

虚拟管道的固定翼无人机集群飞行控制实验

1. 实验目的

1. 进行基于虚拟管道的飞行控制器设计，从而完成集群飞行任务
2. 分析虚拟管道控制方法在不同干扰条件下的性能表现
3. 掌握无人机在受限空间内飞行的控制策略

2. 实验要求

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

3. 实验地址

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_10\e8-3](#)

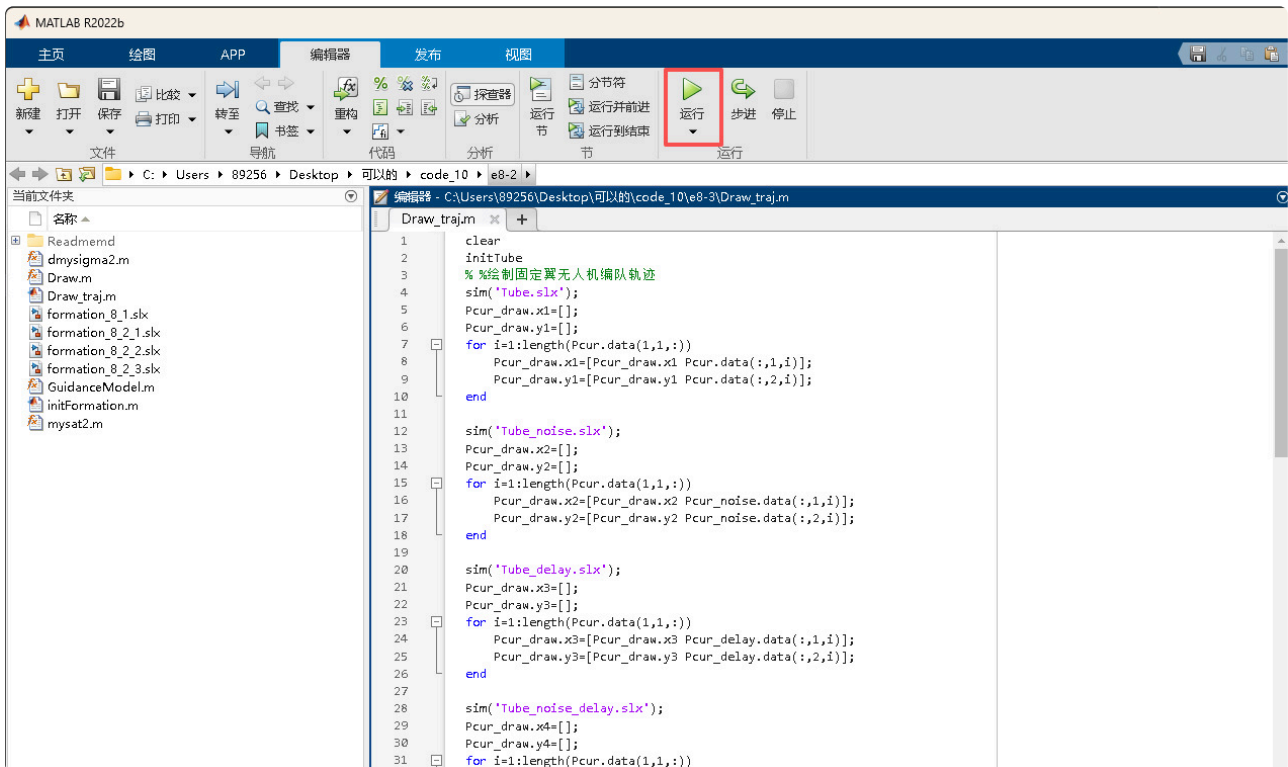
- [GuidanceModel.m](#)：固定翼无人机制导模型
- [initTube.m](#)：管道飞行初始化文件
- [Tube.slx](#)：固定翼集群虚拟管道飞行的仿真文件
- [Tube_noise.slx](#)：加入噪声情况下固定翼集群虚拟管道飞行的仿真文件
- [Tube_delay.slx](#)：加入延迟情况下固定翼集群虚拟管道飞行的仿真文件
- [Tube_noise_delay.slx](#)：加入噪声和延迟情况下固定翼集群虚拟管道飞行的仿真文件
- [Draw.m](#)：绘制固定翼无人机在管道中的实时位置
- [Draw_traj.m](#)：绘制不同情况下的管道飞行轨迹对比图
- [QuadModel2D.m](#)：二维四旋翼模型
- [initTube.m](#)：管道初始化脚本

- `mycircle_b.m`: 蓝色圆形绘制函数
- `mycircle_r.m`: 红色圆形绘制函数
- `dmysigma2.m`: 二维饱和函数
- `mys.m`: 二维向量单位化函数
- `mysat.m`: 一维饱和函数
- `mysat2.m`: 二维饱和函数

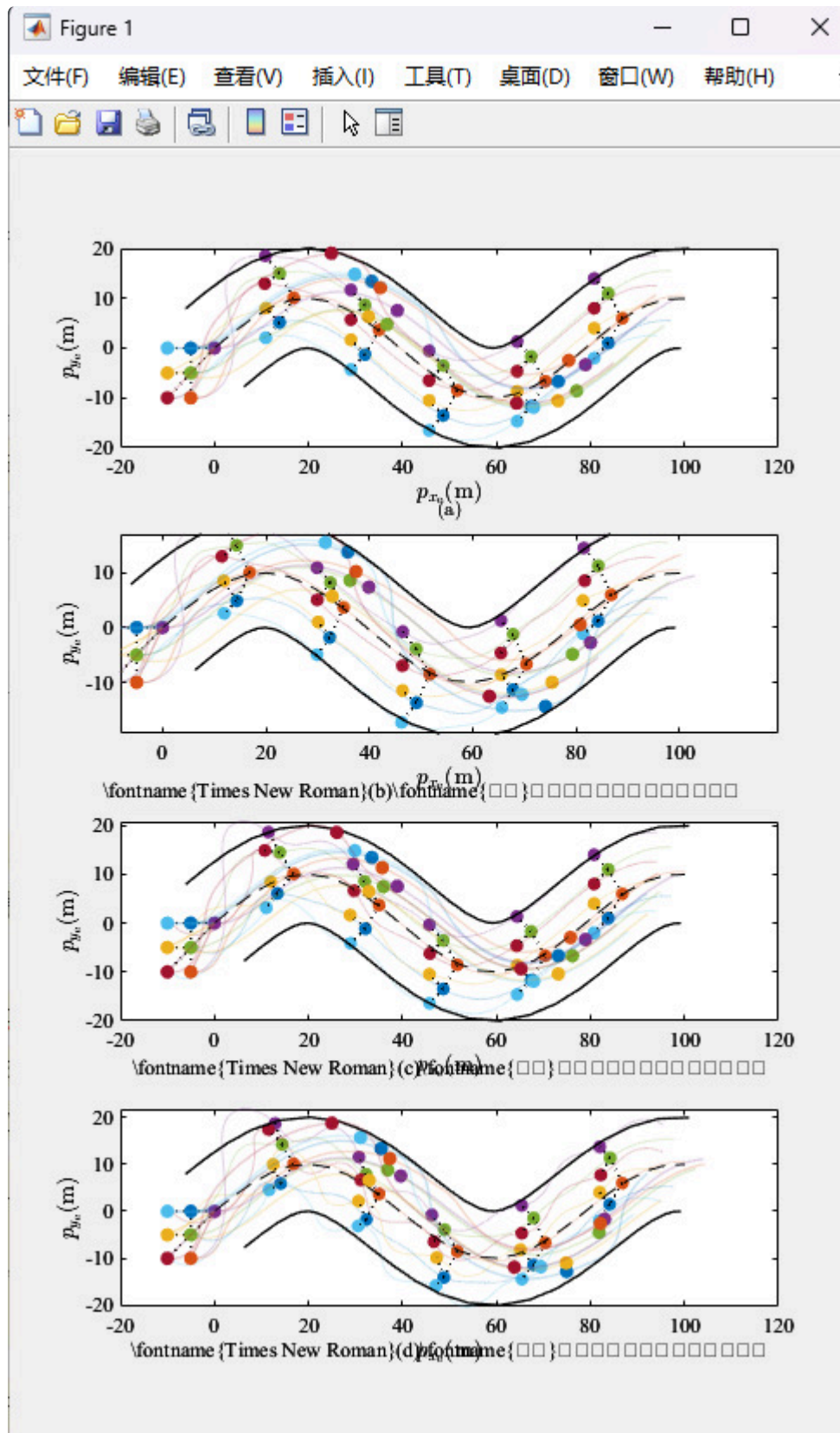
4. 实验内容或步骤

5.1 步骤1: 运行管道轨迹对比分析脚本

打开文件夹"e8-3"运行" `Draw_traj.m` "文件。

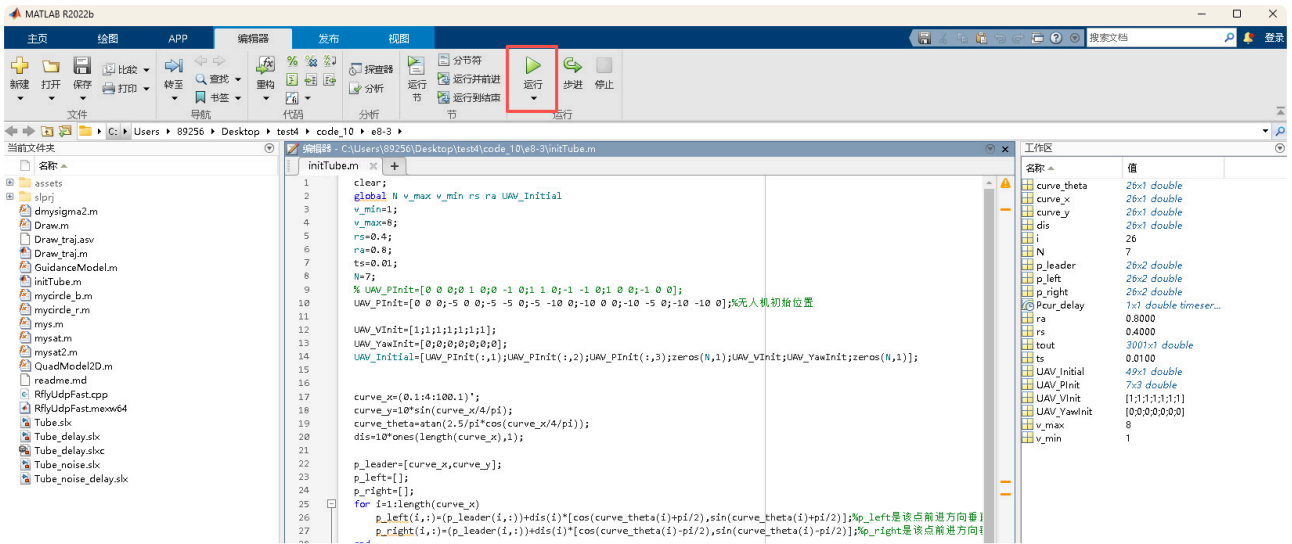


该文件能够针对各个场景进行初始化并仿真，将仿真结果绘制在一张图的四个子图中进行对比。

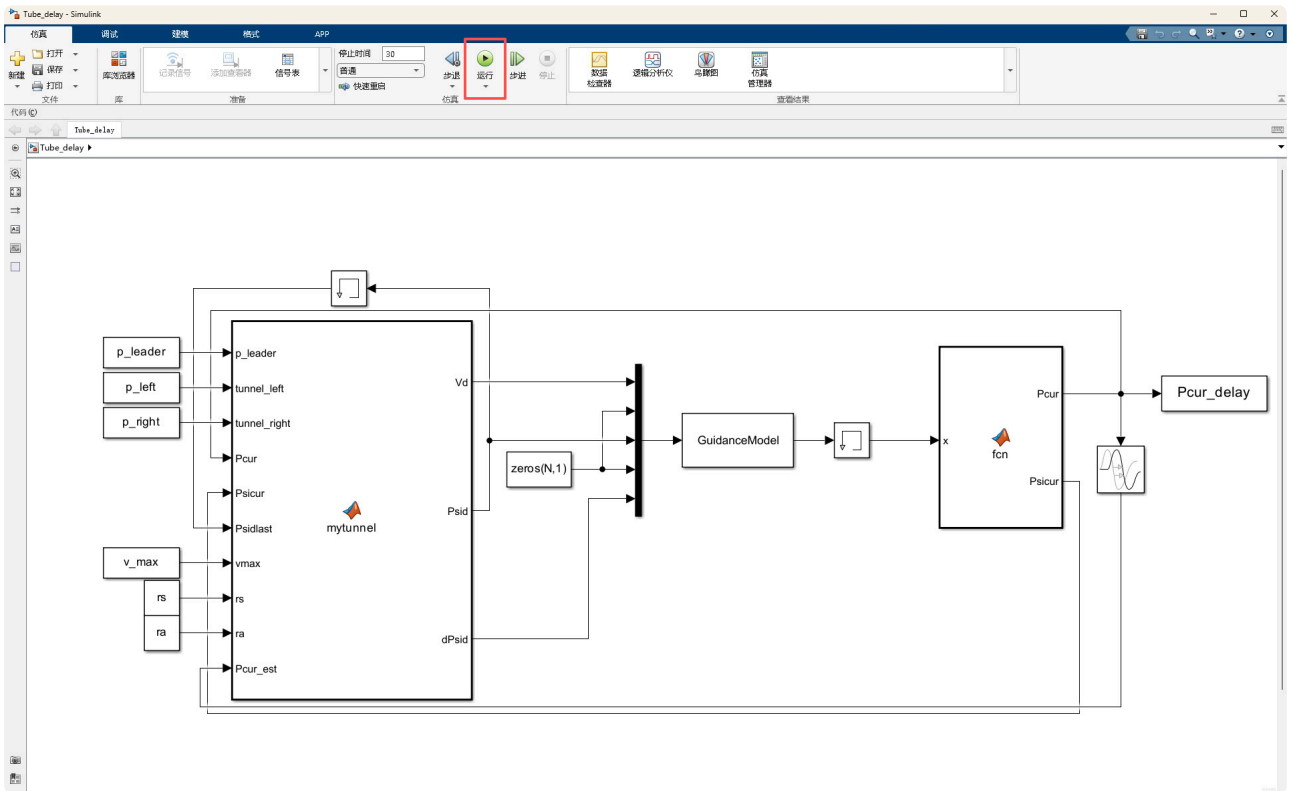


5.2 步骤2：分别运行各个场景的仿真文件

除了以上的轨迹对比图，还可以分别运行各个情况下的Simulink文件（Tube_noise.slx、Tube_noise_delay.slx）。例如：先运行"initTube.m"进行初始化；

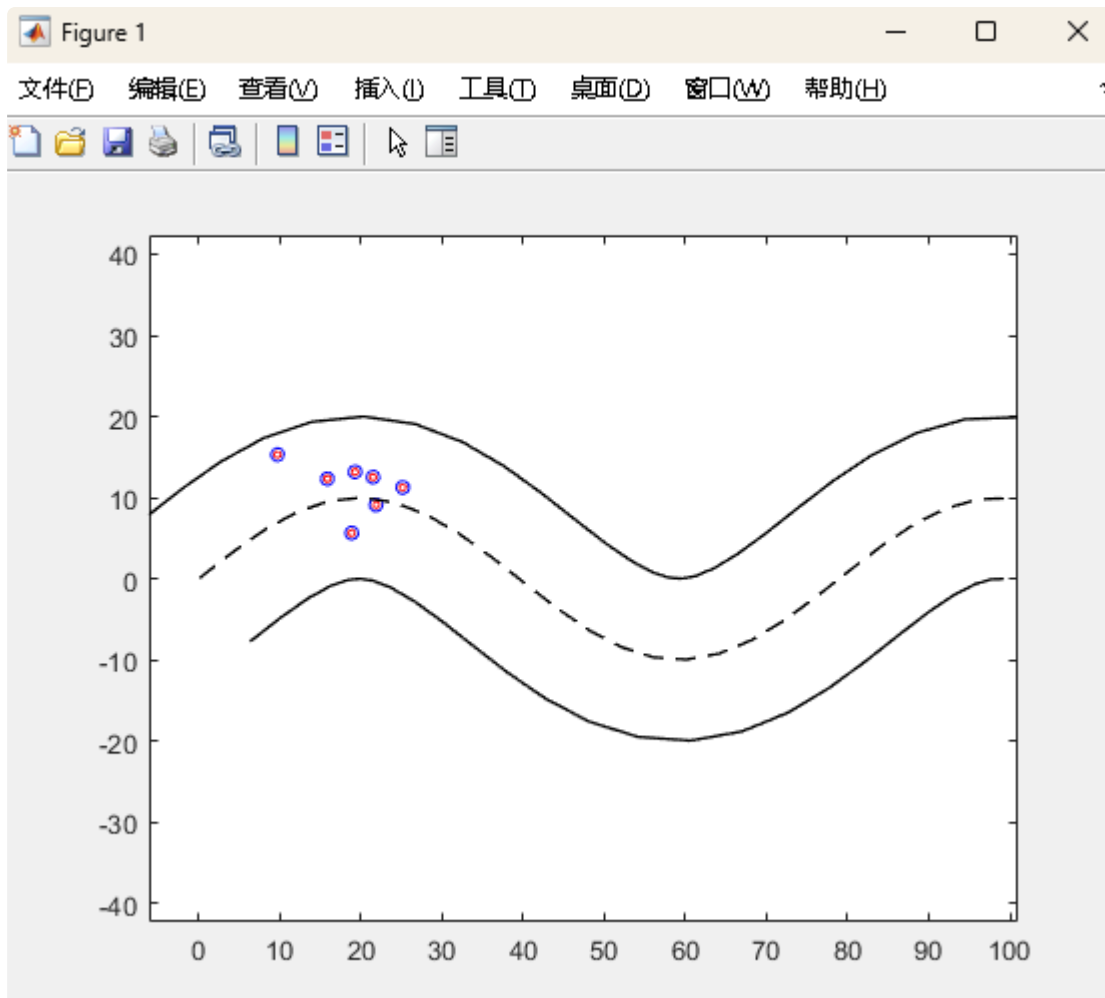


再运行"Tube_delay.slx"仿真文件（延迟情况），等待仿真结束；



在MATLAB的命令行中运行命

令："Draw(Pcur_delay,p_leader,p_left,p_right,7,rs,ra)", 能够动态绘制出固定翼无人机集群的实时状态



重复上述步骤，分别运行其他情况的仿真文件。

5. 关键知识点

关键知识点1：虚拟管道概念与设计

虚拟管道是一种用于约束无人机飞行空间的控制方法。通过定义管道的中心线和边界，确保无人机在指定的空间通道内飞行，避免碰撞并保持队形。在本实验中，首先定义管道的中心线轨迹：

```
1 | curve_x=(0.1:4:100.1)';  
2 | curve_y=10*sin(curve_x/4/pi);  
3 | curve_theta=atan(2.5/pi*cos(curve_x/4/pi));
```

然后根据中心线生成管道的左右边界：

```

1 | dis=10*ones(length(curve_x),1);
2 | p_leader=[curve_x,curve_y];
3 | p_left=[];
4 | p_right=[];
5 | for i=1:length(curve_x)
6 |     p_left(i,:)=(p_leader(i,:))+dis(i)*
7 |     [cos(curve_theta(i)+pi/2),sin(curve_theta(i)+pi/2)];
8 |     p_right(i,:)=(p_leader(i,:))+dis(i)*[cos(curve_theta(i)-
    pi/2),sin(curve_theta(i)-pi/2)];
    end

```

关键知识点2：管道控制算法

虚拟管道控制算法通过保持无人机在管道中心线附近飞行来实现路径跟踪。算法需要考虑以下因素：

1. 无人机与管道中心线的横向偏差
2. 无人机与期望速度的匹配
3. 无人机与管道边界的距离约束
4. 多机编队的协同控制

管道控制算法通过调节无人机的速度指令和航向角来实现管道跟踪：

```

1 | % 管道控制相关参数
2 | v_min=1; % 最小速度
3 | v_max=8; % 最大速度
4 | rs=0.4; % 安全半径
5 | ra=0.8; % 警告半径

```

关键知识点3：多场景对比分析

与e8-2类似，本实验也设置了多种干扰场景进行对比分析：

1. 无噪声无延迟的理想情况
2. 有噪声情况
3. 有延迟情况
4. 有噪声有延迟情况

通过对比不同场景下的飞行轨迹，分析虚拟管道控制方法在各种干扰条件下的鲁棒性。

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: <https://rflysim.com/doc/zh/>
2. PX4飞控固件官方文档: <https://docs.px4.io/>
3. 飞思实验室官网: <http://www.feisilab.com/>
4. 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.

7. 常见问题

Q1: 运行仿真时出现矩阵维度不匹配错误怎么办?

A1: 检查"initTube.m"文件是否正确运行, 确认所有变量都已正确定义和初始化。

Q2: 绘图时看不到管道边界怎么办?

A2: 确认绘图脚本中正确调用了管道边界数据"p_left"和"p_right", 并检查绘图命令是否正确执行。

Q3: 无人机飞出管道边界怎么办?

A3: 检查控制参数设置, 适当调整控制增益或减小期望速度, 确保控制系统有足够的控制能力使无人机保持在管道内。

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