

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

基于DistSim自定义IP16机实验

1.2 实验目的

本实验旨在演示如何在两台电脑之间建立分布式通信系统，控制16架无人机进行协同飞行。通过此实验可以了解分布式仿真系统的配置方法、网络通信设置以及多机协同控制的基本原理。

1.3 关键知识点

关键知识点1：分布式系统架构设计

实验采用双机分布式架构，其中一台电脑(PC1)作为主控节点，另一台电脑(PC2)作为从属节点。这种架构允许负载分布，提高系统可靠性和扩展性。主节点负责协调控制指令的发送，而从节点执行相应的仿真任务。

关键知识点2：UDP通信协议应用

系统使用UDP(用户数据报协议)进行节点间通信。UDP是一种无连接的传输层协议，具有低延迟的特点，适合实时性要求高的无人机控制场景。相比TCP协议，UDP更适合用于无人机位置信息等时效性强的数据传输。

关键知识点3：多机协同控制策略

实验实现了16架无人机同时画圆飞行的协同控制。通过预设的飞行轨迹算法，所有无人机能够按照既定路径同步飞行，展示了多无人机系统中的编队控制技术。

关键知识点4：网络配置与IP地址管理

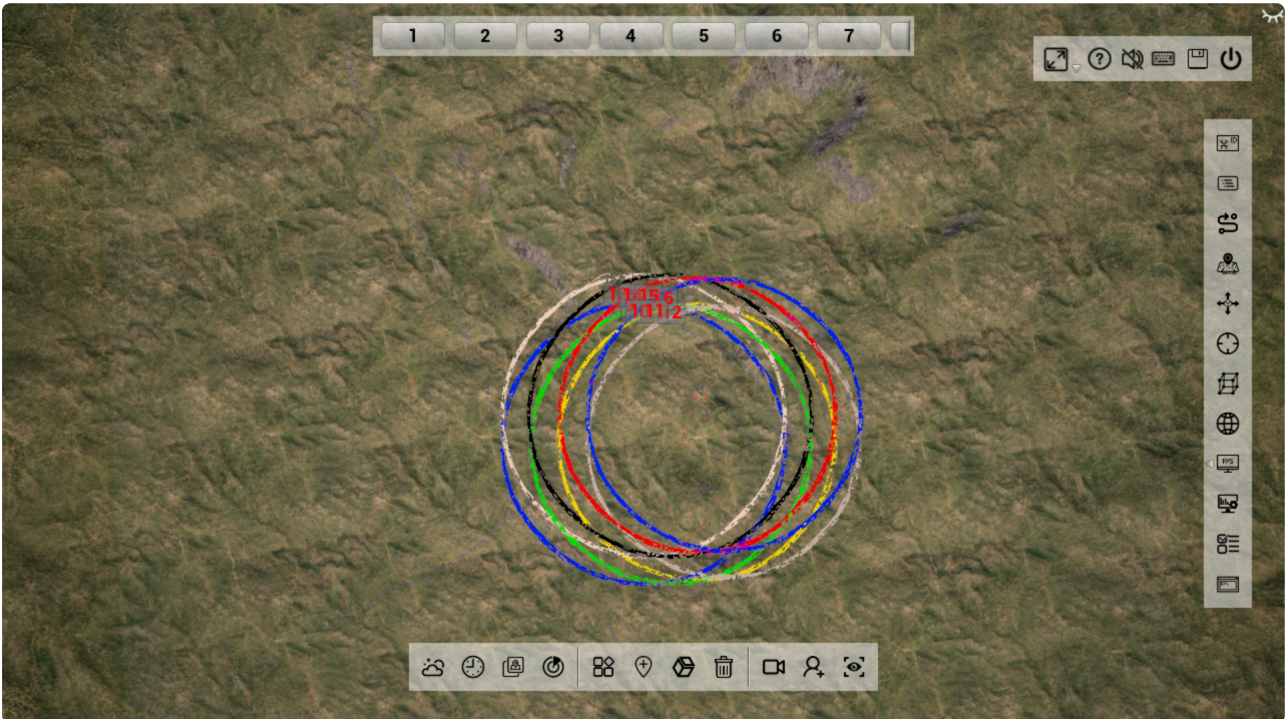
系统需要精确配置各节点的IP地址以确保通信正常。每个节点都需要正确设置本机和远程主机的IP地址，这是分布式系统正常工作的基础要求。

关键知识点5：自动化部署与脚本执行

通过DistSimMasterFlowCtrl.py主控脚本实现代码的自动化部署和执行。该脚本能够自动将最新的代码推送到各个节点，并触发相应程序的执行，大大简化了分布式系统的操作流程。

2.实验效果

在RflySim 3D中查看实验效果，2台电脑一共16架飞机分布式通信，画圆飞行。



3.文件目录

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\3.CustExps\e5.DSSwarmCtrls\3.CustIPDS8 UAVs\3.CustIPDS16UAVs

序号	文件名	文件描述
1	DistSimMasterFlowCtrl.py	分布式仿真主流程控制脚本，用于解析配置文件并控制整个分布式仿真流程
2	simulation_config.json	仿真配置文件，定义分布式节点和各阶段任务

序号	文件名	文件描述
3	LaunchGitBareServer.bat	启动Git裸仓库服务器脚本，用于代码分发
4	Python38Run.bat	Python环境设置脚本
5	deploys\uavSwarm-A\UDPSimple16Swarm.py	PC1节点控制脚本，控制16架无人机执行圆形飞行任务
6	deploys\uavSwarm-A\UDPSimple1_8Swarm.bat	PC1节点批处理脚本，启动编号1-8的无人机
7	deploys\uavSwarm-A\SITLQgcRflysim3D.bat	PC1节点启动SITL仿真、QGC和RflySim3D的脚本
8	deploys\uavSwarm-A\CloseAll.bat	PC1节点关闭所有程序的脚本
9	deploys\uavSwarm-C\UDPSimple9_16Swarm.bat	PC2节点批处理脚本，启动编号9-16的无人机
10	deploys\uavSwarm-C\CloseAll.bat	PC2节点关闭所有程序的脚本
11	readme.pdf	说明文档文件夹

4. 运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本，RflySim工具链，

4.2 硬件要求

笔记本/台式电脑2，交换机，网线2

①：安装方式请见：<https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf>

5. 实验步骤

5.1 步骤1：实验前准备

1. 根据

[安装目录]\PX4PSP\RflySimAPIs\10.RflySimSwarm\3.CustExps\e0.CustApiExps\2. DistSimCommAPIExps\1.HelloWorldTestExp\Readme.pdf"

进行配置DistSim软件，保证局域网内电脑可以相互通信，在进行以下操作。

5.2 步骤2：配置参数

1. 打开 `deploys\uavSwarm-A\UDPSimple16Swarm.py` 查看第9行和第14行，

```
deploys > uavSwarm-A > UDPSimple16Swarm.py > ...
1 import time
2 import math
3 import sys
4 import numpy as np
5 import PX4MavCtrlV4 as PX4MavCtrl
6
7 # 电脑1配置区，设IP地址为192.168.3.55，同时作为Python控制中心
8 VehilceNum1=8
9 IPOfPC1='192.168.151.2' # 因为我的python脚本要运行在第一台电脑上，因此与本机LocalHost通信即可
10 # 注：UDPSimple1_8Swarm.bat 中的IS_BROADCAST=0 也要修改成IS_BROADCAST=127.0.0.1
11
12 # 电脑2配置区，设IP地址为192.168.3.80，作为仿真机
13 VehilceNum2=8
14 IPOfPC2='192.168.151.3' # 第二台电脑的IP地址，用于向目标电脑发送Python控制指令
15 # 注：UDPSimple9_16Swarm.bat 中的IS_BROADCAST=0 也要修改成第一台电脑地址IS_BROADCAST=192.168.3.55
16 # 注：UDPSimple9_16Swarm.bat的飞机编号要从9开始，因此要修改START_INDEX=0为START_INDEX=9
```

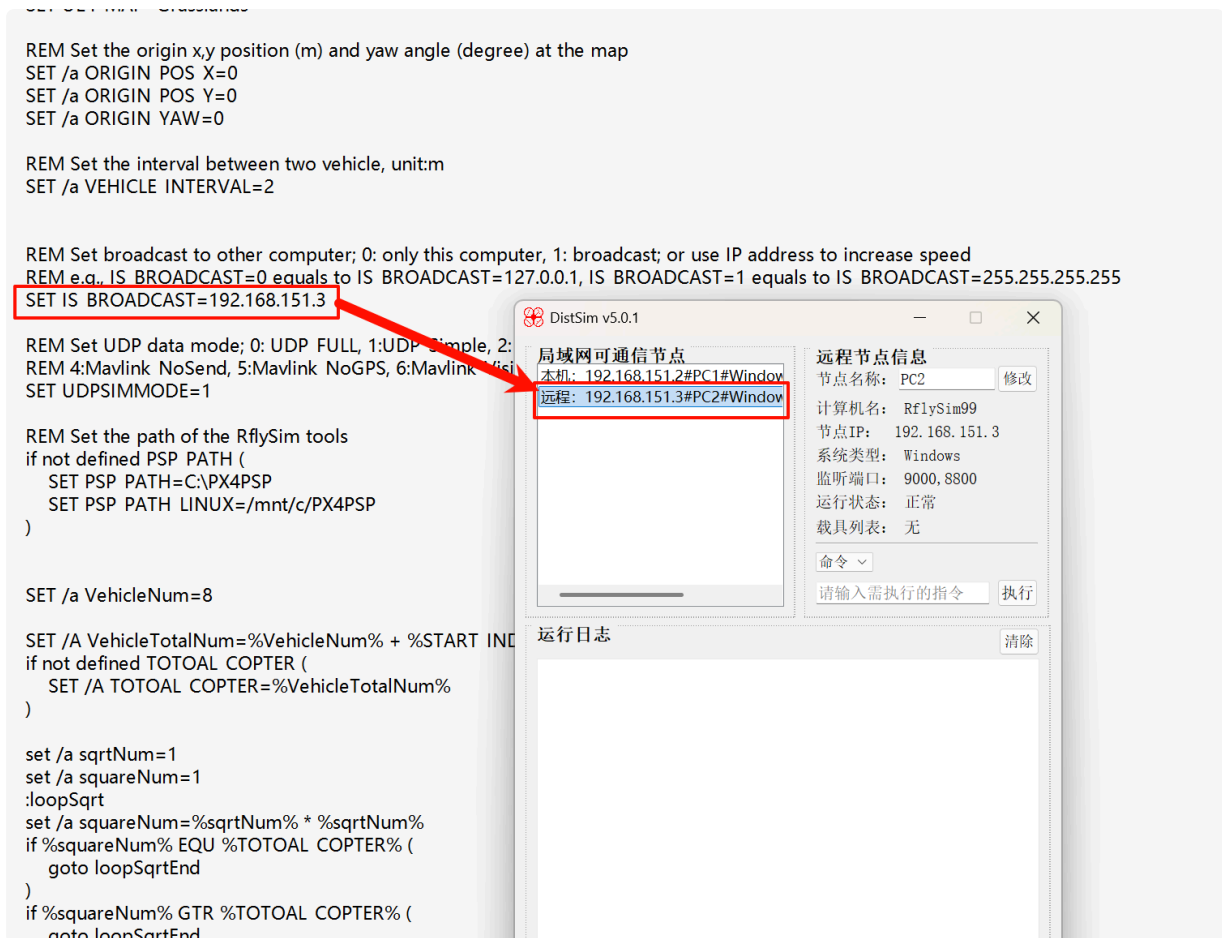
2. 使用运行程序的电脑，根据DistSim软件配置对应ip,本机对应PC1，远程机对应PC2，

The screenshot shows a terminal window with the script content from the previous block. A DistSim v5.0.1 configuration window is overlaid on top. The '局域网可通信节点' (Local Area Network Communicable Nodes) field contains the following entries:

- 本机: 192.168.151.2#PC1#Window
- 远程: 192.168.151.3#PC2#Window

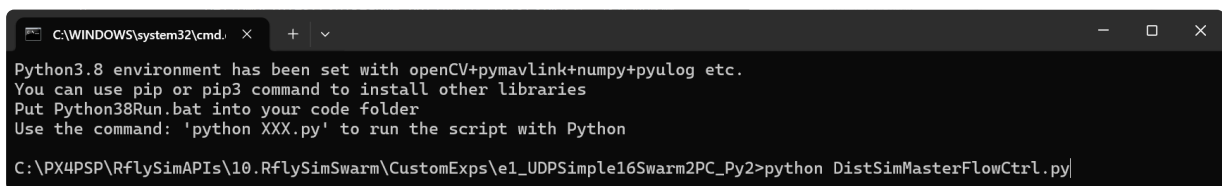
Red arrows in the image point from the script's `IPOfPC1='192.168.151.2'` and `IPOfPC2='192.168.151.3'` lines to the corresponding entries in the DistSim window. The '本地节点信息' (Local Node Information) section on the right shows: 节点名称: PC1, 计算机名: DESKTOP-IUNLHBI, 节点IP: 192.168.151.2, 系统类型: Windows, 监听端口: 9000, 8800, 运行状态: 正常, 载具列表: 无.

- 使用编辑器再次打开 `deloys\uavSwarm-C\UDPSimple9_16Swarm.bat` 脚本，找到 `S_BROADCAST=0`，根据运行程序电脑的DistSim软件的远程的ip地址填写，保存。



5.3 步骤3：运行程序

- 打开 `Python38Run.bat` 输入 `python DistSimMasterFlowCtrl.py` 并运行。



- 在运行之后，在重新部署各个节点，输入Y键然后执行，等待部署完成。

```

C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
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

C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\10.RfLySimSwarm\CustomExps\e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2>python DistSimMasterFlowCtrl.py
HostIP is 192.168.31.75
2025-11-20 11:19:42.049: [PC1]执行指令: start /wait %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\UdpPortFree.bat 8
2025-11-20 11:19:47.249: [PC2]执行指令: start /wait %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\UdpPortFree.bat 16
2025-11-20 11:19:51.516: 预处理: 释放参与分布式仿真的节点已被占用的仿真资源 (软件、端口) ...
2025-11-20 11:19:51.516: 阶段1, 开始部署
将重新部署各节点, 若有修改数据, 请先保存备份, 是否要继续? (Y/N): Y

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - LaunchGitBareServer.bat
Run Git Command: ['wsl', '-d', 'RfLySim-20.04', '-e', 'bash', '-lic', 'git status --porcelain']
成功删除: C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\10.RfLySimSwarm\CustomExps\e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2\repos\UavSwarm-A
Run Git Command: ['wsl', '-d', 'RfLySim-20.04', '-e', 'bash', '-lic', 'git clone --bare /mnt/c/PX4PSP/RfLySimAPIs/10.RfLySimSwarm/CustomExps/e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2/deployes/uavSwarm-A /mnt/c/PX4PSP/RfLySimAPIs/10.RfLySimSwarm/CustomExps/e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2/repos/uavSwarm-A']
Run Git Command: ['wsl', '-d', 'RfLySim-20.04', '-e', 'bash', '-lic', 'git status --porcelain']
成功删除: C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\10.RfLySimSwarm\CustomExps\e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2\repos\UavSwarm-C
Run Git Command: ['wsl', '-d', 'RfLySim-20.04', '-e', 'bash', '-lic', 'git clone --bare /mnt/c/PX4PSP/RfLySimAPIs/10.RfLySimSwarm/CustomExps/e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2/deployes/uavSwarm-C /mnt/c/PX4PSP/RfLySimAPIs/10.RfLySimSwarm/CustomExps/e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2/repos/uavSwarm-C']
Launch Git Bare Server Success.
Git Server is Running. Do not Close it.

```

3. 在部署节点代码完成后, 在PC1电脑打开8个Nouic的CopterSim, 1个QC, 1个RfLySim 3D, 在PC2打开8个Nouic的CopterSim, 1个RfLySim 3D, 等待所有节点代码部署完成。

```

C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
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

C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\10.RfLySimSwarm\CustomExps\e1_UDPSimple16Swarm2PC_Py2>python DistSimMasterFlowCtrl.py
HostIP is 192.168.31.75
2025-11-20 11:19:42.049: [PC1]执行指令: start /wait %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\UdpPortFree.bat 8
2025-11-20 11:19:47.249: [PC2]执行指令: start /wait %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\UdpPortFree.bat 16
2025-11-20 11:19:51.516: 预处理: 释放参与分布式仿真的节点已被占用的仿真资源 (软件、端口) ...
2025-11-20 11:19:51.516: 阶段1, 开始部署...
将重新部署各节点, 若有修改数据, 请先保存备份, 是否要继续? (Y/N): Y
2025-11-20 11:21:12.809: [PC1]执行指令: start LaunchGitBareServer.bat
2025-11-20 11:21:17.856: [PC1]执行指令: python %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\clone_git_last_version.py git://192.168.151.2/uavSwarm-A PC1
2025-11-20 11:21:20.359: [PC2]执行指令: python %PSP_PATH%\RfLySimAPIs\RfLySimSDK\swarm\distsim\clone_git_last_version.py git://192.168.151.2/uavSwarm-C PC2
2025-11-20 11:21:21.327: 阶段2, 启动仿真...
2025-11-20 11:21:21.327: [PC1]执行指令: start PC1\UDPSimple1_8Swarm.bat
2025-11-20 11:21:21.365: [PC2]执行指令: start PC2\UDPSimple9_16Swarm.bat
2025-11-20 11:21:23.398: 阶段3, 进行参与仿真的CopterSim状态检测...
2025-11-20 11:21:28.399: 正在检测局域网内的CopterID: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]
GetUe4EKFFinit listening on 224.0.0.10:20009, Start check the 3DFixed Status.

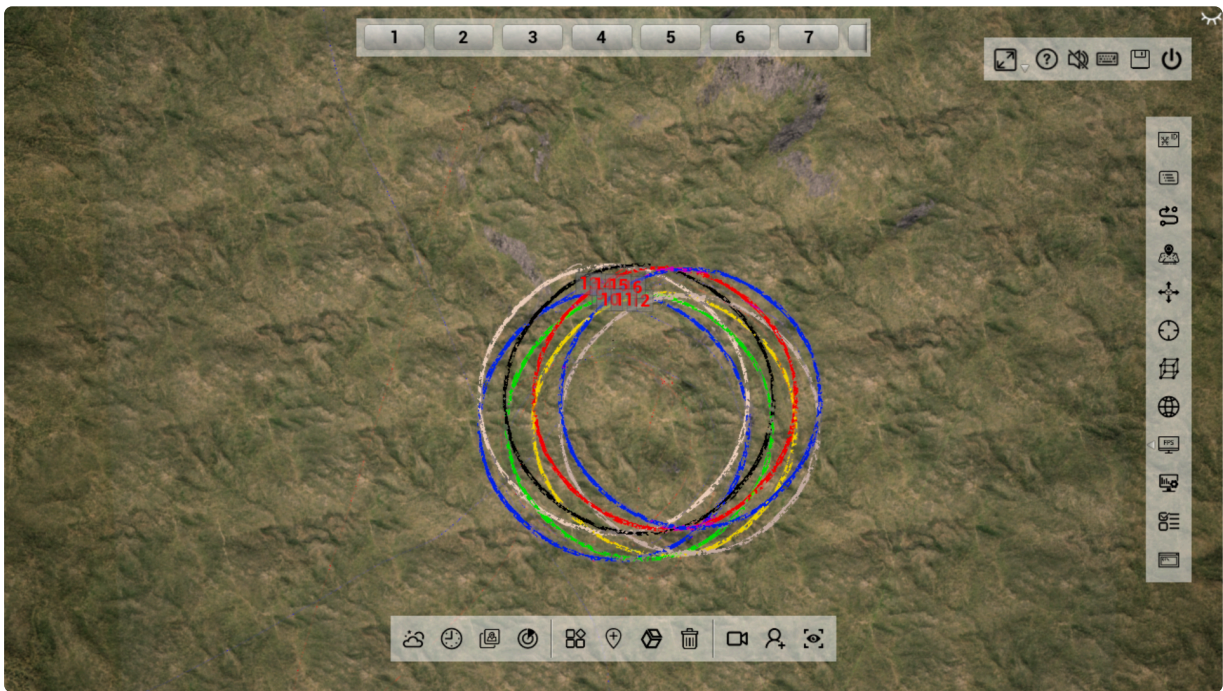
```

4. 脚本会识别CopterSim初始化完成, 在初始化完成后, 启动控制程序。

```
git://192.168.151.2/uavSwarm-C PC2
2025-11-20 11:21:21.327: 阶段2, 启动仿真...
2025-11-20 11:21:21.327: [PC1]执行指令: start PC1\UDPSimple1_8Swarm.bat
2025-11-20 11:21:21.365: [PC2]执行指令: start PC2\UDPSimple9_16Swarm.bat
2025-11-20 11:21:23.398: 阶段3, 进行参与仿真的CopterSim状态检测...
2025-11-20 11:21:28.399: 正在检测局域网内的CopterID: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]
GetUe4EKFFinit listening on 224.0.0.10:20009, Start check the 3DFixed Status.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 9 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 10 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 11 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 12 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 1 is GPS3DFixed.
CopterID 13 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化.CopterID 2 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 14 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 3 is GPS3DFixed.
CopterID 15 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 4 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 16 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 5 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 6 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 7 is GPS3DFixed.
等待集群所有CopterSim完成初始化..CopterID 8 is GPS3DFixed.
All CopterSim is GPS3DFixed. Now we can start the simulation.
2025-11-20 11:22:23.439: 阶段4, 启动仿真对象控制脚本...
2025-11-20 11:22:23.440: [PC1]执行指令: start cmd /k python PC1\UDPSimple16Swarm.py
2025-11-20 11:22:25.509: 阶段5, 进入用户操作...
```

输入任意指令, 结束分布式集群仿真, 关闭所有窗口

5. 可以在RflySim 3D中查看实验效果, 2台电脑一共16架飞机分布式通信, 画圆飞行。



7. 常见问题

问题1: 在运行DistSimMasterFlowCtrl.py文件时部署代码报错, 什么原因?

6.参考资料

1.无.