

多无人机8字形轨迹跟踪控制实验

1. 实验目的

本实验旨在通过Matlab/Simulink软件，实现单/多无人机的8字形轨迹跟踪控制。

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]；MATLAB 2022b及以上版本。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑① 1台；集群控制仿真单元 1台。

3. 实验地址

例程目录：

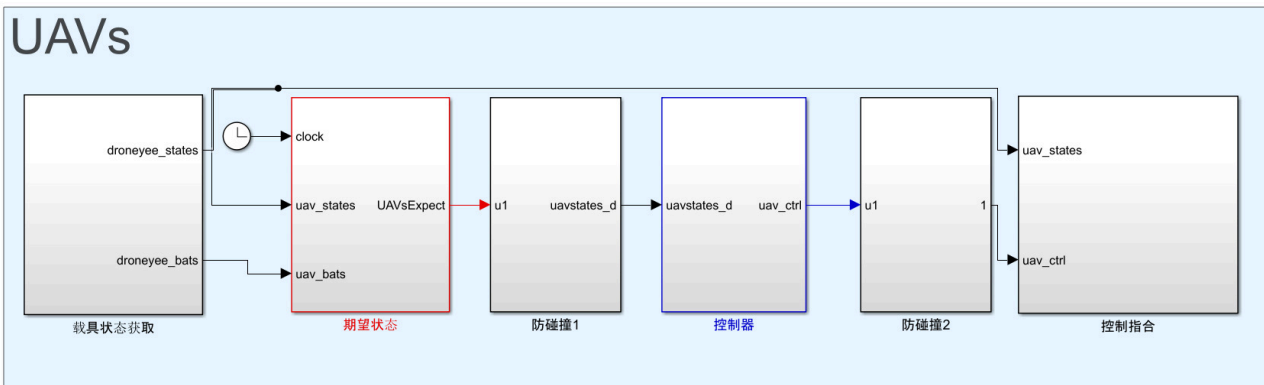
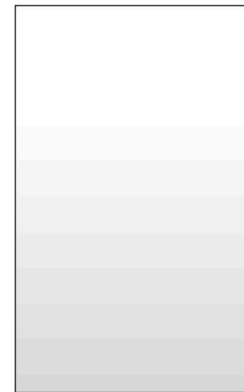
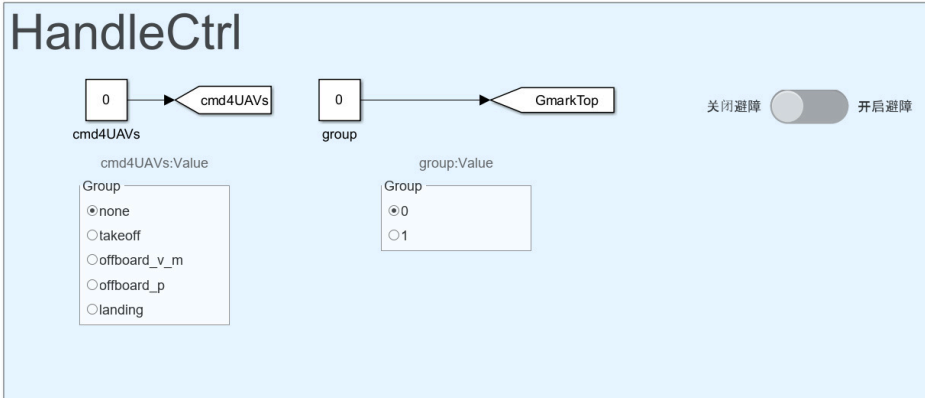
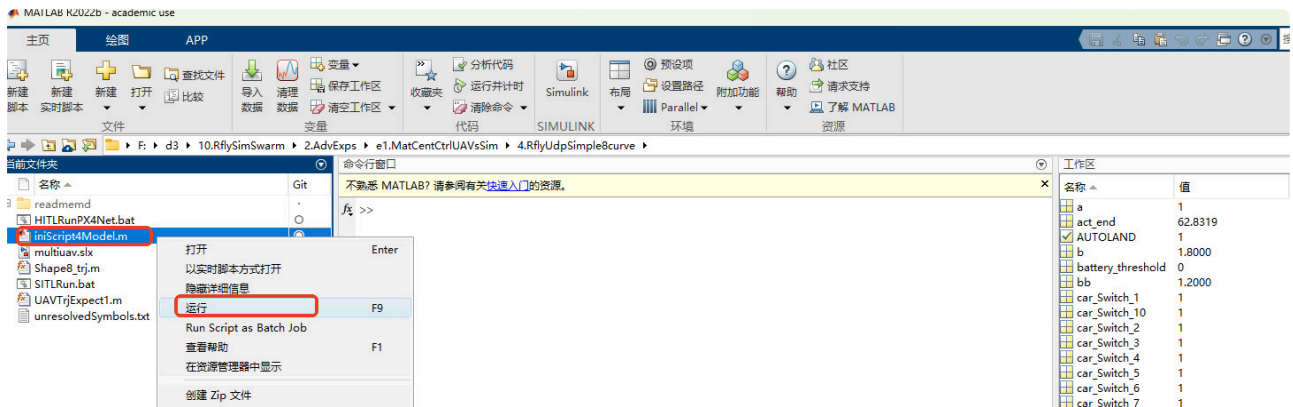
[\[安装目录\]\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e1.MatCentCtrlUAVsSim\4.RflyUdpSimple8curve](#)

- [multiuav.slx](#)：主要控制系统模型，包含通信、控制和轨迹规划模块。
- [iniScript4Model.m](#)：系统初始化脚本，设置PID参数、仿真环境和系统变量。
- [UAVTrjExpect1.m](#)：轨迹期望生成函数，根据控制指令和Gmark标志选择飞行模式（悬停或8字轨迹）。
- [Shape8_trj.m](#)：8字形轨迹生成函数，基于利萨茹曲线算法生成参数化轨迹坐标。
- [SITLRun6uavs.bat](#)：软件在环仿真环境一键启动脚本（本地127.0.0.1仿真）。
- [HITLRunPX4Net.bat](#)：硬件在环仿真启动脚本（连接真实飞控硬件）。
- [view.py](#)：Python可视化脚本，用于实时绘制无人机轨迹和状态（可选）。
- [unresolvedSymbols.txt](#)：Simulink模型中未解析符号列表，用于调试参考。

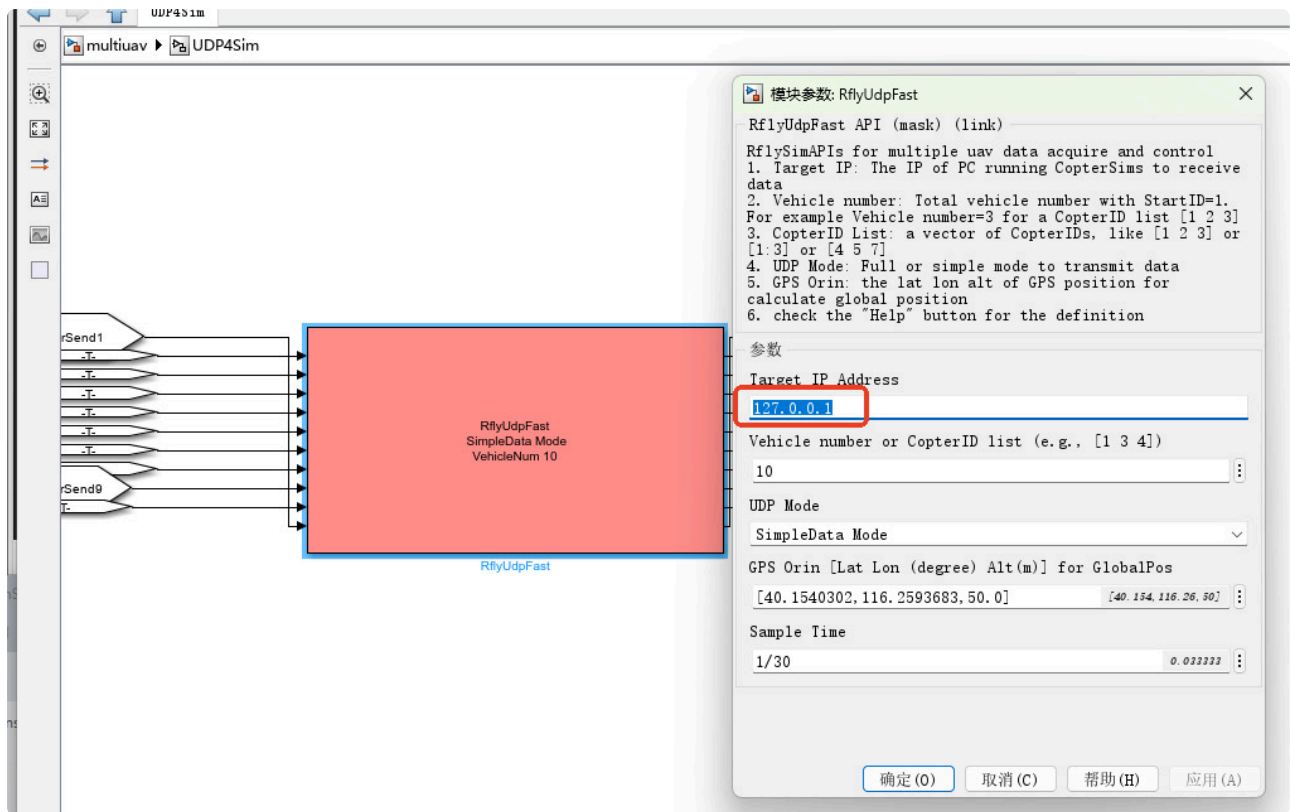
4. 实验内容或步骤

4.1 步骤1：初始化Simulink控制主程序

使用matlab打开本例程目录，双击打开 `iniScript4Model.m` 文件和 `multiuav.slx` 文件。其中 `iniScript4Model.m` 文件是初始化参数文件，先运行初始化文件之后才可以运行 `.slx` 文件（如果matalb版本是2022b,运行 `iniScript4Model.m` 初始化文件后 `multiuav.slx` 自动弹出）。

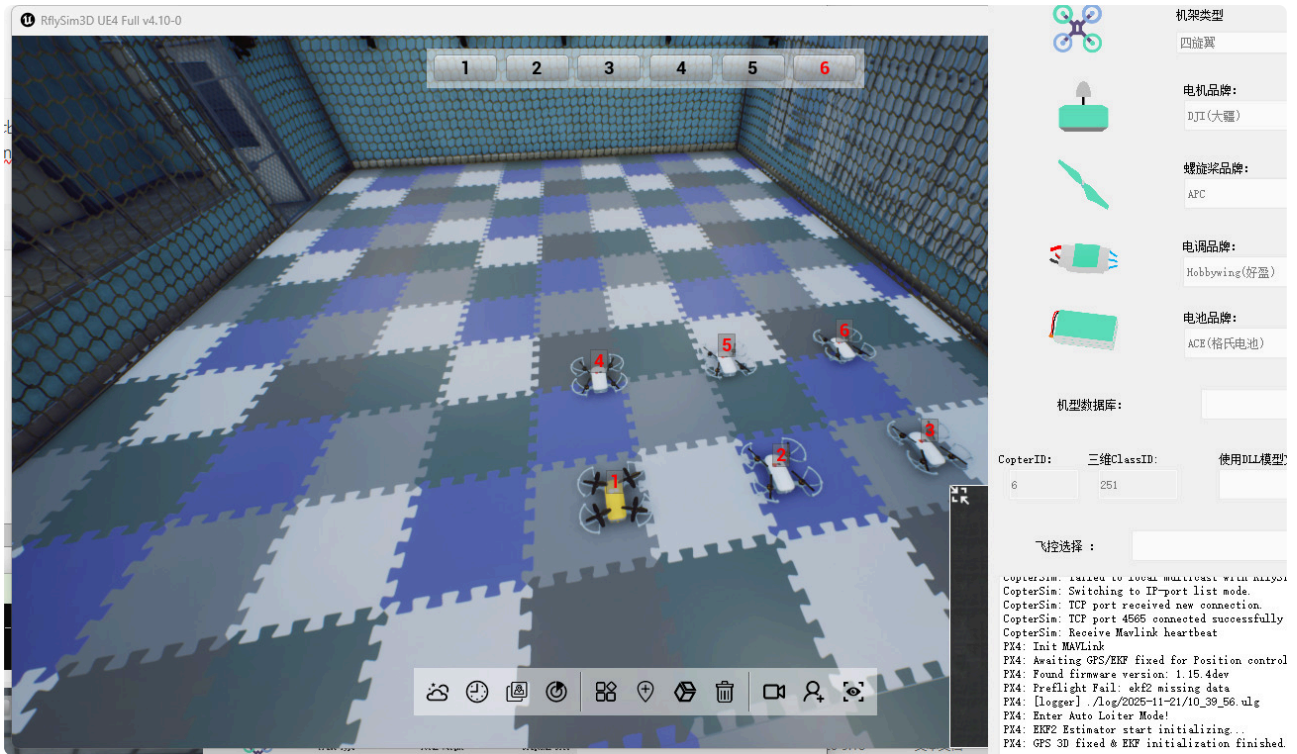


仿真实验前，点击UDP通信模块，设置UDP通信地址127.0.0.1，UDPmode设为Simpledata，保证与bat脚本中仿真软件通信配置保持一致



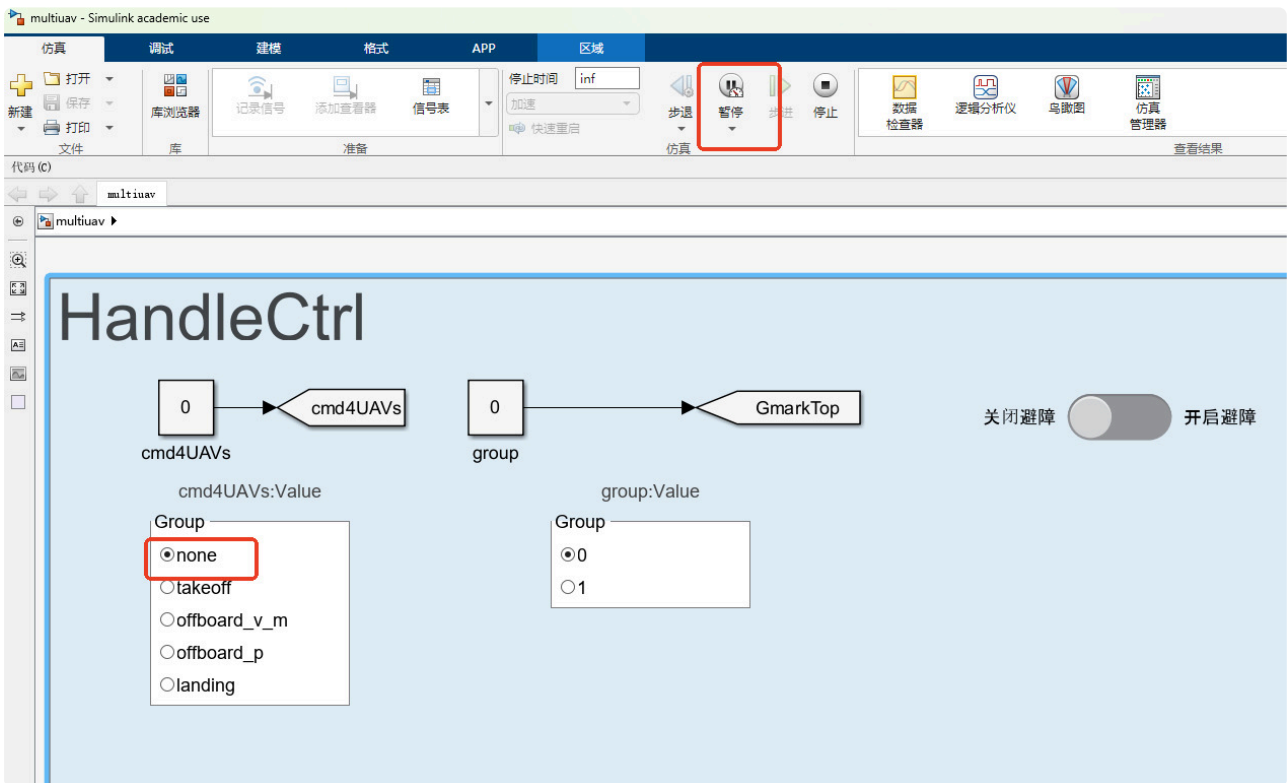
4.2 步骤2：启动软件在环仿真

双击 [SITLRun6uavs.bat](#) 启动6架飞机的软件在环，会自动弹出CopterSim、QGroundControl、RflySim3D/RflySimUE5等软件终端界面，待CopterSim弹出PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.证明启动正常。



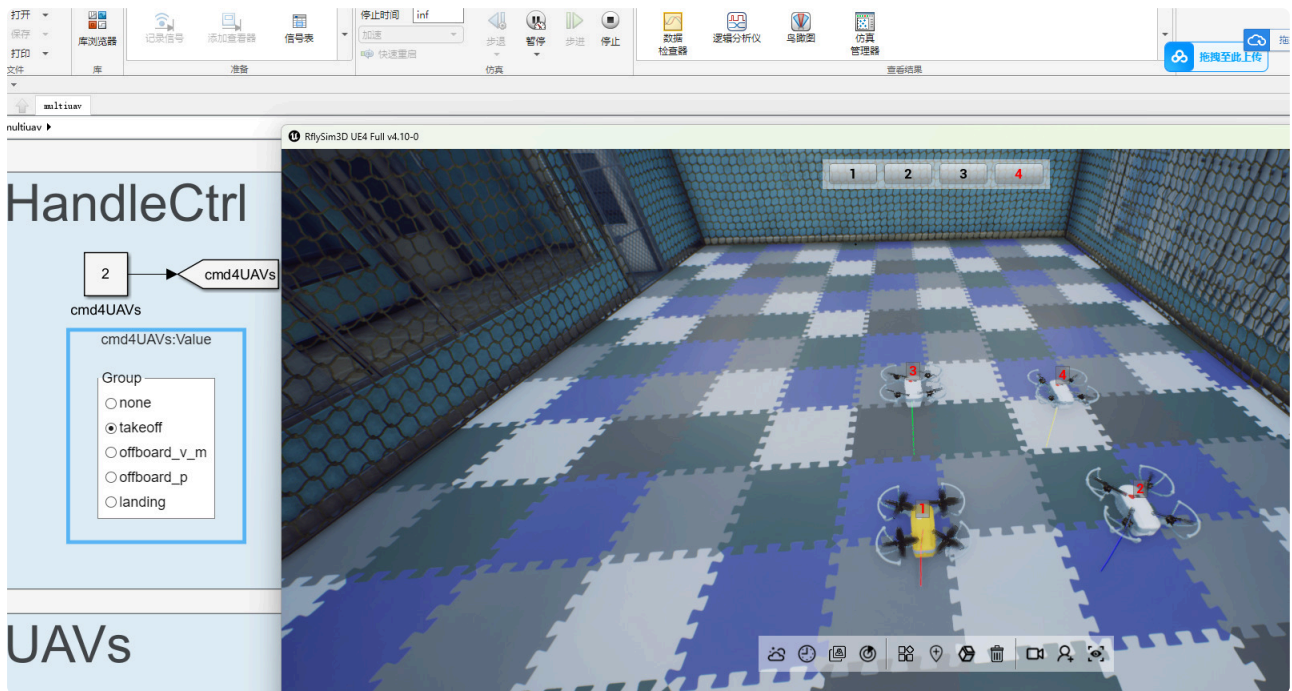
4.3 步骤3：运行Simulink控制程序

在multiuav.slx中将初始飞行模式设为none，点击"运行"，如下图



4.4 步骤4：执行起飞并切换模式完成队形变换

左侧控制按键先置于 `takeoff` 模式，无人机将自动解锁并上升到-1米高度（地面以上1米）悬停。观察CopterSim和3D可视化窗口，确认无人机稳定悬停。

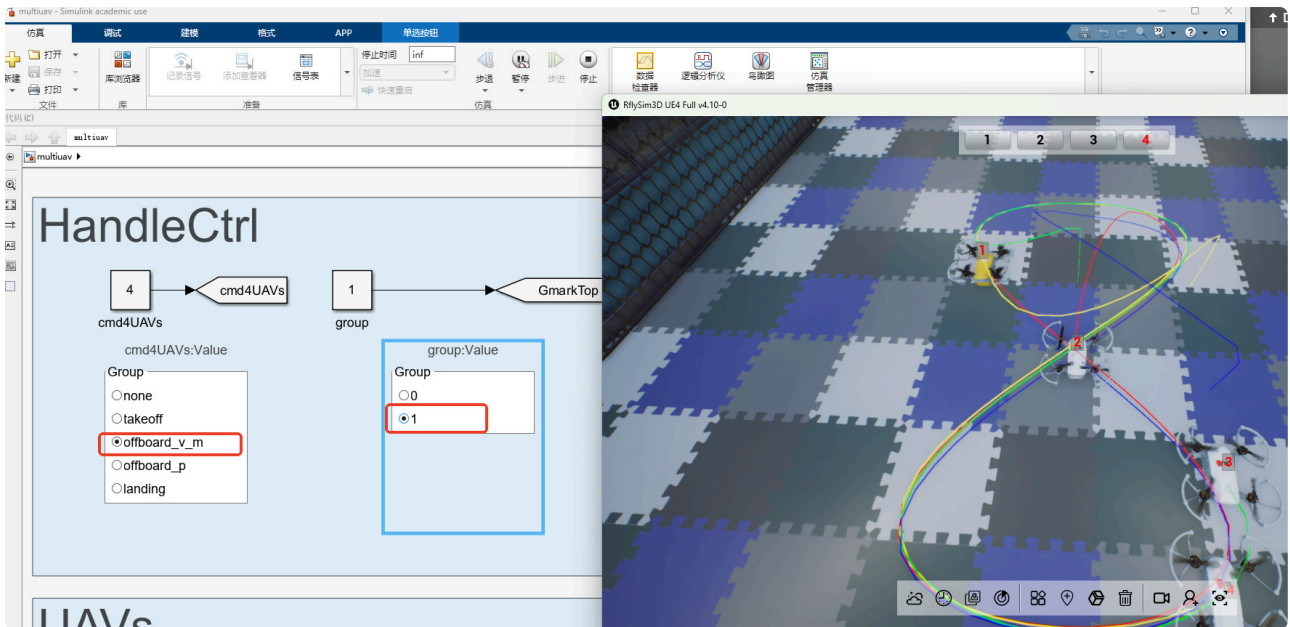


切换到Offboard模式

待无人机平稳悬停后（约3-5秒），将左侧按键切换为 `offboard_v`（速度控制）或 `offboard_p`（位置控制）模式。

保持初始位置（Gmark=0）

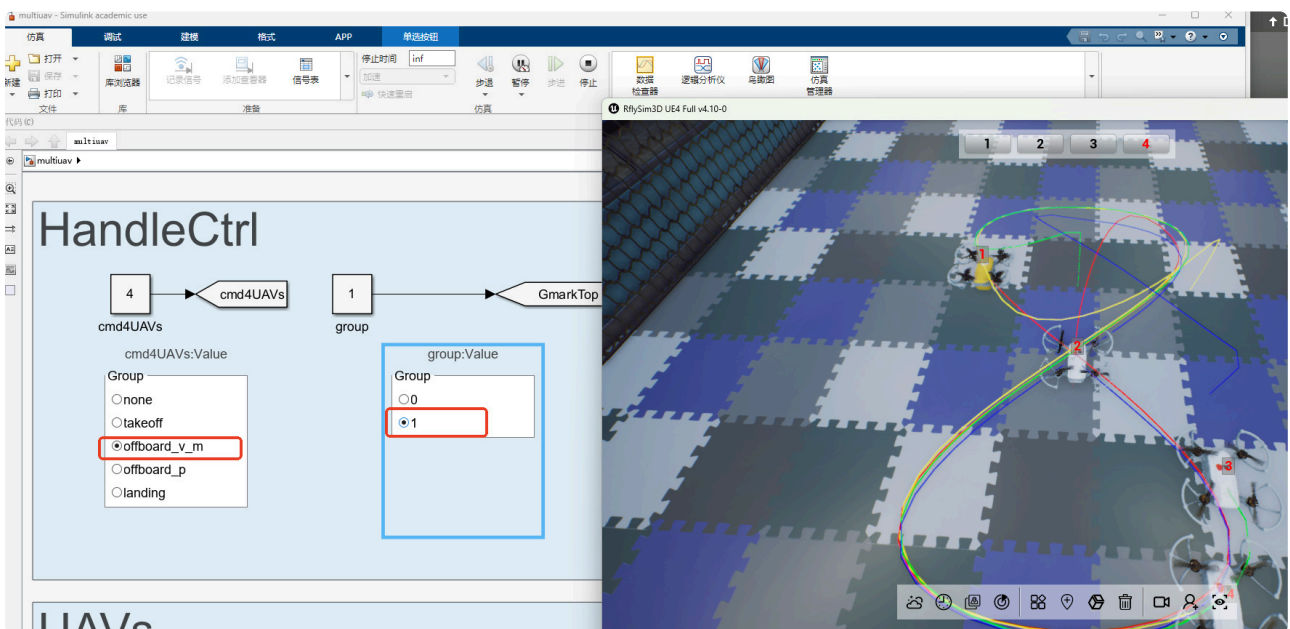
将右侧轨迹选择按键置于 `0`，此时无人机按照 `UAVTrjExpect1.m` 主函数设定保持在起飞点悬停，不执行轨迹跟踪。



执行8字形轨迹 (Gmark=1)

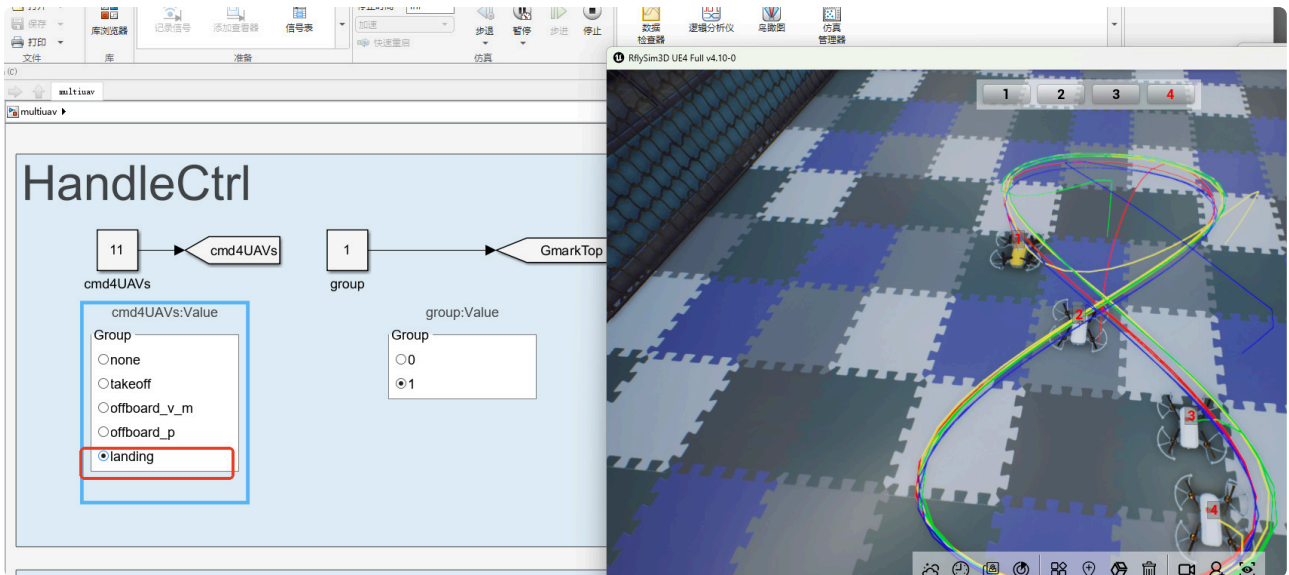
将右侧按键置于 1 时，无人机将开始执行8字形轨迹飞行：

- **轨迹启动**：系统记录当前时间作为轨迹起点，调用 `Shape8_trj.m` 函数
- **参数化运动**：X轴振幅2.5米，Y轴振幅1.45米，角频率比1:2
- **周期性飞行**：每41.9秒完成一个完整的"8"字循环
- **多机编队**：如有多架无人机，将以3.6秒相位差依次进入轨迹



降落阶段

待程序飞完预定圈数或达到实验时长后，左侧按键置于 `land` ，无人机将自动降落并锁定电机。



4.5 步骤5：硬件在环仿真（选做）

首先参考例程

[【安装目录】\RflySimAPIs\1.RflySimIntro\2.AdvExps\e9.ConfigTools\2.FeisiSwarmBox_Config](#)

完成集群控制仿真单元的配置，使用本实验目录的 [HITLRunPX4Net.bat](#) 启动硬件在环仿真环境。其余仿真步骤与4.2软件在环仿真完全一致。

5. 关键知识点

关键知识点1：核心技术原理

参见 [10.RflySimSwarm\2.AdvExps\2.1.MatCentCtrlUAVsSim\2.RflyUdpSimplePosCtrl](#)

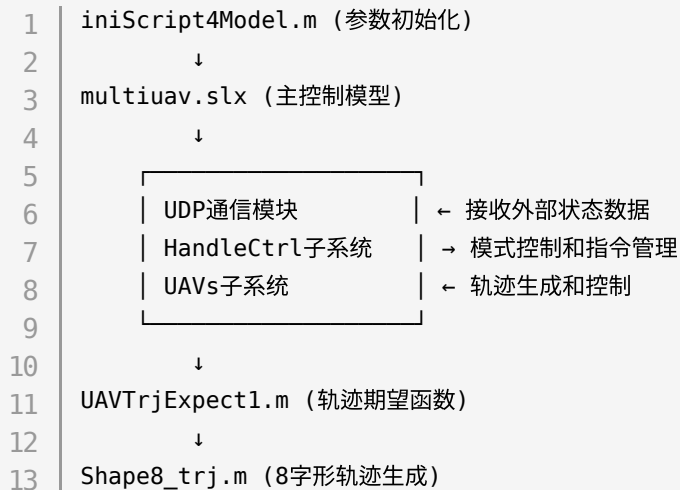
关键知识点2：核心程序架构解析

文件依赖关系

主要执行流程：

1. `iniScript4Model.m` → 初始化系统参数 → `multiuav.slx`
2. `multiuav.slx` → 调用轨迹函数 → `UAVTrjExpect1.m`
3. `UAVTrjExpect1.m` → 根据编队标志Gmark调用 → `Shape8_trj.m` (生成8字形轨迹)

数据流向图：



关键知识点3：轨迹生成算法

8字形轨迹基于利萨茹曲线的特殊情况，当两个正交方向的角频率比为1:2时形成：

$$x(t) = a \cos(\omega_1 t)$$

$$y(t) = b \sin(2\omega_1 t) = b \sin(\omega_2 t)$$

其中 $\omega_2 = 2\omega_1$ ，形成经典的横向"8"字图案。

关键知识点4：多机协调机制

通过 `phase_offset` 实现多机编队飞行，每架无人机沿相同轨迹但相位不同，形成追踪队形：

- 无人机1：相位偏移 0秒（领头）
- 无人机2：相位偏移 3.6秒
- 无人机3：相位偏移 7.2秒
- ...依此类推

6.参考资料

1. [RflySim官方文档](#)
2. [QGroundControl用户指南](#)
3. [PX4开发指南](#)

4. [Matlab/Simulink官方文档](#)
5. [MAVLink通信协议规范](#)
6. [UDP网络通信协议标准](#)
7. [室内定位系统技术规范](#)
8. 《多旋翼飞行器设计与控制》，全权，杜光勋，赵峙尧，戴训华，任锦瑞，邓恒译，电子工业出版社，2018
9. 《多旋翼飞行器设计与控制实践》，全权，戴训华，王帅，电子工业出版社，2020
10. 《多旋翼飞行器:从原理到实践》，全权，电子工业出版社，2023
11. 《无人机集群控制理论与应用》，沈林成，电子工业出版社，2021
12. 《室内定位技术与应用》，刘军发，清华大学出版社，2019
13. [RflySim多机仿真教程系列](#)
14. [Matlab/Simulink无人机控制入门](#)

7. 常见问题

Q1: RflySim软件无法启动或无人机数量设置错误

A1: 现象：双击SITLRun.bat后，软件启动失败或显示无人机数量与预期不符。原因：软件路径配置错误或批处理脚本中的路径设置不正确。解决方案：1. 检查SITLRun.bat中的软件安装路径是否正确；2. 确认CopterSim和QGroundControl软件已正确安装；3. 以管理员权限运行批处理脚本；4. 检查输入的无人机数量是否为5。预防措施：安装软件时记录安装路径，定期检查软件更新。

Q2: Matlab与RflySim通信失败

A2: 现象：Simulink模型运行后，UDP通信显示连接失败或数据传输异常。原因：IP地址设置错误、端口被占用或防火墙阻止通信。解决方案：1. 确认UDP通信地址设置为127.0.0.1（仿真模式）；2. 检查端口27000-27009是否被其他程序占用；3. 临时关闭Windows防火墙测试连接；4. 重启Matlab和RflySim软件重新建立连接。预防措施：使用专用的网络端口，避免与其他应用冲突。

Q3: 无人机起飞后位置漂移或震荡

A3: 现象：无人机起飞后无法稳定悬停，出现位置漂移或高频震荡。原因：PID参数不合适、定位系统精度不足或控制频率过低。解决方案：1. 调整iniScript4Model.m中的PID参

数（降低P参数，增加D参数）；2. 检查动捕系统的定位精度和更新频率；3. 确认控制系统运行频率为30Hz；4. 检查无人机质心与几何中心是否一致。预防措施：使用标准的PID调参方法，逐步优化控制参数。

1. <https://rflysim.com/> ↩