多机组播通信状态协同监测实验

1. 实验目的

本实验旨在通过RflySim平台搭建多无人机协同仿真环境，实现多架无人机的状态数据共享与实时监测。通过本实验，学习者可以掌握基于网络通信的多无人机协同控制技术，理解组播通信机制在无人机集群中的应用，熟悉分布式仿真系统的构建与调试方法。实验重点在于实现无人机间的状态数据交换、组播通信的建立与维护，以及多无人机系统的协同工作原理。

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\9.RflySimComm\0.ApiExps\e1.RflyNetAPIExps\7.PythonAllUavDemo

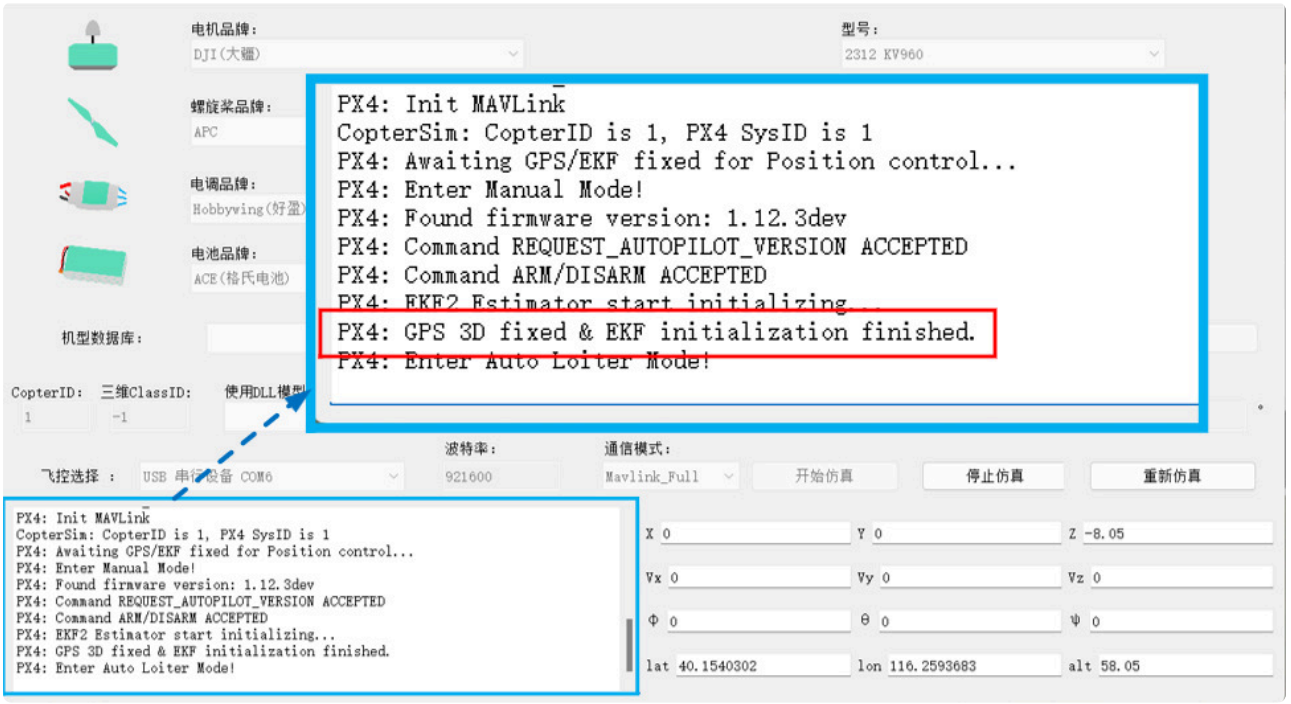
Python38Run.bat：RflySim Python运行脚本
SITLRun4MavlinkFull.bat：启动4架无人机SITL仿真环境脚本
UAV1Ctrl.py：控制第1架无人机的Python脚本，包含无人机状态获取和组播通信功能
UAV2Ctrl.py：控制第2架无人机的Python脚本，包含无人机状态获取和组播通信功能
UAV3Ctrl.py：控制第3架无人机的Python脚本，包含无人机状态获取和组播通信功能
UAV4Ctrl.py：控制第4架无人机的Python脚本，包含无人机状态获取和组播通信功能
UavPythonRunALL.bat：一键启动所有无人机控制脚本的批处理文件
Readme.md：项目说明文档
Readme_en.md：英文版项目说明文档
assets/bk/index.html：备份资源文件

4. 实验内容或步骤

4.1 本机实验

4.1.1 仿真环境初始化

双击运行`SITLRun4MavlinkFull.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， 1 个 CopterSim 、1 个 RflySim3D 软件， 等待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：



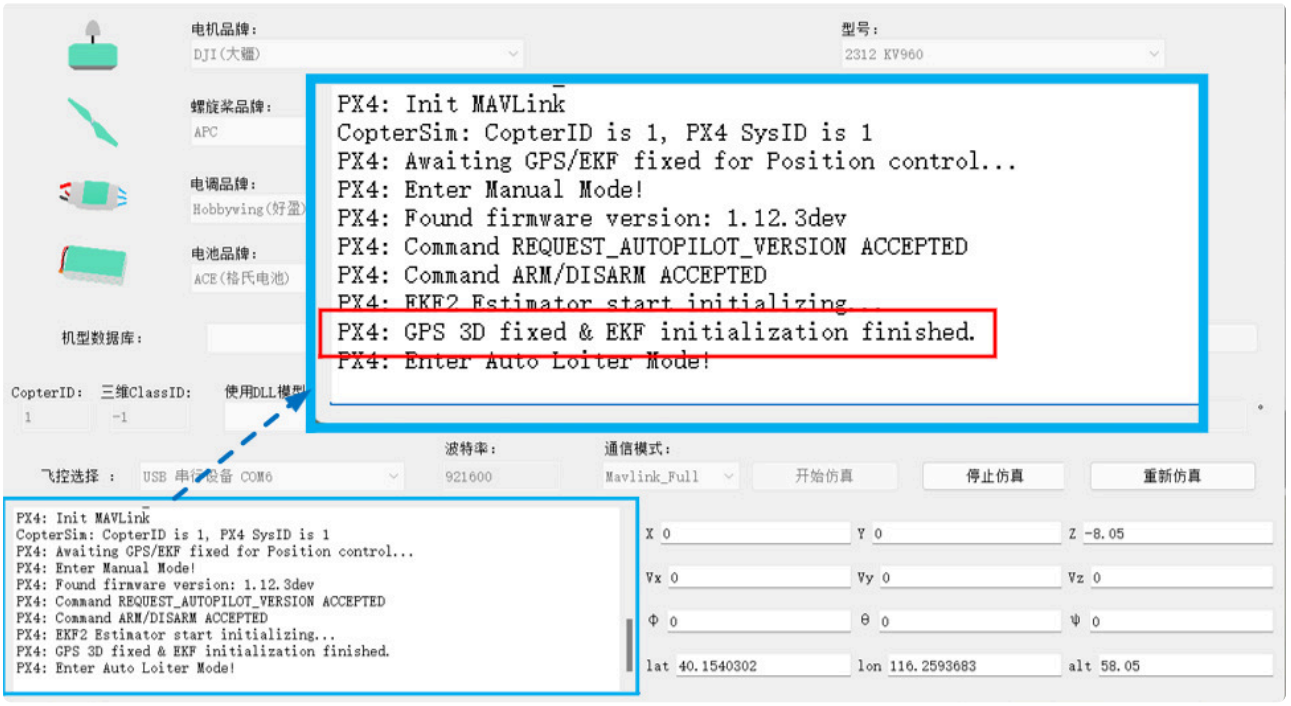
4.1.2 运行控制程序

双击运行"UavPythonRunALL.bat"，一键启动所有飞机控制程序。

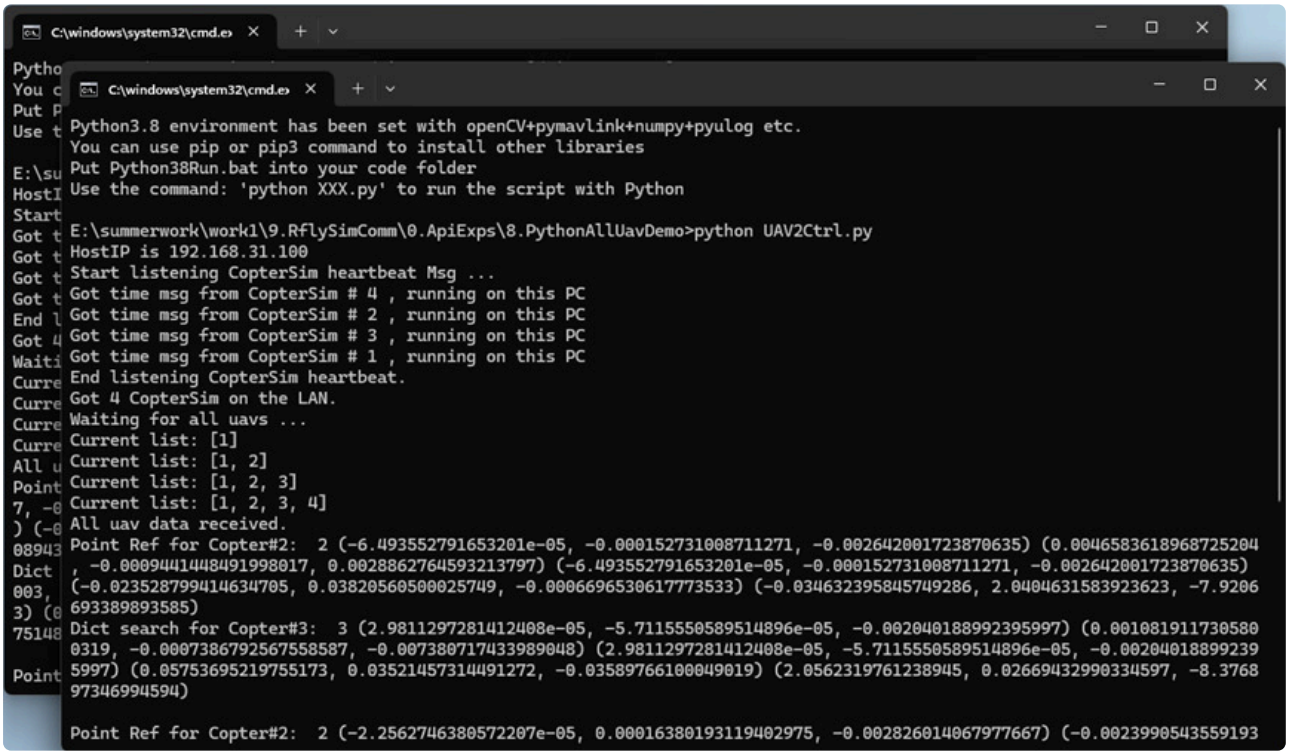
4.2 联机实验

1）准备4台任意系统主机（可以是NX主机、Ubuntu虚拟机、Windows电脑）。确保两台机器是在同一个局域网内。
2）按照[RflySim按安装理解]\RflySimAPIs\1.RflySimIntro\2.AdvExps\e3.PythonConfig实验将[RflySim安装路径]\RflySimAPIs\RflySimSDK\RflySimSDK库复制到每台主机上，并确保RflySimSDK已经导入当前主机的Python环境中。

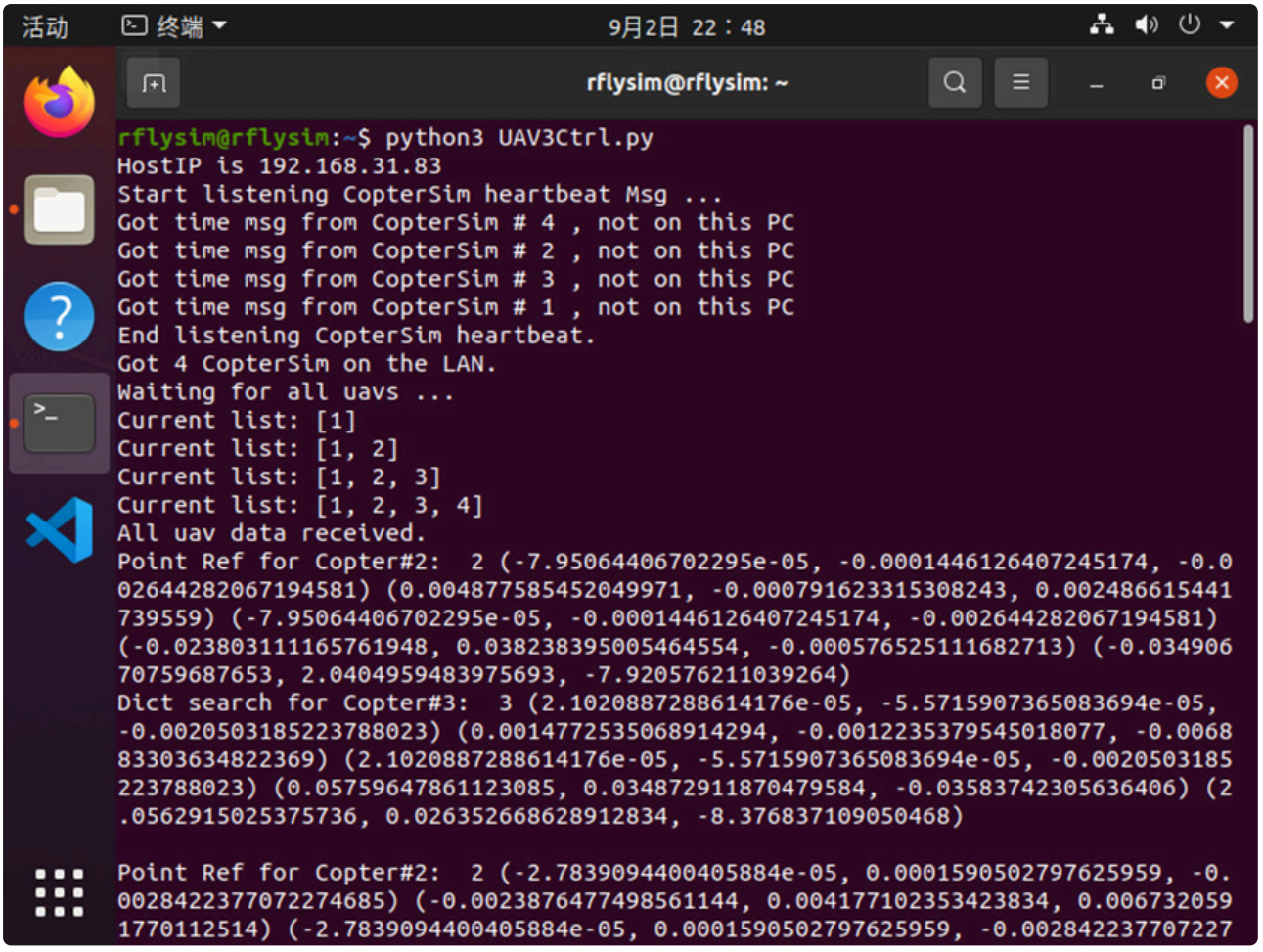
在主机电脑上，双击运行`SITLRun4MavlinkFull.bat`文件，等待仿真环境初始化完成。脚本将会启动 1 个 QGC 地面站， 1 个 CopterSim 、1 个 RflySim3D 软件， 等待CopterSim软件下侧日志栏必须打印出`GPS 3D fixed & EKF initialization finished`字样代表初始化完成。如下图所示：

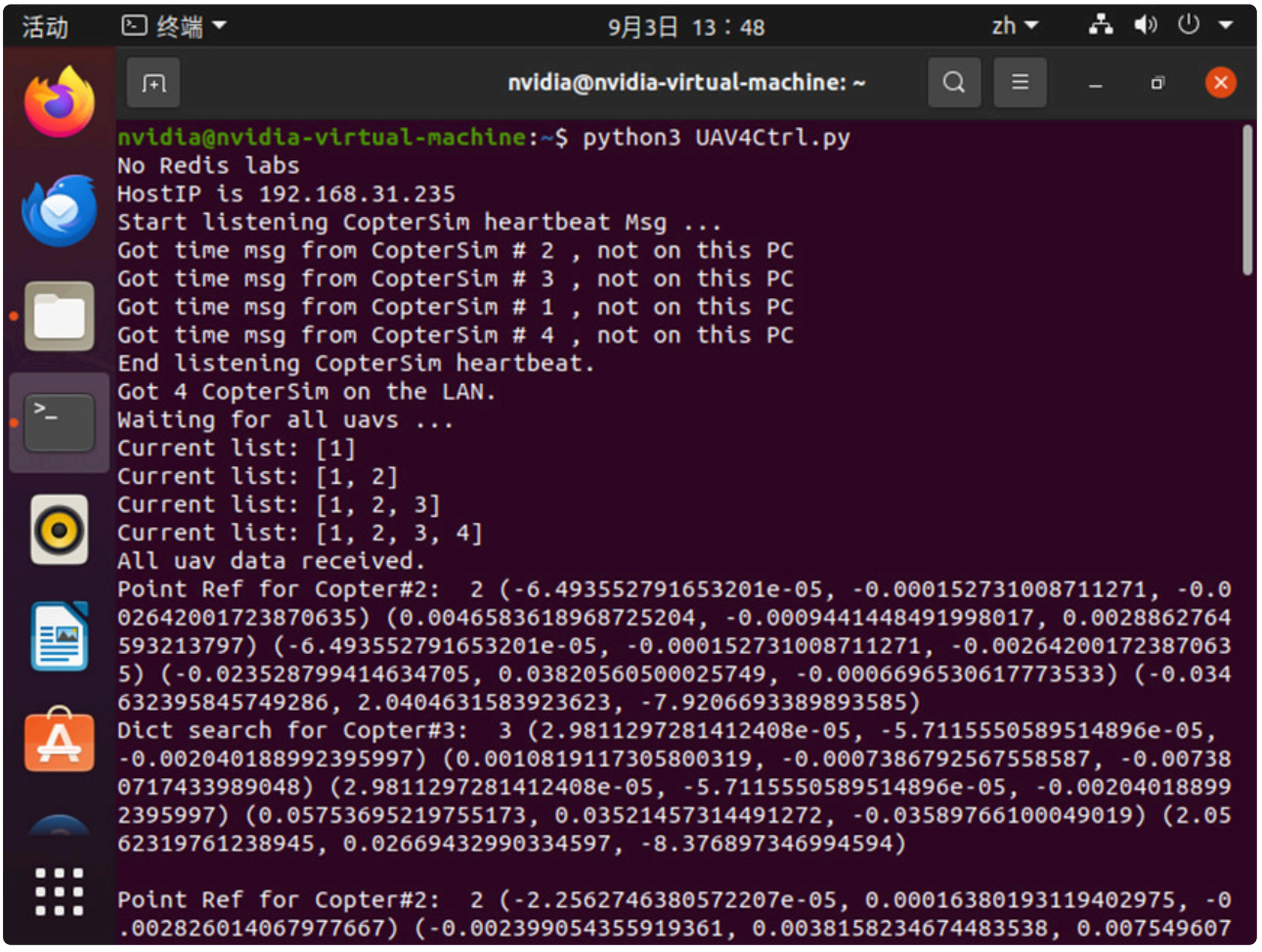


在Windows主机中，运行UAV1Ctrl.py和UAV2Ctrl.py。



在两台虚拟机中，分别运行UAV3Ctrl.py和UAV4Ctrl.py。


活动
终端
9月2日 22：48
rflysim@rflysim: ~
rflysim@rflysim:~$ python3 UAV3Ctrl.py
HostIP is 192.168.31.83
Start listening CopterSim heartbeat Msg ...
Got time msg from CopterSim # 4 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 2 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 3 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 1 , not on this PC
End listening CopterSim heartbeat.
Got 4 CopterSim on the LAN.
Waiting for all uavs ...
Current list: [1]
Current list: [1, 2]
Current list: [1, 2, 3]
Current list: [1, 2, 3, 4]
All uav data received.
Point Ref for Copter#2: 2 (-7.95064406702295e-05, -0.0001446126407245174, -0.0
02644282067194581) (0.004877585452049971, -0.000791623315308243, 0.002486615441
739559) (-7.95064406702295e-05, -0.0001446126407245174, -0.002644282067194581)
(-0.023803111165761948, 0.038238395005464554, -0.000576525111682713) (-0.034906
70759687653, 2.0404959483975693, -7.920576211039264)
Dict search for Copter#3: 3 (2.1020887288614176e-05, -5.5715907365083694e-05,
-0.0020503185223788023) (0.0014772535068914294, -0.0012235379545018077, -0.0068
83303634822369) (2.1020887288614176e-05, -5.5715907365083694e-05, -0.0020503185
223788023) (0.05759647861123085, 0.034872911870479584, -0.03583742305636406) (2
.0562915025375736, 0.026352668628912834, -8.376837109050468)
Point Ref for Copter#2: 2 (-2.7839094400405884e-05, 0.0001590502797625959, -0.
002842237707227 4685) (-0.0023876477498561144, 0.004177102353423834, 0.006732059
1770112514) (-2.7839094400405884e-05, 0.0001590502797625959, -0.002842237707227


活动
终端
9月3日 13：48
zh
nvidia@nvidia-virtual-machine: ~
nvidia@nvidia-virtual-machine:~$ python3 UAV4Ctrl.py
No Redis labs
HostIP is 192.168.31.235
Start listening CopterSim heartbeat Msg ...
Got time msg from CopterSim # 2 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 3 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 1 , not on this PC
Got time msg from CopterSim # 4 , not on this PC
End listening CopterSim heartbeat.
Got 4 CopterSim on the LAN.
Waiting for all uavs ...
Current list: [1]
Current list: [1, 2]
Current list: [1, 2, 3]
Current list: [1, 2, 3, 4]
All uav data received.
Point Ref for Copter#2: 2 (-6.493552791653201e-05, -0.000152731008711271, -0.0
02642001723870635) (0.0046583618968725204, -0.0009441448491998017, 0.0028862764
593213797) (-6.493552791653201e-05, -0.000152731008711271, -0.00264200172387063
5) (-0.023528799414634705, 0.03820560500025749, -0.0006696530617773533) (-0.034
632395845749286, 2.0404631583923623, -7.9206693389893585)
Dict search for Copter#3: 3 (2.9811297281412408e-05, -5.7115550589514896e-05,
-0.002040188992395997) (0.0010819117305800319, -0.0007386792567558587, -0.00738
0717433989048) (2.9811297281412408e-05, -5.7115550589514896e-05, -0.00204018899
2395997) (0.05753695219755173, 0.03521457314491272, -0.03589766100049019) (2.05
62319761238945, 0.02669432990334597, -8.376897346994594)
Point Ref for Copter#2: 2 (-2.2562746380572207e-05, 0.0001638019311940297 5, -0
.002826014067977667) (-0.002399054355919361, 0.0038158234674483538, 0.007549607

能看到和本地测试一样的效果，说明测试正确。

5. 关键知识点

实验整体思路和框架

本实验的核心是实现多架无人机之间的状态数据共享与协同监测。通过组播通信机制，各无人机控制节点可以接收来自其他无人机的状态信息，形成一个多节点协同的仿真系统。实验采用主从架构，其中一台计算机作为主控节点运行仿真环境，多台计算机作为从属节点运行控制脚本，通过网络通信实现数据交换和协同控制。

Python程序解析

UAV1Ctrl.py/UAV2Ctrl.py/UAV3Ctrl.py/UAV4Ctrl.py 程序解析

这些脚本文件是控制各无人机的核心程序，它们具有相同的结构，只是通过不同的CopterID进行区分。

初始化部分：

```
import time
import math
import sys
import ReqCopterSim
import PX4MavCtrlV4 as PX4MavCtrl
import NetSimAPIV4

CopterID=1  # 在UAV2Ctrl.py中是2，在UAV3Ctrl.py中是3，在UAV4Ctrl.py中是4
```

这部分代码导入必要的模块并设置无人机ID，用于标识当前脚本控制的无人机编号。

IP请求和配置部分：

```
# 创建一个CopterSim状态获取实例，并监听2s钟，获取局域网内所有CopterSim所在电脑的IP
req = ReqCopterSim.ReqCopterSim()

## 获取目标电脑IP，并且配置CopterSim回传数据到本电脑
# 获取到指定CopterID的CopterSim所在电脑的IP
# 注：Windows下运行本函数获取TargetIP=127.0.0.1，如果在其他电脑上运行，获取CopterID对应电脑的IP
TargetIP = req.getSimIpID(CopterID)

# 请求目标CopterSim将数据返回到本电脑
# 通过本接口，可以不用再去bat脚本里面填写IP地址了
req.sendReSimIP(CopterID)
```

这一部分用于获取指定无人机所在的计算机IP地址，并配置该无人机将数据回传到当前计算机。这使得系统可以在分布式仿真环境中正常工作，无需手动配置IP地址。

通信实例创建部分：

```
# 创建#CopterID号飞机的通信实例，和CopterSim#CopterID号相连，使用TargetIP确保分布式仿真也能用
mav = PX4MavCtrl.PX4MavCtrler(CopterID,TargetIP)
net = NetSimAPIV4.NetSimAPI(mav)

# 这里使用MAVLink_Full模式来传输数据
mav.InitMavLoop()
```

创建MAVLink通信实例和网络API实例，初始化与指定无人机的通信连接。

组播通信配置部分：

```
# 将本机数据转发给组播IP和端口：'224.0.0.10'，60000，所有飞机都可以订阅
net.enNetForward()

# 开始监听所有发给60000端口的数据，所有飞机数据，会存放到net.UavData列表中
net.StartNetRec()
```

启用网络数据转发功能，将本机的无人机数据发送到组播地址'224.0.0.10'的60000端口，同时开始监听该端口接收其他节点发送的数据。

数据同步等待部分：

```python
# 请求的飞机列表，等到列表中飞机数据都收到后，再开始运行后续程序
reqUavList=[1,2,3,4]

curList=[]
print('Waiting for all uavs ...')

# 下面的函数检查是否收到指定的无人机数据，这里以1 2 3 4号飞机为例
while True:
    isAllRec=True

    for ID in reqUavList:
        if not net.UavDict.__contains__(str(ID)):
            isAllRec=False # 只要有一个飞机数据没收到，就继续等待
            break
        else:
           if ID not in curList:
               curList=curList + [ID]
               curList.sort()
               print('Current list:',curList)
    if isAllRec: # 所有飞机数据收到后，往下跳出等待循环
        print('All uav data received.')
        break

    time.sleep(0.5)
```

等待直到所有指定的无人机数据都接收到，确保协同工作的基础条件满足。

数据访问和显示部分：

```
# 分别获取1/2/3/4号飞机的数据指针
uav1 = net.UavDict['1']
uav2 = net.UavDict['2']
uav3 = net.UavDict['3']
uav4 = net.UavDict['4']


# 每隔1s打印指定飞机的数据
while True:
    # 直接打印指针
    print('Point Ref for Copter#2:
',uav2.CopterID,uav2.uavAngEular,uav2.uavVelNED,uav2.uavAngEular,uav2.uavPosNED,uav
2.uavGlobalPos)

    # 直接查询字典
    print('Dict search for Copter#3:
',net.UavDict['3'].CopterID,net.UavDict['3'].uavAngEular,net.UavDict['3'].uavVelNED
,net.UavDict['3'].uavAngEular,net.UavDict['3'].uavPosNED,net.UavDict['3'].uavGlobal
Pos)
    print('')
    time.sleep(5)
```

获取各无人机的数据指针，并持续打印指定无人机的状态信息，用于监控无人机的协同状态。

UavPythonRunALL.bat程序解析

```batch
if not defined PSP_PATH (
SET PSP_PATH=C:\PX4PSP
SET PSP_PATH_LINUX=/mnt/c/PX4PSP
)
start %PSP_PATH%\Python38\python.exe "%~dp0\UAV1Ctrl.py"
start %PSP_PATH%\Python38\python.exe "%~dp0\UAV2Ctrl.py"
start %PSP_PATH%\Python38\python.exe "%~dp0\UAV3Ctrl.py"
start %PSP_PATH%\Python38\python.exe "%~dp0\UAV4Ctrl.py"
```

```
这是一个批处理脚本，用于一键启动所有无人机控制脚本。它设置了Python路径并依次启动四架无人机的控制程序。

### [SITLRun4MavlinkFull.bat](SITLRun4MavlinkFull.bat)程序解析

这个脚本负责启动完整的4架无人机仿真环境，包括QGroundControl地面站、RflySim3D可视化界面和4个CopterSim实例。它还负责启动PX4 SITL仿真进程，实现完整的多无人机仿真环境。

# 6.参考资料

1. RflySim官方文档：https://rflysim.com/doc/zh/
2. PX4飞控开发指南：https://docs.px4.io/master/zh/
3. MAVLink协议详解：https://mavlink.io/zh/

# 7.常见问题

## Q1：运行[UavPythonRunALL.bat](UavPythonRunALL.bat)后，没有反应或者报错
A1：检查PSP_PATH环境变量是否正确设置，确认C:\PX4PSP路径下存在所需的软件包。另外，检查Python38是否正确安装并配置了相关依赖库。

## Q2：无法接收到来自其他无人机的数据
A2：检查网络配置是否正确，确保所有计算机在同一个局域网内。确认防火墙设置没有阻止UDP端口60000的通信。验证组播地址'224.0.0.10'是否在网络中被正确路由。

## Q3：仿真环境启动失败，CopterSim没有显示GPS固定信息
A3：等待更长时间让系统初始化完成，通常需要几十秒到一分钟。检查是否有权限问题，尝试以管理员身份运行批处理文件。确认PX4 SITL和相关组件是否正确安装.
```

---

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