

# 1. 实验名称及目的

## 1.1 实验名称

车机协同实验（带偏航控制）

## 1.2 实验目的

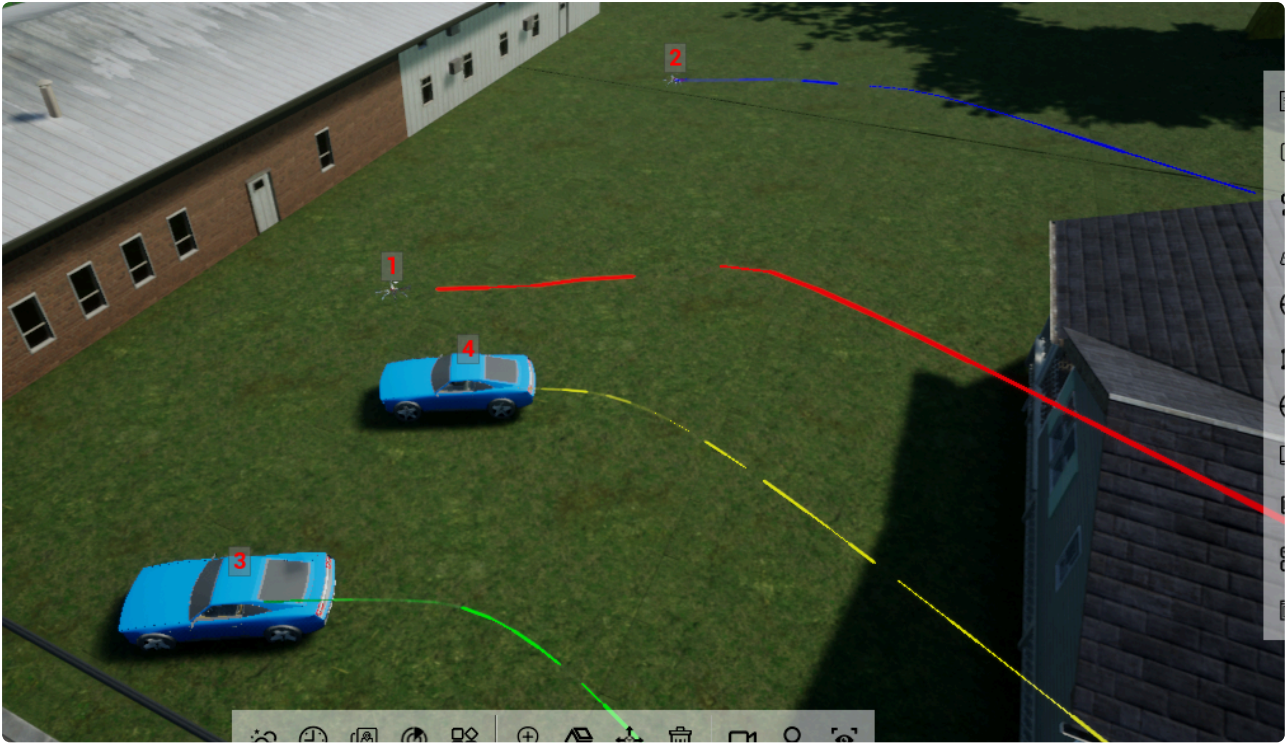
1. 掌握多智能体系统中无人机与无人车的协同控制方法。
2. 理解偏航控制的 PID 调节机制及其在目标跟踪中的应用。
3. 熟悉 PX4 飞控的 Offboard 模式及其通信接口。
4. 探索多线程编程在多载具控制中的实现方式。

## 1.3 关键知识点

- **偏航控制**：通过 PID 控制器实现无人机对目标的偏航跟踪，详见 `UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py`。
  - **多线程协同**：使用 Python 的 `threading` 模块实现无人机与无人车的并行控制。
  - **UDP 通信**：基于 PX4MavCtrl API，支持多种通信模式（UDP、串口等），详见 `PX4MavCtrlV4`。
- 

# 2. 实验效果

- **定性效果**：无人机能够实时跟踪无人车的运动轨迹，并在无人车进入圆形轨迹后保持稳定跟踪。
- **可视化**：实验效果可在 RflySim3D 中观察，示例如下：



## 3. 文件目录

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e6.Hetero\_SwarmExps\3.Car\_U  
AVCoTrakingYaw

文件名	说明
UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py	主控制程序
CarNoCtrlSITLRun.bat	无人车仿真启动脚本
MulticopterNoCtrlSITLRun.bat	无人机仿真启动脚本
MultiVehicleRunALL.bat	一键启动所有仿真脚本
Standard_Car_Blue.xml	无人车模型配置文件
Python38Run.bat	Python 环境初始化脚本

## 4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；MATLAB2022B以上版本。

①：若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4\_fmu-v6x\_default，推荐PX4固件版本为：1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见：

<https://rflsim.com/doc/zh/1/Hardware.html>

## 4.2 硬件要求

笔记本/台式电脑1台。

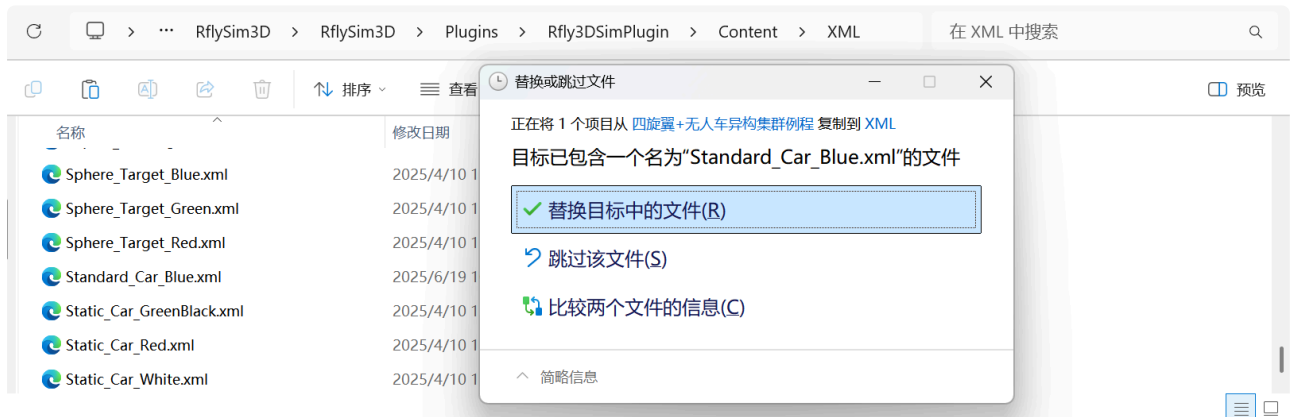
①：推荐配置请见：<https://rflsim.com/>

# 5.实验步骤

## step1替换XML文件

把Standard\_Car\_Blue.xml文件替换

到 \*\\PX4PSP\\RflySim3D\\RflySim3D\\Plugins\\Rfly3DSimPlugin\\Content\\XML 文件夹内。



## step2启动仿真

双击运行MultiVehicleRunALL.bat脚本，会自启动1个RflySim 3D，1个QGGroundControl，4个CopterSim，等待所有CopterSim信息栏出

现 PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished. 字段。

<pre> 1A7: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: GPS 3D fixed &amp; EKF initializ PX4: Enter Auto Loiter Mode! PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED </pre>	<pre> 1A7: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Failsafe mode deactivated PX4: GPS 3D fixed &amp; EKF initialization finished. PX4: Enter Position Mode! PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED </pre>	<pre> 1A7: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: GPS 3D fixed &amp; EKF initialization finish PX4: Enter Auto Loiter Mode! PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED </pre>	<pre> 1A7: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: GPS 3D fixed &amp; EKF initialization finished. PX4: Enter Auto Loiter Mode! PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED PX4: Command ID: 512 DENIED PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED </pre>
---	---	---	--

# step3启动控制程序

打开Python38Run.bat脚本输入 `python UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py` 并执行。

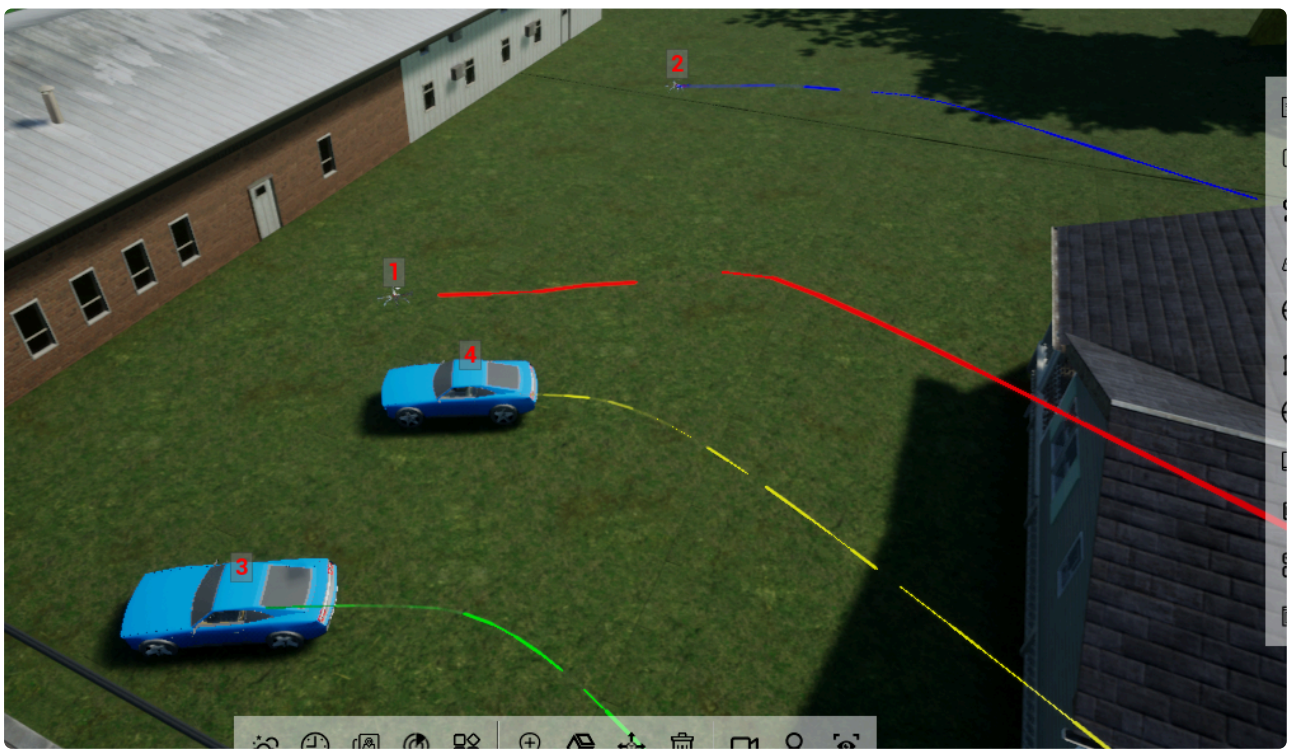
```

C:\WINDOWS\system32\cmd. x
Python3.8 environment has been set with openCV+pymavlink+numpy+pyulog etc.
You can use pip or pip3 command to install other libraries
Put Python38Run.bat into your code folder
Use the command: 'python XXX.py' to run the script with Python

F:\git\10.RflySimSwarm\2.AdvExps\e6.Hetero_SwarmExps\1.3Cars3UAVsSwarm>python UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py
0号飞机已到达指定高度
1号飞机已到达指定高度
2号飞机已到达指定高度

```

在RflySim3D查看实验效果。



---

## 7. 常见问题

### 1. Q: 运行脚本时提示“找不到 DLL 文件”

- **原因:** 未正确配置 `DLLModel` 参数。
- **解决:** 检查 `CarNoCtrlSITLRun.bat` 中的 `DLLModel` 设置, 并确保对应文件存在于 `CopterSim/external/model` 目录下。

### 2. Q: 无人机无法进入 Offboard 模式

- **原因:** 未正确初始化 PX4 飞控或未解锁。
- **解决:** 确保 PX4 飞控已完成 EKF 初始化, 并在控制程序中调用 `SendMavArm` 解锁。

### 3. Q: 仿真启动后 RflySim3D 无响应

- **原因:** 硬件性能不足或配置文件错误。
- **解决:** 降低分辨率 ( `r.setres` 命令) 或检查 `Standard_Car_Blue.xml` 配置。

---

## 6. 拓展实验

### 1. 增加载具数量

- **目的:** 验证算法在多智能体场景下的扩展性。

## 5. 实验步骤

1. 修改 `\MultiVehicleRunALL.bat` 中的 `\VehicleNum` 参数。
2. 更新控制程序以支持更多线程。

### 2. 更换控制算法

- **目的:** 探索不同控制策略对实验效果的影响。

## 5. 实验步骤

1. 替换偏航控制的 PID 参数或使用其他控制器（如 LQR）。
2. 记录并比较实验结果。

### 3. 引入动态障碍物

- 目的：测试系统在复杂环境中的鲁棒性。

## 5. 实验步骤

1. 在 RflySim3D 中添加动态障碍物。
2. 修改控制程序以实现避障功能。

## 6. 参考资料

1. [PX4 官方文档](#) - 提供 PX4 飞控的详细使用说明。
2. [RflySim 教程](#) - 包含 RflySim 工具链的安装与使用指南。
3. [Python 多线程编程](#) - 介绍 Python 的多线程模块。
4. [PID 控制器原理](#) - 讲解 PID 控制器的基本原理。
5. [无人机协同控制论文](#) - 提供相关领域的最新研究成果。