

# 固定翼无人机基础路径跟随实验

## 1. 实验目的

1. 掌握固定翼无人机L1直线跟随算法和偏距圆弧跟随算法的原理与实现方法；
2. 学会在MATLAB/Simulink环境中搭建路径跟随控制模块
3. 通过软件在环仿真验证路径跟随控制算法的有效性

## 2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链<sup>[1]</sup>；MATLAB R2022b及以上版本。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台<sup>[2]</sup>。

## 3. 实验地址

例程目录：

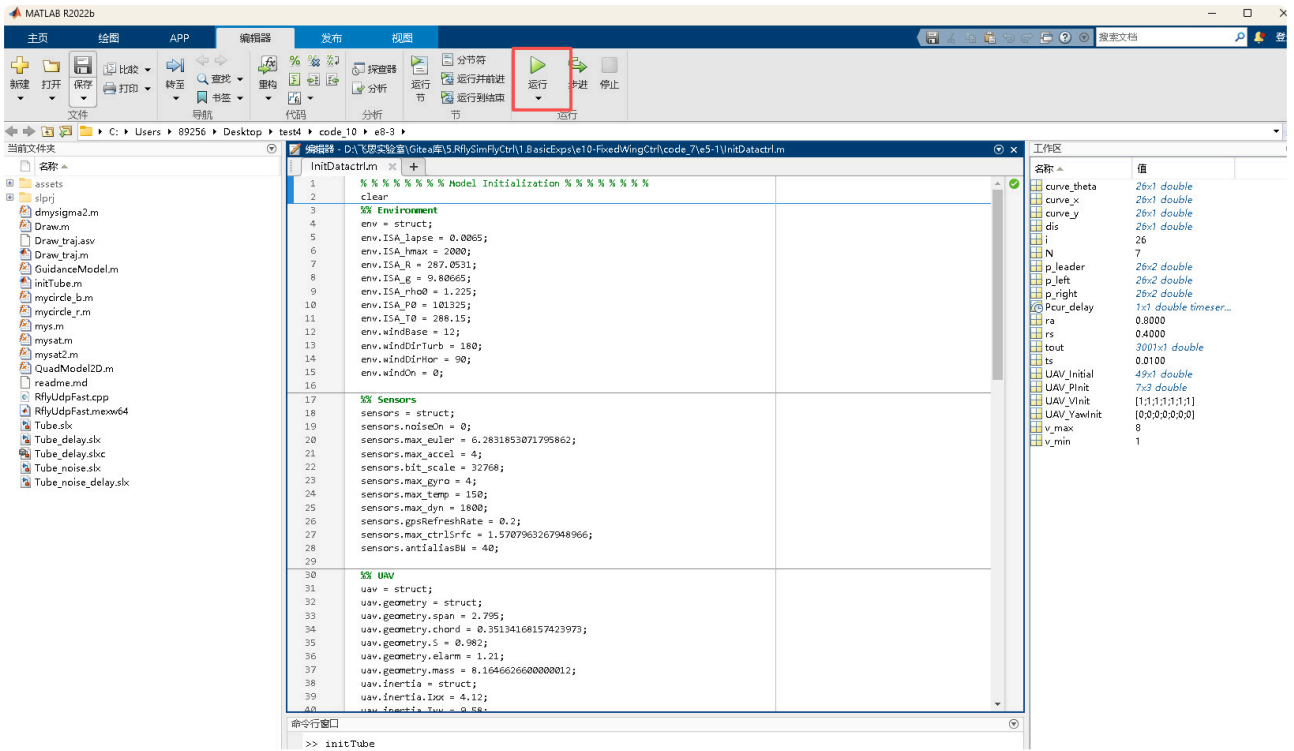
[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code\\_7\e5-1](#)

- [SmallFixedWingUAVfollow.slx](#)：固定翼无人机路径跟随仿真Simulink模型。
- [InitDatactrl.m](#)：固定翼无人机状态初始文件。
- [Drawxy.m](#)：绘制飞行路径和期望路径对比图的脚本。
- [circlecenter.m](#)：计算圆心位置的函数。

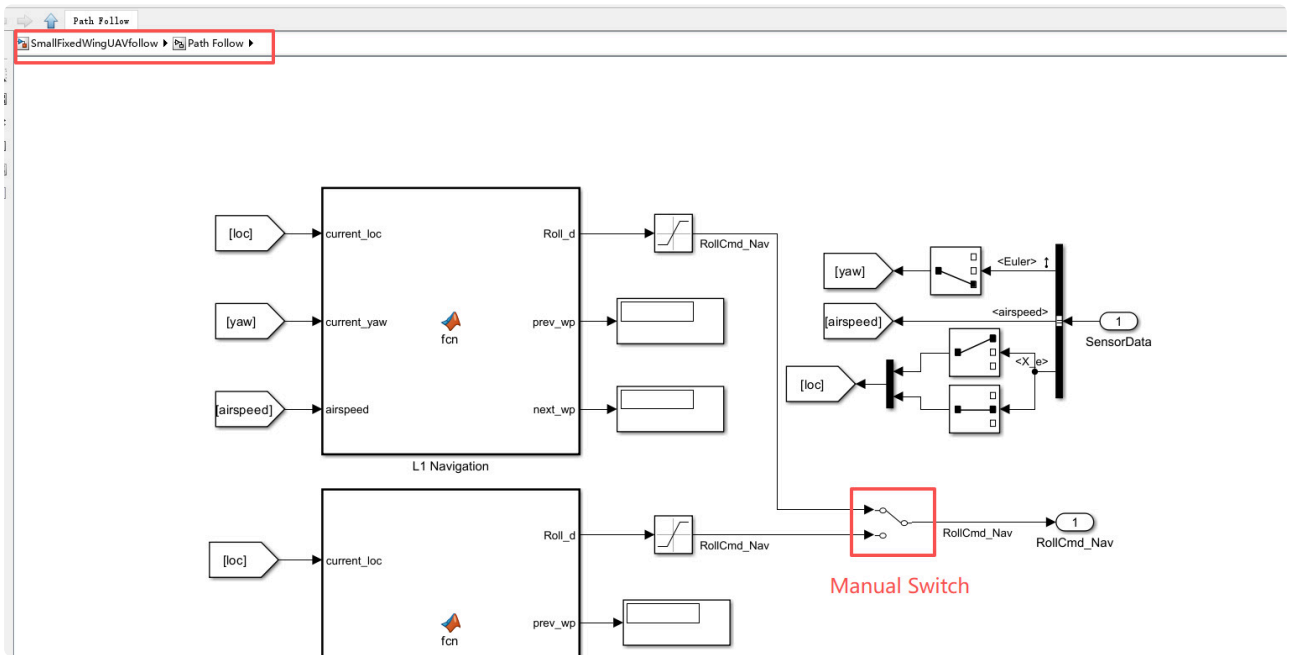
## 4. 实验内容或步骤

### 4.1 搭建路径跟随控制模块

打开e5-1文件夹，双击初始化脚本"[InitDatactrl.m](#)"；

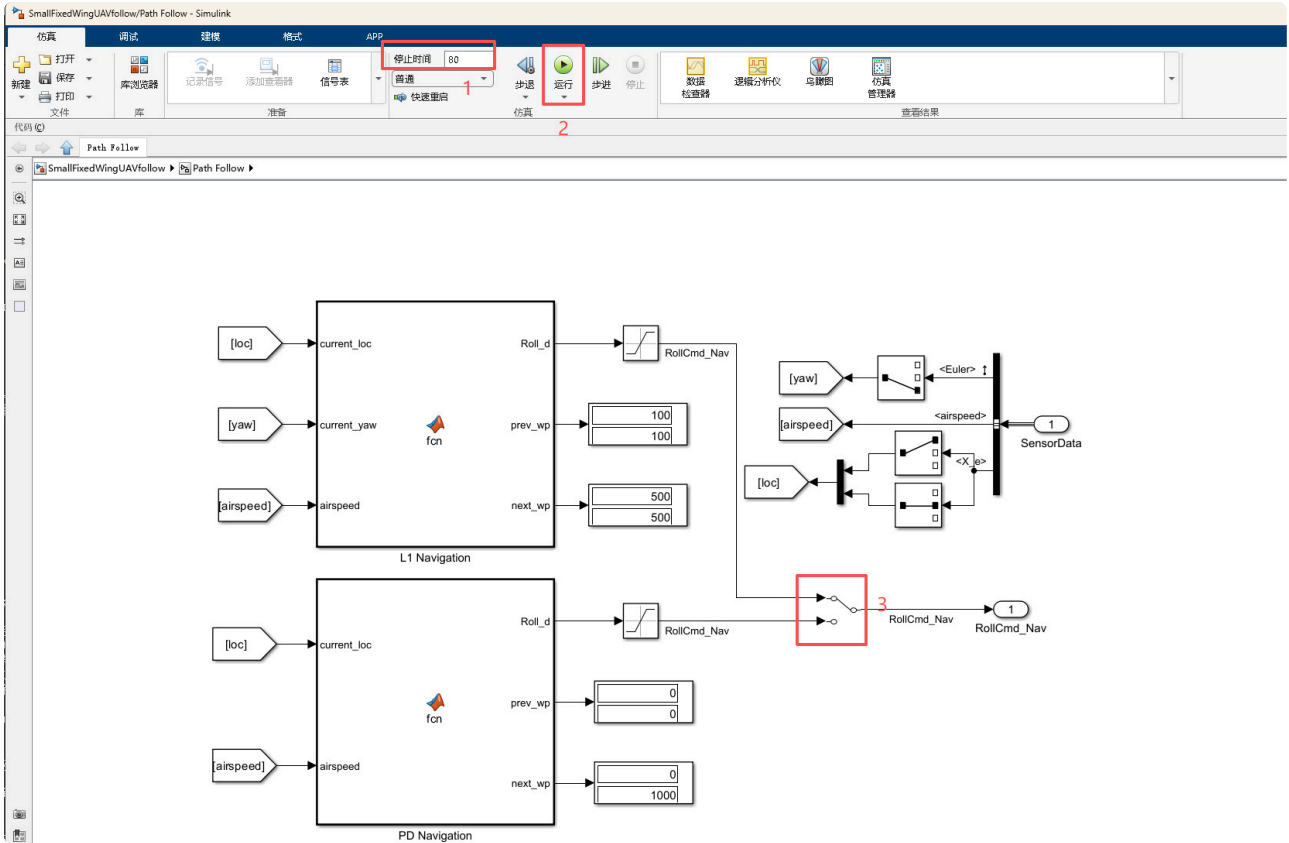


找到并打开Simulink模型文件"SmallFixedWingUAVfollow.slx"，如下图所示，在模型中找到"Path Follow"模块框架。

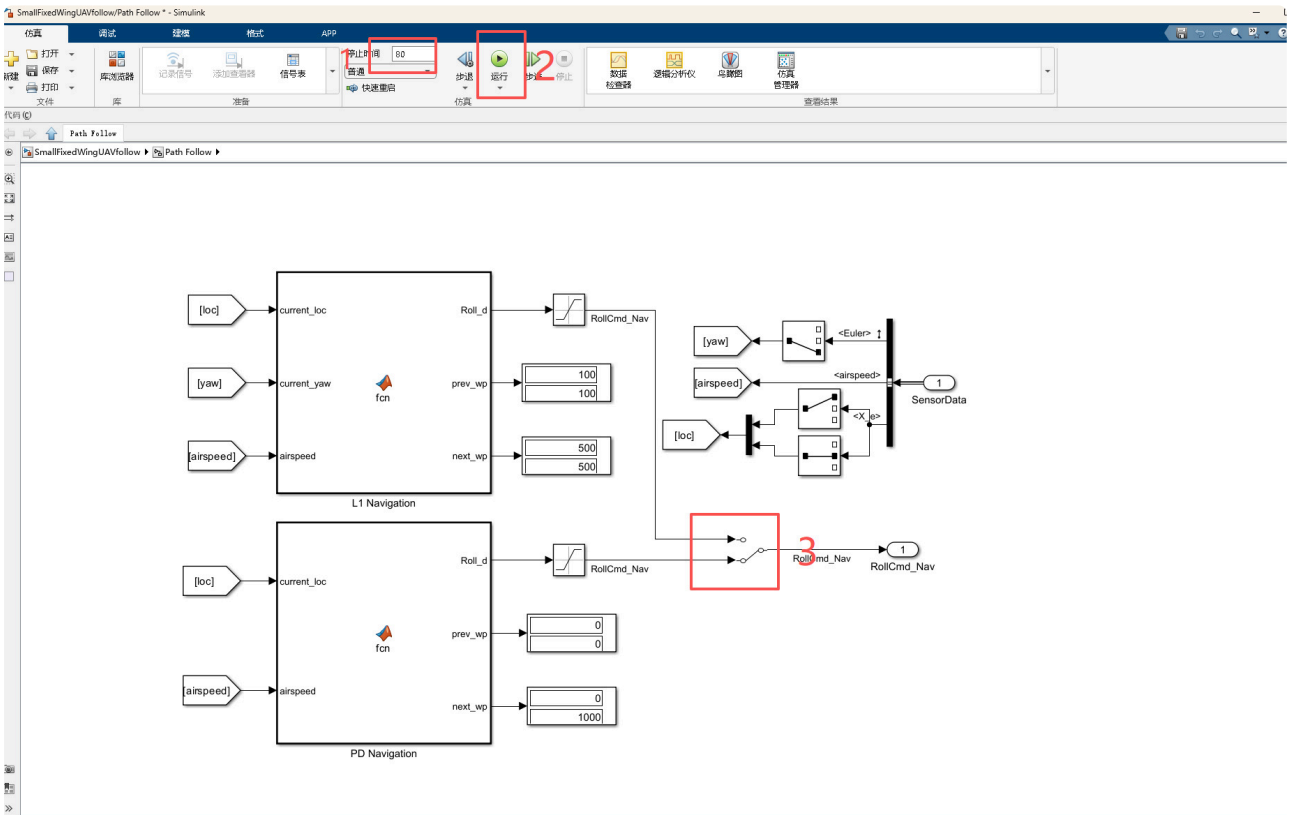


## 4.2 切换L1直线跟随和偏距圆弧跟随

设置"stop time"为 80s 左右（下图中1），通过双击"Manual Switch"（下图3）可以输出直线轨迹，运行程序（下图中2），记录期望路径和飞行数据如图所示。

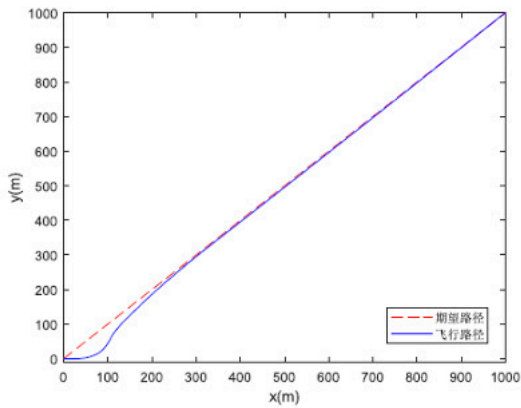
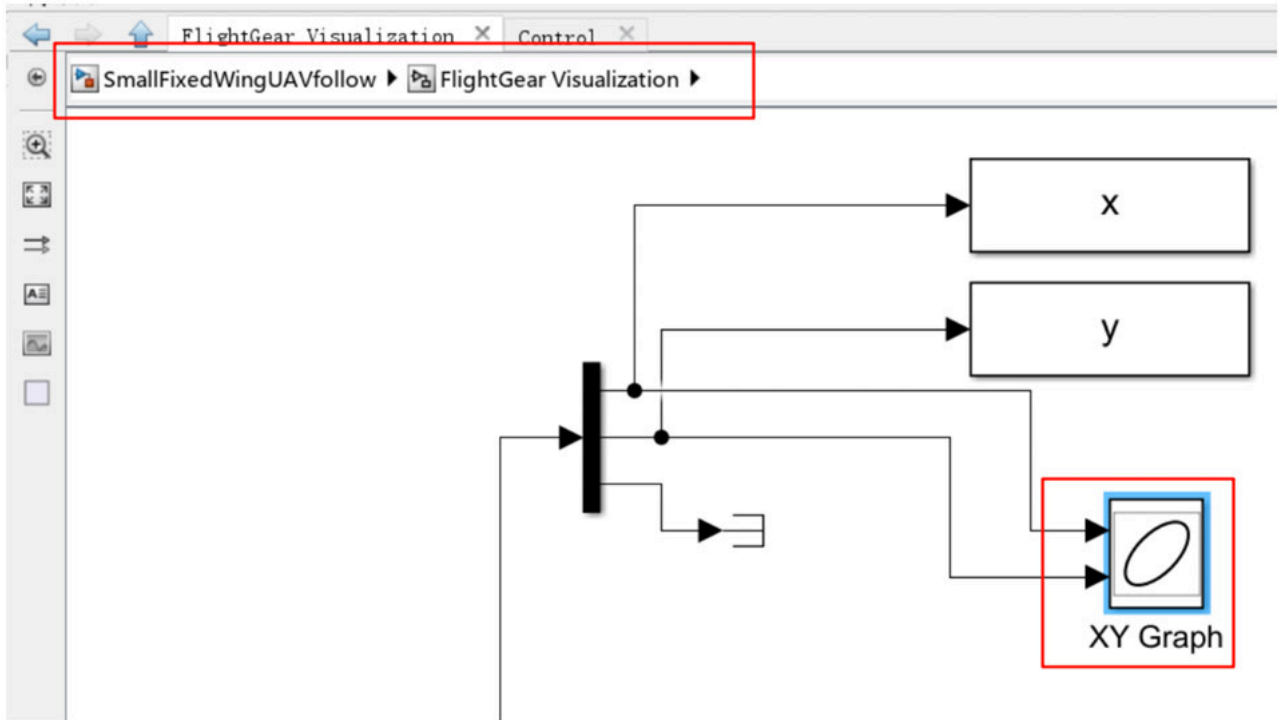


设置"stop time"为 80s 左右（下图中1），通过双击"Manual Switch"（下图3）可以圆弧轨迹输出，运行程序（下图中2），记录期望路径和飞行数据如图所示。

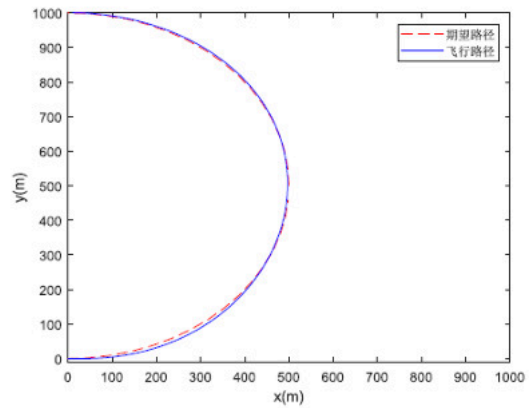


## 4.3 仿真验证

切换到FlightGear Visualization，双击下图中的"XY Graph"即可显示效果，直线轨迹输出见图（a），圆弧轨迹输出见图（b）。



(a) 直线路径跟随效果

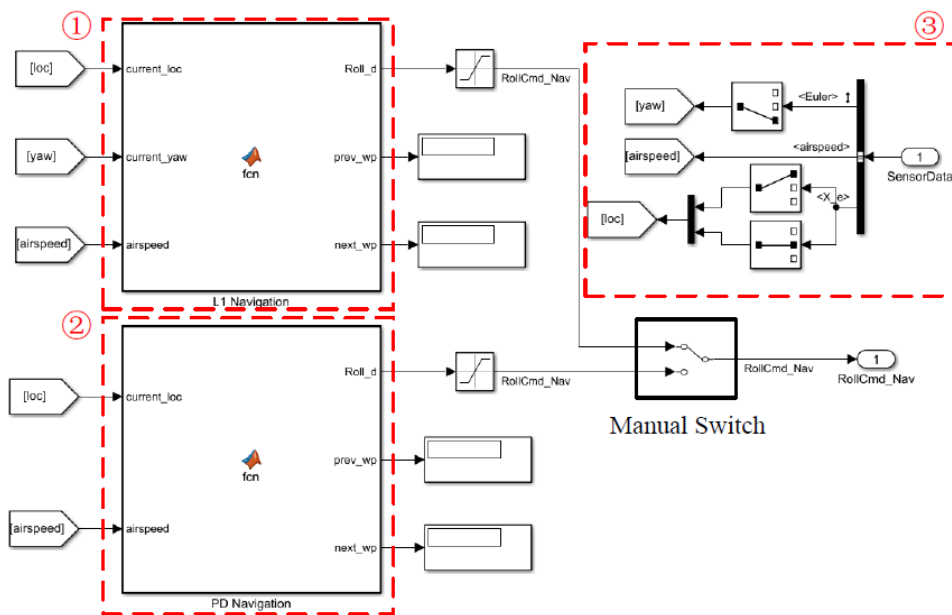


(b) 圆弧路径跟随效果

## 5. 关键知识点

### 关键知识点1：搭建"Path Follow"模块框架

在e5-1文件夹中的"SmallFixedWingUAVfollow.slx"文件搭建"Path Follow"模块，其整体框架如图所示：



1. L1路径跟随算法模块"L1 Navigation";
2. PD路径跟随算法模块"PD Navigation";
3. 状态反馈模块，从传感器数据中提取当前位置、偏航角和空速等信息;

## 关键知识点2: L1直线跟随算法实现

L1直线跟随算法的核心是根据当前位置与期望路径的关系计算期望的侧向加速度。算法步骤如下:

1. 根据空速计算L1距离:  $L1\_dist = \max(L1\_damping * L1\_period * airspeed / \pi, dist\_min)$ ;

```

1 | % Parameters initialization
2 | dist_min = 30; % 最小L1长度
3 | L1_damping = 3; % L1阻尼比
4 | L1_period = 8; % L1周期
5 | ISA_g = 9.80665; % 重力加速度
6 |
7 | % Calculate L1 distance
8 | L1_dist = max(L1_damping * L1_period * airspeed / pi, dist_min);

```

2. 计算角度Nu1 (L1直线向量与航路直线向量之间的夹角) 和Nu2 (速度向量与航路直线向量之间的夹角);

```

1  % Calculate angle Nu1 between L1 and AB
2  sin_Nu1 = Vertical_d / L1_dist;
3  if sin_Nu1 >= 0.9999
4      sin_Nu1 = 1;
5  elseif sin_Nu1 <= -0.9999
6      sin_Nu1 = -1;
7  else
8      sin_Nu1 = sin_Nu1;
9  end
10 Nu1 = asin( sin_Nu1 );
11 if Nu1 > 0.7854
12     Nu1 = 0.7854;
13 elseif Nu1 < -0.7854
14     Nu1 = -0.7854;
15 end
16 % Nu1 = 0;
17
18 % Calculate angle Nu2 between V and AB
19 if norm(V_vetor) <= 1e-3
20     Nu2 = 0;
21 else
22     cos_Nu2 = dot(AB,V_vetor) / (norm(AB) * norm(V_vetor));
23     if cos_Nu2 >= 0.9999
24         cos_Nu2 = 1;
25     elseif cos_Nu2 <= -0.9999
26         cos_Nu2 = -1;
27     else
28         cos_Nu2 = cos_Nu2;
29     end
30     Nu2 = acos( cos_Nu2 );
31 end

```

3. 通过  $Nu = Nu1 + Nu2$  计算总角度偏差;

4. 计算侧向加速度:  $latAcc = L1\_damping * L1\_damping * airspeed * airspeed * \sin(Nu) / L1\_dist$ ;

5. 解算期望滚转指令:  $Roll\_d = atan(latAcc/ISA\_g)$ ;

```

1  Nu = Nu1+ Nu2;
2  if Nu > 1.5708
3      Nu = 1.5708;
4  elseif Nu < -1.5708
5      Nu = -1.5708;
6  end
7  latAcc = L1_damping * L1_damping * airspeed * airspeed * sin(Nu) / L1_dist;
8  Roll_d = atan(latAcc/ISA_g);

```

## 关键知识点3：偏距圆弧跟随算法实现

偏距圆弧跟随算法通过PD控制器根据偏距误差控制无人机跟随圆弧路径：

1. 根据起点、终点、转弯半径和转向确定圆弧中心位置；

```
1 | prev_wp = [0; 0];
2 | next_wp = [0; 1000];
3 | r_wp = 500;
4 | turn_wp = 1;
5 | ISA_g = 9.80665;
6 | persistent rdist_prev;
```

1. 计算当前位置与期望圆弧中心的距离误差rdist;
2. 通过PD控制器计算侧向加速度： $\text{latAcc} = \text{airspeed} * \text{airspeed} / \text{dRadius} + K_{\text{rdist\_P}} * \text{rdist} + K_{\text{rdist\_D}} * \text{rdist\_error}$ ;
3. 解算期望滚转指令： $\text{Roll\_d} = \text{atan}(\text{latAcc}/\text{ISA\_g})$ ;

```
1 | % PD tracking
2 | K_rdist_P = 0.015;
3 | K_rdist_D = 0.05;
4 | if isempty(rdist_prev)
5 |     rdist_prev = 0;
6 | end
7 | rdist = norm(current_loc-center) - dRadius;
8 | rdist_error = rdist - rdist_prev;
9 | if turn > 0
10 |     latAcc = airspeed * airspeed / dRadius + K_rdist_P * rdist + K_rdist_D *
11 |     rdist_error * 250;
12 | else
13 |     latAcc = airspeed * airspeed / -dRadius + -K_rdist_P * rdist + -K_rdist_D *
14 |     rdist_error * 250;
15 | end
    rdist_prev = rdist;
    Roll_d = atan(latAcc/ISA_g);
```

更多详细实验原理可见：全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025

## 6. 参考资料

1. RflySim官方文档
2. PX4飞控固件官方文档：<https://docs.px4.io/>

3. 全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025.

## 7. 常见问题

### Q1: 仿真过程中无人机无法正确跟随路径?

A1: 检查控制器参数设置是否合理, 如L1阻尼比、周期等参数。同时检查传感器数据是否正确输入到控制算法中。

### Q2: 无人机在圆弧路径跟随中出现振荡?

A2: 调整PD控制器参数, 确保系统稳定性。

---

1. <https://rflysim.com/> ↩

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> ↩