

基于规则策略的5v5无人机区域防守系统

1. 实验目的

本实验旨在通过一个简化的5v5无人机区域防守对抗系统，帮助用户理解和掌握无人机集群控制的基本原理和实现方法。具体目标包括：

1. 学习基于规则策略的无人机行为决策机制；
2. 理解无人机集群对抗系统的整体架构和各模块之间的协作关系；
3. 掌握使用RflySim进行无人机仿真的基本操作；
4. 实践无人机控制算法的设计与实现；
5. 熟悉多无人机系统的协调控制和状态管理；
6. 为进一步研究更复杂的无人机集群智能对抗算法打下基础。

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\10.RflySimSwarm\3.CustExps\3.AI SwarmCtrlExp\4.MultiUAV RFSimple](#)

文件目录结构说明：

```
1 | └─ CopySceInstallPyLib.bat          # 模型文件复制脚本
2 | └─ Python38Run.bat                # RflySim Python运行脚本
3 | └─ README.md                      # 项目根目录说明文档
4 | └─ Start_5v5.bat                 # 启动5v5仿真环境脚本
5 | └─ attacker_strategy.py           # 攻击方策略实现
6 | └─ config.py                     # 系统配置文件
7 | └─ defender_strategy.py           # 防守方策略实现
8 | └─ main.py                        # 主程序入口
9 | └─ rflysim_interface.py           # RflySim接口实现
10 | └─ scenario_controller.py         # 场景控制器
11 | └─ simulation_env.py              # 仿真环境实现
12 | └─ strategy_adapter.py           # 策略适配器
13 | └─ uav_entity.py                 # 无人机实体定义
```

4. 实验内容或步骤

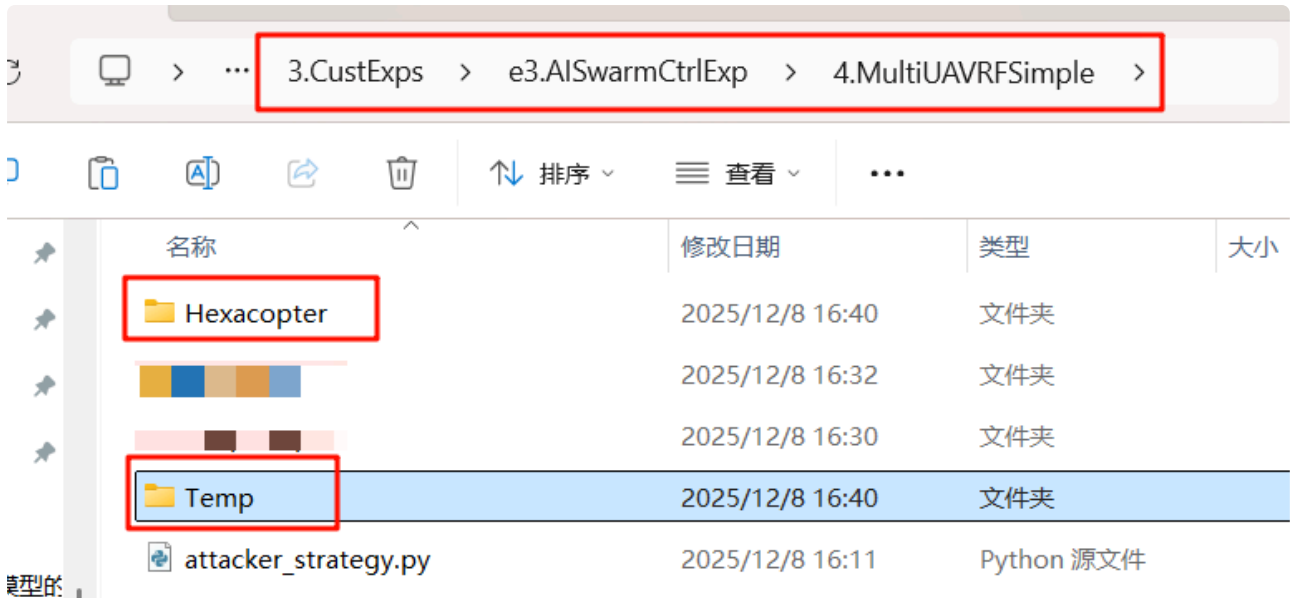
4.1 下载模型文件

为了保证RflySim平台安装包的大小，本实验中所用到的三维飞机模型等较大文件均已上传至百度网盘中，可通过：

<https://pan.baidu.com/s/1ou9VgGSs4U7vCdJ4-jEY5A?pwd=whaf> 提取码: whaf 下载。



解压得到2个文件夹，如下图所示放入本例程文件夹中。



注：请勿修改文件夹名称。

4.2 初始配置

双击运行CopySceInstallPyLib.bat文件，该文件运行过程中会将文件夹Hexacopter和Temp模型文件复制到RflySim3D对应的路径下。

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTile_Strip_03_Soft_N_TILE.uexp
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTile_Strip_03_TILE.uasset
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTile_Strip_03_TILE.ubulk
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTile_Strip_03_TILE.uexp
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTrailCoord1_Mask.uasset
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTrailCoord1_Mask.ubulk
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_SmokeTrailCoord1_Mask.uexp
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smoke_Trail.uasset
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smoke_Trail.ubulk
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smoke_Trail.uexp
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smooth_tile.uasset
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smooth_tile.ubulk
.\Hexacopter\VFX\explode2\VFX\Texture\T_Smooth_tile.uexp
复制了 755 个文件
successfully copy "E:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Content"\Hexacopter
find file ".\Temp"
子目录或文件 E:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Content\Temp 已经存在。
.\Temp\BP_Sphere.uasset
.\Temp\BP_Sphere.uexp
.\Temp\M_Box.uasset
.\Temp\M_Box.uexp
.\Temp\Sphere.uasset
.\Temp\Sphere.uexp
.\Temp\Sphere.xml
复制了 7 个文件
successfully copy "E:\PX4PSP\RflySim3D\RflySim3D\Content"\Temp
=====
文件复制操作完成！
按任意键继续..
```

注：本步骤只需在RflySim首次运行本例程时进行（重新安装后，需再次运行），后续运行本实验可跳过本步骤。

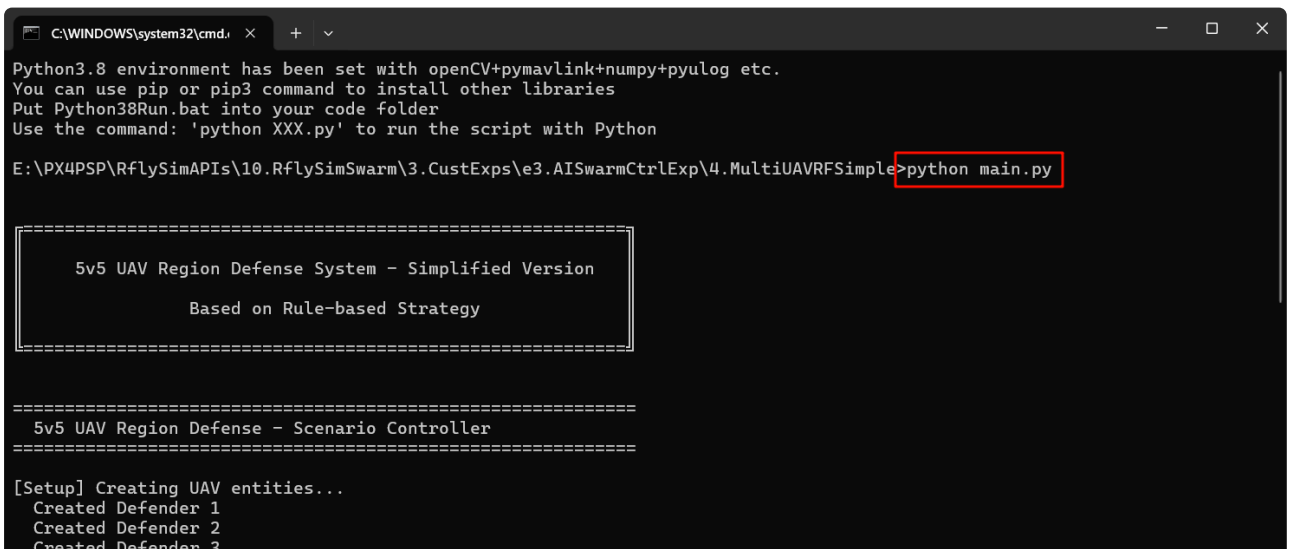
4.3 初始化仿真

双击运行 `Start_5v5.bat` 文件，等待仿真环境初始化完成。脚本将会启动 1 个 QGC 地面站，10 个 CopterSim、1 个 RflySim3D 软件，等待10 个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。如下图所示：



4.4 启动仿真

双击运行 `Python38Run.bat` 文件，在弹出的对话框中输入：`python main.py`，按下回车键即可启动仿真，该对话框中将打印出运行日志及飞机博弈对抗结果。



在RflySim3D的软件中，按下 **N** 键用鼠标调整视图角度，按下 **S** 键显示飞机编号(其中1~5号为进攻方<蓝方>、6~10号为防守方<红方>)，便于观察仿真效果。



最终攻击结果显示：

```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Defender 4 landing at (120.6, 1.7)
Defender 5 landing at (111.3, 103.8)

[Landing] Waiting for landing to complete (10 seconds)...
[Landing] All defenders landed

=====
Final Statistics
=====

Total time: 17.7s
Total steps: 90
Attackers (1-5): 5/5 alive, 0 destroyed
Targets (6-10): 0/5 alive, 5 destroyed
Result: MISSION SUCCESS (All targets destroyed)

=====

[Shutdown] Closing scenario...
[RflySim] Shutting down...
[RflySim] Shutdown complete
[Shutdown] Scenario closed

[Main] Program finished

E:\PX4PSP\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\3.CustExps\3.AISwarmCtrlExp\4.MultiUAVRFSimple>
```

5. 关键知识点

核心模块说明

1. config.py - 配置管理

集中管理所有参数，便于调整：

```
1 # 无人机数量
2 NUM_DEFENDERS = 5
3 NUM_ATTACKERS = 5
4
5 # 性能参数
6 DEFENDER_MAX_SPEED = 15.0 # m/s
7 ATTACKER_MAX_SPEED = 12.0 # m/s
8
9 # 场景参数
10 TARGET_RADIUS = 50.0 # 目标半径
11 SHOOT_DISTANCE = 100.0 # 射程距离
12 LOCK_FRAMES = 10 # 锁定帧数
```

2. uav_entity.py - 无人机实体

定义无人机的状态和属性：

```

1 | class DefenderUAV:
2 |     - 状态：位置、速度、姿态
3 |     - 威胁评估：计算威胁分数
4 |     - 锁定机制：跟踪锁定目标
5 |
6 | class AttackerUAV:
7 |     - 状态：位置、速度、姿态
8 |     - 目标：攻击目标位置
9 |     - 策略参数：动态策略、偏置向量

```

3. defender_strategy.py - 防守策略

基于规则的防守算法：

```

1 | 策略逻辑：
2 | 1. 无威胁 → 巡逻（围绕目标区域）
3 | 2. 有威胁 → 拦截（移动到拦截位置）
4 | 3. 进入射程 → 锁定（累积锁定帧数）
5 | 4. 锁定足够 → 射击（80%命中率）

```

关键函数：

- `_patrol_action()` : 巡逻动作
- `_intercept_action()` : 拦截动作
- `_avoid_collision()` : 避免碰撞
- `check_lock_and_shoot()` : 锁定和射击

4. attacker_strategy.py - 攻击策略

基于人工势场法的攻击算法：

```

1 | 势场组成：
2 | 1. 友军排斥场：避免与友军碰撞
3 | 2. 敌军排斥场：规避防守者
4 | 3. 目标吸引场：吸引向目标
5 | 4. 高度修正场：保持安全高度

```

关键函数：

- `_friend_repulsion()` : 友军排斥
- `_enemy_repulsion()` : 敌军排斥
- `_target_attraction()` : 目标吸引
- `_altitude_correction()` : 高度修正

5. rflysim_interface.py - RflySim接口

封装与RflySim的通信：

```
1 功能：  
2  - 初始化MAVLink控制器  
3  - 发送速度/位置指令  
4  - 获取无人机状态  
5  - 关闭连接
```

6. scenario_controller.py - 场景控制器

管理整个场景的运行：

```
1 主循环：  
2  1. 更新状态（从RflySim获取）  
3  2. 生成指令（调用策略）  
4  3. 检查碰撞（目标突破）  
5  4. 检查射击（锁定击落）  
6  5. 判断终止（胜负条件）
```

参数调整指南

调整无人机数量

编辑 `config.py`：

```
1 NUM_DEFENDERS = 3 # 改为3v3  
2 NUM_ATTACKERS = 3
```

注意：需要同步修改 `Start_5v5.bat` 中的位置配置

调整性能参数

```
1 # 提高防守方速度
2 DEFENDER_MAX_SPEED = 20.0 # 原15.0
3
4 # 增加射程距离
5 SHOOT_DISTANCE = 150.0 # 原100.0
6
7 # 降低锁定要求
8 LOCK_FRAMES = 5 # 原10
```

调整策略参数

```
1 # 防守策略
2 INTERCEPT_DISTANCE = 300.0 # 拦截距离 (原200.0)
3 PATROL_RADIUS = 150.0 # 巡逻半径 (原100.0)
4
5 # 攻击策略
6 ATTACK_WEIGHT_TARGET = 3.0 # 目标吸引权重 (原2.0)
```

调试技巧

1. 启用调试模式

在 `config.py` 中：

```
1 DEBUG_MODE = True
2 PRINT_INTERVAL = 10 # 每10帧打印一次
```

2. 查看实时状态

运行时会打印：

```
1 [Step 20] Time: 1.0s
2 Defenders: 5/5 alive
3 Attackers: 5/5 alive
4 Highest threat: Attacker 6 (distance: 85.3m, score: 0.142)
```

3. 单独测试模块

```
1 # 测试防守策略
2 from defender_strategy import DefenderStrategy
3 strategy = DefenderStrategy()
4
5 # 测试RflySim接口
6 from rflysim_interface import RflySimInterface
7 rfly = RflySimInterface()
```

6. 参考资料

1. RflySim官方文档: <https://rflysim.com/doc/zh/>
2. PX4官方文档: <https://docs.px4.io/main/zh/>
3. MAVLink协议文档: <https://mavlink.io/en/>
4. Multi-Agent Reinforcement Learning: A Selective Overview of Theories and Algorithms: <https://arxiv.org/abs/1810.05587>
5. Cooperative Control of Multi-Agent Systems: Theory and Applications: <https://ieeexplore.ieee.org/book/6209547>
6. 无人机集群智能研究综述:《航空学报》2022年第43卷第1期
7. Artificial Potential Functions for Path Following and Collision Avoidance: <https://ieeexplore.ieee.org/document/540073>
8. RflySim: A Scalable Platform for Safety-Critical AI Research: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9569873>

7. 常见问题

Q1: 程序启动后无人机不动?

A: 检查是否已运行 `Start_5v5.bat` 并等待无人机起飞稳定

Q2: 报错 "Cannot import PX4MavCtrlV4"?

A: 确保在 `SimpleExp` 目录下运行, 该目录包含 `PX4MavCtrlV4.py`

Q3: 无人机飞行不稳定?

A: 调整控制参数:

```
1 | CONTROL_DT = 0.1 # 降低控制频率  
2 | DEFENDER_MAX_SPEED = 10.0 # 降低速度
```

Q4: 如何修改初始位置?

A: 编辑 `config.py` 中的:

```
1 | DEFENDERS_START_POS = [...]  
2 | ATTACKERS_START_POS = [...]
```

Q5: 如何停止程序?

A: 按 `Ctrl+C` 优雅退出, 程序会自动关闭所有连接

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