|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **学生学号** | 0122211370612 | **实验课成绩** |  |

**学 生 实 验 报 告 书**

|  |  |
| --- | --- |
| **实验课程名称** | 工业机器人编程与实践 |
| **开 课 学 院** | 自动化学院 |
| **指导教师姓名** | 蔡振华 |
| **学 生 姓 名** | 徐志鹏 |
| **学生专业班级** | 机器人2202 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2024 | -- | 2025 | 学年 | 第 | 二 | 学期 |

**实验教学管理基本规范**

实验是培养学生动手能力、分析解决问题能力的重要环节；实验报告是反映实验教学水平与质量的重要依据。为加强实验过程管理，改革实验成绩考核方法，改善实验教学效果，提高学生质量，特制定实验教学管理基本规范。

1. 本规范适用于理工科类专业实验课程，文、经、管、计算机类实验课程可根据具体情况参照执行或暂不执行。
2. 每门实验课程一般会包括许多实验项目，除非常简单的验证演示性实验项目可以不写实验报告外，其他实验项目均应按本格式完成实验报告。
3. 实验报告应由实验预习、实验过程、结果分析三大部分组成。每部分均在实验成绩中占一定比例。各部分成绩的观测点、考核目标、所占比例可参考附表执行。各专业也可以根据具体情况，调整考核内容和评分标准。
4. 学生必须在完成实验预习内容的前提下进行实验。教师要在实验过程中抽查学生预习情况，在学生离开实验室前，检查学生实验操作和记录情况，并在实验报告第二部分教师签字栏签名，以确保实验记录的真实性。
5. 教师应及时评阅学生的实验报告并给出各实验项目成绩，完整保存实验报告。在完成所有实验项目后，教师应按学生姓名将批改好的各实验项目实验报告装订成册，构成该实验课程总报告，按班级交课程承担单位（实验中心或实验室）保管存档。
6. 实验课程成绩按其类型采取百分制或优、良、中、及格和不及格五级评定。

**附表：实验考核参考内容及标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 观测点 | 考核目标 | 成绩组成 |
| 实验预习 | 1. 预习报告 2. 提问 3. 对于设计型实验，着重考查设计方案的科学性、可行性和创新性 | 对实验目的和基本原理的认识程度，对实验方案的设计能力 | 20% |
| 实验过程 | 1. 是否按时参加实验 2. 对实验过程的熟悉程度 3. 对基本操作的规范程度 4. 对突发事件的应急处理能力 5. 实验原始记录的完整程度 6. 同学之间的团结协作精神 | 着重考查学生的实验态度、基本操作技能；严谨的治学态度、团结协作精神 | 30% |
| 结果分析 | 1. 所分析结果是否用原始记录数据 2. 计算结果是否正确 3. 实验结果分析是否合理 4. 对于综合实验，各项内容之间是否有分析、比较与判断等 | 考查学生对实验数据处理和现象分析的能力；对专业知识的综合应用能力；事实求实的精神 | 50% |

实验课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **实验1** | | | **实验成绩** |  |
| **实 验 者** | **徐志鹏** | **专业班级** | **机器人2202** | **组 别** | **无** |
| **同 组 者** | **张雅钧** | | | **实验日期** | **2025年 6月 7 日** |
| 第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义、实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案与技术路线等）  **1.实验目的**  （1）掌握RobotStudio软件的基本使用方法与操作流程。  （2）学会建立仿真工作站并配置ABB机器人。  （3）掌握工具安装、TCP创建与路径点设置方法。  （4）实现仿真机器人路径规划并验证其可视化动作流程。  **2.实验意义**  本次实验借助ABB RobotStudio平台，旨在对学生进行工业机器人仿真操作的系统性训练。通过该训练，能够有效提升学生对工业机器人实际操作的直观认知，深化其对自动化生产流程的理解与规划能力。  在虚拟环境中进行操作显著降低了实践过程中的安全风险，并有助于提升工业仿真教学的整体质量。更为重要的是，本实验为后续学习机器人离线编程以及实际控制技术奠定了坚实的实践基础。  **3.实验基本原理**  本实验的核心原理在于利用ABB RobotStudio软件。该平台通过构建基于真实控制器逻辑的仿真环境，实现对ABB工业机器人的离线编程和虚拟调试功能。  在本次实验过程中，精确建立工具中心点（TCP）以及规划目标点路径，是实现工业机器人高精度作业的关键技术基础。  **4. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装 RobotStudio 6.08。 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）   * 1. 创建station：打开robotstudio，在new选项下点击station with robot controller，选择机器人型号IRB\_2600\_20kg\_1.65m，点击creat创建工程。      * 1. 在左侧工具栏的irb2400\_16\_150\_\_02上右键，选择mechanism joint jog（机械装置手动关节）,第五轴的30度旋转调至0，以方便安装焊枪。      * 1. 在home菜单下的import library中的equipement中选择aw\_gun\_psf\_25，将该枪导入工作站中。在左侧工具栏的irb2400\_16\_150\_\_02上右键，将visible前面的对号取消，可以看到该枪出现在世界坐标系原点位置。      * 1. 将布局中的AW\_Gun\_PSF\_25拖到IRB2600\_20\_165\_\_02上完成工具的安装。     通过再次调节手动关节运动：IRB2600\_20\_165\_\_02，发现AW\_Gun\_PSF\_25跟随IRB2600\_20\_165\_\_02一起运动，说明此步骤完成   * 1. 在home菜单下的other中单击，（其它—创建工具数据）选择creat tooldata，创建工具中心点。     点击tool frame下的position x,values…，点击向下的箭头，出现tcp位置定义对话框。点击红色文本框中的0.00，并单击图形环境中的枪末端tcp坐标系（图形放大，点击到坐标系的中心点），则TCP位置被自动赋值，如下：    创建后然后将坐标旋转，使其与AW\_Gun坐标系重合如下图：  此时Tooldata\_1创建完成。   * 1. 在modeling菜单下点击solid-box，创建立方体的尺寸如下：（建模-固体-矩形体）      * 1. 点击图形环境上方的选择部件      * 1. 在home菜单下的（路径编程-目标点-创建目标）target下点击creat target，在position下的文本框单击后，在立方体上选取可构成四边形的四个点，则选中的点依次被加入到points列表中。   2. 点击creat，则生成四个路径点，分别为target\_10到target\_40, 全部选中后右键modify target（修改目标），Align target orientation（对准目标点方向）,在弹出的对话框中的reference下的文本框点击，将鼠标移动到图形环境中的tcp坐标系点击，则该坐标系被选中。      * 1. 点击home栏path下empty path，系统在左侧自动创建一个名为path10的路径。将wobj0下的target\_10～target\_40全选，按住左键拖动到path\_10名称上，则路径被创建出来。      * 1. 全选movel指令，右键modify instruction，输入以下参数：     点击应用。   * 1. 在path\_10上右键，依次点击auto configuration和同步到rapid。      * 1. 点击simulation setup旁边的play按钮查看仿真动画。   仿真视频如下所示：    过程截图如下：    机器人按设定路径运行。  教师签字  第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  在工具中心点的配置中，我们通过使用RobotStudio中的三点法工具，定义了TCP的位置和姿态，并对其进行了方向调整，使其与焊枪的末端坐标系完全重合。这一过程有效保证了机器人在执行路径指令时，工具姿态能够与目标点方向严格一致，避免了因姿态偏差导致的轨迹偏移或动作失准:  路径规划方面，实验通过选取四个目标点，成功创建了Target\_10到Target\_40四个路径点。借助“对准目标点方向”功能，我们将这些路径点的朝向统一至与TCP方向一致，进一步保证了路径执行的准确性与连贯性。在此基础上创建的路径Path\_10被成功加入虚拟控制器，并通过“同步到rapid”操作集成到主控流程中。  **二、小结、建议及体会**  通过本次实验，我们全面掌握了RobotStudio软件的基本使用流程，学会了ABB工业机器人的虚拟建模、工具装配、姿态调整、TCP定义等一系列关键操作步骤。整个实验过程涵盖了从建模到路径执行的完整闭环，使我们对工业机器人编程和三维操作有了系统性的实践认知。  在操作过程中建议初学者在对齐姿态和路径点方向时，尽量多使用选择部件，选择框架和捕捉中心等功能，这将极大提升路径点与工具方向的一致性，避免姿态误差带来的运动偏差。 |

实验课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **实验2** | | | **实验成绩** |  |
| **实 验 者** | **徐志鹏** | **专业班级** | **机器人2202** | **组 别** | **无** |
| **同 组 者** | **张雅钧** | | | **实验日期** | **2025年 6 月 7 日** |
| 第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义、实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案与技术路线等）  **1.实验目的**  （1）掌握ABB工业机器人编程语言RAPID的基础语法结构；  （2）能够创建主程序及多个例行子程序，形成基本任务流程；  （3）学会机器人目标点教学、TCP设置与程序调试运行；  （4）初步建立机器人自动循环运动能力。  **2.实验意义**  本次实验的核心目标在于通过对RAPID程序结构的系统学习与实际应用训练，有效提升学生的综合能力。学生将能够掌握工业机器人任务逻辑的设计方法，并熟练运用离线与在线编程调试的核心技巧。该训练有助于学生初步建立起对工业机器人自动化作业流程的深入理解。更重要的是，此类实验有力地推动了产教融合，显著缩小了机器人理论教学与实际工业应用之间的差距。  **3.实验基本原理**  本实验的技术基础在于RAPID语言，这是ABB公司专为其工业机器人开发的控制编程语言。其核心原理体现在程序的组织结构上：程序由模块（Module）构成，其中必须包含一个主程序（main）以及可包含多个用于特定功能的例行程序（Routine）。程序执行的逻辑流程则是通过定义目标点位置、调用运动指令（如MoveL, MoveJ）以及运用条件判断、循环等控制语句来构建实现的。  在实验方法上，首先需要在RobotStudio仿真环境中导入指定的机器人模型并完成所需工具的安装与挂载。编程操作主要通过虚拟示教器（FlexPendant）进行，包括创建必要的程序模块和内部例程。在编程过程中，需要设置关键的位置点，例如pHome（回原点位置）、p10、p20等。具体编程时，通常在名为rInitAll的例程中完成系统初始化设置（如复位信号、设置速度等），而在名为rMoveRoutine的例程中则重点编写机器人运动的路径指令。  主程序（main）的核心作用是调用并组织这些例程，通常会嵌套循环结构以实现连续或重复的作业流程。最后，必须对编写好的程序进行仔细调试，通过仿真运行观察机器人的实际运动效果，验证程序的正确性与逻辑是否符合预期。  **4. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装 RobotStudio 6.08。 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）   1. 导入RB\_2600\_20kg\_1.65m机器人，等待初始化结束。在home->import library中的equipment导入aw\_gun\_psf\_25焊枪。使用place->oneplace功能将该焊枪安装到机器人六轴末端，并与机器人运动关联(attach to irb2600)。。 2. 直使用aw\_gun\_psf\_25焊枪时，Calibdada里的AW\_Gun作为TCP。具体如下：        1. 新建立方体modeling->solid->box,设置参数如下：creat。新建圆柱体solid->cylinder，参数如如下，create。      1. 在controller下的flexpendant中打开virtual flexpendant，选择program editor。在警示中点击取消。      1. 选择Module1，单击show module->单击routines->File->new routine建立主程序main，ok   根据步骤5建立另外三个routine(例行程序)，其中rHome()用于机器人回等待位，rInitAll()初始化，rMoveRoutine()存放直线运动路径。  整体框架如下所示：     1. 回到程序编辑器，单击add instruction，打开指令列表。选中<smt>为插入指令的位置，在指令列表中选择MoveJ，双击\*,进入指令参数修改画面。     此处因为撰写实验报告之前就已经完成此处实验，所以pHome点的新建和记录点的信息的步骤已完成。   1. 点击Routines，选择rInitAll()程序，选择show Routine。      1. 在此例行程序中，加入程序运行前需要初始化的内容，如速度限定、夹具复位等。确保机器人在手动模式下，点击add instruction，通过next切换页面选择指令添加。使用prog.flow中的proccall添加一个回等待位的例行程序rHome。      1. 在rMoveRoutine（）中，完成两个MoveJ指令   pHome点的选择通过捕捉末端功能准确定位，具体实现结果如上图所示。    点击Modify Position，后再点击上图的Modify即可完成点的确定。   1. 使用相同的方法添加MoveL指令，将tcp移动到立方体另一顶点存储pHome20位置（modify position）。      1. 选中main主程序，进行程序执行主体架构的设定。在开始位置调用初始化例行程序。调用rInitAll例行程序。添加while指令，并将条件设定为true，添加代码如下图所示。      1. 确保在控制器在手动模式下。查看示教器为motors on模式。     如上图所示，符合要求。   1. 点击下方debug，在弹出菜单中点击pp to main，让程序指针指向主程序main。最终编辑后的界面代码如下：      1. 点击运行键查看仿真。       实验过程截图如下：      教师签字    第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  在本次实验的结果分析中，我们成功地完成了主程序与多个例行子程序的创建工作，整个程序结构清晰，逻辑严谨。通过合理地调用例程，实现了机器人从初始位置出发、完成初始化、再进入循环路径运动的完整流程，充分体现了RAPID语言在流程控制中的高效性与模块化优势。  在路径点设置方面，使用虚拟示教器准确记录了pHome、pHome10、pHome20等关键位置点的三维坐标。这些点均通过“modify position”功能结合图形界面进行精确设定，确保了机器人运动路径的准确性与可重复性。各路径点间采用MoveJ与MoveL指令进行衔接，使机器人能平稳地完成关节运动与线性插补，展现出良好的控制性能与仿真轨迹效果。  **二、小结、建议及体会**  回顾整个实验过程，可以清晰地认识到RAPID语言在工业机器人控制领域中的重要作用。本次实验不仅帮助我们系统掌握了RAPID程序模块、变量、流程控制语句及路径指令等内容，更使我们在实际编程中锻炼了逻辑思维与结构化设计能力。通过仿真平台进行编写与调试，我们在“动手”与“动脑”的结合中不断提升了对工业机器人编程的理解深度。  通过这次实验，我深刻体会到工业机器人编程并不是简单的代码堆砌，而是将控制逻辑、机械运动和工程实践有机融合的综合性技术。它不仅锻炼了我的逻辑表达和流程组织能力，也提升了我对自动化控制系统的整体理解。在今后的学习和实践中，我将继续深入研究RAPID语言，夯实基础知识，为今后在智能制造与机器人自动化领域的发展打下坚实的技术基础。 |

实验课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **实验3** | | | **实验成绩** |  |
| **实 验 者** | **徐志鹏** | **专业班级** | **机器人2202** | **组 别** | **无** |
| **同 组 者** | **张雅钧** | | | **实验日期** | **2025年 6 月 8 日** |
| 第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义、实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案与技术路线等）  **1.实验目的**  本实验旨在掌握基于图案轮廓提取的工业机器人路径规划方法。通过图形离散点集的提取与简化处理，学习将复杂图形转化为RAPID语言可识别的路径点，实现机器人自动描绘图案。实验分为等曲线距离提取和基于曲率变化的误差控制点提取两部分，提升学生对路径生成、优化与程序编写能力的综合应用水平。  **2.实验意义**  在智能制造与柔性自动化快速发展的背景下，机器人在图形识别与轨迹跟踪方面的能力日益重要。本实验通过图像处理与路径提取算法的融合，使学生掌握从图案数据到工业路径控制的全过程，为将来从事机器人视觉引导、智能加工与轨迹编程等相关工作打下基础。  **3.实验基本原理与方法**  本实验的实现主要基于图像处理与机器人路径规划相结合的原理和方法。首先，利用图像处理算法（如OpenCV库）对输入的图案图像进行二值化处理，并从中精确提取出目标轮廓线。  接着，沿着提取到的轮廓线进行等间距的密集采样，从而获得大量离散的路径点坐标。为了优化路径并提高效率，需要对采集到的点集进行特征分析，计算各点的曲率，并设定合理的误差阈值；通过删减曲率变化平缓区域的冗余点，保留能够充分表征图形关键特征的点集。  最后，将简化后的特征点集坐标数据，转化为ABB机器人专用的RAPID程序语言中的robtarget指令序列，由此生成控制机器人末端执行器运动的精确程序，最终实现机器人自动绘制目标图形的功能。  **4. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装RobotStudio 6.08，PyCharm，VS Code。  （2）环境：opencv。 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）   1. 成功运行实验指导书中的示例代码，运行结果如下所示：       完成示例代码说明，我们可以直接保留示例代码的框架，只对示例代码的作图部分进行修改，能大大减少我们实验三的工作量。   1. 使用opencv对目标图案进行前处理。目标图案如下所示：      1. 完成实验第一部分（等距离采样）   在VS Code中，通过代码实现图像轮廓提取，结果如下图所示：    部分代码如下图所示：    二维轮廓点坐标如下所示：     1. 将目标点坐标复制到points.txt文件中，通过PyCharm来读取txt中的轮廓点，然后将其输出成rapid代码。具体实现如下：     此代码实现的结果如下：      Rapid\_points.txt文件中全是MoveL Offs指令，只需要在p10的基础上，偏移轮廓点距离就可以实现绘画。复制进RobotStudio 6.08如下所示：  然后我们在虚拟示教器中选择square就完成绘画，结果如下：     1. 使用贪心算法，对轮廓点进行排序，达到“一笔画”完美效果。   核心代码如下：    优化后成果：    得到TCP跟踪的轨迹简洁得很多。   1. 完成实验第二部分(基于曲率自适应的点简化)   步骤1-5已对实验步骤进行详细的阐述，实验的第二部分将主要对实验成果进行展示。  VS Code代码主要做如下操作：原图像→二值化→轮廓提取（RETR\_TREE）；对轮廓密集采样，获得 dense 点集；计算每个点的曲率，设置误差阈值，保留高曲率区域更多点，低曲率区域稀疏保留。  核心代码如下：      图像处理结果如下：    Robot studio运行结果如下所示：    至此实验完成。基于曲率自适应的点简化的实验演示视频如下：     1. 通过完成此次实验的两个项目，对比评价两种方法。   等距离采样是一种非常直接的轮廓采样方法，它沿着图形轮廓每隔固定像素距离提取一个点，不考虑轮廓的弯曲程度或结构复杂性。这种方法可以最大程度保留原始图像的细节，尤其适用于图形还原要求较高的场合。由于它不做任何点的删减，所以对于曲线、直线和细节都能一致性地还原。但正因为如此，它也容易带来冗余问题——在一段直线上也会采集大量重复意义不大的点，造成数据量大、绘图路径过长，尤其在机器人执行绘图任务时会导致运行时间过长和路径重复。  相比之下，曲率自适应采样是对等距采样点的进一步优化处理。它的核心思路是：拐角多的地方多保留点，曲线变化小或接近直线的地方删减点，从而实现路径简化。这种方法更加智能，能够保留图案的结构特征，又显著减少点的数量，使绘图轨迹更加平滑，执行效率更高。其缺点是，可能会在弯曲连续、但变化缓慢的地方删减太多点，从而造成图形细节损失。如果参数设置不当，还可能删掉应保留的关键点。  整体来说，两种方法可以结合使用：先等距离密集采样，确保所有细节都被覆盖，然后通过曲率自适应方法筛选出有价值的特征点，这种方式既保证了轮廓形状的完整性，又减少了冗余点，提高了绘图效率。特别适合一笔画路径规划和机器人绘图等场景。综合而言，等距离采样保守但冗余多，曲率简化高效但需谨慎调参，二者结合才能在实际应用中达到最优效果。    教师签字  第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  实验中我们首先通过图像处理手段对目标图案进行二值化与轮廓提取，获得了目标图像的闭合边界。随后采用等距离采样方法，在轮廓上提取了密集的路径点，并成功将其转化为机器人路径点，生成了初步的描绘轨迹。在第二阶段，我们对路径点进行了基于曲率变化的简化处理，在图像转折处保留较多路径点，平直部分删减较多冗余点，兼顾了绘制精度与运行效率。  接着使用贪心算法排序轮廓，形成尽可能“一笔画”顺序。最终通过RAPID语言构建了绘图主程序并进行了仿真验证，机器人能顺利完成图形的绘制，仿真路径流畅，动作自然。  **二、小结、建议及体会**  通过本次实验，我深入掌握了图形轮廓提取与RAPID语言路径构建的全过程，对图像与机器人编程之间的转换关系有了直观理解。建议在离散点采样和简化过程中注意曲率敏感区域的精度保留，避免因过度简化导致路径失真。同时应注意坐标系变换和工具TCP姿态的一致性，以确保绘图精度。实验锻炼了我在算法设计、图像处理与工业机器人仿真编程方面的综合能力，为后续高级路径规划及机器人智能控制研究提供了宝贵经验。 |

实验课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **实验4** | | | **实验成绩** |  |
| **实 验 者** | **徐志鹏** | **专业班级** | **机器人2202** | **组 别** | **无** |
| **同 组 者** | **张雅钧** | | | **实验日期** | **2025年 6 月 8 日** |
| 第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义、实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案与技术路线等）  **1.实验目的**  本实验旨在掌握使用RobotStudio软件进行表面全覆盖路径规划的方法。通过对工件模型（如s-face）的切片处理与路径点生成，学习如何通过布路径插值，生成间距均匀、姿态合理的焊接路径，并在ABB仿真平台下完成信号分析与轨迹可视化验证。  **2.实验意义**  本实验聚焦于工业机器人在连续表面加工中的路径规划能力，是智能制造中高精度喷涂、焊接、抛光等任务的核心技能。掌握该技术能帮助学生理解路径点生成、指向调整、仿真验证与信号分析等关键环节，提升面向复杂曲面任务的建模与控制能力。  **3.实验基本原理**  本次实验的核心在于构建机器人工作站并进行路径规划、姿态调整与运动仿真分析。首先，在 RobotStudio 环境中创建 ABB IRB2600 机器人模型，并导入工件三维模型（s-face.sat 格式）。  随后采用 AutoPath 功能，从工件表面提取出所需的等间距加工路径曲线。为了确保机器人末端执行器（工具）能够以正确的姿态接触工件进行加工，需要依据 aw\_gun\_psf\_25 工具模型的方向要求，对路径中每一个路径点的机器人姿态进行精细规划和 TCP（工具中心点）修正。规划好的路径将被同步传输至虚拟控制器，集成到完整的仿真流程中运行。  设置信号监控，重点分析 TCP 的实际运动速度以及机器人六个关节的角度变化，观察它们如何响应设定的路径点速度变化。为了深入研究速度对机器人运动性能的影响，实验将设定三种不同的路径点速度（200mm/s、500mm/s、800mm/s），通过仿真运行并采集数据，对比分析在不同速度下机器人关节角度变化的速度响应特性。。  **4. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装 RobotStudio 6.08。  第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）   * 1. 创建 IRB2600机器人模型，并导入工件三维模型 s-face.sat如下图：      * 1. 采用 AutoPath 功能，从工件表面提取出所需的等间距加工路径曲线。     将得到的十个点参考系与TCP对齐并复制粘贴两个延伸点作为超出工件部分的目标点，最终得到第一条加工路径目标点如下：     * 1. 通过路径中的“反转路径”功能，完成工件的全覆盖路径规划。     “反转路径”功能的位置如上所示。  由于要求路径曲线之间的间距为8mm，所以后面的操作我们只需要将步骤2得到的第一条加工路径复制粘贴，然后将副本在大地坐标系下向上偏移8mm，最后通过“反转路径”将偶数次路径反转，就可以得到实验指导书里面的弓字型路径。  具体实现如下图所示：    重复操作得到最终路径如下：    实验目标至此已完成，并且已对准工件的法线方向。  实验的仿真录像如下：    实验过程截图如下：       * 1. 在机器人运动过程中实时监测要求信号的变化。   信号选取如下：    信号分析器结果如下图所示：    保存的excel信号数据文件部分数据如下：    从上面信号分析器图中可以看出，TCP（工具中心点）速度在仿真过程中并不是恒定的，而是呈现出一定的波动性。这种变化情况的原因主要可以从以下几个方面进行分析：  首先，尽管路径点的目标速度被统一设置为200mm/s，但机器人在执行路径时必须经过加速和减速阶段，尤其在路径的起点、终点或转折点处，为避免突然的速度变化导致的机械冲击，控制系统会自动加入速度过渡段。这就导致实际TCP速度在加速段逐步上升，在减速段逐步下降，形成“波峰-波谷”交替的速度曲线。  其次，在路径的转弯处，由于要满足位置和姿态的双重约束，机器人各关节可能需要做出复杂协调，控制器会自动降低速度以确保轨迹精度和运动稳定性。尤其在轨迹急剧变化的位置，TCP速度通常会短暂下降。  最后，路径点本身分布密度和插值方式也会对TCP速度产生影响。若路径点之间距离不均或插补精度较高时，机器人可能在某些段落移动较快，在某些段落则减速以精确对准目标点  总之，TCP速度变化的根本原因在于路径点的物理分布、姿态变化、控制策略中的加减速逻辑以及机器人各轴之间的动态协调。要获得更平稳的TCP速度曲线，可考虑使用合适的速度过渡控制（如将代码中的z5改成z200）、优化路径规划、减少急剧转向或姿态变化点。   * 1. 六轴角速度分析   200mm/s信号分析器结果如下图所示：    500mm/s信号分析器结果如下图所示：    800mm/s信号分析器结果如下图所示：    本次步骤中，我们对路径点的TCP速度分别设置为200mm/s、500mm/s和800mm/s，并在仿真信号中加入了J1-J6六个关节的角度变化信号，借助信号分析器观察并记录了各关节随时间的运动曲线。  当TCP速度设置为200mm/s时，机器人各个关节的角度变化相对平稳。J1至J6关节的曲线变化较为柔和，整体呈现出缓慢、连续的趋势。由于速度较低，机器人有足够时间协调六个关节完成姿态调整，因此运动过程显得较为从容，轨迹执行也比较平滑，不易出现冲击。  随着速度提升至500mm/s，可以明显观察到各关节角度的变化斜率变大。关节动作的快慢不再均衡，某些关节开始出现更明显的上升或下降趋势，角度变化曲线变得更陡峭。在这种速度下，机器人需要在更短的时间内完成路径运动，六个关节的运动同步难度增加，因此在转折点或者姿态急变的位置容易出现轻微的震动或响应滞后。  当速度进一步提高至800mm/s，J1-J6的角度变化显得更加剧烈。各关节必须以非常快的速度完成姿态调整和末端运动匹配，这导致角度变化过程中出现了多个突变点和剧烈的角度波动。尤其在路径存在转角或弧线切换的区域，某些关节甚至会出现“急起急停”的现象，形成曲线中的急促跳变，这说明在高速下，机器人整体的惯性和控制系统的实时性达到了挑战边界。  这种TCP速度变化对六轴角度影响的根本原因在于：当末端速度提升时，为维持路径的正确性和工具的正确指向，控制器需要更快速地协调所有关节的角速度，使其在限定时间内精确到达目标位姿。而机器人的六个关节相互耦合，这种协调在高速下的复杂度显著增加。因此，各轴的响应越发敏感，也更容易暴露控制上的波动。  教师签字 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  实验中我们成功构建了包含IRB2600机器人与s-face工件的工作站，并通过调整位置确保其处于机器人有效作业范围内。成功实现了间距8mm的全覆盖往复路径布置，并在路径末端进行10mm延伸。通过姿态调整功能，将每一个路径点的方向与焊枪工具一致，确保机器人在全覆盖轨迹上运动无碰撞、动作自然。  路径同步至虚拟控制器后，我们通过信号分析器记录了TCP速度变化情况。通过仿真结果导出分析，TCP在路径起始、转弯与加减速段出现明显速度变化，图表变化趋势清晰。进一步引入J1-J6六轴角度信号后，发现当速度从200mm/s提升至800mm/s时，各关节运动曲线波动加剧，说明高速运行对关节负载变化与稳定性要求更高  **二、小结、建议及体会**  本实验提升了我在路径自动生成、三维曲面交互运算、姿态调整与仿真验证方面的操作能力。通过实际仿真分析，我认识到速度设置不仅影响路径执行时间，还对机器人各轴负载与动作平滑性产生直接影响。在真实工程应用中，需要在速度与精度之间找到平衡。  建议今后在处理复杂工件路径时，优先规划工具方向并预设安全区间，避免超出可达区域；同时在高速度仿真中关注机器人关节动态响应情况，优化控制策略。通过本次训练，我对复杂曲面任务的路径生成与工业机器人自动化作业流程有了更深刻的理解和实操经验。 |