

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

基于最小模板的固定翼模型验证实验(Simulink速度/高度/偏航控制接口)

1.2 实验目的

该例程以MATLAB/Simulink的形式，通过平台固定翼接口，实现软硬件在环仿真过程中固定翼按期望指令飞行。

1.3 关键知识点

软/硬件在环仿真的实现原理

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。

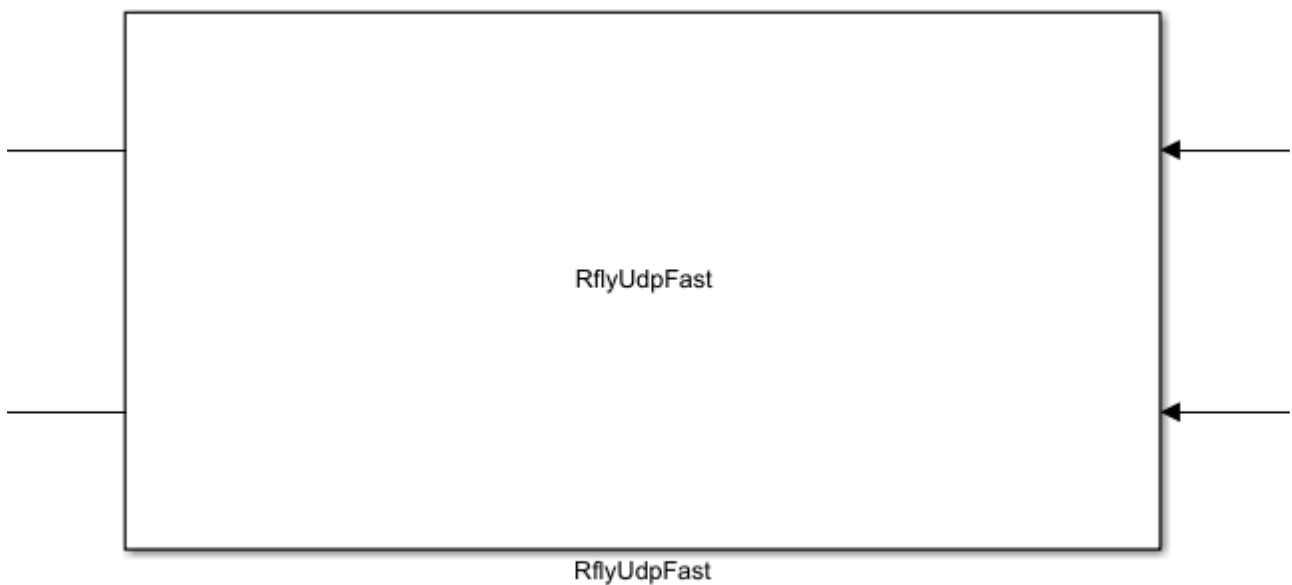
- 运动仿真模型：这是模拟飞行器运动的核心部分。在RflySim平台中，运动仿真模型是通过MATLAB/Simulink开发的，然后通过自动生成的C++代码转化成DLL（动态链接库）文件。在使用RflySim平台进行软硬件在环仿真时，会将DLL模型导入到CopterSim，形成运动仿真模型。这个模型在仿真中负责生成飞行器的运动响应，它拥有多个输入输出接口与底层控制器、三维引擎、地面控制站和外部控制进行数据交互，具体数据链路、通信协议及通信端口号见[PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf中的通信接口部分](#)。
- 底层控制器：在软/硬件在环仿真（SIL/HIL）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。

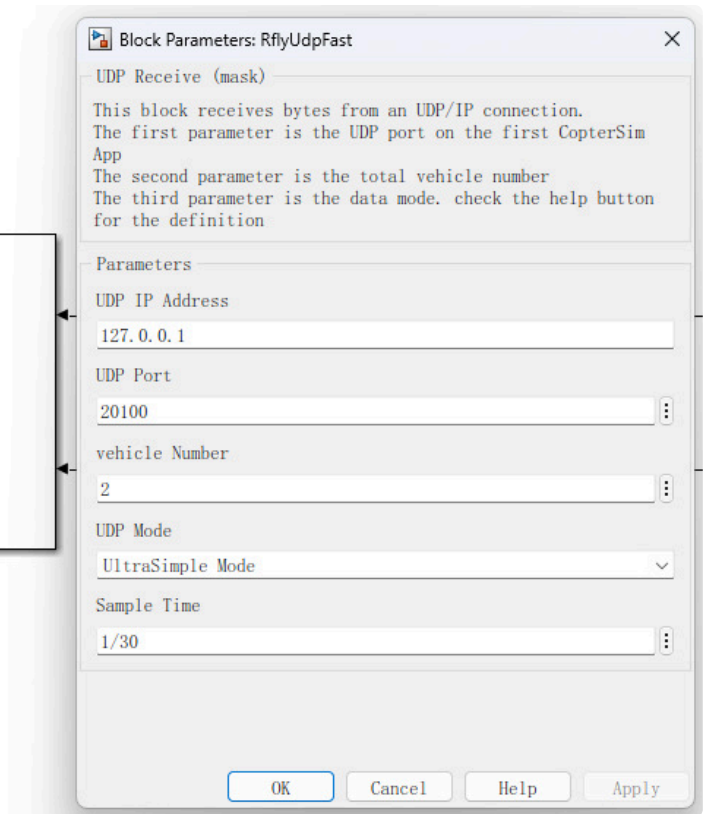
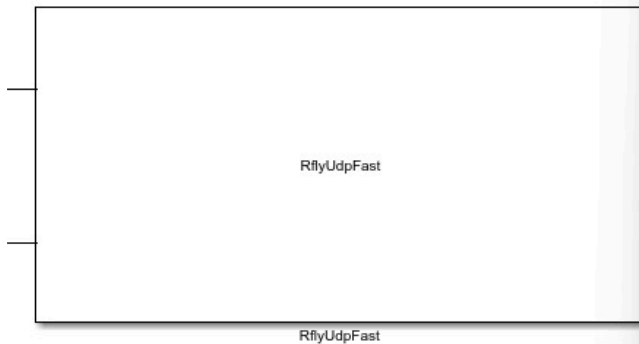
注意, 针对仿真时的机架设置, 在进行软件在环仿真时, 需要在对应的bat脚本中set PX4SITLFrame= Standard Plane, 硬件在环时需要在QGC机架设置页面进行相同设置。

外部控制 (Matlab/Simulink)

关键模块:



RflyUdpFast模块使用S-function开发, 可接收来自 UDP/IP 连接的字节, 同时也可发送字节。S-function可在Simulink中用非图形化的方式来描述一个模块, 一个完整的S-函数结构体系包含了描述一个动态系统所需要的全部能力。使用S-函数用户可以向Simulink模型中添加自己的模块, 可以自由选择使用MATLAB、C、C++等语言来创建自己的模块。RflyUdpFast模块设置: 第一个参数为IP地址, 第二个参数是 CopterSim 应用程序的 UDP 端口, 第三个参数是无人载具总数, 第四个参数是数据模式, 第五个参数为采样时间。



2. 实验效果

固定翼在软硬件在环仿真中，能按照期望指令飞行。

3. 文件目录

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e3_FWingModelCtrl\5.VelAltYawCtrlAPI_Mat

文件夹/文件名称	说明
AircraftMathworks.dll	固定翼DLL模型文件。
AircraftMathworksVelAltYawCtrlDemo.slx	固定翼速度、高度、偏航例程文件。
AircraftMathworksHITLRun.bat	硬件在环仿真批处理文件。
AircraftMathworksSITLRun.bat	软件在环仿真批处理文件。
Init.m	固定翼动力模型相关参数。
RflyUdpFast.cpp	S函数编写得集群接口文件。

文件夹/文件名称	说明
RflyUdpFast.mexw64	MEX编译之后的S函数文件。

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。

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 1台；数据线 1台。

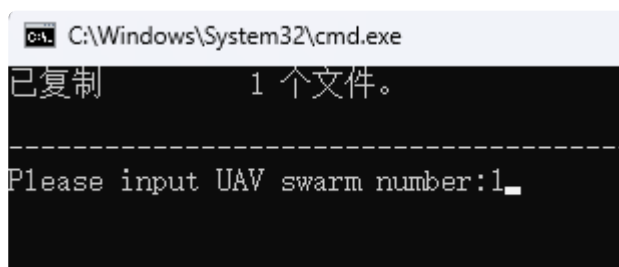
①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/>

5. 实验步骤

5.1. 必做实验：软件在环仿真

Step 1: 启动仿真

右键以管理员身份运行 “AircraftMathworksSITLRun.bat” 批处理文件，在弹出的终端窗口中输入1，启动1架飞机的软件在环仿真。



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
已复制 1 个文件。
-----
Please input UAV swarm number:1_
```

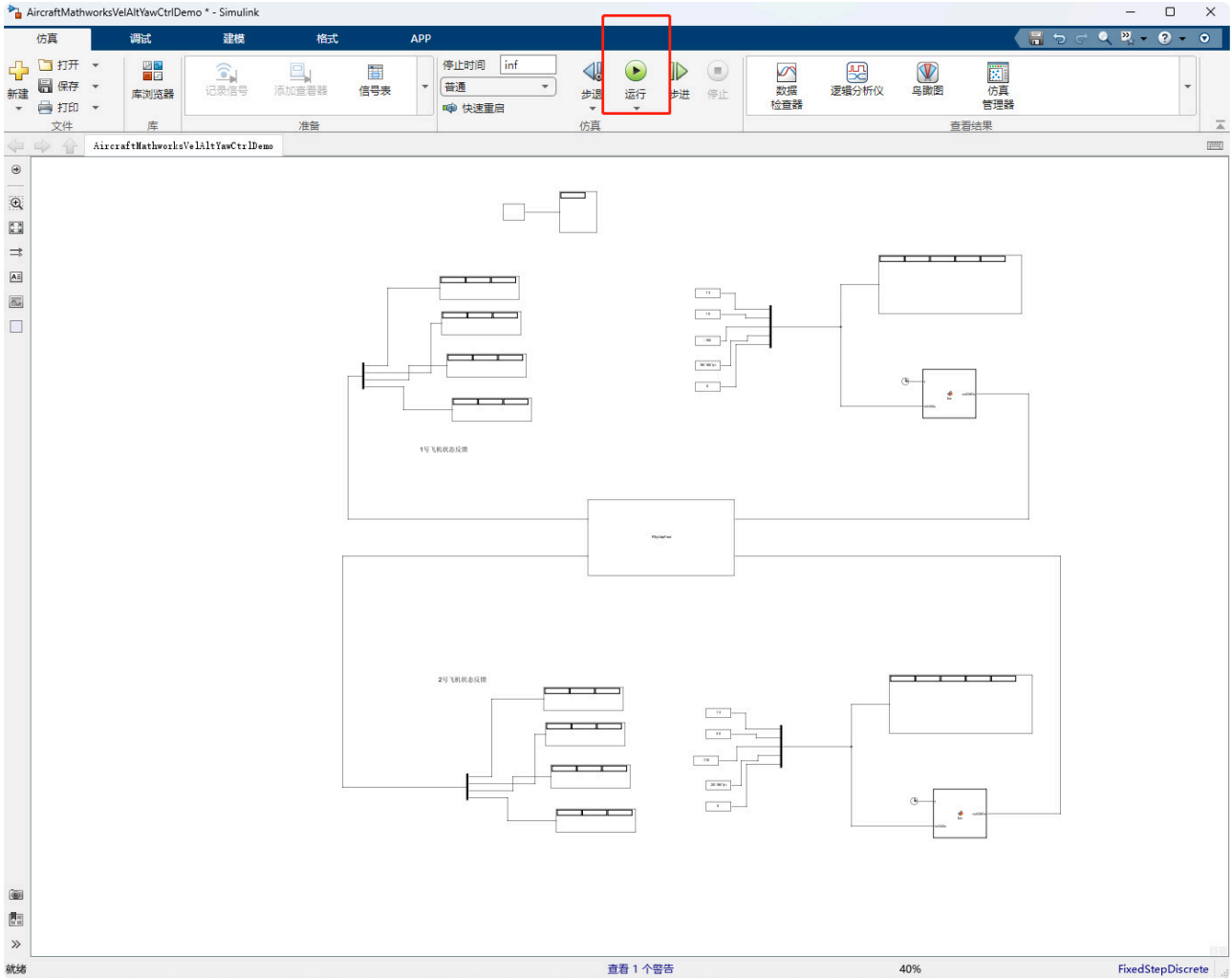
Step 2: 等待初始化完成

完成初始化。



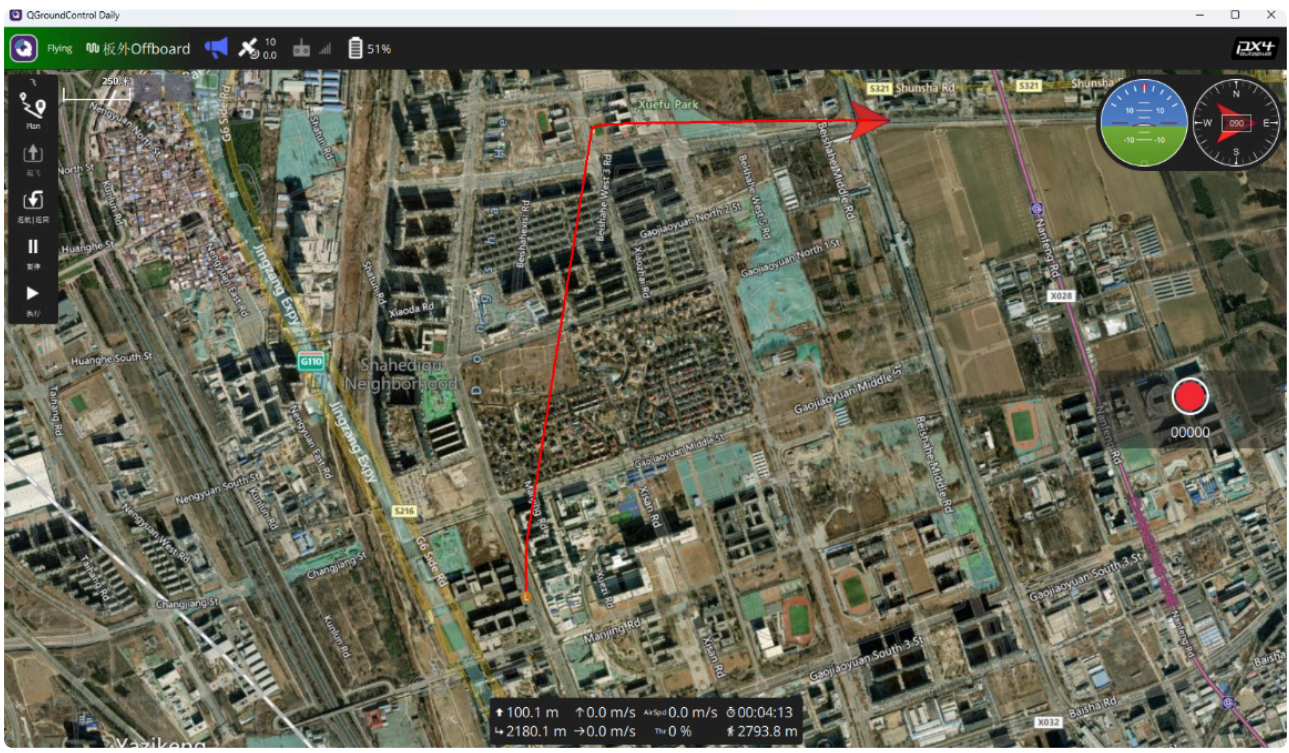
Step 3: 运行控制模型

打开AircraftMathworksVelYawAltCtrl.slx文件并运行，



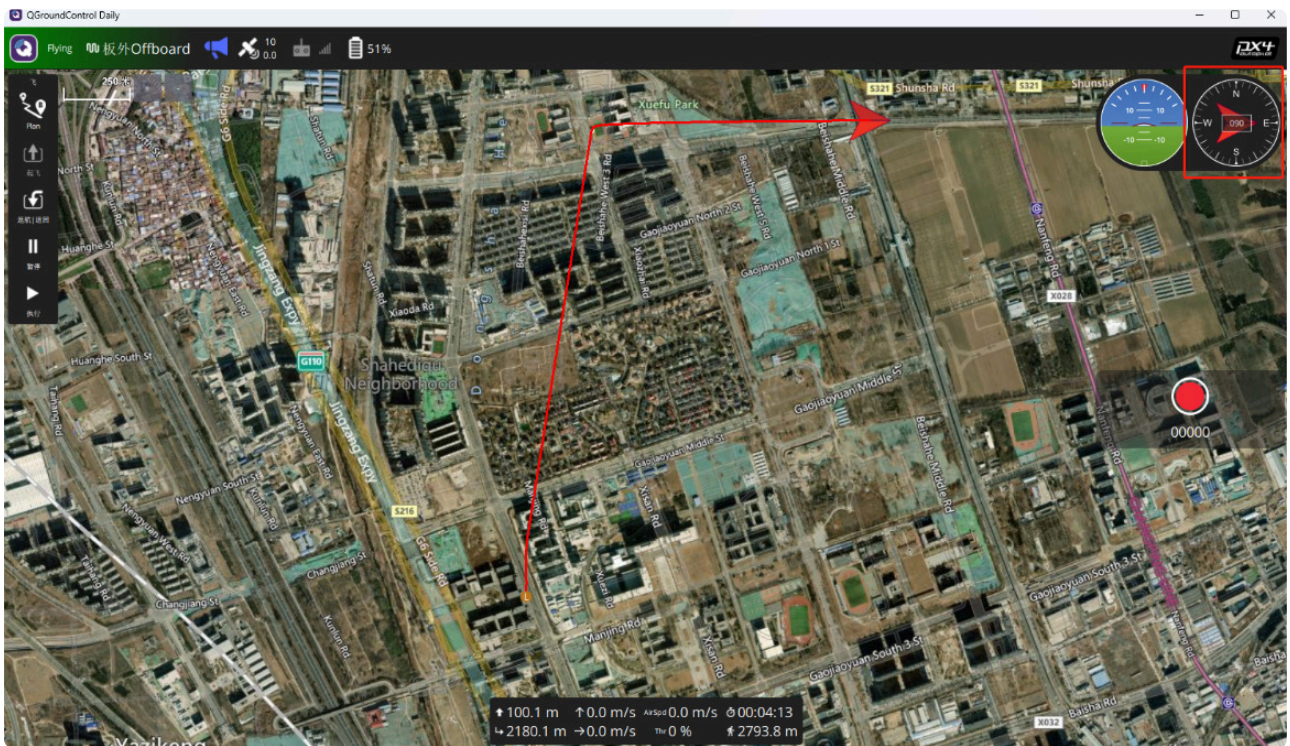
Step 4: 观察结果

运行一段时间后可看到固定翼按期望指令(速度、高度、偏航角)飞行。





在QGC右上角罗盘处可以看到偏航角为 90° 。



在CopterSim右下角可以看到飞行合速度即空速约为 10m/s ，飞行高度约为 100m 。

X	1515.43	Y	650.669	Z	100.079
Vx	0.111	Vy	10.295	Vz	0
ϕ	0.653	θ	2.716	ψ	88.879

5.2 选做实验：硬件在环仿真

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）。

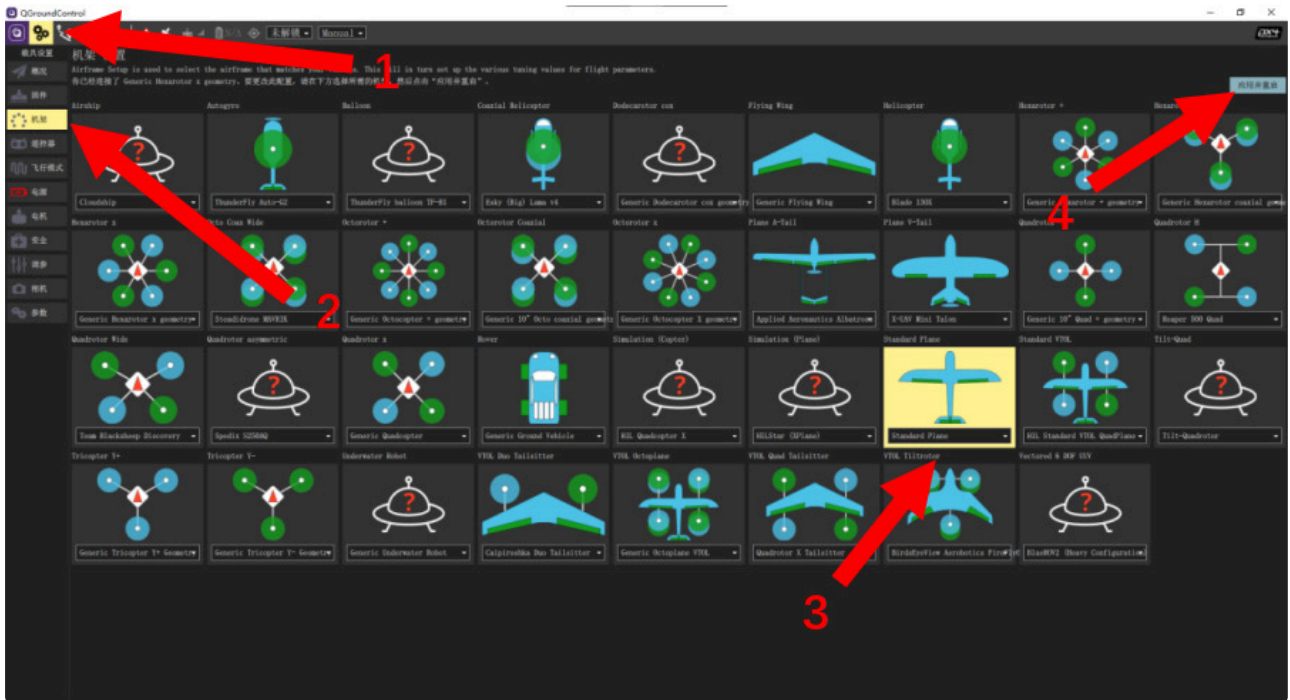


Step 2: 设置硬件在环机架

在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

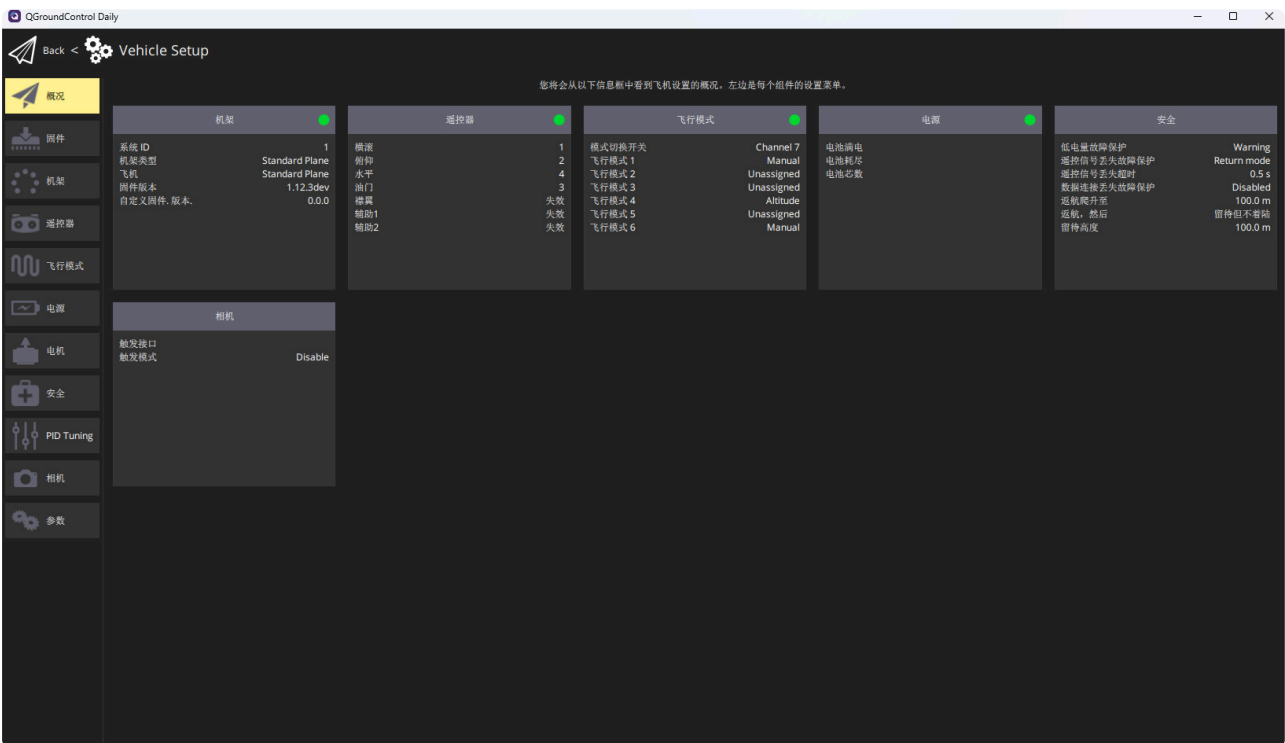
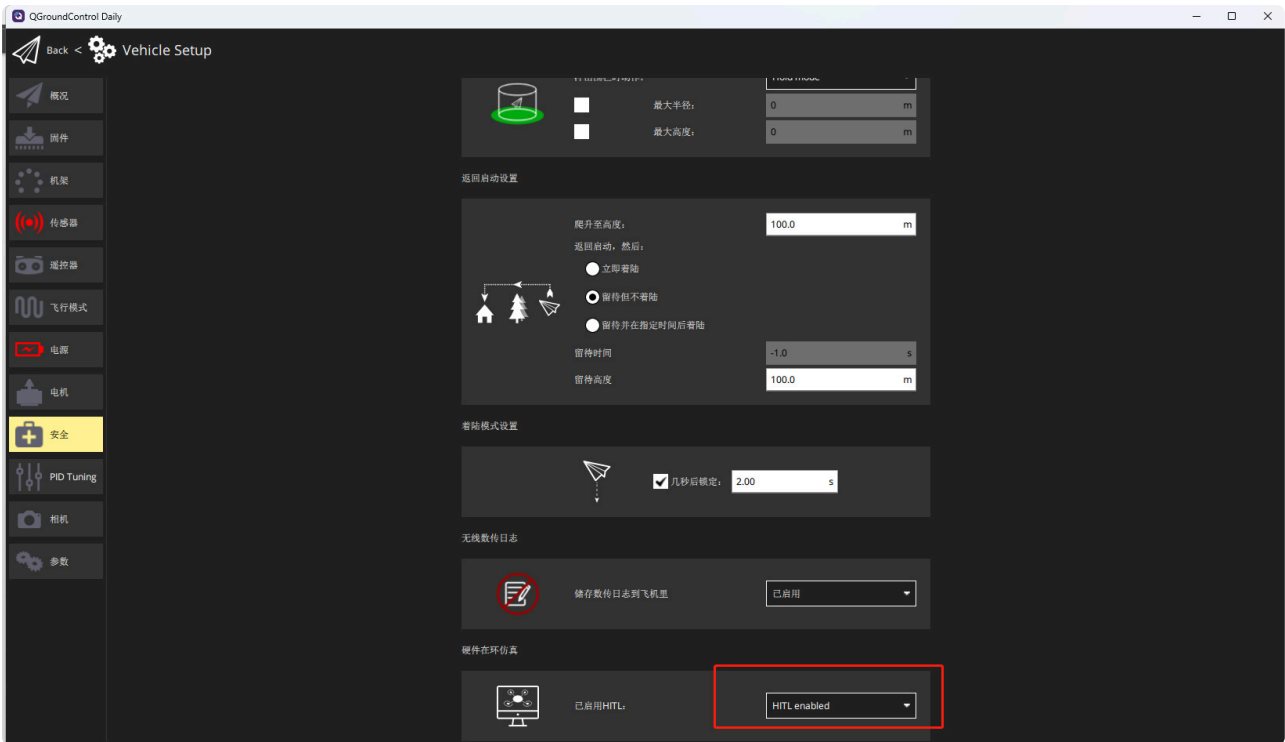
3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB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

在机架界面设置机架型号为“Standard Plane”，设置完毕后点击右侧“应用并重启”。



Step 3: 配置硬件在环参数

在“安全”界面，选择“HITL enabled”启动硬件在环仿真，之后在概况界面中确认配置完成后，重新插拔飞控完成设置。



Step 4: 启动仿真

右键以管理员身份运行

“[AircraftMathworksHITLRun.bat](#)” 批处理文件，在弹出的终端窗口中根据提示输入串口号，启动一架飞机的硬件在环仿真。

AircraftMathworks.dll	2022/7/27 19:11	应用程序扩展	255 KB
AircraftMathworksHITLRun	2022/11/29 23:38	Windows 批处理...	6 KB
AircraftMathworksSITLRun	2023/5/5 17:59	文件	6 KB
AircraftMathworksVelAltYawCtrlDemo	2023/5/6 12:08	Simulink Model	44 KB
Init	2022/7/28 23:42	MATLAB Code	1 KB

```
C:\Windows\system32\cmd.e: X + v
已复制 1 个文件。
-----
Please input the Pixhawk COM port list for HIL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks

Available COM ports on this computer are:
COM3: ??????????
COM4: ??????????
COM5: USB ???
-----
Recommended COM list input is: 3,4,5
-----
My COM list for HITL simulation is:5|
```

Step 5: 仿真过程

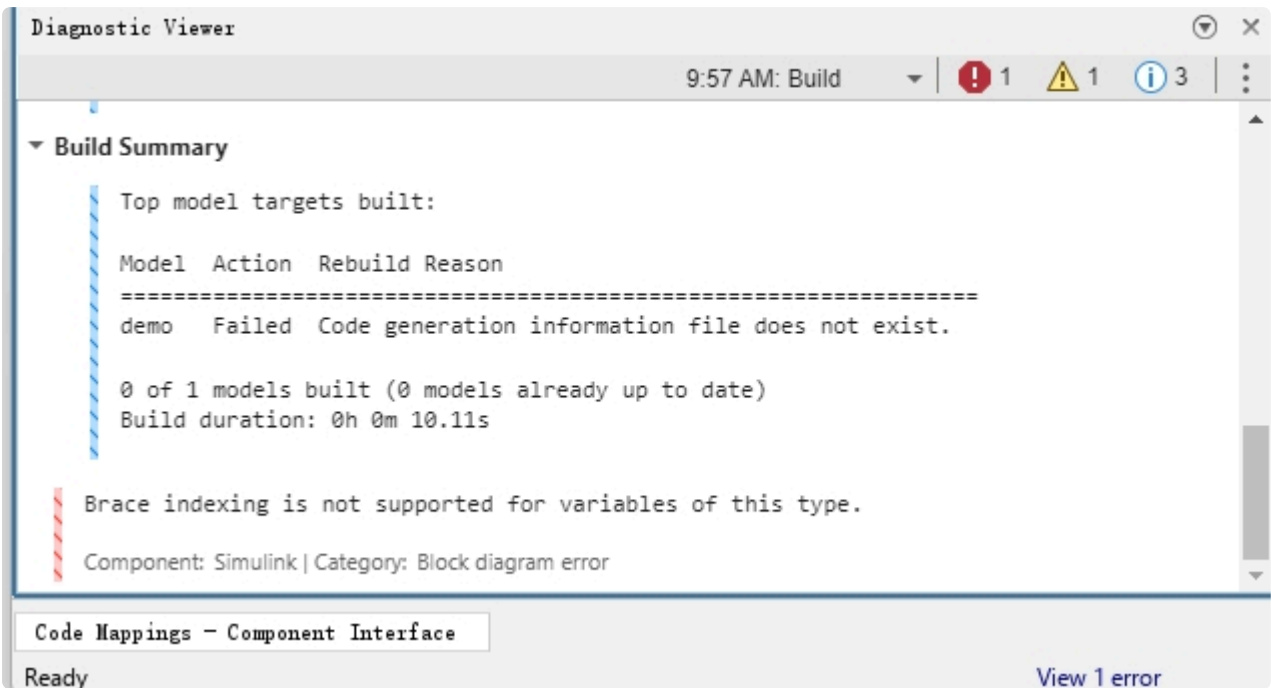
之后测试步骤与软件在环的Step2到Step4相同，等待初始化完成，运行之后在 RflySim3D 中观察是否按QGC规划轨迹飞行。

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: 未正确安装visual studio c++编译环境并配置mex，导致文件编译失败



A1: 首先将低于当前MATLAB版本的Visual Studio C++编译环境安装到VS默认安装目录，然后在MATLAB的命令行窗口中输入指令“mex -setup”，一般来说会自动识别并安装上支持的编译器，命令行显示“MEX 配置使用 ‘Microsoft Visual C++ 2017’ 以进行编译”的字样说明安装正确。详细环境配置参考” [RflySim平台安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf “中的环境配置



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 firmware code ("yes" to use Simulink controller, "no" to use PX4 official controller)
no

OK Cancel