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

**学 生 大 作 业 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% |

课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | **螺旋桨叶片喷涂工作站虚拟仿真设计** | | | **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 18 日** |
| 第一部分：题目要求  **1.项目背景**  在智能制造趋势下，机器人喷涂正朝着智能化、环保化的方向进一步发展，采用RobotStudio™等数字孪生系统构建虚拟喷漆房，可在三维离线环境下模拟喷漆过程并优化喷漆工艺参数，将新品导入生产的周期缩短70%以上。同时，多机器人集群协同作业方式有助于构建参数自适应及多区域协同加工的智能喷涂系统。机器人喷涂的主要技术路线是通过对待喷涂面几何模型的数字化处理，产生相邻路径间距一致且能够实现待喷涂面全覆盖的路径曲线。  **2.项目目的**  设计一套采用ABB irb2600/20kg-1.65m工业机器人自动喷涂螺旋桨叶片的虚拟工作站。  **3.项目要求**  1. 实现采用机械臂实现螺旋桨3个叶片喷涂全过程的数字孪生仿真。（分）  2. 在RobotStudio™中编写RAPID代码实现机器人喷涂的动作流程。（分）  3. 通过模型切片等原理生成3个叶片上的机器人全覆盖喷涂程序，各路径曲线之间的路径间距尽可能保持一致，其中喷涂速度设置为200mm/s, 路径间距设置为8mm，路径两侧延长距离为50mm。（喷涂工具可采用给定的喷枪，需重新将tcp定义至下图所示喷枪出口中心点处100mm处，喷涂过程各路径点的z方向应为该点在叶片上的法线方向）（分）    4. 实现喷涂过程机械臂工具中心点即TCP的位置、速度仿真，实现喷涂过程机器人六轴转动角度及速度仿真，分析喷涂过程中TCP速度波动的原因（分）  5. 采用旋转台对叶片进行旋转，旋转台可处理3个叶片，即每次喷涂完一个叶片后旋转台自动旋转一定的角度，使得机器人实现下一个叶片的喷涂，该过程通过调用Smart组件进行信号交互的方式来实现(分)。  **4. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装 RobotStudio 6.08。 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第二部分：过程记录   * 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。并导入paintinggun.sat，将其安装在机器人上。        * 1. 将tcp定义至下图所示喷枪出口中心点处100mm处     步骤2的具体实现是通过实验1的方法，捕捉中心点将tcp坐标系定义至喷枪出口位置。然后通过下图的偏移方法，将Mytool坐标系参考“本地”，向Z方向偏移100mm，即可完成喷枪出口TCP的配置。  具体偏移步骤如下图所示：    然后通过Freehand中的手动关节功能，通过移动J5，发现喷枪和TCP跟随关节一起运动，说明此步骤的过程正确无误。     * 1. 创建圆柱体旋转台和导入叶片propellerCC2\_1.sat到合适位置   创建圆柱体的过程如下图所示：    导入叶片并设定位置的步骤如下图所示：    上两图为导入步骤。    上两图为两个物体的位置设定，两者相互的位置关系也如上图所示。   * 1. 创建通讯及信号  1. 在Devicenet Device中创建board10如下图：      1. 定义四个数字输出信号do1，do2，do3，do4，将其连接至devicenet并分配地址，具体如下图：        * 1. 创建机械装置并定义动作  1. 点击建模下的创建机械装置     接下来我们的任务就是将右侧My\_Mechanism中的四个不正确将它设置正确即可完成这步操作。  链接设置：        发现链接正确，完成。  框架设置：    接点设置：    校准设置：      变成如上这样就可以编译机械装置，得到下图：     1. 修改姿态   点击右下角姿态添加得到：    至此步骤5完毕。   * 1. 使用smart组件关联信号与机械装置动作  1. 添加smart组件并与机械装置pose关联。     得到这三个PoseMover后，需要对其属性进行修改。具体操作如下：    将三个PoseMover分别于三个姿态关联，上图是与HomePose关联的操作，其他的两个姿态均与此操作一致。   1. 接着直接点击设计进行操作   成果如下图所示：    其中输入量直接点击输入旁边的加号创建sdi1，sdi2，sdi3，然后与PoseMover中的Execute相连。这样的操作简单有效，相比于老师的教学PPT，此法直接通过图形化操作界面来进行，步骤更简单。   1. 将工作站信号与smart组件信号关联     点击工作站逻辑，原始界面中System4中无任何数据，我们需要通过如下图片的操作添加我们创建的do1，do2，do3。      至此步骤6完成，接下来就可对装置进行编程使其旋转。   * 1. 叶片曲目工作路径的获取   步骤7是此次题目的重难点。如何在曲面上获取路径，我尝试了两种方法。  第一种方法是通过Ultimaker Cura软件，将叶片的源文件通过SW2021保存为stl文件后导入Ultimaker Cura生成3d打印所用的G代码。            由此可见，当层高8mm，填充为0时，仍有接近5000行代码，遂放弃  第二种方法，同样类似于切片原理，通过三维图形的“减去”操作，对叶片进行切片。灵感启发于RobotStudio 6.08中的CAD操作：    我们可以利用两个物体相减，在Z轴上每次已8mm来切削叶片。此步骤相比于生成G代码转换而言，简单，高效且轻松。    如上图所示，我们可以通过偏移部件1圆柱体来进行相减操作，下面我将展示我所得到的相减后的叶片切片。    如上图所示，部件2-10均是通过“减去”操作得到的切片。下面对其进行展示：      因为展示的原因，我将其切片每个都逐渐向y轴偏移了40mm，在实际操作过程中，  我们可以在原处选择我们的切片，然后通过自动路径来取点。    通过此方法，我们可以发现原来无法使用自动路径提取的曲面，可以使用其提取目标点了。接下的所有操作均时我们实验4所用的知识了。   * 1. 通过路径中的“反转路径”功能，完成叶片的全覆盖路径规划。     “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。    反转结果如上图所示。  重复操作得到最终路径如下：      其中最右边之所以没连上是因为我生成了12条路经。没有用一条路径从头走到尾。    但在代码中可以体现到，从path\_10到path\_20的间断点处，仍是MoveL指令。     * 1. 编写RAPID代码完成题目要求。   要求为：采用旋转台对叶片进行旋转，旋转台可处理3个叶片，即每次喷涂完一个叶片后旋转台自动旋转一定的角度，使得机器人实现下一个叶片的喷涂，该过程通过调用Smart组件进行信号交互的方式来实现  所以我们通过如下代码来实现：      PROC main()          WHILE TRUE DO          reg2 := 0;          MoveJ pHome, v200, z10, Mytool;          Reset do1;          Reset do2;          Reset do3;          set do1;          WaitTime 1;          FOR i FROM 1 TO 3 DO               IF reg1 = 1 THEN           set do2;              WaitTime 1;              ENDIF           IF reg1 = 2 THEN           set do3;              WaitTime 1;           ENDIF              Path\_10;              Path\_30;              Path\_40;              Path\_50;              Path\_60;              Path\_70;              Path\_80;              Path\_90;              Path\_100;              Path\_110;              Path\_120;              WaitTime 0.5;           reg1 := reg1 + 1;          ENDFOR          ENDWHILE      ENDPROC  最终得到题目所规定的效果。  过程部分展示如下：       * 1. 实现喷涂过程机械臂工具中心点即TCP的位置、速度仿真，实现喷涂过程机器人六轴转动角度及速度仿真，分析喷涂过程中TCP速度波动的原因     TCP的速度大致维持在200mm/s附近，说明整体路径规划执行较为顺畅。然而，每隔一段时间，速度曲线会出现急剧下降甚至跌至接近0的位置，随后又迅速恢复至目标速度。这种波动规律在整条喷涂轨迹中呈周期性反复，表现出典型的“锯齿状”形态。  通过对这些速度波谷位置与轨迹节点的比对，我们发现这些速度陡降主要出现在路径段与段之间的切换点，或者路径的起止位置。这说明在路径末端或姿态变化较大的区域，机器人为了确保轨迹和姿态的精确插值，会自动引入减速控制机制。此外，在某些位置，TCP速度甚至降为0，这意味着机器人执行了静止等待或者路径段之间存在不连续的转换，极有可能是为了保证姿态过渡平滑所采取的插补动作。    我们可以清晰地看到J1到J6各轴在喷涂过程中的姿态变化情况。其中，J3、J4和J6的角度波动幅度较大。这说明这几个关节在整个过程中承担了主要的姿态调整任务，尤其是J6，其快速转动用于维持喷枪喷涂方向与叶片表面法线一致。  J1与J2的角度变化相对平缓，变化范围也较小，基本保持稳定，这说明机器人基座方向与工件夹持关系设计合理，避免了大幅度躯干扭动；而J5的角度变化呈现出局部缓慢爬升趋势，表明其在路径连续性段中承担了微调TCP朝向的角色。  通过这两组图表的联动分析，我们可以得出结论：TCP速度的波动并非单一因素造成，而是六轴在执行复合姿态调整过程中，共同作用下的表现  教师签字  第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  在叶片路径规划中，通过RobotStudio的CAD操作对叶片进行切片（每层厚度8mm），成功提取出曲面轮廓线。采用“奇数层正向走、偶数层反向走”的弓字形策略，实现了叶片表面全覆盖喷涂，路径两端延伸50mm的设计有效保障了边缘覆盖效果。  运动控制测试显示，TCP速度在叶片中段直线区域能稳定维持在200mm/s左右；但在路径起止点及层间转向位置，速度会出现明显波动（最低降至180mm/s以下）。进一步分析关节数据发现，在整个喷涂仿真中，六个关节的协同运动构成了机器人路径与姿态变化的核心控制机制。J3、J4和J6作为主要的姿态调整关节，其角度波动大、动态响应快，正是为了保持喷枪Z轴始终垂直于螺旋桨叶片的局部法线方向，确保喷涂精度。而J6的快速旋转尤为关键，它直接控制末端执行器姿态的旋转自由度，对喷枪的方向调整起到最终定向作用。由此可见，J6的高速转动和频繁调整是姿态控制稳定性的一个核心体现，同时也是影响TCP速度平稳性的主要因素之一。  **二、小结、建议及体会**  本次虚拟喷涂工作站的构建与仿真实践，不仅让我全面了解了工业机器人在复杂异形件喷涂任务中的工作机制，更深刻体会到数字孪生技术在工业智能化转型过程中的关键作用。通过RobotStudio平台，我们从零开始完成了路径切片、TCP轨迹生成、RAPID程序编写、喷涂动作仿真、旋转台协同控制等一整套喷涂任务流程，在实战中综合运用了机器人运动学、轨迹规划、信号交互与仿真分析等多方面知识。  从结果来看，整个喷涂路径能够稳定覆盖三片螺旋桨叶片表面，路径间距、延伸区、法线对齐等关键参数均达到了预期要求，Smart组件与旋转台联动也实现了自动化节拍控制。但仿真中暴露的TCP速度波动、J3/J6高负载等问题也提醒我们，在设计路径时不仅要考虑几何覆盖完整性，还需关注运动连续性、姿态平稳性与结构动态负载的协同优化。  本次项目的最大收获在于——让我切身感受到，真正的工业机器人工作站不仅仅依赖单一程序的正确性，更依赖于“结构-控制-路径”多要素之间的协调融合。虚拟仿真环境为我们提供了一个低成本、高效率的试验平台，使我们得以在真实生产之前不断验证与优化设计。在今后的学习与实践中，我希望能够进一步探索运动学求解、实时控制与多机器人协作等更高层次的智能化控制方法，为进入工业现场做好更充分的技术准备。 |

实验课程名称：工业机器人编程与实践

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **三机器人协同喷涂异形件仿真** | | | **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   1. **项目要求**   试采用三个机器人协同作业的方式来实现所给异形件的全覆盖喷涂，要求三个机器人同时作业且相互之间不产生运动干涉（即无碰撞），假设机器人喷涂后漆雾在喷涂面上的扩散圆半径为100mm左右，将此扩散圆以红色显示在喷涂过程中，并实现异形件的全覆盖喷涂，如下图所示。(95±5分)。    **2. 主要仪器设备及耗材**  （1）计算机：安装 RobotStudio 6.08。 | | | | | |

|  |
| --- |
| 第二部分：过程记录   1. 创建三个IRB5510机器人，导入工件并预设好位置      1. 导入三个工作站控制器      1. 为每个控制器定义数字输出信号dopaint0          1. 使用smart组件关联信号          1. 将工作站信号与smart组件信号关联      1. 通过前面所学知识完成一条路径的规划     此处因为IRB5510机器人与之前的其他机器人不同，其程序模块部分与之前的IRB 2600不同，在整个过程的实现中，一定要将自己的路径设置为仿真的进入点，不然IRB5510会一直卡在等待的环节从而无法执行任务。  具体设置如下：     1. 因为三台机器人一致，所以将第一台机器人的运行代码复制粘贴进其他机器人。     通过同步至工作站，方便下面步骤的进行。具体操作如下：    之后所有控制器均有如下信息：     1. 通过对目标点的微调达到全路径的覆盖     通过此方法实现目标点的微调。    通过此方法来观察喷漆范围是否符合条件。  最后将其同步到RAPID代码，实现喷漆全覆盖。   1. 展示   个人的三台机器人完整路径如下    喷漆过程展示如下：      最后亦可以看见异型工件已被全喷漆为红色。    教师签字    第三部分：结果与讨论  **一、实验结果分析**  在选作题中，三台机器人通过优化路径与站位，实现了同步喷涂，未发生碰撞事件。漆雾扩散模拟清晰显示了喷涂覆盖范围，验证了路径全覆盖。通过Smart组件，实现了喷涂任务调度与路径同步，提升了整体协同作业效率。  **二、小结、建议及体会**  通过本次实验，深刻理解了工业机器人在喷涂应用中的离线编程流程与参数优化关键点，掌握了RobotStudio平台在数字孪生建模与仿真中的强大功能。建议在实际应用中进一步结合传感器反馈实现路径自适应，提高喷涂一致性。同时，对于多机器人协同喷涂，应强化碰撞预判与多目标路径规划算法的使用，以实现更复杂场景下的智能作业。 |