

# 车机协同追踪实验 (Two Cars Two UAVs)

## 1. 实验目的

通过四旋翼无人机与无人车的协同运动，理解多智能体系统的异构通信机制和控制逻辑。在本实验中，两辆无人车 (Car A, Car B) 将在地面上沿圆角矩形航线平稳巡航，而两架无人机 (UAV A, UAV B) 将从空中起飞，并实时自动追踪、跟随对应的无人车，且机首会实时智能对准被跟随车辆的方向。

## 2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链<sup>[1]</sup>。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑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\8.UAVCarCameraRoom](#)

核心文件说明：

- `twocartwouav.py`：实现车机协同追踪的核心 Python 脚本，包含了无人车航点追踪、无人机实时跟随、高度控制、偏航对准及多机防碰撞控制。
- `UDPSimpleMultiVehicleSwarm.py`：依赖的底层通信模块，用于与多个 MAVLink 载具建立通信和状态同步。

## 4. 实验步骤

### 4.1 步骤1：启动仿真环境

双击运行 `SITLRun.bat` (或对应的多机启动脚本) 文件，等待包含 4 个载具 (2辆车、2架无人机) 的仿真环境初始化完成。脚本将会启动 QGC 地面站、多个 CopterSim 以及 RflySim3D 软件环境。

等待所有 CopterSim 软件下侧日志栏必须打印出

```
GPS 3D fixed & EKF initialization finished
```

 字样，代表初始化完成。

### 4.2 步骤2：运行控制脚本

打开包含当前实验目录的命令提示符 (CMD) 或终端，输入并执行以下命令：

```
1 | python twocartwouav.py
```

### 4.3 步骤3：观察实验效果

在 RflySim3D 以及 QGroundControl 中观察实验现象：

- 起飞与寻迹：**脚本运行后，两辆车将进入 Offboard 模式并开始沿相反方向的圆角矩形规划路径前进。两架无人机将在稍后自动起飞，进入悬停高度。
- 实时跟随：**无人机起飞后，立刻开始全自动跟踪其配对的无人车 (UAV A -> Car A; UAV B -> Car B)。
- 结束任务：**当无人车完成 3 圈 (`MAX_LAPS`) 巡航后，会平稳刹停。此时，所有的无人机也会得知任务完成，自动飞回初始起飞点 (Home 点) 并降落。

## 5. 关键知识点

### 关键知识点1：异构实体（车机）多线程解耦控制

在本例程中，地面车辆和无人机是异构实体。地面车通过 `CarController` 闭环计算直线及定点 (P+限幅) 控制获取期望的 `vx,vy`；无人机则通过 `UAVController` 将自己原本的独立航点目标设定为了被跟踪车辆的实时 XYZ 坐标。二者分别在独立线程

`ctrl_car_thread` 和 `ctrl_uav_thread` 中以 30Hz 高频向飞控发送底层连续速率指令，实现了控制逻辑的高效解耦。

## 关键知识点2：无人机视觉方向（偏航角）的实时计算

为了模拟“机载相机时刻注视目标”，我们需要将无人机的偏航角（Yaw）自动对准车辆：

```
1 # 计算无人机与目标车之差（NED系）
2 dN = car_pos[0] - x
3 dE = car_pos[1] - y
4 # 只要距离目标还有一段距离，就计算期望偏航角
5 if norm2(dN, dE) > 0.1:
6     yaw_des = math.atan2(dE, dN) # NED: atan2(East, North)
7 # 将期望 yaw 送入 PI 控制器平滑控制机首旋转
```

这种算法能在追击过程中保持极佳的视角稳定性。

## 关键知识点3：定点与刹车降落状态机机制

传统跟随算法常发散或在终点打转，该例程使用**死区过滤**解决了原地打转问题。当车辆距离其最终目标点小于 0.5m 且到达规定圈数后，代码切断所有 P 控制残留误差并强制令命令输出 0，从而达成完全停止：

```
1 if a < 0.5:
2     return 0.0, 0.0 # 死区刹停
```

同时，一旦小车停下，无人机端会通过全局标志同步机制获得 `all_finish`，最终切换命令 `zd=0.1` 完成柔性降落。

## 6. 参考资料

1. [RflySim官方入门与进阶教程](#)
2. `[RflySim安装路径]\RflySimAPIs\RflySimSDK\ctrl\PX4MavCtrlV4.py` 内含最底层 MAVLink UDP 接口逻辑源码。

## 7. 常见问题

### Q1: 仿真启动后运行脚本，提示“无人机无法 Arm”或起飞失败？

A1: 多机仿真中，启动顺序非常重要。请务必确认 CopterSim 已经输出 `GPS 3D fixed & EKF initialization finished`，或者确认代码一开始预留的 `time.sleep(2)` 等待连通握手的时间足够。若网络有延迟，可在 `MavList[i].InitMavLoop()` 之后适当延长等待时长。

### Q2: 无人车在轨迹终点或拐角处原地打转不停？

A2: 这是由于 P 控制器存在超调，或者误差无法绝对清零导致的积分累加。可留意代码中 `_point_control` 下的死区（`a < 0.5` 米处输出零速度）是否被破坏；若是拐角处打散，可检查是否误将圆弧追踪的高速前馈命令在拐角时执行。本例已默认对所有的路段启用了点追踪防过冲保护。

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