

固定翼无人机编队飞行噪声与延迟影响分析实验

1. 实验目的

1. 分析固定翼无人机编队飞行中存在的噪声、延迟等影响因素
2. 观察不同干扰条件下固定翼无人机编队飞行情况
3. 分析和比较不同控制方法在干扰环境下的鲁棒性

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：

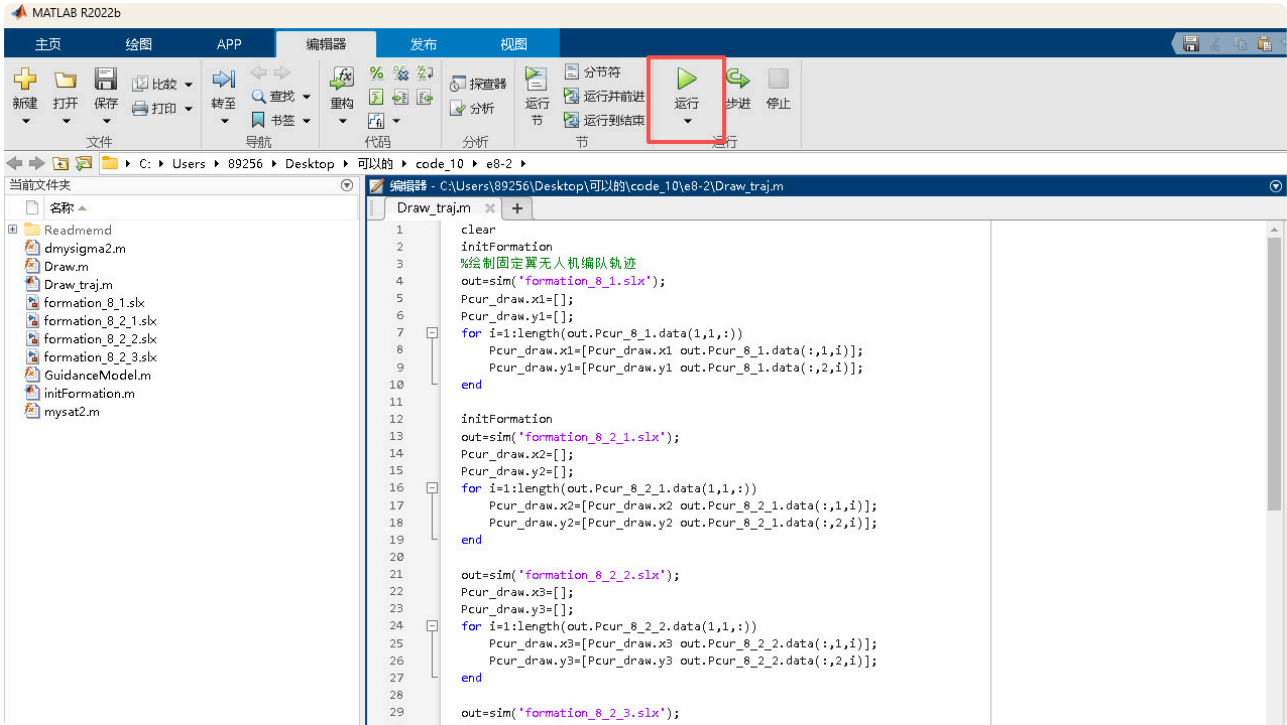
[安装目录]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_10\e8-2

- [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](#)：无噪声无延迟情况下的固定翼集群编队飞行仿真文件。
- [formation_8_2_1.slx](#)：加入噪声情况下固定翼集群编队飞行的仿真文件。
- [formation_8_2_2.slx](#)：加入延迟情况下固定翼集群编队飞行的仿真文件。
- [formation_8_2_3.slx](#)：加入噪声和延迟情况下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](#)：绘制不同干扰情况下的固定翼无人机编队轨迹对比图。
- [dmysigma2.m](#)：sigma函数实现。
- [mysat2.m](#)：饱和函数实现。

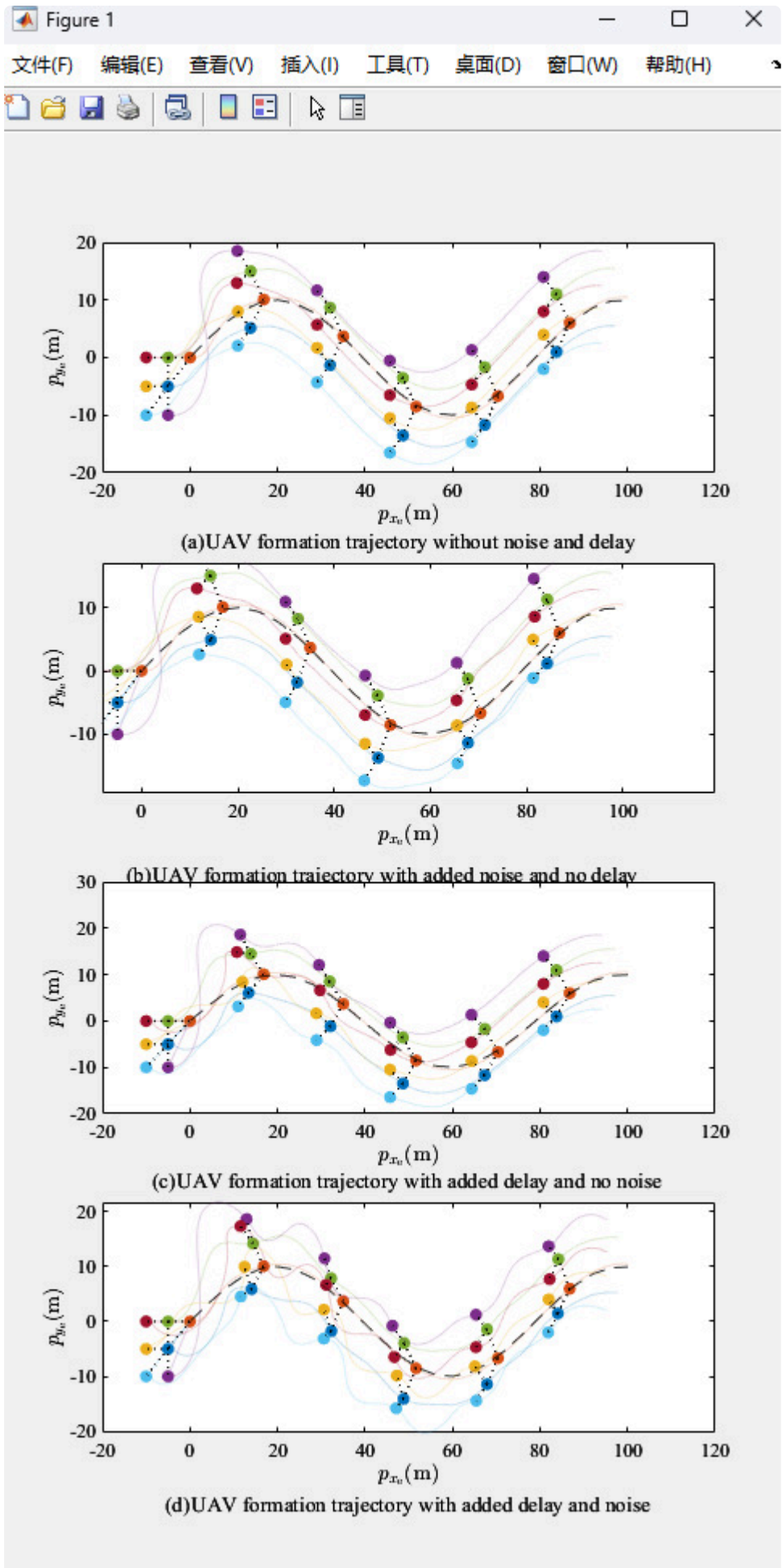
4. 实验内容或步骤

5.1 步骤1:运行轨迹对比分析脚本

进入e8-2文件夹，双击运行"Draw_traj.m"文件。

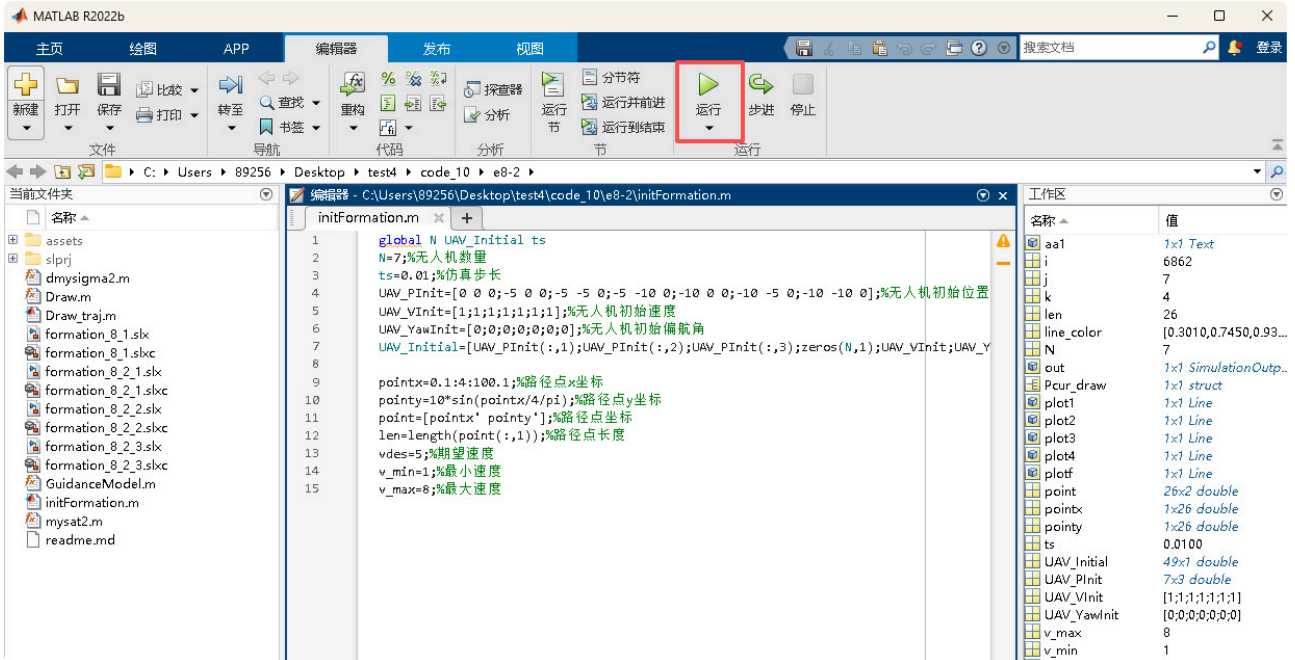


该文件能够针对各个场景进行初始化并仿真，将仿真结果绘制在一张图的四个子图中进行对比。如图其中虚线为无人机之间的拓扑结构。

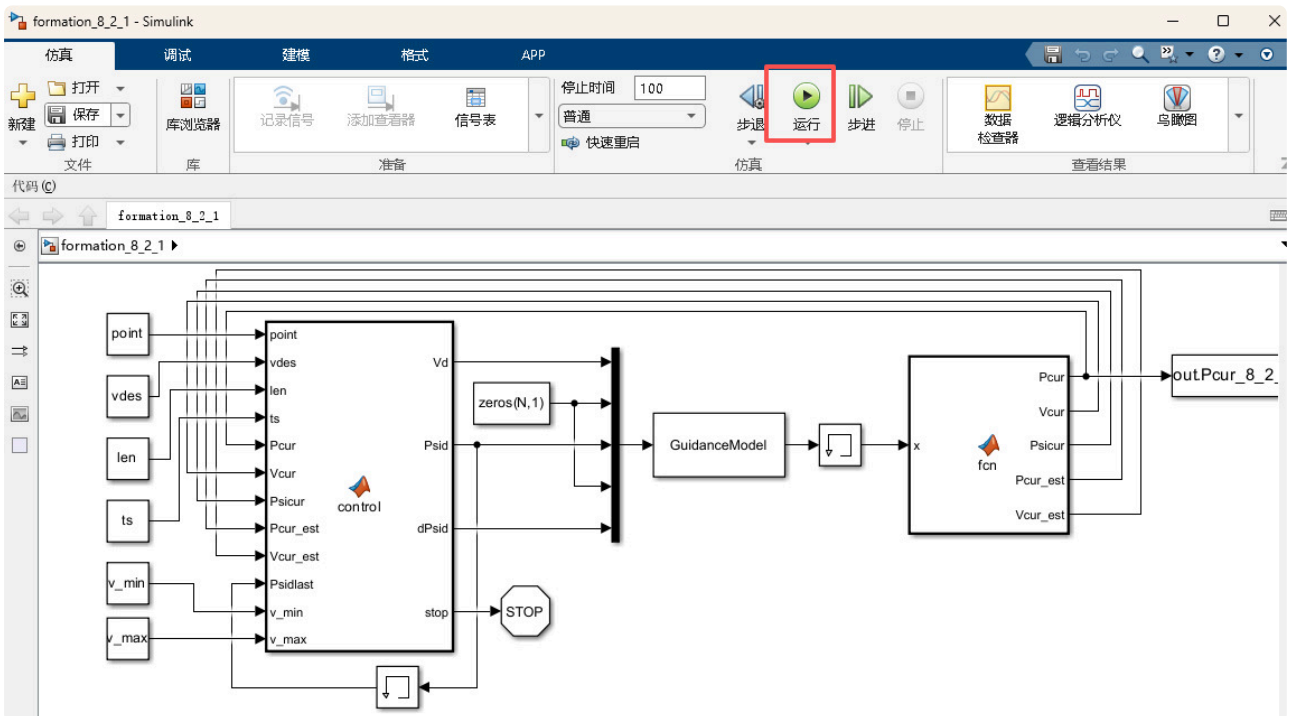


5.2 步骤2：分别运行各个场景的仿真文件

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 (formation_8_2_1.slx、formation_8_2_2.slx、formation_8_2_3.slx)。例如：先运行"initFormation.m"进行初始化，

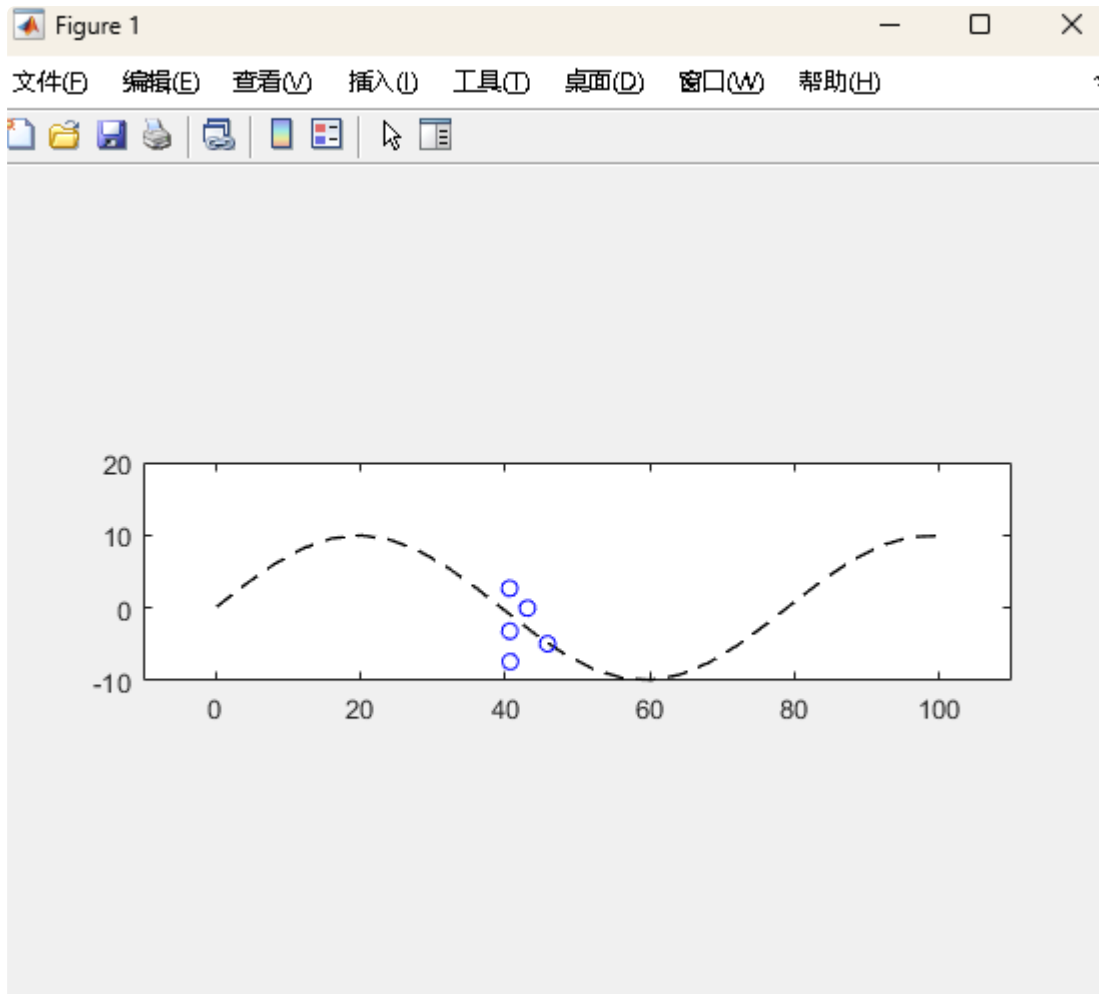


再运行"formation_8_2_1.slx"仿真文件（噪声情况）仿真结束后，



在MATLAB的命令行中运行命令："Draw(out.Pcur_8_2_1,point)", 能够动态绘制出固定

翼无人机编队的实时状态，重复上述步骤，分别运行延迟情况和噪声延迟情况的仿真文件。



5. 关键知识点

关键知识点1：噪声建模与仿真

在实际无人机系统中，传感器测量往往存在噪声。在仿真中加入两个变量，分别为"Pcur_est"和"Vcur_est"，代表固定翼无人机的估计位置和估计速度。该估计位置及估计速度将被无人机发送给其它同伴以进行编队。变量"Pcur_est"和"Vcur_est"通过对固定翼无人机的真实位置和真实速度叠加随机数噪声得到。

```
1 %Add noise to position and speed
2 bp=2;%The magnitude of the added noise at the location
3 bv=2;%The magnitude of the noise added to the speed
4 Pcur_est=Pcur+[bp*(rand(N,2)-0.5)*2 zeros(N,1)];%Handle random numbers
5 Vcur_est=Vcur+[bv*(rand(N,2)-0.5)*2 zeros(N,1)];%Handle random numbers
```

在MATLAB中，"rand"代表均匀分布的随机数，此MATLAB函数返回从区间(0,1)的均匀分布中得到的随机标量。因为对位置和速度加入的噪声应当以0为均值，因此做出相应处理，

得到在区间" $(-bp, bp)$ "及" $(-bv, bv)$ "的随机数。

关键知识点2：延迟建模与仿真

在Simulink中，有一个模块可用于建模无人机之间的延迟因素，名为"Transport Delay"。击打开"Transport Delay"模块，可以对时滞参数进行调节。在本次仿真中，将时滞设置为0.8。通过设置不同的延迟时间，可以模拟不同网络条件下的无人机通信延迟对编队控制性能的影响。

关键知识点3：多场景对比分析

本实验设置了三种不同的仿真场景进行对比分析，通过对比这三种情况下的编队飞行效果，可以分析噪声和延迟对编队控制性能的影响。

情况一、有噪声但无延迟：在仿真中加入两个变量，分别为 "Pcur_est" 和 "Vcur_est"，代表固定翼无人机的估计位置和估计速度。该估计位置及估计速度将被无人机发送给其它同伴以进行编队。变量 "Pcur_est" 和 "Vcur_est" 通过对固定翼无人机的真实位置和真实速度叠加随机数噪声得到，如代码段所示。

```
1 | %Add noise to position and speed
2 | bp=2;%The magnitude of the added noise at the location
3 | bv=2;%The magnitude of the noise added to the speed
4 | Pcur_est=Pcur+[bp*(rand(N,2)-0.5)*2 zeros(N,1)];%Handle random numbers
5 | Vcur_est=Vcur+[bv*(rand(N,2)-0.5)*2 zeros(N,1)];%Handle random numbers
```

在 MATLAB 中，"rand" 代表均匀分布的随机数，此 MATLAB 函数返回从区间 (0,1) 的均匀分布中得到的随机标量。因为对位置和速度加入的噪声应当以 0 为均值，因此做出相应处理，得到在区间" $(-bp, bp)$ " 及 " $(-bv, bv)$ " 的随机数。

情况二、无噪声但有延迟：在 Simulink 中，有一个模块可用于建模无人机之间的延迟因素，名为 "Transport Delay"，如图所示。



双击打开 "Transport Delay" 模块，可以对时滞参数进行调节。在本次仿真中，将时滞设置为 0.8。



情况三、有噪声且有延迟： 在第三种情况下，考虑给仿真同时注入噪声和延迟两种因素，观察固定翼无人机编队飞行情况。

通过本实验，可以观察到：

1. 在无噪声无延迟的理想环境下，编队能够保持良好的队形和跟踪精度
2. 噪声的引入会导致队形出现波动，跟踪精度下降
3. 延迟的引入会导致控制响应滞后，可能出现队形不稳定甚至发散
4. 同时存在噪声和延迟时，编队控制性能进一步恶化

实验结果将以轨迹对比图的形式展示，便于直观分析不同干扰因素的影响。

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 `Draw_traj.m` 时仿真时间过长怎么办?

A1: 可以适当减小仿真时间, 在初始化脚本中修改相关参数, 或者在Simulink模型中设置较短的仿真停止时间。

Q2: 如何调整噪声和延迟参数?

A2: 噪声参数可以在各仿真模型中找到"bp"和"bv"变量进行调整; 延迟参数可以在"Transport Delay"模块中设置。

Q3: 仿真结果图中轨迹重叠难以区分怎么办?

A3: 可以修改绘图脚本中的线条颜色、线型或透明度设置, 使不同轨迹更加清晰可辨。

1. <https://rflsim.com/> ↩

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