1.实验名称及目的

1.1实验名称

基于系统模板的差动无人车模型验证（Python速度控制）

1.2实验目的

软硬件在环仿真模式下，以Python的方式通过平台速度控制接口实现单辆/多辆无人车速度控制。

1.3关键知识点

软/硬件在环仿真的实现

从实现机制的角度分析，可将RflySim平台分为运动仿真模型、底层控制器、三维引擎、外部控制四部分。

- 运动仿真模型：这是模拟飞行器运动的核心部分。在RflySim平台中，运动仿真模型是通过MATLAB/Simulink开发的，然后通过自动生成的C++代码转化成DLL（动态链接库）文件。在使用RflySim平台进行软硬件在环仿真时，会将DLL模型导入到CopterSim，形成运动仿真模型。这个模型在仿真中负责生成飞行器的运动响应，它拥有多个输入输出接口与底层控制器、三维引擎、地面控制站和外部控制进行数据交互，具体数据链路、通信协议及通信端口号见PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf中的通信接口部分。
- 底层控制器：在软/硬件在环仿真（SIL/HIL）中，真实的飞行控制硬件（如PX4飞行控制器）被集成到一个虚拟的飞行环境中。在软件在环仿真（SIL）中，底层控制器（通过wsl上的PX4仿真环境运行）通过网络通信与运动仿真模型交互数据。在硬件在环仿真（HIL）中，它（将PX4固件在真实的飞行控制器（即飞控）硬件上运行）则通过串口通信与运动仿真模型进行数据交互。飞控与CopterSim通过串口（硬件在环HITL）或网络TCP/UDP（软件在环SITL）进行连接，使用MAVLink进行数据传输，实现控制闭环。
- 三维引擎：这部分负责生成和处理仿真的视觉效果，提供仿真环境和模型的三维视图，使用户能够视觉上跟踪和分析飞行器的运动。CopterSim发送飞机位姿、电机数据到三维引擎，实现可视化展示。

外部控制（offboard）：从仿真系统外部对飞行器进行的控制，包括自动飞行路径规划、远程控制指令等。在平台例程中主要通过地面控制站（QGC）、MATLAB和Python调用对应接口实现。

通过外部控制接口（python）进行单辆无人车速度控制

单机控制脚本CarR1Diff_OffboardVel1.py中依次调用了RflySim平台飞机控制接口协议文件PX4MavCtrlV4.py中定义的以下接口函数

创建通信示例

VehicleNum = 1

mav=[]

for i in range(VehicleNum):

mav=mav+[PX4MavCtrl.PX4MavCtrler(1+i)]

创建一辆无人车的通信示例

启用Mavlink消息监听循环

mav[i].InitMavLoop()

配置CopterSim通信模式，该函数的参数定义如下：

def InitMavLoop(self,UDPMode=2):

""" Initialize MAVLink listen loop from CopterSim

0 and 1 for UDP_Full and UDP_Simple Modes, 2 and 3 for MAVLink_Full and MAVLink_Simple modes, 4 for MAVLink_NoSend

The default mode is MAVLink_Full

"""

默认通信模式为**Mavlink_Full：**Python直接发送MAVLink消息给CopterSim，再转发给PX4，数据量较大适合单机控制；适合单机或少量载具仿真，载具数量不大于4；

启动外部控制（offboard）

mav[i].initOffboard()

使px4控制器进入外部控制模式，且以30HZ的频率发送offboard指令。

注，虽然在此处已经启用了外部控制模式，对于运行阶段中flag=0的部分（解锁和移动到初始位置），不需要外部控制模式，实际指令还是由底层控制器完成的。

设定航路点

n = 30

r = 400

missionPoints=[]

for i in range(n):

angle = 2*math.pi*i/n

x=r*math.sin(angle)

y=r*math.cos(angle)

missionPoints.append([x,y,0])

用一组离散的点模拟圆形运动轨迹，并在循环中通过append方法逐个将相应的轨迹点存入目标点列表（missionPoints）。missionPoints.append([x,y,0])表示在missionPoints列表的末尾添加一个新的列表[x,y,0]。

根据欧拉公式：

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

这些点将在 x-y 平面上形成一个圆形轨迹。

任务阶段

完成上述设置后，程序会通过检查一个 flag 变量的值来决定无人车应该执行哪些动作。

当 flag == 0 时，解锁无人车

解锁车辆

mav[i].SendMavArm(True)

设定启动速度

mav[i].SendGroundSpeed(10)

当 flag == 1 时，无人车进入航路寻迹模式

位置检测

targetPos[i]=[0, 100, 0]

curPos=mav[i].uavPosNED

targetPos1 = targetPos[i]

dis = math.sqrt((curPos[0]-targetPos1[0])**2+(curPos[1]-targetPos1[1])**2)

计算当前位置和目标位置的水平距离，用于判断是否到达目标位置，以开始下一阶段任务。

速度控制

mav[i].SendVelNEDNoYaw((targetPos1[0]-curPos[0])*1,(targetPos1[1]-curPos[1])*1,0)

获得当前位置，并更新速度控制输入

当 flag == 2 时，无人车在航路点之间的运行

idx[i]=idx[i]+1

curPos=mav[i].uavPosNED

获取无人车 i 当前的位置

angle = 2*math.pi*(idx[i])/30.0/50

x=100*math.sin(angle)

y=100*math.cos(angle)

targetPos1 = [x,y,0]

设置目标点在一个半径为100m的圆上

mav[i].SendVelNEDNoYaw((targetPos1[0]-curPos[0])*1,(targetPos1[1]-curPos[1])*1,0)

发送基于目标位置和当前位置的差值计算的速度控制命令给无人车，这样无人车就会变速向目标位置移动。

通过外部控制接口（python）进行多辆无人车速度控制

多机控制脚本CarR1Diff_OffboardVel8.py脚本的实现逻辑与单机控制相同，只是需要创建8辆无人车。

2.实验效果

通过平台速度控制接口以Python控制单辆/多辆无人车的速度实现画圆。

3.文件目录

例程目录：
[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e6_CarR1DiffCtrl\3.CarR1DiffVelCtrl_Py

文件夹/文件名称	说明
CarR1Diff_OffboardVel1.bat	单辆无人车速度控制软件在环仿真批处理文件。
CarR1Diff_OffboardVel1.py	单辆无人车速度控制脚本。
CarR1Diff_OffboardVelCircle8.bat	多辆无人车速度控制软件在环仿真批处理文件。
CarR1Diff_OffboardVelCircle8.py	多辆无人车速度控制脚本。
CarR1Diff_HITLRun.bat	硬件在环批处理文件
CarR1Diff.dll	阿克曼底盘小车DLL模型文件

文件夹/文件名称	说明
Python38Run.bat	Python程序运行脚本

4.运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；Python。

> ①：若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4_fmu-v6x_default，推荐PX4固件版本为：1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见：https://rflysim.com/doc/zh/1/Hardware.html

4.2 硬件要求

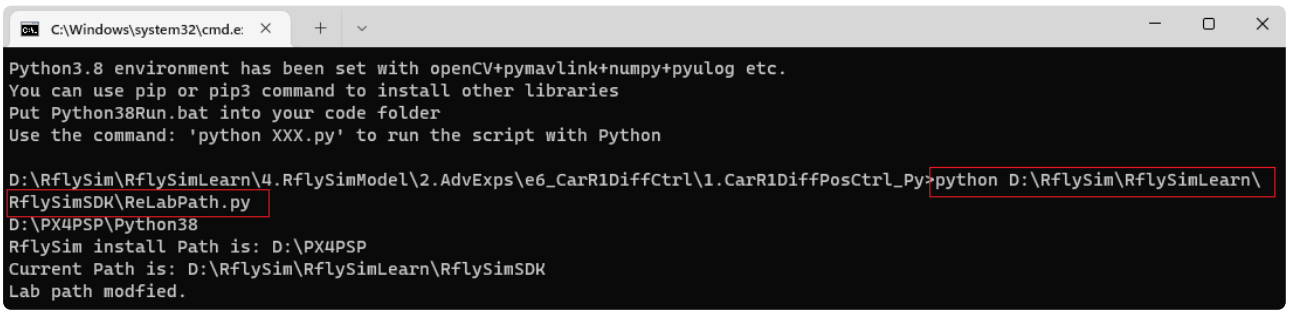
笔记本/台式电脑① 1台；Pixhawk 6X或其它飞控② 1台；数据线 1台。

> ①：推荐配置请见：https://rflysim.com/

5.实验步骤

5.1. Python库文件部署

在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行ReLabPath.py文件，输入
python C:\PX4PSP\RflySimAPIs\RflySimSDK\
ReLabPath.py，注意输入要根据实际路径。回车，完成Python公共库环境部署。

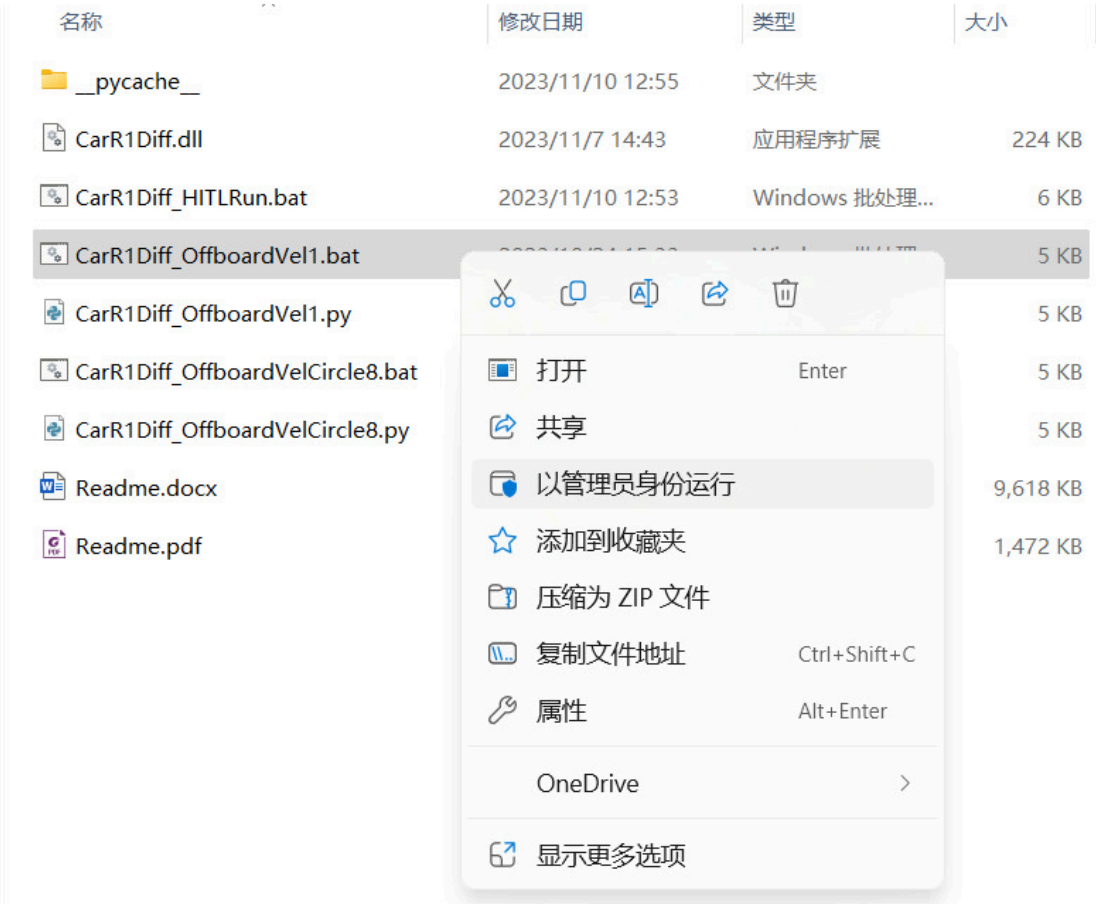


5.2. 必做实验：软件在环仿真

5.2.1 单辆无人车

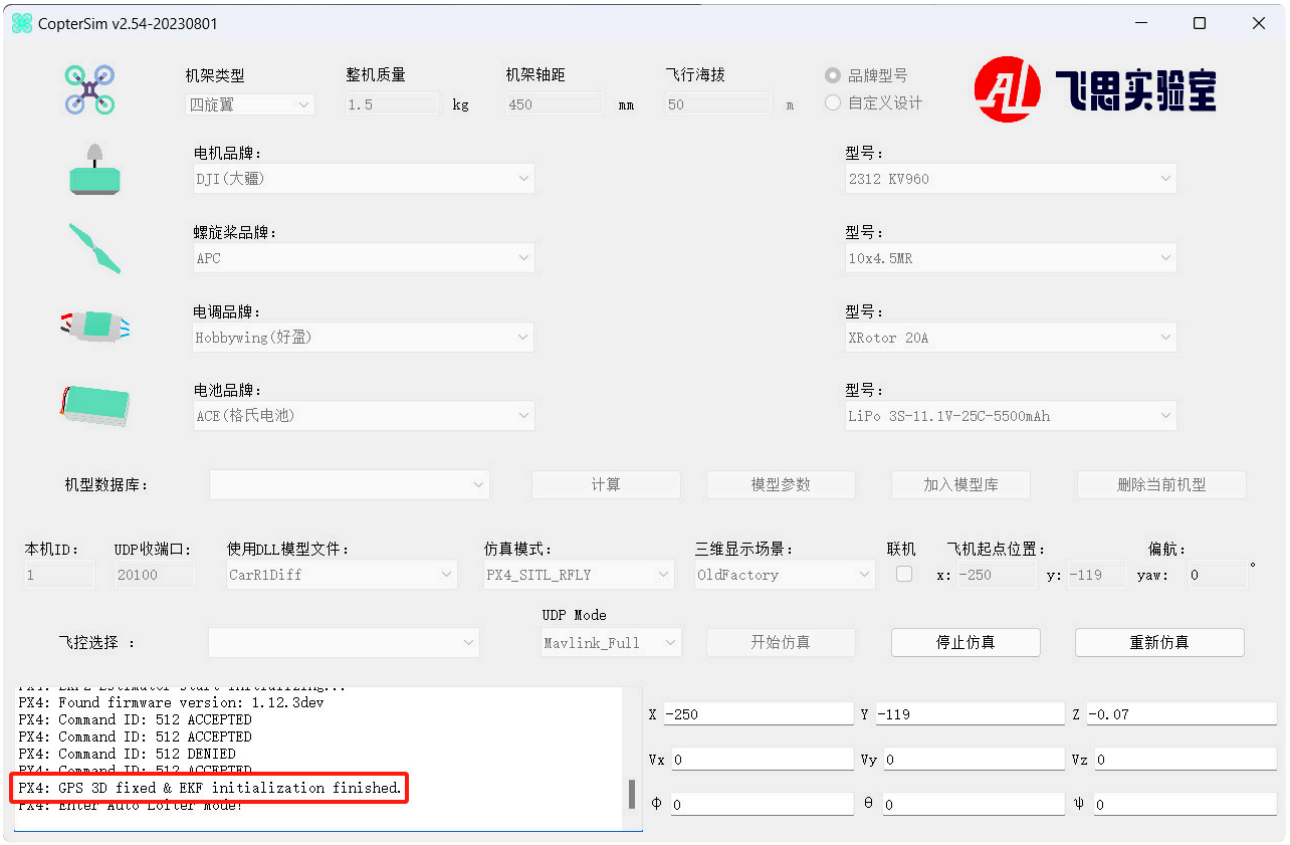
Step 1：启动仿真

右键以管理员身份运行 CarR1Diff_OffboardVel1.bat 批处理文件。



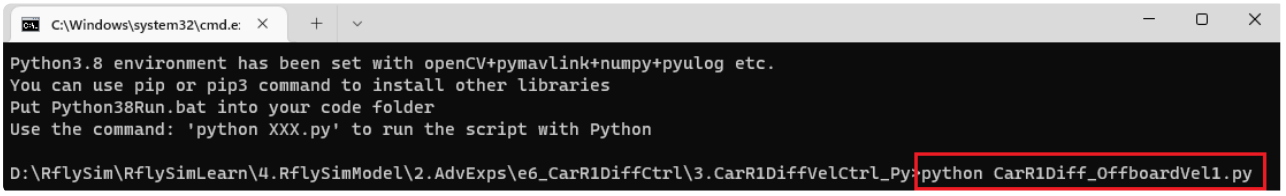
Step 2：等待初始化完成

等待 CopterSim 中显示“GPS 3D fixed &EKF initialization finished.”，表明已完成仿真初始化。



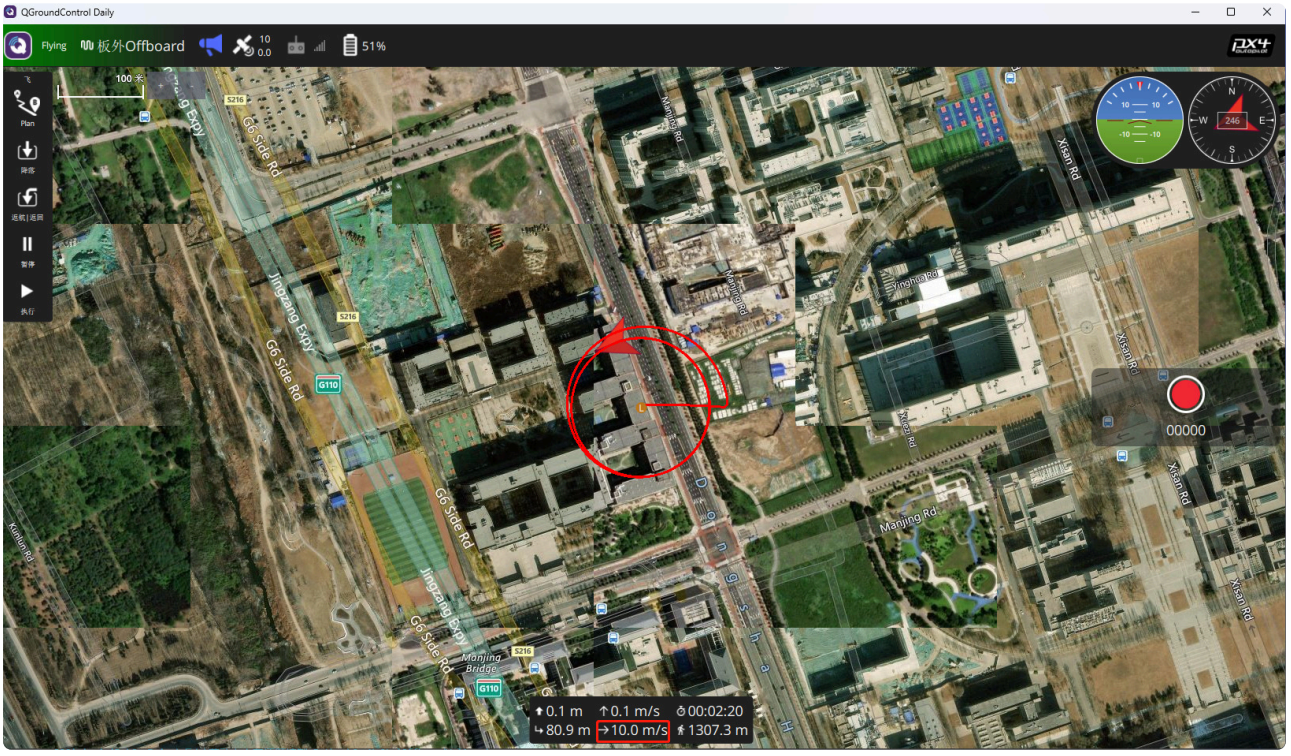
Step 3：运行控制程序

在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行CarR1Diff_OffboardVel1.py文件，输入
python CarR1Diff_OffboardVel1.py



Step 4：观察结果

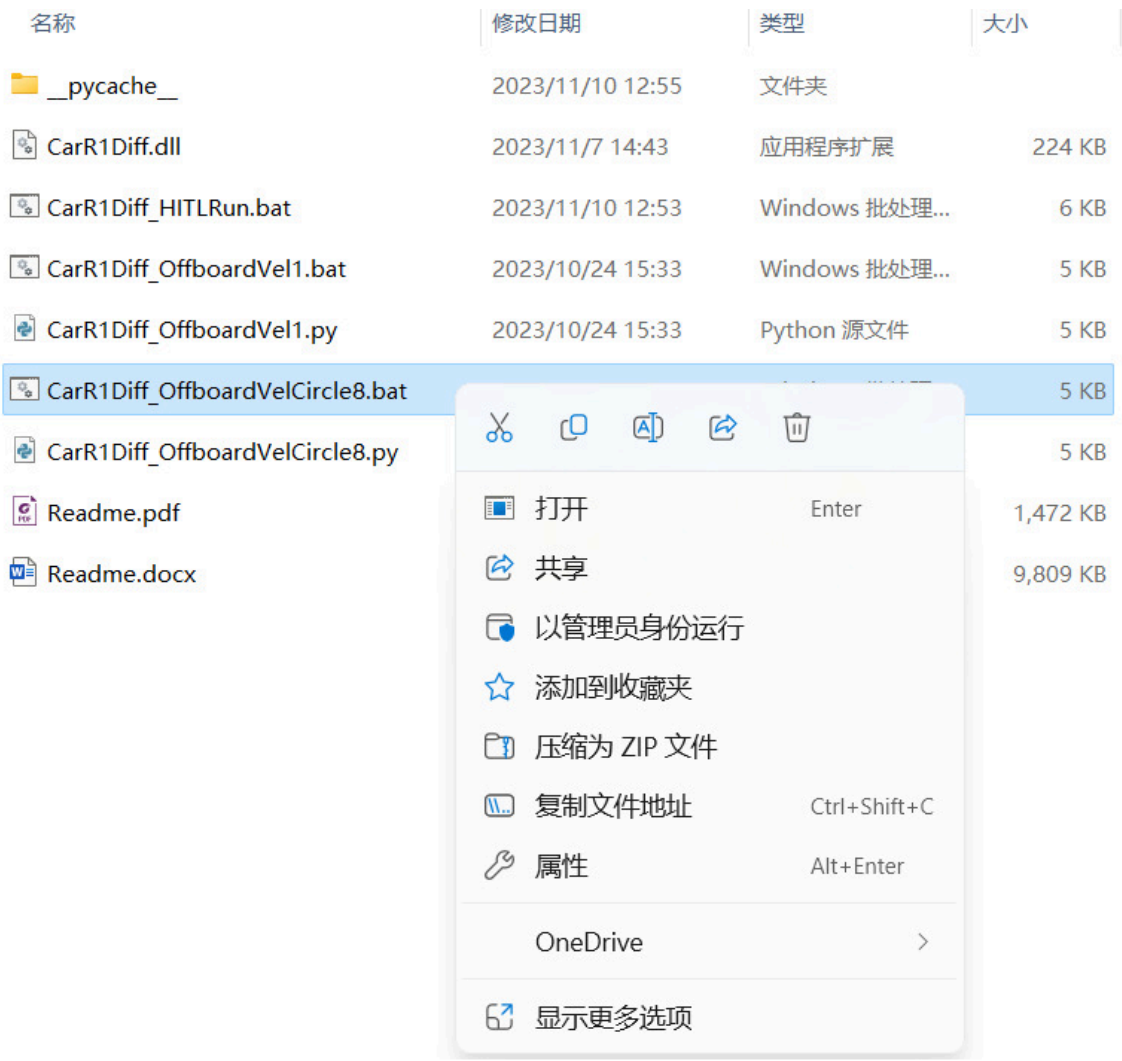
在RflySim3D中观察无人车运行状态，观察 QGC 中无人车的运动轨迹是否为圆形。



5.2.2 多辆无人车

Step 1：启动仿真

右键以管理员身份运行CarR1Diff_OffboardVelCircle8.bat批处理文件。

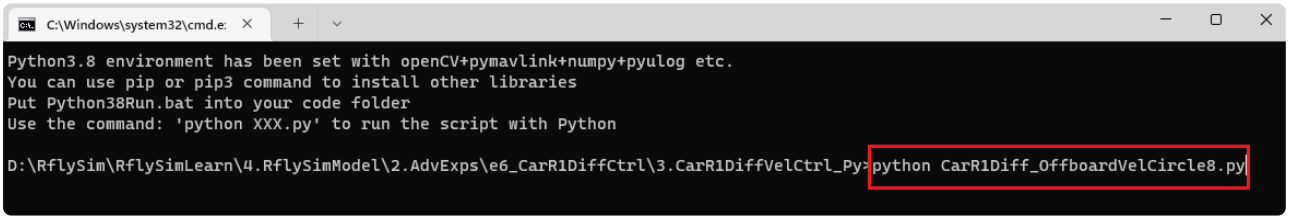


Step 2：等待初始化完成

在RflySim3D左上角，观察8辆无人车是否全部完成了初始化，当显示“CopterSim/PX4 EKF
3DFixed 8/8”时，表明初始化完成，可以开始仿真。

Step 3：运行控制程序

在文件夹下，双击 Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行 CarR1Diff_OffboardVelCircle8.py 文件，输入
python CarR1Diff_OffboardVelCircle8.py



Step 4：观察结果

观察 QGC 和 RflySim3D 中无人车的运动轨迹是否为圆形，如下图所示 。

5.3. 选做实验：硬件在环仿真

5.3.1 飞控硬件设置

Step 1：连接飞控

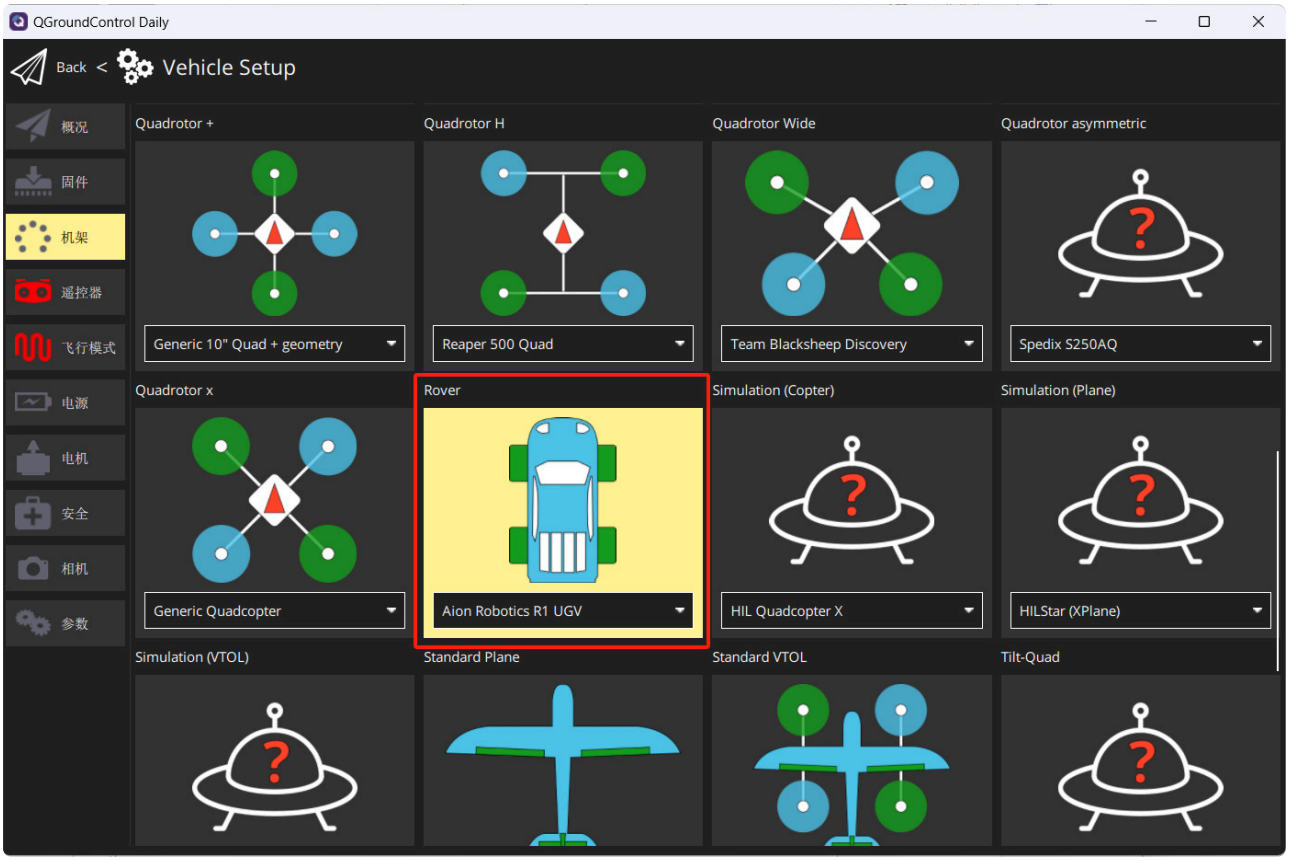
如下图所示，将飞控通过USB线连接电脑，并确保完成硬件在环仿真配置。注意，本图使用Pixhawk6x飞控，其他飞控配置方法类似（推荐使用Pixhawk飞控）。

Step 2：设置硬件在环机架

在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

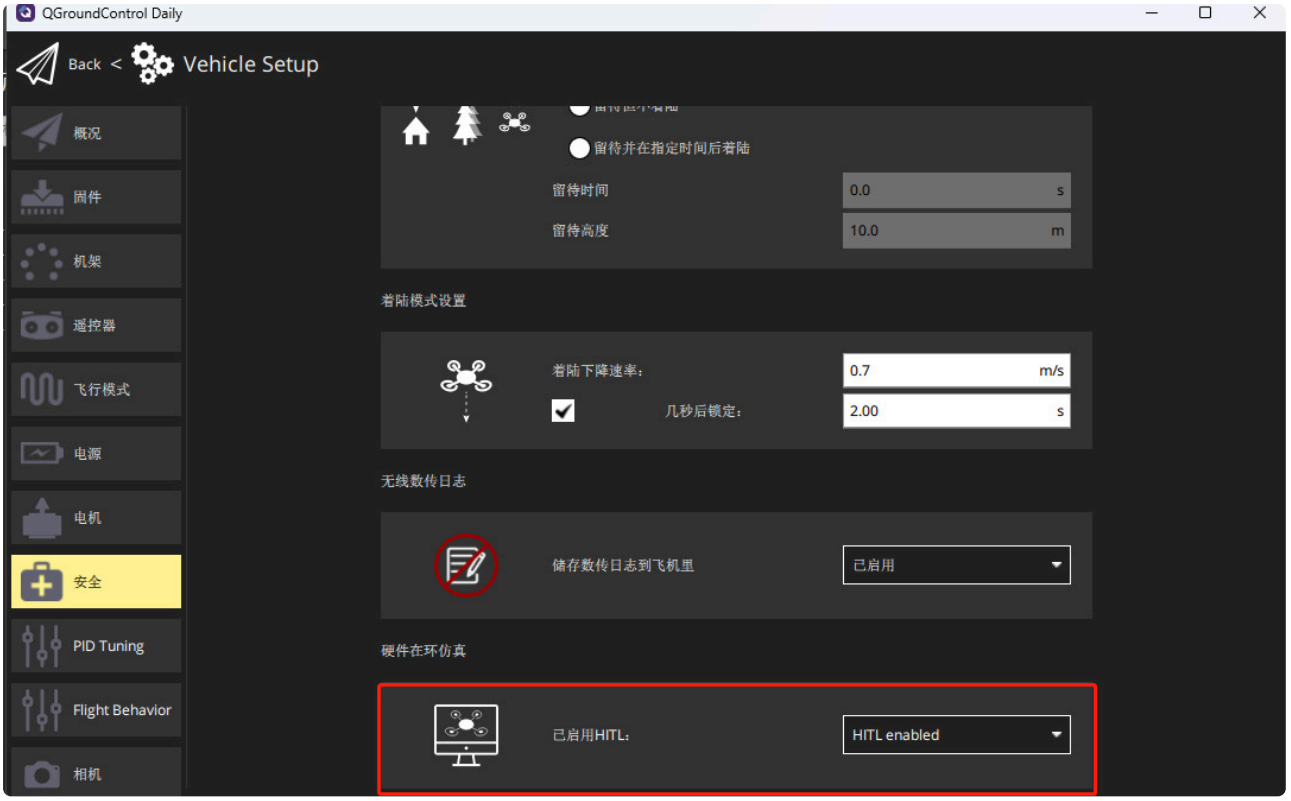
3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySimUE5	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
SITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
Win10WSL	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB

机架设置为“Aion Robotics R1 UGV”，点击QGC右上角的“应用并重启”。

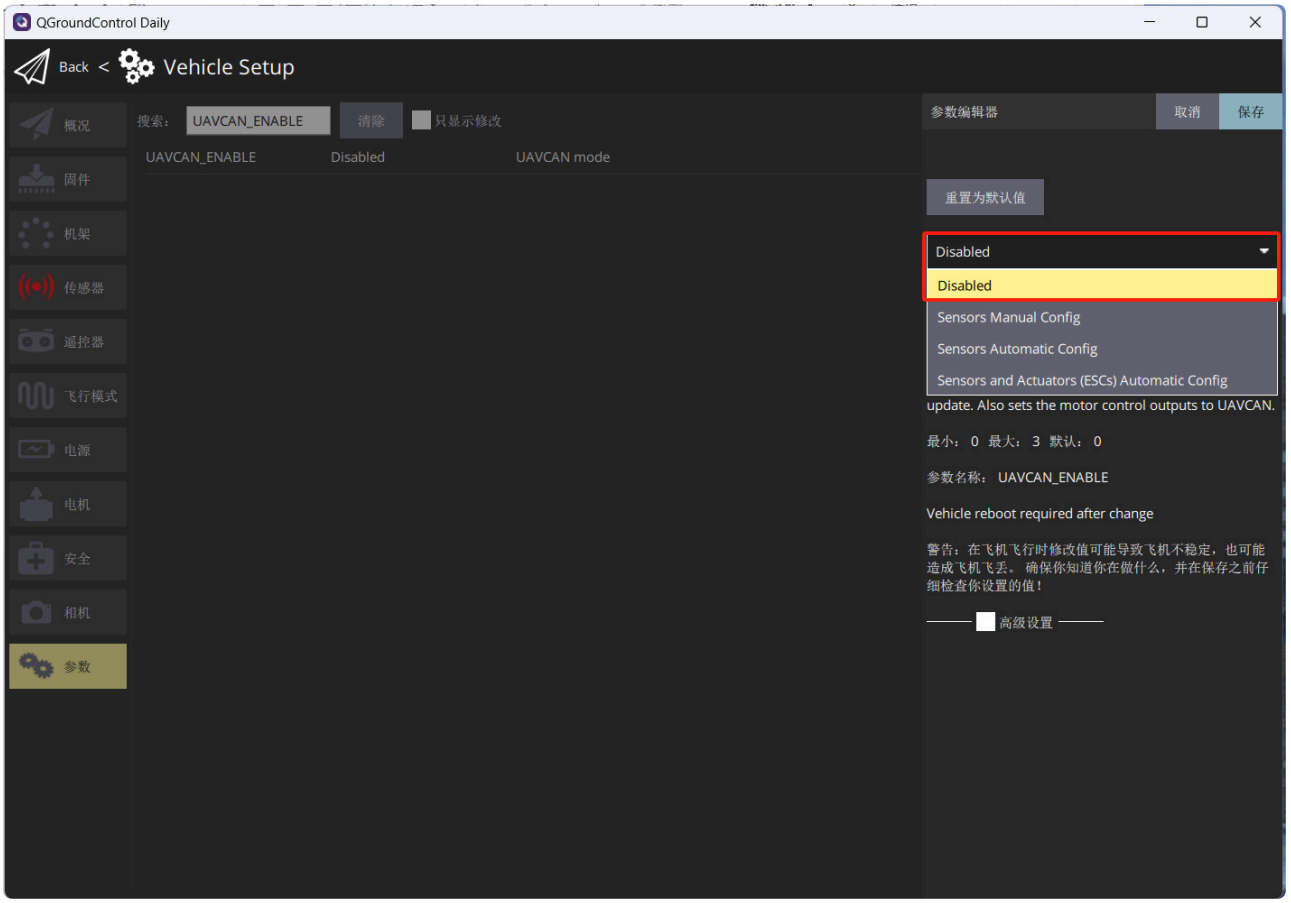


Step 3：配置硬件在环参数

点击“安全”，设置硬件在环仿真为“HITL enabled”，重新插拔飞控。



使用1.13版本固件，还需点击“参数”，在搜索栏中输入“UAVCAN_ENABLE”，在弹出框中设置为“Disabled”，保存后重新插拔飞控即可。

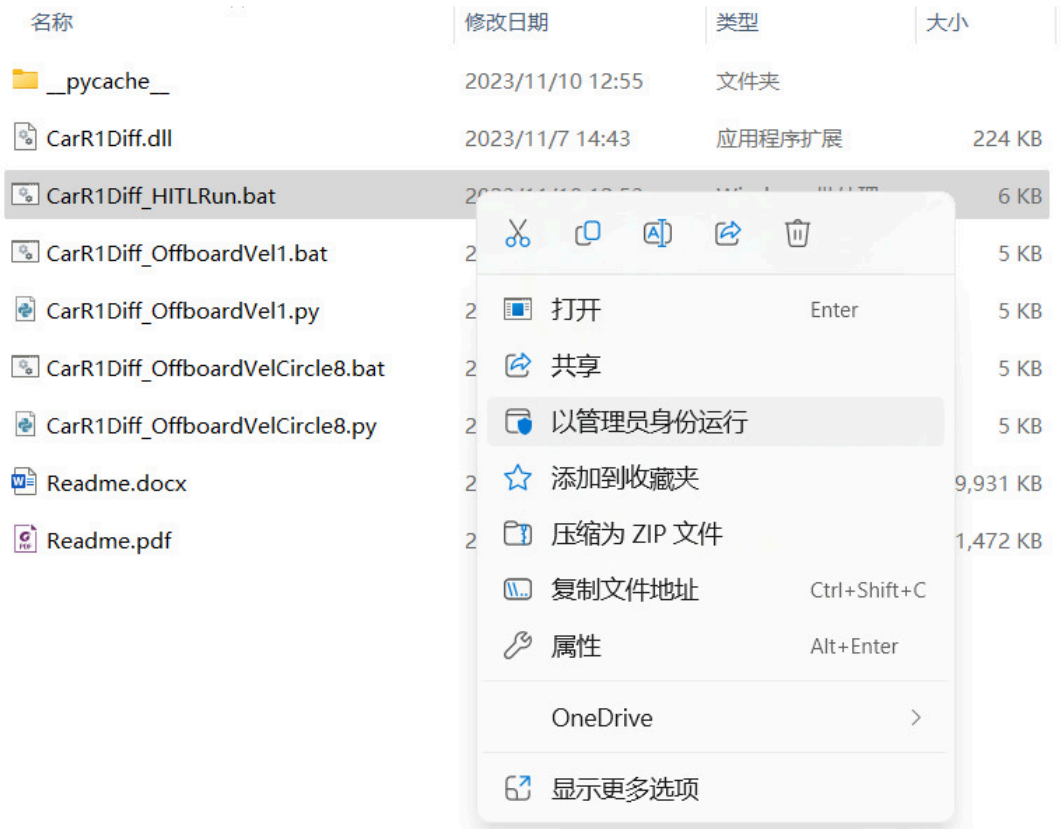


下图为完成硬件在环仿真相关配置后的示意图。

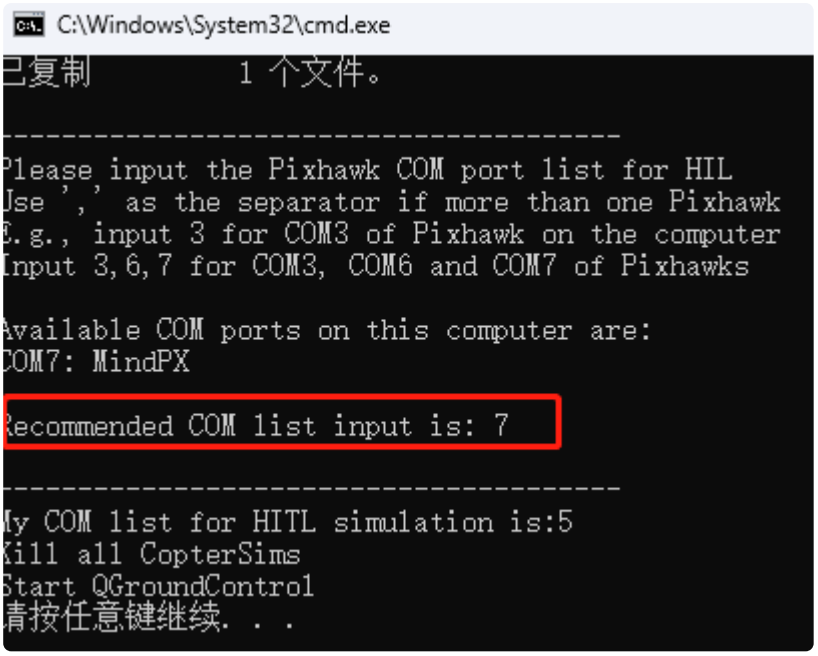
5.3.2 单辆无人车

Step 1：启动仿真

右键以管理员身份运行 CarR1Diff_HITLRun.bat 批处理文件。



在终端中根据提示输入串口号，启动一辆无人车的仿真。



Step 2：仿真过程

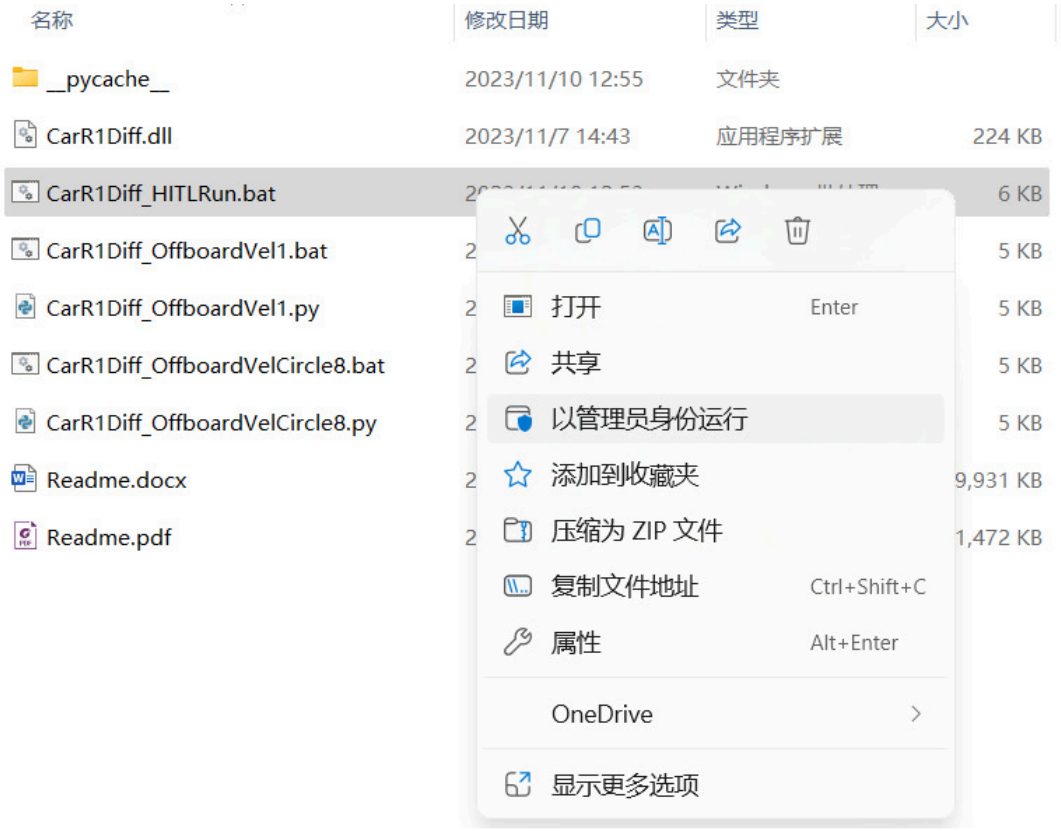
之后的与单辆无人车软件在环仿真中的相同，可进行速度控制仿真，运行后可在QGC中观察运行轨迹。

5.3.3 多辆无人车

Step 1：启动仿真

多辆无人车的硬件在环仿真，需要按照单辆无人车仿真的步骤对多个飞控进行固件、机架和参数的设置。

以管理员身份运行CarR1Diff_HITLRun.bat脚本，然后根据提示输入多个飞控的串口号敲击回车就可以连接多辆无人车.



Step 2：仿真过程

之后步骤与多辆无人车软件在环仿真中的相同，可进行速度控制仿真，运行后可在QGC中观察运行轨迹。

5.4. 选做实验（VS Code调试运行）

准备工作

- 先确保已经按RflySimAPIs\1.RflySimIntro\2.AdvExps\e3.PythonConfig\Readme.pdf步骤，正确配置VS Code环境。或者配置了自己的Pycharm等自定义Python环境。
- 其他步骤与上文相同，运行CarR1Diff_OffboardVel1.py或者CarR1Diff_OffboardVelCircle8.py时，可使用VS Code（或Pycharm等工具）来打开该文件，并阅读代码，修改代码，调试执行等。

扩展实验

- 请自行使用VS Code阅读CarR1Diff_OffboardVel1.py以及CarR1Diff_OffboardVelCircle8.py源码，

通过程序跳转，了解每条代码的执行原理；再通过调试工具，验证每条指令的执行效果。

6.参考资料

1. DLL/SO模型与通信接口 ..\..\..\PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf
2. 外部控制接口 ..\..\..\PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf
3.

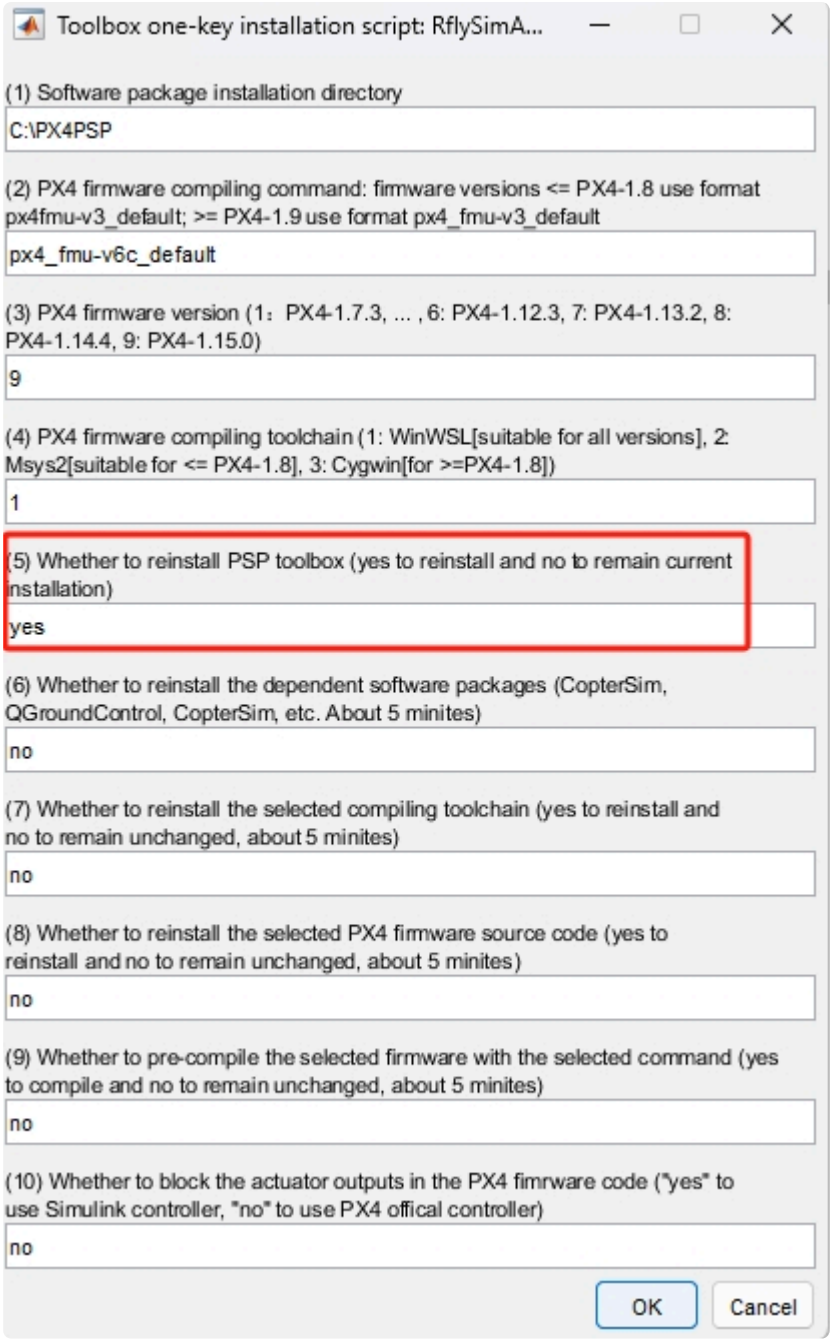
7.常见问题

Q1:

A1:

Q2：编译报错，无法加载库文件

A2：这可能是由于安装平台时PX4PSP工具箱未更新到最新版，更新RflySim安装包后按照如下配置重新安装平台即可


Toolbox one-key installation script: RflySimA...
(1) Software package installation directory
C:\PX4PSP
(2) PX4 firmware compiling command: firmware versions <= PX4-1.8 use format px4fmu-v3_default; >= PX4-1.9 use format px4_fmu-v3_default
px4_fmu-v6c_default
(3) PX4 firmware version (1：PX4-1.7.3, ... , 6: PX4-1.12.3, 7: PX4-1.13.2, 8: PX4-1.14.4, 9: PX4-1.15.0)
9
(4) PX4 firmware compiling toolchain (1: WinWSL[suitable for all versions], 2: Msys2[suitable for <= PX4-1.8], 3: Cygwin[for >=PX4-1.8])
1
(5) Whether to reinstall PSP toolbox (yes to reinstall and no to remain current installation)
yes
(6) Whether to reinstall the dependent software packages (CopterSim, QGroundControl, CopterSim, etc. About 5 minites)
no
(7) Whether to reinstall the selected compiling toolchain (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(8) Whether to reinstall the selected PX4 firmware source code (yes to reinstall and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(9) Whether to pre-compile the selected firmware with the selected command (yes to compile and no to remain unchanged, about 5 minites)
no
(10) Whether to block the actuator outputs in the PX4 fimrware code ("yes" to use Simulink controller, "no" to use PX4 offical controller)
no
OK
Cancel