

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0074-05

基于 Robot Studio 的写字机器人离线编程仿真设计与实践

王日双, 吴祖薇, 仝梦园, 程敏
(西安信息职业大学, 陕西 西安 710125)

摘要:随着机器人技术的不断发展,离线编程仿真技术已成为机器人编程中不可或缺的一部分。针对写字机器人现场编程效率低下、点位示教不精确的问题,提出一种基于 Robot Studio 的写字机器人离线编程仿真设计方法。首先在 solidworks 里建立写字工具及字体的三维模型,然后在 Robot Studio 中搭建写字机器人平台,其次导入字体模型生成自动路径并进行仿真实验,最后利用 IRB1410 机器人现场验证该方法,表明离线编程能节约编程时间,提高编程效率和精度。

关键词: Robot Studio; 写字机器人; 离线编程; 仿真设计

中图分类号: TP242.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-7241(2026)01-0074-05

Design and practice of offline programming simulation for writing robots based on Robot Studio

WANG Rishuang, WU Zuwei, TONG Mengyuan, CHENG Min
(Xi'an Vocational University of Information, Xi'an 710125, Shaanxi, China)

Abstract: With the continuous development of robotics technology, offline programming and simulation become an integral part of robot programming. Addressing the issues of low efficiency in on-site programming and inaccurate point teaching for writing robots, this paper presented a design method for offline programming and simulation of a writing robot based on Robot Studio. Firstly, 3D models of writing tools and fonts were created in SolidWorks. Then, a writing robot platform was set up in Robot Studio. Subsequently, font models were imported to generate automatic paths and conduct simulation experiments. Finally, the method was verified using an IRB1410 robot on-site. The results indicate that offline programming saves programming time and improves programming efficiency and accuracy.

Keywords: Robot Studio; writing robot; offline programming; simulation design

机器人是一种依赖于人工智能技术的新型机械产品,目前应用于多个领域,极大地提升了各行业的生产效率^[1-3],写字机器人作为工业机器人的一种特殊应用,其在个性化定制、文化教育及艺术创作等领域展现出独特魅力,具有广泛的应用前景^[4]。

写字机器人编程方式通常分为两种:一种是现场编程,需操作人员手持示教器进行现场作业,在机器人实际运行前进行大量的调试和修改,这不仅效率低下,而且难以适应复杂的书写任务,只适用于简单轨迹的程序编辑^[5-7];另一种是离线编程,其是通过离线编程软件组建工作站,然后进行离线编程,适用于复杂轨迹的程序编辑。与现场编程相比,离线编程具有更好的安全性和稳定性^[8-10]。因此,研究一种基于离线编程仿真的写字机器人编程方法具有重要意义。

本文通过 Robot Studio,构建虚拟的写字机器人工作环境,设置写字机器人参数和轨迹,模拟写字机器人的运

动和书写过程,从而验证写字机器人程序的正确性和可行性,提升其在实际应用中的表现,进一步推动写字机器人在各领域的广泛应用。

1 模型搭建与仿真

1.1 模型搭建

首先,搭建模型进行仿真,包括利用 solidworks 建立工作台、写字笔模型以及字体模型,在 robotstudio 中搭建写字机器人模型,包括导入写字工作站模型、创建写字工作站的系统;其次,生成与优化写字工作站路径,要进行自动路径的生成、路径及提笔动作的设置;然后,进行仿真实验,观察仿真结果,根据仿真结果对程序进行调整和优化;最后,进行实际实验,包括现场导入程序、创建工具坐标系、创建工件坐标系以及现场运行程序。

1.2 建立工作台及写字笔的模型

利用 solidworks 软件建立机器人写字工作台以及写字

收稿日期:2024-07-15;录用日期:2024-10-28

基金项目:西安信息职业大学校级项目(22XXD022)

作者简介:王日双(1993—),女,硕士,研究方向:工业机器人,智能制造。

引用本文:王日双,吴祖薇,仝梦园,等.基于 Robot Studio 的写字机器人离线编程仿真设计与实践[J].自动化技术与应用,2026,45(1):74-78.
(WANG Rishuang, WU Zuwei, TONG Mengyuan, et al. Design and practice of offline programming simulation for writing robots based on Robot studio[J].
Techniques of Automation and Applications, 2026,45(1):74-78.)

笔工具,并将文件保存为 SAT 格式,如图 1、2 所示。



图 1 写字工作台模型
Fig. 1 Writing desk model

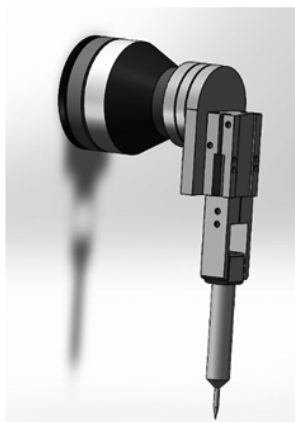


图 2 写字笔工具模型
Fig. 2 Tool model of writing pen

1.3 建立字体模型

建立字体模型,字体的高度为 45 mm,字型是华文新魏,向上拉伸 1 mm,如图 3 所示。



图 3 字体模型
Fig. 3 Font mode

1.4 搭建写字机器人模型

1.4.1 导入写字工作站模型

打开 Robot Studio 6.08 软件,在模型库中将 IRB1410 型工业机器人和相应的安装底座导入空工作站,并将机器人安装在底座上,再依次导入创建好的机器人工作台、写字笔工具及字体模型,并修改写字工作台模型和字体模型的放置位置,如图 4 所示。

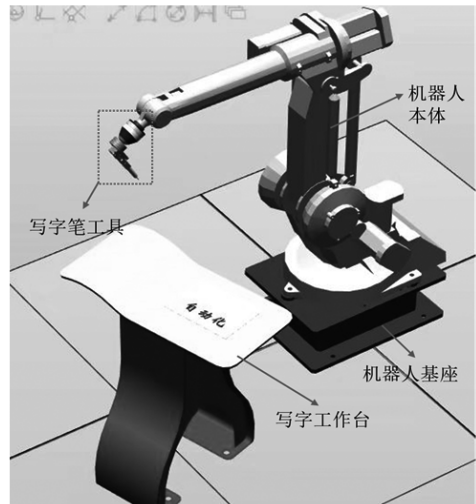


图 4 写字机器人工作站模型

Fig. 4 Writing robot workstation model

1.4.2 创建写字工作站的系统

在搭建好的 ABB 工业机器人离线写字工作站中点击“机器人系统”中的“从布局”选项,在弹出的对话框中选中“6.08”版本,点击“下一个”,在“选项”菜单中设置默认语言,将英文改为中文,再点击“完成”。默认语言的切换也可在示教器里的控制面板中进行。最后等待输出状态栏提示 ABB 工业机器人离线写字工作站建立完成即可。

1.4.3 创建写字工作站工具和工件坐标系

工具坐标系的创建:在离线编程软件 Robot Studio 中,在写字笔模型的笔尖处建立一个框架“框架 1”,菜单栏中选择的“建模”选项,点击“创建工具”,修改工具名称为“MyPen”,选择写字笔工具模型,框架使用“框架 1”,点击完成即可,如图 5 所示。

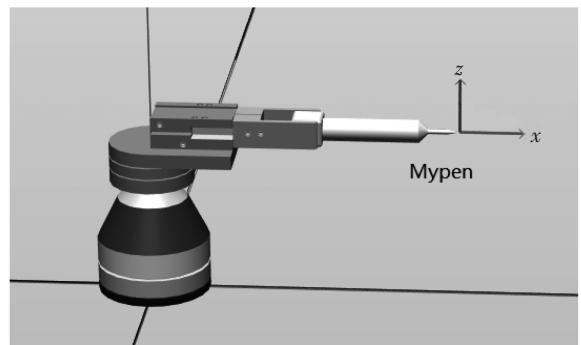


图 5 创建工具坐标系

Fig. 5 Create tool coordinate system

工件坐标系的创建:在离线写字工作站中,工件是字体模型,需要在字体模型上创建工件坐标系,便于将程序移植到 ABB 机器人上。点击菜单栏中的“框架”选项,选择“创建工件坐标”选项,点击“三点创建框架”,分别以字体模型上平面的 3 个角点作为创建依据,3 个点定坐标的方式标定工件坐标系:开启端点捕捉模式,第 1 个点选择字体模型左上角,第 2 个点选择左下角,第 3 个点选择右上角。在设计树右键框架,点击“框架转换为工件坐标”,修改工件坐标名称为“Wobj_1”,完成工件坐标系的创建,如

图6所示。

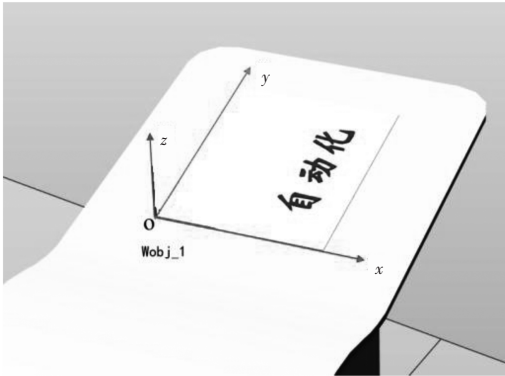


图6 创建工件坐标系

Fig. 6 Creating the workpiece coordinate system

2 生成与优化写字工作站路径

2.1 生成自动路径

ABB 机器人离线写字工作站搭建完成后,即可对“自动化”字样进行离线编程。在 Robot Studio 离线编程软件中,点击“路径”,选择“自动路径”,进入到“自动路径”后,在沿几何体的边缘创建1条曲线路径,在“自动路径”中,先设定自动路径的转角区域数据为 z1 和速度数据为 v100,再设置线性移动,距离是 0.1 mm,使用 Shift+鼠标左键移动至边缘轮廓处,使整个“自”字的外围轮廓变成红色,点击“创建”,自动生成路径 Path_10,再生成“自”字的内部剩余轮廓的路径,同样的步骤生成剩余笔画的路径,从 Path_10 到 Path_80 共生成 8 条自动路径。

2.2 设置路径

防止机器人在写字时写字笔工具出现奇异点、姿态一直变化以及不能动作的问题,需要让机器人在写字时工具始终保持一个姿态。具体操作:在“Wobj_1”工具坐标下,进入“Wobj_1”下所有点的目录,选择一个姿态较好的点位,右键该点位,选择复制方向,全选“Wobj_1”下所有点后右键,选择应用方向,即可使机器人在写字的过程中姿态不变,更改后所有点的框架方向都是相同的,如图7所示。



图7 设置方向

Fig. 7 Setting direction

2.3 设置提笔动作

为了解决机器人在写字过程中各笔画连笔的问题,需要在每个路径执行完后进行抬笔动作,即建立抬笔函数 Pen_Up()。将工作站数据同步到 RAPID 之后,构建 Pen_Up() 函数。函数构建方法:声明一个可变量 robtargert 数据 P_Up,使用 CRobT() 函数获取当前 TCP 的点位数据赋值给 P_Up,再利用 MoveJ() 和 Offs() 函数对获取到的 P_Up 点向上偏移 20 mm,提笔函数如图8所示。

```
PROC Pen_Up()

VAR robtargert P_Up;
P_Up := CRobT();
MoveJ Offs(P_up,0,0,20),V200,z10,MyPen\WObj:=Wobj_1;

ENDPROC
```

图8 设置提笔函数

Fig. 8 Setting pen-lifting function

提笔函数在程序中起过渡作用,应该在每一笔写完后进行一次抬笔动作, Pen_Up 函数应该加在每个 Path 路径后,这样主程序部分就编写好了,如图9所示。

```
MoveJ P_home,V200,z10,MyPen\WObj:=Wobj_1;

Path_10;
Pen_Up;
Path_20;
Pen_Up;
Path_30;
Pen_Up;
Path_40;
Pen_Up;
Path_50;
Pen_Up;
Path_60;
Pen_Up;
Path_70;
Pen_Up;
Path_80;
Pen_Up;

MoveJ P_home,V100,z0,MyPen\WObj:=Wobj_1;

ENDPROC
```

图9 添加提笔函数后的程序

Fig. 9 Program after adding pen-lifting function

3 进行仿真实验及实际实验

3.1 进行仿真实验

前面已经建立好模型,仿真实验中只需要在主程序中调用 Path_10 到 Path_80 和 Pen_Up 函数,再同步至工作站,点击仿真运行,若机器人走出了完整的“自动化”字轮廓,说明程序编写正确。在仿真过程中,开启 TCP 跟踪可以观察到机器人的运动轨迹和书写效果,表明程序正确可行,同时,可以根据仿真结果对程序进行调整和优化,提高书写精度和效率,如图10所示。



图10 仿真结果图

Fig. 10 Simulation result diagram

3.2 进行实际实验

3.2.1 现场导入程序

将 Robot Studio 中的模块文件保存到 U 盘,机器人上电开机后,再将 U 盘中的模块文件导入 ABB 机器人中。在机器人示教器界面,点击“程序编辑器”中的“模块”,从

左下角的菜单中选择“加载模块”，找到 U 盘路径下保存的模块文件，点击“确定”，模块即可加载到示教器，进入模块中的 Main 函数中，检查程序是否正确，若有误则需要删除模块后重新加载。

3.2.2 创建工具坐标系

机器人写字时需要较高的精度，为了防止在建模过程中因测量不准确造成的误差影响精度，在导入程序后，需要重新设定实际的工具坐标系和工件坐标系。通常使用 TCP 四点法定法创建工具坐标系，在工具台上找一固定带尖端物体作为 TCP 辅助标定点，机器人夹持工具后，用 TCP 中心尽可能地靠近尖端点，调整好后再点击“修改位

置”，然后改变姿态，同此法可以修改其余三个点。为了满足精度需求，在修改点时需要机器人的姿态差异尽可能大、TCP 与固定点距离尽可能小。

具体操作：在示教器中找到工具坐标系“MyPen”，点击“定义”，操作摇杆使工具 TCP 靠近尖端点，选中“点 1”，点击“修改位置”，“点 1”所属状态栏显示为“已修改”，手动操纵调整姿态，采用同样的方法分别对其余三点进行修改，所有点记录完成后，单击“确定”，机器人会分析生成工具数据和误差大小，若误差太大，需要重新设定，避免写字时发生撞击，如图 11 所示。



图 11 创建工具坐标系

Fig. 11 Creating tool coordinate system

3.2.3 创建工件坐标系

通常使用三点标定法建立工件坐标系，即在示教器中进入工件坐标，找到工件坐标系“Wobj_1”，点击“定义”，目标方法选择“3 点”，操纵摇杆将笔尖移动至工作台 O 点位置，选中“用户点 X1”，单击“修改位置”，再手动操纵

摇杆沿工作台的 X 方向移动一段距离，选中“用户点 X2”，单击“修改位置”，最后手动操纵摇杆沿工作台的 Y 方向移动一段距离，选中“用户点 Y1”，单击“修改位置”，此时，3 个点的状态都显示为“已修改”，点击“确定”，机器人将自动计算出工件坐标系数据，如图 12 所示。



图 12 创建工件坐标系

Fig. 12 Creating a workpiece coordinate system

3.2.4 现场运行程序

建立好工具坐标系和工件坐标系后,在手动操作中分别选择使用“MyPen”和“Wobj_1”。进入Main函数,在调试菜单里点击“PP移至Main”,点击单步执行,看笔尖位置是否刚好落在纸面上,若符合预期,则按下连续运行按钮,可以看到机器人完整地写出了“自动化”字样,现场写完字的效果图13所示。

3.3 实验结果与分析

为了验证基于Robot Studio的写字机器人离线编程仿真设计的有效性,进行实验研究。实验中选取的书写任务是书写汉字“自动化”。实验结果表明,基于Robot Studio的写字机器人离线编程仿真设计能够显著提高编程效率和书写精度。通过仿真实验,可以快速验证机器人程序的正确性和可行性,减少现场调试和修改的工作量。

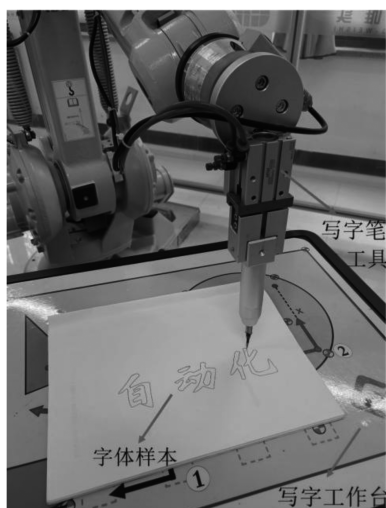


图13 现场实操图

Fig. 13 Field operation diagram

4 结论

本文通过Robot Studio构建写字机器人的仿真模型并编写“自动化”的轨迹程序,最后利用IRB1410工业机器人验证了该方法,结果表明,该方法能够缩短编程时间,提高写字机器人的编程效率和书写精度,但是该方法也有一定的局限性,例如在书写复杂的艺术字方面也面临挑战,并且对书写的材料也有一定要求,未来工作将进一步提升和优化该方法,以及探索更多基于Robot Studio的写字机器人编程和仿真技术。

参考文献

- [1] 矫洪成, 吴文凯, 刘禹欣, 等. 机器人技术在智能建造中的应用与发展现状[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(5):1-5,14.
- [2] 赵丹. 基于机器学习的轮式机器人关节爬坡运动轨迹控制方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(1):36-40.
- [3] 杨龙, 罗岚. 基于改进量子粒子群算法的机器人关节空间运动轨迹规划优化[J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(8):12-15.
- [4] 袁名华. ABB工业机器人写字工作站的研究与实践[J]. 自动化应用, 2024, 65(1): 29-31,34.
- [5] 武永强, 于涛, 车恒恒. 工业机器人写字工作站的研究[J]. 机械工程与自动化, 2021(5):28-30.
- [6] 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, 38(11): 177-179.
- [7] 金花雪, 朱来发, 张善勤, 等. 基于离线编程的机器人写字实验教学设计[J]. 现代信息科技, 2023, 7(20):190-193,198.
- [8] 刘文光, 王亮. KUKA工业机器人离线编程技术应用实例[J]. 山东工业技术, 2021(3):118-123.
- [9] 黄永程, 杨斌, 黎志勇, 等. 基于RobotStudio的工业机器人自动路径仿真应用[J]. 内燃机与配件, 2022(18):94-96.
- [10] 高志远, 晏芙蓉, 李家学, 等. 基于RobotStudio的搬运机器人虚拟仿真分析[J]. 机电工程技术, 2023, 52(10):230-233.
- [11] 陆叶, 张文杰, 梁俊杰. 基于RobotStudio的智能制造单元平台仿真设计[J]. 机械研究与应用, 2023, 36(5):143-146.
- [12] CHEN J, SONG P, ZHAO C. Multi-scale self-supervised representation learning with temporal alignment for multi-rate time series modeling[J]. Pattern Recognition, 2024(145):109943.
- [13] WISKOTT L, SEJNOWSKI T J. Slow feature analysis: unsupervised learning of invariances[J]. Neural computation, 2002, 14(4):715-770.
- [14] SONG P, ZHAO C. Slow down to go better: a survey on slow feature analysis[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2024, 35(3):3416-3436.
- [15] 廖鸿志. 幂法求特征值的若干问题[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1988(4):5-10.
- [16] RUMELHART D E, HINTON G E, WILLIAMS R J. Learning representations by back propagating errors[J]. Nature, 1986, 323(6088):533-536.
- [17] SHANG C, YANG F, GAO X, et al. Concurrent monitoring of operating condition deviations and process dynamics anomalies with slow feature analysis[J]. AIChE Journal, 2015, 61(11): 3666-3682.

(上接第53页)

- [5] 陈茜, 李录平, 刘瑞, 等. 基于PCA-KNN融合算法的风机变桨角度故障诊断方法[J]. 中国电力, 2021, 54(11):190-198.
- [6] 于虹, 龚泽威一, 张海涛, 等. 基于Faster R-CNN算法的变电站设备识别与缺陷检测技术研究[J]. 电测与仪表, 2024, 61(3):153-159.
- [7] 雷萌, 吕游, 魏玮, 等. 基于LSTM神经网络与贝叶斯优化的电站风机故障预警[J]. 热能动力工程, 2022, 37(8):213-220.
- [8] 王永平, 张蕾, 张晓琳, 等. 基于CNN-BiGRU的风机叶片故障诊断[J]. 内蒙古科技大学学报, 2022, 41(2):173-179.
- [9] 李俊卿, 王焕仲, 季刚, 等. 基于大数据分析的风机轴承故障预警[J]. 智慧电力, 2020, 48(2):25-30.
- [10] 李俊卿, 耿继亚, 国晓宇, 等. 一种POA-VMD和自编码器结合的风电机组轴承劣化指标构建及故障诊断方法[J]. 机床与液压, 2024, 52(13):219-226.
- [11] JING H, ZHAO C, GAO F. Non-stationary data reorganization for weighted wind turbine icing monitoring with Gaussian mixture model