

# 浙江大学

## 《机电系统试验》课程报告



题    目：\_\_\_\_\_六自由度机械手控制试验\_\_\_\_\_

姓名学号：\_\_\_\_\_朱皖东 3160104735\_\_\_\_\_

专    业：\_\_\_\_\_机械工程\_\_\_\_\_

指导教师：\_\_\_\_\_高宇\_\_\_\_\_

上课时间：\_\_\_\_\_周二下午\_\_\_\_\_

# 六自由度机械臂控制实验综合报告

## 一、实验目的及要求

### 1 实验目的

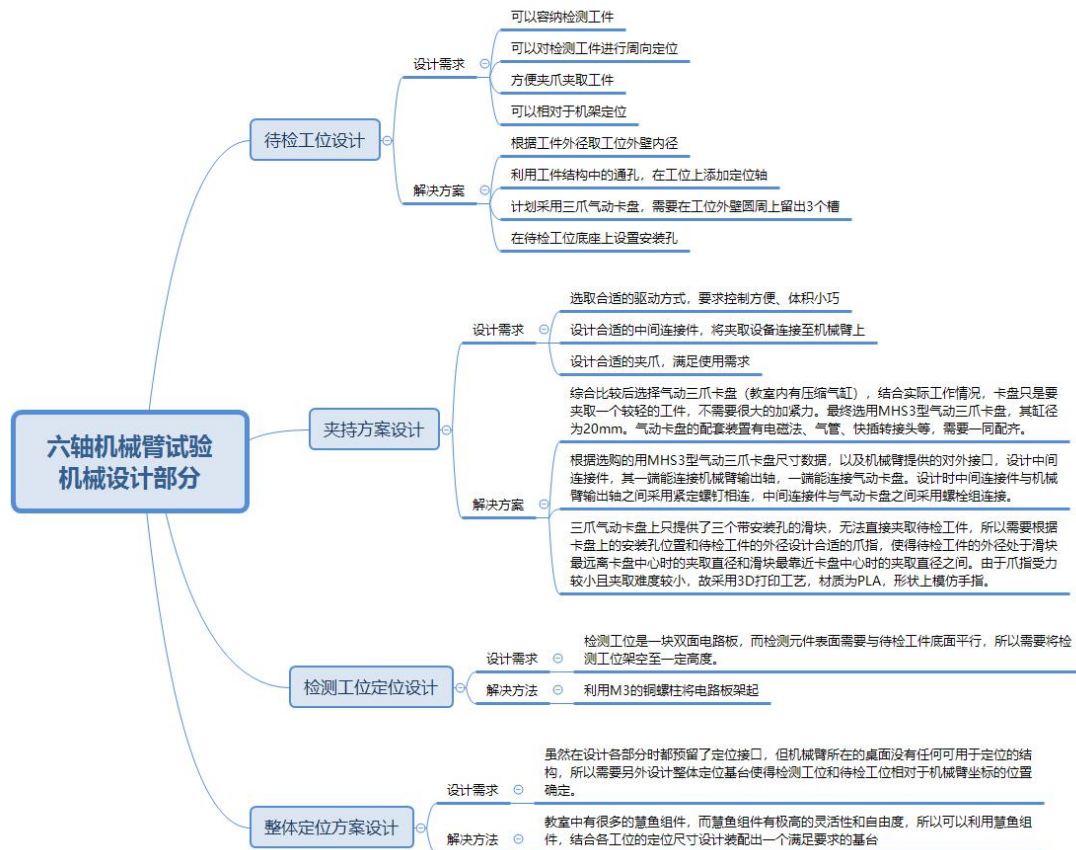
- 1) 了解 ROS 系统的工作原理；
- 2) 了解机械臂的组成及性能指标；
- 3) 了解机械臂的机械系统和控制系统的组成、工作原理；
- 4) 了解机械臂正反解计算及具体位置标定方法；
- 5) 掌握机械臂轨迹驱动方法。

### 2 实验要求

1. 在虚拟机上完成 ROS 系统和 MoveIt 的安装；
2. 在 ROS 的 MoveIt 系统中，完成机械臂仿真及驱动；
3. 设计、制作待检工位，并实现系统各组件定位；
4. 确定夹取的驱动方式，设计、购买夹具及配套设备；
5. 通过编写 arduino 程序，完成零件从相应工位夹取并搬运至检测工位每转一个角度检测一次，共检测 10 次，结果打印在上位机上；
6. 完成检测系统的总成及实验，并撰写实验报告。

## 二、机械设计部分

本实验的机械设计部分的主要工作是设计待检工位、确定夹持方案、设计检测工位和设计整体定位方案。具体的设计要求和解决方案如下图所示：



## 1 待检工位设计

### 1.1 设计需求：

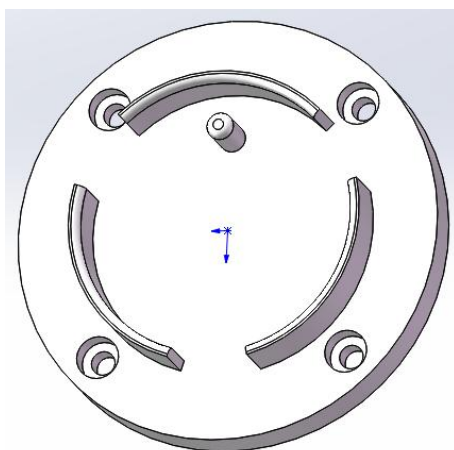
- 1) 可以容纳检测工件
- 2) 可以对检测工件进行周向定位
- 3) 方便夹爪夹取工件
- 4) 可以相对于机架定位

### 1.2 解决方案：

- 1) 根据工件外径取工位外壁内径
- 2) 利用工件结构中的通孔，在工位上添加定位轴
- 3) 计划采用三爪气动卡盘，需要在工位外壁圆周上留出 3 个槽
- 4) 在待检工位底座上设置安装孔

### 1.3 具体实施

- 1) 三维模型图



2) 实物图

## 2 夹持方案设计

### 2.1 设计需求：

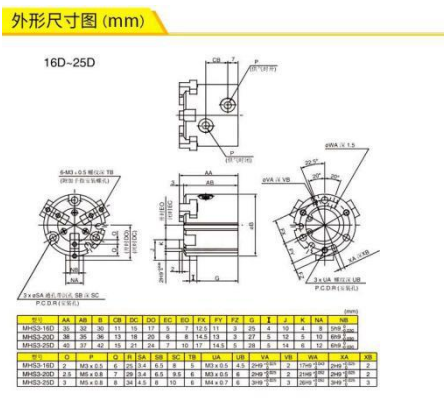
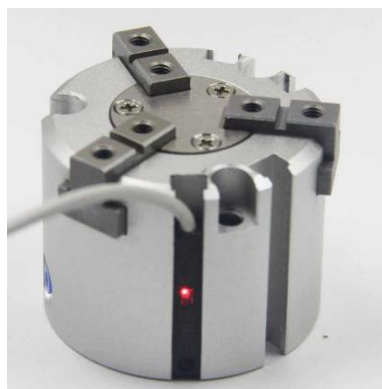
- 1) 选取合适的驱动方式，要求控制方便、体积小巧
- 2) 设计合适的中间连接件，将夹取设备连接至机械臂上
- 3) 设计合适的夹爪，满足使用需求

### 2.2 解决方案：

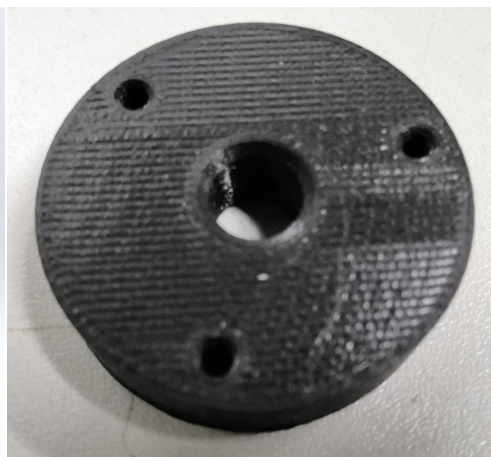
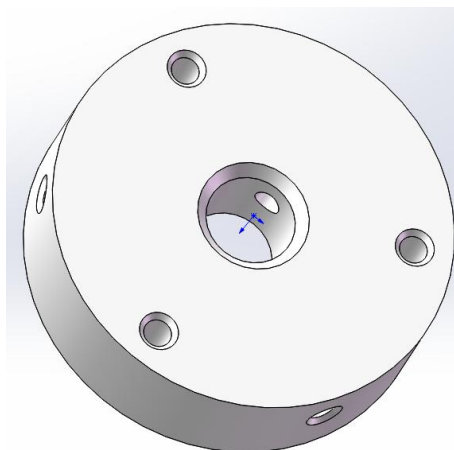
- 1) 综合比较后选择气动三爪卡盘(教室内有压缩气缸)，结合实际工作情况，卡盘只是要夹取一个较轻的工件，不需要很大的加紧力。最终选用 MHS3 型气动三爪卡盘，其缸径为 20mm。气动卡盘的配套装置有电磁法、气管、快插转接头等，需要一同配齐。
- 2) 根据选购的用 MHS3 型气动三爪卡盘尺寸数据，以及机械臂提供的对外接口，设计中间连接件，其一端能连接机械臂输出轴，一端能连接气动卡盘。设计时中间连接件与机械臂输出轴之间采用紧定螺钉相连，中间连接件与气动卡盘之间采用螺栓组连接。
- 3) 三爪气动卡盘上只提供了三个带安装孔的滑块，无法直接夹取待检工件，所以需要根据卡盘上的安装孔位置和待检工件的外径设计合适的爪指，使得待检工件的外径处于滑块最远离卡盘中心时的夹取直径和滑块最靠近卡盘中心时的夹取直径之间。由于爪指受力较小且夹取难度较小，故采用 3D 打印工艺，材质为 PLA，形状上模仿手指。

### 2.3 具体实施：

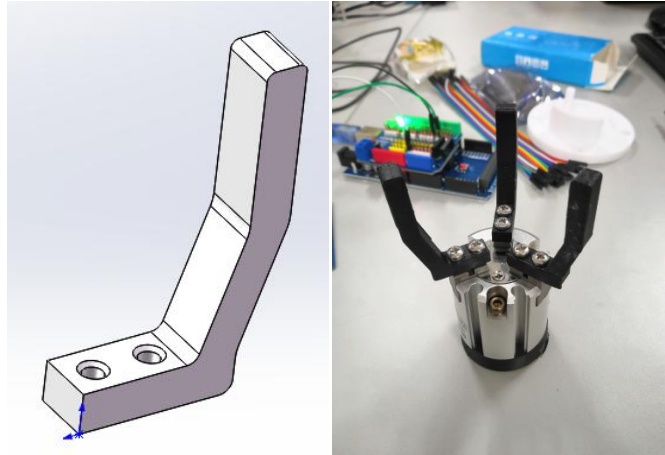
- 1) 气动三爪卡盘实物、结构数据以及配套的快插接头、气管



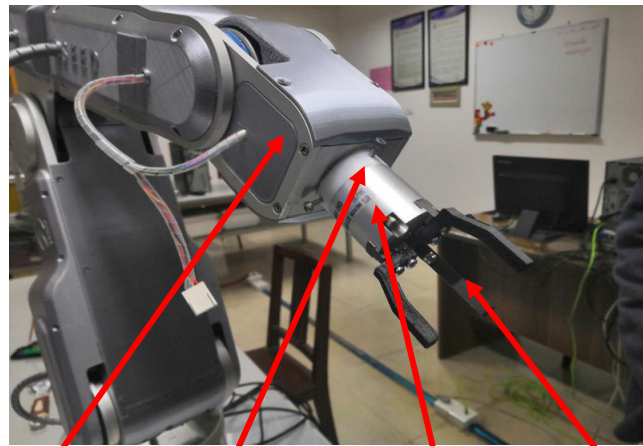
## 2) 中间连接件设计及实物



## 3) 卡盘爪指设计及实际装配效果



#### 4) 整体装配效果



机械臂    中间连接件    气动三爪卡盘    爪指

### 3 检测工位设计

#### 3.1 设计需求:

检测工位是一块双面电路板，而检测元件表面需要与待检工件底面平行，所以需要将检测工位架空至一定高度。

#### 3.2 解决方案:

利用 M3 的铜螺柱将电路板架起。

### 4 整体定位方案设计

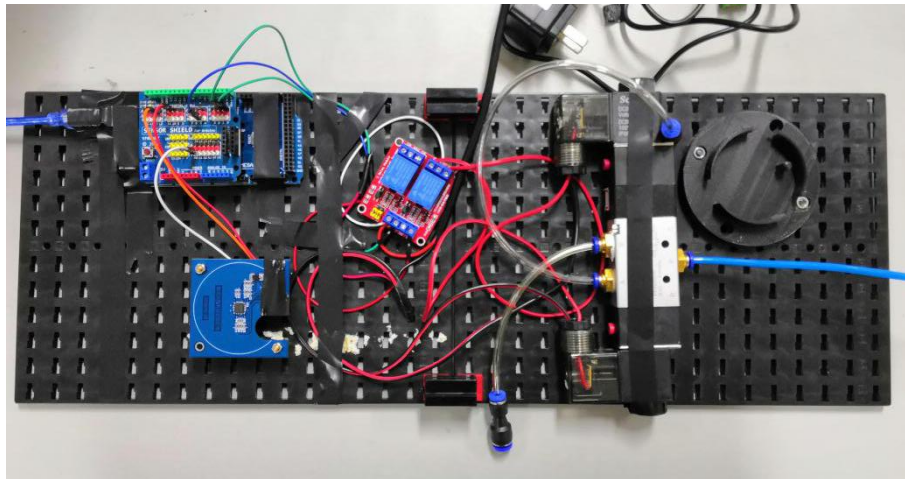
#### 4.1 设计需求:

虽然在设计各部分时都预留了定位接口，但机械臂所在的桌面没有任何可用于定位的结构，所以需要另外设计整体定位基台使得检测工位和待检工位相对于机械臂坐标的位置确定。

#### 4.2 解决方案:

教室中有很多的慧鱼组件，而慧鱼组件有极高的灵活性和自由度，所以我们利用慧鱼组件设计了一个给待测工位、检测工位以及系统中其它部分定位用的基台。利用这个定位基台，只要确定了它与桌面的位置关系，其余组件的位置关系也就随之确定，不用每次拆装后重新标定。

#### 4.3 具体实施:



### 三、气路控制与信号采集

#### 1 硬件介绍

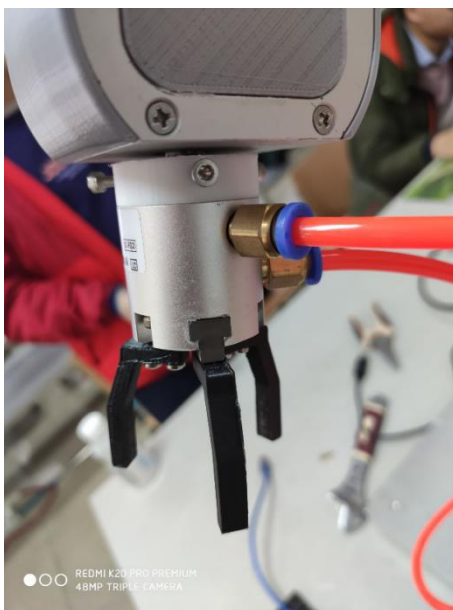
气路控制的最终目的是实现气动卡盘的开合，完成对待测工件的抓取动作；传感器信号的采集主要是获得在不同角度下待测工件被传感器检测到的电平反馈值，以此来判断工件的质量。

该部分涉及的硬件有：三爪气动卡盘、电磁阀、继电器、arduino mega 2560 主板和气泵。

##### 1.1 三爪气动卡盘:

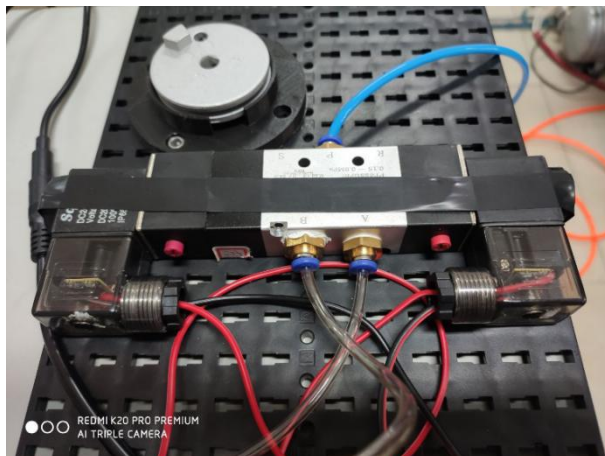
当气动卡盘的两个通气口气路分别连通时，气动卡盘将出现夹紧或放松动作，配合由本组同学自行设计的夹爪，可以实现对待测工件的抓放动作。





### 1.2 电磁阀：

电磁阀的左右部分可以分别连接两条气路，后端连接气泵，通常状态下由气泵引出的气路与前端的两气路是断开状态，只有当相应侧的电路接通时，气路也会被接通，进而实现由电路控制气路的目的。同时，可以按下对应侧的红色按钮来连通气路，方便调试时气路的开断。



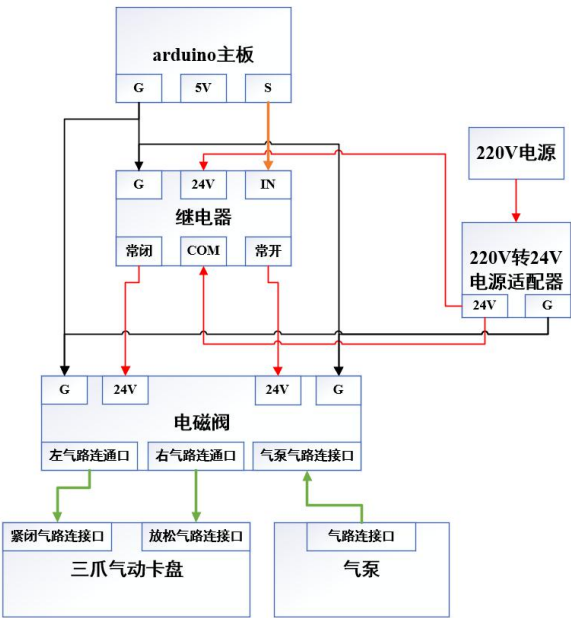
### 1.3 继电器：

本组所使用的继电器如下图所示，用以实现 mega 主板对电磁阀电路的开断。在选择电磁阀型号时，考虑到需要两路电路控制，所以继电器也选用了两路类型的，但在使用时发现两路电路必定是一通一断的状态，可以对应连接继电器的常开常闭端，所以在使用时只用到了一路。本继电器可以选择高电平触发、低电平触发模式，为设计者提供了多种方案选择，但也需要在设计时注意选择的电平触发模式与代码控制时的对应关系。





号线、黑色为地线、红色为火线，由于选用的继电器为 24V 供电，所以直接从电源适配器取电。考虑到光耦合继电器在输入端的电压不会通过继电器连接到 COM 端，所以需要在 COM 端额外供应电磁阀工作时所需要的电压，并且与电磁阀连接成一条独立的回路。如图连线后，测试过程中气路、电力均可正常工作。



在连线完成后，气路的控制代码非常简单，只需要按卡盘的开合要求将连接的 `arduino` 引脚电平写入高电平或低电平即可，测试代码如下图所示。实际测试时，结果良好，在系统整合的时候只需要将该段代码填入订阅到对应话题时调用的函数体中即可。

```
int info = A0;
int opens = 5;
int closes = 6;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // 串口初始化
  pinMode(info, INPUT);
  pinMode(opens, OUTPUT);
  pinMode(closes, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(opens, HIGH);
  delay(5000);
  digitalWrite(opens, LOW);
  delay(5000);
}
```

#### 四、上位机软件

上位机软件具体实现分为两个部分，一个是 PC 端的节点，负责与机械手进

行通讯并管理任务流程，另一个是 Arduino 端的节点，负责管理 IO。

## 1 PC 端节点

### 1.1 机械手控制

机械手采用串口控制，用到了 ROS 的 serial 功能包。主要涉及到一条运动指令——轴角度插补指令，和一种状态反馈信息——坐标值状态信息。

轴角度插补指令：

a[0]	a[1]	a[2]	a[3] -a[6]	a[7] -a[10]	a[11] -a[14]	a[15] -a[18]	a[19] -a[22]	a[23] -a[26]	a[27] -a[30]	a[39] -a[42]	a[43] -a[46]	a[47]
0xee	'3'	0-6	a0	a1	a2	w0	w1	aw	PWM	N/A	speed	0xef
帧头	指令 a	指令 b	浮点数 1 mm	浮点数 2 mm	浮点数 3 mm	浮点数 4 度	浮点数 5 度	浮点数 6 度	浮点数 7 1us/步	浮点数 10 0	浮点数 11 度/秒	帧尾
a[31]-a[34]是外部轴 E0 角度值，a[35]-a[38]是外部轴 E1 角度值												

坐标值状态信息：

a[0]	a[1]	a[2]	a[3]	a[4]	a[5]	a[6]	a[7]	a[8]
0x0e	x_h	x_l	y_h	y_l	z_h	z_l	0	0xcf
帧头	d0	d1	d2	d3	d4	d5	指令标志	帧尾

PC 机向机械手发送轴角度插补指令，该指令包含了通过示教得到的目标点位置的关节坐标信息 a0、a1、a2、w1、w2、aw 和转动角速度信息 speed。机械手接收到运动指令后，结合当前关节坐标，插补得到运动轨迹，并沿着这条轨迹运动到目标位置。在机械手运动过程中，PC 机等待，并不断读取机械手反馈的坐标值状态信息，从中提取机械手当前的坐标位置，当获得的坐标值等于目标坐标值时，PC 机停止等待，进行下一个任务。

结构体 axis\_angle\_msg 包含了轴角度插补指令所需要的信息：

```
struct axis_angle_msg
{
    float angle1;
    float angle2;
    float angle3;
    float angle4;
    float angle5;
    float angle6;
    float speed;
    axis_angle_msg();
    axis_angle_msg(float a1,float a2,float a3,float a4,float a5,float a6,float s);
};
```

指令类 order，包含运动指令初始化接口、控制指令初始化接口（本项目中

没有用到控制指令）和指令发送接口：

```
class order
{
public:
    void move_order_init(axis_angle_msg msg);
    void control_order_init();
    size_t send(serial::Serial &sp);
private:
    void trans(float angle,uint8_t a[]);
    uint8_t order[48];
};
```

目标点位置的关节空间坐标表示和操作空间坐标表示需要提前通过示教得到。为了防止机械手最后运动到的位置与目标值有误差，设定一个极小的容许误差  $T_{-}$ ：

```
bool is_right(position_msg &pos_msg,int pos_choose)
{
    if(pos_choose==1)
        return (abs(pos_msg.x-origin_pos.x)+abs(pos_msg.y-origin_pos.y)+abs(pos_msg.z-origin_pos.z))<T_;
    if(pos_choose==2)
        return (abs(pos_msg.x-wp_up_pos.x)+abs(pos_msg.y-wp_up_pos.y)+abs(pos_msg.z-wp_up_pos.z))<T_;
    if(pos_choose==3)
        return (abs(pos_msg.x-wp_down_pos.x)+abs(pos_msg.y-wp_down_pos.y)+abs(pos_msg.z-wp_down_pos.z))<T_;
    if(pos_choose==4)
        return (abs(pos_msg.x-detect_pos.x)+abs(pos_msg.y-detect_pos.y)+abs(pos_msg.z-detect_pos.z))<T_;
    return false;
}
```

以下是使机械手运动到原点并等待运动结束的整个过程，其中，wait 函数中的参数“1”代指储存的第一个目标点（原点）：

```
myorder.move_order_init(origin);
myorder.send(sp);
wait(sp,mystate,1);//运动至原点
```

## 1.2 话题的订阅与发布

C 与 Arduino 之间的 ROS 通讯依赖于 roserial\_arduino。PC 端节点与 Arduino 端节点通过话题进行消息传递，在 PC 端创建一个话题发布者 chatter\_pub 用于发布指令信息 chatter\_pub，创建一个话题订阅器 chatter\_sub 用于订阅动作完成信息 chatter\_sub：

```

ros::Publisher chatter_pub = n.advertise<std_msgs::String>("chatter
_pub", 100);
ros::Subscriber chatter_sub = n.subscribe<std_msgs::String>("chatter
_sub", 100, Callback);

```

发布和订阅的话题内容具体如下：

Publish:		
"loosen claw"	————>	松爪
"shrink claw"	————>	收爪
"detect"	————>	检测一次
Subscrib:		
"has loosened"	————>	已松爪
"has shrunked"	————>	已收爪
"has detected xxxxxx"	————>	已检测一次 + 六位检测值

PC 端发布执行任务话题后等待应答，Arduino 端订阅话题后执行相应的任务并产生应答，收到应答后 PC 端进行下一个任务。

## 2 Arduino 端节点

### 2.1 话题的订阅与发布

Arduino 端节点创建一个话题订阅器 sub 用于订阅 PC 端节点发布的话题 chatter\_pub，创建一个话题发布器用于发布 PC 端需要订阅的话题 chatter\_sub:

```

ros::Publisher pub("chatter_sub", &str_msg);
ros::Subscriber<std_msgs::String> sub("chatter_pub", messageCb );

```

发布和订阅的话题内容具体如下：

Subscrib:		
"loosen claw"	————>	松爪
"shrink claw"	————>	收爪
"detect"	————>	检测一次
Publish:		
"has loosened"	————>	已松爪
"has shrunked"	————>	已收爪
"has detected xxxxxx"	————>	已检测一次 + 六位检测值

### 2.2 气动夹手控制

气动夹手用 Arduino 数字口控制：

```

pinMode(CLAW,OUTPUT);
void loosen_claws(void)
{
    digitalWrite(CLAW,LOW);
    delay(1000);
}

void shrink_claws(void)
{
    digitalWrite(CLAW,HIGH);
    delay(1000);
}

```

### 2.3 检测板读数

检测板读数利用 Arduino 的模拟口，最大读数范围为 0~1023。以下过程为：从对应的模拟口读出检测板读数，并将数据组织成“has detected xxxxxx”的格式：

```

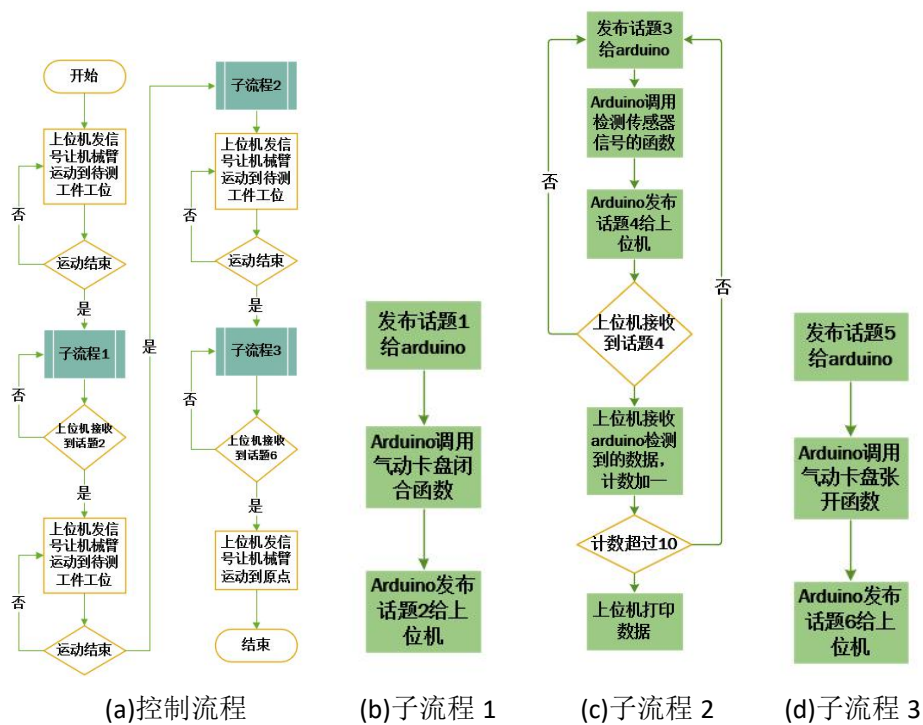
pinMode(DETECT,INPUT);
void detecting(char msg[])
{
    char temp_str[10];
    int digit;
    digit=analogRead(DETECT);
    strcpy(msg,"has detected ");
    sprintf(temp_str,"%-6d",digit);
    for(int i=0;i<7;i++)
        msg[13+i]=temp_str[i];
}

```

## 五、系统集成与实验

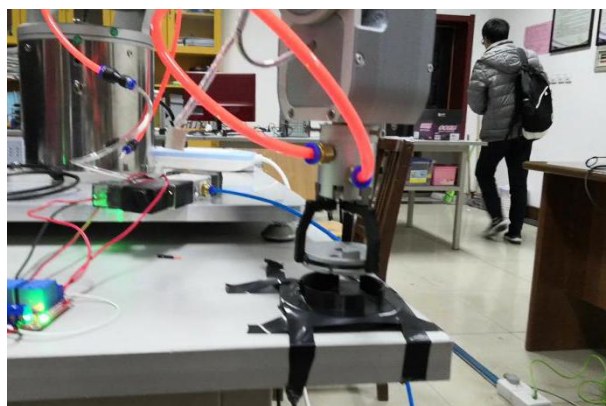
在机械设计、气路与信号采集以及上位机软件各部分工作完成后，我们对实验系统进行了总成。系统的整体工作流程如下图所示：



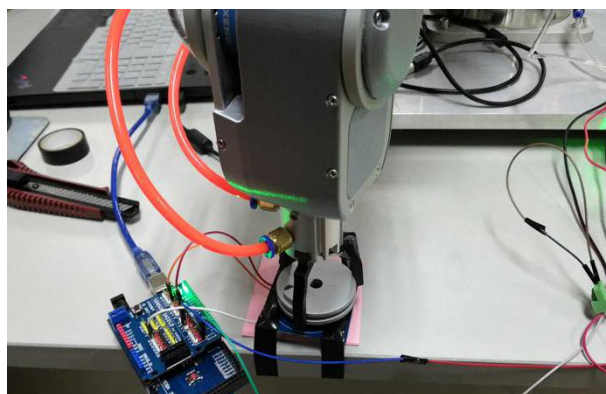


实际实验情况如下：

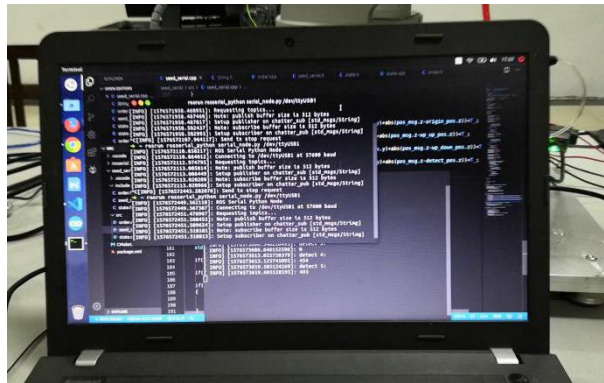
机械臂在待检工位夹取工件



工件在检测工位上旋转、检测



## 检测结果输出到上位机上



## 六、实验心得与体会

在实验过程中我主要负责的是机械设计部分的工作，所以我将结合具体的设计内容，介绍自己在这门课程中的心得体会。

在实验过程中，检测工位实际上设计了两版，第一版检测工位在实际测试时无法正确容纳待检工件，原因有二，其一是待检工位内壁直径过小，其二是待检工位中的定位轴直径过大无法穿过待检工件。同时老师建议待检工位缩小待检工位的轴向尺寸，并在待检工位内侧及定位轴上倒圆角，使待检工件能更加顺利地放入工位。经过第二版的改进，检测工位可以满足使用需要，所以在以后的设计中一定要结合工艺精度设置余量，否则结构容易出现问題；同时一些工艺结构会提升使用性能。

气动三爪卡盘方面，本人根据设计需求选型并采购，所得实物能够正常使用。通过这次实验对气动三爪卡盘的原理、工作过程以及配套设备有了深刻的理解与认识。中间连接件在之前的参加比赛中遇到过类似的设计需求，所以设计、制作都没出问题，整体装配后效果良好。

关于定位基台，一开始我想采用激光切割亚格力板的方案，这就要求先确定系统中各个部件的安装尺寸，然后在绘制出 CAD 图纸并在网上下单制作。但是这种方案存在三个问题，一个是检测板的安装尺寸需要自己量取，这就引入了测量误差，很可能导致最终无法正确配合；另一个是制作工期无法保证，可能会拖延 1-2 周，这对我们的实验进程很不利；最后还有可能存在的各组件之间的干涉问题，很难考虑全面。所以我们最终放弃了这个方案，同时结合春学期的课程中使用慧鱼组件的经验。提出了第二种方案。经过试验验证，慧鱼组件搭建的定位

基台能够很好地满足使用需求。

除了本人单独负责的工作，本课程还要求团队之间的协调工作，通过积极沟通和不断改进，我们最终完成了本次实验的要求。这次实验为本人以后的科研工作提供了宝贵的实践经验，收获颇丰。