

# 基于 Smart 组件的工业机器人给料产线仿真设计

樊琛<sup>1a,1b</sup>, 李濛<sup>1a</sup>, 颜远远<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 a. 城市学院机械工程系; b. 机器人与智能制造陕西省高校工程研究中心, 陕西 西安 710018;  
2. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:**工业机器人离线编程技术可以基于模型快速生成机器人轨迹规划程序,并对机器人与产线的工作站进行布局与验证,对运行过程进行仿真与调试,已成为工业机器人应用领域不可或缺的软件工具。基于工业机器人机床上、下料的工作环境和仿真需求,研究设计工作站整体布局并进行充分论证;对动态夹具进行工具导入与创建;运用 Smart 组件创建输送装置与机床运动;对工作站进行逻辑设定与编程调试,得到满足需求的工业机器人机床给料工作站仿真系统。

**关键词:** Smart 组件;工业机器人;给料工作站;程序设计仿真

**中图分类号:** TP242.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2022)06-0115-04

## Simulation Design of Industrial Robot Feeding Production Line Based on Smart Components

FAN Chen<sup>1a,1b</sup>, LI Meng<sup>1a</sup>, YAN Yuanyuan<sup>2</sup>

(1. a. Department of Mechanical Engineering of City College; b. Engineering Research Center of Robot and Intelligent Manufacturing of Shaanxi Province, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710018, China;  
2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Offline programming technology of industrial robot can quickly generate robot trajectory planning program based on model, and carry out layout and verification of robot and workstation of production line, simulation and debugging of running process, which has become an indispensable software tool in the application field of industrial robot. Based on the industrial robot machine working environment and simulation requirements, the overall layout of workstations is designed and fully demonstrated. Import and create tools for dynamic fixture; Using Smart components to create conveyor and machine movement; Finally, the logic setting and programming debugging of the workstation are carried out, and the simulation system of industrial robot machine tool feeding workstation is obtained.

**Keywords:** Smart components; industrial robot; feeding station; programming simulation

## 0 引言

随着机器人技术的不断发展,工业机器人已被广泛应用在我国的制造业中,其中更是以搬运机器人的使用最为广泛<sup>[1]</sup>。但在实际应用中,搬运机器人的路径设计大多依赖经验,较少进行路径的分析比较,难以得到较优的机器人运动路径来提高机器人工作效率<sup>[2]</sup>。因此虚拟仿真技术成为机器人+生产线路径规划的应用已成趋势。RobotStudio 软件是 ABB 公司专门开发的工业机器人离线编程软件,具有 CAD 模型导入、离线编程、碰撞测试、仿真调试、路径自动规划等功能<sup>[3]</sup>。使用机器人仿真软件进行离线编程与动态仿真,模拟机器人运行状态并实时显示,反映潜在的问题,且不占用或消耗任何实际资源如机床设备、加工物料等,从而更合理地配置规划生产资源、降低设计成本、提高设计效率<sup>[4]</sup>。

本次研究主要基于工业机器人机床上下料的工作环

境和仿真需求展开。首先,对机器人给料产线进行分析,设计整体布局,使用 RobotStudio 软件对机床、夹具等建模,建立工业机器人上下料工作站。然后,设计机器人给料产线结构与组成并建模,将模型导入到工作站中。另外,设计机器人给料产线工艺流程,调用 Smart 组件,配置 I/O 端口,进行 I/O 信号的逻辑连接,编写程序以完成动态仿真工作<sup>[5]</sup>。最后,对机器人给料产线进行仿真与调试,检查运行结构是否达到指定目标,对出现的问题给予优化与调整,最终提出机器人与给料产线配合完成上下料解决方法。

## 1 机器人给料产线的整体设计

本文机器人给料产线仿真工作站缘于对 35 m<sup>2</sup> 老旧实验室改造项目。该实验室长为 7 m, 宽为 5 m。该工作站由工业机器人手臂、上下料输送链、数控机床和可编程控制器构成<sup>[6]</sup>。工作站以 PLC 为控制核心,将机器人手臂、数控机床等装置进行通信连接与管理,实现了机器人与其他设备的协同工作,完成上下料产线仿真。工作站布

**基金项目:** 2020 年陕西省教育厅科研专项(自然科学类)(20JK0740);西安交通大学城市学院 2019 年度课题项目(2019Y01)

**第一作者简介:** 樊琛(1983—),女,副教授,博士研究生,研究方向为生机电一体化与智能机器人。

局如图 1 所示。

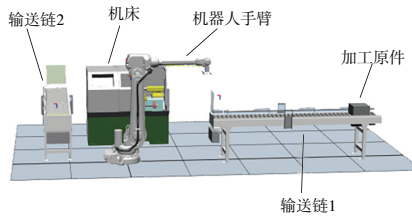


图 1 上下料工作站流程图

送料装置将待加工工件毛胚料输送至输送链 1 的左端,机器人运动到上料位置吸住加工件毛胚料后到达数控机床床门前,机床防护门打开,将加工件毛胚料放到指定加工地点后退出机床加工区域,机器人手臂停在机床防护门外等待加工件完毕后,机床防护门打开,机器人手臂将加工件取出后放到左侧输送链 2,将加工件运输到末端,由末端的传感器进行送出处理,机器人返回进行第二次上下料。

## 2 机器人给料产线设计

### 2.1 机器人给料产线工作流程

启动程序,机器人手臂回到初始化位置,上料传动带传送毛胚,机械手对准毛胚,下降夹起,转到机床方向;传感器感知信号,由程序驱动机床门打开,机械手将毛胚放于机床内,机床门关闭,主轴转动进行加工;加工结束,机床门再次打开,机械手将已加工好的零件取出,转向下料成品零件传动带,下降放置带上,同时,机床门再次关闭。整个给料过程结束后,所有设备复位,为下一次操作做好准备,该工作流程如图 2 所示。

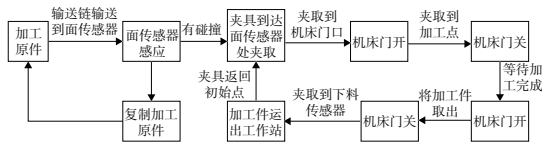


图 2 给料产线流程图

### 2.2 非标件建模

#### 1) 机床零件建模与组装

机床在工作站中负责加工毛胚物料,是工作站中必不可少的设备。但在 RobotStudio 中没有可供选择导入的机床,因此需通过 SolidWorks 根据实际模型进行建模。首先,建立标准零件的图形库,运用 SolidWorks 提供的基于特征实体的建模功能,设计标准零件的三维模型,并按其形状、尺寸分别建立参数化模型库。根据具体的设计需要,对模型库零件的形状和尺寸参数做出相应的修改,可以获得所需标准件三维实体模型,如图 3 所示。

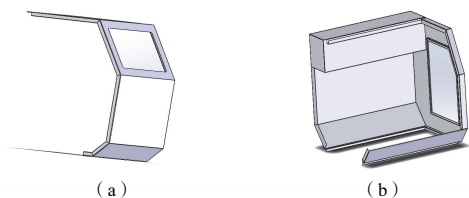


图 3 机床三维建模图

将标准件与非标准件导入装配体中,然后根据图样对零件进行组装,最后组合成为机床的装配体。装配体效果如图 4 所示。

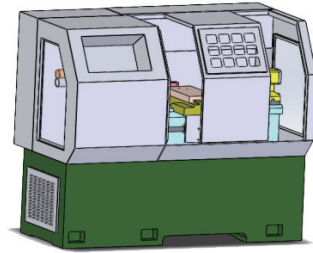


图 4 机床装配图

#### 2) 夹具的建模

该工作站在上下料时采用真空吸盘式夹具搬运物料。真空吸盘主要针对材质易碎、柔软或体型不规则等难以夹起的物料,如薄壁曲面的物件等<sup>[7]</sup>。本次仿真加工件尺寸为 300 mm×300 mm×200 mm 的毛坯料。使用 SolidWorks 软件进行建模,模型如图 5 所示。

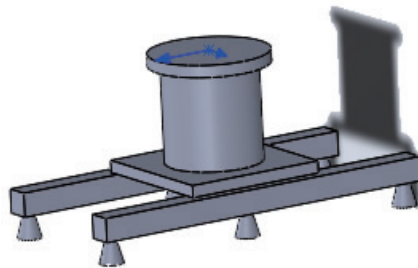


图 5 吸盘式夹具模型图

### 2.3 机器人及其他模型导入

在打好非标件模型后,将非标与标准模型导入工作站中。首先,打开 RobotStudio 软件,从“ABB 模型库”中选取 IRB 4600 型机器人,导入至工作站中心位置。将制作的夹具模型导入 RobotStudio 软件中,并改变为工具,将创建好的夹具导入工作站中,选择安装到 IRB 4600。导入机床门模型与机床装配体模型,使用创建机械装置功能来实现机床开关门的操作<sup>[8]</sup>。从软件的“ABB 模型库”中选择 Conveyor guide 400 型号传送带,然后根据机器人工作范围选定上料传送带和下料传送带位置,并在上料传送带末端添加一个毛胚料作为机床加工原料,传送带位置示意图如图 6 所示。

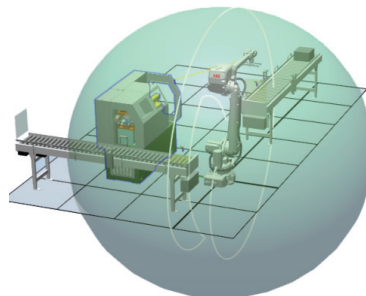


图 6 传送带放置示意图

### 3 Smart 组件与程序设计

#### 3.1 工作站 Smart 组件建立

##### 1) 夹具 Smart 组件

进行夹具的 Smart 组件建立,首先选择“Attacher”将物体连接使其一起行动以达到夹取目的,选择“Detacher”将连接拆除以达到松开物体的作用,选择“LineSensor”来检测物体之间是否有体积碰撞来实现链接物体的作用,最后选择“LogicGate [ NOT ]”来实现数字信号的逻辑运算<sup>[9]</sup>。对夹具添加传感器,来检测是否有物体存在,添加位置如图 7 所示。然后进行逻辑连接。

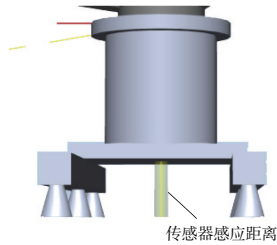


图 7 夹具传感器

##### 2) 机床 Smart 组件

创建名为“机床”的 Smart 组件,为到达自定义的位

姿,添加两个“PoseMover”,然后将开门与关门时的位姿分别添加至两个组件中,选择“LogicGate [ NOT ]”实现数字信号的逻辑运算。对 Smart 组件进行逻辑连接时,首先选择输入信号 DI\_KGM1 来控制开关门的输入信号,在输出端选择输出信号 DO\_KMOK1 来控制开门动作,最后在输出端选择输出信号 DO\_GMOK1 来控制关门动作,控制流程如图 8 所示,然后进行逻辑连接。

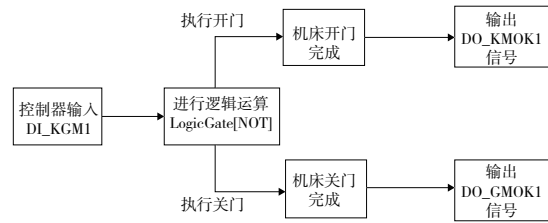


图 8 车床控制流程图

##### 3) 上料输送链 Smart 组件

创建名为“输送链 1”的 Smart 组件,首先选择“Source”创建指定图形的拷贝,来实现加工件的产生;再添加“LinearMover”移动目标对象,来保证运输带的传输功能;选择“Queue”表示对象的队列,来控制传输的运输方向和运输速度,然后选择“PlaneSensor”建立传感器的平面;最后选择“LogicGate [ NOT ]”实现数字信号的逻辑运算。对上料输送链 I/O 信号连接解释如表 1 所示。

表 1 上料输送链 I/O 信号

源对象	源信号	目标对象	目标信号或属性	含义
Source	Executed	Queue	Enqueue	复制原件
PlaneSensor	SensorOut	Queue	Dequeue	面传感器检测到物体,触发并退出 Queue
PlaneSensor	SensorOut	输送链 1	DO_Daowei	当加工件到达面传感器时发输出 DO_Daowei
PlaneSensor	SensorOut	LinearMover_2[ NOT ]	InputA	当加工件输送到面传感器位置时进行检测
输送链 1	DI_State	Source	Execute	发出开始仿真对的信号
LinearMover_2[ NOT ]	Output	Source	Execute	逻辑非门与

##### 4) 下料输送链 Smart 组件

创建名为“输送链 2”的 Smart 组件,选择两个“PlaneSensor”建立两个传感器的平面,分别建立在加工件放置位置以及传送带末端;再添加“LinearMover”移动目标对象,实现加工件在输送带上移动;然后选择“Queue”表示对象的队列,控制传输的运输方向<sup>[10]</sup>。对 Smart 组件进行逻辑连接,由于这一过程只有传感器参与使用,所以无需输出端与输入端,直接进行逻辑连接<sup>[11]</sup>。

#### 3.2 给料系统 I/O 信号的连接

将 Smart 组件导入工作站逻辑中,将 I/O 信号添加至控制器中,进行整体给料产线的逻辑连接。首先发出 DO\_start 信号,输送链 1 接收到信号执行传输加工件,当加工件到达传感器位置后输出 DO\_Daowei 信号传送至传感器,传感器输出 DO\_XIPAN 信号,吸盘接收到夹取信号夹取加工件。在运输过程中传感器发送 DO\_KGM1 信号控

制机床的开关,根据输出 DO\_KGOK1 和 DO\_GMOK1 指令控制机床的开关门信号,机器人给料产线的 I/O 信号参考表 2。

表 2 机器人给料产线 I/O 信号

输入信号	信号说明	输出信号	信号说明
DI_start	开始信号	DO_start	到达初始位置
DI_Daowei	等待物件到位	DO_Daowei	到达传感器位置
DI_KGM1	执行开关门	DO_KGM1	等待开关门指令
DI_XIPAN	夹具夹取指令	DO_XIPAN	夹具夹取完成
DI_GMOK1	机床关门	DO_GMOK1	关门完成
DI_KGOK1	机床开门	DO_KMOK1	开门完成

#### 3.3 机器人给料程序设计

##### a) 路径点的选择

通过示教器程序数据中的 robtarger 来确定路径点目标,

包括初始目标点 Jpos10、夹取处目标点 p10、机床前等待处目标点 p20、机床加工处目标点 p30 及下料处目标点 p40。

#### b) 给料程序编写

给料程序包括初始化模块、上料模块、机床门动作模块、下料模块。

1) 初始化程序包括设定初始输出的指令和工作站初始状态。选择 MainModule 程序模块中的 chushihua() 模块编写工作站初始状态的程序。初始状态时控制器输出 DO\_KGM1 与 DO\_XIPAN 信号来控制初始状态时的机床位姿与夹具夹取状态, 设定初始目标点 jpos10, 编写运动控制、加速度控制以及速度控制。

2) 工作站上料程序的编写按以下流程: 首先需要等待初始信号发出后, 加工件开始传送, 到达上料传送带传感器处, 即目标点 p10; 传感器输出 DO\_Daowei 信号, 控制器收到信号后, 机器人手臂到达加工件所处 p10 目标点处, 然后控制器输出信号 DO\_XIPAN, 吸盘夹具将加工件吸住, 将加工件夹取到机床门前 p20 目标点处, 在吸盘夹具运输到 p20 目标点处时, 控制器输入开门信号。

3) 工作站机床门动作程序的编写流程为: 等到上料程序完成, 机器人到达 p20 目标点后, 在机床门打开后等待一段时间再将加工件放入指定加工点, 即目标点 p30, 控制器输出 DO\_XIPAN 指令放下加工件, 返回 p20 目标点, 等待加工完毕, 然后开门, 机器人返回 p30 目标点, 将加工件夹取出再次返回到 p20 目标点。

4) 工作站下料程序的编写流程为: 等待机器人手臂到达 p20 后, 控制器输出 DO\_KGM1 信号控制机床门关闭, 机器人手臂将加工件放置到目标点 p40, 控制器输出 DO\_XIPAN 指令放下加工件, 传感器控制使加工件运出工作站; 之后先将机器人手臂返回 p20 目标点处, 再返回初始目标点 jpos10, 程序结束。最后通过初始指令中的 WHILE 循环, 来进行下一次给料。

## 4 仿真与调试

### 4.1 机器人给料产线仿真

机器人程序通过调用不同功能的子程序控制其完成相应的动作, 主要包括初始化程序、拾取放置程序、载荷测定服务例行程序等, 同时为防止 CPU 超负荷还需编制循环检测等待程序, 编写的机器人程序可同步至实际生产中。上料过程仿真结果如图 9 所示。

### 4.2 结果调试与分析

在仿真调试过程中出现机器人手臂中途停止动作以及夹具无法夹取物料的问题。经过程序分析与排查, 通过优化机器人运输路径及扩大夹具传感器范围的方法解决了上述问题。实现了基于 Smart 组件的机器人给料产线工作站的设计与仿真, 完成了机器人与机床配合完成从输送物料、上料、加工等待、下料到下级输送的整个仿真过程。

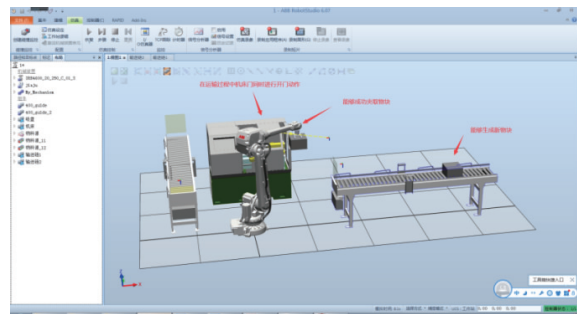


图9 上料仿真图

## 5 结语

本文介绍了机器人给料产线的设计方案, 根据加工实例的要求, 构建了仿真生产线的布局, 实现了 ABB 机器人自动上下料、搬运的路径规划, 离线编程和仿真调试。为生产线设计提供了可行性的依据, 将大大缩短生产线的设计制造、调试周期, 节约成本, 对深入研究和应用机器人离线仿真技术起到一定作用。

#### 参考文献:

- [1] 高茂源, 王好臣, 丛志文, 等. 基于 RobotStudio 的机器人上下料工作站仿真分析与优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(8): 60-63.
- [2] 任瑜, 张丰, 郭志敏, 等. 一种通用的工业机器人位姿检测方法[J]. 计量学报, 2018, 39(5): 615-621.
- [3] 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, 43(4): 33-36, 58.
- [4] 李鹏, 顾立志, 李辉, 等. 基于 Robotstudio 的码垛机器人工作站构建的仿真研究[J]. 内燃机与配件, 2019(18): 252-253.
- [5] 程丙南, 郭俊, 梅志松, 等. 基于 RobotStudio 的机器人分类码垛工作站设计[J]. 淮阴工学院学报, 2020, 29(5): 27-31.
- [6] 陆叶. 基于 RobotStudio 的机器人柔性制造生产线的仿真设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(6): 157-160.
- [7] 张永贵, 陈富久. 基于 Robotics Toolbox 的工业机器人螺旋轨迹研究[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(4): 150-153.
- [8] 王功亮, 王好臣, 李振雨, 等. 基于 RobotStudio 的码垛机器人智能工作站仿真研究[J]. 机电工程, 2017, 34(11): 1359-1362.
- [9] 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.
- [10] PENG L. Research on staggered stacking pattern algorithm for port stacking robot [J]. Journal of Coastal Research, 2020, 115(Suppl.1): 199.
- [11] 李柯, 祁宇明, 邓三鹏. 基于 RobotStudio 的工业机器人自动茶水间工作站的虚拟仿真设计[J]. 装备制造技术, 2017(8): 6-8.

收稿日期: 2021-11-17