

工业机器人复杂轨迹编程的仿真与实操研究

潘莹

深圳城市职业学院, 广东 深圳 518060

DOI: 10.61369/ETR.2025280009

摘 要 : 随着工业自动化的不断进步, 工业机器人在执行复杂轨迹任务中扮演着越来越关键的角色。本文旨在通过虚实融合技术提升工业机器人编程的效率与操作的安全性。我们结合了仿真软件 RobotStudio 与实际操作, 深入研究了机器人轨迹规划的方法, 并实现了从仿真到实操的无缝对接。研究结果表明, 我们提出的虚实融合编程方法能显著提高编程效率, 降低实际操作中的安全风险, 并增强轨迹执行的精度。本文不仅为工业机器人轨迹编程提供了新的视角和方法, 而且对提升工业生产线的自动化水平具有重要的实际意义。

关 键 词 : 工业机器人; 复杂轨迹; 虚实融合

Research on Simulation and Practical Operation of Complex Trajectory Programming for Industrial Robots

Pan Ying

Shenzhen City Polytechnic, Shenzhen, Guangdong 518060

Abstract : With the continuous advancement of industrial automation, industrial robots are playing an increasingly critical role in performing complex trajectory tasks. This paper aims to improve the efficiency of industrial robot programming and operational safety through virtual-real integration technology. By combining the simulation software RobotStudio with actual operations, we conducted in-depth research on robot trajectory planning methods and achieved seamless integration from simulation to practical operation. The research results show that the proposed virtual-real integration programming method can significantly improve programming efficiency, reduce safety risks in actual operations, and enhance the accuracy of trajectory execution. This paper not only provides new perspectives and methods for industrial robot trajectory programming but also has important practical significance for improving the automation level of industrial production lines.

Keywords : industrial robots; complex trajectories; virtual-real integration

引言

在当今的制造业中, 工业机器人因其高效的工作能力和精确的重复性, 在焊接、装配、喷涂等多个领域发挥着至关重要的作用。这些机器人的应用不仅极大提升了生产效率, 还显著提高了产品质量。然而, 随着生产需求的日益复杂化, 传统的示教编程方法已无法满足市场对高精度和高效率的双重需求。此外, 实际操作中的安全风险和高昂的试错成本也促使我们必须寻求更为先进的编程技术。因此, 本文聚焦于工业机器人复杂轨迹的编程方法, 特别是虚实融合技术的应用, 旨在提升机器人的应用水平和降低操作风险。

一、仿真环境搭建

(一) ABB 机器人仿真软件 RobotStudio 的介绍

在 ABB 公司的创新驱动下, RobotStudio 软件应运而生, 它是一款专为 ABB 机器人设计的离线编程工具。该软件以其卓越的模拟能力, 能够精确再现真实的机器人运行环境, 使得用户可以根据具体的生产需求进行系统的构建、程序的示教编写以及调试验证。RobotStudio 的强大之处不仅在于其仿真功能, 还在于其对多种二次开发工具的支持, 这极大地促进了软件间的协同工作与数据互通, 从而显著提升了系统的扩展性。^[1]

(二) 实训平台的构建及作业流程

RobotStudio 内置了 ABB 机器人的全系列模型及多种工具模型, 用户可以轻松调用这些模型以适应不同的应用场景。软件的三维建模功能允许用户自行创建模型, 进一步增强了其灵活性。本文中, 我们采用了在 SolidWorks 中建立模型, 随后导入至 RobotStudio 的方法来构建机器人实训平台。如图 1 所示, 本文建立的工业机器人实训平台涵盖了机器人本体、实训台、输送带、工具快换装置、立体仓库、工作台、视觉识别系统、装配台等多个组成部分。这些组件共同构成了一个完整的实训环境, 为机器人的操作提供了丰富的应用场景。

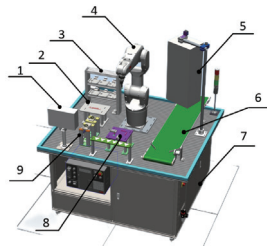


图1 工业机器人实训平台

作业流程始于机器人移动至工具快换夹，装载写字画笔工具。装载完成后，机器人将移动至工业机器人写字工作台，并在工作台上精确描绘出“工业机器人”字样。任务完成后，机器人将画笔归位，并返回至机械原点待机，准备下一次任务的执行。机器人描绘字样的过程如图2所示。^[2]



图2 工业机器人仿真对象

三、仿真程序编写及调试

(一) 工件与工具坐标创建

在 RobotStudio 基本命令组的其他下找到创建工件坐标，选择用户坐标框架下的取点创建，在工作台上依次确定 X、X1、Y1 的位置后创建工件坐标。工件坐标创建如图3所示。将工件坐标命名为 wobj1。

工具数据 tooldata 用于描述安装在机器人第六轴上工具的中心点，即工具中心点（ToolCenterPoint，TCP）、质量、重心等参数数据。不同的机器人应用配置不同的工具。命令组的其他下工具数据 tooldata 的创建工具坐标，将工具坐标命名为 tool1。



图3 工件坐标创建

(二) 自动路径创建例行程序

创建好工件坐标和工具坐标后，在建模中抽取所有文字的表面对象，回到基本菜单中选择其中一条闭合的曲线，采用自动路径的方法生成该曲线的轨迹。在自动路径界面，选择合适的参照面，设置合适的公差、程序运行速度、转弯半径、工具坐标及工件坐标，点击创建，自动生成路径。每次自动路径只能识别出一段闭合的曲线，重复以上操作步骤，将工作站中的轨迹逐个识别出来。^[3]

(三) 目标点调整及程序优化

1. 目标点调整

为保证机器人轨迹运行时能够精准到达各个点且姿态美观，需要先对单一目标点进行调整，反复尝试调整完成后，其他目标点可以用对准目标点方向的命令与调整好的第一个目标点进行方向对准。^[4]

2. 程序优化

自动路径只能实现一个封闭的轨迹曲线的创建。一个完整的轨迹程序，还需要设置机器人的机械原点、安全点及轨迹的起始和结束的提高点等。创建主程序 Main，分别调用工业机器人字样的轨迹路径实现轨迹的连续运行。程序架构如下：

```
PROCmain()
    MoveAbsJJointTarget_1,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;//
    机器人机械原点
    gong;
    .....
    ren;
    MoveAbsJJointTarget_1,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;//
    机器人机械原点
    ENDPROC
    PROCgong()
        MoveJoffs(Target_10,0,0,300),v200,z0,tool1\
        WObj:=wobj1;// 轨迹起始安全点
        MoveLoffs(Target_10,0,0,50),v200,z0,tool1\
        WObj:=wobj1;// 轨迹起始抬高点
        MoveLTarget_10,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;
        .....
        MoveLTarget_130,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;
        MoveLoffs(Target_10,0,0,50),v200,z0,tool1\
        WObj:=wobj1;// 轨迹结束抬高点
        ENDPROC
        .....
        PROCren()
            MoveLoffs(Target_1510,0,0,50),v200,z0,tool1\
            WObj:=wobj1;// 轨迹起始抬高点
            MoveLTarget_1510,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;
            .....
            MoveLTarget_1700,v200,z0,tool1\WObj:=wobj1;
            MoveLoffs(Target_1700,0,0,50),v200,z0,tool1\
            WObj:=wobj1;// 轨迹结束抬高点
            MoveJoffs(Target_1700,0,0,300),v200,z0,tool1\
            WObj:=wobj1;// 轨迹结束安全点
            ENDPROC
        ENDMODULE
```

(四) 仿真调试

自动路径的方法所创建的轨迹路径存储在工作站内，并没有与机器人编程语言 RAPID 代码匹配，因此在仿真执行前需要进行同步，将工作站对象与 RAPID 代码匹配。同步后在仿真设定命令下设置进入点为 Main，保证仿真程序是从主程序开始执行，实现轨迹的连续运行，仿真调试如图4所示。^[5]

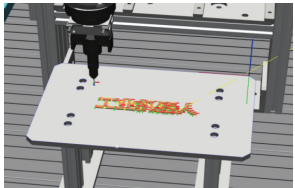


图4 写字工作站的仿真调试

四、上机实操

（一）仿真程序导入

在 RobotStudio 中进行仿真调试，确保程序运行无误后，在程序模块 Module1 上单击鼠标右键，将程序模块 Module1 保存到 U 盘上。将 U 盘插入 ABB 机器人示教器的 USB 接口上，打开程序编辑器，点击模块，在文件中点击加载模块，找到 U 盘中的程序模块 Module1 将仿真调试完成的程序加载到示教器中，如图 5 所示。^[6]



图5 仿真程序导入

（二）示教器中创建工件坐标、工具坐标

示教器上应先创建对的工具坐标和工件坐标，命名与仿真软件中创建的坐标系命名完全一致，以保证仿真程序导入机器人示教器后能正常运行。^[7]

1. 创建工具坐标。

点击 ABB 主菜单，选择手动操纵，进入手动操纵画面后选择工具坐标。在 Tooldata 中新建工具数据，命名为 tool1 并确定。点击编辑更改值设置工具重量（mass）和重心位置（cog,x,y,z）。选择定义方法和点数（如 TCP 和 X,Z，设定 4 个点）。操纵机器人，使 TCP 点与定点相碰，记录 4 个位置点。^[8]

2. 创建工件坐标。

点击 ABB 主菜单，选择手动操纵，进入手动操纵画面后选择工件坐标。点击新建，设定工件坐标数据属性，命名为 wobj1，然后点击确定。打开编辑菜单，选择定义，在用户方法后选择 3 点法。手动操纵机器人，依次确定 X、X1、Y1 的位置，三点位置均修改完成后，点击确定。^[9]

（三）程序运行与优化

空运行，在不安装画笔夹具的情况下，运行程序，验证程序的编写是否正确、工具坐标和工件坐标的设置是否准确。空运行无误后，将画笔安装至机器人末端，调节机器人的速度，运行程序，画出字体轨迹。如图 6 所示。



图6 机器人程序运行结果

根据程序运行结果，将转弯半径设置为 fine 会导致机器人运行时出现卡顿的情况，为优化程序，将转弯半径设置为 Z0。从程序运行结果来看，机器人在进行轨迹绘制时，速度应适当降低，以保障绘制轨迹的准确性。“工”字轨迹程序如图 7 所示，机器人以较高速度运行至达安全点和轨迹起始点，以较安全速度完成轨迹绘制。^[10]

PROCgong()

```
MoveJoffs(Target_10,0,0,300),v200,z0,tool1\
WObj:=wobj1;
MoveLoffs(Target_10,0,0,50),v200,z0,tool1\
WObj:=wobj1;
MoveLTarget_10,v50,z0,tool1\WObj:=wobj1;
.....
MoveLTarget_130,v50,z0,tool1\WObj:=wobj1;
MoveLoffs(Target_10,0,0,50),v200,z0,tool1\
WObj:=wobj1;
ENDPROC
```

五、结束语

在本文中，我们成功地将虚实融合技术应用于工业机器人复杂轨迹的编程中，实现了从仿真到实操的无缝对接。主要成果有：（1）构建了一个高精度的工业机器人仿真环境，实现了复杂轨迹的虚拟规划；（2）研究并提出了虚实融合下的轨迹编程方法，显著提高了编程效率和轨迹执行的准确性；（3）通过实际操作验证了仿真轨迹的可行性，确保了编程方法的实用性和安全性。

此外，我们的研究还展示了虚实融合技术在工业自动化领域的广泛应用潜力。通过在仿真软件中进行编程与调试，然后将程序导入实际设备中运行，我们大大提高了工作效率。这一方法可以推广到焊接、喷涂等更多复杂轨迹编程的应用场景中。

展望未来，我们计划进一步优化算法，以适应更复杂的轨迹要求，并探索如何通过机器学习和人工智能技术，使机器人能够自主学习和适应新的轨迹任务。我们相信，随着技术的不断进步，虚实融合技术将在工业自动化领域发挥更大的作用，为相关研究提供有价值的参考，并为工业生产带来更多的创新和效率提升。

参考文献

- [1] 马少龙，梁舒，陈明辉. 基于离线编程技术的工业机器人绘图系统研究 [J]. 设计与研究, 2020(7):65-66.
- [2] 王小刚. 工业机器人写字工作站仿真应用研究 [J]. 机械管理开发, 2023(11):177-179.
- [3] 史红燕，张真真. RobotStudio 在工业机器人编程与操作课程中的应用——以运动轨迹编程为例 [J]. 造纸装备及材料, 2022(6):232-234.
- [4] 叶晖. 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, 2019:171-176.
- [5] 李国静，林连宗. 工业机器人轨迹工作站离线编程 [J]. 计算机工程与应用, 2024(9):22-24.
- [6] 吕伯钦，林福. 基于 RobotStudio 的工业机器人实训平台仿真研究 [J]. 研究与探索·工艺流程与应用, 2024(8):156-158.
- [7] 李敏. 基于 RobotStudio 的机器人码垛工作站仿真与优化 [J]. 研究科技创新与生产力, 2024.5:127-134.
- [8] 李盛前，张小帆. 工业机器人复杂曲面抛磨运动轨迹生成算法 [J]. 新技术新工艺, 2022(12):66-71.
- [9] 吕良. 面向复杂工件的工业机器人轨迹规划方法的研究 [D]. 天津：南开大学, 2016.
- [10] 孟少飞. 工业机器人离线编程系统的研究与设计 [D]. 河南：郑州大学, 2020.