1.实验名称及目的

1.1实验名称

基于系统模板的直升机模型验证（python位置控制）

1.2实验目的

通过该实验熟悉直升机Offboard位置控制接口的使用。

1.3关键知识点

软/硬件在环仿真（SIL/HIL）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。底层控制器是实际控制飞行器硬件（如电机和传感器）的部分。
- 三维引擎：这部分负责生成和处理仿真的视觉效果，提供仿真环境的三维视图，使用户能够视觉上跟踪和分析飞行器的运动。
- 外部控制：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。支持通过UDP_Full、UDP_Simple、MAVLINK_Full、MAVLINK_Simple等链接模式，获取无人机的位置、速度、姿态信息，并对无人机的位置、速度、航向进行控制。

载具坐标系

机体坐标系：原点

$$O_b$$

位于飞行器的重心；

$$x$$

轴（由

$$x_b$$

表示）指向飞机正前方，位于飞行器的对称平面内；

$$y$$

轴（由

$$y_b$$

表示）指向飞机右侧；

$$z$$

轴（由

$$z_b$$

表示）指向飞机下方。在机体坐标系中表示的坐标向量附加了一个下标

$$b$$

。

NED坐标系：原点

$$O_n$$

任意固定在地球表面的一点上；

$$x$$

轴（由

$$x_n$$

表示）指向大地北；

$$y$$

轴（以

$$y_n$$

表示）大地东；

$$z$$

轴（由

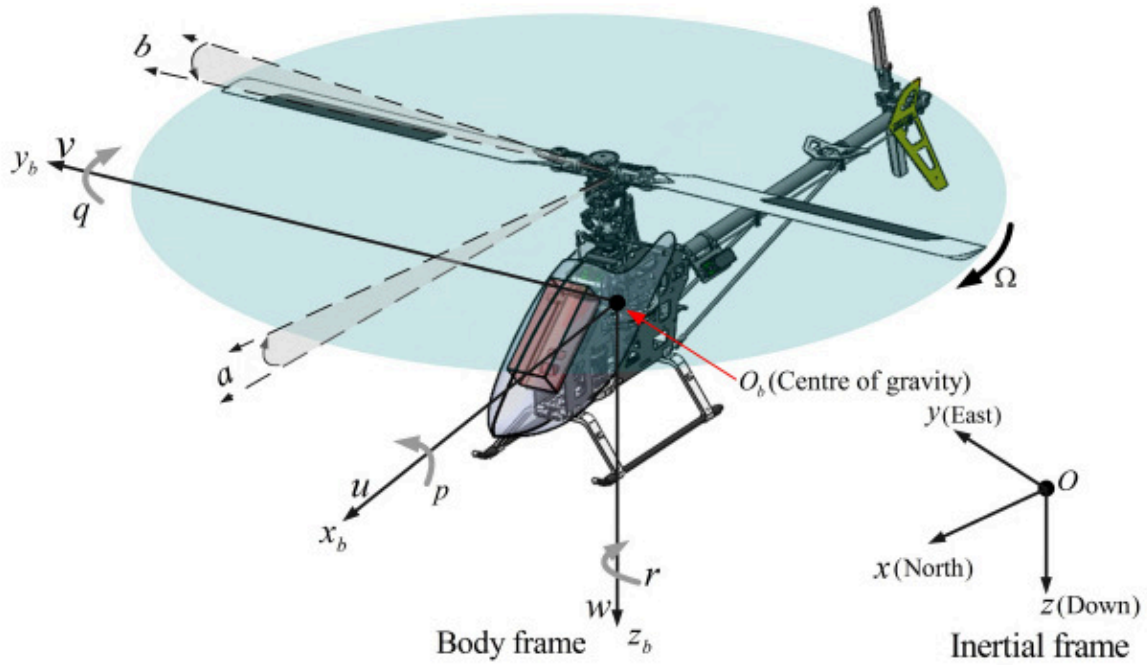
$$z_n$$

表示）沿地球法线向下。在NED标系中表示的坐标向量附加了一个下标

$$n$$

。

机体坐标系与NED坐标系示意图如图所示。



载具的控制通道映射

通过混控将归一化的期望力和力矩信号映射到归一化的PWM指令，再根据PWM指令计算出实际的执行器响应。下面结合PX4的混控规则介绍控制通道如何映射到载具模型的执行器输入。

PX4机架对应的混控器

添加一个新的机型 | PX4 自动驾驶用户指南

- 详细的PX4机架文件配置参考 (v1.12)

直升机模型的机架配置在\PX4PSP\Firmware\ROMFS\px4fmu_common\init.d\airframes\16001_helicopter中定义如下：

. ${R}etc/init.d/rc.mc_defaults

执行rc.mc_defaults脚本，它包含了旋翼飞行器的默认参数设置，可以用来设置一些基本的系统参数

param set-default MAV_TYPE 4

设置了参数MAV_TYPE的默认值为4，在MAVLink协议中，MAV_TYPE参数用于指定飞行器的类型，数值4代表直升机。

set PWM_OUT none

PWM（脉冲宽度调制）是飞控系统用来控制电机和舵机的一种信号。设置PWM输出为none表示这个配置不使用标准的PWM输出，这是因为直升机的控制方式与一般的多旋翼不同。

set MIXER blade130

设置了混控器配置为blade130（一个特定类型的直升机混控器配置）。在PX4中，混控器定义了飞控如何控制飞行器的不同电机或舵机。

混控通道对应的执行器

混控器和执行器 | PX4 自动驾驶用户指南

- 详细的PX4混控文件逻辑见：(v1.12)
- 详细的映射过程可参考： PX4混控器相关知识梳理-CSDN博客

本例程中直升机的具体混控文件可参考\PX4PSP\Firmware\ROMFS\px4fmu_common\

mixers\blade130.main.mix，其混控逻辑如下：

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0 & -0.8 \\ 0.13054 & 0.1 & 0 & -0.8 \\ 0.13054 & 0.1 & 0 & -0.8 \\ 0 & 0 & 0.1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_c \\ \delta_l \\ \delta_p \\ \delta_t \end{bmatrix}$$

其中，u1,u2,u3 是三个斜盘舵机的输出，u4是尾舵机的输出，δc, δl, δp, δt
是集体俯仰，横滚，偏航，油门的控制输入。例如，当增加俯仰输入时，所有的斜盘舵机都会增加输出，从而提升直升机的升力；当增加横滚输入时，左右两个斜盘舵机的输出会相反变化，从而产生横滚力矩；当增加偏航输入时，尾舵机的输出会增加，从而产生偏航力矩。

位置控制接口

在直升机的offboard位置控制中，主要用到如下控制接口：

1. SendMavTakeOff：起飞指令。
2. SendPosNEDNoYaw：发送目标位置指令(在北东地坐标系下)。
3. SendCruiseSpeed：发送巡航速度指令。

具体使用方法见 HelicopterPos.py 文件。

2.实验效果

直升机软硬件在环仿真时，通过Offboard位置控制接口实现画圆的效果。

3.文件目录

例程目录：
[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e8_Helicopter\2.HeliCopterPosCtrl

文件夹/文件名称	说明
HeliCopter.dll	直升机模型动态链接库
Helicopter_HITLRun.bat	硬件在环仿真启动脚本
Helicopter_SITLRun.bat	软件在环仿真启动脚本
HIL.params	参数增量文件
HelicopterPos.py	Offboard位置控制接口例程
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；MATLAB 2017B及以上③。

> 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。

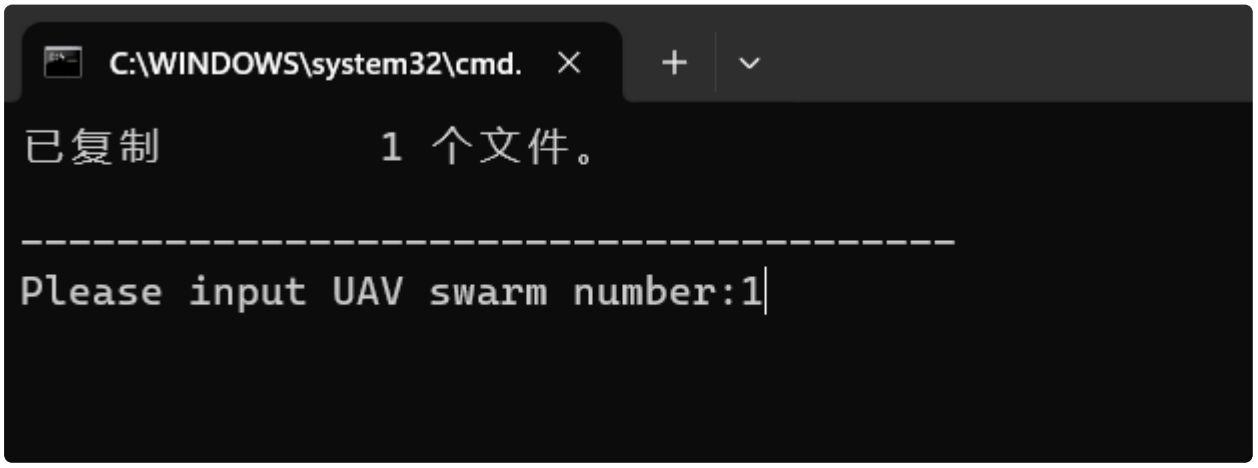
> ①：推荐配置请见： https://rflysim.com/

5.实验步骤

5.1. 必做实验：软件在环仿真

Step 1：启动仿真

以管理员身份运行Helicopter_SITLRun.bat，输入1后回车启动1架直升机的软件在环仿真。

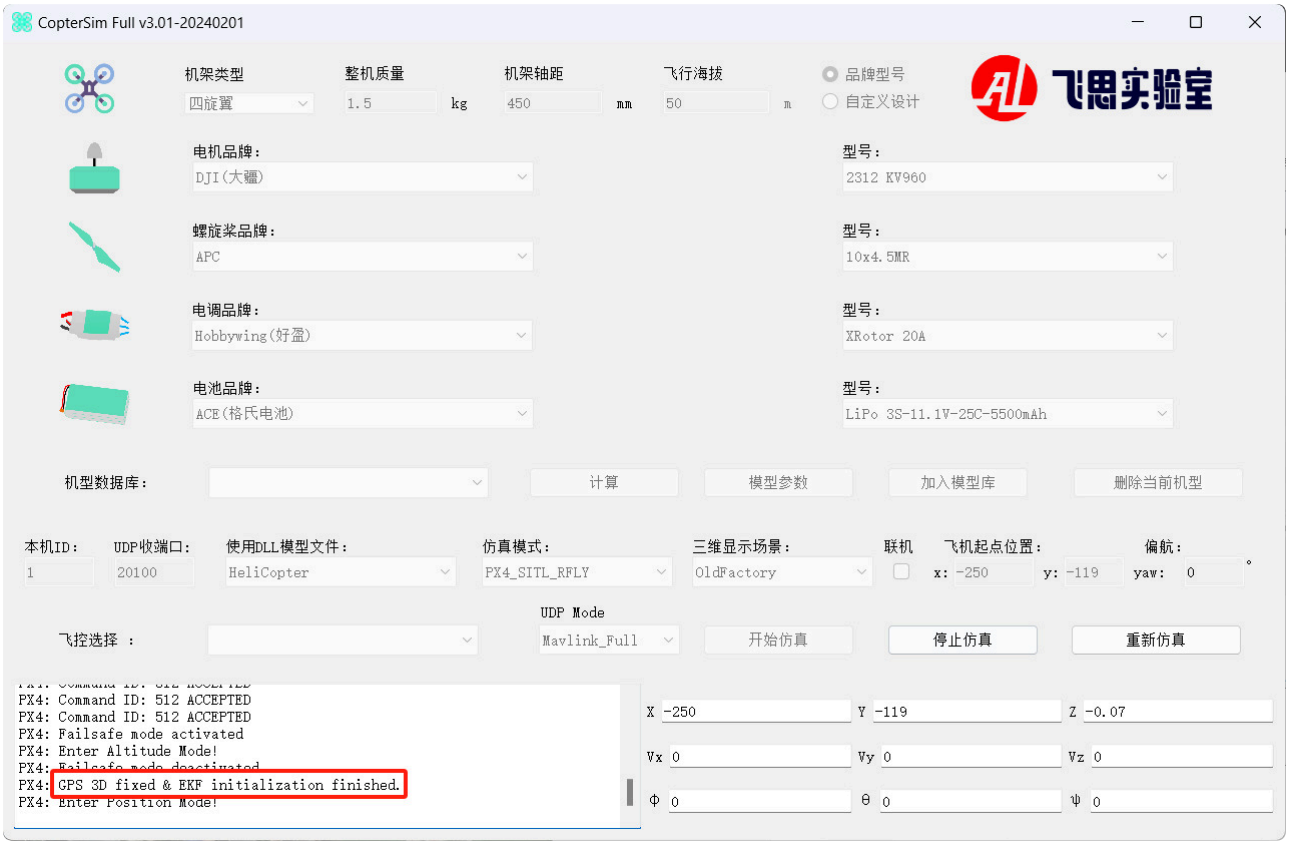


注意，在脚本文件中确定机架为直升机对应的机架类型：

```
REM Set the vehicle-model (airframe) of PX4 SITL simulation, the default airframe is a quadcopter: iris
REM Check folder Firmware\ROMFS\px4fmu_common\init.d-posix (or init.d/airframes) for supported airframes
REM E.g., fixed-wing aircraft: PX4SitlFrame=plane; small cars: PX4SitlFrame=rover
set PX4SitlFrame=helicopter
```

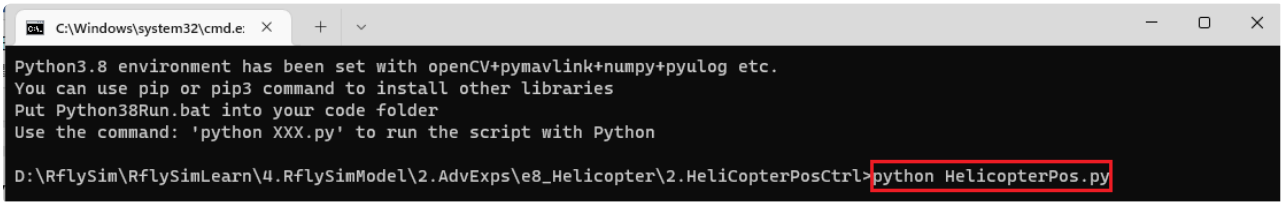
Step 2：等待初始化完成

CopterSim右下角显示以下信息时，表明仿真初始化完成。



Step 3：运行控制程序

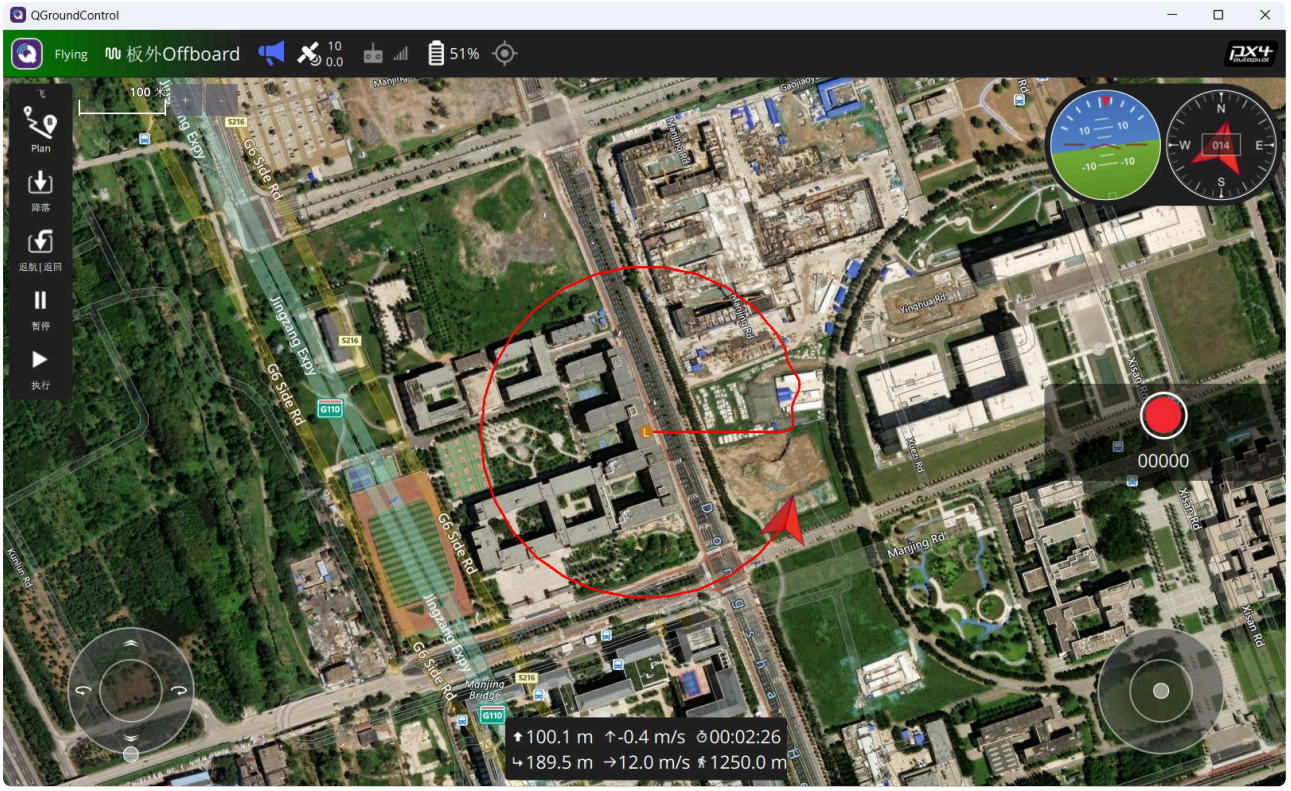
在文件夹下，双击Python38Run.bat，打开集成好的python环境，在该环境下运行HelicopterPos.py文件，输入
python HelicopterPos.py



Step 4：观测结果

在RflySim3D和QGC中观察直升机运动情况。

在QGC中可看到实现了画圆的效果。



5.2. 选做实验：硬件在环仿真

Step 1：连接飞控

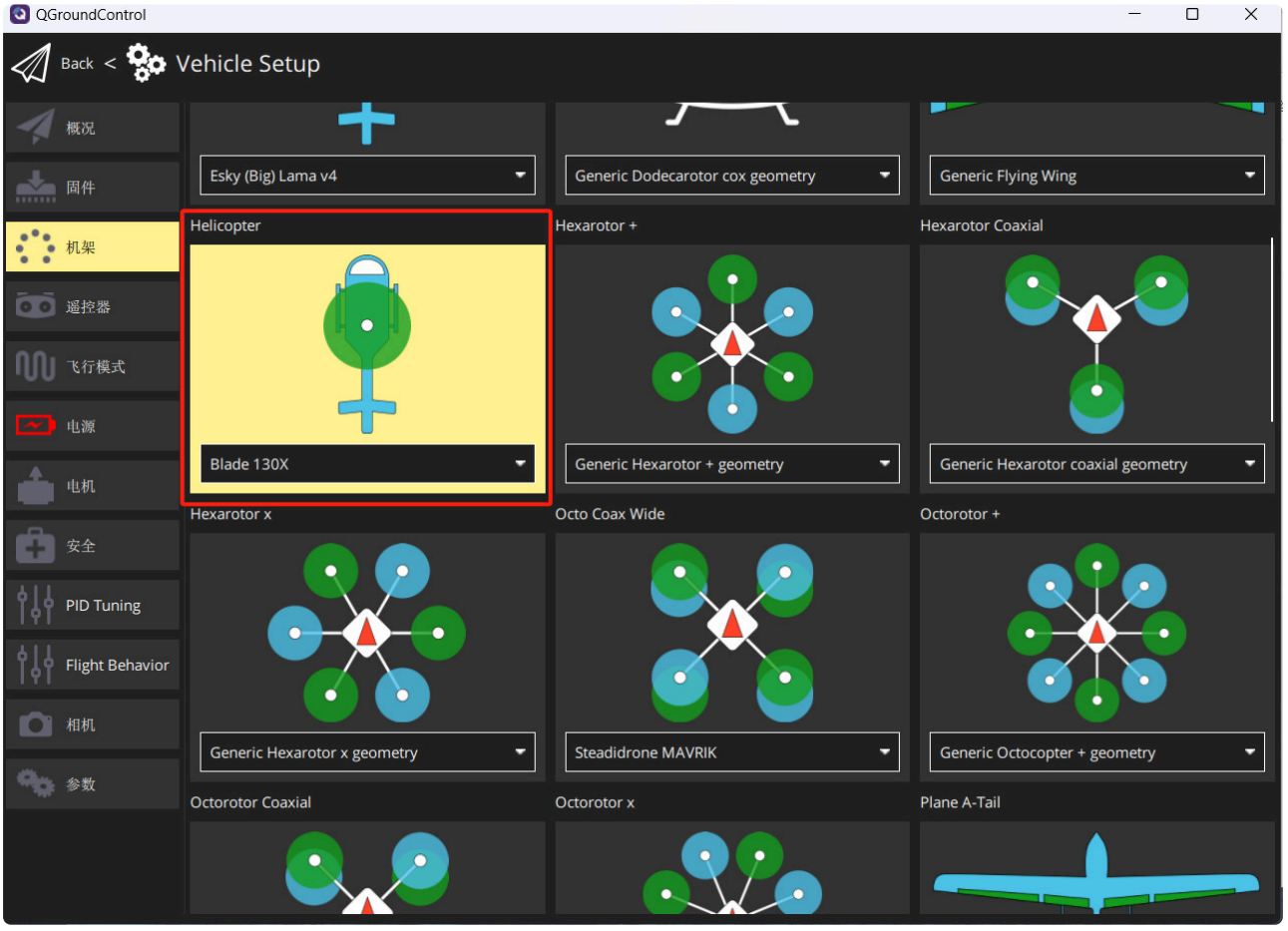
硬件在环仿真需要准备一个飞控，如下图所示，将飞控通过USB线连接电脑，并确保完成硬件在环仿真配置。注意，本图使用Pixhawk6x飞控，其他飞控配置方法类似（推荐使用Pixhawk飞控）。

Step 2：设置硬件在环机架

在桌面的RflyTools文件夹中打开QGroundControl。

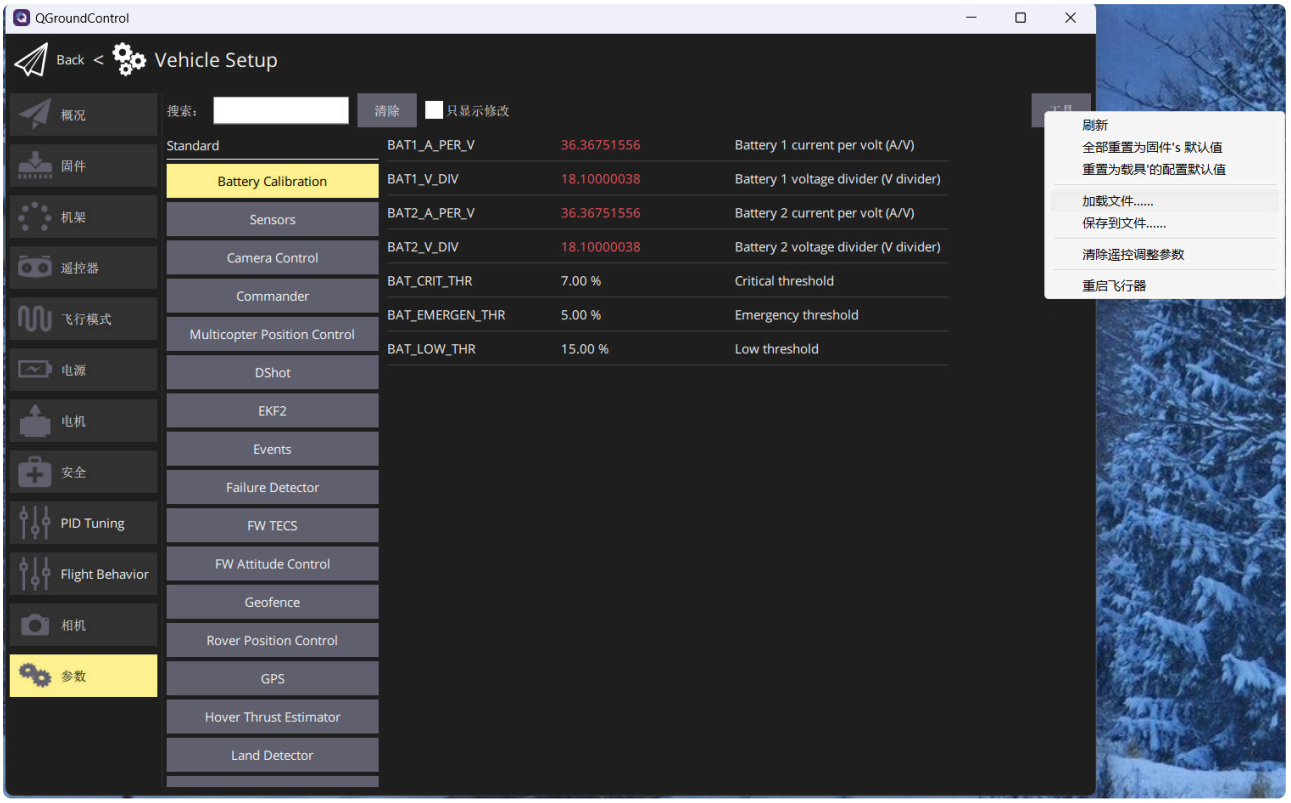
3DDisplay	2023/11/8 12:56	快捷方式	1 KB
CopterSim	2023/11/9 16:13	快捷方式	1 KB
FlightGear-F450	2023/11/8 12:56	快捷方式	2 KB
HITLRun	2023/11/13 9:43	快捷方式	2 KB
HowToUse	2023/11/9 16:13	快捷方式	1 KB
PPTs	2023/9/12 14:05	快捷方式	1 KB
Python38Env	2023/11/13 9:43	快捷方式	2 KB
QGroundControl	2023/11/13 9:43	快捷方式	1 KB
rflysim.com	2022/11/30 13:12	Internet 快捷方式	1 KB
RflySim3D	2023/11/9 16:13	快捷方式	1 KB
RflySimAPIs	2023/11/13 9:43	快捷方式	1 KB
RflySimUE5	2023/11/9 16:13	快捷方式	1 KB
SITLRun	2023/11/13 9:43	快捷方式	2 KB
Win10WSL	2023/11/9 18:14	快捷方式	2 KB

点击“机架”，选择“Blade 130X”，点击右上角“应用并重启”。

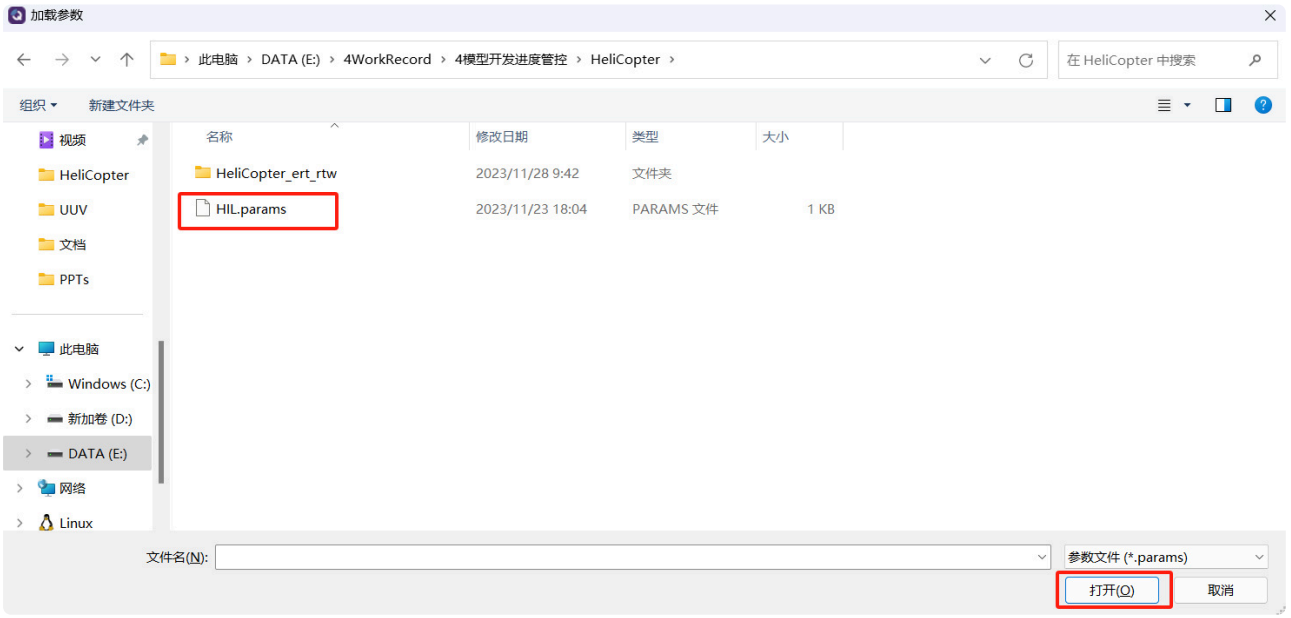


Step 3：配置硬件在环参数

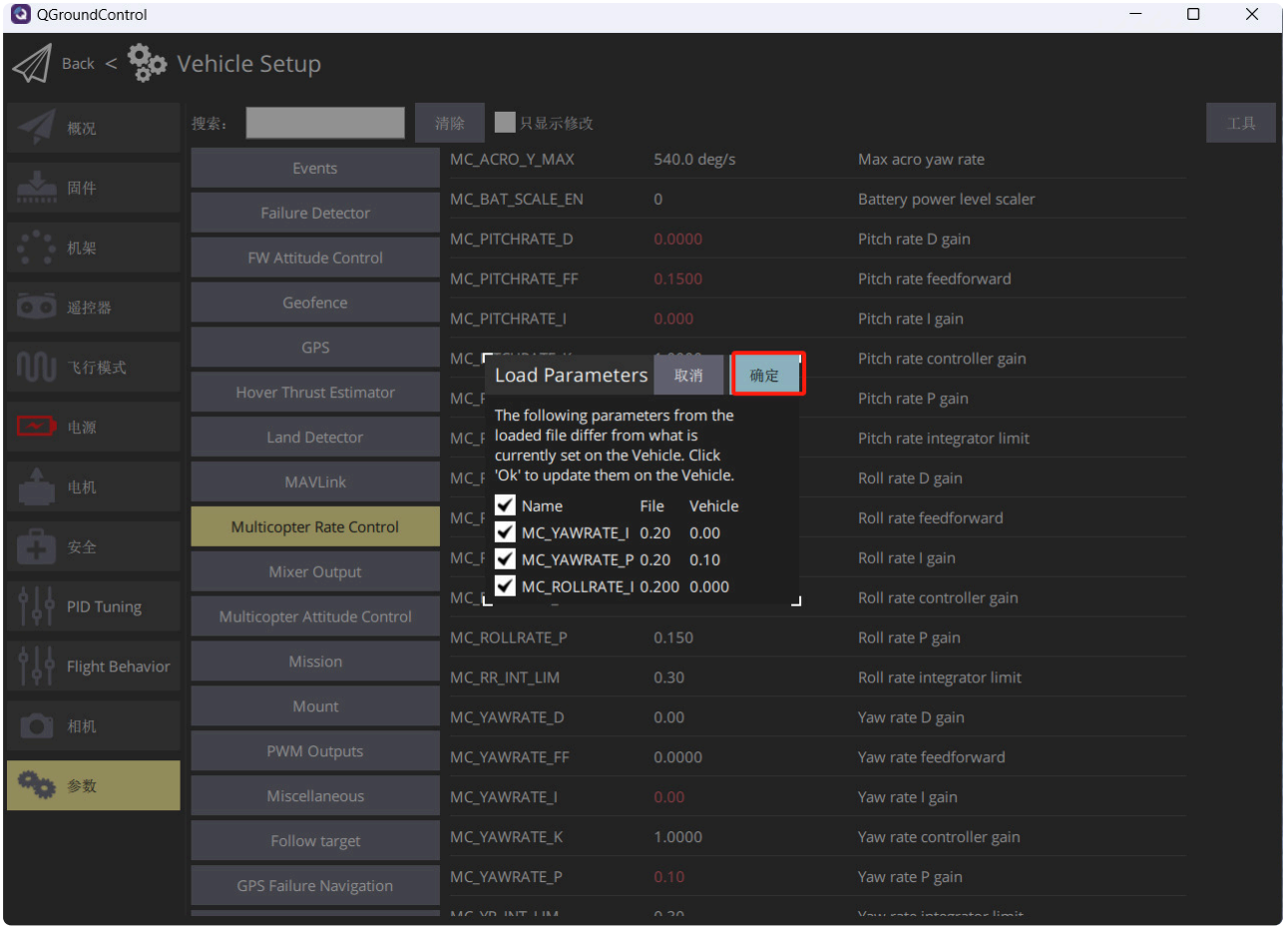
选择“参数”，点击“工具”，选择“加载文件”。



选择“HIL.params”，点击打开。

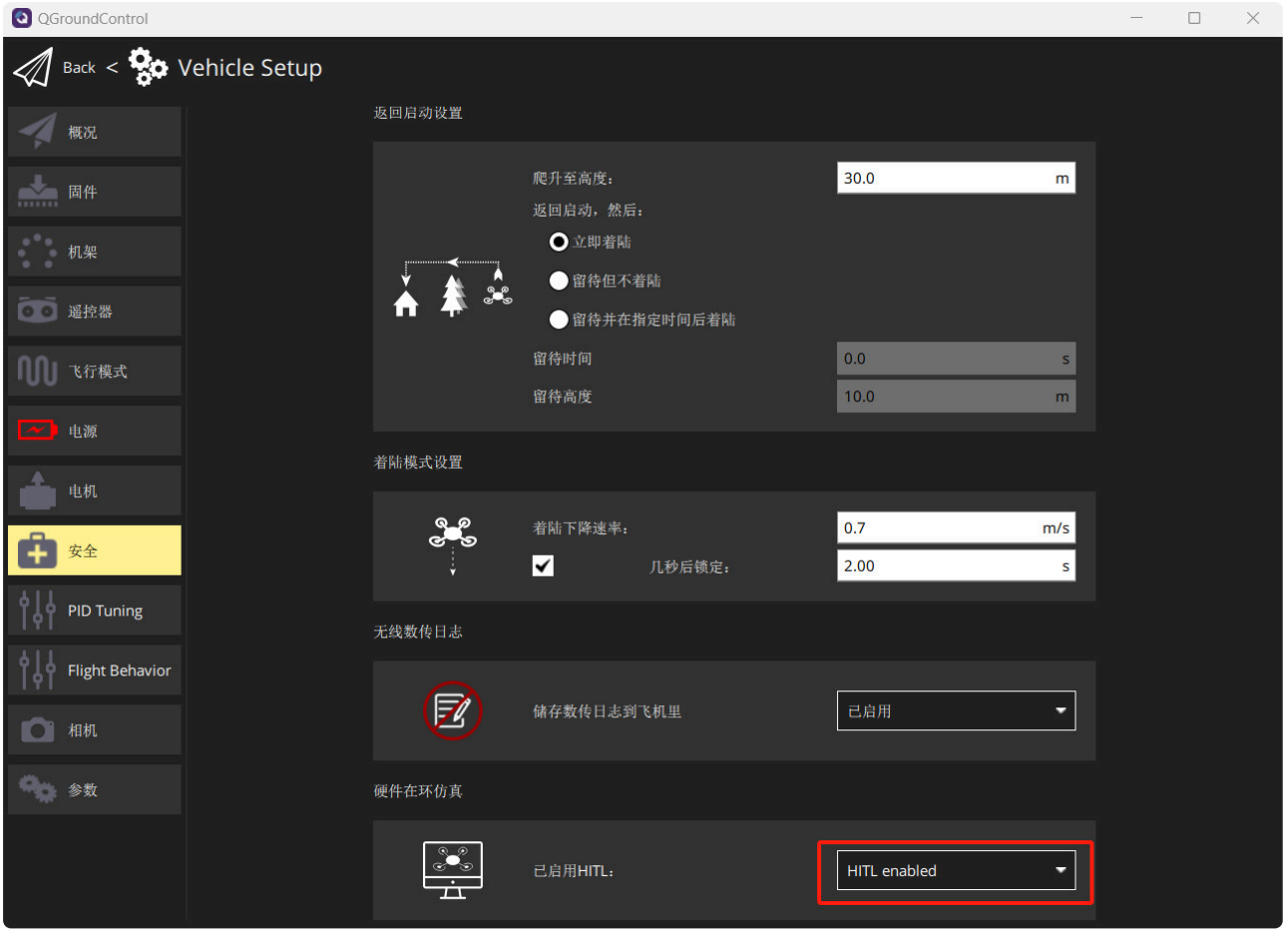


点击“确定”。



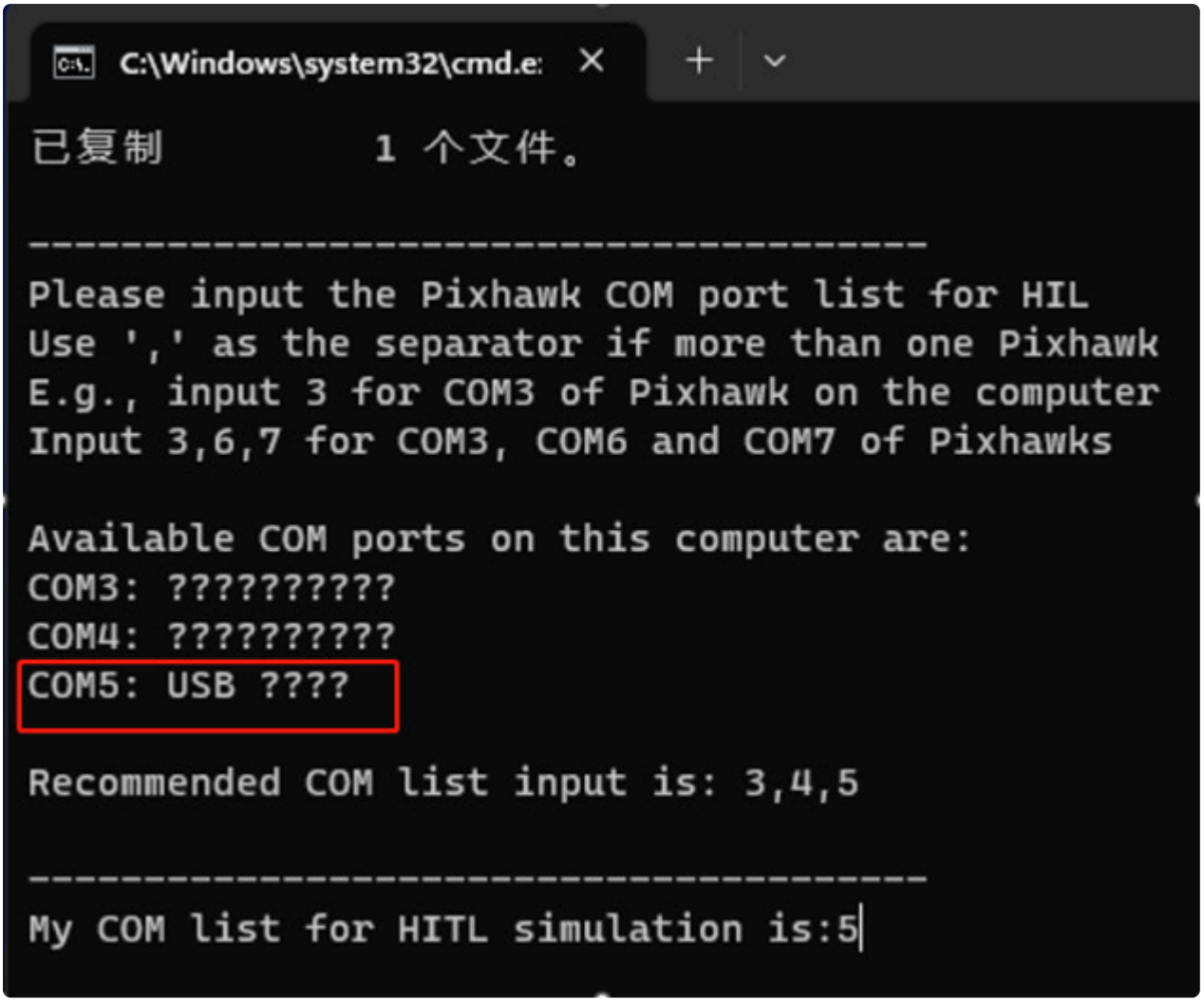
Step 4：安全界面设置

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



Step 5：启动仿真

运行Helicopter_HITLRun.bat，在弹出窗口中输入飞控端口号，启动飞控硬件在环仿真。



Step 6：仿真过程

之后测试步骤与软件在环仿真的步骤相同，等待初始化完成后，运行Python程序并观察结果。

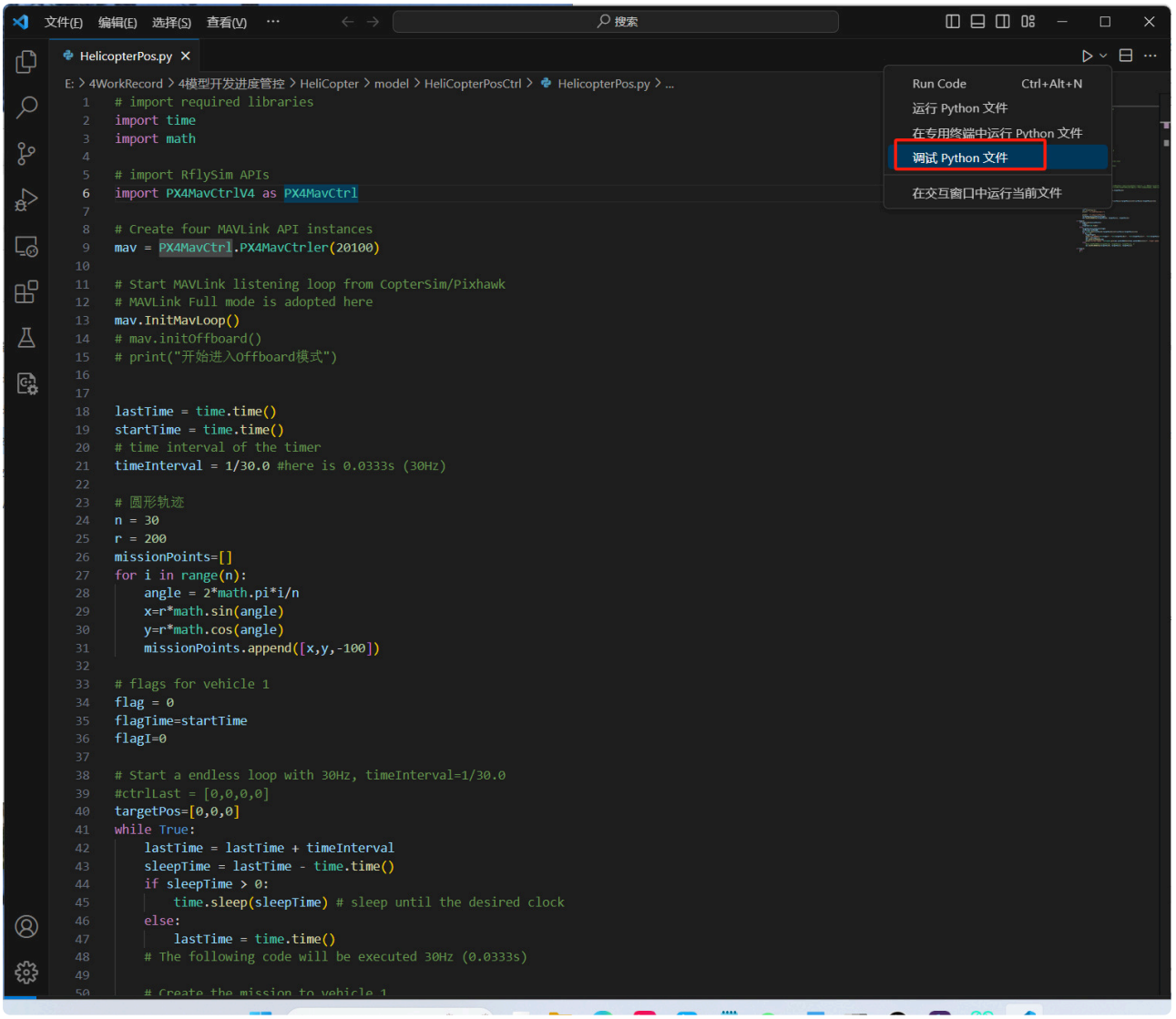
5.3. 选做实验（VS Code调试运行）

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HelicopterPos.py时，可使用VS Code（或Pycharm等工具）来打开HelicopterPos.py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HelicopterPos.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. PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf中DLL/SO模型与通信接口的重要参数部分。
2. [RflySim安装目录]/RflySimAPIs/4.RflySimModel/API.pdf
3. [RflySim安装目录]/RflySimAPIs/4.RflySimModel/API.pdf
4.

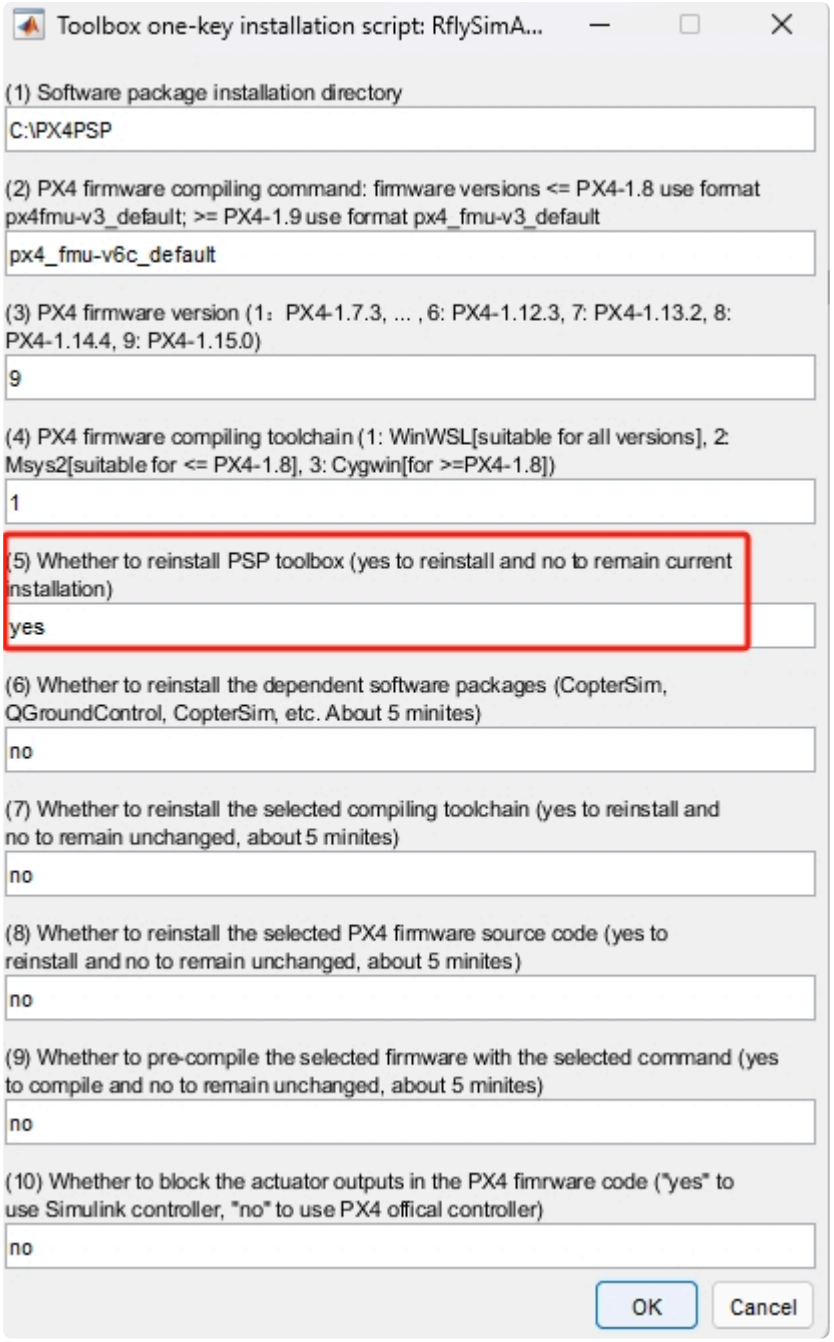
7.常见问题

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