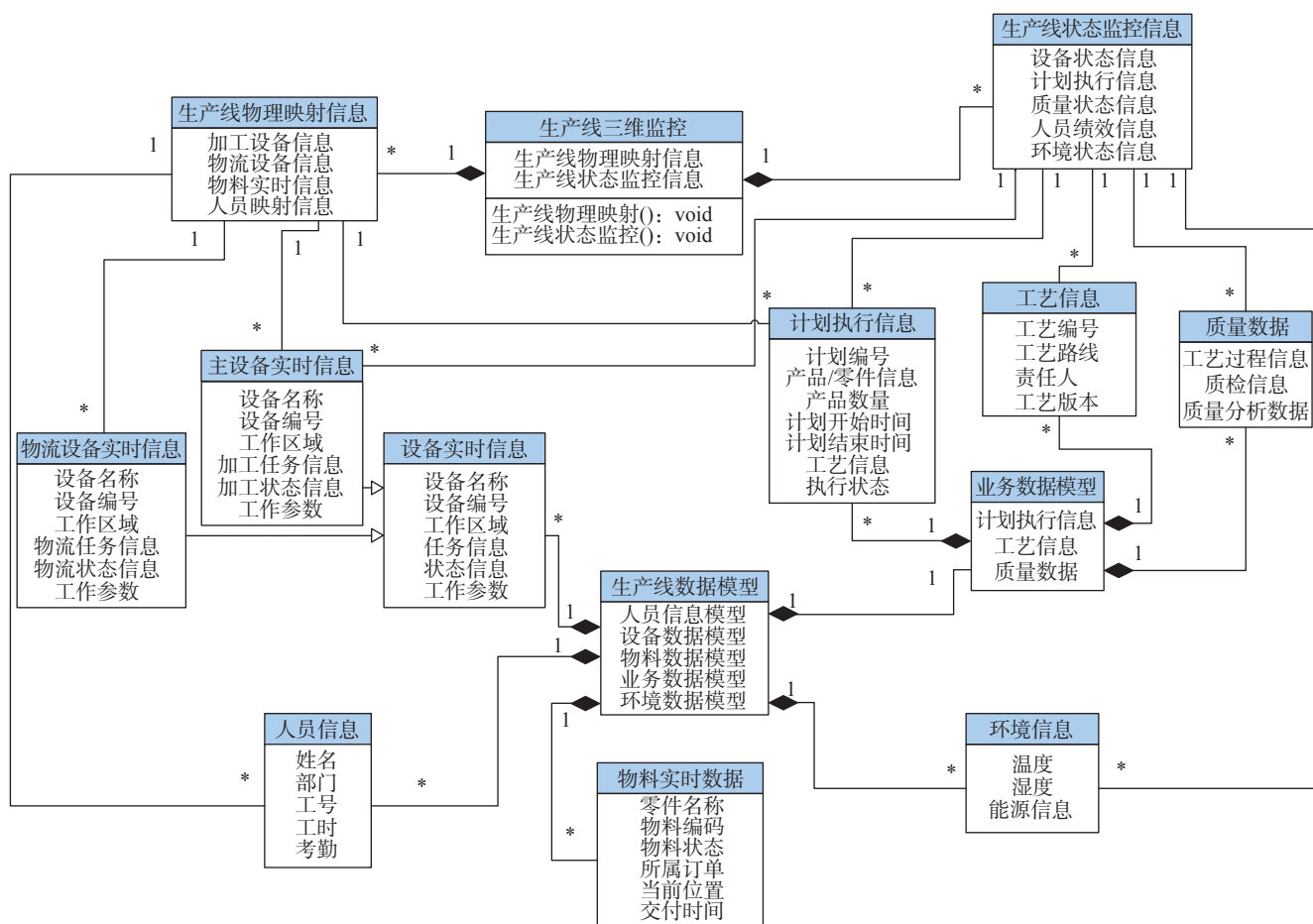


图2 面向生产线可视化监控的数据模型

Fig.2 Data model for visual monitoring of production line

备都是支持 OPC 标准的。本文基于 OPC 技术实现设备数据采集,设备通过各种协议与 OPC 服务器进行集成通讯,而三维可视化监控系统通过 OPC 客户端与 OPC 服务进行对接,采集服务器中的各类设备实时数据,并进行解析与处理后发送给三维实时监控进程,基于 OPC 的设备数据采集技术架构如图 3 所示。

3 基于层级的三维场景管理

虚拟空间中的三维模型采用层级树进行管理,这种层次结构主要是因为设备之间的从属关系。本文中所有虚拟对象均以其父节点作为基础类,该类对象存储所有子节点模型所共有的属性和方法;而子节点的属性和方法除了可以继承自其父节点外,可以新增并且灵活修改。该设计具有良好的可扩展性,便于用户自定义新的虚拟对象类型,某机加生产线层次关系如图 4 所示。

另外,三维场景中应支持模型层次关系的动态构建。因为实际执行过程中,多个虚拟对象会因为共同完成一项行为而构成临时父子关系。如机械手夹持零件完成搬运过程中,机械手末端执行器与零件形成了“组合体”,为了保证零件与机械手的行为同步,需要临时更改零件对象作为机械臂的子部件,当动作完成后,则解除这种父子关系,从而恢复机械手、零件各自的独立性。

4 实时数据驱动模型变换

在数据采集以及三维场景建模的基础上,通过建立实时数据与模型属性的关联与映射,并利用虚拟模型变换技术,实现三维虚拟监控画面与现场信号同步,并通过各类监控数据的提取,实现生产线综合看板与交互式监控。

4.1 实时数据与模型行为关联映射

虚拟对象行为由现场数据进行驱动,建立实时数据与模型行为的映射关系是实现数据解析的关键。图 5 展示了数控机床对象实时数据与

模型行为的映射关系,其中基本属性信息映射为设备基本信息展示行为;任务属性信息映射为设备任务信息展示行为;状态属性信息映射为设备状态信息展示行为(包括设备利用率等数据计算和图表展示)、故障预警行为等;加工参数数据信息映射为加工参数展示、加工质量分析等行为。

4.2 实时数据驱动模型变换

三维可视化监控平台通过模型变换来模拟对象行为。本文重点关

注生产线的状态整体监控,通过对智能生产线的典型设备动作进行分析,将模型变换动作要素分为颜色变化、位姿变换、动画特效 3 类,如表 1 所示。本文通过驱动脚本实现虚拟模型变换,每一类模型变换都需要编制模型驱动脚本,该脚本实现实时数据的读取以及模型动作更新。

4.3 虚拟生产看板

除了几何层面的虚实联动之外,三维监控系统需要满足管理者对各类现场状态及指标数据的查询、交互

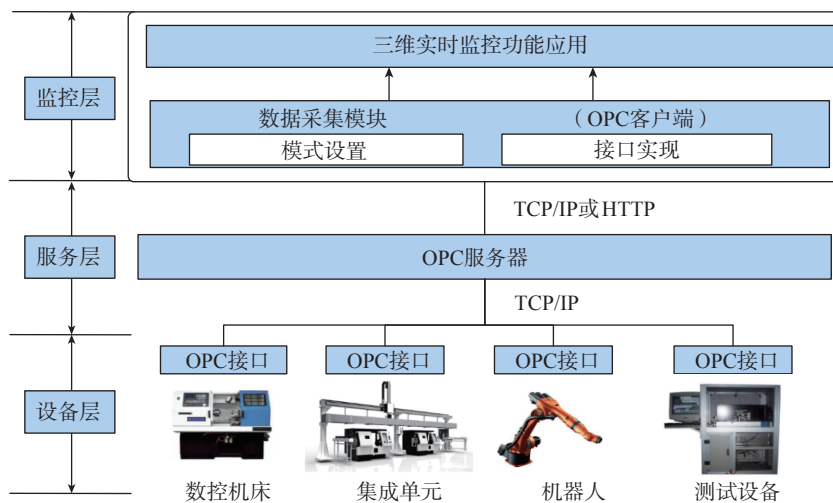


图3 三维监控系统中的实时数据集成方式

Fig.3 Real-time data integration method of 3D monitoring system

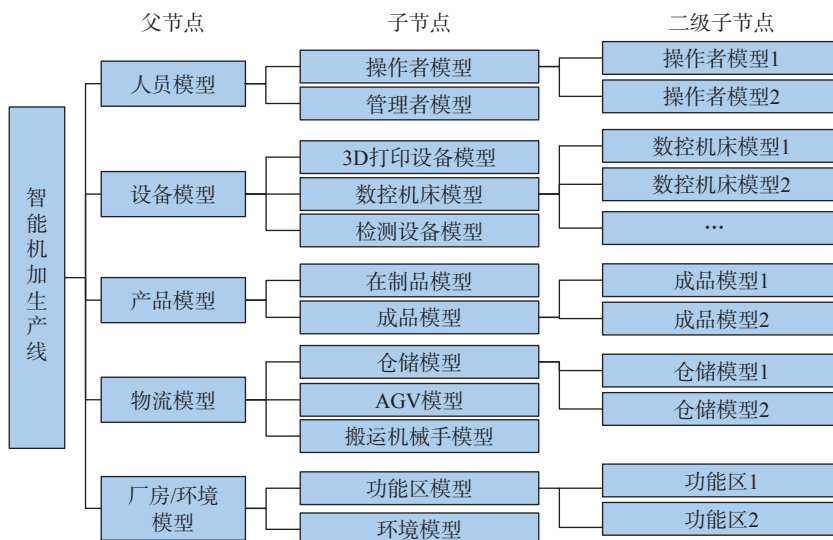


图4 机加生产线场景树状层级关系

Fig.4 Tree-like hierarchy of machining line scenes

功能,这就需要建立各类生产看板。本文通过梳理,定义如下人机交互界面功能需求:

(1)设备信息看板。能方便地查看设备各类静态、动态信息。综合各类设备绩效指标,如设备开机率、设备利用率、设备故障率,对设备绩效指标的分析有利于对生产计划及工艺的优化。

(2)生产分析看板。综合各类

生产绩效指标,包括准时交货率、计划完成率、生产达标率等,将实际绩效指标与计划目标对比分析。

(3)质量绩效看板。综合各类质量绩效指标,包括废品率、一次检验合格率、产品合格率、成品返修率等,将实际绩效指标与质量目标进行对比分析。

(4)人员绩效看板。综合各类人员绩效指标,包括人工产出率、工

时、合格率等,可以清楚的了解劳动力绩效,找出人员绩效改进的方向和办法。

原型系统的开发与应用验证

1 原型系统功能开发

依托前文所述的各项技术,本文设计并开发了“面向数字孪生的智能生产线监控原型系统”(以下简称“原型系统”)。原型系统采用具有通

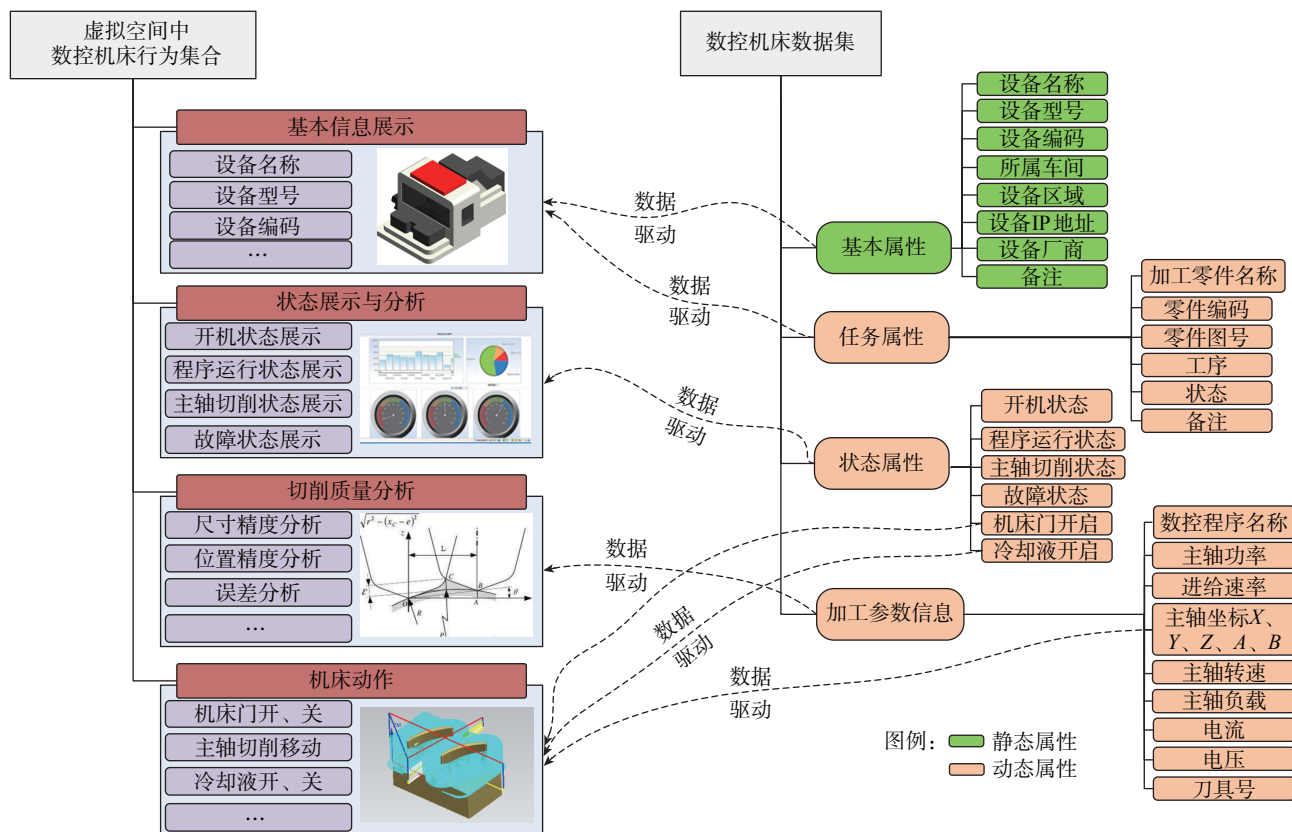


图5 现场实时数据与模型行为的关联映射

Fig.5 Association mapping between on-site real-time data and model behavior

表1 智能机加生产线模型变换典型分类

Table 1 Typical classification of intelligent machining line model transformation

对象名称	典型行为	模型变换分类	备注
数控机床	状态变化(开关机、程序运行、故障)	颜色变化	监控系统中通过模型颜色变化来指示机床状态
	机床门的开关、主轴动作	位姿变换	主要是相应部件的位置变化
	冷却液喷淋	动画特效	与信号同步的喷淋特效动画
工业机械手	搬运、加工行为	位姿变换	机械手通常为连杆机构形式,需要创建具有连杆机构运动副
AGV 小车	平面运动	位姿变换	主要是位置变化

用性、高效性和安全性的 Unity3D 开发平台进行开发,并在中国航空规划设计研究总院有限公司自行研制的智能制造试验线(以下简称“试验线”)上进行了部署验证。

1.1 原型系统定位

原型系统的主要目标是实现实时数据驱动的试验线三维可视化监控。用户通过三维可视化窗口,可实时查看厂房、生产线、设备乃至产品等的详细情况,无需亲临车间现场进行工作视察,实现远程监控的目的。

1.2 监控需求分析

监控系统首先应满足虚实场景同步要求,即在对试验线三维建模的基础上,实现现场数据采集,并完成模型动作与实际场景的联动。在此基础上,监控系统应实现对生产状态的监控与分析,包括设备状态监控以及业务数据监控两部分。本文试验线中的业务数据监控包括质量看板、人工绩效看板、交付看板,相应监控数据在生产执行系统(MES)中已经建立,只需将MES中的数据进行集成并在三维监控环境中进行展示。因此,以下重点对设备状态监控需求进行详细描述。

设备是生产线的主要构成要素,设备状态数据的实时监控对于提升生产线运行效率和产品质量具有直接影响。本文重点在三维监控系统中开发设备看板,关联实时数据库中的数据对象并实时更新,实现设备监控。设备看板包括如下内容。

(1) 设备状态信息。

以数控机床为例,设备状态包括开机状态、程序运行状态、主轴切削状态、故障状态、机床门开启状态、冷却液开启状态。各类状态关联属性值为布尔类型(是或否),三维环境下设置设备状态指示灯,通过指示灯颜色变化实现对设备状态的直观展示。

(2) 工艺参数看板。

工艺参数是设备完成加工任务

时的一系列基础数据,对工艺参数进行实时监控是实现工艺控制与质量分析的关键。以某五轴数控机床为例,工艺参数信息包括数控程序名称、主轴功率、进给速率、主轴坐标(X 、 Y 、 Z 、 A 、 B)、主轴转速、主轴负载、电流、电压、刀具号等。

(3) 设备绩效统计分析。

实现对设备应用效率的统计与分析监控。结合实际应用需求,本文重点实现设备利用率、设备开机率、数控程序运行率等指标^[1]监控。设备开机率=设备开机时间/制度工时,用于度量在制度工时内设备能提供多少时间用于产品生产活动。数控设备程序运行率=NC程序运行时间/设备使用时间,用于度量在数控设备使用过程中,运行NC程序的时间有多少。设备利用率=主轴加工时间/制度工时,表征了在制度工时内有多少时间真正用于运转主轴加工零件。

1.3 系统主要功能

原型系统主要功能如图6所示。

(1) 现场数据采集模块。

系统通过与SCADA系统集成,实时采集现场数据。数据采集主要通过OPC协议,现场数据采集模块作为OPC客户端,连接OPC服务器,以获得数据。现场数据经过采集后,需进行初步解析处理,以便于后续的

数据存储管理以及三维显示。数据采集频率以及模式允许用户进行手动设置。

(2) 业务数据采集模块。

业务数据采集功能主要包括业务数据采集设置、业务数据采集和业务数据解析处理。业务数据采集设置是通过软件人机交互界面配置要连接的业务系统,如IP、端口、登录用户信息等。根据用户设置,系统通过Web Service访问MES、ERP等生产管控系统,获得生产计划、生产进度、产品质量、成本等数据信息。获得数据后,系统对数据进行解析处理,形成便于三维显示的数据结构。

(3) 数据管理模块。

包括实时数据存储以及数据的访问。历史数据可用于数据的统计分析,在访问历史数据的情况下,系统支持基本的数据查询功能。

(4) 场景管理模块。

包括场景初始配置功能和场景三维渲染功能。场景初始配置是指用户通过软件界面设置初始场景中包含机床、机械臂、物流车等设备的初始状态,场景三维渲染包括虚拟对象和车间场景的更新显示,以及场景中各类动画、特效的更新显示。

(5) 人机交互模块。

该模块主要开发了位于三维窗口主场景的系列UI界面,实时显示

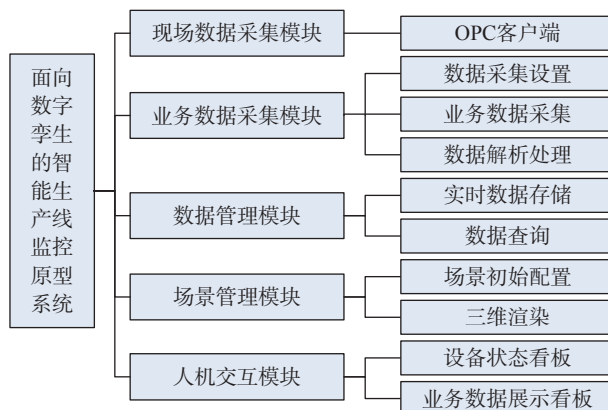


图6 系统功能树

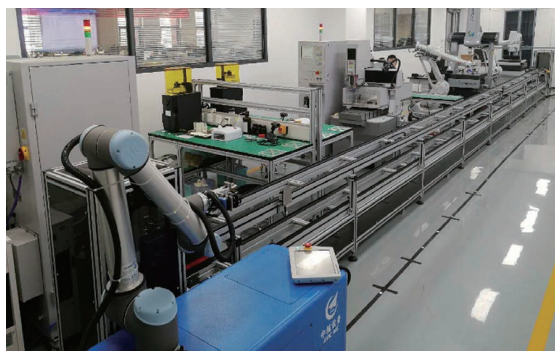
Fig.6 System function tree

生产线各种状态及指标信息,提供图形、图表等方式的可视化手段,以便于用户的查看、分析,包括设备状态看板和业务数据展示看板两类。设备状态看板用以展示设备状态以及各项参数,而业务数据看板则包括质量看板、人工绩效看板、交付看板等。

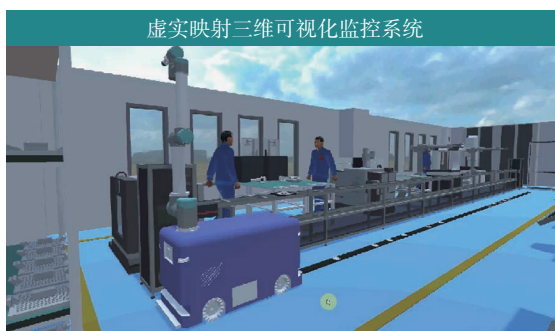
2 应用效果分析

该系统在中国航空规划设计研究总院有限公司自主研发的智能制造试验线上进行了部署验证,通过1:1建模,创建出与真实场景相对应的试验线三维监控系统。试验线实景如图7(a)所示,三维监控原型系统主界面如图7(b)所示。试验线工作工位包括2台数控加工机床、1台激光打标机以及装配工作台等设备,物流方面包括智能料架、自动传送带、带抓取机械臂的AGV小车构成,软件方面部署了SCADA、MES、ERP、PDM等系统。

试验线可以完整模拟一个工件的机械加工、打标到装配的生产流程。试验线的运行流程为通过ERP系统下发订单至MES系统,由MES系统分解任务并将指令发送至SCADA系统,再由SCADA系统将控制命令发送给具体要执行的设备。生产运行过程除必要的人工装夹、报工之外,主设备动作、物流运输、工位之间的物料搬运均自动化完成。本文通过三维监控系统在试验线上的模拟运行,验证了系统的主要功能,画面流畅,延时率低(平均动作延时率在500ms以内),取得了良好的运行效果,且通过对试验线运行状态的综合监控,能够快速定位试验线运行过程中的异常状况,从而快速解决。根据统计,以前平均故障调试时间约为2h,现在平均故障调试时间约为0.5h,大大提升了运行效率;而且通过对产品质量、交付、人工绩效的综合监控,提升了试验线管控的透明度。试验线运行过程中三维监控系统人机交互界面如图8所示。



(a) 试验线实景



(b) 三维监控原型系统主界面

图7 系统监控与真实场景对比

Fig.7 Comparison of system monitoring and real scene

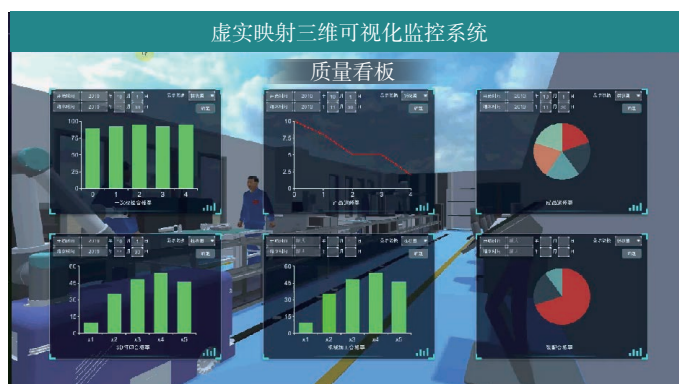


图8 三维监控系统人机交互界面

Fig.8 Human interaction interface of 3D monitoring system

结论

本文研究了面向数字孪生的监控系统总体框架以及关键技术,并通过三维监控原型系统的开发与部署对关键技术进行了应用验证。数字孪生监控系统能够有效解决传统生产管理中的“黑盒”问题,为生产管理者获取现场状态与各项指标数据提供直观、有效的手段。

数字孪生系统在生产线运营过程中的价值依次体现为监控分析、问题诊断、仿真预测、智能决策等4个能力等级。本文的探索尚处在第1个层次,未来将会向面向生产及工艺优化的问题诊断、仿真预测与智能决策算法方向拓展,实现生产线监控的同时,为管理者提供辅助决策支撑。

参考文献

- [1] 刘青, 刘滨, 王冠, 等. 数字孪生的模型、问题与进展研究[J]. 河北科技大学学报, 2019, 40(1): 67-78.
- LIU Qing, LIU Bin, WANG Guan, et al. Research on digital twin: Model, problem and progress[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2019, 40(1): 67-78.
- [2] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 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.
- TAO Fei, ZHANG Meng, CHENG Jiangfeng, et al. Digital twin workshop: A new paradigm for future workshop[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(1): 1-9.
- [3] 庄存波, 刘检华, 熊辉, 等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(4): 753-768.
- ZHUANG Cunbo, LIU Jianhua, XIONG Hui, et al. The connotation, architecture and development trend of product digital hybrids[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(4): 753-768.
- [4] ZAKRAJSEK A J, MALL S. The development and use of a digital twin model for tire touchdown health monitoring[C]//58th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Grapevine, Virginia: AIAA, 2017.
- [5] 安世亚太科技股份有限公司数字孪生体实验室. 数字孪生体技术白皮书[EB/OL]. (2019-12-20) [2020-01-15]. http://www.peraglobal.com/upload/contents/2019/12/20191230095610_31637.pdf.
- PERA GLOBAL Digital Twin Laboratory. Digital twin technology white paper[EB/OL]. (2019-12-20) [2020-01-15]. http://www.peraglobal.com/upload/contents/2019/12/20191230095610_31637.pdf.
- [6] BALDWIN L P, ELDABIT, HLUPIC V, et al. Enhancing simulation software for use in manufacturing[J]. Logistics Information Management, 2000, 13(5): 263-270.
- [7] 陈振, 丁晓, 唐健钧, 等. 基于数字孪生的飞机装配车间生产管控模式探索[J]. 航空制造技术, 2018, 61(12): 46-50.
- CHEN Zhen, DING Xiao, TANG Jianjun, et al. Digital twin-based production management and control mode for aircraft assembly shop-floor[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(12): 46-50.
- [8] 王峻峰, 刘锐, 谢敏, 等. 现场实时数据驱动的翼身制孔过程三维可视化监视研究[J]. 航空制造技术, 2018, 61(1): 34-41.
- WANG Junfeng, LIU Rui, XIE Min, et al. Research on onsite real time data driven 3D visualization monitoring of aircraft wing-body drilling process[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(1): 34-41.
- [9] 钟珂珂, 郭具涛, 何其昌, 等. 实时数据驱动的生产线状态监控与效能评估技术研究[J]. 航空制造技术, 2017, 60(7): 51-55.
- ZHONG Keke, GUO Jutao, HE Qichang, et al. Research on monitoring and operation evaluation technology of production line driven by real-time data from shop floor[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(7): 51-55.
- [10] 常仕军, 何卫平, 和延立, 等. 基于 workflows 的生产过程监控系统设计与实现[J]. 航空制造技术, 2009, 52(22): 92-97.
- CHANG Shijun, HE Weiping, HE Yanli, et al. Design and implementation of production process monitoring system based on workflow[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009, 52(22): 92-97.
- [11] HB 7804-2006 数控设备综合应用效率与测评[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2006.
- HB 7804-2006 Overall application efficiency and evaluating of NC equipment[S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defence, 2006.

通讯作者: 孙元亮, E-mail: sunyl_nwpu@163.com。

Research on Key Technologies of Digital Twin-Oriented Intelligent Production Line Monitoring System

SUN Yuanliang, MA Wenmao, ZHANG Chao, SONG Yongjie, CUI Jing
(China Aviation Planning and Design Institute (Group) Co., Ltd., Beijing 100120, China)

[ABSTRACT] Traditional manufacturing management is often beset by the serious “Black Box” problem, that is the inability to grasp various types of information on-site in a timely manner, which causes the actual status of the site lagging behind the expected plan and further reduces efficiency and quality. To solve this problem, the key technologies of digital twin monitoring system were studied. A three-dimensional model of the production line was established in the virtual space, and the association mapping between the data and the model was established via the collection of realtime on-site data. And then, a virtual leadership cockpit was created presenting various status and performance boards to solve the transparency of the production site and to improve production efficiency and quality.

Keywords: Digital twin; Virtual-real mapping; Intelligent production line; Data acquisition; Monitoring system

(责编 古系)