1、实验名称及目的

飞机组网实验：飞机在飞行过程中获取其他飞机的飞行状态信息。

2、实验原理

以 1 号飞机为例，直接指定了发往 2 3 4 号飞机的端口 60002 60003 60004，同时 2 3 4 号飞机也都指定了会发往 60001 号端口（被 1 号飞机监听）。因此，每个飞机都能收到其他三个飞机的数据。

3、实验效果

可以观察到飞机依次飞出。增加监听指令后，可以看到飞机收到其他飞机的信息。

4、文件目录

文件夹/文件名称	说明
Python38Run	仿真配置文件
SITLRun4MavlinkFull	软件在环仿真配置文件
UAV1Ctrl	飞机控制程序

5、运行环境

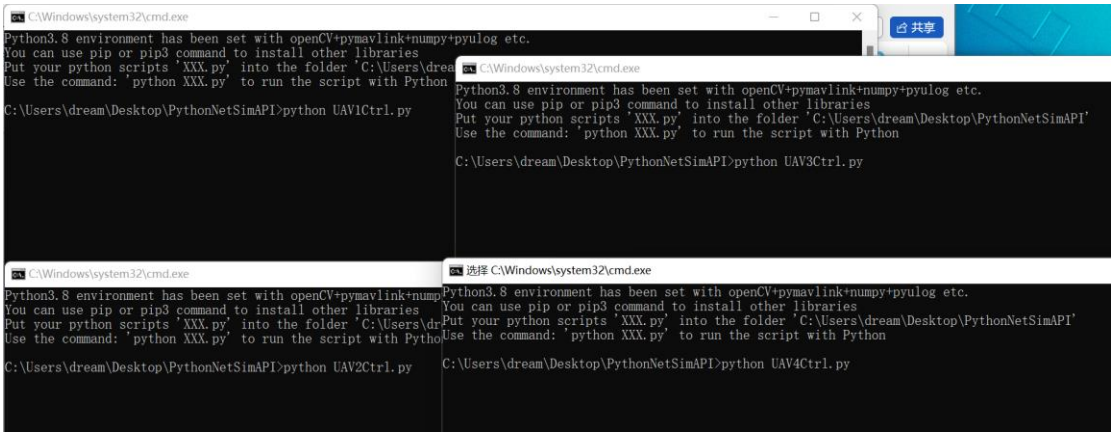
序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑[①]	1
2	RflySim 平台免费版		

6、 实验步骤

Step 1：

运行 SITLRun4MavlinkFull.bat 会创建四个飞机，双击 Python38Run.bat 四次，会创建四个命令提示框，在四个 Python 命令提示框中，分别输入下面四条指令的 1 条（现阶段只输入，不要回车）

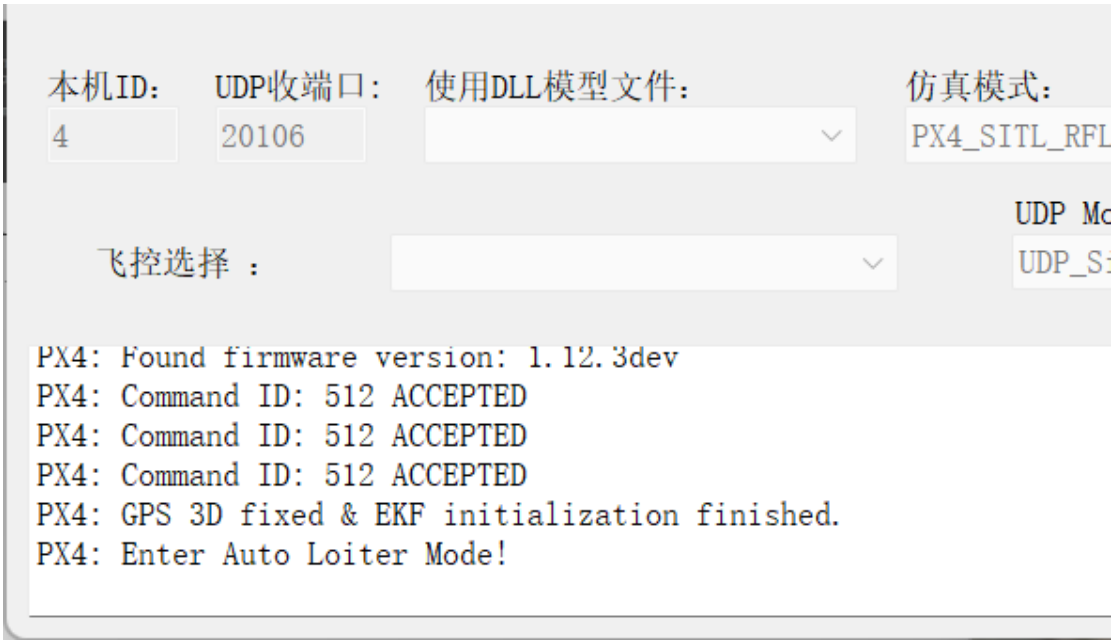
python UAV1Ctrl.py
python UAV2Ctrl.py
python UAV3Ctrl.py
python UAV4Ctrl.py



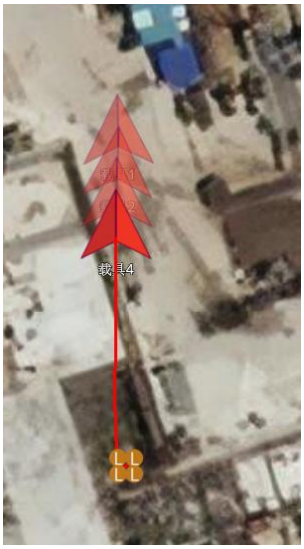
注意：输入"python u"然后按 Tab 键，可以快速补全

Step 2:

等待 RflySIm3D 显示所有飞机已 fixed，或 4 号 CopterSIM 上看到初始化完毕



依次在四个 Python 命令框中按下回车，执行四个 Python 程序，可以看到四个飞机一个跟一个地飞出去



在 30 秒左右，1 号飞机会停一下，其他三个飞机依次停止，各自相距 1 米，停顿 10 秒后，四个飞机开始依次跟踪向东飞

7、 参考资料

主要是修改了 PX4MavCtrlV4.py 增加了几个函数机制

1）增加一个事件，使得收到 CopterSim 的包后，能够通知上层的 NetSimAPIV4.py 去做数据转发

```
self.netEvent = threading.Event()
```

2）增加了一个函数，使能事件

```
    def netForwardData(self):
        self.netEvent.set()
```

3）在 def getMavMsg(self)函数中，等数据接收并更新完毕后，调用 netForwardData 函数，通知上层去将数据发出。

其次是增加了一个 NetSimAPIV4.py 接口类函数

1. 使能方法：要先建立 mav 实例，再以此建立 net 实例

```
import PX4MavCtrlV4 as PX4MavCtrl
import NetSimAPIV4

#Create a new MAVLink communication instance, UDP sending port
(CopterSim's receving port) is 20100
# 创建#1 号飞机的通信实例，和 CopterSim#1 号相连
mav = PX4MavCtrl.PX4MavCtrler(20100)
net = NetSimAPIV4.NetSimAPI(mav)
```

2. 增加了转发使能函数

```
def enNetForward(self,PortList=[60002],targetIP='224.0.0.10'):
```

通过这个接口，可以让本飞机，将自己收到的数据，发送到指定 targetIP 和端口 PortList（端口可以指定多个）

注意，我们这里默认使用 60000 系列端口来作为网路通信接口

相关代码包括

```
    # 启用网络转发，将本机收到的消息，发给 CopterIDList 飞机列表，使用默认
60000 系列端口
    def enNet2UavID(self,CopterIDList=[2]): # 默认只发给 2 号飞机
        if not isinstance(CopterIDList,list): # 如果是一维标量，就转为数组
            CopterIDList = [CopterIDList]
        PortList=[]
        for i in range(len(CopterIDList)):
            PortList = PortList + [CopterIDList[i]+60000] # 自动填充默认
端口规则
        self.enNetForward(PortList)

    # 启用网络转发，将本机收到的消息，转发给 targetIP 上的 PortList 系列端口
    # 默认发给 2 号飞机端口 60002，以及组播 IP 224.0.0.10
    def enNetForward(self,PortList=[60002],targetIP='224.0.0.10'):
        self.ForwardIP=targetIP
        if not isinstance(PortList,list):# 如果是一维标量，就转为数组
            PortList=[PortList]
        self.ForwardPort=PortList
        self.enForward=True
```

3. 转发的数据机制

在 mav 的 getMavMsg()函数中，等数据收到之后，调用 mav.netForwardData()函数，会发送事件，被 net 中的 getMavEvent 死循环监听到，调 netForwardBuf，用会自动将数据转发到上面指定的端口和 IP

注意：netForwardBuf 函数在转发时，会在数据包最前面加上校验位和 CopterID 和接受消息的飞机信息

包头协议：

```
#checkSum=12345678 # int32 型，校验位
#CopterID, int32 型，当前飞机的 ID 号
#sendMode,  int32 型，发送模式，有组播，也有单拨
#StartIdx,  int32 型，发送列表的起始飞机序号
#SendMask,  uinit64 型，从序号开始的 64 个飞机是否发送
# 编码规则 iiiiQ
# 注意：sendMode、StartIdx、和 SendMask 是组网仿真程序需要使用的，接收端用不
着可忽略
```

转发的数据结构为

```
# double uavTimeStmp 时间戳
# float uavAngEular[3] 欧拉角 弧度
# float uavVelNED[3] 速度 米
# double uavPosGPSHome[3] GPS 维度（度）、经度（度）、高度（米）
# double uavPosNED[3] 本地位置 米 （相对起飞点）
# double uavGlobalPos[3] 全局位置 （相对与所有飞机的地图中心）
# d6f9d = 长度 104
```

相关代码：

```
    def getMavEvent(self):

        while True:
            if not self.enForward:
                break

            # 如果 mav 收到了消息
            self.mav.netEvent.wait()


            # double uavTimeStmp 时间戳
            # float uavAngEular[3] 欧拉角 弧度
            # float uavVelNED[3] 速度 米
            # double uavPosGPSHome[3] GPS 维度（度）、经度（度）、高度
（米）
            # double uavPosNED[3] 本地位置 米 （相对起飞点）
            # double uavGlobalPos[3] 全局位置 （相对与所有飞机的地图中心）
            # d6f9d = 长度 104
            if self.enForward: #如果开启网络转发
                # 提取 mav 的必要数据，向外转发
                buf=struct.pack('d6f9d',self.mav.uavTimeStmp,*self.mav.u
avAngEular,*self.mav.uavVelNED,*self.mav.uavPosGPSHome,*self.mav.uavPos
NED,*self.mav.uavGlobalPos)
                self.netForwardBuf(buf)


    def netForwardBuf(self,buf):
        # 将数据发送到 ForwardIP 和 ForwardPort（端口或列表）
        if self.enForward: #如果开启网络转发
            checkSum=12345678 # int32 型，校验位
            CopterID = self.CopterID # int32 型，当前飞机的 ID 号
            sendMode = self.netSendMode # int32 型，发送模式，有组播，也有
单拨
            for j in range (len(self.netSendStarList)):
```

```
                StartIdx = self.netSendStarList[j] # int32 型，发送列表的起始飞机序号
                SendMask = self.netSendMaskList[j] # uinit64 型，从序号开始的 64 个飞机是否发送

                #checkSum=12345678 # int32 型，校验位
                #CopterID, int32 型，当前飞机的 ID 号
                #sendMode,  int32 型，发送模式，有组播，也有单拨
                #StartIdx,  int32 型，发送列表的起始飞机序号
                #SendMask,  uinit64 型，从序号开始的 64 个飞机是否发送
                # 编码规则 iiiiQ
                # 注意：sendMode、StartIdx、和 SendMask 是组网仿真程序需要使用的，接收端用不着可忽略
                bufID = struct.pack('iiiiQ',checkSum,CopterID,sendMode,StartIdx,SendMask) # 封装校验位和飞机 ID
                myBuf = bufID+buf #包头封装一个飞机 ID 号

                for i in range(len(self.ForwardPort)): # 向端口列表转发数据
                    self.udp_socket.sendto(myBuf,(self.ForwardIP,self.ForwardPort[i])) # 将数据转发给网络仿真器
                    #print('Send')
```

4. 增加监听函数和接口，使得 mav 可以监听到发往自己的数据

```
StartNetRec(self,MultiPort=60001,MultiIP='224.0.0.10')
```

监听到的数据会存在 mav.UavData 这个结构体列表中

UavData 的定义如下：

```
# UAVSendData
# double uavTimeStmp 时间戳
# float uavAngEular[3] 欧拉角 弧度
# float uavVelNED[3] 速度 米
# double uavPosGPSHome[3] GPS 维度（度）、经度（度）、高度（米）
# double uavPosNED[3] 本地位置 米 （相对起飞点）
# double uavGlobalPos[3] 全局位置 （相对与所有飞机的地图中心）
# d6f9d = 长度 104
class UAVSendData:
    def __init__(self):
```

```
        self.hasUpdate=False
        self.CopterID=0
        self.uavTimeStmp=0
        self.uavAngEular=[0,0,0]
        self.uavVelNED=[0,0,0]
        self.uavPosGPSHome=[0,0,0]
        self.uavPosNED=[0,0,0]
        self.uavGlobalPos=[0,0,0]
```

注意：hasUpdate 为是否有数据更新标志位，每次读数后，应该置 0；收到数据后会自动置于 1，通过次机制，可以判断数据是否阻塞。
注意：UavData 是一个列表，里面会存储所有收到的飞机的数据，以 CopterID 作为区分。

相关代码如下：

```
    # 开始监听发往自己飞机的数据，端口根据 CopterID 自动设置
    def StartNetRecOwn(self):
        self.StartNetRec(60000+self.CopterID)

    # 开启接收发往指定飞机的数据
    # 默认接收 1 号飞机端口 60001，和组播 IP 224.0.0.10
    def StartNetRec(self,MultiPort=60001,MultiIP='224.0.0.10'):
        # 设置组播监听 IP 和地址，并开启监听
        ANY = '0.0.0.0'
        self.udp_socketNet = socket.socket(socket.AF_INET,
socket.SOCK_DGRAM)  # Create socket
        self.udp_socketNet.setsockopt(socket.SOL_SOCKET,
socket.SO_BROADCAST, 1)
        self.udp_socketNet.bind((ANY, MultiPort))
        status = self.udp_socketNet.setsockopt(socket.IPPROTO_IP,
            socket.IP_ADD_MEMBERSHIP,
            socket.inet_aton(MultiIP) + socket.inet_aton(ANY))
        self.stopFlagNet=False
        self.t1Net = threading.Thread(target=self.getMavMsgNet, args=())
        self.t1Net.start()


    def endNetLoop(self):
        """ The same as stopRun(), stop message listenning from 20100 or
serial port
        """
```

```
        self.stopFlagNet=True
        self.t1Net.join()
        self.udp_socketNet.close()

    # 在这里接收来自组播端口的飞机数据，目前只支持 UDP_FULL 和 UDP_Simple
    def getMavMsgNet(self):
        """ Start loop to listen mavlink data from 20100 series port or
COM port
        """

        while True:
            if self.stopFlagNet:
                break

            try:
                buf,addr = self.udp_socketNet.recvfrom(65500)
                #print('Data Rec')
                # 如果数据包太小，说明不正确，直接跳过
                if len(buf)<=24:
                    continue
                #checkSum=12345678 # int32 型，校验位
                #CopterID, int32 型，当前飞机的 ID 号
                #sendMode,  int32 型，发送模式，有组播，也有单拨
                #StartIdx,  int32 型，发送列表的起始飞机序号
                #SendMask,  uinit64 型，从序号开始的 64 个飞机是否发送
                # 编码规则 iiiiQ
                # 注意：sendMode、StartIdx、和 SendMask 是组网仿真程序需要使
用的，接收端用不着可忽略
                checkSum,CopterID,sendMode,StartIdx,SendMask=struct.unpa
ck('iiiiQ',buf[0:24]) # 获取校验位和通知
                if checkSum==12345678: # 如果校验通过,符合预设的密码（这里
是为了排除无干的消息）
                    buf = buf[24:]
                    # UAVSendData
                    # double uavTimeStmp 时间戳
                    # float uavAngEular[3] 欧拉角 弧度
                    # float uavVelNED[3] 速度 米
                    # double uavPosGPSHome[3] GPS 维度（度）、经度（度）、
高度（米）
                    # double uavPosNED[3] 本地位置 米 （相对起飞点）
                    # double uavGlobalPos[3] 全局位置 （相对与所有飞机的地
图中心）
                    # d6f9d = 长度 104
```

```
                    if len(buf)==104:
                        UIV=struct.unpack('d6f9d',buf)
                        uavTimeStmp=UIV[0]
                        uavAngEular=UIV[1:4]
                        uavVelNED=UIV[4:7]
                        uavPosGPSHome=UIV[7:10]
                        uavPosNED=UIV[10:13]
                        uavGlobalPos=UIV[13:16]

                        isCopterExist=False
                        for i in range(len(self.UavData)): #遍历数据列表，
飞机 ID 有没有出现过
                            if self.UavData[i].CopterID == CopterID: #如
果出现过，就直接更新数据
                                idx=i
                                isCopterExist=True
                                self.UavData[idx].hasUpdate=True
                                self.UavData[idx].uavTimeStmp=uavTimeStmp
                                self.UavData[idx].uavAngEular=uavAngEular
                                self.UavData[idx].uavVelNED = uavVelNED
                                self.UavData[idx].uavPosGPSHome =
uavPosGPSHome
                                self.UavData[idx].uavPosNED = uavPosNED
                                self.UavData[idx].uavGlobalPos =
uavGlobalPos
                                break
                        if not isCopterExist:#如果没有出现过，就创建一个结
构体
                            vsr=UAVSendData()
                            vsr.hasUpdate=True
                            vsr.CopterID = CopterID
                            vsr.uavTimeStmp=uavTimeStmp
                            vsr.uavAngEular=uavAngEular
                            vsr.uavVelNED = uavVelNED
                            vsr.uavPosGPSHome = uavPosGPSHome
                            vsr.uavPosNED = uavPosNED
                            vsr.uavGlobalPos =
uavGlobalPos
                            self.UavData = self.UavData
+  [copy.deepcopy(vsr)] #扩充列表，增加一个元素

                except:
                    self.stopFlagNet=True
                    break
```

5. 增加数据包封装目标飞机 ID 列表功能

netAddUavSendList 可以输入一个待发送飞机的列表，函数对列表按每 64 位间隔内飞机划分为一组的原则，将飞机列表分为若干组，然后将飞机总列表存储在 self.netSendIDList 里面，将包头的起始飞机 ID 列表存储在 self.netSendStarList 中，将发送使能列表存储在 self.netSendMaskList 中。

设定好飞机列表后，包头中就包含了这个消息包的目标飞机，在组网仿真器中，会根据目标飞机 ID，将这个包转发出去，给到特定的飞机。

相关代码：

```
    def netResetSendList(self,sendMode=0): # 清空待发送列表
        self.netSendIDList=[0]
        self.netSendStarList=[0]
        self.netSendMaskList=[0]
        self.netSendMode=sendMode

    def netAddUavSendList(self,uavList=[]):

        for i in range(len(uavList)): # 遍历待发送飞机列表
            CurID = uavList[i]
            isIdExist=False
            for j in range(len(self.netSendIDList)): # 判断是否已经在列表
中
                if CurID== self.netSendIDList[j]:
                    isIdExist=True
                    break
            if not isIdExist: # 不在列表中就加入列表
                self.netSendIDList = self.netSendIDList + [CurID]

        # 开始更新目标发送列表

        if len(self.netSendIDList)==0: # 列表为空的话，就还原一下
            self.netSendIDList=[0]
            self.netSendStarList=[0]
            self.netSendMaskList=[0]
            return

        self.netSendIDList.sort() # 从小到大重新排序
```

```
        netGrp=[]
        self.netSendStarList=[]
        self.netSendMaskList=[]
        for i in range(len(self.netSendIDList)):
            curID = self.netSendIDList[i]
            if len(netGrp)==0:
                netGrp=[curID]
            else:
                if curID-netGrp[0]<64: # 如果还没有越界，就累加
                    netGrp=netGrp+[curID]

            # 到达
            if curID-netGrp[0]>=64 or i==len(self.netSendIDList)-1:
                # 开始将上一组数据，写到列表中
                startIdx = netGrp[0]
                mask = 0x0000000000000000 # 64 位的 mask
                for j in range(len(netGrp)):
                    dist = netGrp[j]-startIdx
                    mask = mask | 1<<dist
                self.netSendStarList = self.netSendStarList + [startIdx]
                self.netSendMaskList = self.netSendMaskList + [mask]

                # 如果超过 64 位了，则直接从新开启一组
                if curID-netGrp[0]>=64 and i<len(self.netSendIDList)-1:
                    netGrp=[curID]

                # 如果超过 64 位且刚好达到末尾，则直接计算矩阵
                if curID-netGrp[0]>=64 and i==len(self.netSendIDList)-1:
                    startIdx = curID
                    mask = 1
                    self.netSendStarList = self.netSendStarList +
[startIdx]
                    self.netSendMaskList = self.netSendMaskList + [mask]
```

6. 增加了请求飞机返回数据的接口

和发送一样，减了一些列表

```
        # 网络仿真时，请求消息的飞机 ID
        self.netReqIDList=[0]
        self.netReqStarList=[0]
        self.netReqMaskList=[0]
```

`netResetReqList` 函数可以重置列表

`netAddUavReqList` 函数可以增加列表

StartReqUavData 会开启一个线程，以每秒一次的频率，发送数据请求
EndReqUavData 可以结束线程
sendReqUavLoop 是发送线程死循环

发送的消息只有包头，但是 sendMode 设置成了 12345
sendMode = 12345 # int32 型，发送模式，有组播，也有单拨 # 这里 12345 表示是一个请求消息包

getMavMsgNet 在飞机的监听线程中，收到请求消息后，看一下自己的飞机是不是在列表中，如果在列表中，就将发送消息的飞机 ID，记录在本机的发送列表 netAddUavSendList 中，这样，后面数据就会往这个飞机发送一份。

8、常见问题