

- 1.实验名称及目的
 - 1.1实验名称
 - 1.2实验目的
 - 1.3关键知识点
 - 关键知识点1: 初始变量定义
 - 关键知识点2: 领导者-跟随者编队控制
 - 关键知识点3: 固定翼制导模型
- 2.实验效果
- 3.文件目录
- 4.运行环境
 - 4.1 软件要求
 - 4.2 硬件要求
- 5.实验步骤
 - 5.1 运行初始化脚本
 - 5.2 打开并运行Simulink模型
 - 5.3 查看仿真结果
- 6.参考资料
- 7.常见问题
 - Q1: 仿真过程中无人机编队结构不稳定怎么办?
 - Q2: 绘图时出现维度不匹配错误怎么办?

1.实验名称及目的

1.1实验名称

固定翼无人机基础编队飞行实验

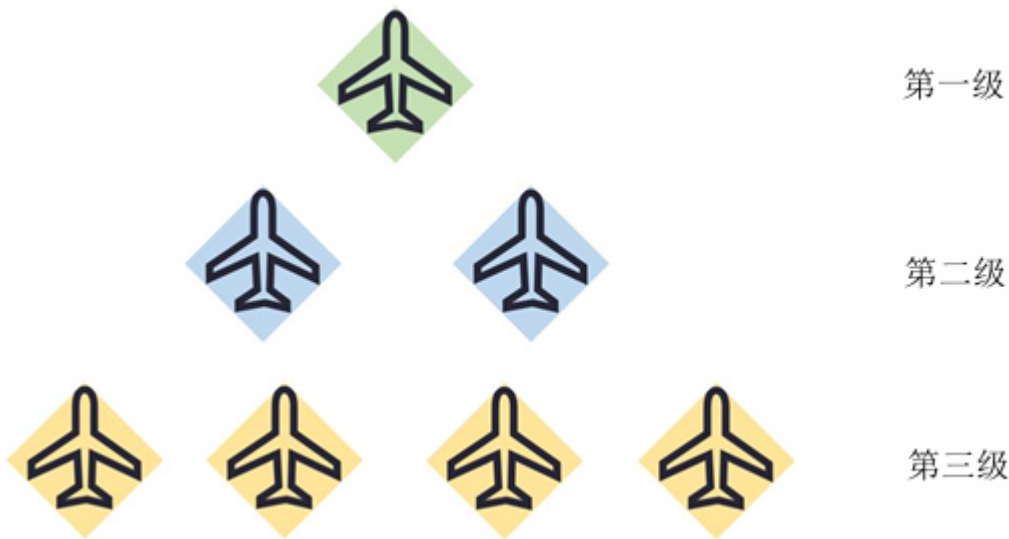
1.2实验目的

1. 了解固定翼无人机制导模型，掌握固定翼无人机编队飞行方法
2. 设计无人机飞行路径，使用Simulink完成固定翼无人机编队飞行
3. 理解领导者-跟随者编队控制结构

1.3关键知识点

关键知识点1：初始变量定义

在仿真中，固定翼无人机的初始状态定义为：x轴坐标、y轴坐标、高度、高度变化率、速度大小、偏航角、偏航角变化率。由于模型包含高度和高度的导数两项，在这里对变量进行定义，但实验中仅考虑二维平面上控制。本基础实验内，设定无人机集群共有三级结构。序列中第一架无人机为第一优先级，第二架及第三架无人机为第二优先级，其余无人机为第三优先级。



首先对固定翼无人机集群的状态进行初始化。在"e8-1"路径下，双击初始化文件"initFormation.m"，该文件对无人机数量、仿真步长进行声明，对无人机初始位置、速度、偏航角以及相应初始状态进行定义。

```
global N UAV_Initial ts
N=7;%无人机数量
ts=0.01;%仿真步长
UAV_PInit=[0 0 0;-5 0 0;-5 -5 0;-5 -10 0;-10 0 0;-10 -5 0;-10 -10 0];%无人机初始位置
UAV_VInit=[1;1;1;1;1;1;1];%无人机初始速度
UAV_YawInit=[0;0;0;0;0;0;0];%无人机初始偏航角
UAV_Initial=[UAV_PInit(:,1);UAV_PInit(:,2);UAV_PInit(:,3);zeros(N,1);UAV_VInit;UAV_YawInit;zeros(N,1)];
%无人机初始状态[x,y,h,dot_h,V,yaw,dot_yaw]
```

对领导者无人机的轨迹进行生成，示例代码如上述代码段。无人机的飞行轨迹设计为正弦函数的形式。定义二维平面上一系列点，作为式中各个航路点，写入"point"矩阵。在每个航路段上，定义固定翼无人机的期望速度"vdes"为5。对固定翼的速度，也进行了相应的限制，定义其最小速度为"v_min"、最大速度为"v_max"。

```
pointx=0.1:4:100.1;%路径点x坐标
pointy=10*sin(pointx/4/pi);%路径点y坐标
point=[pointx pointy]';%路径点坐标
len=length(point(:,1));%路径点长度
vdes=5;%期望速度
v_min=1;%最小速度
v_max=8;%最大速度
```

关键知识点2：领导者-跟随者编队控制

为了使固定翼集群能够按照期望的路径进行飞行，这里设计固定翼的编队控制器，其中领导者和跟随者的控制思路并不相同。领导者控制器主要考虑对航路点的逐段跟踪，在每一段航路中分别对切向和侧向进行控制。跟随者控制器则考虑对领导者进行跟踪，维持编队的结构。

无人机编队共分为三级，第1架为第一级，第2-3架为第二级，第4-7架为第三级。其中第2、3架无人机跟随第1架，即第1架无人机为领导者，第2、3架无人机为跟随者。同理，第4、5架无人机跟随第2架，第6、7架无人机跟随第3架。因此，结合控制算法，无人机的控制量基于序号*i*进行了分别计算。各无人机控制量"*u*"可由以下代码计算得到。

```
d=[0 0;-3 5;-3 -5;-3 3;-3 -3;-3 3;-3 -3];
k1=0.5;
k2=0.1;
for i=1:N
u(i,:)=mysat2(knp*en+kni*eni+knd*den+ktd*det+kti*eti,v_min,v_max);%PID控制
if i>1 && i<=3
u(i,:)=u(i,:)+k1*(Pcur(1,1:2)+d(i,:)-Pcur(i,1:2))+k2*(Vcur(1,1:2)-Vcur(i,1:2));%领导者-跟随者控制
end
if i>3 && i<=5
u(i,:)=u(i,:)+k1*(Pcur(2,1:2)+d(i,:)-Pcur(i,1:2))+k2*(Vcur(2,1:2)-Vcur(i,1:2));%领导者-跟随者控制
end
if i>5
u(i,:)=u(i,:)+k1*(Pcur(3,1:2)+d(i,:)-Pcur(i,1:2))+k2*(Vcur(3,1:2)-Vcur(i,1:2));%领导者-跟随者控制
end
end
```

关键知识点3：固定翼制导模型

实验中使用的固定翼无人机制导模型是一个7维状态系统，状态包括位置、速度、高度、偏航角及其导数。模型通过输入期望速度、高度和偏航角指令来控制无人机的飞行。

```
% State = [x\dot{x}y\dot{y}h\dot{h}\ddot{h}V\dot{V}\psi\dot{\psi}\ddot{\psi}]
% Input = [V_d h_d\psi_d\dot{h}_d\dot{\psi}_d]
```

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

2. 实验效果

通过本实验，可以实现7架固定翼无人机的编队飞行，其中：

1. 第1架无人机作为领导者，按照预设的正弦轨迹飞行
2. 第2、3架无人机跟随第1架，保持相对位置
3. 第4、5架无人机跟随第2架，第6、7架无人机跟随第3架
4. 整个编队能够保持稳定的几何结构并完成轨迹跟踪

实验结果将显示无人机编队的实时位置和轨迹，以及编队结构的变化情况。

3.文件目录

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\10-FixedWingCtrl\code_10\e8-1](#)

文件名称	说明
GuidanceModel.m	固定翼无人机制导模型
initFormation.m	仿真的初始化文件
formation_8_1.slx	固定翼集群编队飞行的仿真文件
Draw.m	绘制固定翼无人机编队中各无人机每一时刻位置
Draw_traj.m	绘制固定翼无人机编队中各无人机轨迹图
Draw_error.m	绘制固定翼无人机编队中各无人机误差图

4.运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；MATLAB R2022b及以上版本

4.2 硬件要求

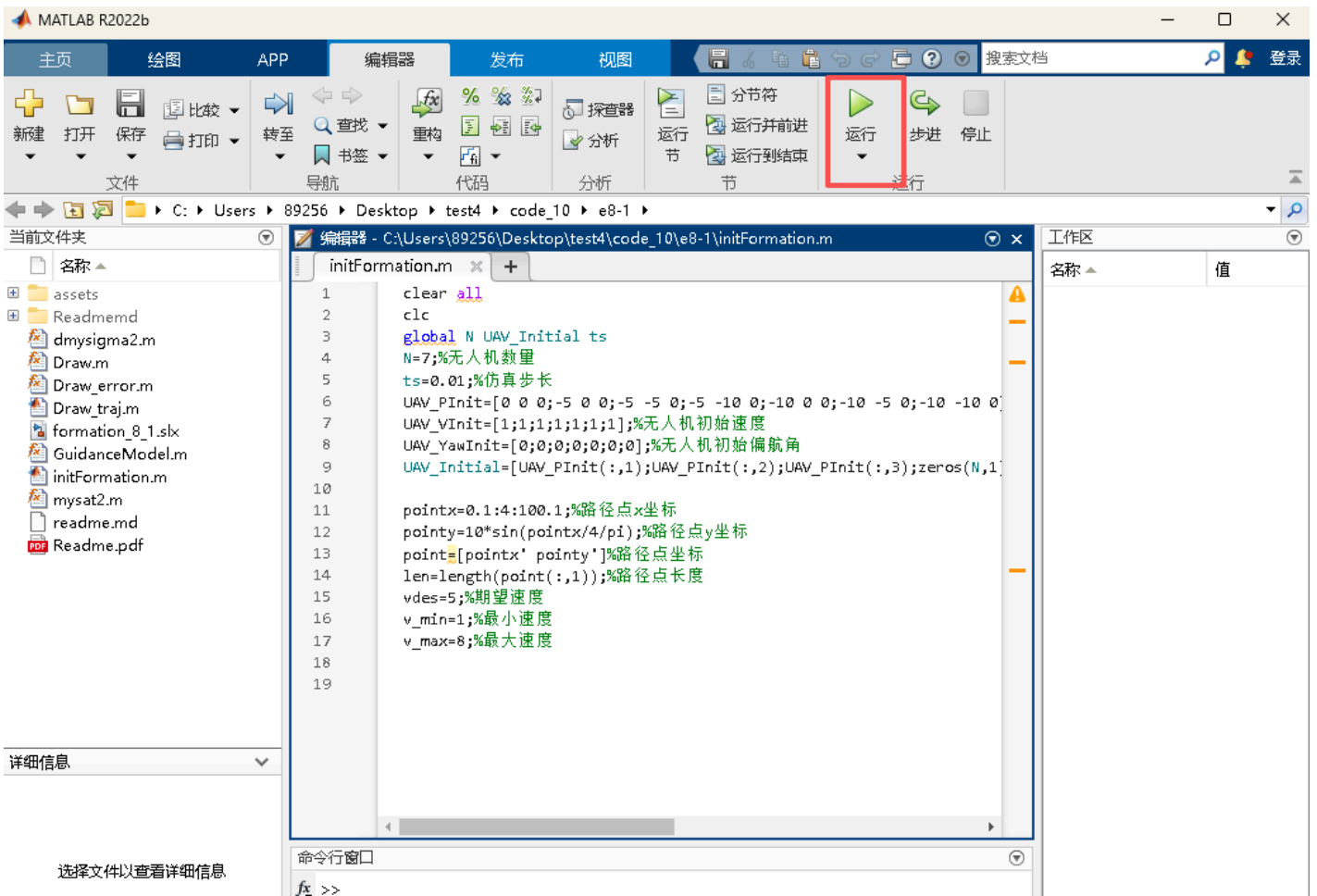
笔记本/台式电脑1台

①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/>

5.实验步骤

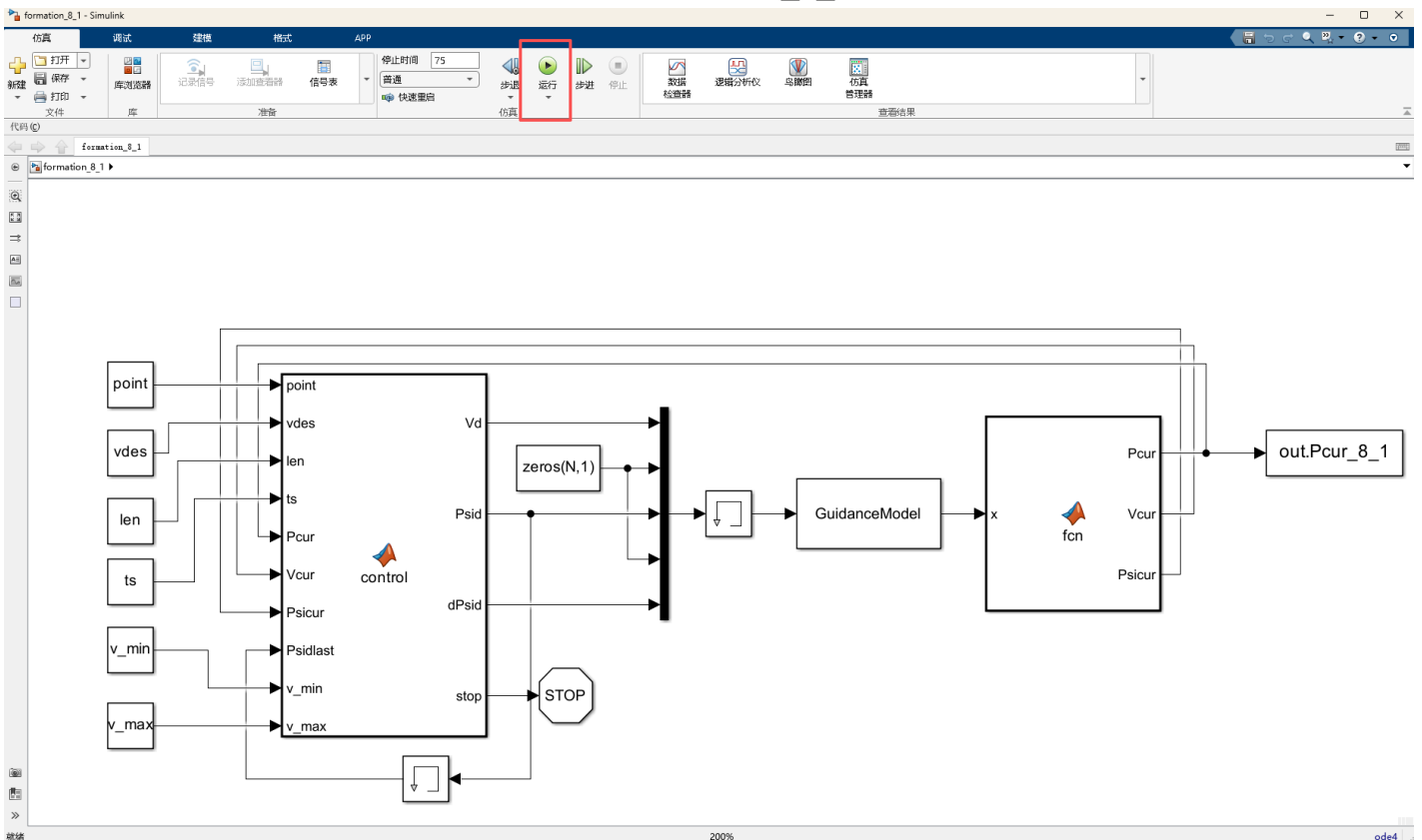
5.1 运行初始化脚本

进入e8-1文件夹，双击运行"initFormation.m"文件进行初始化参数设置，该脚本会设置无人机数量、初始位置、初始速度等参数。



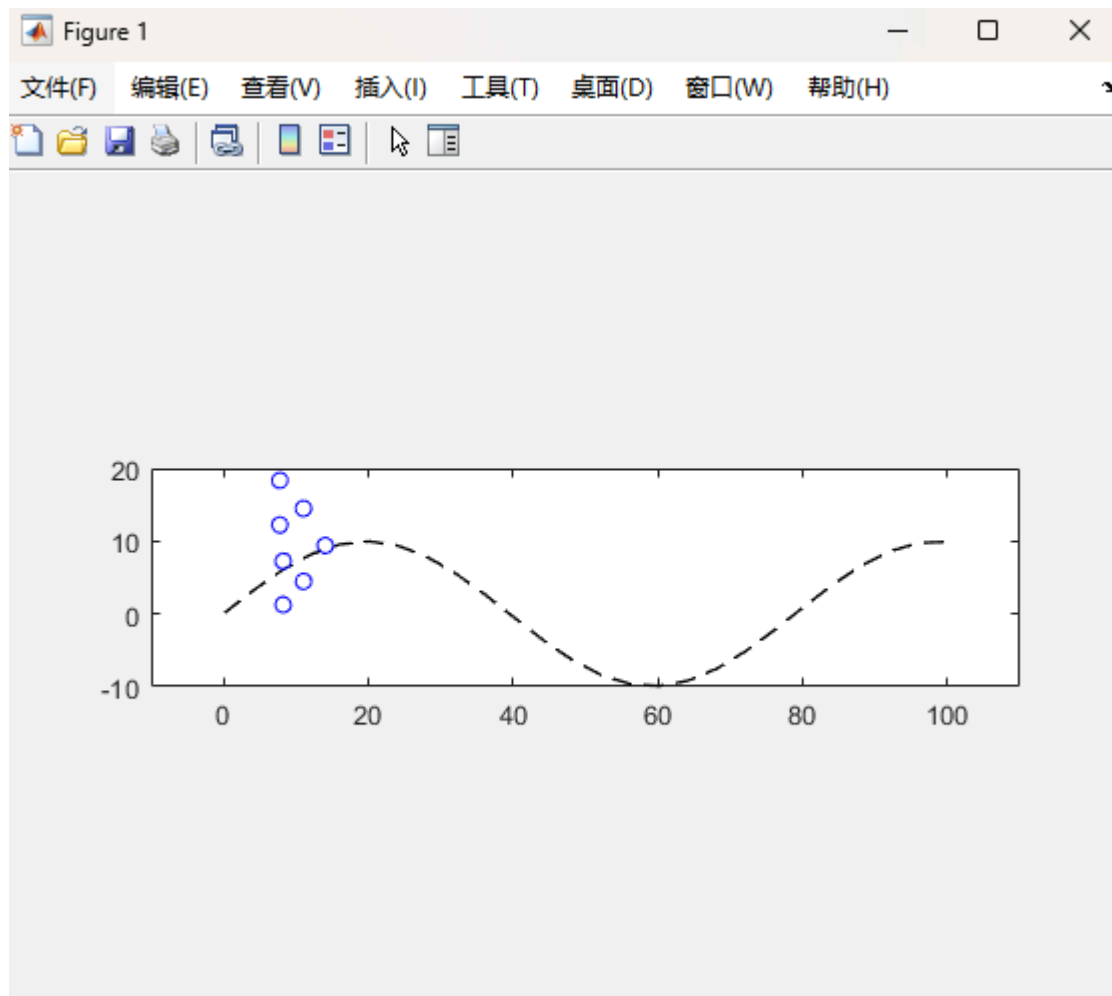
5.2 打开并运行Simulink模型

在完成上述步骤后，双击Simulink模型文件"formation_8_1.slx"。点击运行按钮开始仿真。

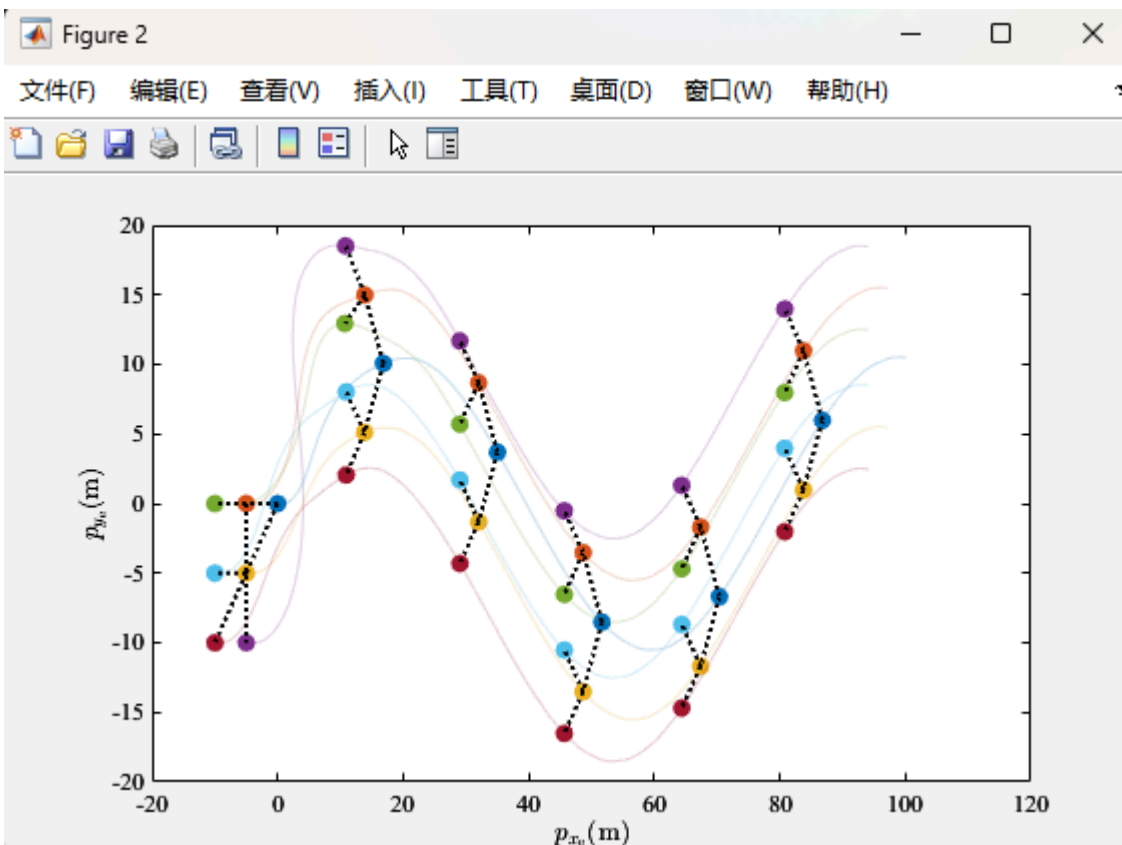
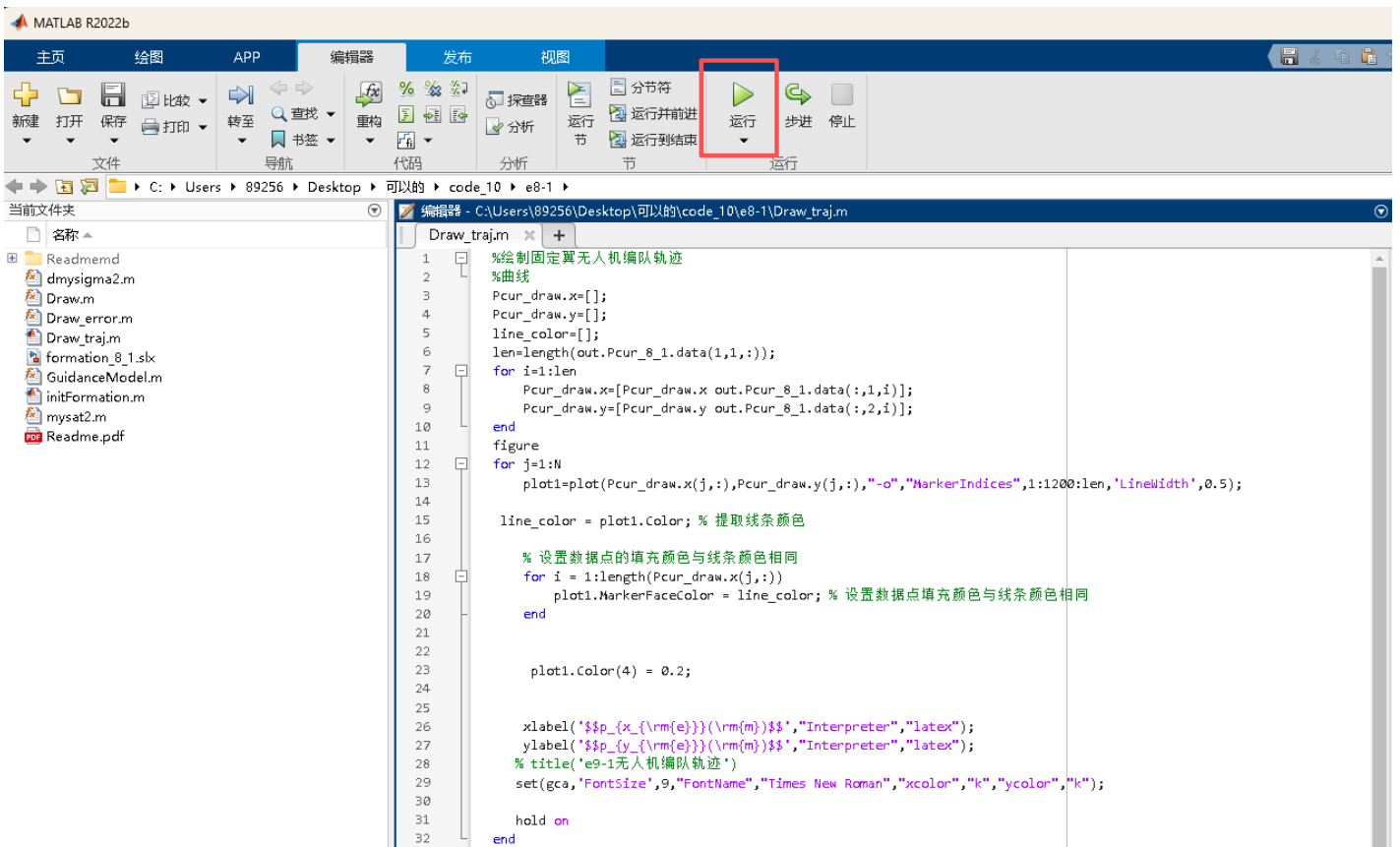


5.3 查看仿真结果

在等待仿真结束之后，在MATLAB命令行输入"Draw(out.Pcur_8_1,point)"，可以观察到固定翼无人机编队中无人机在仿真中各时刻的运动。



此外，还可以通过运行"e8-1"文件夹下"Draw_traj.m"绘制固定翼无人机编队中各无人机轨迹图。



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: 仿真过程中无人机编队结构不稳定怎么办?

A1: 检查控制参数 k_1 和 k_2 的设置,适当增大 k_1 值可以增强位置跟踪性能,适当增大 k_2 值可以增强速度同步性能。

Q2: 绘图时出现维度不匹配错误怎么办?

A2: 确认初始化脚本"initFormation.m"已正确运行,且变量N和UAV_Initial已正确定义。