

智能机器人实验指导书

清华大学自动化系

2024 年 1 月

目 录

实验一 工业机器人示教再现实验.....	- 1 -
一、实验目的.....	- 1 -
二、实验设备.....	- 1 -
三、实验内容.....	- 1 -
四、实验步骤.....	- 1 -
五、实验报告要求.....	- 3 -
实验二 工业机器人搬运码垛实验.....	- 4 -
一、实验目的.....	- 4 -
二、实验设备.....	- 4 -
三、实验内容.....	- 4 -
四、实验步骤.....	- 4 -
五、实验报告要求.....	- 5 -
实验三 系统安装.....	- 6 -
一、实验目的.....	- 6 -
二、实验设备.....	- 6 -
三、实验内容.....	- 6 -
四、实验步骤.....	- 6 -
实验四 移动机器人定位与建图.....	- 7 -
一、实验目的.....	- 7 -
二、实验设备.....	- 7 -
三、实验内容.....	- 7 -
四、实验步骤.....	- 7 -
五、实验报告要求.....	- 8 -
实验五 移动机器人路径规划.....	- 9 -
一、实验目的.....	- 9 -
二、实验设备.....	- 9 -
三、实验内容.....	- 9 -
四、实验要求.....	- 9 -
五、实验步骤.....	- 9 -
六、实验报告要求.....	- 9 -

附录 1 《UR 机器人用户手册》	- 10 -
附录 2 《工业机器人搬运码垛指导手册》	- 10 -
附录 3 移动机器人实验手册.....	- 10 -

实验一 工业机器人示教再现实验

一、实验目的

1. 熟悉 UR 六自由度工业机器人的基本操作和使用
2. 学会用终端控制机器人运动

二、实验设备

1. UR 工业机器人

三、实验内容

1. 了解熟悉 UR 机器人硬件系统和示教终端
2. 用示教终端操作机器人运行
3. 编写简单控制程序操纵机器人完成相关工艺流程

四、实验步骤

1. 启动工业机器人



图 1-1 机器人用户界面

2. 机器人控制

在此屏幕，始终可通过平移/旋转机器人工具或逐个移动机器人关节来直接移动

(缓慢移动) 机器人手臂。

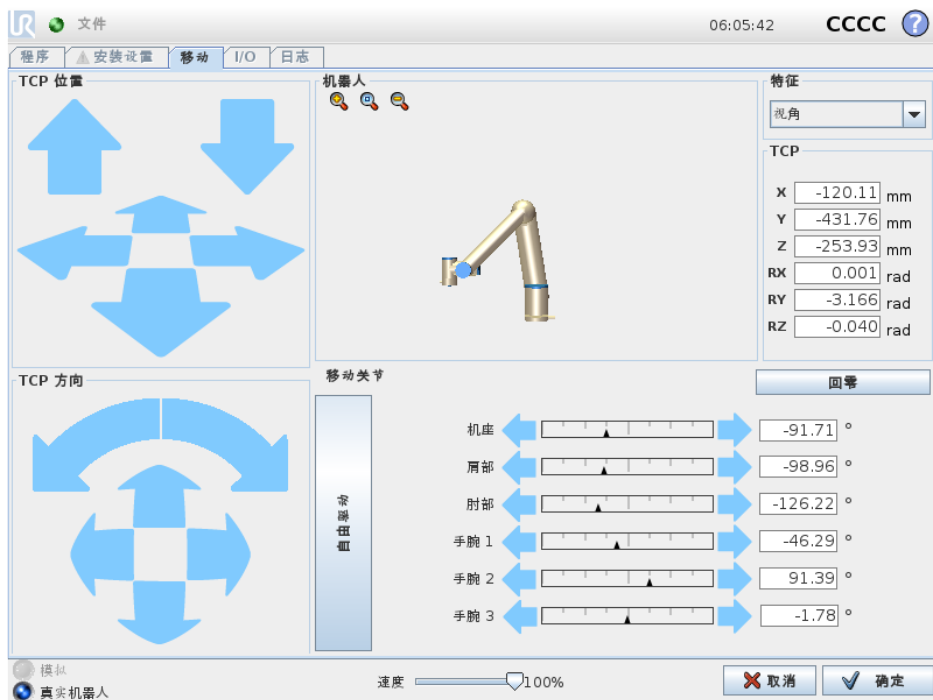


图 1-2 操控界面

3. 用示教终端编程控制机器人

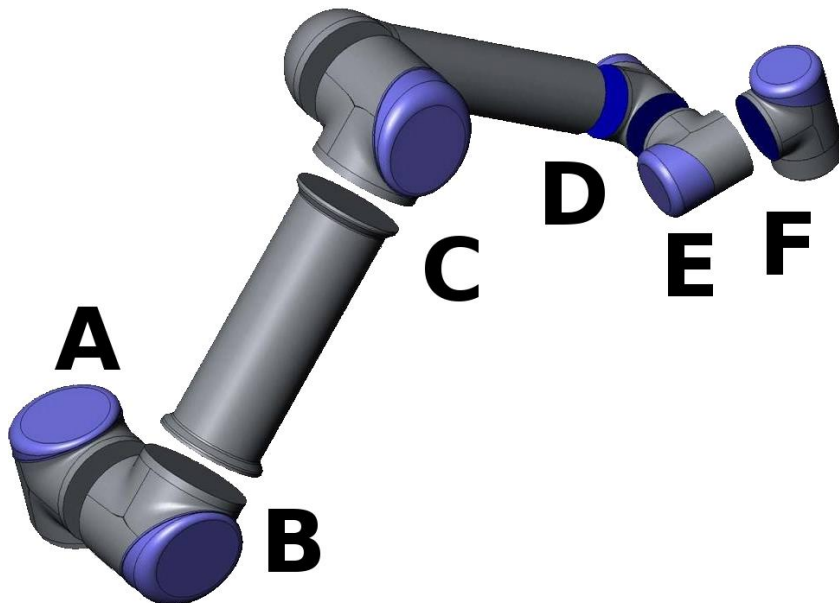


图 1-3 机器人关节 A: 机座, B: 肩部, C: 肘部, D、E、F: 手腕 1、2、3

以下是一个简单的程序，它允许已启动的机器手臂在两个路点之间移动。

- (1) 触摸Program Robot button and select Empty Program.
- (2) 触摸“下一个”按钮(右下角)，使<empty>行在屏幕左侧的树形结构中处于选中状态。
- (3) 转到Structure选项卡。
- (4) 触摸Move按钮。
- (5) 转到Command选项卡。

- (6) 按“下一个”按钮，然后转到“路点”设置。
- (7) 按“?”图片旁边的Set this waypoint按钮。
- (8) 在“移动”屏幕上，通过点按各个蓝色箭头来移动机器人，或者在按住教盒背面的“自由驱动”按钮的同时拉动机器人手臂。
- (9) 按OK。
- (10) 按Add waypoint before。
- (11) 按“?”图片旁边的Set this waypoint按钮。
- (12) 在“移动”屏幕上，通过点按各个蓝色箭头来移动机器人，或者在按住“自由驱动”按钮的同时拉动机器人手臂。
- (13) 按OK。
- (14) 程序已就绪。按“播放”符号后，机器人将在两点之间移动。站在远离机器人的位置，按住紧急停止按钮并按“播放”。
- (15) 该程序可指示机器人在给定的两点之间移动。

五、实验报告要求

- 1. 完成一个完整工艺流程的示教再现（如虚拟焊接，物料搬运）。
- 2. 总结操作工业机器人的要点，以及完成工艺流程中的注意事项。
- 3. 对机器人终端夹具和工艺流程设置给出意见和建议。

实验二 工业机器人搬运码垛实验

一、实验目的

1. 掌握虚拟仿真软件的基础操作
2. 利用模型库搭建搬运码垛工作站
3. 对工业机器人搬运码垛进行简单仿真操作

二、实验设备

1. PC 电脑
2. RoboDK 软件
3. 工业机器人模型（实验素材文件夹）
4. 工业机器人仿真程序（仿真程序文件夹）

三、实验内容

在理解掌握工业机器人虚拟仿真概念的基础上，熟悉虚拟仿真软件的基本操作，通过虚拟仿真软件创建机器人工作环境及并进行简单操作，以加深对工业机器人的认识。实验分为两部分：第一部分搬运红色物块，第二部分搬运黄色和蓝色物块。第二部分为有兴趣的同学提供数据，由同学们自行编写程序。

四、实验步骤

1. 基本操作
 - (1) 软件界面
RoboDK 软件界面主要由菜单栏、命令栏、项目栏和仿真区域组成。
 - (2) 软件视图操作及快捷键操作
 - (3) 命令栏按键及其功能
RoboDK 命令栏提供了机器人虚拟仿真过程中常用的命令按键，可以让用户方便快捷的使用这些命令。
2. 工作台搭建
 - (1) 机器人导入
 - (2) 桌台及工件导入
3. 搬运码垛程序编写
 - (1) 夹具开关程序编写
 - (2) 路径点记录
 - (3) 搬运程序编写

检查要求及注意事项：

1. 工作台搭建无明显模型碰撞。

2. 实现红色工件从搬运桌面搬运至目标位置，过程无模型碰撞。
3. 已设置完成的坐标点、坐标轴及时将其选择不可见

4. 切换点击  可以刷新系统界面

5. 画面偏离时，点击  回归默认位置

五、实验报告要求

1. 完成工艺流程的仿真程序
2. 在 UR 机器人上运行程序进行检验
3. 写出心得体和意见建议

实验三 系统安装

一、实验目的

安装 ROS 操作系统，以备后续实验使用。

二、实验设备

1. NUC 一台
2. 配套键盘、鼠标、显示器各一个

三、实验内容

1. 安装 Ubuntu 18.04
2. 安装 ROS-Melodic

四、实验步骤

1. 按照实验手册提供的链接下载 Ubuntu18.04 镜像，制作启动 U 盘，并安装 Ubuntu 系统
2. Ubuntu18.04 安装成功后，进入终端，按实验手册提示继续安装 ROS-Melodic
3. 配置环境变量，，搭建 ROS 开发环境（推荐 IDE VScode），测试 ROS 是否安装成功

实验四 移动机器人定位与建图

一、实验目的

1. 掌握一种 SLAM 算法，在移动机器人上实现
2. 完成对走廊环境的建图，并根据建图结果分析算法性能

二、实验设备

1. 配备了二维激光雷达 RPLIDAR S1 的 Turtlebot 移动机器人 (Kobuki 底盘，又称小车) 一台
2. 安装 Ubuntu 18.04+ROS-Melodic 的和 NUC 一台、编程语言 C / C++
3. USB 电缆两根 (分别连接 NUC 与底盘、NUC 与激光雷达)

三、实验内容

1. 编程实现移动机器人运动控制和激光雷达数据读取
2. 测试实验用 2D 激光雷达和车载里程计的性能
3. 在移动机器人上实现 SLAM 功能，完成对主楼五楼半个走廊的建图
4. 根据建图结果分析算法性能

四、实验步骤

1. 编程实现移动机器人运动控制和激光雷达数据读取
 - (1) 仔细阅读实验注意事项和附录 1 实验手册
 - (2) 运动控制：编程控制移动机器人以 0.1m/s 的线速度前进
 - (3) 读取激光雷达：编程读取雷达扫描数据，尝试把手放在 RPLIDAR 的前面、侧面、后面，查看输出。
 - (4) 用键盘控制机器人移动，并在移动过程中观察里程计、激光雷达数据信息。
2. 测试实验用 2D 激光雷达和车载里程计的性能
 - (1) 静态环境，采集激光雷达传感器至少 1000 帧的数据，画图分析该激光雷达的性能
 - (2) 给移动机器人发运动指令，使小车沿着不少于 16m 长的路径运动一圈，记录按运动指令应回到初始位置时，实际位置与出发点的距离。
3. 在移动机器人上实现 SLAM 功能，完成对主楼五楼半侧走廊的建图
 - (1) 采用开源软件包如 Gmapping (或其它软件包)在 NUC 上实现，使移动机器人具有 SLAM 功能；
 - (2) 静态环境下，手动或自动控制移动机器人从主楼 510 门口出发移动到走廊最东 (或西) 侧，同步完成 SLAM，并记录小车轨迹和所建立的完整的五楼东 (或西) 半侧走廊的地图 (完成建图之后，可以使用 map_server 软件包保存地

图，得到两个地图文件 xxx.pgm 和 xxx.yaml)。

- (3) 动态环境下，例如有人走动，手动或自动控制移动机器人以同样的速度走过与(2)中基本一样的路径，同步完成 SLAM，并记录小车轨迹和所建立的完整的五楼东（或西）半侧走廊的地图。
 - (4) 存在回环情况，即手动或自动控制移动机器人以同样的速度走过与(2)中基本一样的路径，但移动到最东侧后继续运动，返回到出发点。在运动过程中同步完成 SLAM，并记录小车轨迹和所建立的完整的五楼东（或西）半侧走廊的地图。
4. 根据建图结果分析算法性能
- 将 2 中(2)(3)(4)的建图结果与五楼走廊的测绘地图比较，并：
- (1) 分析所运行 SLAM 算法的建图误差
 - (2) 分析动态环境对建图误差的影响
 - (3) 分析所运行的 SLAM 算法是否有回环检测功能

五、实验报告要求

- 1. 所采用 SLAM 算法的原理
- 2. 依据实验结果，分析该算法的时间复杂度、建图误差、环境动态对建图结果的影响等，分析该算法的优缺点
- 3. 实验中遇到的问题及解决办法、实验建议等

实验五 移动机器人路径规划

一、实验目的

1. 掌握路径规划方法，在移动机器人上实现
2. 控制移动机器人在结构化场景中实现到达随机指定的目标位置的自主导航

二、实验设备

1. 配备了二维激光雷达 RPLIDAR S1 的 Turtlebot 移动机器人 (Kobuki 底盘) 一台
2. 安装 Ubuntu 18.04+ROS-Melodic 的 NUC 一台、编程语言 C / C++
3. USB 电缆两根 (分别连接 NUC 与底盘、NUC 与激光雷达)

三、实验内容

使用定位与建图实验结果。以下内容二选一：

1. 设计并编程实现路径规划算法，控制室内静态环境下的移动机器人自主完成以下任务：从指定的初始位置（入口）安全运动到任意指定的目标位置（出口）
2. 采用开源路径规划算法程序，控制室内动态环境下的移动机器人自主完成以下任务：从指定的初始位置（入口）安全运动到任意指定的目标位置（出口）

四、实验要求

1. 能够自动避开前进路径上存在的静态和动态障碍，并且不与周围墙壁或物体发生碰撞
2. 记录环境地图
3. 记录机器人运动轨迹
4. 记录到达目标位置花费的时间

五、实验步骤

1. 运行 demo_slam_navigation.mp4 体验机器人导航
2. 分析局部路径规划、全局路径规划的作用
3. 导入实验四中生成的地图，在导航中可以作为全局地图
4. 编写全局路径规划算法实现自主导航

六、实验报告要求

1. 所实现/采用路径规划算法的原理

2. 依据实验结果分析影响路径规划结果的因素，分析所采用算法的优缺点
3. 实验中遇到的问题及解决办法，实验建议和课程建议

附录 1 《UR机器人用户手册》

附录 2 《工业机器人搬运码垛指导手册》

附录 3 移动机器人实验手册