

# 多无人机圆形轨迹编队控制实验

## 1. 实验目的

本实验旨在通过Matlab软件，实现多无人机的圆形轨迹编队飞行控制。

## 2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链<sup>[1]</sup>；MATLAB 2022b及以上版本。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台；集群控制仿真单元1台<sup>[2]</sup>。

## 3. 实验地址

例程目录：

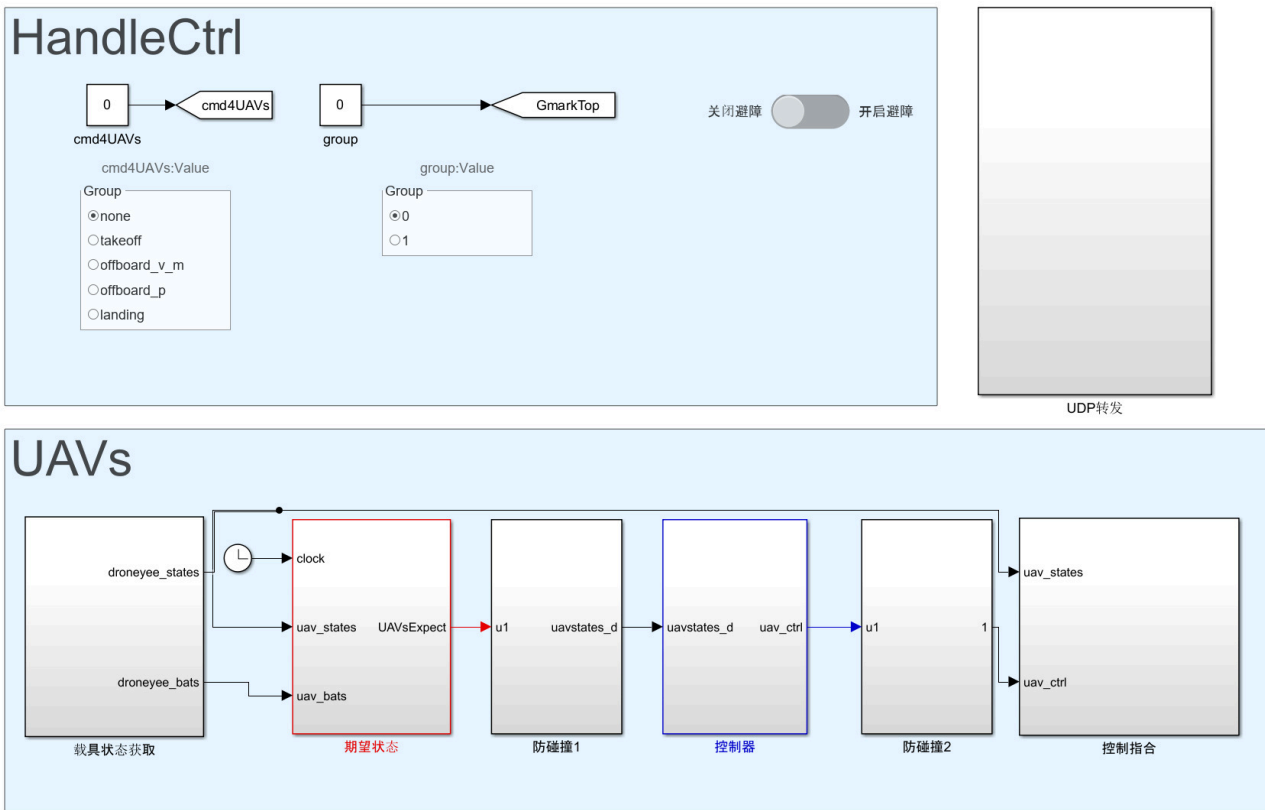
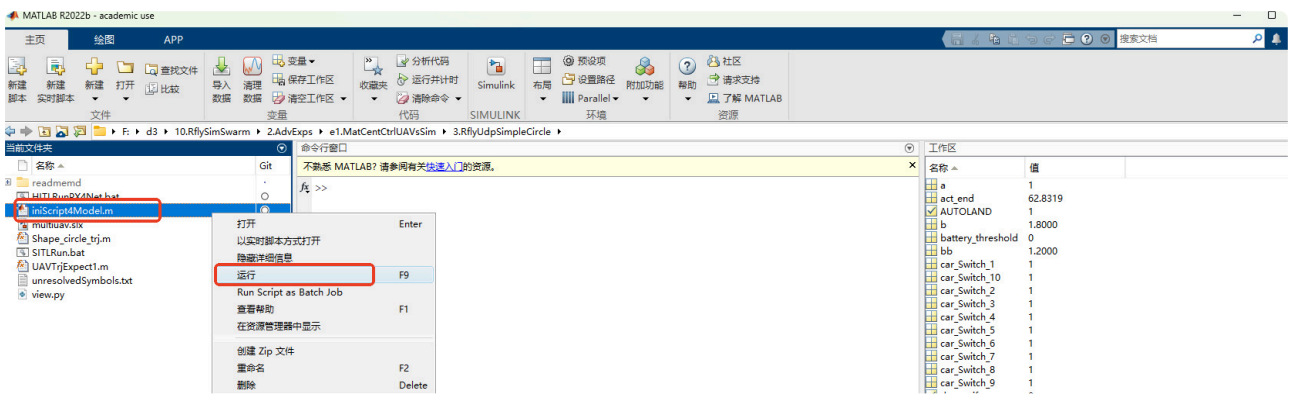
[安装目录]\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e1.MatCentCtrlUAVsSim\3.RflyUdpSimpleCircle

- ./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、仿真环境和圆形轨迹参数。
- ./UAVTrjExpect1.m：轨迹期望生成主函数，根据控制指令和飞行模式生成目标位置。
- ./Shape\_circle\_trj.m：圆形轨迹生成函数，计算多机分布式圆形编队的期望坐标。
- ./SITLRun6uavs.bat：软件在环仿真环境一键启动脚本。
- ./HITLRunPX4Net.bat：硬件在环仿真启动脚本。
- ./view.py：Python可视化脚本（可选）。
- ./unresolvedSymbols.txt：Simulink模型中未解析符号列表，用于调试参考。

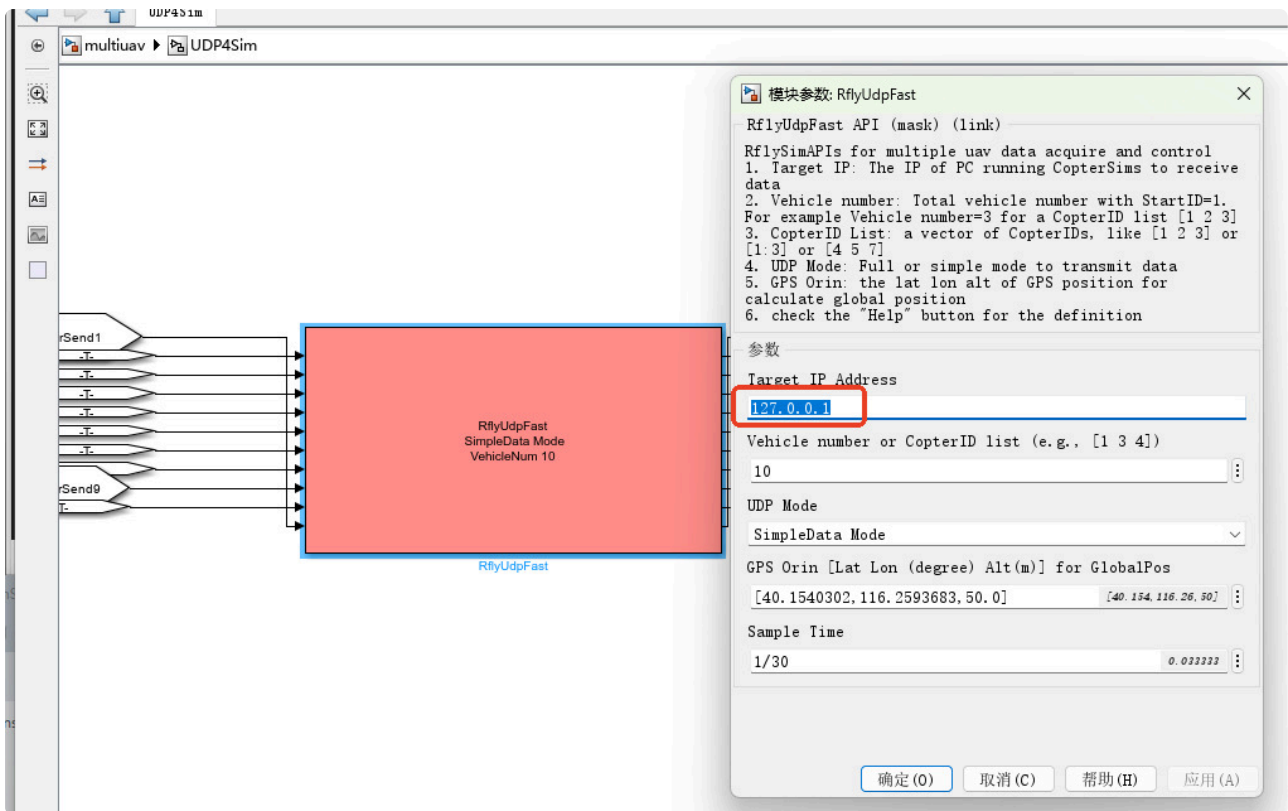
# 4. 实验内容或步骤

## 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）。

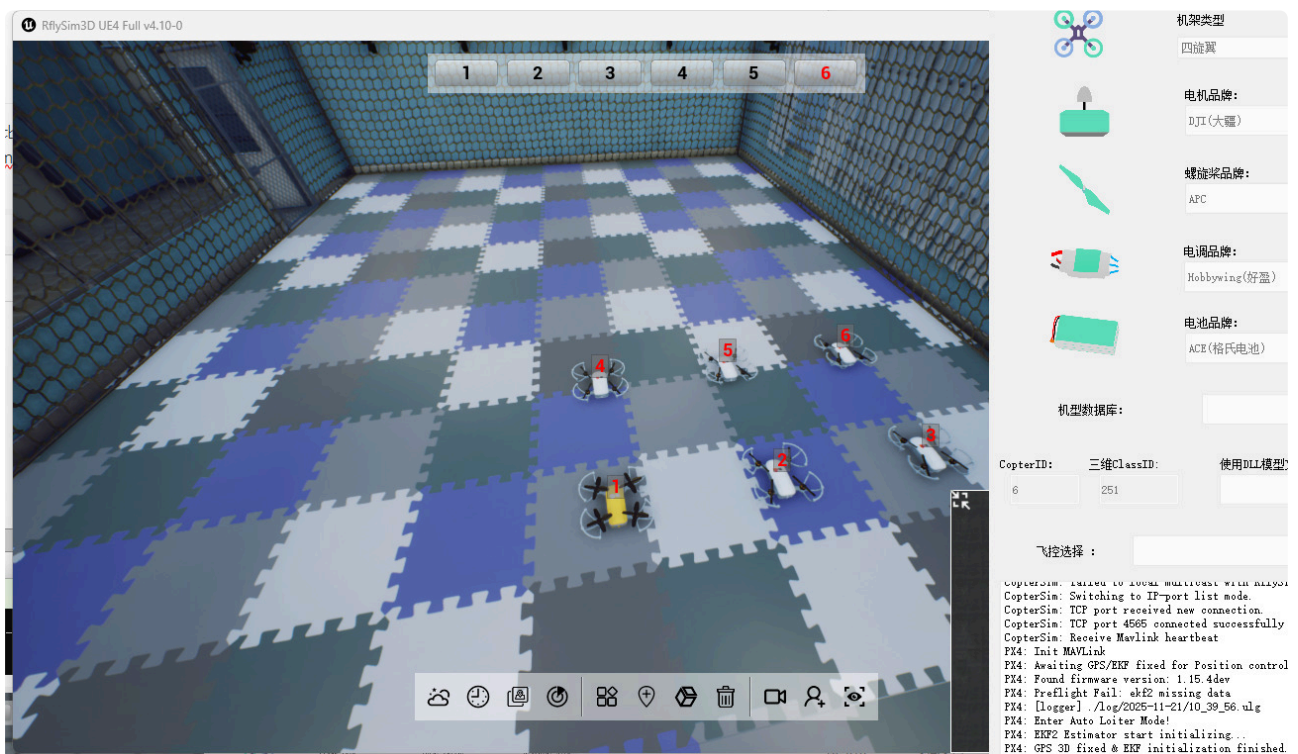


仿真实验前，点击UDP通信模块，设置UDP通信地址127.0.0.1，UDPmode设为 Simpledata，保证与bat脚本中仿真软件通信配置保持一致



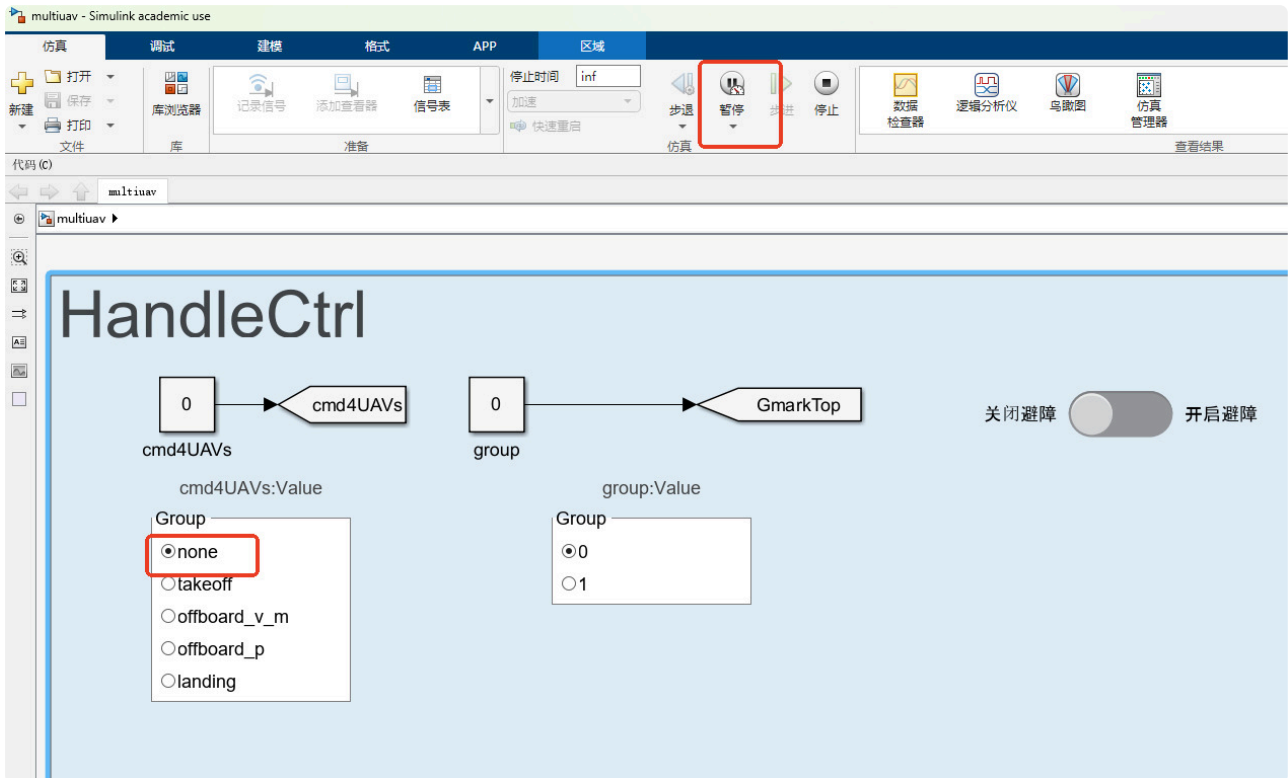
## 4.2 步骤2：启动软件在环仿真

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。



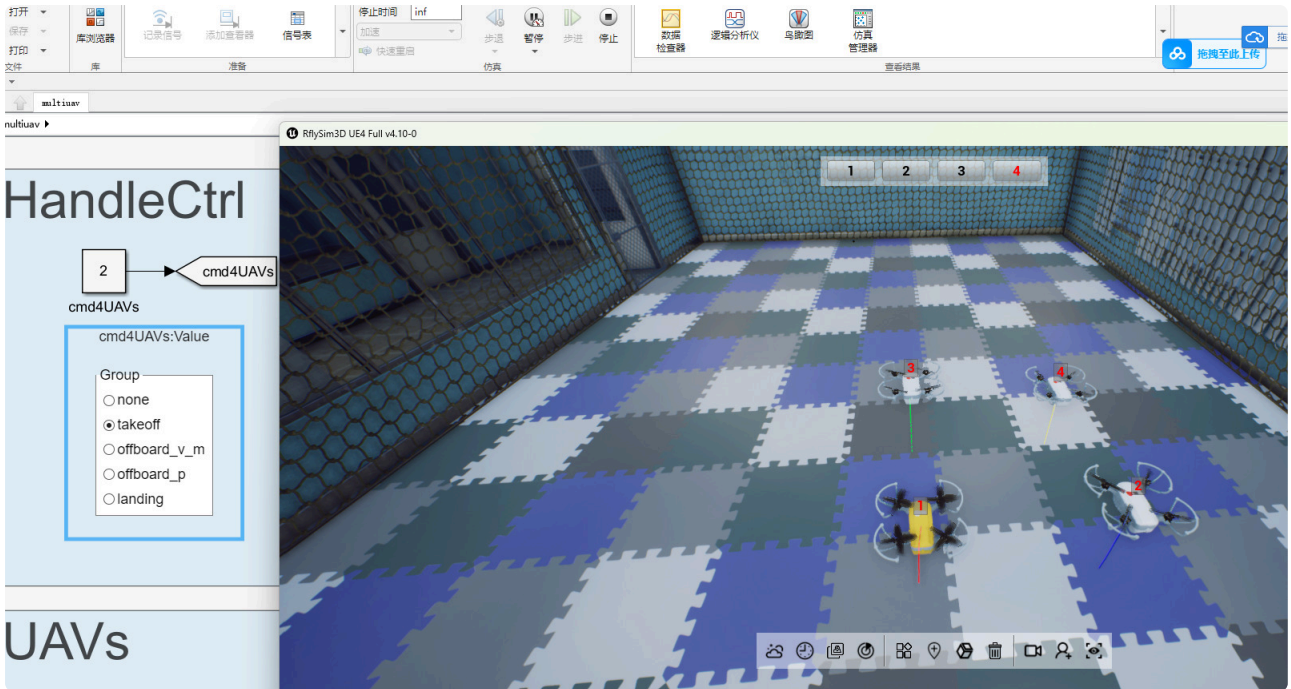
## 4.3 步骤3：运行Simulink控制程序

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

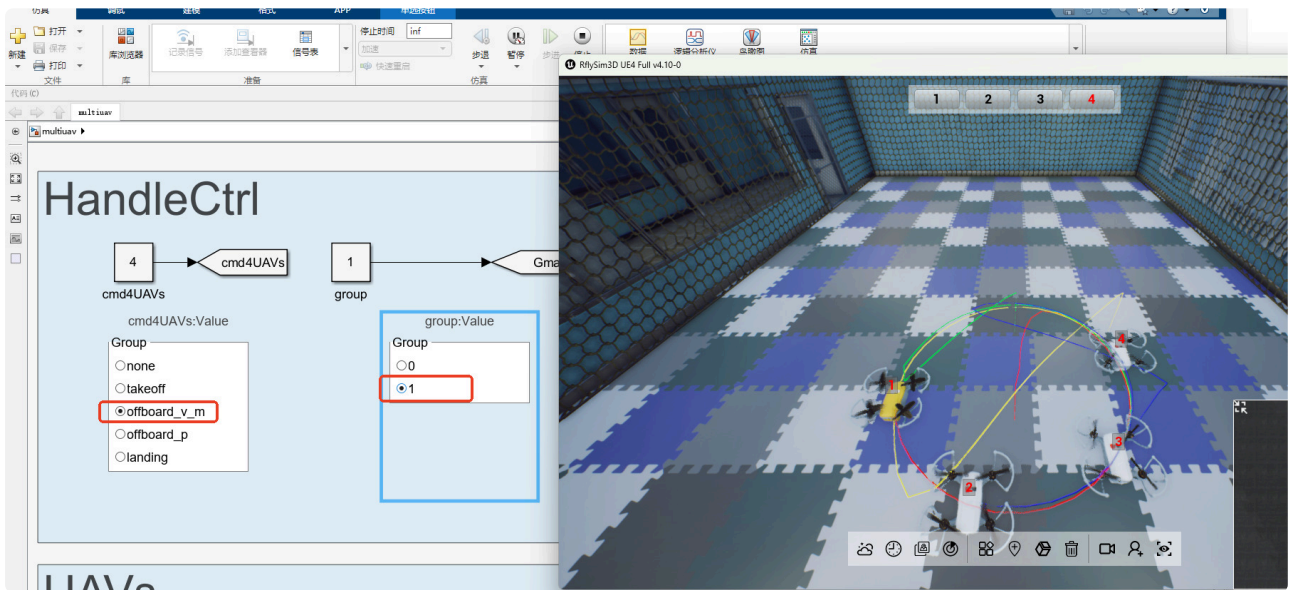


## 4.4 步骤4：执行起飞并切换模式完成圆形轨迹飞行

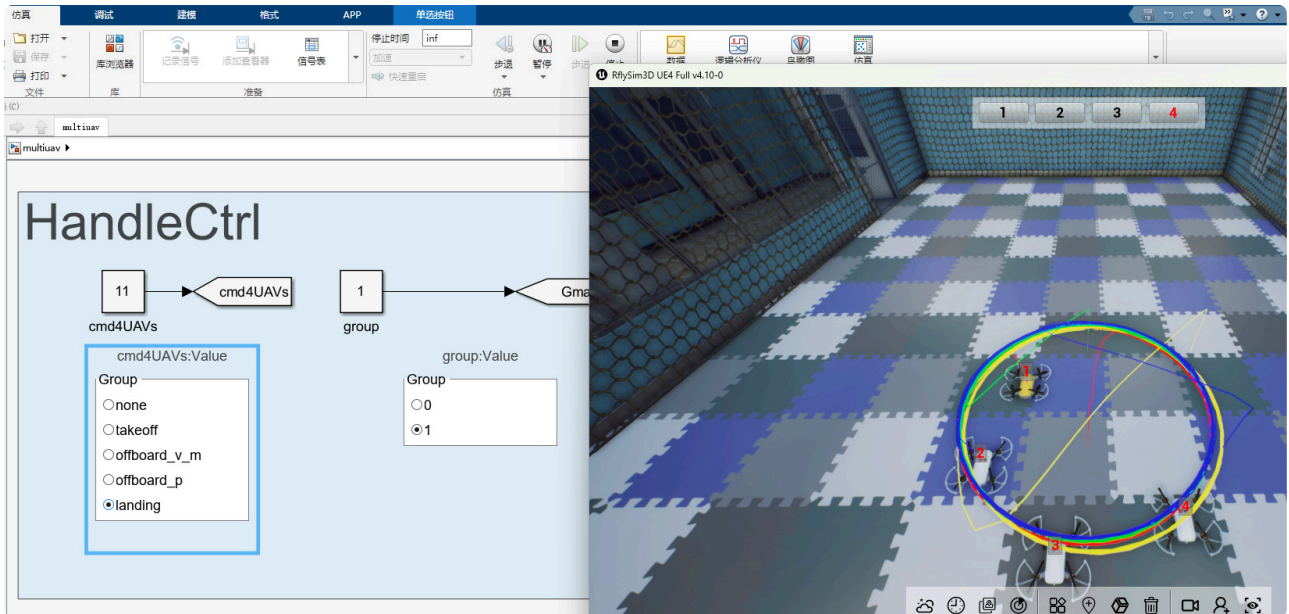
左侧按键先置于takeoff，待飞机平稳悬停后，切换为offboard\_v\_m或者offboard\_p，并且将右侧按键置于0，此时无人机按照 [UAVTrjExpect1.m](#) 的主函数设定保持在初始悬停位置。



右侧按键置于1时，无人机开始执行圆形轨迹飞行。此时会调用 [Shape\\_circle\\_trj.m](#) 文件中设置的圆形轨迹参数，多架无人机将按照各自的相位差在半径1.5米的圆形路径上飞行。



待观察完圆形轨迹飞行效果后，左侧按键置于land，无人机降落。



## 5. 关键知识点

### 关键知识点1：核心技术原理

参见 10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e1.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](#) → 根据模式标志调用 → [Shape\\_circle\\_trj.m](#)（圆形轨迹生成）

### 关键知识点3：关键技术

- Matlab工作空间管理和变量动态生成
- PID参数调优策略和稳定性分析
- 仿真环境的数值积分方法设置（固定步长1/30秒）
- 圆形轨迹的数学参数化设计

## 关键知识点4：圆形轨迹参数化设计

- 采用椭圆参数方程： $x = a \cos(\omega t)$ ,  $y = b \sin(\omega t)$
- 当  $a = b$  时，轨迹为标准圆形
- 角速度  $\omega = 0.3 \text{ rad/s}$ ，周期  $T = \frac{2\pi}{\omega} \approx 20.9 \text{ 秒}$
- 每架无人机相位差： $\Delta t = 3.6 \text{ 秒}$
- 无人机间角度差： $\Delta\theta = \omega \times \Delta t = 0.3 \times 3.6 = 1.08 \text{ rad} \approx 62^\circ$
- 6架无人机在圆周上均匀分布（每隔62度一架）

## 6.参考资料

此处编写参考资料，编写样式如下：

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: 圆形轨迹飞行时无人机发生碰撞或偏离轨迹

A3: 现象: 多架无人机在圆形轨迹飞行过程中出现碰撞、接近碰撞或偏离圆形路径。原因: 轨迹参数设置不当、相位差计算错误、PID参数不匹配或通信延迟。解决方案: 1.检查 [Shape\\_circle\\_trj.m](#) 中的圆形半径 (a、b参数), 确保足够大 (建议 $\geq 1.5$ 米); 2.验证相位差offset设置 (当前3.6秒), 增大该值可增加无人机间距; 3.调整PID参数, 提高位置跟踪精度 (特别是 $KP_x$ 和 $KP_y$ ); 4.减少无人机数量 (从6架减至3-4架) 进行测试; 5.降低飞行速度 (减小 $w_1$ 和 $w_2$ 角速度参数)。预防措施: 1.先在仿真环境中验证轨迹参数, 确保无人机间距 $\geq 0.5$ 米; 2.使用RflySim3D可视化工具观察圆形轨迹; 3.逐步增加无人机数量, 每次增加一架并验证安全性。

---

1. <https://rflysim.com/> ←

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