

面向物联制造的车间多源异构装备适配技术研究

伍健民,唐敦兵,朱海华,聂庆炜

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对车间多源异构装备难以与物联制造系统良好兼容的问题,设计一种装备虚拟化模型架构,将此模型作为连接底层装备与制造系统的纽带,制造系统直接与标准化模型交互,从而屏蔽了底层装备的异构性,通过模型实现对装备的远程控制、信息采集、功能拓展和逻辑优化,使其能够良好融入物联制造系统。实际应用表明,该方法能显著简化物联制造系统架构,提升车间自动化、信息化和智能化水平。

关键词:多源异构;物联制造;适配;互联互通

中图分类号:TH165 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)05-0168-04

Research on Multi-source Heterogeneous Equipment Adaptation Technology for IoT-based Manufacturing Workshop

WU Jianmin, TANG Dunbing, ZHU Haihua, NIE Qingwei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to make the multi-source heterogeneous equipment in workshop compatible with IoT-based manufacturing system, an equipment virtual model architecture is proposed. Its model is used as the link between bottom equipment and manufacturing system to interact manufacturing system directly with standardized model so as to shield the heterogeneity of the equipment. The remote control, information collection, function expansion and logic optimization are realized through the model, which leads to good integration into the IoT-based manufacturing system. Practical application shows that the improved method can simplify the system architecture significantly and upgrade automation, information and intelligence levels of workshop.

Keywords: multi-source heterogeneous; IoT-based manufacturing; adaptation; interconnection

0 引言

近年来,工业 4.0 的提出极大地推动了制造业的发展,车间底层装备也更加多元化,如数控机床、工业机械手、AGV、自动仓库、检测仪等^[1]。种类繁多的自动化装备构成了物联制造的基础,但同时也给物联制造系统的实现带来了如下难点:1) 车间底层装备的互联互通是实现物联制造的前提,但不同品牌装备使用的通信协议也各有不同,虽然目前国际上提出了一些用于数控装备互联互通的通信标准,如 MT-Connect 和 OPC-UA,我国也有由华中科技大学牵头,联合多家国内知名数控、机床厂家研发出的 NC-Link 通信标准^[2],但目前支持 MT-Connect、OPC-UA、NC-Link 等标准的装备并不多,这就给车间底层装备的互联互通带来了巨大的阻碍。2) 即使是同类型装备,如基于 PLC 的磁导引 AGV 和基于嵌入式系统的激光导引 AGV,其功能虽然相同,但控制逻辑却有着很大的差异,很难与物联制造系统良好兼容。3) 物联制造模式下,对车间信息化、自动化、智能化水平要求显著提高,但同时装备的远程控制、信息采集及智能化水平也有着更

高的要求。而车间底层装备控制逻辑各异,信息化和智能化水平参差不齐,很难与制造系统完美匹配。

车间底层装备的多源异构性导致装备难以直接接入物联制造系统之中,而常见的适配技术通过通信协议的转换后,只能实现以单向信息采集为主的低水平车间互联互通,难以满足物联制造系统无人化、智能化、机器协作等复杂应用场景^[3]。只有通过一种模型对装备的功能、控制逻辑、通信协议等方面都进行适配,使其满足物联制造系统接入标准,才能与系统良好匹配,充分发挥物联制造的优势。

1 装备虚拟化模型基本架构

1.1 装备虚拟化模型外部接口

装备虚拟化模型是基于车间底层装备的特征进行开发的,可视作具有对应装备各种功能的虚拟装备,模型对外主要提供 4 个接口(图 1)。

1) 制造系统接口

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52075257);国家重点研发计划(2018YFE0177000);船舶总装建造成套装备项目(TC190H47J);国防基础科研项目(JCKY201805C003)

第一作者简介:伍健民(1996—),男,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为物联制造环境下车间装备互联互通与适配技术。

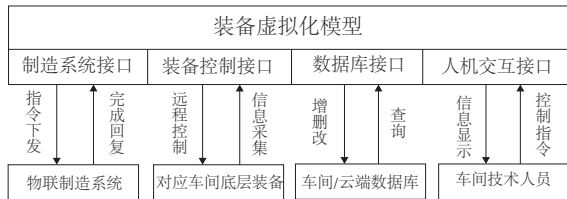


图1 装备虚拟化模型外部接口示意图

装备虚拟化模型的制造系统接口根据物联制造系统使用的通信协议开发,用于模型与物联制造系统的对接。装备虚拟化模型作为对应底层装备的生产要素直接与物联制造系统交互,制造系统各类指令使用统一的通信格式发送至模型,从而屏蔽了底层装备的异构性,如磁导引AGV和激光导引AGV的虚拟化模型在物联制造系统都被视为AGV,并无任何区别。

装备虚拟化模型的制造系统接口可以接收两种格式的命令,即控制型指令(如控制机床加工)和查询型指令(如查询AGV当前位置),都采取一问一答的通信方式。模型在接收到查询型指令后实时回复查询结果;收到控制型指令,则在完成该指令要求的操作后,回复其动作完成或失败。

2) 装备控制接口

装备控制接口是基于底层装备的特点和装备本身的通信协议开发的,用于虚拟化模型与其对应底层装备的交互,通过装备厂商提供的链接库或通信接口,实现对底层装备的远程控制与信息采集。

3) 数据库接口

在物联制造系统中每个装备都在车间工控机或云端有对应的数据库,用于存储装备的各类状态信息^[4]。虚拟化模型通过数据库接口读取或存储相对应的底层装备信息,如仓库模型通过读取仓库数据库表格判断各个库位的状态,机床模型实时存储机床状态及加工信息用于后续分析。而其他外部程序也可以无视装备本身的通信协议,直接通过访问其数据库获取底层装备各类状态信息。

4) 人机交互接口

人机交互接口用于实时显示装备虚拟化模型运行过程中各类信息,便于技术人员调试与监控,如各个接口连

接状态、制造系统与模型的交互信息、运行过程中的异常信息等。此外还通过该接口接收技术人员的一些指令,如仓库模型可根据技术人员输入的零件类型和数量自动进行入库操作。

1.2 装备虚拟化模型内部结构

由于大部分数控系统都提供C#版本的链接库或软件开发包,因此该装备虚拟化模型可基于C#语言进行底层构筑(图2)。虚拟化模型一般具有3个基本模块,即控制模块、监测模块和数据库模块,以一台车床模型为例。

1) 控制模块

控制模块包含连接、控制对应车床的一些基本功能,其中的函数对应车床控制面板,形成虚拟按键,如程序启动按键、复位按键、夹具打开关闭按键,模型可以直接通过调用这些函数实现按键功能。这些控制功能有些可以在厂家提供的链接库中获取,有的需要通过更改机床PLC梯形图,通过加入远程控制点位来实现。

2) 监测模块

监测模块包含一些底层装备信息采集、状态监控功能,如车床各轴机械坐标、程序执行状态、机床警报信息等。这些信息有的可以通过厂家提供的链接库采集,有的用来监控特定的PLC点位状态。

除了这些可以从底层装备中直接获取的信息,监测模块中还加入了另一些功能,如根据当前各轴机械坐标判断机床是否处于上料点位置,从而避免因机床不在上料点而和机械手发生碰撞的现象。

3) 数据库模块

数据库模块包含了装备虚拟化模型与车间或云端数据库的连接、对数据库表格进行增删改查的一些功能,用于虚拟化装备模型数据库接口的实现。

除了这些基本模块,还可根据装备特点和制造系统需求,在模型中灵活地添加其他模块,实现其功能拓展,如AGV模型中加入路径模块,实现AGV路径文件的自动生成与上传;机床模型中加入NC模块,实现系列化产品NC代码的自动生成与上传;在模型中加入指令集,方便地生成和调用各类字符串格式的指令。

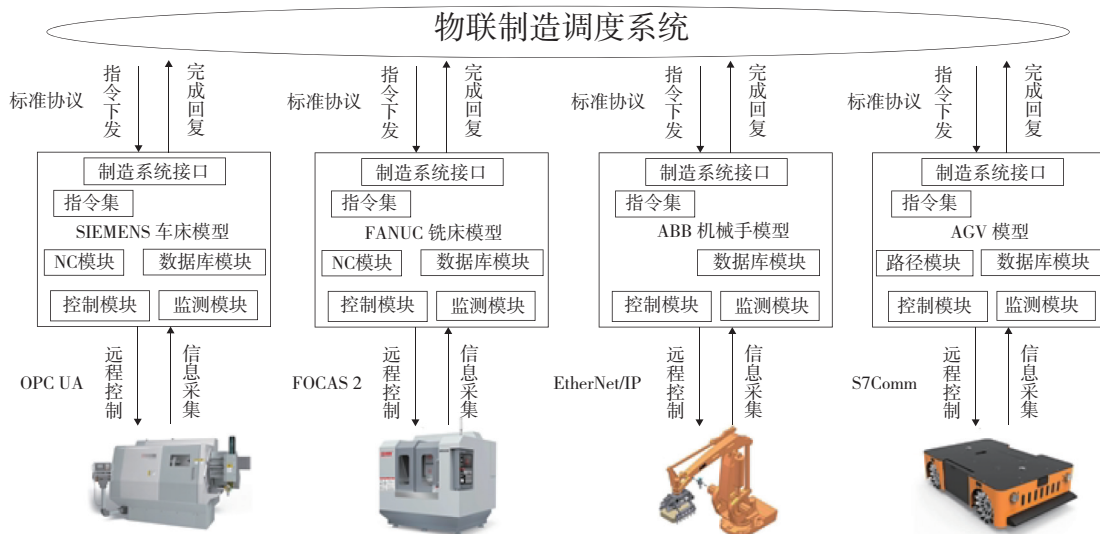


图2 装备虚拟化模型架构图

2 装备虚拟化模型主要功能

2.1 装备通信协议转换

装备虚拟化模型通过制造系统接口以物联制造系统的通信格式接收制造系统指令,再通过装备控制接口对底层装备本身的通信协议对其进行远程控制和信息采集,从而实现通信协议各异的车间底层装备的互联互通。

2.2 装备的远程控制与信息采集

对底层装备的远程控制与信息采集是实现物联制造的基础^[5]。通过应用装备虚拟化模型,可以实现高水平的远程控制和信息采集。所谓的高水平,不再是由制造系统直接控制或监测装备 PLC 点位实现控制或数据采集,而是通过向模型下发标准化指令,由模型自动完成一系列的控制或信息数据采集动作。

以铣床模型为例,其从制造系统获取的命令只有两个,加工和预估加工时间,当执行加工命令时,模型直接从加工命令中获取 NC 代码字段,或通过加工命令中的零件类型和尺寸自动生成 NC 代码。然后将 NC 代码上传至机床,通过控制模块中的虚拟按键关闭铣床夹具和安全门,启动加工程序,之后持续监测机床加工状态。在机床加工完成后,打开夹具和安全门,并将各轴移动到上料点,并向制造系统回复加工完成信息。而在收到预估加工时间命令时,则通过解析 NC 代码自动计算出机床加工时间并回重复计算结果。

通过模型内部的逻辑控制和计算能力,可以显著精简制造系统与底层装备之间的指令数量,降低了制造系统与装备的交互难度。

2.3 装备功能拓展

装备虚拟化模型的控制模块和监测模块除了包含对应装备的基本功能外,还可以根据物联制造系统需求,灵活地在虚拟化模型中进行功能拓展,从而在满足物联制造系统接入标准的同时降低对底层装备本身的技术要求。如在机床模型中加入系列化产品 NC 代码自动生成功能,通过分析 NC 代码,还可实现加工时间预估功能。

而对仓库模型,可以增加原料自动入库功能,技术人员通过人机交互接口输入要入库零件的类型和数量信息,仓库模型便会自动遍历仓库的数据库找出空的库位。技术人员只需按照人机交互界面的提示,将对应的原料送至入库口,仓库模型便会自动控制仓库完成入库动作,并实时改写仓库数据库信息,直至入库结束。

2.4 装备控制逻辑统一与优化

同一类型的不同装备,其控制逻辑往往存在很大差异。以 AGV 为例,磁导引 AGV 是基于 PLC 开发的,通过地面铺贴的磁条和 RFID 实现自动导引和定位,而激光导引 AGV 是基于嵌入式系统开发的,通过激光地图和路径文件实现自动导引和定位。这两种 AGV 控制逻辑完全不同,如果直接接入物联制造系统中,会导致制造系统复杂

性大大增加。而通过装备虚拟化模型对装备控制逻辑进行统一,不论是哪种类型的 AGV 虚拟化模型,其与制造系统的交互都只有获取当前位置、运行指定路径、出货、收货这几条标准指令,具体的命令实现由模型根据装备特点完成操作。

例如车间装备开机时,往往需要一些复位操作,但不同品牌装备的操作流程也存在差异。如 SIEMENS 机床需要松开急停,复位,按下主轴使能和进给使能;FANUC 机床则需要松开急停,按下选择停(使机床控制面板按钮无效)。而通过装备虚拟化模型对装备操作逻辑进行优化,在技术人员松开急停后,模型根据对应装备特点,通过虚拟按键自动完成各种复位操作,这样便可以屏蔽车间装备的差异性,大大地简化车间开机流程。

3 实例

基于多智能体技术的自组织物联制造系统以物联技术为基础,通过装备的自治与协商方式,实现定制产品的自组织生产。该系统能实现网络订单直接下发至车间,车间仓储、物流、加工、检测全自动化,订单的排产与车间调度智能化,装备及车间状态信息透明化。

如图 3 所示,车间内有 LNC、SIEMENS、FANUC 三种品牌的机床,基于 PLC 开发的磁导引 AGV、ABB 工业机器人,基于 PLC 开发的自动仓库,车间底层装备有显著的多源异构特征。制造系统通过使用多智能体技术,为车间中的每个设备配置相应的 Agent,所有设备的 Agent 组成 Agent 网络,也就是一个虚拟车间^[6]。当订单信息下发至虚拟车间后,各 Agent 会代表其设备参与交互协商,争取工作任务。任务分配完成后,各 Agent 会相互协商,共同完成任务。

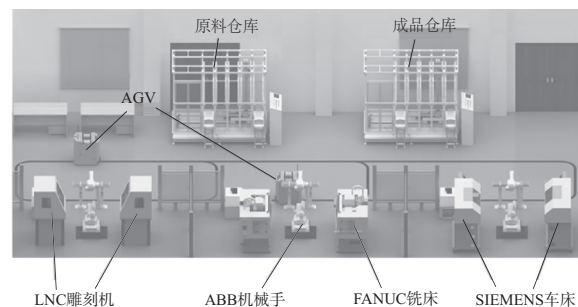


图 3 基于多智能体技术的自组织物联制造车间布局图

该物联制造系统使用一种基于 TCP/IP 协议,这是通过 JSON 格式封装的语义化通信格式,具有可读性好、拓展性强的优点,不同 Agent 之间及 Agent 与对应底层装备之间均使用该协议进行通信。但由于底层装备的多源异构性,Agent 与其对应底层装备的感知和交互是该制造系统实现的最大难点。而在该制造系统中应用了装备虚拟化模型技术后,装备虚拟化模型作为连接 Agent 与对应底层装备的纽带,具有对应底层装备的所有功能并提供标准化调用接口,能够方便地与 Agent 直接交互,实现 Agent 对相应底层装备的控制和感知(图 4)。

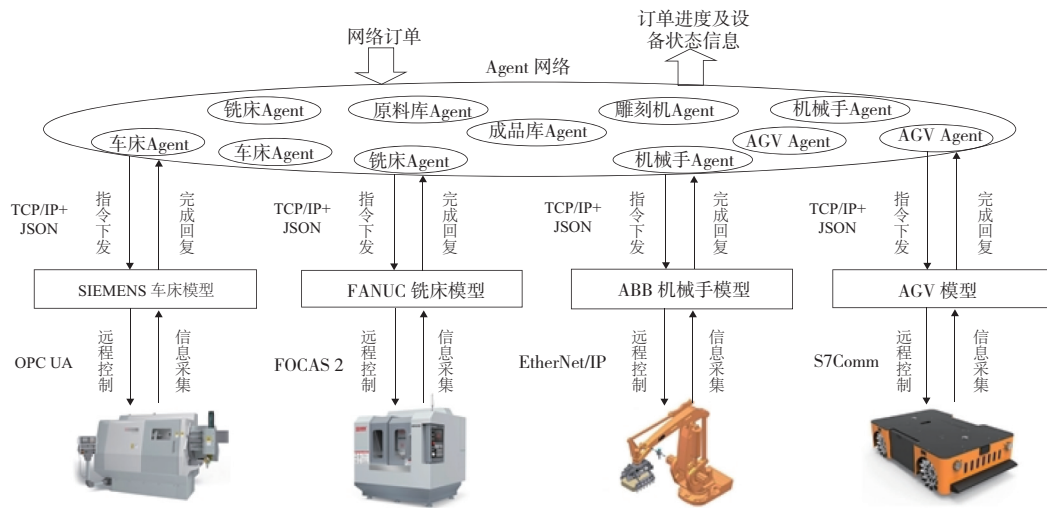


图4 装备虚拟化模型在基于多智能体技术的自组织物联制造车间中的应用

4 结语

本文针对车间多源异构装备难以与制造系统良好匹配、兼容的问题,提出了一种装备虚拟化模型架构,并通过应用该模型实现了对相应底层装备的远程控制、信息采集、功能拓展和逻辑优化,从而屏蔽底层装备的异构性,使其能够良好地融入物联制造系统。实际应用表明,该方法能显著简化物联制造系统架构,同时提升车间自动化、信息化及智能化水平。

参考文献:

- [1] 李轲. 基于 OPC UA 架构的智能制造车间数据通信及应用研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2020.
- [2] 江哲夫,刘涛. 基于 NC-Link 协议的数控系统适配器设

计[J]. 现代机械,2017(4):82-86.

- [3] 李方园. 智能制造技术在行业中的应用系列 第四讲 工厂设备的智能物联技术[J]. 自动化博览,2020(7):48-50.
- [4] LIU C, VENGAYIL H, ZHONG R Y, et al. A systematic development method for cyber-physical machine tools [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018,48:13-24.
- [5] 沈烈初. 实体层互联互通 让智能制造不再“卡脖子”[J]. 表面工程与再制造,2018,18(5):5-8.
- [6] LU R Z, LI Y C, LI Y T, et al. Multi-agent deep reinforcement learning based demand response for discrete manufacturing systems energy management [J]. Applied Energy, 2020, 276: 115473.

收稿日期:2020-10-19

(上接第 115 页)

参考文献:

- [1] KNAPIK J J, REYNOLDS K L, HARMAN E. Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects[J]. Military Medicine,2004,169(1):45-56.
- [2] 徐盛嘉,王巍,田东,等. 负重对军人的不利影响和对策研究[J]. 军事体育学报,2018,37(2):1-4.
- [3] JENNINGS B M, YODER L H, HEINER S L, et al. Soldiers with musculoskeletal injuries [J]. Journal of Nursing Scholarship, 2008,40(3):268-274.
- [4] 王义斌,陈姣,董兴建,等. 可穿戴式的下肢助力机械外骨骼的结构设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(1):200-203.

[4] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2006.

- [5] 宫鹏涵. ADAMS 2014 虚拟样机从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2016.
- [6] 谢最佳,吴新跃. 基于 ADAMS 的碰撞仿真分析[C]//第三届 中国 CAE 工程分析技术年会暨 2007 全国计算机辅助工程 (CAE) 技术与应用高级研讨会论文集. 大连,2007:345-348.
- [7] 兰凤崇,蔡志华,陈吉清,等. 汽车碰撞中胸-腹部的生物力学响应与损伤评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012,40(12):70-78.

收稿日期:2020-10-14