



汕头大学
SHANTOU UNIVERSITY

集控室触屏操作机器人 设计与实现

答辩人：罗晨林

指导老师：魏楚亮教授、范衡教授

专业：电子与通信工程



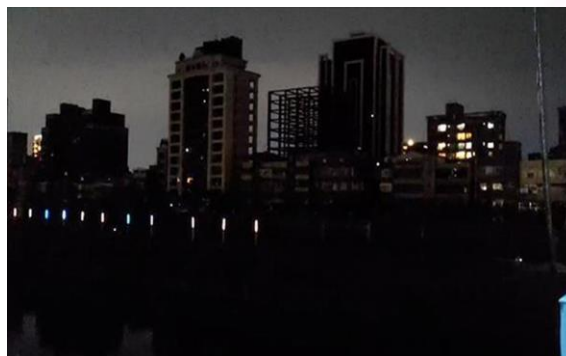
目录

- 研究绪论
- 机器人整体系统设计
- 机器人视觉控制方法
- 机器人软件设计
- 运行与测试结果
- 总结与展望



研究绪论 Introduction

电力工业既是提供全社会发展动力的**基础产业**，也是现代人赖以生存的**重要基础**。同时电力行业又是一个**高度危险**的行业，一旦发电厂运行出现故障，轻则**损坏设备**，重则发生**爆炸**等生产安全事故。所以保证**发电厂的安全平稳运行至关重要**。



台湾大停电事故



发电厂设备爆炸事故

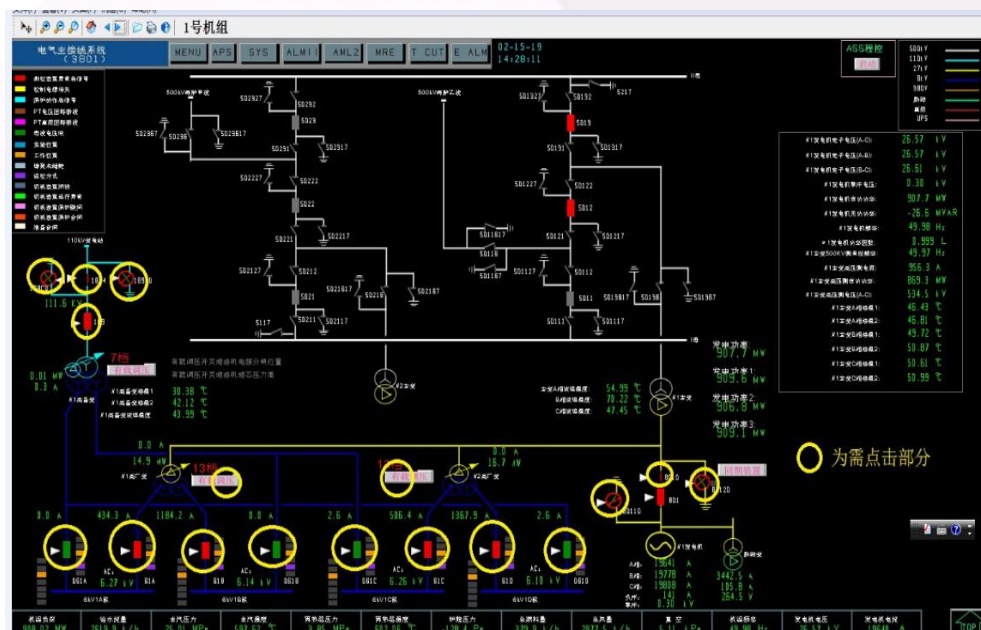
在现实电力工业生产中，电厂的集控运行往往采用DCS系统对电厂生产各个环节进行严密的监控，通过安排运行人员对DCS系统页面进行**24h监盘操作**，每个监盘人员需要负责**多台显示屏数据**的监控，严格按照操作票顺序从DCS系统不同界面中读取**大量实时数据并判断系统的状态**，并根据电厂的运行需求还要严格按照操作票逻辑对DCS界面中的电气图标**执行点击操作**。



发电厂集控室人工监盘场景

人工监盘中存在的问题

- DCS系统界面需监控的位点众多，往往需要一人对多个屏幕信息进行查看与判断，因此在执行时需要精神高度集中以避免错误，运行人员工作高度紧张，压力巨大；
- 电厂必须严格按照生产规范进行频繁的例行检查，工作重复性大，人员容易轻视大意；
- DCS系统界面包含多种图例、灯号等，逻辑复杂，运行人员长时间监盘，容易因疲劳造成误操作；
- 人工监盘自动化水平不高，电厂需要投入较多的人力和资金，生产效率还不高。



监盘系统页面
(圈出部分为需人为点击监控部分)

为什么需要触屏操作机器人？

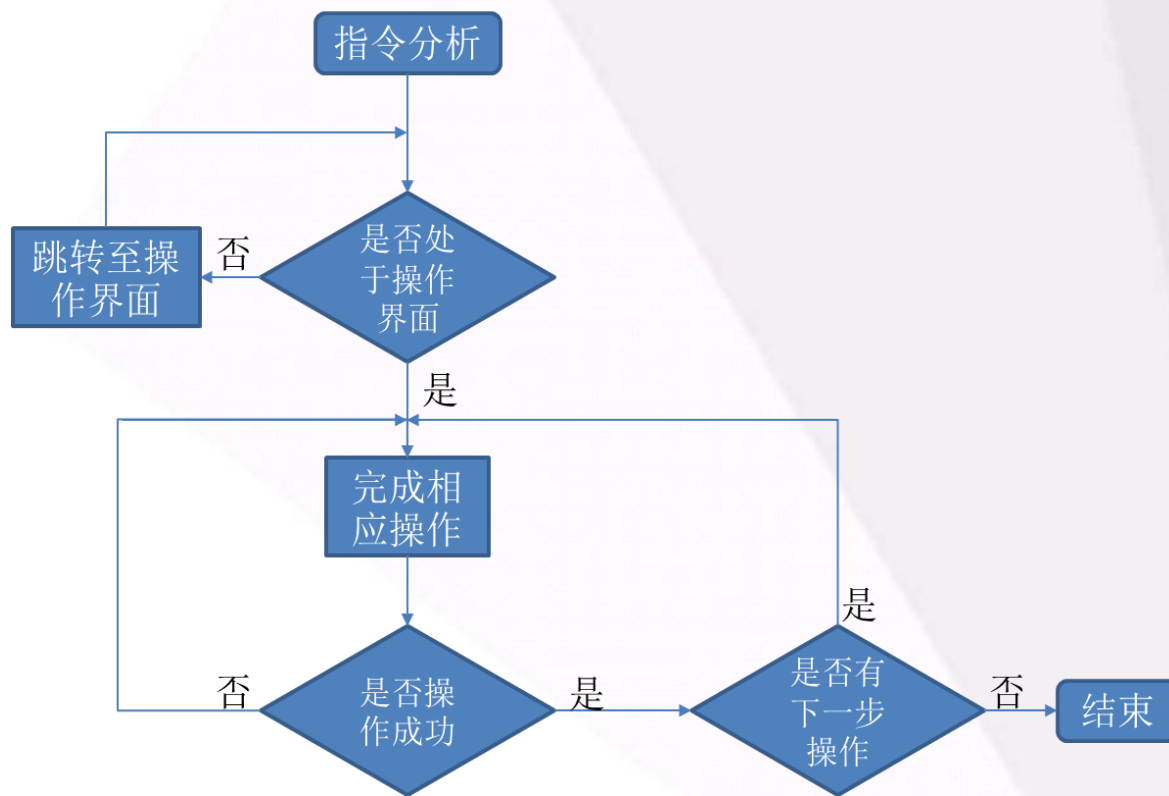
- 触屏操作机器人可以辅助监盘人员自动对DCS系统界面进行操作，可以缓解监盘人员的工作压力；
- 机器人可以稳定持久的工作，不会感到疲劳，能有效减少人工因疲劳造成的误操作，可以提高电厂的运行安全性；
- 机器人的应用，可以提高电厂的自动化和智能化水平，提高生产效率。

机器人整体系统设计

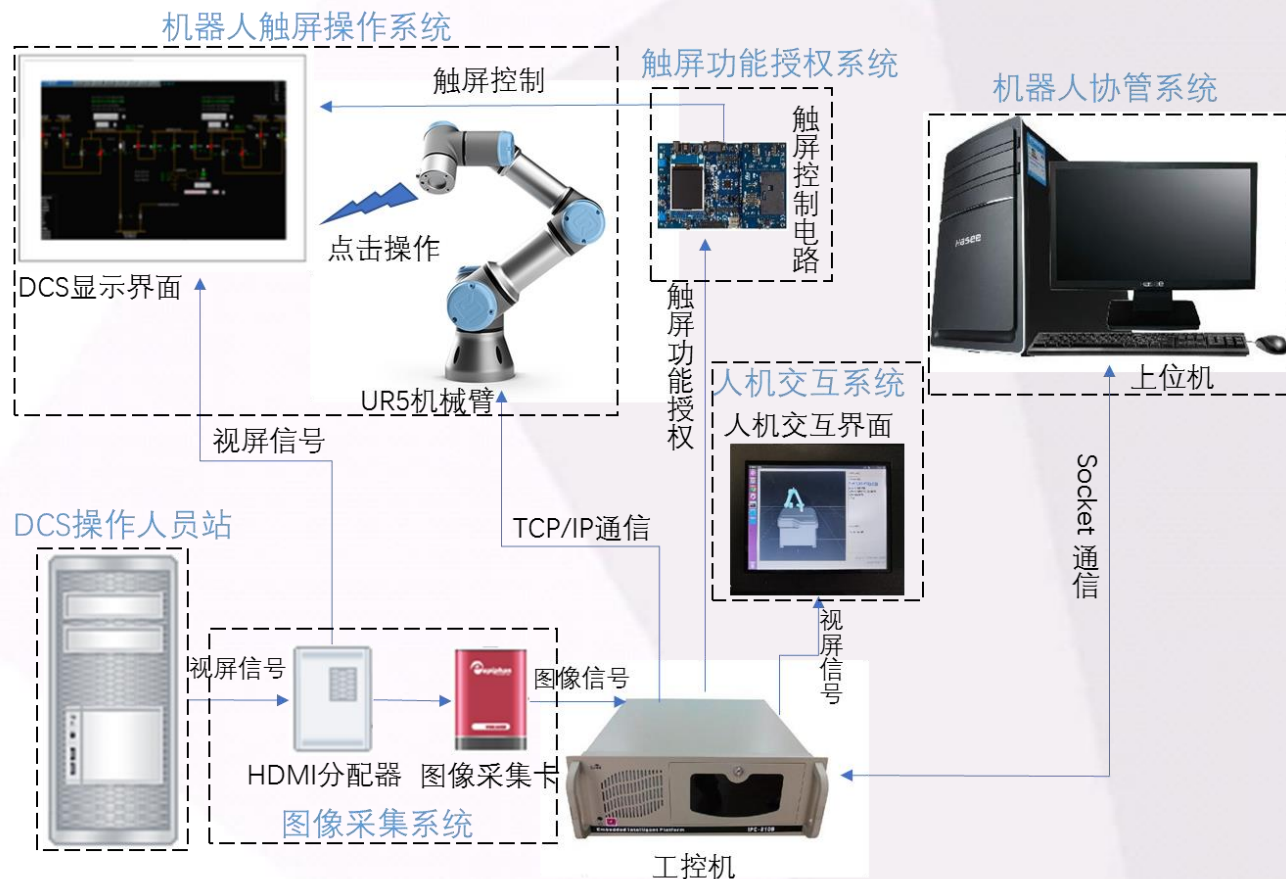
System Design of the Robot

人工监盘操作的特点

- 对DCS系统操作是顺序执行，操作步骤比较固定；
- DCS界面每个图例都有不同的特征，容易识别；
- 每个页面的跳转关系不变，图例位置固定。



人工监盘操作流程图



系统总体方案图

核心需求:

- 一个能够实现精准触屏操作的执行器;
- 一套能够帮助机器人获得目标图例位置的视觉系统;
- 一套兼容执行器、视觉系统并符合集控室场地要求的机器人外形结构;
- 充分保证DCS系统运行的安全设置。

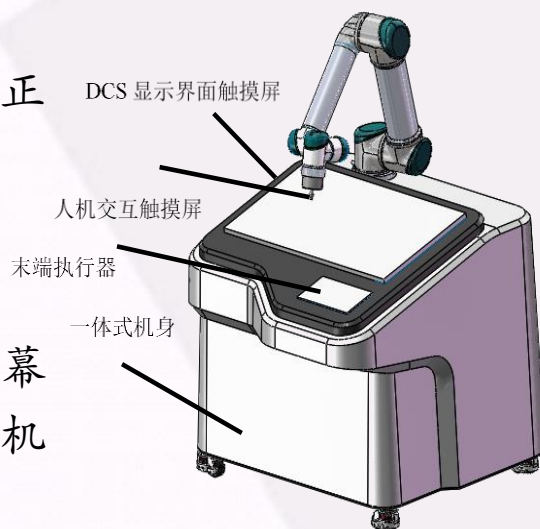
结构设计：

➤ 一体化设计：

- ◆ 机械臂与屏幕连成一体，无需反复校正，**接电即可使用**；
- ◆ 无需改造环境，可以实现**柔性部署**。

➤ 人体工学设计：

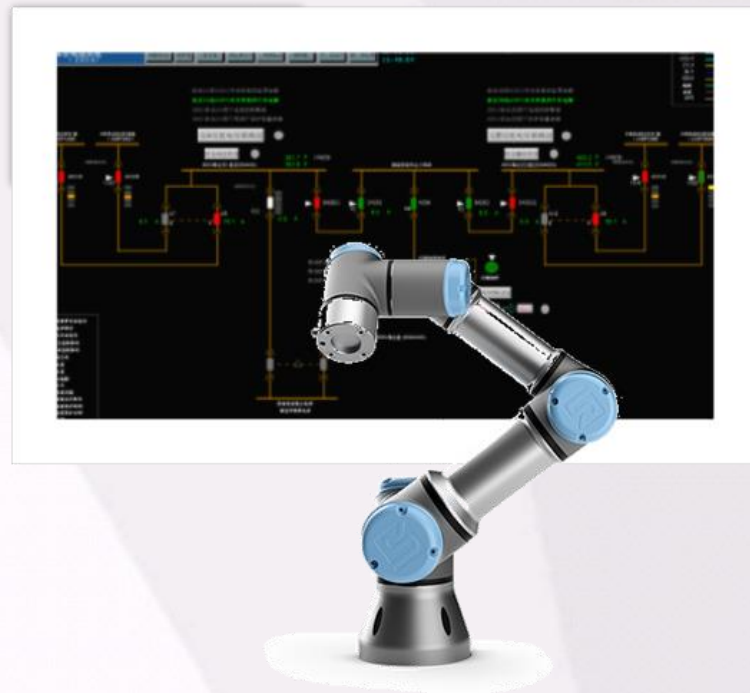
- ◆ 双显示屏设计充分考虑**人机交互**，屏幕倾角使用户可以清晰了解集控系统及机器人运行情况；
 - ◆ 屏幕高度适中，操作方便；
 - ◆ 人机工作空间分配合理，不互相干扰；
- **外观设计符合电厂风格**：具有一定的科技感，不会对现场工作人员造成压力和紧迫感。



机器人整体设计图

触屏操作系统:

- 主要由DCS界面触摸显示屏、UR5机械臂组成。
- 使用UR5机械臂对DCS界面触摸屏进行精确点击，且机器人不接入DCS系统，保证了DCS系统的信息安全；
- UR5机械臂重复精度达到0.1mm,同时对机器人的速度、加速度、力等进行控制，使机械部能够与人协同工作

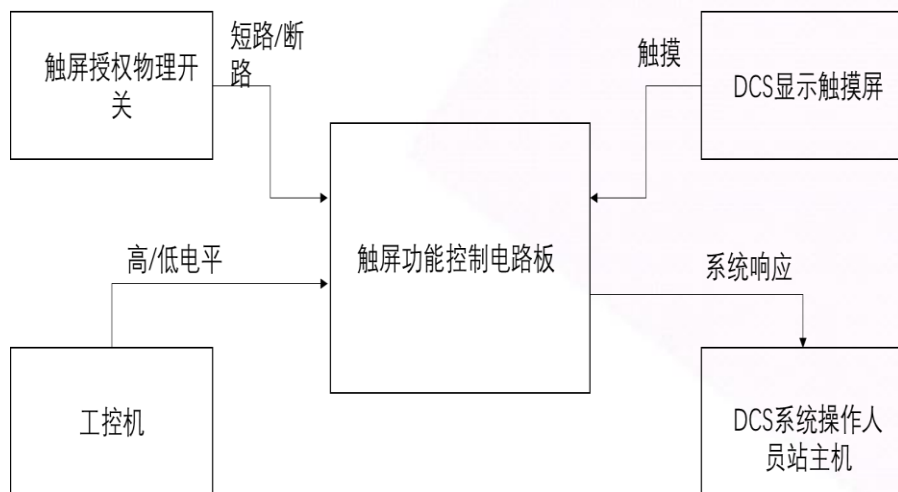


机器人触屏操作设计图

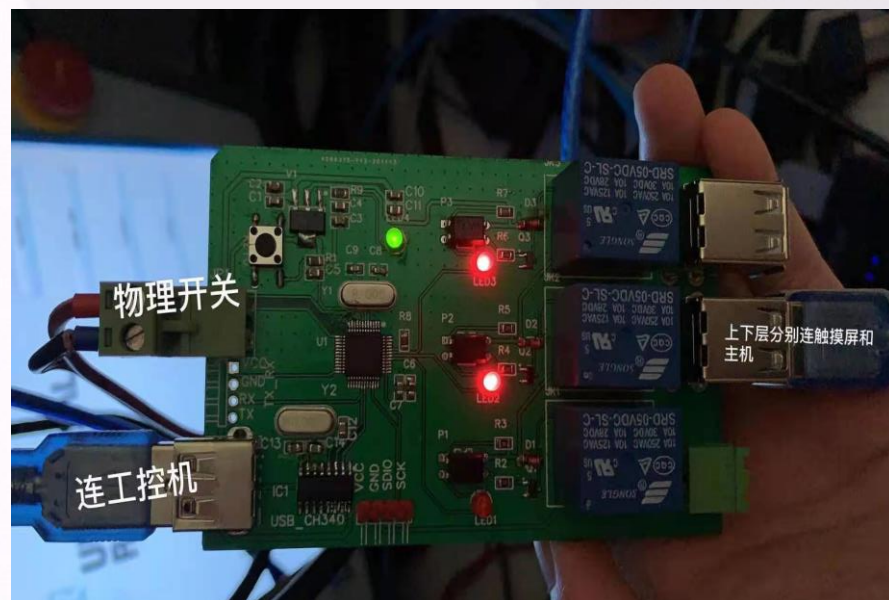
机器人安全设置：

➤ 触屏功能控制电路系统：

只有在工控机授权情况下，屏幕触屏点击功能才会被激活，避免误触碰屏幕事故发生。



触摸功能控制原理图



自主开发的触屏控制电路板

► 机械臂力反馈控制：

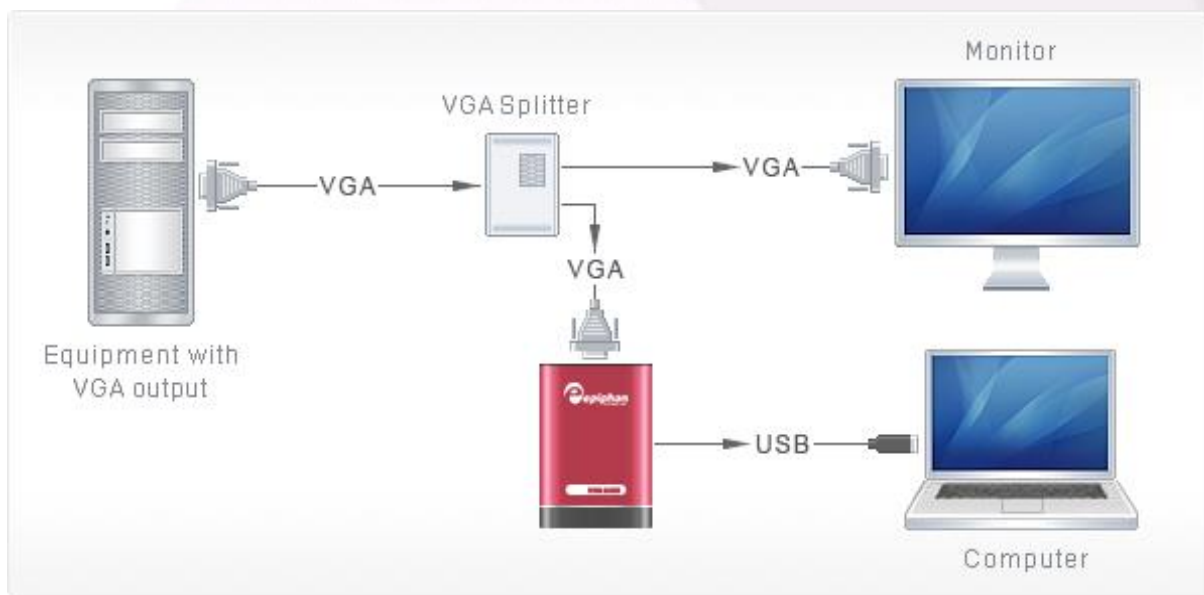
为保证机器人运动时碰撞到集控室来往行人和其它物品，采取力控制模式，当机械臂受到阻力过大时，机械臂即停止运行、并进行报警提示，实现良好的人机协同工作。



图像采集系统:

➤ 图像的获取采用VGA视频采集的方式

通过VGA视频采集卡直接从DCS操作人员站主机采集系统图像信息，且不会对系统进行信息回传，该采集方式采集的图像信息清晰、完整，不受环境光照、距离远近和摄像头视角的影响。



图像采集系统设计图

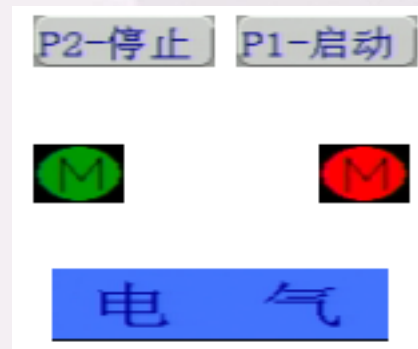


触屏操作机器人整体正视图

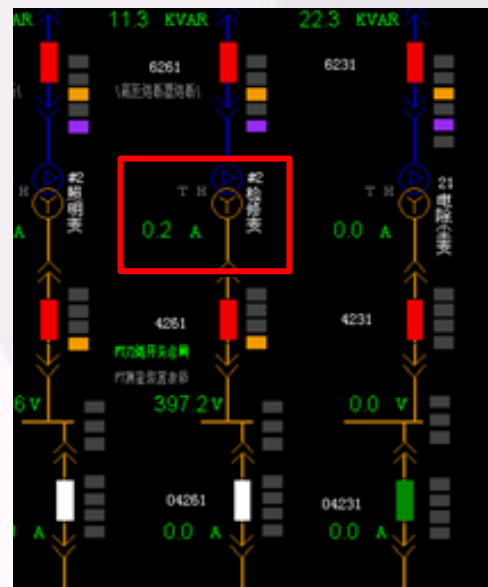
机器人视觉控制方法 Visual Servo of the Robot

目标识别与定位

- 通过制作每个页面和图例的模板库，使用模板匹配方法对VGA采集DCS界面图像信息进行处理，主要包括以下内容：
 - ◆ **页面识别**：通过页本身的特征及页面跳转的关系等判断当前页面类别。
 - ◆ **图例识别及定位**：可根据图例位置、颜色、形状、文字等特性对图例进行识别判断。
 - ◆ **点选效果复查**：点选复查包括两种，依靠点击触发图例的改变来判断以及触发后页面跳转关系。

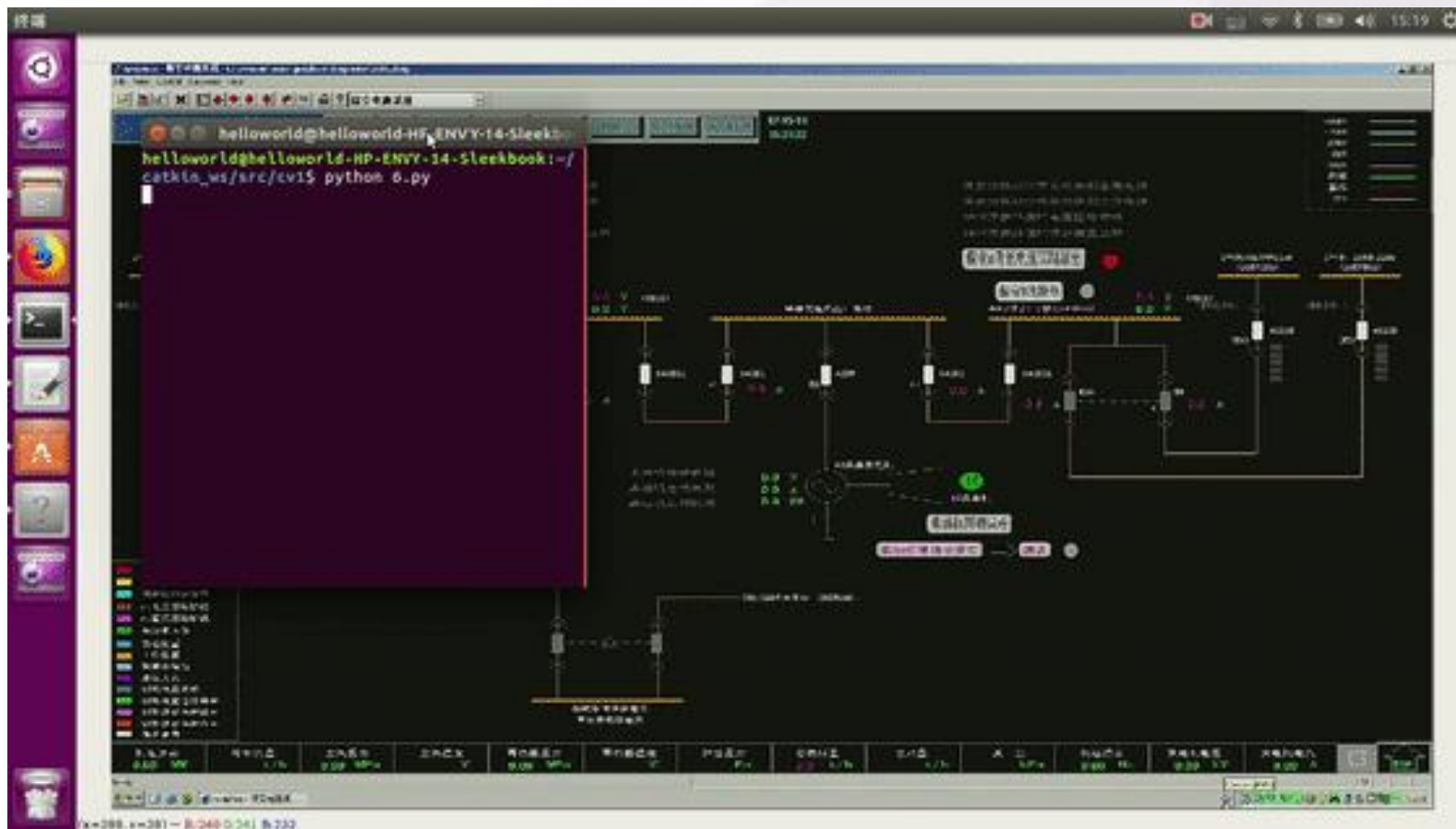


匹配模板示例图



界面图例

目标识别与定位



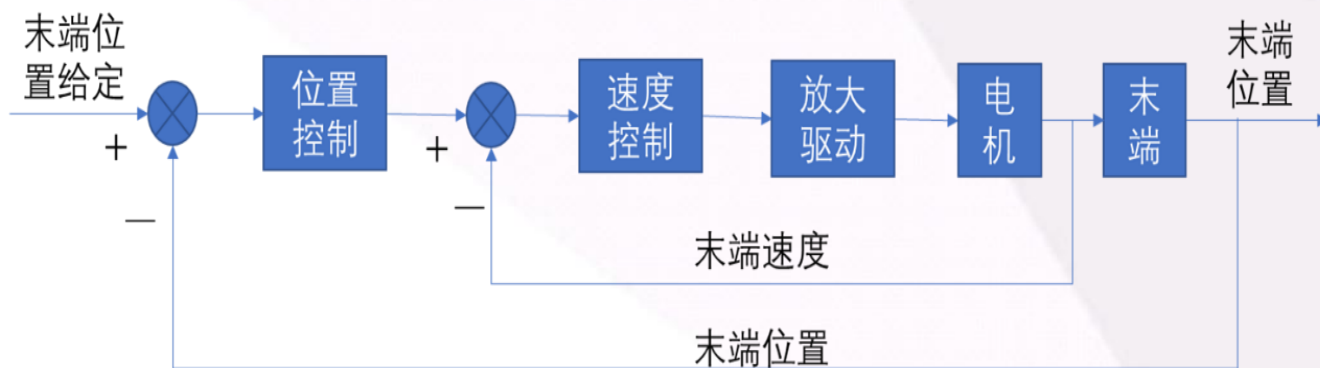
基于模板匹配的图像识别与定位

机械臂视觉伺服

- 通过求取旋转矩阵，将经过图像处理获得的像素坐标转化为机械臂基座标系下的三维空间坐标， ${}^A\mathbf{P} = {}_B^A\mathbf{R} {}^B\mathbf{P} + {}^A\mathbf{P}_{\text{BORG}}$ 。

- 采用基于位置的机械臂视觉控制

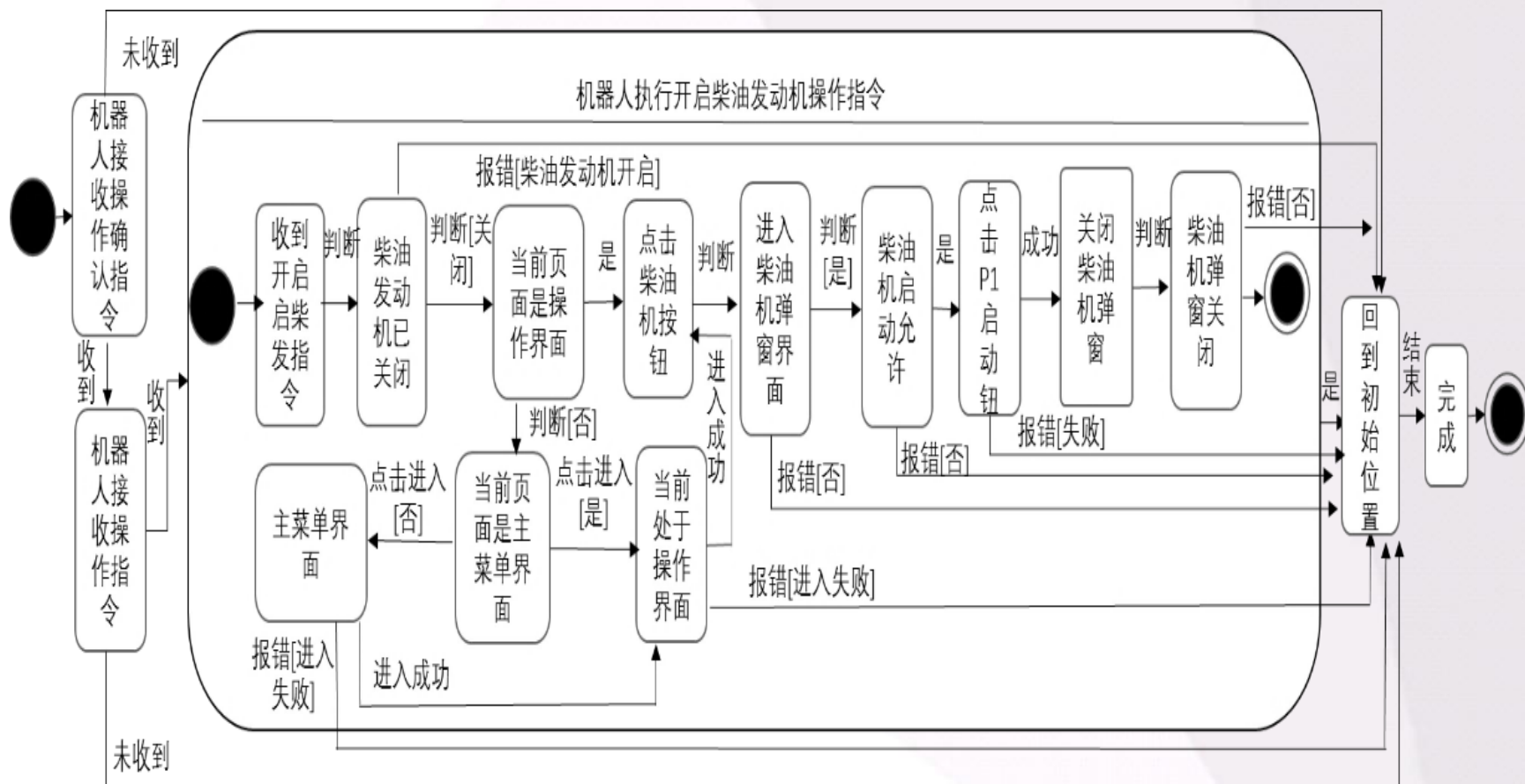
当获得目标图例在机器人基座标系下的三维坐标后，就可以通过位置控制使机器人的末端达到期望的位置。



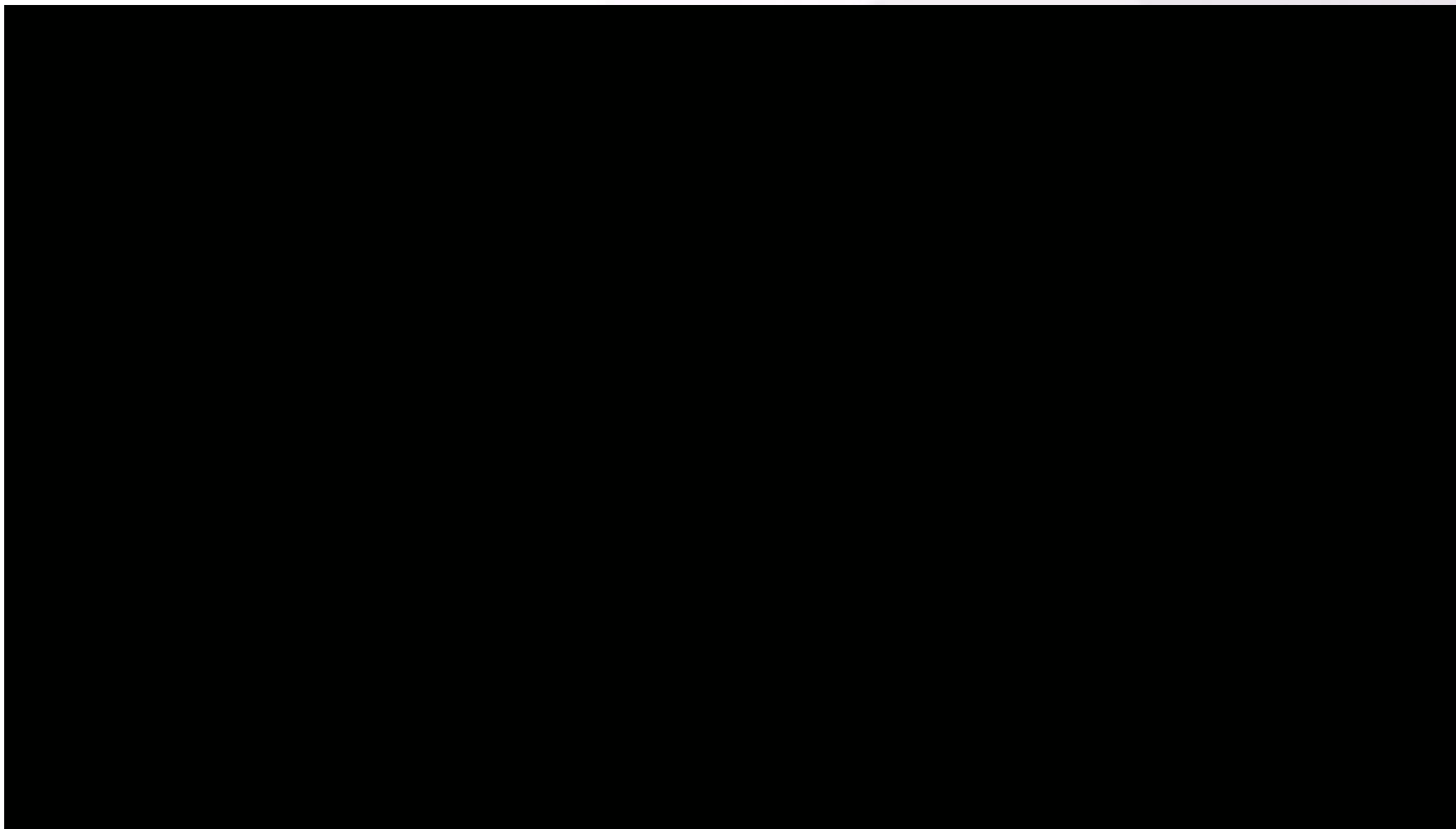
基于位置的视觉控制系统结构

机械臂视觉伺服：

- 通过实时轨迹规划，使机器人完成触屏操作，实现辅助人工监盘；
- 基于python中的urx库进行开发，将URScript程序通过socket通信发送给机器人从而控制机械臂完成直线运动。



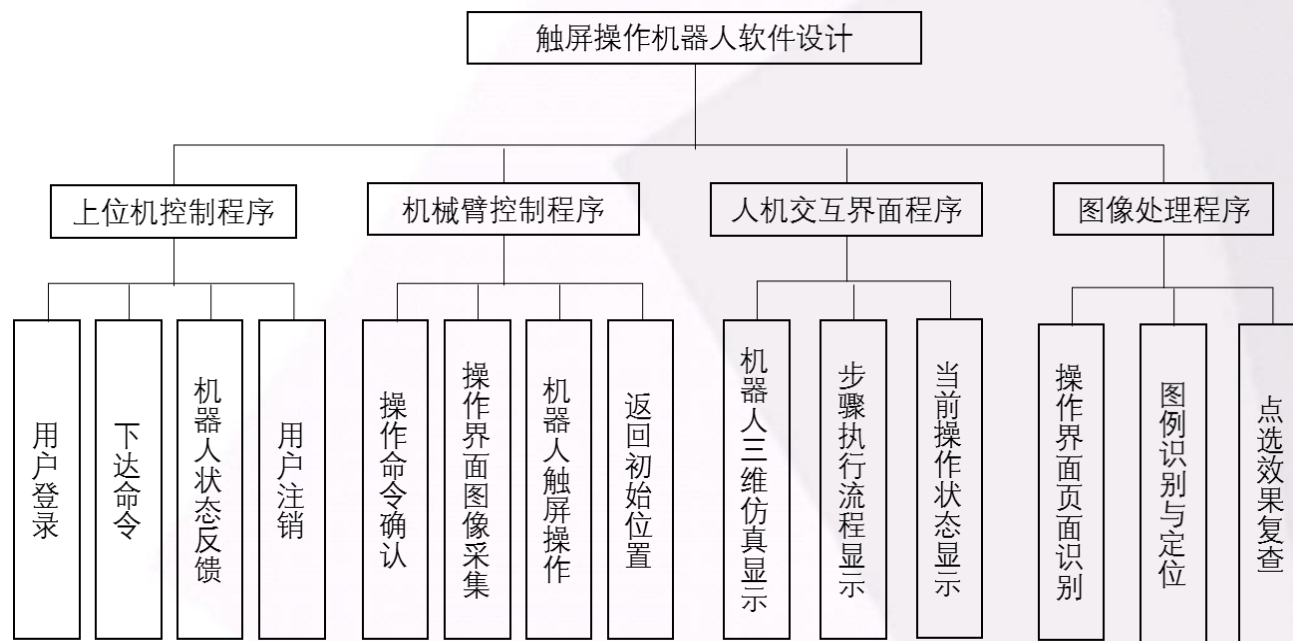
机器人开启柴油发动机UML状态图



机器人实时运动控制实验

机器人软件设计

Software Design of the Robot

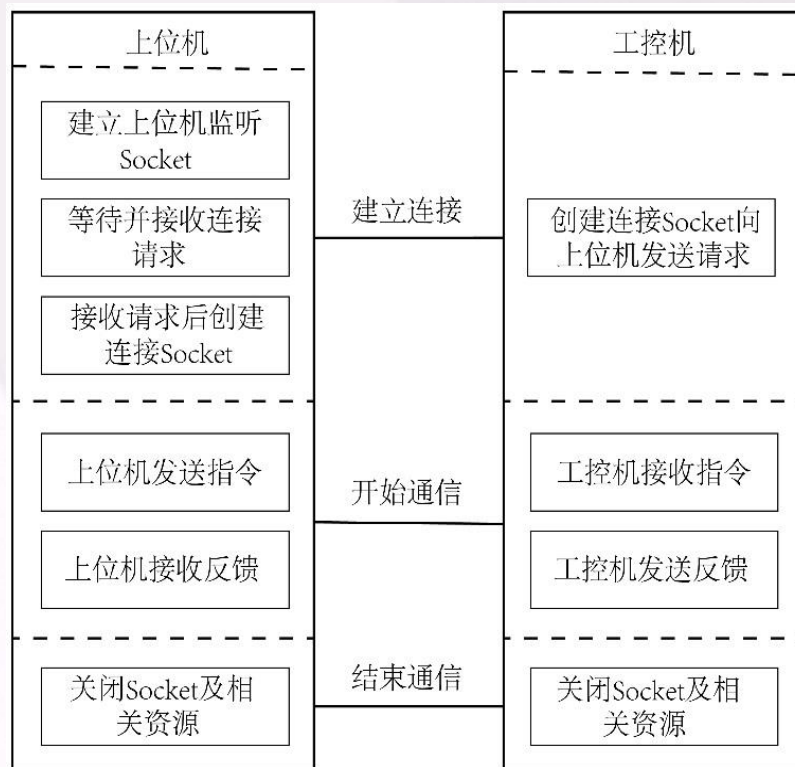


机器人呢软件总体设计框架

- 主要包括上位机控制程序模块、图像处理程序模块、机械臂运动控制程序模块、人机交互界面程序模块。
- 监盘工作人员通过鼠标点击上位机电脑屏幕中的命令窗口即可对机器人下达触屏操作命令，机器人接收到命令后便自动执行触屏操作，并通过人机交互界面实时可视化的显示机器人的操作状态。

上位机程序模块：

- 触屏机器人系统上位机的命令与反馈是通过Socket通信来实现的；
- 触屏机器人与其用于向机器人发送控制命令的上位机之间的通讯是双向的：
 - ◆ 当上位机需要进行定时任务或监盘人员的特定任务指令后，将向智能监盘机器人发送任务指令
 - ◆ 智能监盘机器人接收任务请求后将会对上位机进行应答，同时在机器人检测到异常情况或者完成任务后，将分别向上位机发送反馈信息



机器人通信模型

人机交互界面设计:

➤ 机械臂同步仿真:

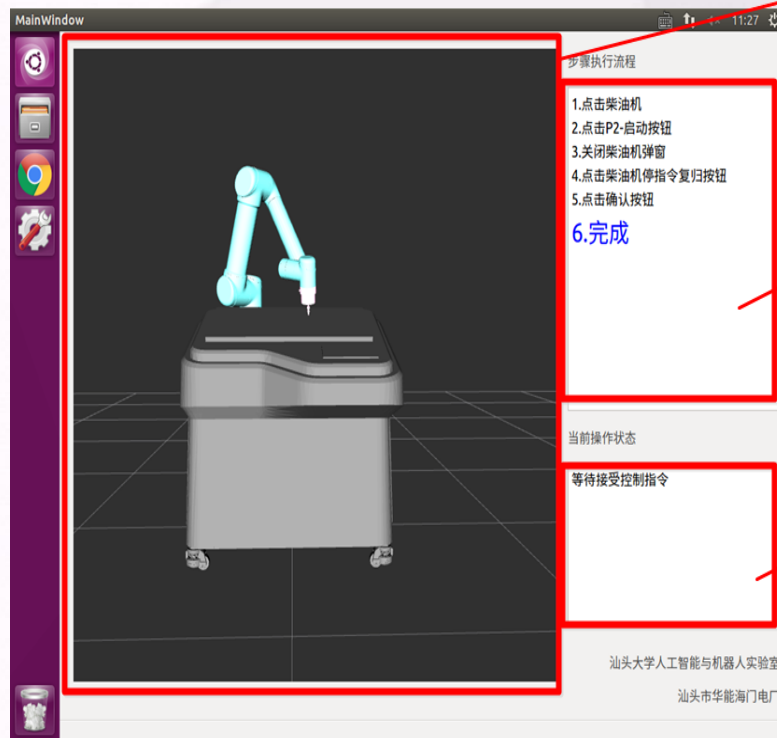
- ◆ 实时显示机械臂运动姿态。

➤ 操作票任务执行栏:

- ◆ 可以清晰地了解机械臂正在执行的操作票流程、当前进度及待完成任务，方便监盘人员监控机器人。

➤ 机器人状态栏:

- ◆ 实时反馈机器人当前状态，以便监盘人员据此执行相应的交互操作；同时也避免机械臂突然运动而造成的安全事故。



同步仿真界面

执行流程列表
及当前步骤

当前状态
(待机/工作/
暂停等)

机器人人机交互界面

运行及测试结果 Analysis and Result of Experiment

- 在华能海门电厂实际使用环境下做了停止柴油机的实验，实验效果如图。
- 图中通过一个完整的“人-机器人-集控系统”的交互过程。该智能监盘机器人能正确完成监盘人员给出的停止柴油机指令任务，并将执行过程及结果及时反馈给监盘人员。



a) 发送停止柴油机指令



b) 机器人点击停止柴油机按钮



c) 柴油机停止完成



d) 上位机反馈弹窗显示

机器人运行调试图

运行及测试结果



汕头大学
SHANTOU UNIVERSITY



总结与展望 Conclusion and Future

工作总结

- 完成了触屏操作机器人的总体系统设计，实现了全国首例机器人辅助监盘技术；
- 分析了人工监盘的操作逻辑，提出来一种采用机械臂视觉伺服技术的触屏操作控制方法；
- 设计并实现了人-机器人-DCS系统交互模式；
- 设计了DCS显示屏幕触摸授权控制电路和物理开关，用来控制DCS显示触摸屏的触摸功能；
- 通过触屏机器人的开发，有效地减少了人工监盘出现的误差。电厂的安全性和经济性都得到了提高。本次触屏机器人的开发项目，已达到了预期效果。

工作展望

- 目前机器人能够执行的触屏操作还比较有限；
- 机器人在正常运行一段时间后有时出现接收不到指令情况；
- 当机器人正在执行操作指令时，屏幕的触摸功能是有效的，存在人为误触DCS显示屏幕的风险，未来可以采取将机器人隔离起来单独运行，或是在屏幕外面加装隔离措施；
- 国内外需要对生产环节进行集中监控运行的行业和领域还有很多，该机器推广应用的市场广阔。



攻读学位期间主要研究成果

➤ 一、发表的学术论文

刘安仓, 李洪, 罗晨林, 范衡等. 电厂集控室智能操作机器人设计与实现 [J]. 广东电力, 2020, 33(增刊1): 114-116. (中国科技核心期刊)

➤ 二、已授权实用新型专利

海门电厂, 范衡, 安康, 姜涛, 邱本章, 罗晨林, 熊宇. 一种手眼触屏机械臂[P]. 中国: CN211682135U, 授权日期 2020-10-16.

➤ 三、已申请实用新型专利

海门电厂, 范衡, 姜涛, 安康, 邱本章, 罗晨林, 熊宇. 一种电厂集控室深度学习和视觉伺服的触屏控制操作方法. 实用新型. 申请号: CN201911075065.1

➤ 四、参与的科研项目

华能集团总部科技项目(HNKJ18-G33): 智能机器人组集控室操作机器人触摸平台研发.

➤ 五、参与的科技比赛

第十五届“兆易创新”杯中国研究生电子设计竞赛华南赛区团体二等奖.



Thank!