

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.021

基于 Tecnomatix 的智能制造单元建模与运动仿真

李思莹, 卞荣, 徐昌鸿, 周君威, 杨志昌

(南京工程学院 工业中心, 江苏 南京 211107)

摘要:为有效提升制造单元的智能化水平,利用 NX 软件对智能制造单元进行结构设计,建立包含仓储系统、3D 打印机和拾取机器人等模型,并通过 Tecnomatix 平台下的 Process Simulate 软件对整个制造单元进行运动仿真,完整展现出料与入料的流程,验证其可行性。基于仿真结果,对整个单元进行了改进和优化,提高了准确性。

关键词:智能制造单元; Tecnomatix; 运动仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2025)03-0105-05

Modeling and Motion Simulation of Intelligent Manufacturing Unit Based on Tecnomatix

LI Siying, BIAN Rong, XU Changhong, ZHOU Junwei, YANG Zhichang

(Industrial Center, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211107, China)

Abstract: For the effective improvement of the intelligent level of manufacturing cells, NX software was applied to design the structure of the intelligent manufacturing unit, comprising storage system, 3D printer and pickup robot. Simulation on the motion of the entire manufacturing unit was carried out by the Process Simulate software on Tecnomatix platform, and a complete process of the discharge and feed was displayed to verify its feasibility. Based on the simulation results, the entire manufacturing unit was upgraded and optimized, and its accuracy was improved.

Keywords: intelligent manufacturing unit; Tecnomatix; motion simulation

0 引言

数字孪生的理念与技术最初在制造业形成。随着建模仿真与控制技术的进步以及新一代信息技术的发展,数字孪生在工业、农业、建筑等 10 余领域、50 多个方向快速推广,这一理念目前已成为这些领域的前沿与热点方向^[1]。当前,工业制造领域中数字孪生车间的应用研究成为重点^[2],数字孪生技术为提升制造效率和自动化水平提供了一条新的解决途径。制造业中传统车间的制造模式正在发生显著改变,基于获得物理车间的信息前提,在信息空间构建了仿真模型^[3],从车间内的物理和虚拟设备获得的交互信息,将运动学关系添加到几何模型中,进而构建面向运动关系的数字孪生模型,其可以有效提高车间生产加工的质量和实时性^[4]。数字孪生技术可以提升可视化水平,实现模拟仿真和实时监测,有效提高效率^[5],同时使制造企业更好地适应新产品、新工艺、新管理模式^[6]。企业可以预测设备何时磨损或需要维修,提高机器的性能,延长使用寿命,并

学习如何重新设计以完成更多工作^[7]。随着数字孪生的发展,数字化仿真技术在各行各业都会逐步被应用,是企业实现智能化转型的必由之路^[8]。

Tecnomatix 是西门子推出的数字化制造平台^[9],广泛应用于航空、汽车、船舶等制造业,其中的 Process Simulate 软件为制造工艺过程仿真提供了强有力的支撑工具^[10],为制造业企业提供了一种持续创新和改进的工具^[11],对解决制造过程的难题、提升生产效率具有重要的作用。

实际生产调度时应满足实时、灵活和高效的要求,数字孪生技术可以满足上述要求^[12]。刘亮等^[13]提出了一种智能制造系统五维设计模型,并阐述了采用精益数字孪生体开展智能制造设计的方法;曹家勇等^[14]在软件 Tecnomatix 中,搭建针对发动机舱总成的多机器人焊接虚拟仿真模型,合理地分配焊点的位置,改进蚁群算法可以有效缩短焊接路径,提高焊接效率;赵为鑫等^[15]在 Tecnomatix 环境中分析不同运动情况下 TCP 速度,对工业机器人抓取过程进行离线编程优化,降低工作能耗;田富君等^[16]分析了三维装配工艺设

基金项目:国家自然科学基金项目(51805242);江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究项目(23KJB460017)

第一作者简介:李思莹(1999—),女,安徽巢湖人,硕士研究生,研究方向为先进制造技术,1353119973@qq.com。

计与仿真过程,建立了装配工艺信息模型,并通过 Tecnomatix 系统进行二次开发,实现了三维环境下的装配工艺设计;李伟等^[17]通过规划仿真实现零件上件顺序、焊接时间、焊点分配、机器人路径干涉、节拍分析、虚拟调整等分析,降低焊接生产线制作成本。

本文以 Tecnomatix 平台下的 Process Simulate 软件为研究工具,以某物流系统内的智能制造单元为研究对象,对其进行仿真,展示虚拟环境下智能制造单元的模型导入、运动仿真及路径优化。

1 智能制造单元概述

1.1 场景描述

自动化立体仓库已被广泛应用于各种制造领域及其物流服务领域,其主要功能之一就是有效地完成物料输送,实现物料入库和出库。本单元所涉及的仓储系统是 3D 打印物品自动化生产线的组成部分,实际生产环境如图 1 所示。

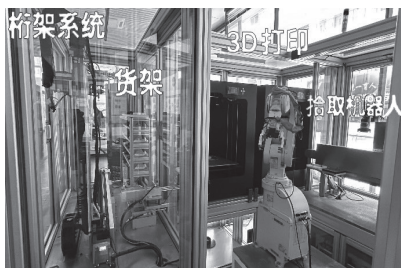


图 1 面向智能制造生产过程的生产环境

基于物理车间建立运动仿真模型,通过 Process Simulate 模块对制造单元进行加工制造及出入料的运动仿真,包含仓储系统、3D 打印机和拾取机器人三大模块,如图 2 所示。在实际的车间生产中,若仓储货架上的 3D 打印产品存货不足,则会由外部的 3D 打印机进行产品的生产,完成加工后由机器人抓取至仓储系统的出入料平台,随后由仓储机械手对完成的 3D 打印件进行入库操作。

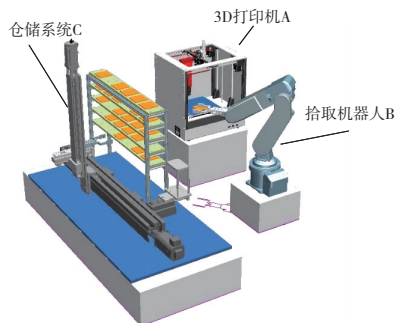


图 2 面向智能制造生产过程的数字孪生模型

1.2 工艺分析

本单元由 3D 打印机 A、拾取机器人 B 和仓储系统 C 构成。其中仓储系统的货架处分别存放打印前后的工件;拾取机器人负责工件的上下料。拾取机器人将打印后的工件放在置料模块上,桁架机器人抓取工件放置在货架上,同时拾取机器人回到初始位置,等待下一次命令循环工作。具体生产流程和机器人运行轨迹如表 1 所示。机器人在抓取的任务中,要考虑到各位置点的姿态,不得超过机器人关节限制,避免产生碰撞;合理安排机器人的运行轨迹,优化路径,提高生产效率。

表 1 工件加工工艺

工序	工作内容	机器人运行轨迹
作业准备,系统启动	3D 打印机工作,机器人处于初始位置	B
抓取工件	等待信号,机器人从 3D 打印机处抓取工件	B—A
等待	桁架机械手运行至置料模块处等待	C—等待位
工件放置	机器人将工件放置于置料模块处	B—C
搬运	桁架机械手将置料模块处的成品抓取进货架上	C
初始位置	机器人回到初始位置,进行下一次工作	C—B

1.3 生产目标

通过 Tecnomatix 平台建立一个基于实际物理实体的 3D 打印工件出入料单元,真实反映出在实际生产过程中的问题并及时解决。利用平台规划单元的出入料步骤,缩短时间,极大地提升效率;提前在软件中仿真模拟机器人的路径,避免干涉,防止碰撞,从而提高经济效益。

1.4 软件仿真流程

过程仿真(Process Simulation)是 Tecnomatix 平台下的虚拟仿真软件,提供了一个基于数据库的无缝工艺过程模拟功能,可实现装配路径分析、顺序调整等功能^[18],过程仿真步骤如图 3 所示。

1.5 资源数模的导入

将相关设备模型导入到软件之前需要对其进行一些处理,需将模型转化为 JT 格式,在软件中转换并插入 CAD 格式文件,存放地址位于系统根目录之内并且需要创建整体式 JT 文件,即可导入文件。如果不创建整体式 JT 文件,Tecnomatix 会将 JT 文件中的部件拆分为零件存储在资源文件夹中。

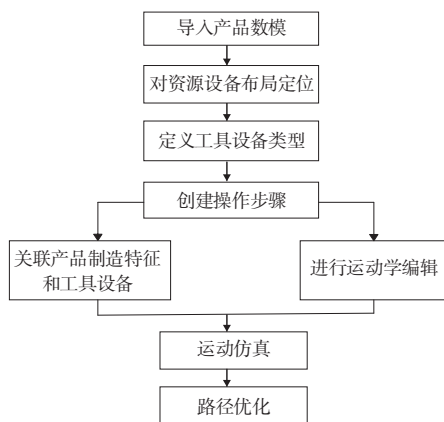


图3 过程仿真步骤

模型有两种打开方式:标准模式(standard mode)是基于时间的仿真,也就是根据操作次序来仿真,通常用于一般的设备标准模式和机器人路径仿真;离线仿真模式是基于事件的仿真。本单元采用标准模式打开所需文件。

1.6 定义设备类型及分类

在多机器人工位装配仿真中会有非常多的设备和工具,如果前期没有做定义和分类,会给后期的查找和编辑带来很大的困难,所以要对设备进行定义和分类。将选择的模型在标准模式下打开后建立新的资源,选择不同的设备,如“Robot”、“Clamp”等设备库,这样可以使得界面简洁明了,同时也更方便对不同的设备进行定义编辑,如图4所示;本制造单元所用到的节点类型如表2所示。

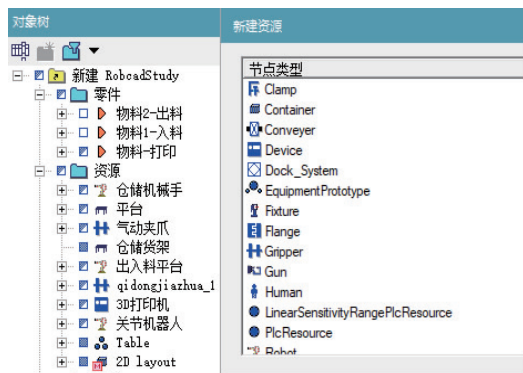


图4 定义设备类型

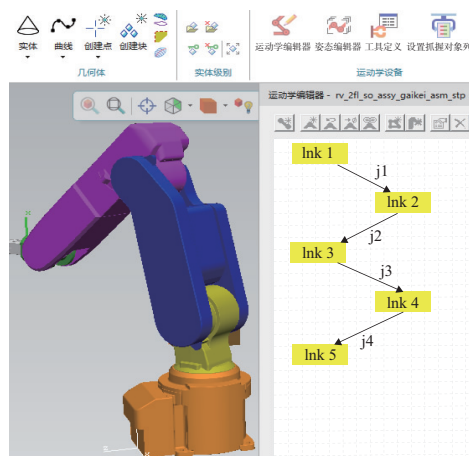
表2 设备类型定义及分类

资源名称	节点类型	数量
气动夹爪	Gripper	2
关节机器人/机械手	Robot	2
3D 打印机	Device	1
仓储货架	Table	1

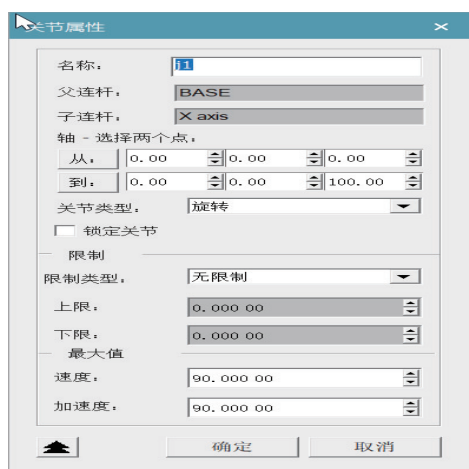
2 仿真模型工艺操作

2.1 模型运动学定义

模型的运动是通过运动学定义的,选中导入的模型,点击“运动学编辑器”开始对模型进行运动学编辑。关于设备运动学需要了解实际生产设备的运动情况,在此基础上建立相应关系,将所选模型的整个运动学编辑好,并且定义相应的关节属性,例如“轴”、“关节类型”、“限制”等。如本案例中的关节机器人,在“运动学编辑器”中令底座为 link1,腰部为 link2,大臂为 link3,小臂为 link4,末端执行器为 link5,如图5(a)所示。编辑完成后从一个连杆连接至另一个连杆就可以定义两者之间的属性,根据关节的活动类型选择对应的轴以及运动的极限位置,如图5(b)所示。



(a) 运动学编辑



(b) 关节属性编辑

图5 模型运动学的定义

2.2 机器人的运动仿真设置

本单元涉及两种机器人,分别为拾取机器人

和仓储机械手。在虚拟仿真中,可以通过两种方法使得机器人抓取 3D 打印工件,一种通过姿态编辑器的姿态调整来达到目的,另一种则为软件中自带的“拾取”功能通过设置不同的坐标来拾取工件。两种方法都在下文中进行阐述。

1) 仓储机械手的姿态编辑

在建模状态下选择仓储机械手,在姿态编辑器中对其进行位置的编辑,新建不同的姿态,在关节树中对其进行转向或者姿态幅度的确定,如图 6 所示。在 Tecnomatix 虚拟三维空间中,零件都是通过三维坐标来定位,所以零件与零件之间不存在约束关系,可以通过平移、旋转方便地进行调整,但同时也增加了装配干涉的可能性,需要后期进行干涉检查后进行微调^[9]。

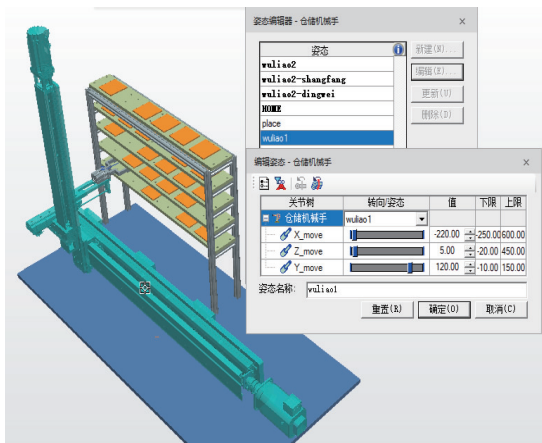


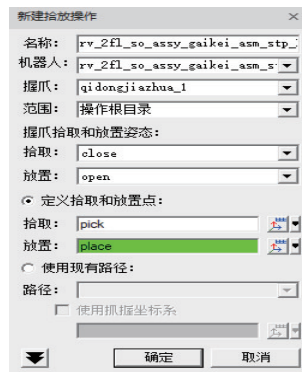
图 6 仓储机械手的姿态编辑

2) 机器人的夹取与放置

在工业生产中,机器人与工具是密不可分的,因此在数字化生产线设计平台中,需要让机器人与工具联动起来,即给机器人安装抓手工具。对工具进行运动学的编辑,之后在机器人的末端执行位置创建基准坐标系,在抓手中间创建安装坐标系,并且设置抓握对象为 3D 打印产品。在“安装机器人”选项中通过选择基准坐标系和安装坐标系将工具和机器人连接在一起,如图 7(a) 所示。“拾放操作”可以让机器人准确抓取零件放置在合适的位置上。在零件的几何中心创建一个坐标命名为“pick”,还需要选中零件被操控器移到的最终位置,并在此处的零件中心新建一个坐标命名为“place”。新建一个“复合操作”,在此基础上新建“拾放操作”,对象选择零件,起点选择“pick”,终点选择“place”使得机器人完成抓取放置工件的功能,如图 7(b) 所示。



(a) 安装机器人工具



(b) 拾放工具

图 7 机器人的安装与放置

2.3 创建仿真时序

在仿真软件中,生产线或工位规划一般都是基于时间的关联仿真,在软件左侧“操作”选项中新建设备操作,选择想要操作的设备,在根目录范围内将所选设备的姿态变化定义好。新建一个复合操作,将所有的设备操作统一添加进去,在序列编辑器当中添加复合操作就可以看到工艺操作节点时序甘特图,可以直观地看到不同长度的线条,代表每个位置姿态的运动时间,其中箭头表示设备运行的先后顺序关系,根据需要对设备的相应关系进行调整,具体调整如图 8 所示。

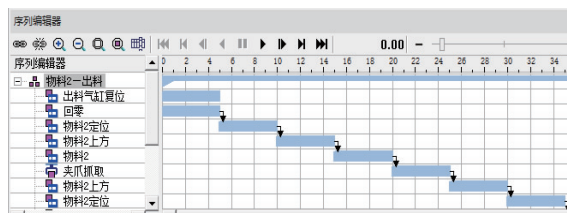


图 8 时序甘特图

3 仿真分析与路径优化

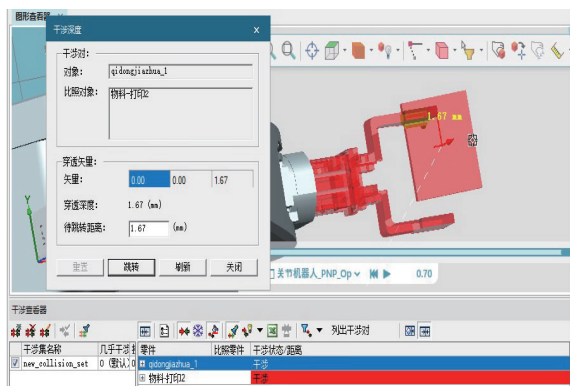
3.1 创建干涉检测操作

在虚拟仿真过程中碰撞检测设置是至关重要的步骤,通过设备或机器人在动态运行过程中自动检测是否发生干涉现象,就可以提前规避方案

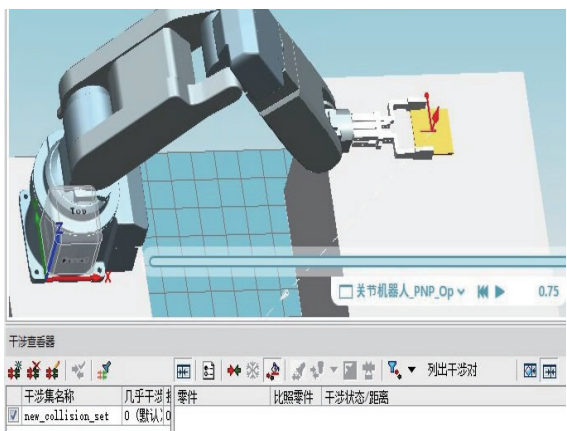
设计阶段发生的缺陷问题。在 PS 仿真软件中,碰撞检测功能在“干涉查看器”中进行设置,要显示干涉并且在干涉选项中需要设置发生主碰撞显示颜色为红色,检测到干涉时停止仿真,这更加直观看到方案设计的风险点^[20]。

3.2 仿真路径优化

在实际的现场安装和调试过程中,合理的路径是至关重要的,可以在发生干涉时及时调整路径,消除碰撞,还可以节省时间,提高效率,所以在软件中需要对机器人进行路径仿真的优化。通过干涉查看器已经检测出需要优化的路径,如图 9(a)所示,抓手工具穿透工件 1.67 mm,需要进行干涉优化。在 PS 仿真软件中,将发生碰撞的操作添加进“路径编辑器”当中,需要在机器人抓取的前后位置增加抓取坐标,这样就会在路径中生成多个坐标,根据干涉的提醒不断完善路径,直至整个路径优化完成,如图 9(b)所示。



(a) 抓手工具发生干涉



(b) 消除干涉

图 9 仿真路径优化

3.3 仿真流程时间的优化

在保证没有干涉的基础上使得整体的工艺流程时间进一步缩短,可以极大提升在实际生产过

程中的效率。在虚拟仿真中可以命令多种设备同时开始运行,通过计算运动时间来选择最优路径。表 3 列出两种步骤的工序时间。

表 3 优化前后工作时序表 单位:s

工作对象	工序内容	优化前时长	优化后时长
关节机器人	拾取工件至平台	3.5	3.0
传送平台	等待仓储机械手	2.0	1.5
仓储机械手	取工件入库	15.0	13.0

从表 3 中可以看出优化前时长为 20.5 s,对机器人路径进行优化后的时长为 17.5 s,有效节省了时间,提高了效率。可以通过序列编辑器中的时序甘特图明显看出优化前后的区别,如图 10 所示。

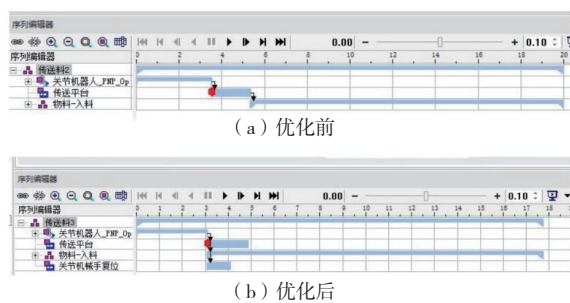


图 10 优化前后的时序甘特图

4 结语

本文通过应用 NX 建模软件搭建了一个智能制造单元,利用 Tecnomatix 软件,实现其运动仿真过程,解决了碰撞干涉问题,优化了仿真路径以及时间,降低了现场事故的发生率,提高了生产效率,同时极大地简化了复杂制造过程的验证、优化和试运行等工程任务。

参考文献:

- [1] 李浩,王昊琪,刘根,等. 工业数字孪生系统的概念、系统结构与运行模式[J]. 计算机集成制造系统,2021,27(12):3373-3390.
- [2] 邓辉飞. 铁路通信网智能架构研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2023,20(7):44-48.
- [3] 陈光霞. 基于 Plant Simulation 的装配生产线规划方法[J]. 机械管理开发,2025,40(3):278-280.
- [4] 田颖,邵文婷,王太勇,等. 面向低碳的车间生产过程数字孪生建模[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,56(3):232-241.
- [5] 张文祥,李耀杰. 基于 Tecnomatix 自动化生产线工艺仿真[J]. 现代制造技术与装备,2020,56(2):198-201.
- [6] 庄明,刘正涛,黄安畏,等. 基于数字孪生的装配技术现状及发展展望[J]. 包装工程,2024,45(23):258-267.

(下转第 131 页)

- [3] 杨智春,贾有. 动载荷的识别方法[J]. 力学进展, 2015,45(0):33-58.
- [4] BOUKRIA Z, PERROTIN P, BENNANI A. Experimental impact force location and identification using inverse problems: application for a circular plate [J]. International Journal of Mechanics, 2011,5(1):48-55.
- [5] QIAO B J, CHEN X F, XUE X F, et al. The application of cubic B-spline collocation method in impact force identification [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015,64:413-427.
- [6] 卢立勤,乔百杰,张兴武,等. 共轭梯度最小二乘迭代正则化算法在冲击载荷识别中的应用[J]. 振动与冲击, 2016,35(22):176-182,196.
- [7] JIANG J H, TANG H Z, MOHAMED M S, et al. Augmented Tikhonov regularization method for dynamic load identification [J]. Applied Sciences, 2020,10(18):6348.
- [8] 马超,华宏星. 一种基于新的正则化技术的冲击载荷识别法[J]. 振动与冲击, 2015,34(12):164-168,181.
- [9] 乔百杰,陈雪峰,刘金鑫,等. 机械结构冲击载荷稀疏识别方法研究[J]. 机械工程学报, 2019,55(3):81-89.
- [10] PAN C D, HUANG Z J, YOU J D, et al. Moving force identification based on sparse regularization combined with moving average constraint [J]. Journal of Sound and Vibration, 2021,515:116496.
- [11] CHEN Z W, YANG W B, LI J, et al. Bridge influence line identification based on adaptive B-spline basis dictionary and sparse regularization [J]. Structural Control and Health Monitoring, 2019,26(6):e2355.
- [12] 何文博,许步锋,冯振宇,等. 利用冗余扩展余弦字典的复杂动载荷识别研究[J]. 振动工程学报, 2024,37(3):512-521.
- [13] HUANG C, JI H L, QIU J H, et al. TwIST sparse regularization method using cubic B-spline dual scaling functions for impact force identification[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2022,167:108451.
- [14] 陈辉,缪炳荣,赵浪涛,等. 基于 L1 范数正则化和最小二乘优化的冲击载荷识别研究[J]. 噪声与振动控制, 2023,43(1):62-67,99.
- [15] ZHANG Y, MIAO B R, ZHANG W H, et al. Impact load identification of high-speed train scale carbody based on multi-objective optimisation and TwIST sparse regularisation [J]. Nondestructive Testing and Evaluation, 2025,40(1):365-385.
- [16] BIOUCAS-DIAS J M, FIGUEIREDO M A T. A new twIST: two-step iterative shrinkage/thresholding algorithms for image restoration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007,16(12):2992-3004.
- [17] KOH K, KIM S J, BOYD S. An interior-point method for large-scale l1-regularized logistic regression[J]. Journal of Machine Learning Research, 2007,8(8):1519-1555.
- [18] DAUBECHIES I, DEFRISE M, DE MOL C. An iterative thresholding algorithm for linear inverse problems with a sparsity constraint [J]. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2004,57(11):1413-1457.
- [19] FIGUEIREDO M A T, NOWAK R D, WRIGHT S J. Gradient projection for sparse reconstruction: application to compressed sensing and other inverse problems[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2007,1(4):586-597.

收稿日期:2023-08-18

(上接第 109 页)

- [7] ATTARAN M, CELIK B G. Digital Twin: benefits, use cases, challenges, and opportunities [J]. Decision Analytics Journal, 2023,6:100165.
- [8] 陶飞,张贺,戚庆林,等. 数字孪生十问:分析与思考[J]. 计算机集成制造系统, 2020,26(1):1-17.
- [9] 成正勇,李爱冉,黎亮,等. 基于 TECNOMATIX 的机器人点焊离线编程技术应用[J]. 汽车科技, 2020(5):73-79.
- [10] 周丹,管佳燕,凌雯雯,等. Tecnomatix 虚拟仿真在智能生产线教学中的应用[J]. 科技与创新, 2024(7):179-181,184.
- [11] 潘思羽. 基于数字孪生技术的制造业生产线智能化建设研究[J]. 互联网周刊, 2024(21):37-39.
- [12] FANG Y L, PENG C, LOU P, et al. Digital-twin-based job shop scheduling toward smart manufacturing [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019,15(12):6425-6435.
- [13] 刘亮,姚春琦,贺禹铭. 基于精益数字孪生体的智能制造系统设计[J]. 机械设计, 2023,40(9):59-66.
- [14] 曹家勇,吴沛华,吕文壮,等. 汽车车身多机器人焊接路径规划和 Tecnomatix 虚拟仿真[J]. 机械设计与研究, 2021,37(5):21-26,40.
- [15] 赵为鑫,张文超,王明伟,等. 面向抓取任务的机器人离线编程优化[J]. 制造技术与机床, 2023(2):34-39.
- [16] 田富君,张红旗,陈帝江,等. 基于 Tecnomatix 的三维装配工艺设计与仿真技术研究[J]. 制造业自动化, 2013,35(15):11-13,16.
- [17] 李伟,周杨智,陆玉娇. 基于 Tecnomatix 的数字化工厂软件在汽车焊装车间的应用[J]. 通讯世界, 2018,25(1):311-312.
- [18] 陈甦欣,程智攀. 基于 Tecnomatix 的变速箱壳体部装人机工程仿真分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021,44(11):1441-1444.
- [19] 林巨广,黄晓丹,任永强. 基于 Tecnomatix 的变速箱虚拟装配技术研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(12):94-97.
- [20] 陈浩,王体金,刘毅,等. 基于 PDPS 的设备工装干涉验证及机器人路径优化[J]. 机械研究与应用, 2021,34(6):178-181.

收稿日期:2023-07-18