

多机器人工作站控制系统仿真设计研究

刘一鸣², 李承欣^{1,2}, 李俊宇^{1,2}, 刘业峰^{1,2}

(1. 辽宁省数控机床信息物理融合与智能制造重点实验室, 辽宁 抚顺 113122;

2. 沈阳工学院 机械工程与自动化学院, 辽宁 抚顺 113122)

摘要: 为确定多机器人生产线在实际工业生产过程中的可实施性, 利用 RobotStudio 虚拟仿真软件设计一类以 IRB2600 工业机器人为控制核心的多机器人工作站, 用以实现对装配搬运生产线的虚拟搭建; 采用 SoildWorks 软件为工作站设计三维仿真模型及使用工具; 构建多机器人生产线的布局, 依据生产线工序流程, 说明动态效果构建过程, 对机器人系统进行 I/O 信号创建, 设置工作站逻辑, 进而完成离线编程程序的编写, 实现工作站的虚拟仿真运行, 通过对运行结果数据进行研究, 找出机器人运行的最优速度, 保证了该生产线的可实施性; 该方案可以为实际机器人生产线设计提供理论依据, 降低设计周期和成本, 指导现场生产; 对类似工作站的创建实施具有一定的借鉴意义。

关键词: RobotStudio; SoildWorks; 多机器人; 虚拟仿真; 装配搬运生产线

Research on Simulation Design of Multi-robot Workstation Control System

LIU Yiming², LI Chengxin^{1,2}, LI Junyu^{1,2}, LIU Yefeng^{1,2}

(1. Liaoning Key Laboratory of Information Physics Fusion and Intelligent Manufacturing for

CNC Machine, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China)

Abstract: In order to determine the feasibility of multi-robot production line in the actual industrial production process, RobotStudio virtual simulation software was used to design a kind of multi-robot workstation with IRB2600 industrial robot as the control core to realize the virtual construction of assembly and handling production line. SoildWorks software is used to design 3D simulation model and use tools for workstations. Build more robots production line layout, according to the production process flow, explain the process of building dynamic effect and to create I/O signal of robotic system, set up the workstation logic, and then complete the off-line programming procedures to write, realize the virtual simulation of the workstation running, through research on operation result data, find out the optimal speed running robots, The feasibility of the production line is guaranteed. This scheme can provide theoretical basis for practical robot production line design, reduce design cycle and cost, and guide on-site production. It can be used as a reference for the establishment and implementation of similar workstations.

Keywords: Robot Studio; Soildworks; multi-robot; virtual simulation; assembly and handling line

0 引言

随着科技水平的提升, 工业机器人作为科技发展的代表之作, 逐渐出现在我们的视野中, 不仅可以帮助人类减轻体力的消耗, 而且也可使人类从各种恶劣的工作环境中解放出来。现阶段, 工业机器人正在以更加多元化的方式被应用于自动化生产线中, 代替人来完成各种复杂的生产活动^[1-4]。为了判断生产线的可实施性, 减少不必要的损失, 在工业机器人生产线的具体实施前, 通常先借助虚拟仿真软件来对生产线各设备状态进行仿真模拟, 对机器人

的运动路径等进行合理的规划^[5-6]。

文献 [7] 设计了一类机器人分拣工作站, 运用 ABB 的 VirtualController 技术, 将三维实体模型导入至 RobotStudio 中, 搭建自动分拣站的整体布局, 模拟分析整个分拣流程。文献 [8] 介绍了一种利用 SoildWorks 和 RobotStudio 设计与路径仿真的机器人搬运工作站, 完成机器人自动搬运工件的模拟仿真。文献 [9] 使用仿真软件 RobotStudio 对工业机器人的打磨应用进行仿真, 还原了真实工业生产现场, 优化了工业机器人等设备的工作状态。文献 [10] 通过 RobotStudio 软件搭建检测和分拣平台, 实现冲压件自

收稿日期:2021-07-09; 修回日期:2021-09-24。

基金项目:辽宁省自然科学基金重点领域联合开放基金(2020-KF-11-09);沈抚示范区本级科技计划项目(2020JH13);辽宁省中央引导地方科技发展资金(2021JH6/10500137);辽宁省教育厅青年基金(L201907)。

作者简介:刘一鸣(1999-),男,辽宁朝阳人,大学本科,主要从事机器人运动控制、机器人工作站设计方向的研究。

李俊宇(1988-),男,辽宁辽阳人,大学本科,主要从事机器人工作站设计、机器人现场工程方向的研究。

刘业峰(1981-),男,山东淄博人,博士,教授,主要从事智能优化算法及应用、复杂系统建模及优化、智能制造等方向的研究。

通讯作者:李承欣(1993-),男,辽宁辽阳人,大学本科,主要从事工业控制、工业机器人编程与调试方向的研究。

引用格式:刘一鸣,李承欣,李俊宇,等.多机器人工作站控制系统仿真设计研究[J].计算机测量与控制,2021,29(11):100-104,110.

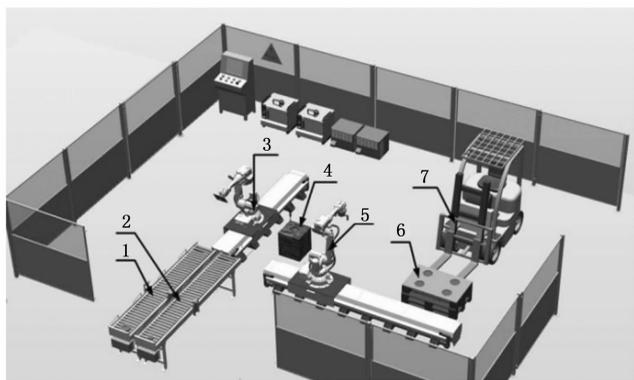
动分拣装置的设计与仿真。以上研究结果分别通过虚拟仿真软件完成工作站的搭建, 将工业机器人应用于不同的生产线中, 实现了工作站的仿真效果设定。然而一类机器人往往不能满足多数自动化生产线实际需求, 将多类机器人协同应用于同一生产线去实现对应的功能已成为自动化生产线的主要发展动向。

依据 RobotStudio 虚拟仿真软件设计一类将装配机器人与搬运作业人应用于同一生产线的工作站, 利用三维建模软件 SolidWorks 创建工作站中所需要的三维仿真模型, 构建多机器人生产线的布局, 其次依据生产线连续运行方式, 创建动态 Smart 组件和仿真运行 I/O 信号, 最后对机器人程序进行离线编程, 实现将多机器人协同作业于同一生产线的工作站的设计。

1 工作站总体方案设计

1.1 工作站布局设计

该工作站的设计主要体现在对两种不同工件的装配再搬运的过程, 大工件直径×高为 200 mm×30 mm, 内嵌有直径×高为 25 mm×20 mm 的圆形卡槽。小工件直径×高为 25 mm×35 mm; 能够完整的装配到大工件的圆形卡槽内。工作站空间布局如图 1 所示。



1. 装配运输带 A 2. 装配运输带 B 3. 装配机器人
4. 装配工作台 5. 搬运机器人 6. 工件托盘 7. 物料小车

图 1 工作站空间布局

1.2 工作站工序流程设计

表 1 工作站工作运行流程

工序	工序对象	工序内容
1	装配运输带 A 启动 装配运输带 B 启动	大工件运输至传送带末端 小工件运输至传送带末端
2	装配机器人启动	装配机器人依次吸取工件至装配台上完成装配
3	搬运机器人启动	搬运机器人将装配完成整体件夹置工件托盘
4	物料小车启动	工件托盘装载完成, 物料小车启动运走托盘

2 工作站仿真系统模型的设计

2.1 工作站三维模型的设计

RobotStudio 具有三维模型导入的功能, 利用三维建模软件 SolidWorks 创建工作站的主要周边设备三维模型, 转为 STP 格式导入至 RobotStudio 中, 完成仿真系统布局的搭建。

2.1.1 装配工作台三维模型的设计

装配工作台为长×宽×高 500 mm×500 mm×580 mm 立方体, 内嵌有直径×高 200 mm×20 mm 的圆形卡槽, 可以恰好放置待装配工件。装配工作台三维模型如图 2 所示。

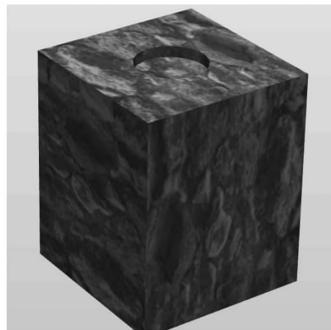


图 2 装配工作台三维模型

2.1.2 工件托盘三维模型的创建

工件托盘为长×宽×高为 1 200 mm×750 mm×35 mm 的方型铁板, 其内嵌有四个直径×高为 200 mm×15 mm 的圆形卡槽, 可以完成四个装配完成整体件的放置装载。工件托盘三维模型如图 3 所示。

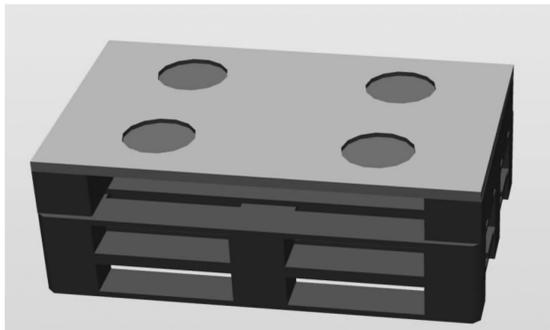


图 3 工件托盘三维模型

2.2 工作站应用工具的设计

该工作站所应用的工具安装于机器人第六轴安装法兰上, 用来实现吸取和抓取的功能。本工作站共创建了 2 种不同的工具, 分别是应用于装配机器人用来吸取大工件以及小工件的吸盘工具。以及应用于搬运机器人夹取装配完成整体件的夹爪。对夹爪三维模型的设计主要由夹爪安装法兰, 左右夹爪三部分构成。该夹爪的三部分通过三维建模软件建模完成之后导入至 RobotStudio 中, 对其进行工具机械装置的创建^[11-12], 首先创建机械装置的链接, 大型夹爪安装法兰、大夹爪_左、大夹爪_右的链接名称分别命

名为 L_1 、 L_2 、 L_3 。将大型夹爪安装法兰设置为 BaseLink。为了实现左右夹爪可活动部件的往复运动，达成夹爪的夹取与松开的动态效果，需创建机械装置的接点，如图 4~5 所示。 L_2 与 L_3 作为子链接，其父链接均为 L_1 。左右夹爪的关节最大限值为 50 mm。



图 4 设置大夹爪_左的接点 图 5 设置大夹爪_右的接点

由于夹爪需要在运动中完成对工件的夹取搬运，需要创建工具数据以方便实现抓取搬运的动作，创建位置选择在大型夹爪安装法兰的中心位置。工具数据创建完成之后，编译机械装置，以用来创建机械装置的姿态。该夹爪的姿态包括原点位置姿态与夹紧姿态。

3 工作站 Smart 组件设计与连接

为实现工作站的仿真动画效果，需在建模选项卡中新增 Smart 组件，该组件主要应用于创建 I/O 信号连接和属性控制的动态组件^[13-21]。

工作站主要实现的动画效果体现在对装配传送带运输过来的大工件以及小工件依次吸取至装配工作台，完成两者的装配过程之后，将装配完成整体件夹取放置到工件托盘上。根据本工区要实现的动画效果，设计并制作了 6 个 Smart 组件 SC_da_conveyer、SC_xiao_conveyer、SC_Sucker_da、SC_Sucker_xiao、SC_Assemble platform、SC_Gripper_assemble worked。分别用来实现对大工件传送带与小工件传送带、大工件与小工件吸取吸盘、装配工作台以及装配完成整体件夹爪的动画效果设计。下面以 SC_Sucker_da 为例说明 Smart 组件的添加及 I/O 信号的添加。

大工件吸取吸盘要实现了对装配传送带 A 传送过来的大工件的吸取与释放的动作。在组件的设计中添加的组件有 Attacher (安装对象) 动作子组件，Detacher (拆除对象) 动作子组件，LineSensor (直线传感器) 传感器子组件，LogicGate [NOT] (逻辑非门) 信号子组件，Queue (队列) 其它子组件。

SC_Sucker_da 中的属性连接共有 3 个，LineSensor 子组件检测到的对象作为 Attacher 子组件的安装对象，At-

tacher 子组件安装的对象作为 Detacher 子组件将要拆除的对象；Detacher 子组件拆除的对象作为进入 Queue 子组件的对象，SC_Sucker_da 属性连接如表 2 所示。

表 2 SC_Sucker_da 属性连接表

源对象	源属性	目标对象	目标属性或信号
Attacher	Child	Detacher	Child
LineSensor	SensedPart	Attacher	Child
Detacher	Child	Queue	Back

动画效果设计难点主要体现在当装配过程完成之后，将装配工作台上刚刚装配完成的大工件与小工件进行删除，并在装配位置生成一个新的装配完成整体件并将新的整体件夹走的过程。文献 [22] 通过在对工业机器人装配工作站装配组件设计中应用吸盘组件与装配组件共同配合，吸盘工具组件输出一个删除工件的信号，而装配组件负责删除、复制重现。实现了对原有工件的删除与创建新的工件的功能，但并没有实现对新生成工件再抓取的过程。在实际 SC_Sucker_da 组件设计过程中，添加两个输入信号 DI_xipan，DI_scda 分别用来作为吸盘功能的启动信号及删除大工件的信号。

当启动信号 DI_xipan 置位为 1，可以使 LineSensor 被激活，当直线传感器与大工件相交时，SensorOut 信号输出为 1 去激活 Attacher 去安装检测到的大工件到吸盘上。Detacher 的输入信号由 DI_xipan 通过 LogicGate [NOT] 相连，只要 DI_xipan 信号从 1 被置位为 0，Detacher 的 Execute 置 1，Detacher 被激活，拆除 Attacher 刚刚安装的对象，将 Detacher 的拆除完成信号给到 Queue 的 Enqueue 信号，用来完成将拆除的对象添加到队列中，为实现后续 DI_scda 信号控制的大工件删除动画做准备。SC_Sucker_da 各子组件之间的信号连接如表 3 所示。

表 3 SC_Sucker_da 信号连接表

源对象	源信号	目标对象	目标信号或属性
SC_Sucker_da	DI_xipan	LogicGate[NOT]	InputA
LogicGate[NOT]	Output	Detacher	Execute
SC_Sucker_da	DI_xipan	LineSensor	Active
LineSensor	SensorOut	Attacher	Execute
Detacher	Executed	Queue	Enqueue
SC_Sucker_da	DI_scda	Queue	Delete

4 机器人控制系统设计与编程

根据工作站要实现的具体任务，需要分别创建装配机器人系统及搬运机器人系统，下面对两个机器人系统进行 I/O 信号配置及地址分配，完成工作站整体逻辑设定；并对搬运机器人的离线编程程序进行说明。

4.1 机器人系统的 I/O 信号配置及地址分配

4.1.1 装配机器人系统 I/O 信号配置及地址分配

装配机器人系统一共设置 3 个输入信号和 4 个输出信

号, 输入信号分别用于大工件到位准备就绪, 小工件到位准备就绪以及再一次启动装配机器人执行装配程序的信号连接; 输出信号分别用于控制装配传送带 A 启动, 控制装配传送带 B 启动, 吸取大工件, 吸取小工件的信号连接。装配机器人系统 I/O 信号的参数如表 4 所示。

表 4 装配机器人系统 I/O 信号参数表

信号名称	信号类型	信号地址
di_cnv1_dw	Digital Input	0
di_cnv2_dw	Digital Input	1
di_xipan_again	Digital Input	2
do_cnv1	Digital Output	0
do_cnv2	Digital Output	1
do_attacher_da	Digital Output	2
do_attacher_xiao	Digital Output	3

4.1.2 搬运机器人系统 I/O 信号配置及地址分配

搬运机器人系统一共设置输入信号 1 个, 输出信号 1 个。输入信号用于启动搬运机器人系统, 输出信号用于夹取装配完成整体件。搬运机器人系统 I/O 信号的参数如表 5 所示。

表 5 搬运机器人系统 I/O 信号参数表

信号名称	信号类型	信号地址
di_YX	Digital Input	0
do_JZ	Digital Output	32

4.2 工作站整体逻辑设定

对装配机器人与搬运机器人系统与创建的 Smart 组件进行 I/O 逻辑连接, 即实现工作站整体逻辑设定。首先是装配机器人系统 System1 发送信号 do_cnv1 与 do_cnv2 给到 SC_da_conveyer 与 SC_xiao_conveyer 中, 进行装配传送带 A 与装配传送带 B 的启动, 当传送带上的传感器检测到运输工件时, 分别发送 Do_cnv1_dw 与 Do_cnv2_dw 给到装配机器人系统 System1。装配机器人系统 System1 发出的输出信号 do_attacher_da 与 do_attacher_xiao 分别给到 SC_Sucker_da 与 SC_Sucker_xiao 中, 去执行对大工件以及小工件的吸取。当 SC_Assembleplatform 的输出信号 DO_yunxing 给到搬运机器人系统 System2 使搬运机器人执行搬运工作; 搬运机器人系统 System2 的输出信号 do_JZ 给到 SC_Gripper_assembleworked 组件中, 去执行夹爪夹取的工作。工作站 I/O 信号逻辑如表 6 所示。

4.3 搬运机器人系统离线程序编程

搬运机器人系统实现的程序为在装配台位置夹取装配完成整体件放置到工件托盘, 直至工件托盘装载完成; 搬运机器人系统的部分程序如下所示:

```
PROCmain( )
rInitAll; ! 初始化设备状态,用于复位数据
WHILETRUEDO ! 机器人进行循环重复动作
WaitDiIdi_YX,1; ! 等待执行搬运机器人程序信号到位
```

表 6 工作站 I/O 信号逻辑关系

源对象	源信号	目标对象	目标信号或属性
System1	do_cnv1	SC_da_conveyer	DI_cnv1_start
SC_da_conveyer	Do_cnv1_dw	System1	di_cnv1_dw
System1	do_cnv2	SC_xiao_conveyer	DI_cnv2_start
SC_xiao_conveyer	Do_cnv2_dw	System1	di_cnv2_dw
System1	do_attacher_da	SC_Sucker_da	DI_xipan
System1	do_attacher_xiao	SC_Sucker_xiao	DI_xipan2
SC_Assembleplatform	DO_yunxing	System2	di_YX
System2	do_JZ	SC_Gripper_assemble worked	DI_JZ

```
rPick; ! 调用抓取子程序
rPut; ! 调用放置子程序
MoveLPhome,v2000,fine,JiaZhua\WObj:=wobj0;
ENDWHILE
ENDPROC
PROCrInitAll( )
MoveJPhome,v5000,fine,JiaZhua\WObj:=wobj0;
ResetDO_yunxing; ! 复位启动搬运机器人信号
ResetDO_shanchu; ! 复位删除工件信号;
Resetdo_JZ; ! 复位夹爪夹取信号
ENDPROC
```

5 仿真运行结果分析

由于工作站中搬运机器人的工作对象是装配完成整体工件, 结合现实搬运工作任务考虑搬运机器人在搬运任务中要保持一定的稳定性。笔者通过在工作站中的大量仿真得出机器人搬运稳定性主要的影响因素为搬运机器人的 TCP 速度。在仿真的过程中, 可以通过 RobotStudio 软件中的信号分析器功能对自动生成的仿真数据进行实验分析, 本文设定 1 000 mm/s, 1 500 mm/s, 2 000 mm/s, 2 500 mm/s 共四组 TCP 速度。通过观察机器人在不同 TCP 速度下搬运工作时的速度轨迹来分析判定处在哪一种速度条件下机器人搬运更加稳定。由于搬运作业内容具有一定的重复性且为了更好的观察 TCP 速度轨迹, 仿真运行后的速度轨迹曲线只体现搬运一个装配完成整体件过程。图 6 为不同 TCP 速度下的搬运机器人速度轨迹曲线。

通过比较搬运机器人不同的 TCP 速度下速度轨迹曲线可以看出, 降低机器人的 TCP 速度虽然会导致机器人搬运作业时间增加, 但增加的时间并不多, TCP 速度为 1 000 mm/s 与 2 500 mm/s 的搬运作业时间相比也仅多了 4.1 s。但 TCP 速度得到降低以后, 可以明显的看出其速度轨迹曲线更加平滑, 速度剧烈变化的情况也得到了缓解, 这也意味着机器人在工作的过程中更加柔顺, 不会出现明显的抖动, 可以保证装配完成工件的顺利搬运。通过以上分析, 最终确定将 1 000 mm/s 作为本工作站搬运机器人的 TCP 速

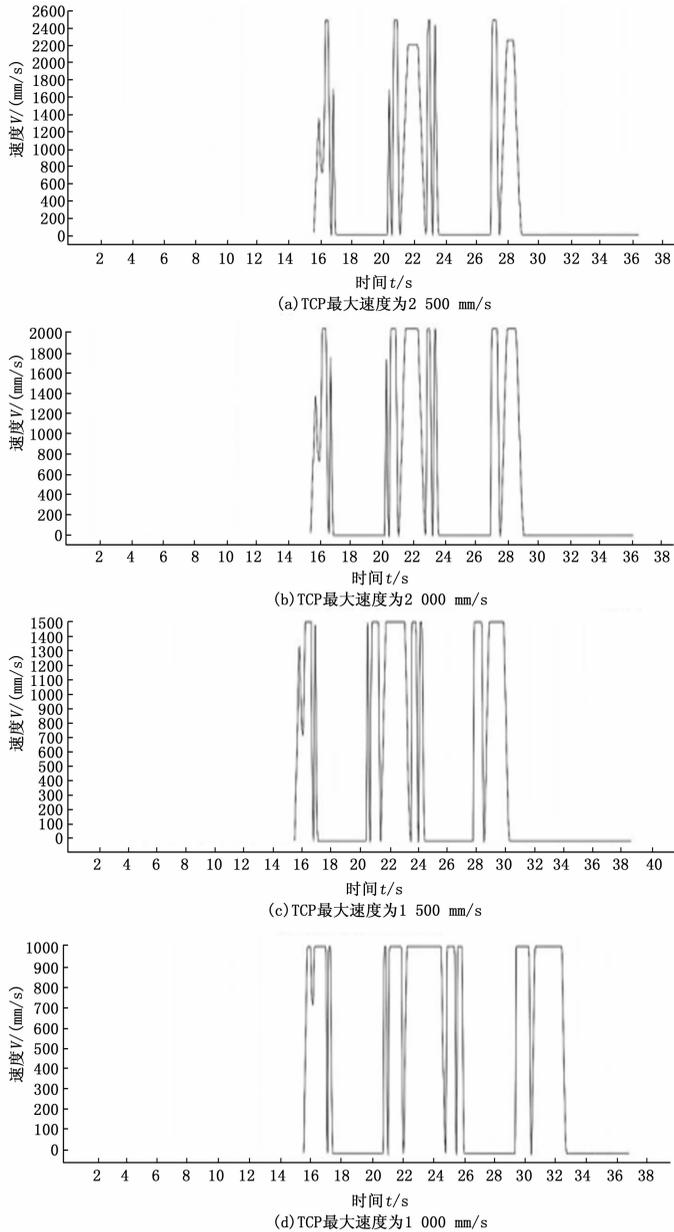


图 6 搬运机器人 TCP 速度轨迹曲线

度更加合理, 工作站仿真结果为搬运机器人装载完成四个包装整体件, 完成整个周期所需要的时间为 97.2 s。装载完成的工件托盘如图 7 所示。

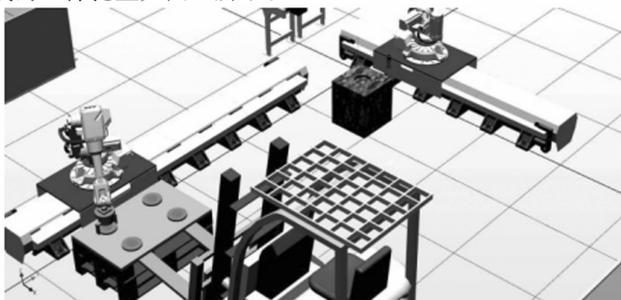


图 7 仿真运行结果

6 结束语

本文提出了一种基于 RobotStudio 仿真软件的多机器人装配搬运生产线的虚拟设计方案, 通过 SolidWorks 软件设计了工作站所涉及的三维仿真模型, 构建工作站的总体布局。通过 Smart 组件实现了工作站的动画效果, 并通过对机器人 I/O 信号的配置, 实现了各 Smart 组件与对应机器人系统的信号连接。按照搬运要求编写离线程序, 对生产线进行模拟仿真, 通过对系统参数的实时改变, 对搬运机器人的速度轨迹曲线进行研究, 确定搬运机器人在最优速度下实现了最终装配过程。为实际生产线的设计与实施提供理论依据, 指导现实生产线的调试与优化过程。

参考文献:

- [1] 叶 晖. 工业机器人典型应用案例精析 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [2] 王 浩. 工业机器人技术的发展与应用综述 [J]. 中国新技术新产品, 2018 (3): 109-110.
- [3] 王海霞, 李志宏, 吴清锋. 机器人在制造业中的应用和发展 [J]. 机电工程技术, 2015, 44 (10): 112-114.
- [4] 左培良, 邓先智, 梁春光. 工业机器人的自动化生产线组建技术 [J]. 中国设备工程, 2019 (7): 135-137.
- [5] 叶 晖, 何智勇, 杨 薇. 工业机器人工程应用虚拟仿真教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [6] 赵 卿. 对工业机器人生产线虚拟仿真教学的探究 [J]. 职业, 2019 (16): 86-88.
- [7] 孙立新, 高菲菲, 王传龙, 等. 基于 RobotStudio 的机器人分拣工作站仿真设计 [J]. 机床与液压, 2019, 47 (21): 29-33.
- [8] 肖 全, 鞠全勇. 基于 RobotStudio 的机器人搬运工作站设计与路径仿真 [J]. 机电技术, 2020 (4): 33-36.
- [9] 李 慧. 基于 RobotStudio 的工业机器人打磨应用设计与仿真 [J]. 机械工程与自动化, 2020 (2): 42-44.
- [10] 许国强. 基于 RobotStudio 的冲压件自动分拣装置的设计与仿真 [J]. 化学工程与装备, 2021 (5): 149-152.
- [11] 刘海燕, 苏 宇, 林春兰, 等. 基于 RobotStudio 的生产线物料系统设计与仿真 [J]. 制造技术与机床, 2019 (5): 67-71.
- [12] 王曦鸣. 基于 Robotstudio 的巧克力装盒生产线仿真 [J]. 包装与食品机械, 2020, 38 (5): 55-59.
- [13] 郝建豹, 黄世光, 李进阳, 等. 基于多机器人的不锈钢盆生产线仿真设计 [J]. 机械研究与应用, 2021, 34 (2): 200-203.
- [14] 颜 玮. 基于 Robotstudio 的柔性智生产线的仿真教学平台的构建 [J]. 现代制造技术与装备, 2019 (9): 215-217.
- [15] 刘海龙, 杨 利, 吴海波. 基于多工业机器人及变位机的自动焊接系统设计与仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2021 (9): 245-249.
- [16] 陈 磊, 罗国虎, 王艳芳. 基于机器人 IRB2600 智能分拣工作站系统设计研究 [J]. 电工技术, 2020 (24): 56-58.

(下转第 110 页)