



智能无人集群系统开发与实践

基于RflySim工具链的全栈开发案例

第10讲 集群控制算法开发



大纲

1. 实验平台配置

2. 关键接口介绍

3. 基础实验案例（免费版）

4. 进阶接口实验（个人版）

5. 进阶案例实验（集合版）

6. 扩展案例（完整版）

7. 小结



1.安装方法

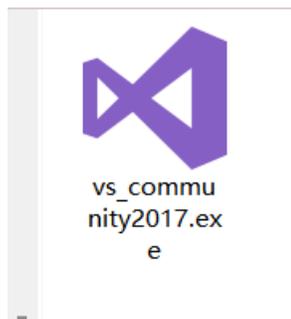
- 1.1 需要安装的组件
- • Visual Studio 2017（体验版和完整版都需要安装）
- • 为MATLAB配置C++ 编译器（体验版和完整版都需要安装）
- • Matlab 2023a*（高级完整版安装）

下面介绍Visual Studio 2017的安装方法（需要联网）：在本平台中，已经放置了Visual Studio 2017的安装包



1. 安装方法

- 1.2 Visual Studio 2017的安装方法
- 首先，我们可以打开平台安装的位置，找到*:\PX4PSP\RflySimAPIs此处位置，此处放置的是平台中的一些例程以及软件的安装包
- 之后，我们可以打开第四章的内容，找到基础版的例程，4.RflySimModel\1.BasicExps，我们可以在其中找到名为VS2017Installer的文件夹，其中便是Visual Studio 2017的安装包。



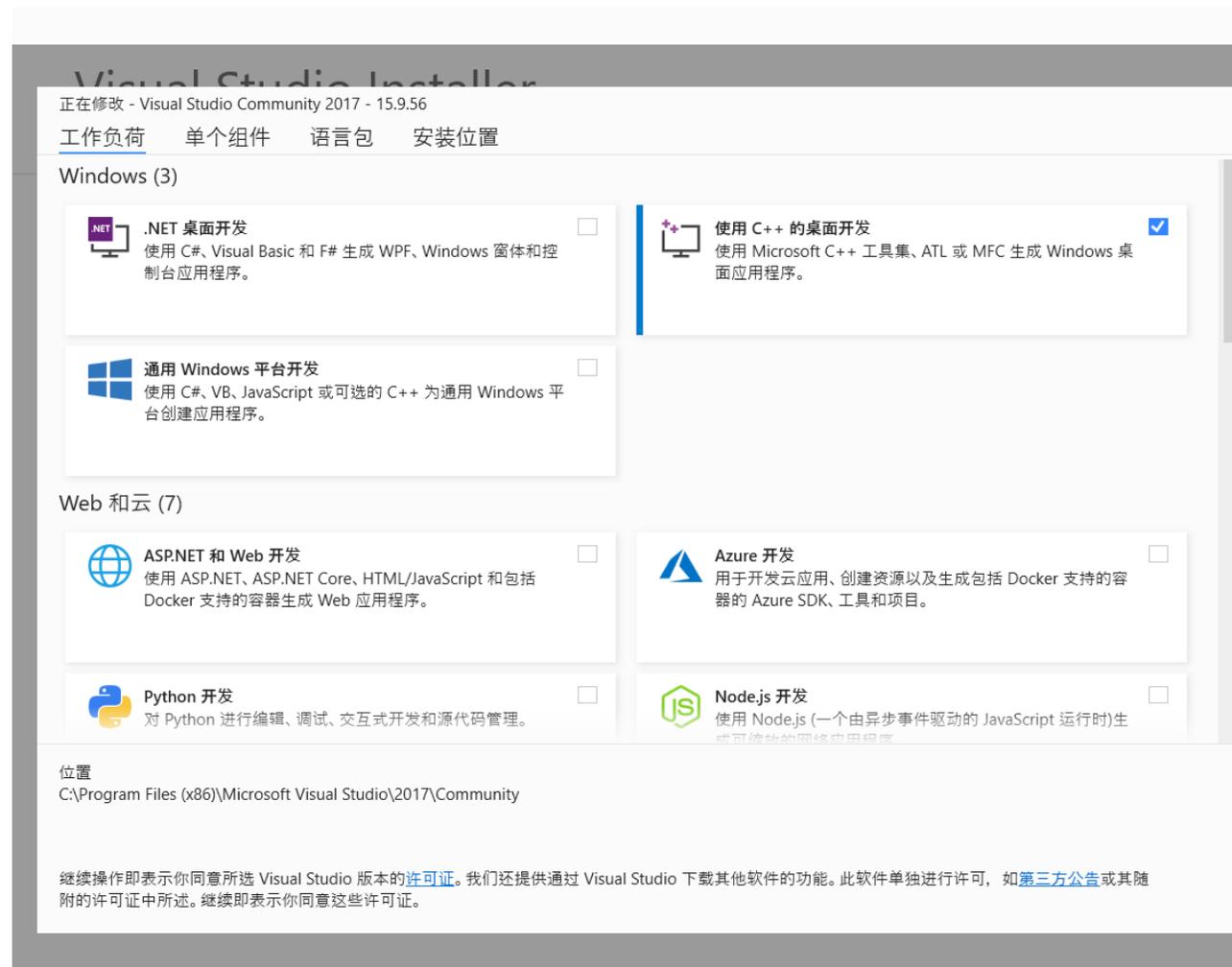
在线安装步骤（需联网）如下：[Visual Studio 较旧的下载 - 2019、2017、2015 和以前的版本 \(microsoft.com\)](#)



1. 安装方法

1.2 Visual Studio 2017的安装方法

- 安装 Visual Studio 2017 (也可以用其他版本, MATLAB能识别即可)。
- 后续课程很多地方都需要用到 Visual Studio 编译器, 例如 MATLAB S-Function Builder 模块的使用、Simulink 自动生成 C/C++ 模型代码等
- 本课程内容只需勾选右图的“C++的桌面开发”即可。





1. 安装方法

- 1.2 Visual Studio 2017的安装方法
- 注意：高版本MATLAB也可安装VS2019，但是MATLAB只能识别到低于自己版本的Visual Studio，因此MATLAB 2017b无法识别VS 2019。
- 注意：请不要更改VS默认安装目录（例如装到D盘），会导致MATLAB无法识别。
- 不能使用Mingw编译器，需VS



1. 安装方法

• 1.3 为MATLAB 配置C++ 编译器

- 在MATLAB的命令行窗口中输入指令“mex - setup”
- 一般来说会自动识别并安装上VS 2017编译器，如右图所示显示“MEX 配置使用‘Microsoft Visual C++ 2017’以进行编译”说明安装正确
- 若有其他编译器，本页面还可以切换选择 VS 2013/2015等其他编译器

```
命令行窗口
>> mex -setup
MEX 配置为使用 'Microsoft Visual C++ 2017 (C)' 以进行 c 语言编译。
警告: MATLAB C 和 Fortran API 已更改, 现可支持
包含 2^32-1 个以上元素的 MATLAB 变量。您需要
更新代码以利用新的 API。
您可以在以下网址找到更多的相关信息:
http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab\_external/upgrading-mex-files-to-use-64-bit

要选择不同的 c 编译器, 请从以下选项中选择一种命令:
Microsoft Visual C++ 2013 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2013.xml C
Microsoft Visual C++ 2015 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2015.xml C
Microsoft Visual C++ 2017 (C) mex -setup:C:\Users\dream\AppData\Roaming\MathWorks\MATLAB\R2

要选择不同的语言, 请从以下选项中选择一种命令:
mex -setup C++
mex -setup FORTRAN
fx >>
```



1. 安装方法

- 1.4 Matlab 2023a的安装方法
- MATLAB 安装包下载路径:
- <https://ww2.mathworks.cn/products/matlab.html>



大纲

1. 实验平台配置

2. 关键接口介绍

3. 基础实验案例（免费版）

4. 进阶接口实验（个人版）

5. 进阶案例实验（集合版）

6. 扩展案例（完整版）

7. 小结



2. 关键接口介绍

- 2.0 基础实验总览

包括基础功能接口

“RflySimAPIs/10.RflySimSwarm\0.ApiExps”
以及基础例程“RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\1.BasicExps”

详细参见[API.pdf](#)以及[Readme.pdf](#)

1.SwarmLogGet	2023/12/13 15:04	文件夹
2.MatRflySwarmAPIPack	2023/12/13 15:04	文件夹
3.EXEFileGener	2023/12/21 11:19	文件夹
4.RebootPixViaUDP	2023/12/13 15:04	文件夹
5.GetTerrainAPI	2023/12/13 15:04	文件夹
6.DataAnalysis_Mat	2023/12/13 15:04	文件夹
7.DataAnalysis_Py	2023/12/13 15:04	文件夹
8.MAVLinkFull4Swarm	2023/12/13 15:04	文件夹
e1_RflyUdpSwarmExp	2023/12/13 15:04	文件夹
e2_NoPX4SITL4Swarm	2023/12/13 15:04	文件夹
e3_LightShowSwarm	2023/12/13 15:04	文件夹
e4_FixWingGMSwarm	2023/12/13 15:04	文件夹



2.关键接口介绍

- 2.1 SIL仿真Log日志获取实验
- 在进行SIL仿真时，RflySim将自动记录每个飞机的Log日志，并生成.ulg格式文件。
- 详细操作及实验效果见 [0.ApiExps\1.SwarmLogGet\Readme.pdf](#)

```
SITLRun
-----
Please input UAV swarm number:4
Start QGroundControl
Kill all CopterSims
Starting PX4 Build
[1/1] Generating ../../logs
killing running instances
starting instance 1 in /mnt/c/PX4PSPFull/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_1
starting instance 2 in /mnt/c/PX4PSPFull/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_2
starting instance 3 in /mnt/c/PX4PSPFull/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_3
starting instance 4 in /mnt/c/PX4PSPFull/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_4
PX4 instances start finished
Press any key to exit
```

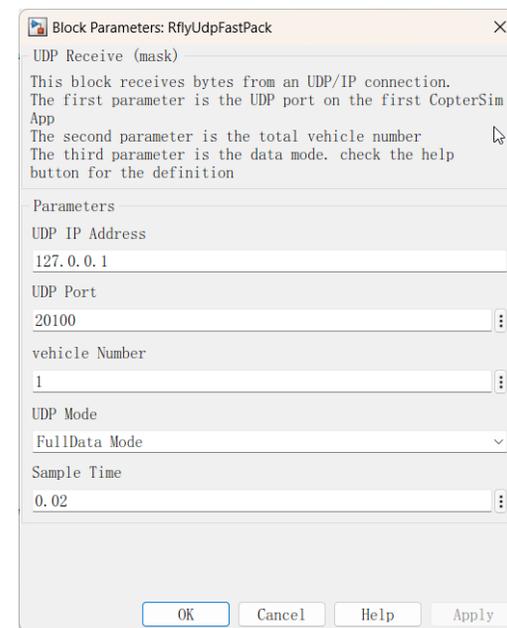
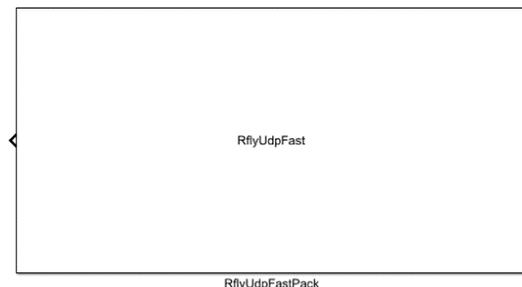
电脑 > Windows (C:) > PX4PSP > Firmware > build > px4_sitl_default

名称	修改日期	类型	大小
bin	2023/8/23 10:18	文件夹	
boards	2023/8/23 10:18	文件夹	
build_flightgear_bridge	2023/8/23 10:18	文件夹	
build_gazebo	2023/8/23 10:18	文件夹	
build_jsbsim_bridge	2023/8/23 10:18	文件夹	
CMakeFiles	2023/8/23 10:18	文件夹	
etc	2023/8/23 10:18	文件夹	
external	2023/8/23 10:18	文件夹	
generated_params	2023/8/23 10:18	文件夹	
instance_1	2023/8/24 9:38	文件夹	
instance_2	2023/8/24 9:38	文件夹	
instance_3	2023/8/24 9:38	文件夹	
instance_4	2023/8/24 9:38	文件夹	
mavsdk_tests	2023/8/23 10:18	文件夹	



2.关键接口介绍

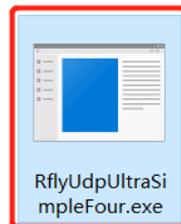
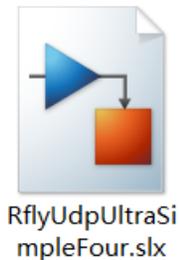
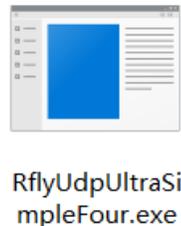
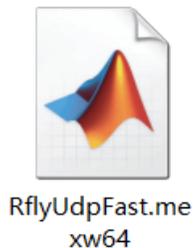
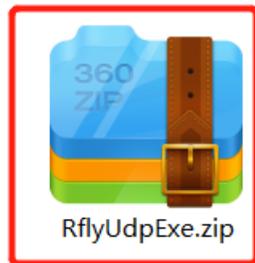
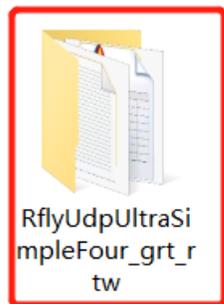
- 2.2 MATLAB集群接口模型封装实验
- RflySim平台的MATLAB集群接口模块采用C++/S-functions混编的形式。本实验将讲解如何将编写完成的C++文件如何封装成Simulink模块。
- 详细操作及实验效果见 <0.ApiExps\2.MatRflySwarmAPIPack\Readme.pdf>





2.关键接口介绍

- 2.3 .exe文件生成实验
- 将**Simulink**控制器编译生成**exe**之后，算法可以脱离**MATLAB**运行，而且本身是二进制可执行文件，运行效率非常高，即使大型的控制算法，也能保证实时控制。
- 详细操作及实验效果见
- [0.ApiExps\3.EXEFileGener\Readme.pdf](#)





2.关键接口介绍

- 2.4飞控硬件远程重启实验
- 本实验采用广播方式，可实现重启局域网内所有HITL仿真。
- 详细操作及实验效果见 [0.ApiExps\4.RebootPixViaUDP\Readme.pdf](#)





2.关键接口介绍

- 2.5多机地形高度获取接口实验
- RflySim平台提供了高度信息获取接口，使得可以像bat启动脚本一样，给定飞机数量和间距，自动配置飞机初始摆放位置，并根据当前地形求出地形高度。
- 详细操作及实验效果见 [0.ApiExps\5.GetTerrainAPI\Readme.pdf](#)

```
>> GenSwarmPos12
Init pos and yaw lists for ***Pos.bat is :
PosXStr=0, 0, 0, 0, 2, 2, 2, 2, 4, 4, 4, 4
PosYStr=0, 2, 4, 6, 0, 2, 4, 6, 0, 2, 4, 6
YawStr=0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0

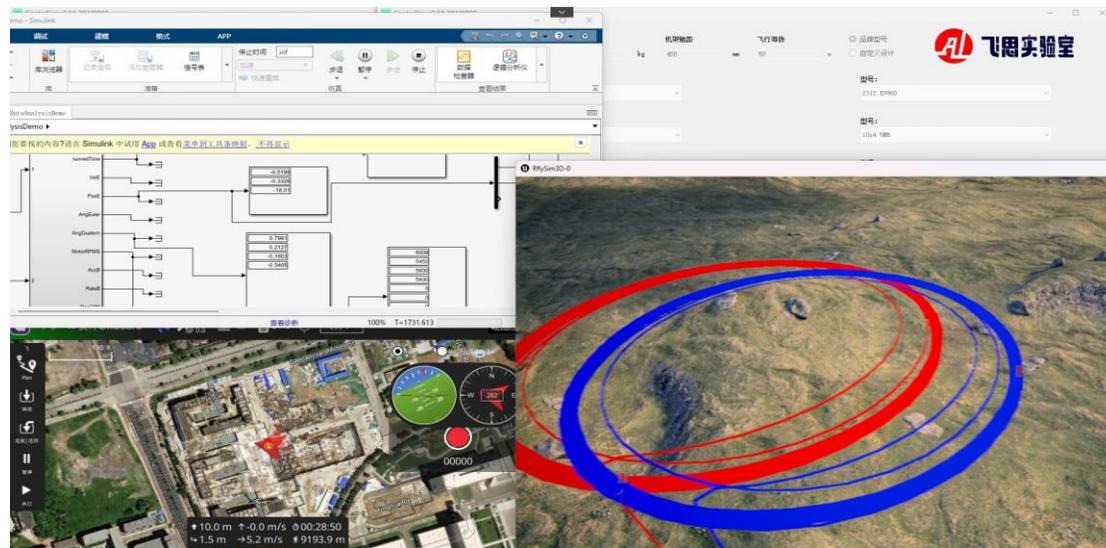
Alt list is
Alt=-8.0485, -7.7987, -7.4631, -7.1196, -8.2515, -7.7519, -7.5333, -7.3226, -8.3685, -8.1188, -7.7831, -7.3772

Init Pos and Yaw list for Python is:
InitPosList=[
    [-8.0485, 0, 0, 0],
    [-7.7987, 0, 2, 0],
    [-7.4631, 0, 4, 0],
    [-7.1196, 0, 6, 0],
    [-8.2515, 2, 0, 0],
    [-7.7519, 2, 2, 0],
    [-7.5333, 2, 4, 0],
    [-7.3226, 2, 6, 0],
    [-8.3685, 4, 0, 0],
    [-8.1188, 4, 2, 0],
    [-7.7831, 4, 4, 0],
    [-7.3772, 4, 6, 0],
]
```



2.关键接口介绍

- 2.6基于Simulink数据分析实验
- RflySim平台具有丰富的飞行日志获取和分析功能。本实验将基于Simulink实现飞行日志的实时获取并进行存储分析。
- 详细操作及实验效果见 [0.ApiExps\6.DataAnalysis_Mat\Readme.pdf](#)

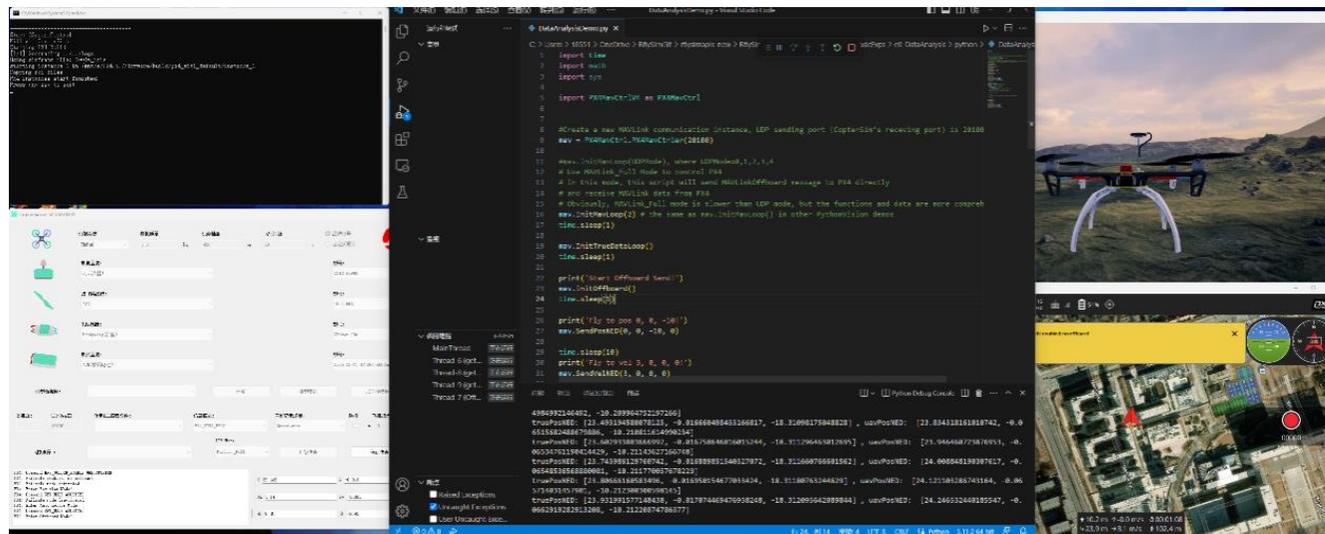


```
subplot(2,1,1);  
plot(PosE1.Data(:,1),PosE1.Data(:,2))  
subplot(2,1,2);  
plot(PosE2.Data(:,1),PosE2.Data(:,2))
```



2.关键接口介绍

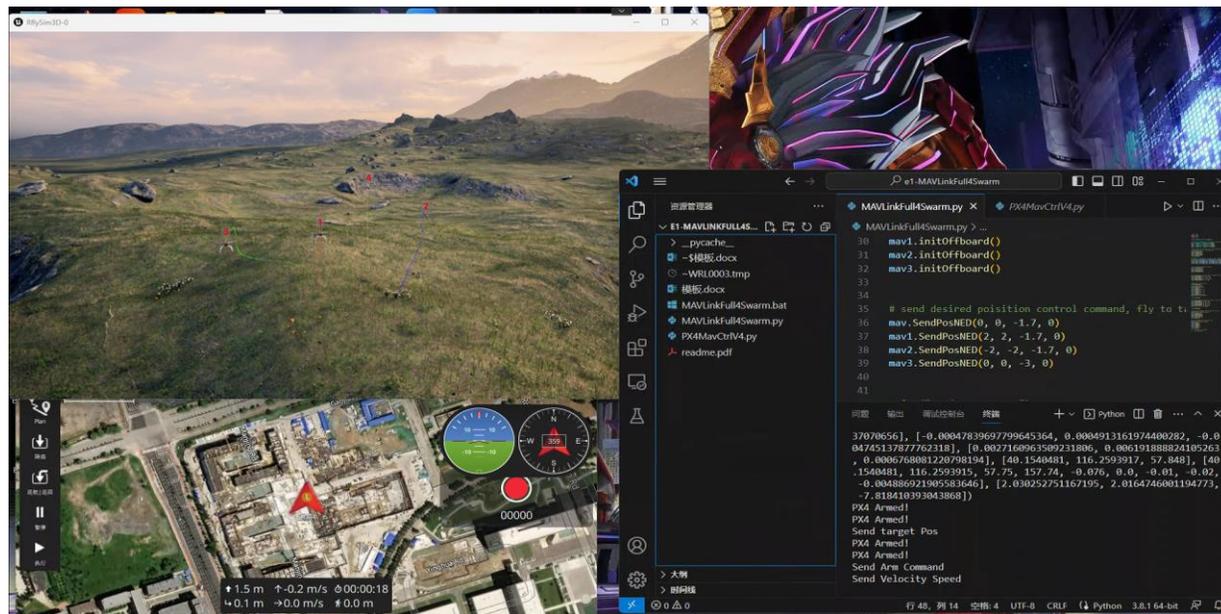
- 2.7基于Python数据分析
- 实验RflySim平台具有丰富的飞行日志获取和分析功能。本实验将基于Python实现飞行日志的实时获取并进行存储分析。
- 详细操作及实验效果见 [0.ApiExps\7.DataAnalysis_Py\Readme.pdf](#)





2.关键接口介绍

- 2.8集群接口实验
- 通过利用RflySim平台mavlink通信函数接口进行无人机位置控制、速度控制、航向控制。
- 详细操作及实验效果见 <0.ApiExps\8.MAVLinkFull4Swarm\Readme.pdf>





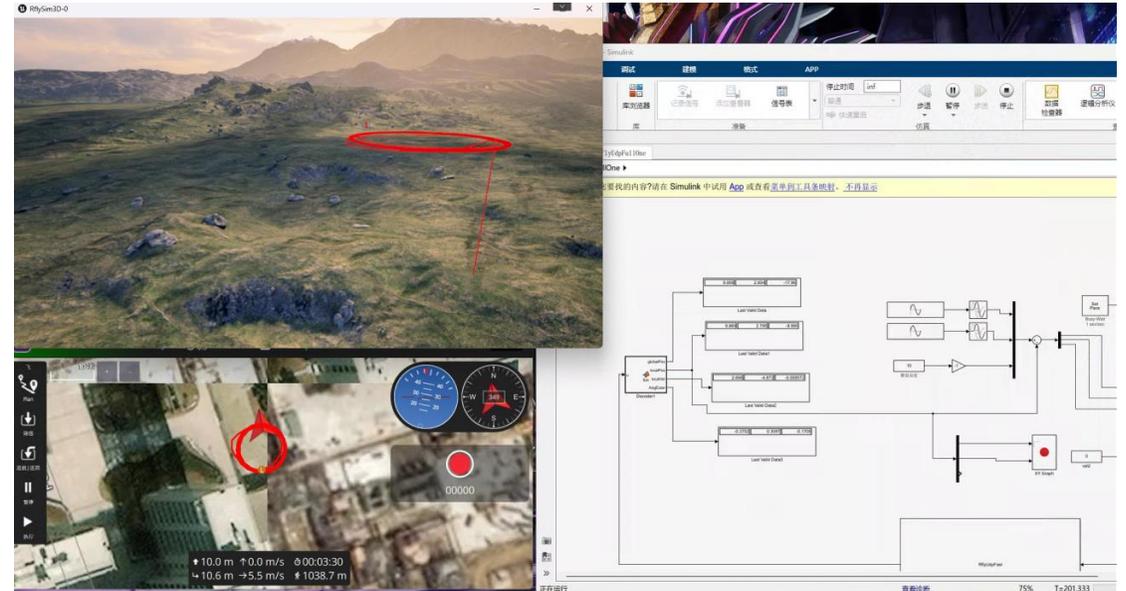
大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶接口实验（个人版）
5. 进阶案例实验（集合版）
6. 扩展案例（完整版）
7. 小结



3.基础实验案例

- **3.1.1 通信接口的FullData模式**
单机实验
- 通过平台提供的**RflyUdpFast**传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对单个无人机的局部位置运动控制进行**simulink**建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。
- 详细操作及实验效果见
[1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\1.RflyUdpFullOneMat\Readme.pdf](#)





3.基础实验案例

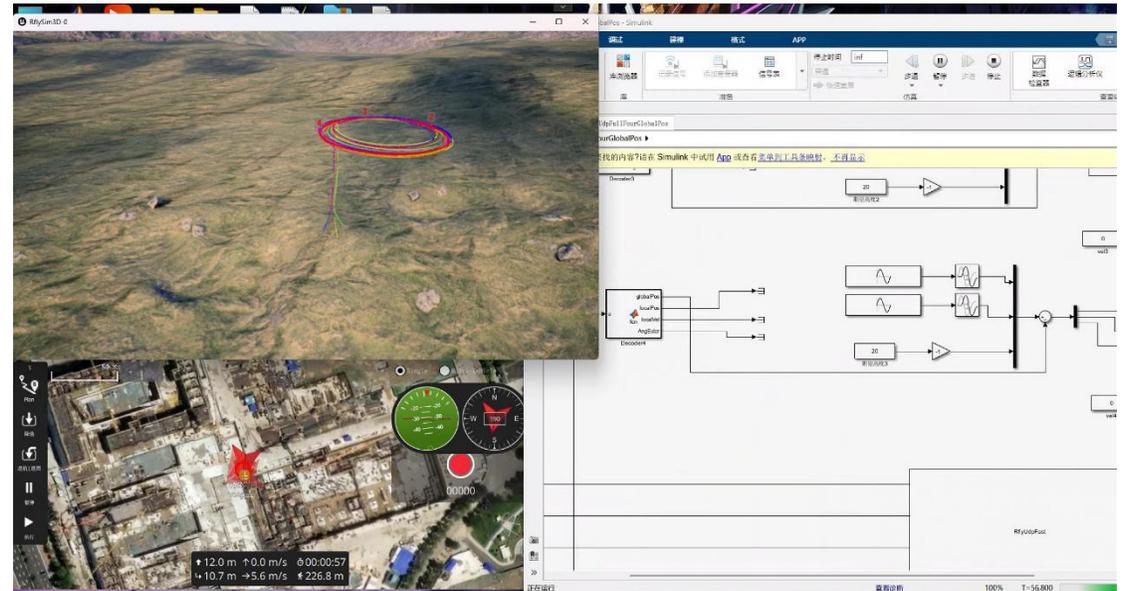
- 3.1.2 通信接口的FullData模式4机仿真实验
- 通过平台提供的RflyUdpFast传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对4个无人机的局部位置运动控制进行simulink建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。
- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\2.RflyUdpFullFourMat\Readme.pdf](#)





3.基础实验案例

- **3.1.3 通信接口FullData模式全局坐标控制4机实验**
- 通过平台提供的**RflyUdpFast**传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对无人机的全局位置运动控制进行**Simulink**建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。
- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\3.RflyUdpFullFourGPos_Mat\Readme.pdf](#)



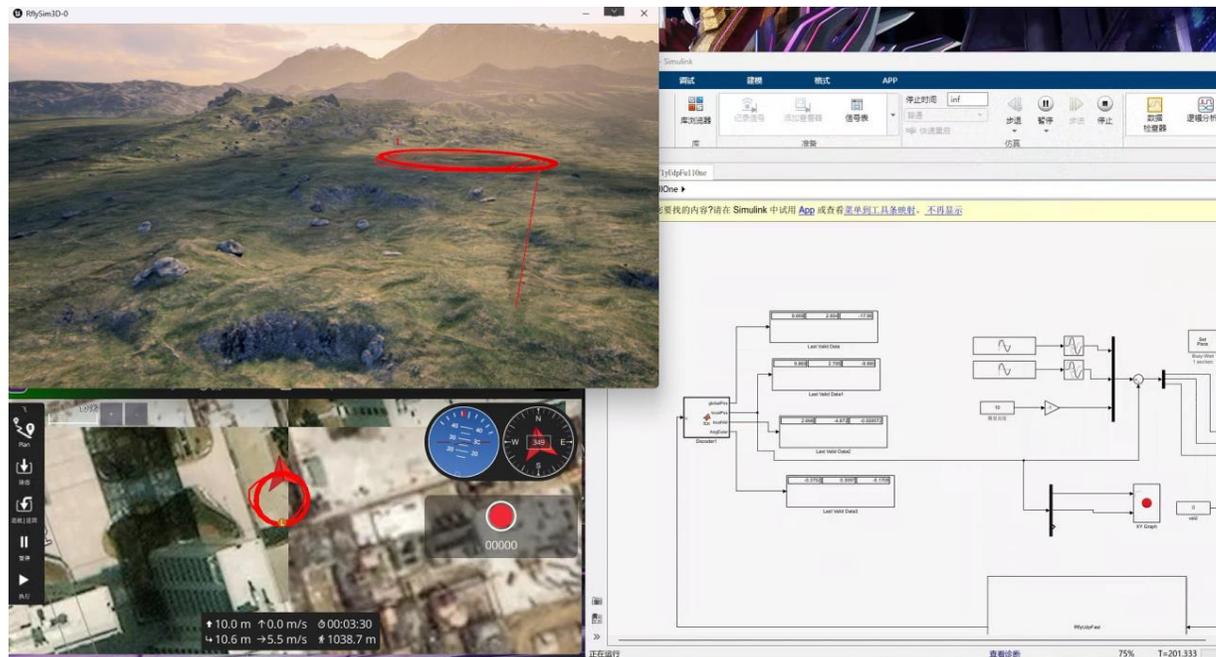


3.基础实验案例

- 3.1.4 通信接口的SimpleData模式单机画圆实验
- 通过平台提供的RflyUdpFast传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对单个无人机的局部位置运动控制进行simulink建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。

- 详细操作及实验效果见

[1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\4.RflyUdpSimpleOne_Mat\Readme.pdf](#)



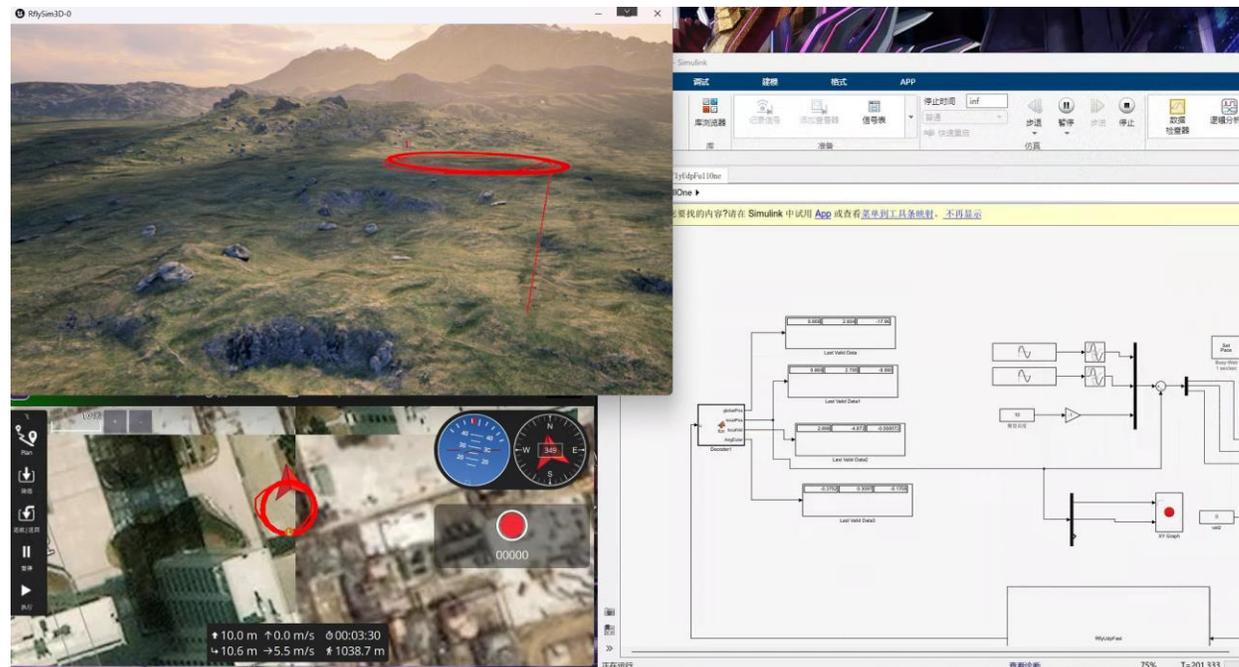


3.基础实验案例

- 3.1.5 通信接口的UltraSimple模式单机画圆实验
- 通过平台提供的RflyUdpFast传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对单个无人机的局部位置运动控制进行simulink建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。

- 详细操作及实验效果见

[1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\5.RflyUdpUltraSimpleOne_Mat\Readme.pdf](#)



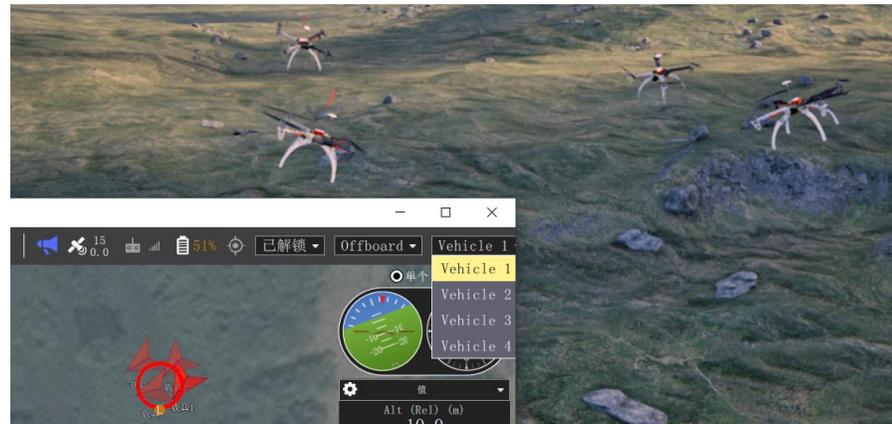
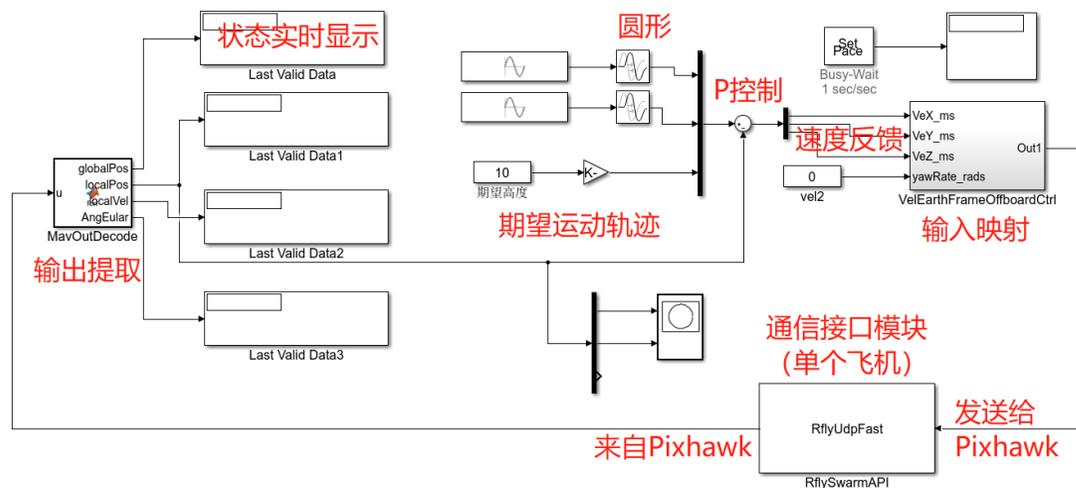


3.基础实验案例

- 3.1.6 通信接口的UltraSimple模式四机画圆实验
- 通过平台提供的RflyUdpFast传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对单个无人机的局部位置运动控制进行Simulink建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。

- 详细操作及实验效果见

[1.BasicExps\e1_RflyUdpSwarmExp\6.RflyUdpUltraSimpleFour_Mat\Readme.pdf](#)



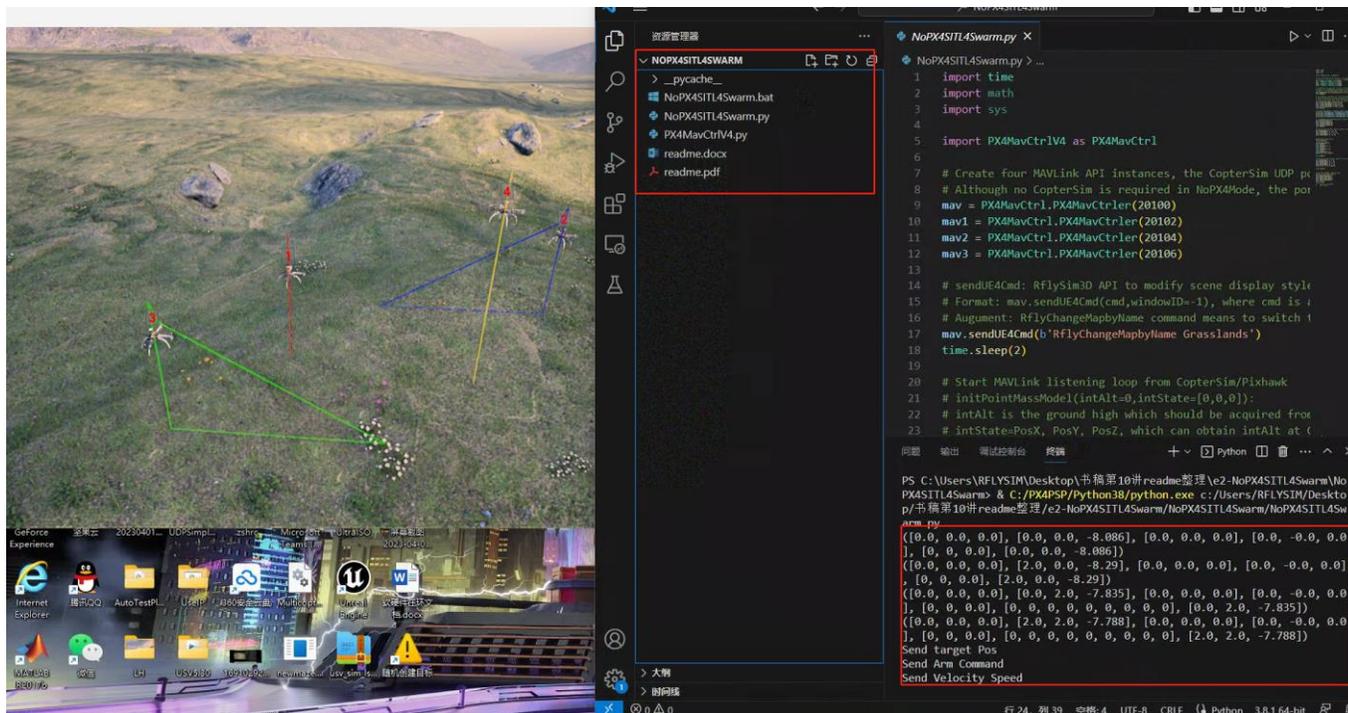


3.基础实验案例

3.2 4机质点集群实验

- 本平台在Python下开发出了质点多旋翼模型，只需Python和RflySim3D两个软件即可在单台电脑上实现百驾级别的无人机集群仿真。

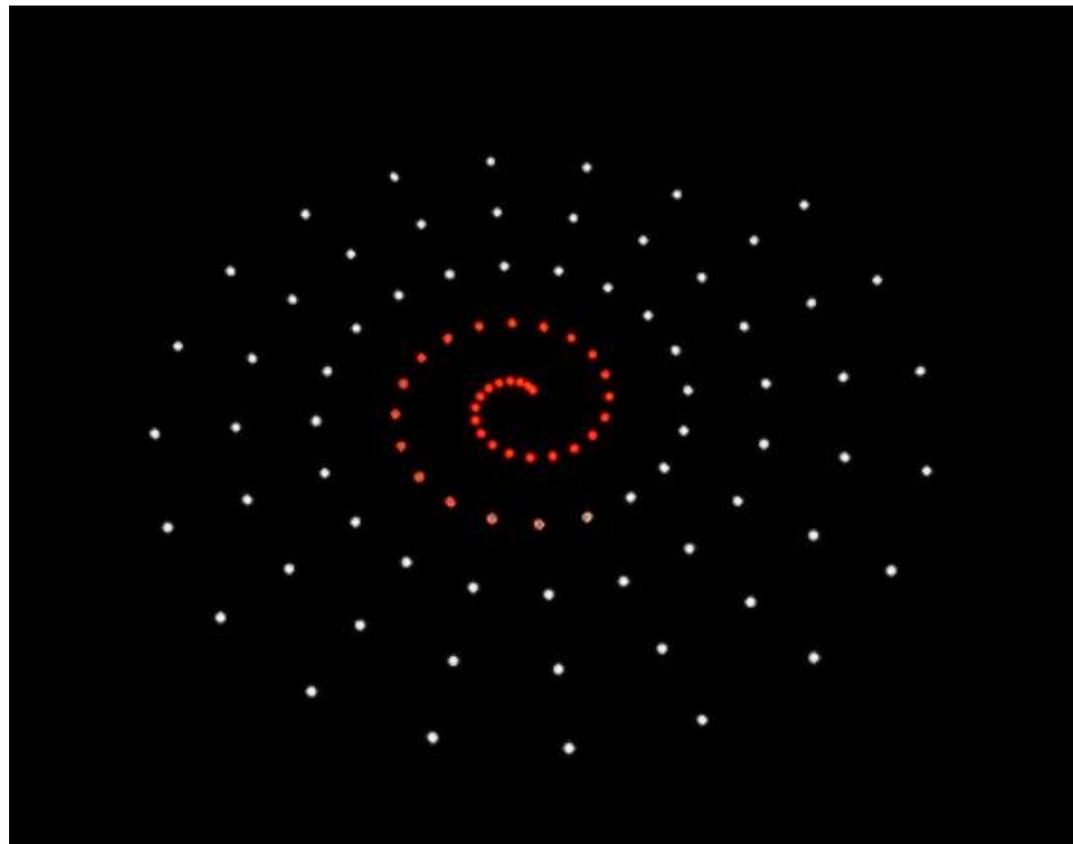
- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps/e2_NoPX4SITL4Swarm/Readme.pdf](#)





3.基础实验案例

- 3.3 集群轨迹灯光展示实验
- 本例程的灯光变换特效，实际上是用了和RflySim3D中C键切换飞机样式相同的接口（不同灯光样式），通过本接口可以实现撞击后坠毁动画的模拟等其他特效。
- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps\e3_LightShowSwarm\Readme.pdf](#)





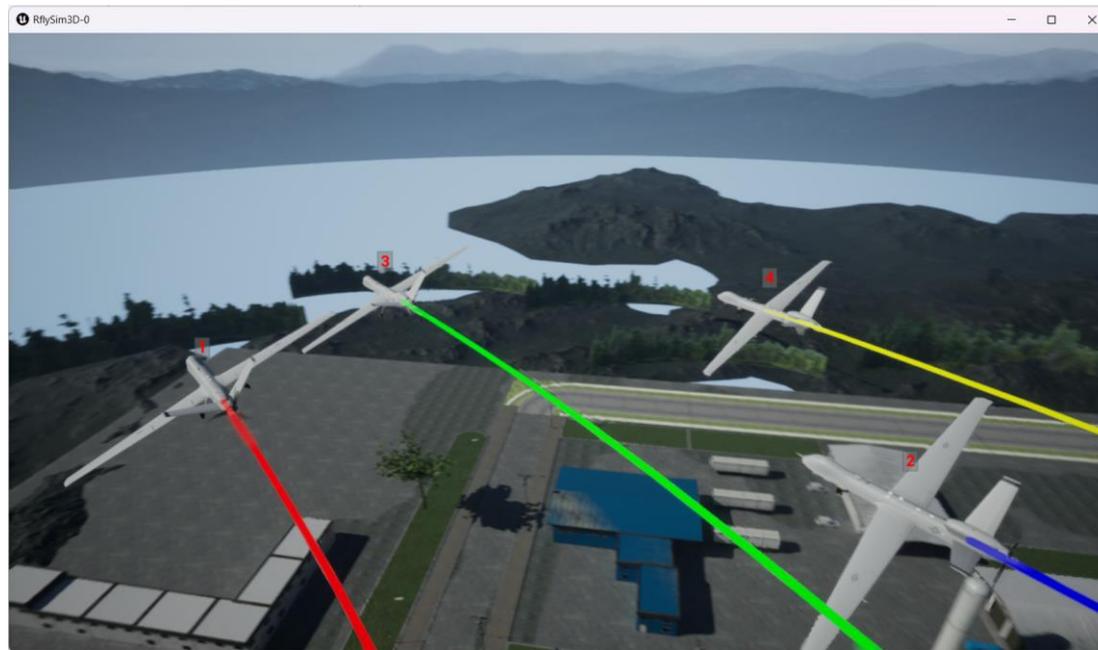
3.基础实验案例

• 3.4 固定翼质点模型集群实验

- 本实验中搭建了固定翼的质点模型，可通过速度偏航高度或位置指令来控制固定翼进行预定轨迹飞行。

- 详细操作及实验效果见

[1.BasicExps/e4_FixWingGMSwarm/Readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶接口实验（个人版）
5. 进阶案例实验（集合版）
6. 扩展案例（完整版）
7. 小结



4.进阶案例实验

• 4.1.1 RflySim3D碰撞接口实验

- 本实验中演示了通过调用RflySim平台的碰撞API接口，来实现无人机在三维引擎中的碰撞效果。

- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps\碰撞API\1.CrashMonitorAPI\README.pdf](#)



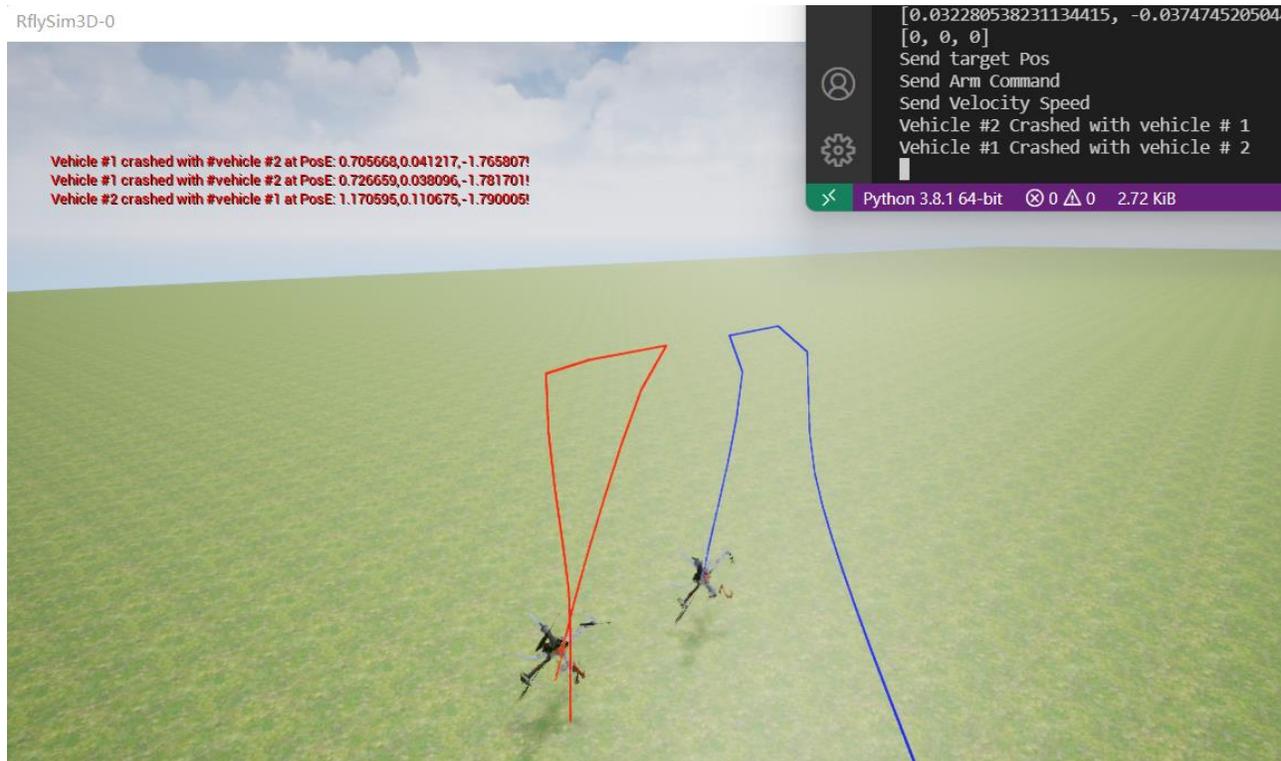


4.进阶案例实验

- 4.1.2 MAVLink模式2机碰撞实验

- RflySim平台的三维场景仿真软件RflySim3D是基于UE进行开发而成的，在进行开发过程中，使其具有碰撞引擎模式，本例程中详细展示了两个飞机从起飞到碰撞的详细过程。

- 详细操作及实验效果见
[1.BasicExps\e5_CollisionExpA](#)
[PI\2.CollMAVLinkAPI_Py\Re](#)
[adme.pdf](#)





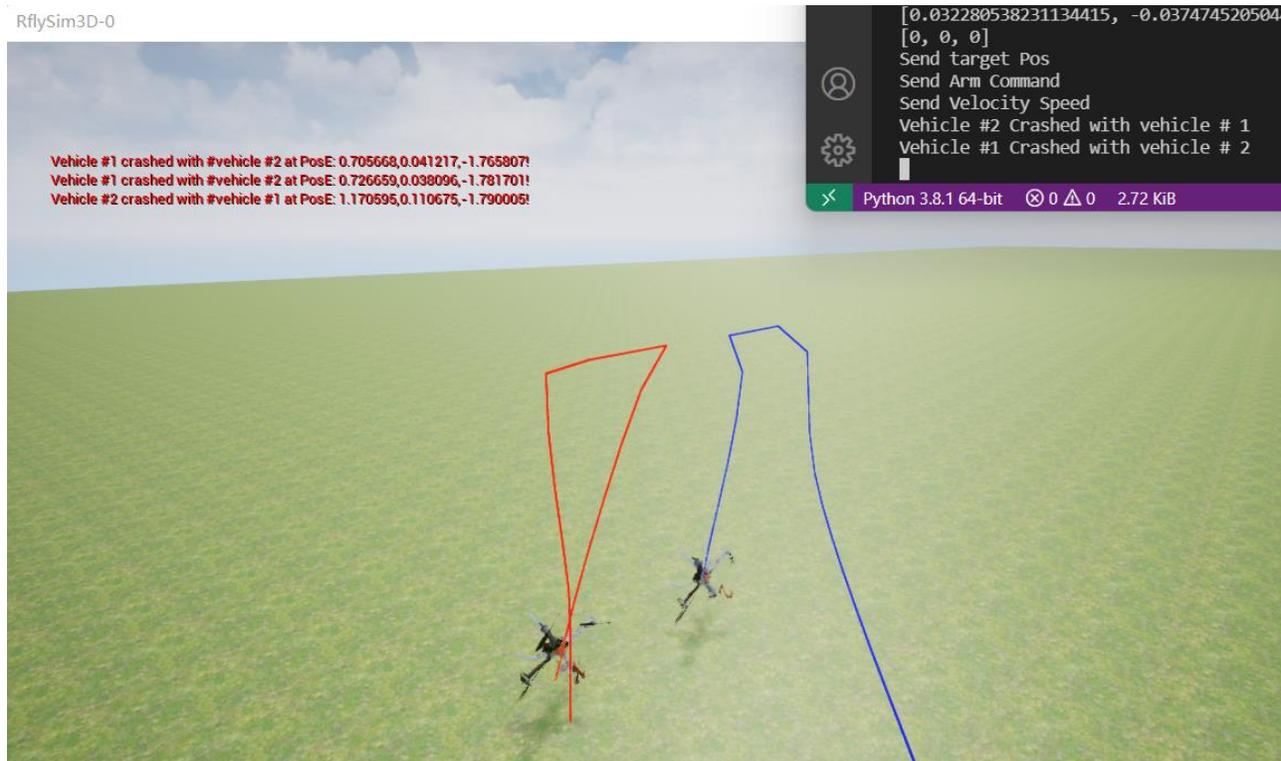
4.进阶案例实验

- 4.1.3 UDP模式2机碰撞实验

- RflySim平台的三维场景仿真软件RflySim3D是基于UE进行开发而成的，在进行开发过程中，使其具有碰撞引擎模式，本例程中详细展示了两个飞机从起飞到碰撞的详细过程。

- 详细操作及实验效果见

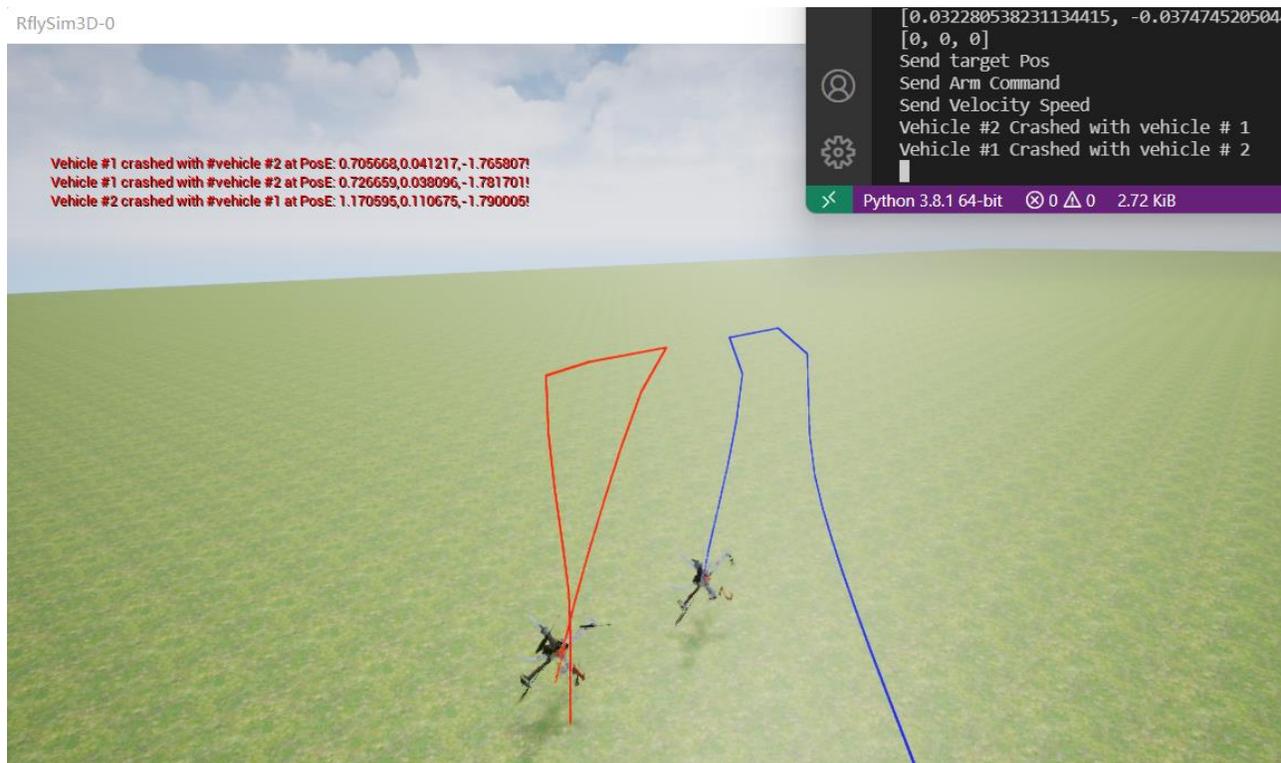
[1.BasicExps\e5_CollisionExpA](#)
[PI\3.CollUDPMoDeAPI_Py\Re](#)
[adme.pdf](#)





4.进阶案例实验

- **4.1.4 UDP模式2机碰撞(Simulink)实验**
- **RflySim**平台的三维场景仿真软件**RflySim3D**是基于UE进行开发而成的，在进行开发过程中，使其具有碰撞引擎模式，本例程中详细展示了两个飞机从起飞到碰撞的详细过程。
- 详细操作及实验效果见 [1.BasicExps\e5_CollisionExpAPI\4.CollUDPMoModeAPI_Mat\Readme.pdf](#)





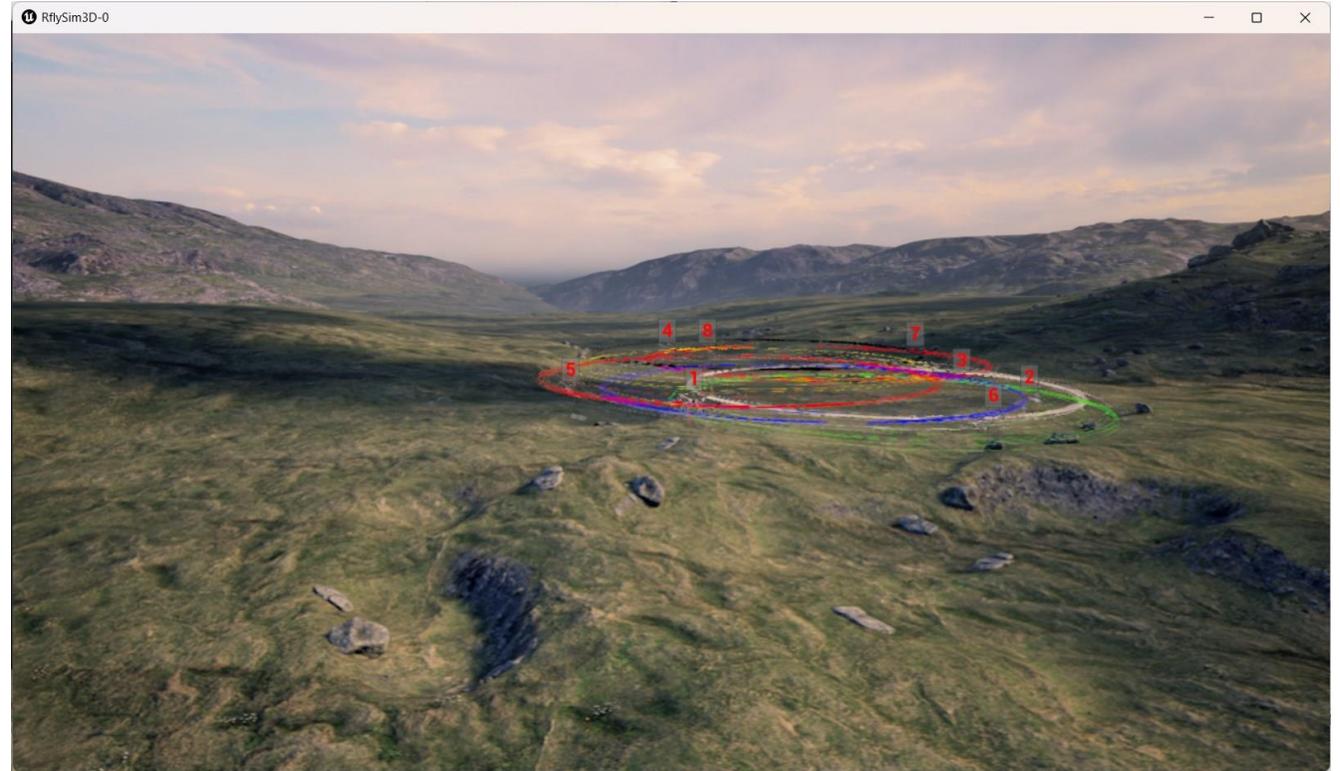
大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶接口实验（个人版）
5. 进阶案例实验（集合版）
6. 扩展案例（完整版）
7. 小结



5. 进阶案例实验

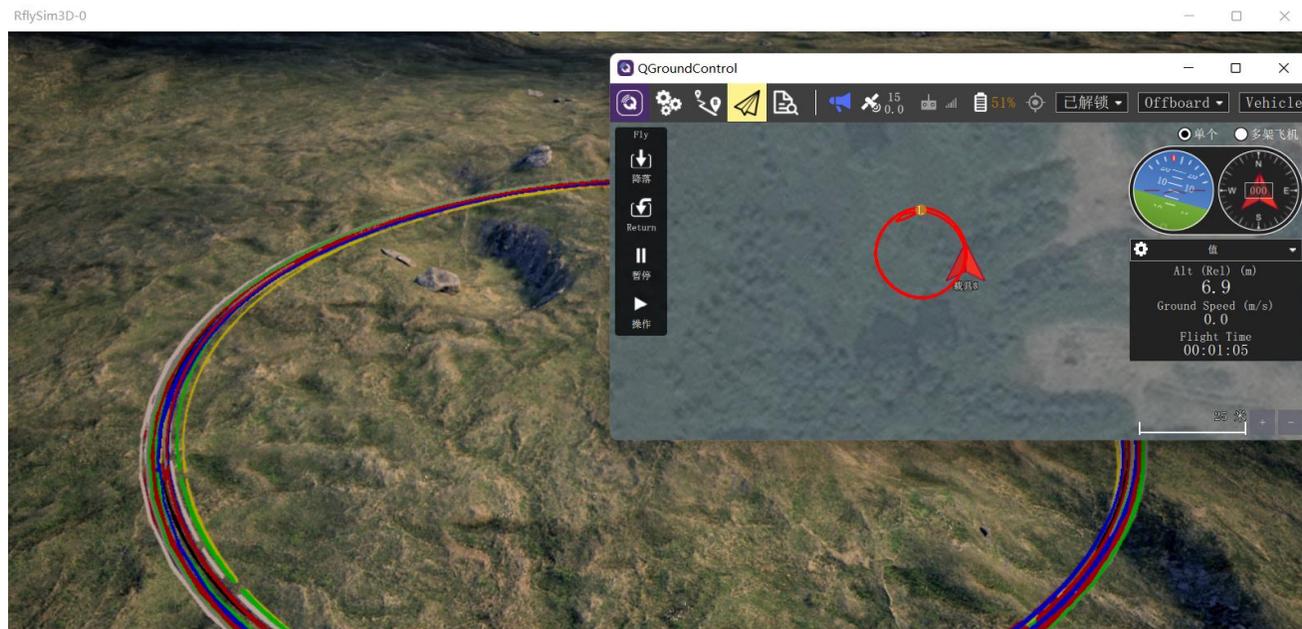
- **5.1.1通信接口的UltraSimple模式八机画圆实验**
- 通过平台提供的**RflyUdpFast**传输模块，接收无人机的状态信息，然后进行对单个无人机的局部位置运动控制进行**Simulink**建模发送控制指令到该模块，然后进行仿真。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e1_RflyUdpSwarmAdvExp\1.RflyUdpUltraSimpleEight_Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

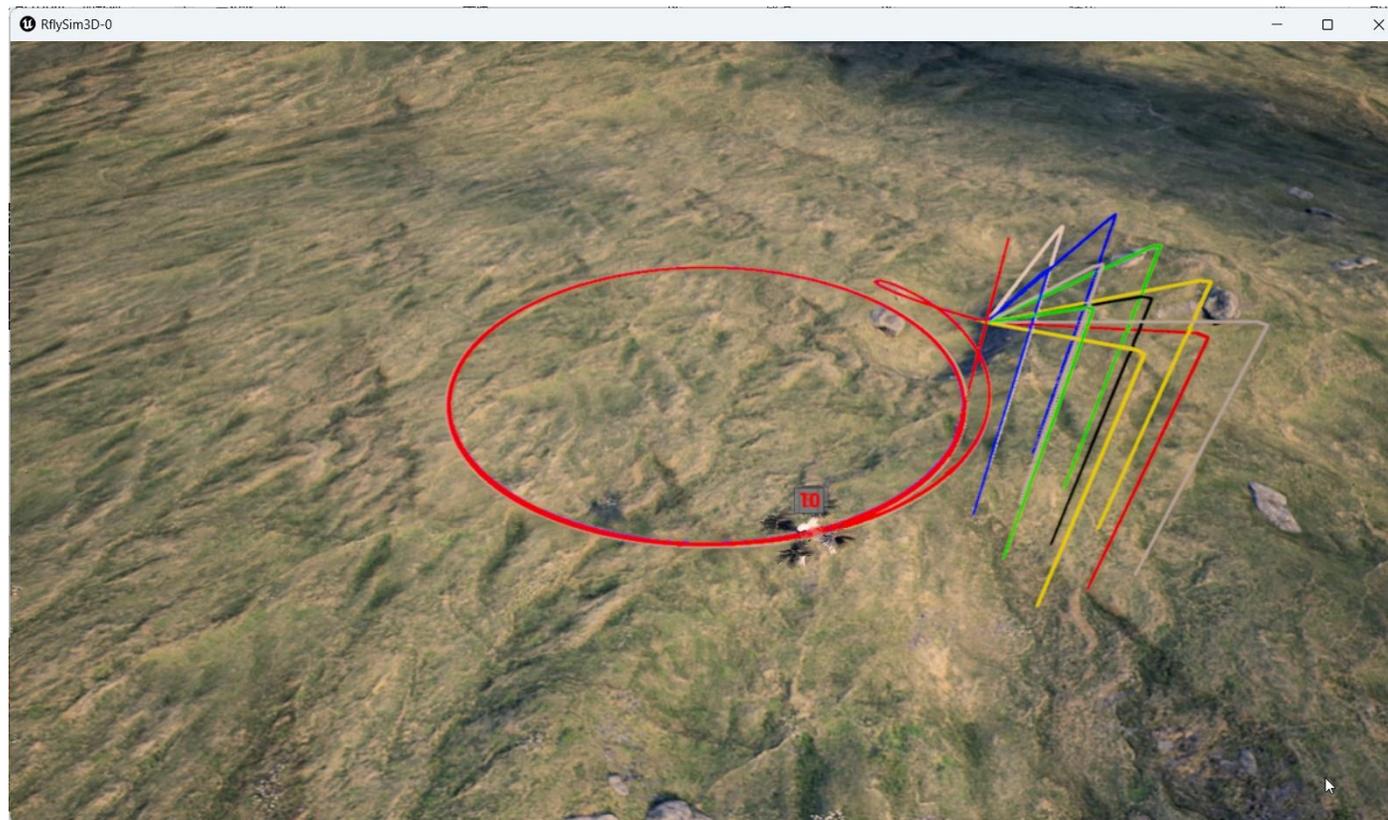
- 5.1.2 8机SITL仿真实验
- 通过利用RflySim平台UDP通信函数接口进行无人机飞机起飞，然后飞同心圆。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e1_RflyUdpSwarmAdvExp\2.UDPSimple8Swarm_Py\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

- 5.2 12机质点集群实验
- 本实验基于**RflySim**平台实现12架质点模型的四旋翼飞机起飞和画圆飞行。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps/e2_NoPX4SITL12Swarm/Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

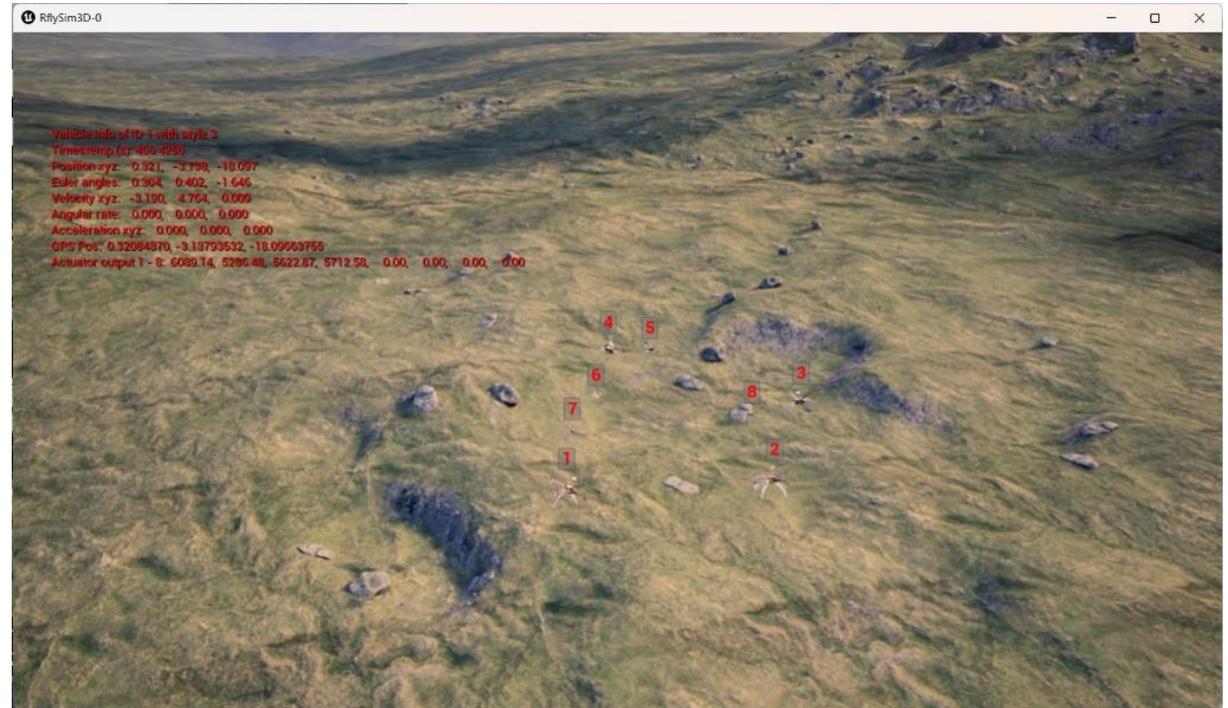
- 5.3.1 分布式局域网广播通信8机仿真实验
- 本实验可实现在局域网内两台电脑(如下统称为**电脑A**、**电脑B**)联合进行8架飞机画圆飞行。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e3 Distributed LANSwarm\1.Broad NetSwarm Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

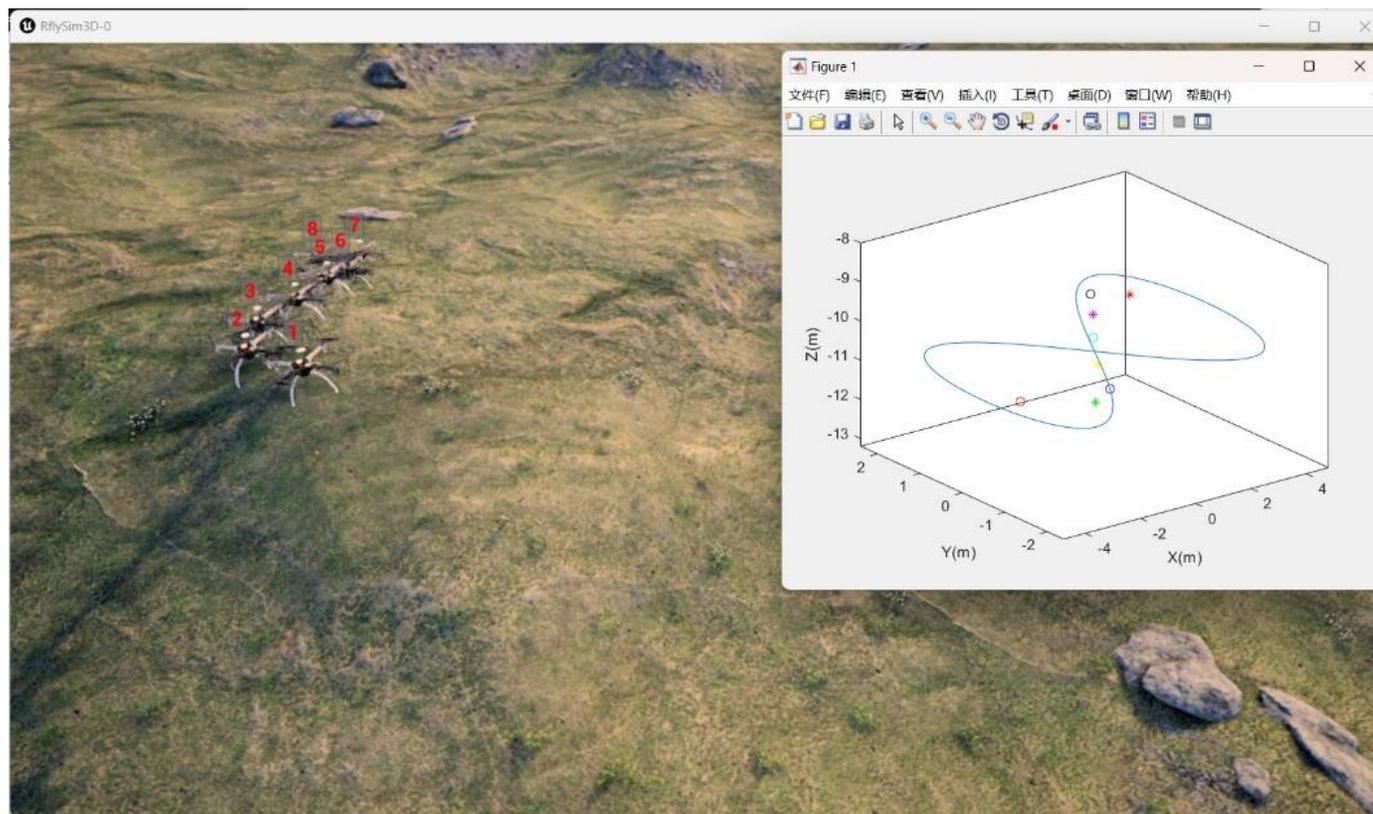
- 5.3.2 分布式局域网点对点通信8机仿真实验
- 本实验可实现在局域网内两台电脑(如下统称为**电脑A**、**电脑B**)联合进行8架飞机画圆飞行。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e3 DistributedLANSwarm\2.UseIPNetSwarm Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

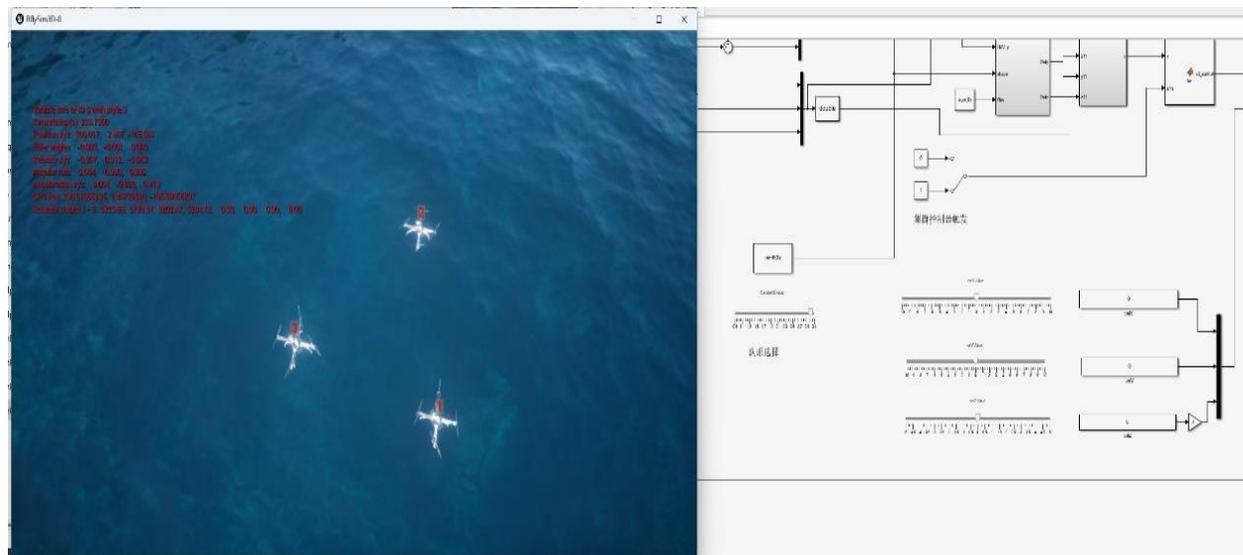
- 5.4.1 8机绕“8”字编队飞行仿真实验
- 通过平台提供的RflyUdpFast传输模块，基于MATLAB/Simulink实现控制8架四旋翼无人机的绕8字编队飞行控制实验。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e4 SwarmFormCollCtrl\1.UAV8Swarm3D_Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

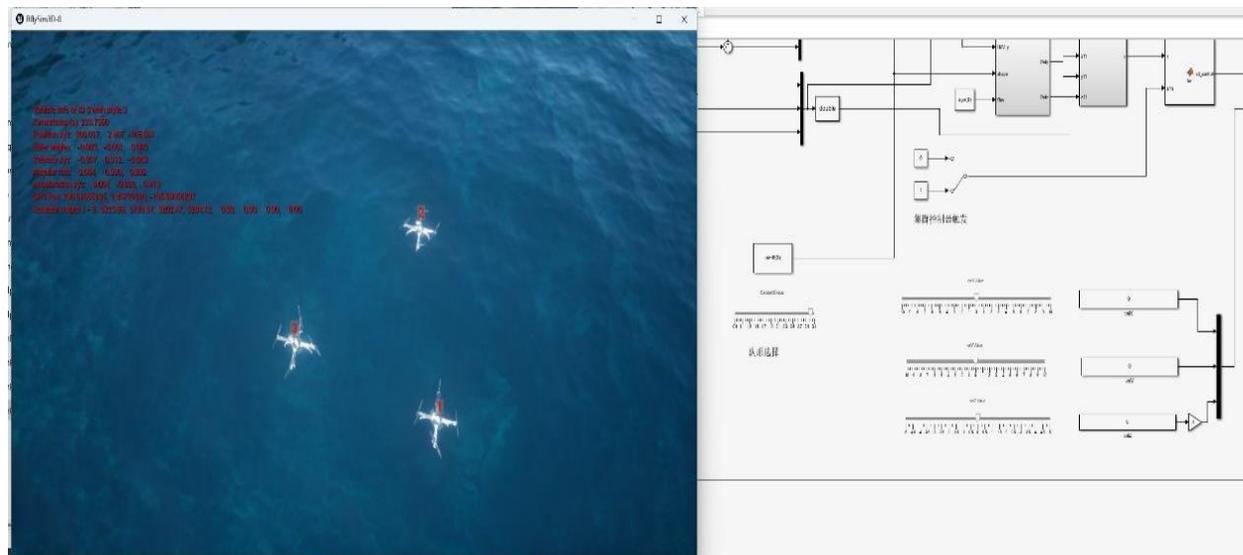
- 5.4.2 自动防撞下控制机体速度进行集群编队仿真实验
- 本实验中通过软、硬件在环仿真分别演示了无人机不同队形的变换以及编队功能。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e4 SwarmFormCollCtrl\2.SwarmBodyVelCtrlColl_Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

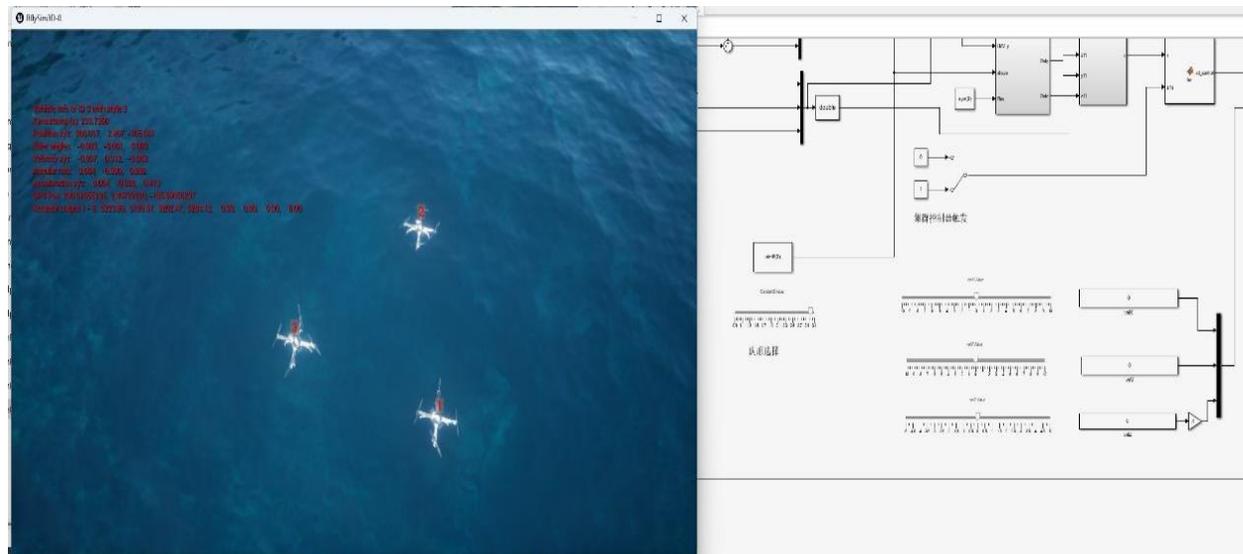
- **5.4.3 自动防撞下控制地球速度(NED坐标系)进行集群编队仿真实验**
- 本实验中通过软、硬件在环仿真分别演示了无人机不同队形的变换以及编队功能。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e4 SwarmFormCollCtrl\3.SwarmEarthVelCtrlColl Mat\Readme.pdf](#)





5. 进阶案例实验

- **5.4.4**自动防撞下控制地球速度(NED坐标系)的集群编队仿真实验(UDP模式)
- 本实验中通过软、硬件在环仿真分别演示了无人机不同队形的变换以及编队功能。
- 详细操作及实验效果见 [2.AdvExps\e4 SwarmFormCollCtrl\4.SwarmEarthVelCtrlCollUdp_Mat\Readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置

2. 关键接口介绍

3. 基础实验案例（免费版）

4. 进阶接口实验（个人版）

5. 进阶案例实验（集合版）

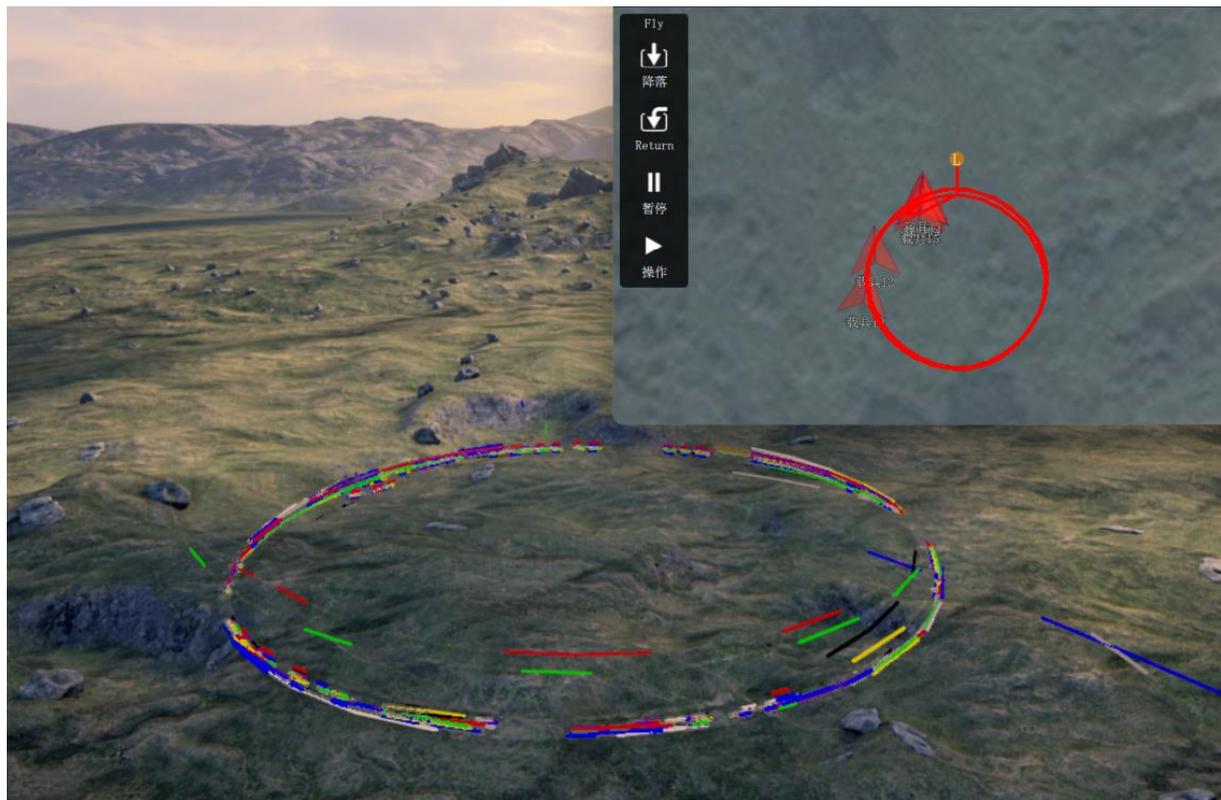
6. 扩展案例（完整版）

7. 小结



6. 扩展案例

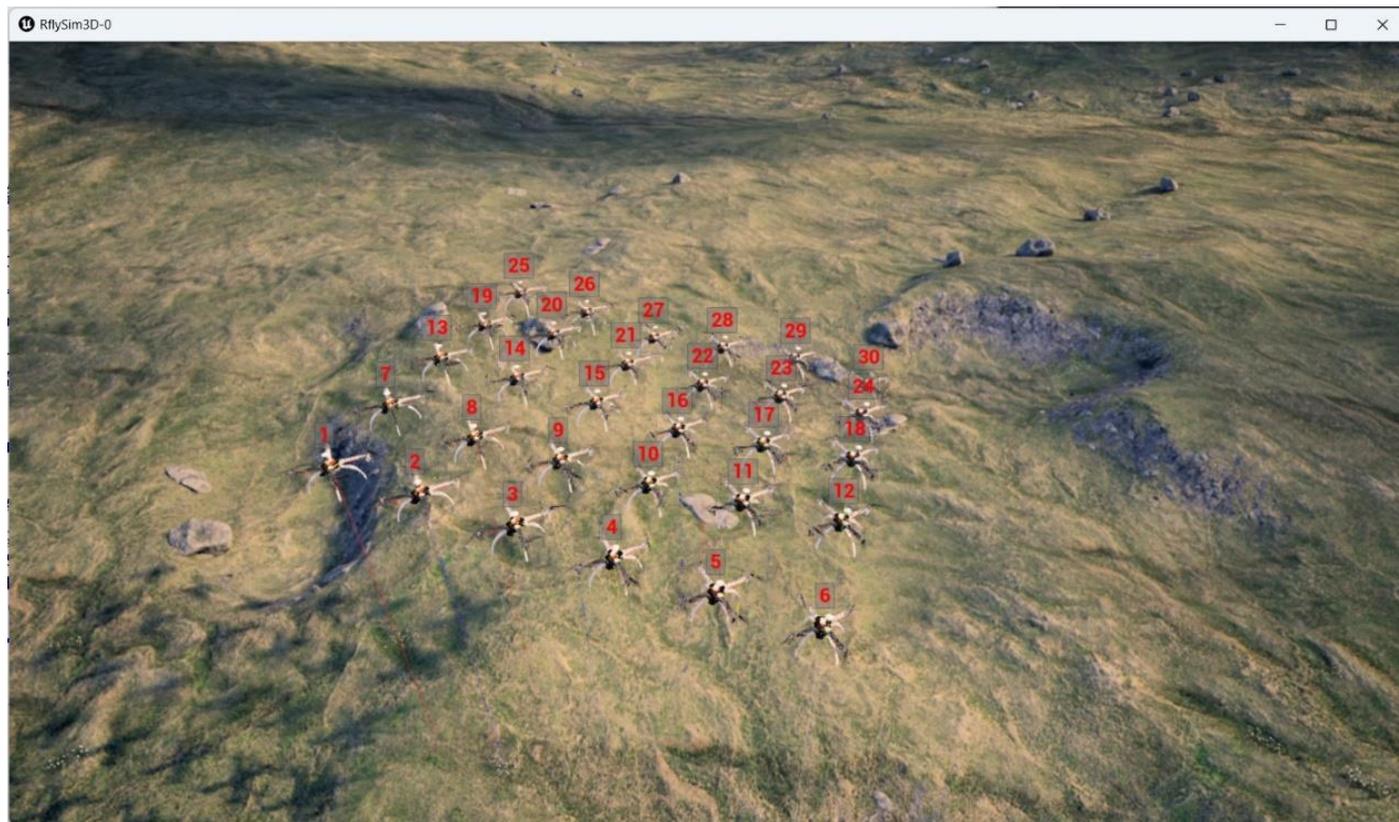
- **6.1 分布式局域网点对点通信
16机仿真实验**
- 本实验可实现在局域网内指定的两台电脑(如下统称为**电脑A**、**电脑B**)联合进行**8架飞机画圆飞行**。
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps\e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py\Readme.pdf](#)





6. 扩展案例

- 6.2.1 30机质点集群实验
- 本实验基于**RflySim**平台实现**30架质点模型的四旋翼飞机**起飞和画圆飞行。
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps\e2 NoPX4S ITLSwarm\1.NoPX4SIT L30Swarm\Readme.pdf](#)





6. 扩展案例

- 6.2.2 100机质点集群实验

- 本实验基于**RflySim**平台实现**100架质点模型的四旋翼飞机**起飞和画圆飞行。

- 详细操作及实验效果见
[3.CustExps\2 NoPX4SITLSwarm\2.NoPX4SITL100Swarm\Readme.pdf](#)



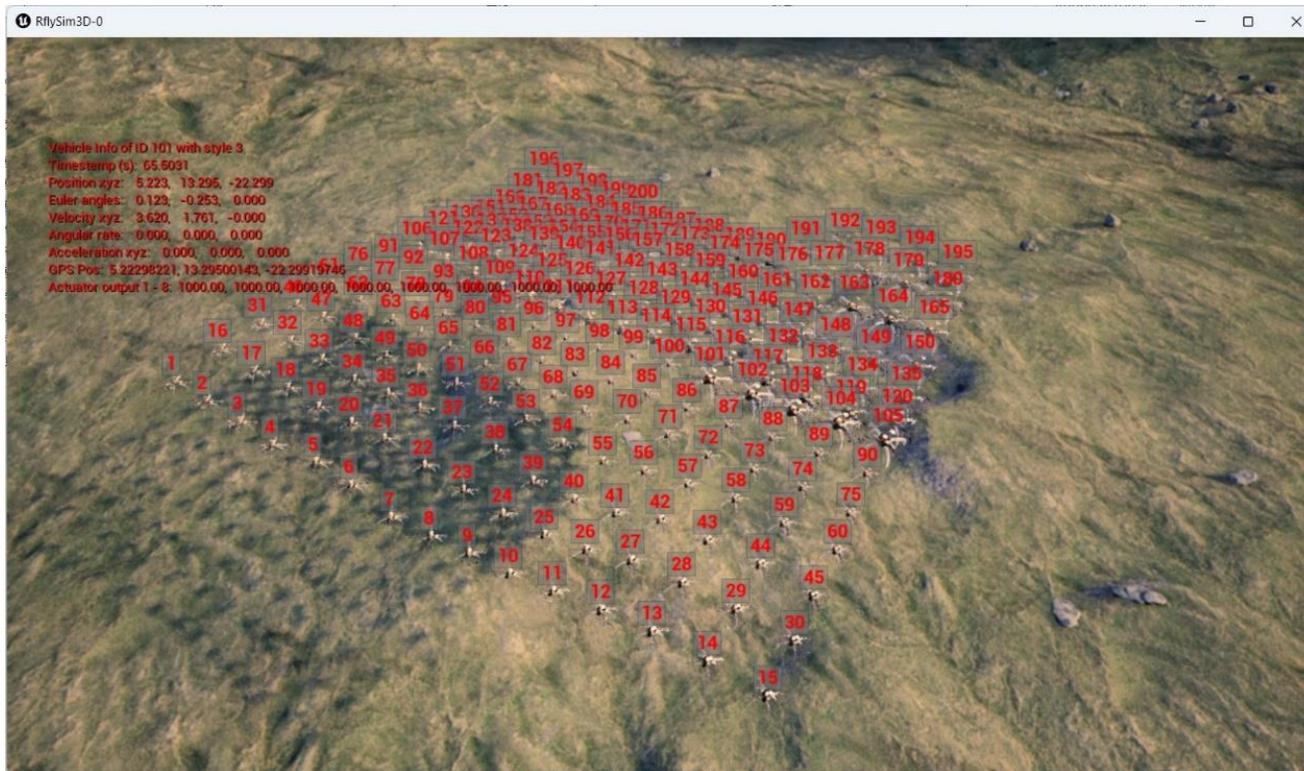


6. 扩展案例

- 6.2.3 200机质点集群实验

- 本实验基于RflySim平台实现在局域网内两台电脑200架质点模型的四旋翼飞机起飞和画圆飞行。

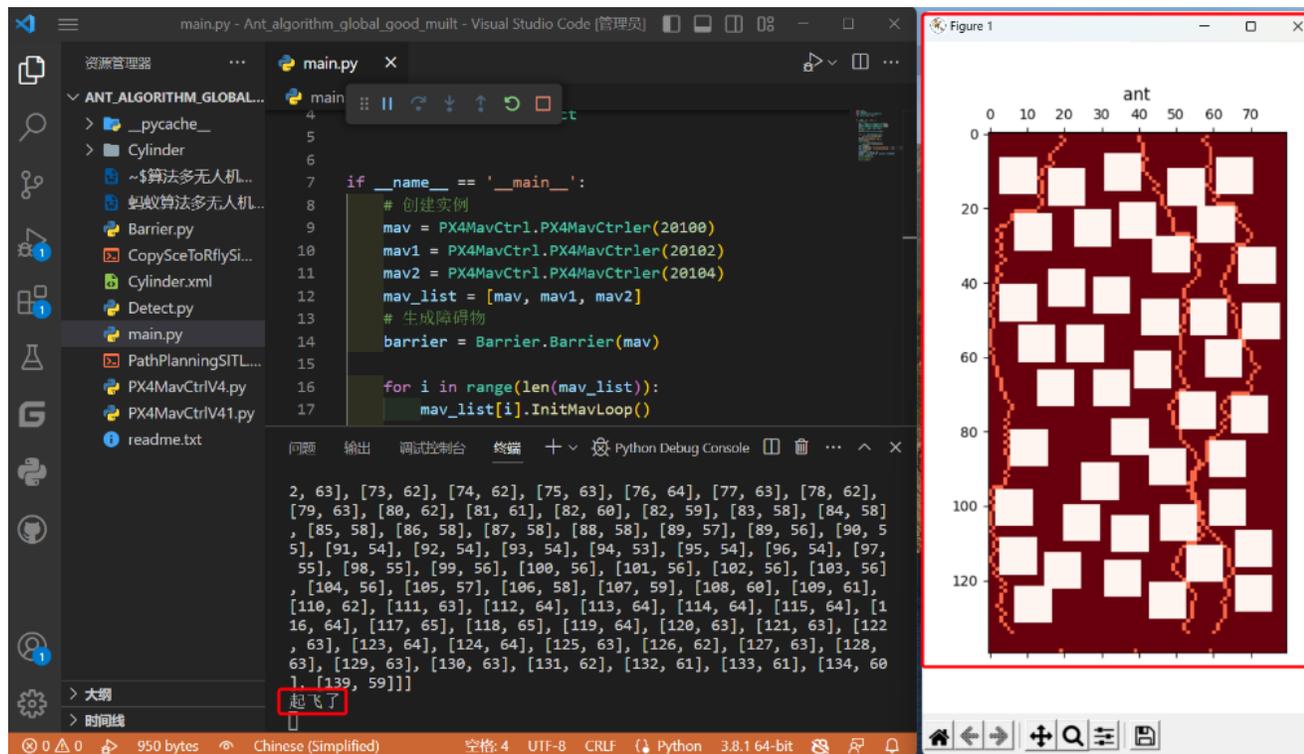
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps\e2_NoPX4SITLSwarm\3.NoPX4SITL200Swarm2PC\Readme.pdf](#)





6. 扩展案例

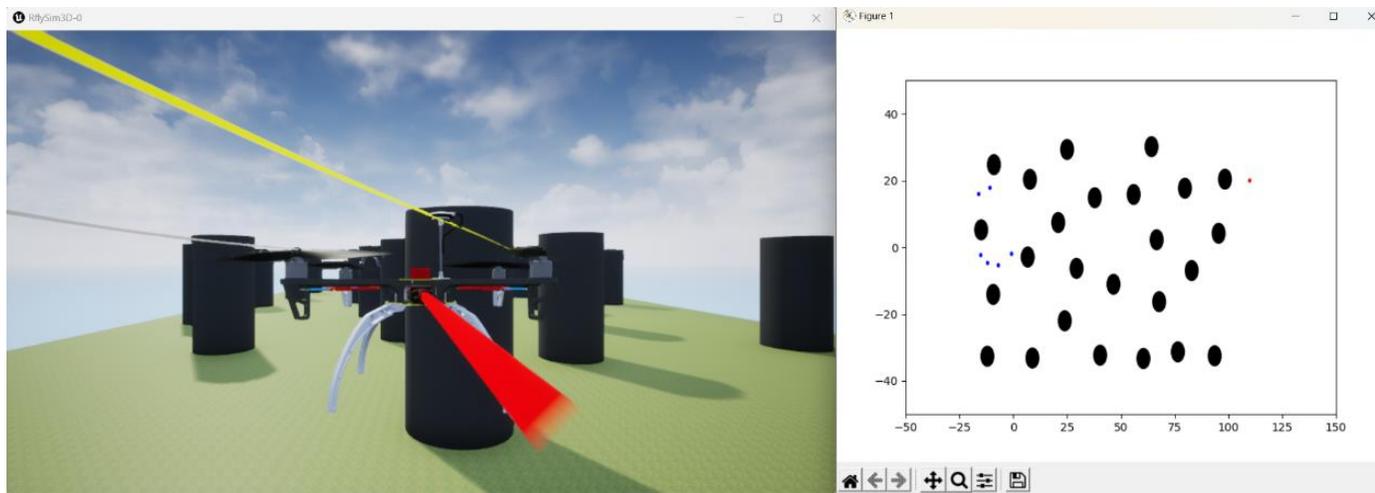
- **6.3.1 蚂蚁算法多无人机路径规划实验**
- 通过蚂蚁算法规划出一条可行且较优的路径，这条路径需要符合避障以及避碰的要求。
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps\e3 AISwarm CtrlExp\1.AntAlgorithm MutUAVPathPlan\Read me.pdf](#)





6. 扩展案例

- 6.3.2 Olfati-Saber 集群算法
- 采用 Olfati-Saber 算法实现多无人机的避障、避碰、向目标点聚集。
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps/e3 AISwarm CtrlExp/2.Olfati SaberSwarmUAVObsAvoid/Readme.pdf](#)





6. 扩展案例

- **6.3.3 无人机区域防守**
- 采用深度强化学习训练无人机防守模型，使得能够采用更少的无人机抵御攻击型无人机，能够取得很好的防守效果。
- 详细操作及实验效果见 [3.CustExps/e3 AISwarm CtrlExp/3.MultiUAVRegionDefense/Readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶接口实验（个人版）
5. 进阶案例实验（集合版）
6. 扩展案例（完整版）
7. 小结



7. 小结

- 本讲主要对无人机的集群通信以及集群控制进行讲解，分为基础实验、进阶实验和扩展案例三部分，可以实现局域组网，无人机集群通信，无人机编队控制。

如有疑问，请到<https://doc.rflysim.com/>查询更多信息。



RflySim更多教程



扫码咨询与交流



飞思RflySim技术交流群



谢谢！