

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

基于系统模板的阿克曼底盘无人车模型验证（Simulink位置控制）

1.2 实验目的

软硬件在环仿真模式下，使用Matlab对单/多辆无人车的位置进行控制。

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。

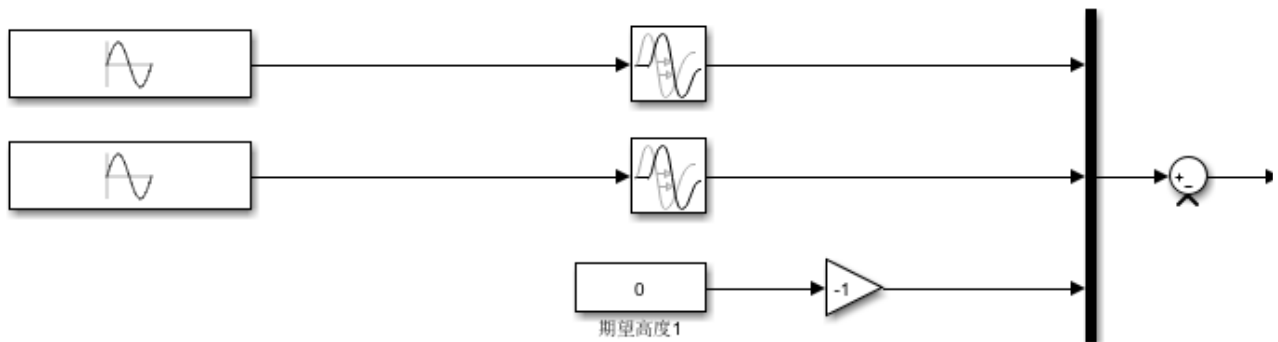
- 运动仿真模型：这是模拟飞行器运动的核心部分。在RflySim平台中，运动仿真模型是通过MATLAB/Simulink开发的，然后通过自动生成的C++代码转化成DLL（动态链接库）文件。在使用RflySim平台进行软硬件在环仿真时，会将DLL模型导入到CopterSim，形成运动仿真模型。这个模型在仿真中负责生成飞行器的运动响应，它拥有多个输入输出接口与底层控制器、三维引擎、地面控制站和外部控制进行数据交互，具体数据链路、通信协议及通信端口号见[PX4PSP\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf中的通信接口部分](#)。
- 底层控制器：在软/硬件在环仿真（SIL/HIL）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

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=generic_ground_vehicle, 硬件在环时需要在QGC机架设置页面进行相同设置。

通过外部控制接口 (Matlab) 进行无人车位置控制

CarAckermanMultiPos4.slx模型中, 设置期望位置输入



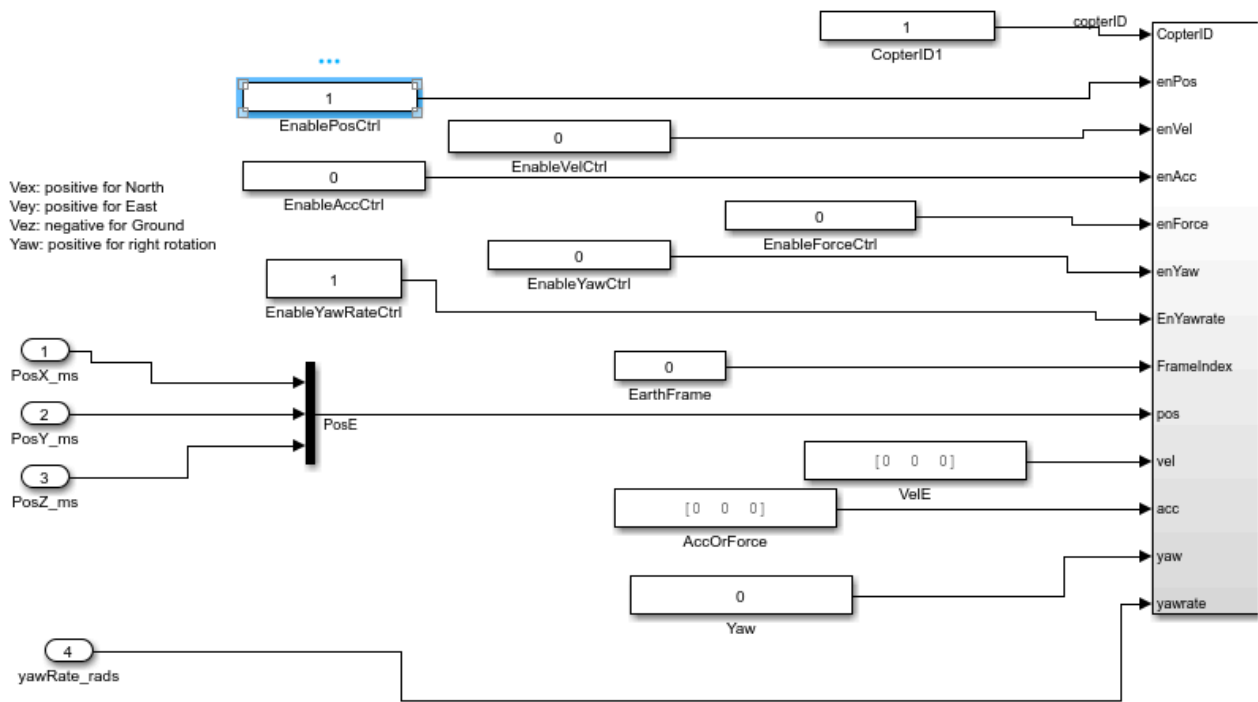
设置期望x坐标:

$$x_d = 50 \sin(0.1t)$$

, 期望y坐标:

$$y_d = 50 \sin \left(0.1t - \frac{\pi}{2} \right) + 50$$

可知, 期望轨迹为以(0, 50)为圆心的圆形。在VelEarthFrameOffboardCtrl模块中, 设置 EnablePosCtrl = 1



对输入的数据进行打包，打包成如下的结构体：

```

struct inHILCMDData{
    uint32_t time_boot_ms;
    uint32_t copterID;
    uint32_t type_mask;
    uint32_t coordinate_frame;
    float ctrls[9];
};

```

然后通过RflyUdpFast模块经由UDP

20100端口发送给模型，从而控制无人车的位置。RflyUdpFast模块是使用S-function开发的模块，可向指定的UDP端口发送数据，同时也可接收数据。

2.实验效果

通过Matlab/Simulink控制多辆无人小车实现位置控制。

3. 文件目录

例程目录：

[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e5_CarAckermanCtrl\2.CarAckermanPosCtrl_Mat

文件夹/文件名称	说明
CarAckermanMultiPos4.bat	多辆无人车位置控制软件在环仿真批处理文件。
CarAckermanMultiPos4.slx	多辆无人车位置控制simulink文件。
CarAckermanHITLRun.bat	硬件在环批处理文件
CarAckerman.dll	无控制器的阿克曼底盘小车DLL模型文件
Init.m	初始化参数。
RflyUdpFast.cpp	S函数编写的集群接口文件。
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. 仿真环境准备

第一次使用平台调用RflyUdpFast.cpp文件进行仿真时，需要编译该文件。

在Matlab命令行窗口中输入mex RflyUdpFast.cpp，回车。

```
命令行窗口
fx >> mex RflyUdpFast.cpp
```

提示mex编译完成。

```
命令行窗口
>> mex RflyUdpFast.cpp
使用 'Microsoft Visual C++ 2017' 编译。
MEX 已成功完成。
fx >>
```

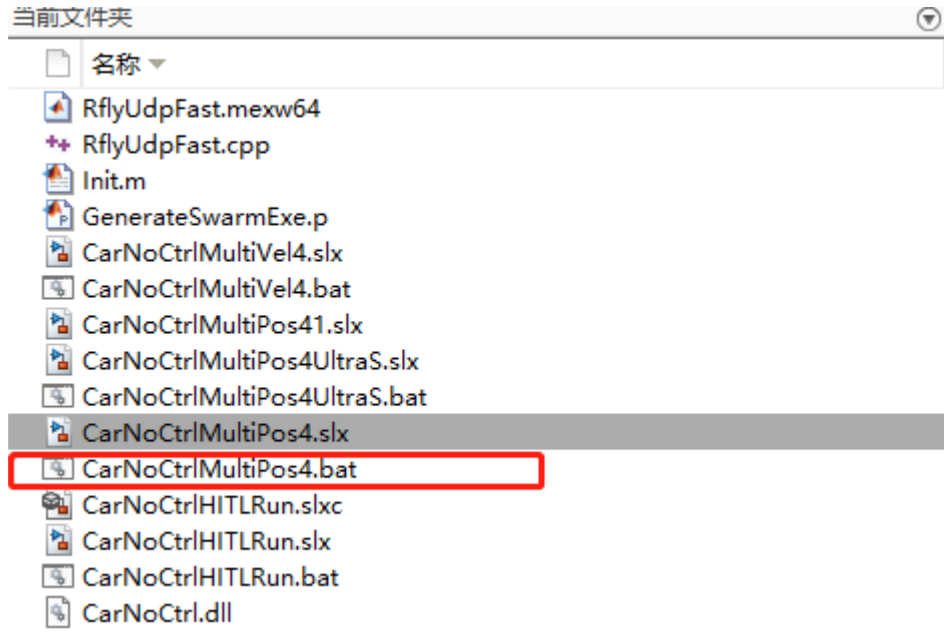
文件夹中会生成一个.mexw64后缀的文件，完成仿真环境部署。

名称	修改日期	类型	大小
CarAckerman.dll	2023/11/10 14:04	应用程序扩展	218 KB
CarAckermanHITLRun.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	6 KB
CarAckermanMultiPos4.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	5 KB
CarAckermanMultiPos4.slx	2023/10/24 15:33	Simulink Model	54 KB
Init.m	2023/10/24 15:33	MATLAB Code	1 KB
Readme.docx	2023/11/10 15:07	Microsoft Word ...	6,662 KB
Readme.pdf	2023/11/10 17:39	Foxit PDF Reade...	1,301 KB
RflyUdpFast.cpp	2023/10/24 15:33	C++ Source	25 KB
RflyUdpFast.mexw64	2023/11/13 9:19	MATLAB Mex	26 KB

5.2. 必做实验：软件在环仿真

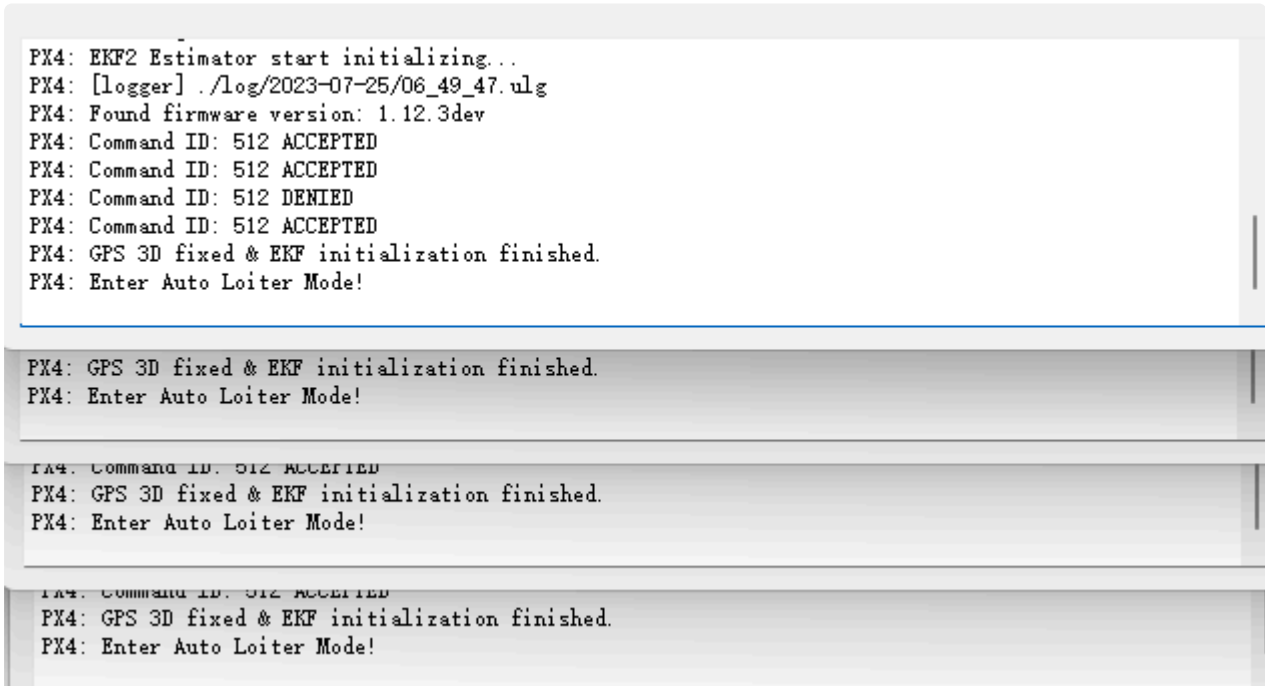
Step 1: 启动仿真

右键以管理员身份运行 [CarAckermanMultiPos4.bat](#) 批处理文件。



Step 2: 等待初始化完成

等待4辆车的CopterSim都显示初始化完成。





Step 3: 运行控制模型

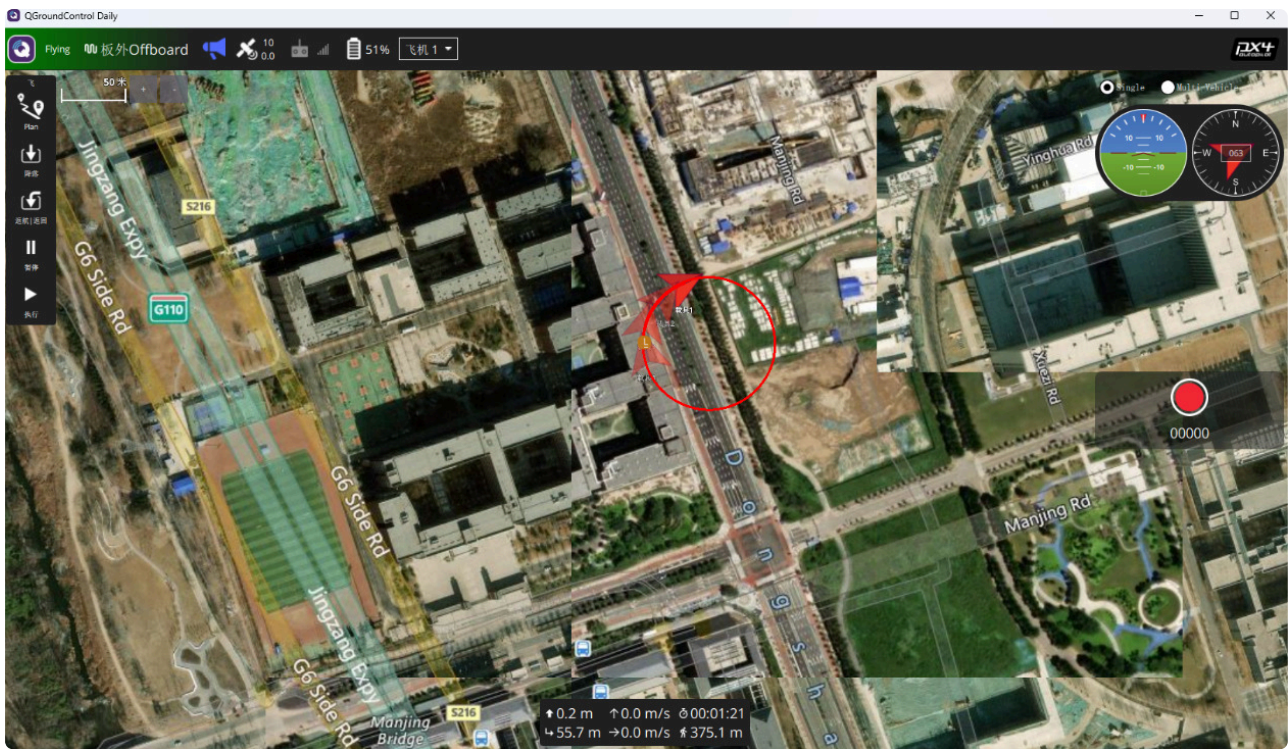
点击运行CarAckermanMultiPos4.slx。

名称	修改日期	类型	大小
CarAckerman.dll	2023/11/10 14:04	应用程序扩展	218 KB
CarAckermanHITLRun.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	6 KB
CarAckermanMultiPos4.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	5 KB
CarAckermanMultiPos4.slx	2023/10/24 15:33	Simulink Model	54 KB
Init.m	2023/10/24 15:33	MATLAB Code	1 KB
Readme.docx	2023/11/10 15:07	Microsoft Word ...	6,662 KB
Readme.pdf	2023/11/10 17:39	Foxit PDF Reade...	1,301 KB
RflyUdpFast.cpp	2023/10/24 15:33	C++ Source	25 KB
RflyUdpFast.mexw64	2023/11/13 9:19	MATLAB Mex	26 KB



Step 4: 观察结果

观察 QGC 和 RflySim3D 中无人车的运动轨迹如下图所示。



5.3. 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）。

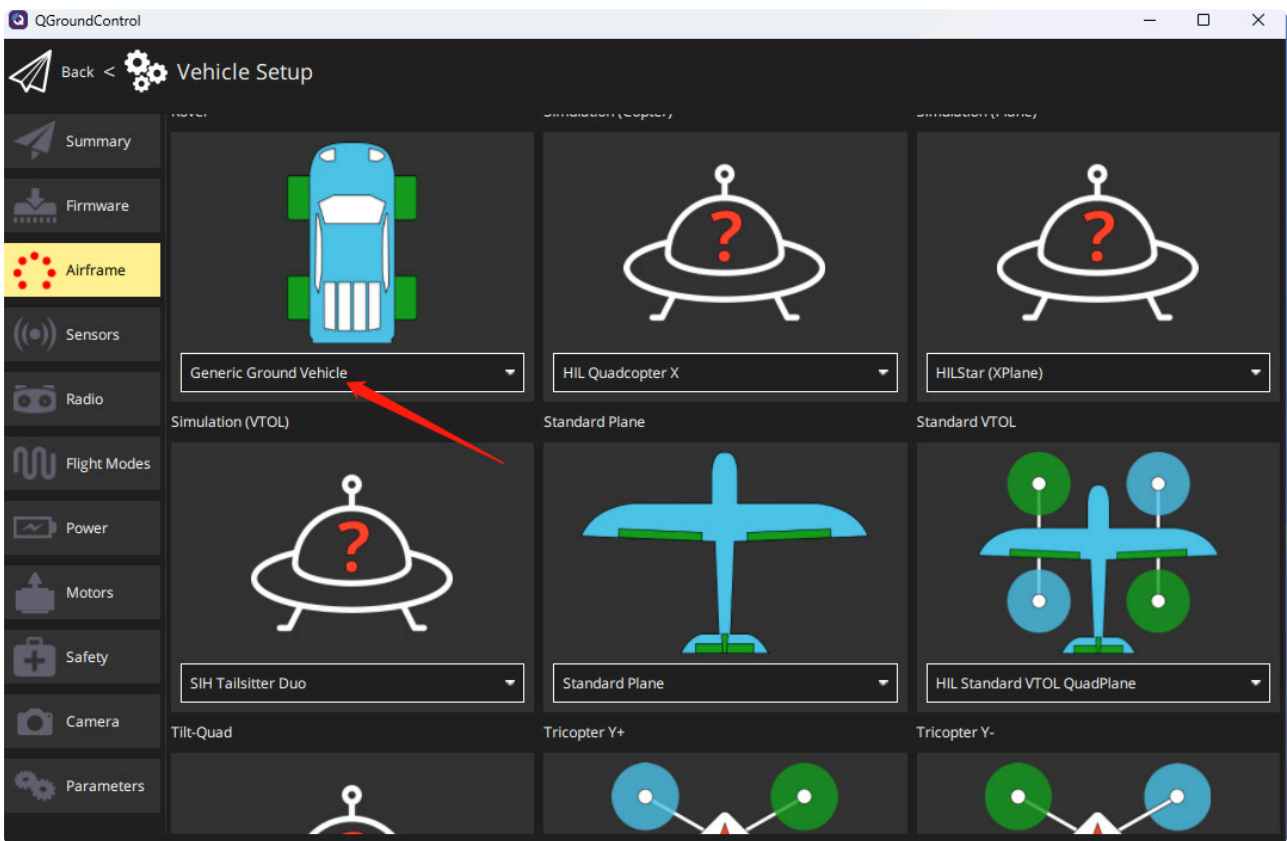


Step 2: 设置硬件在环机架

在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

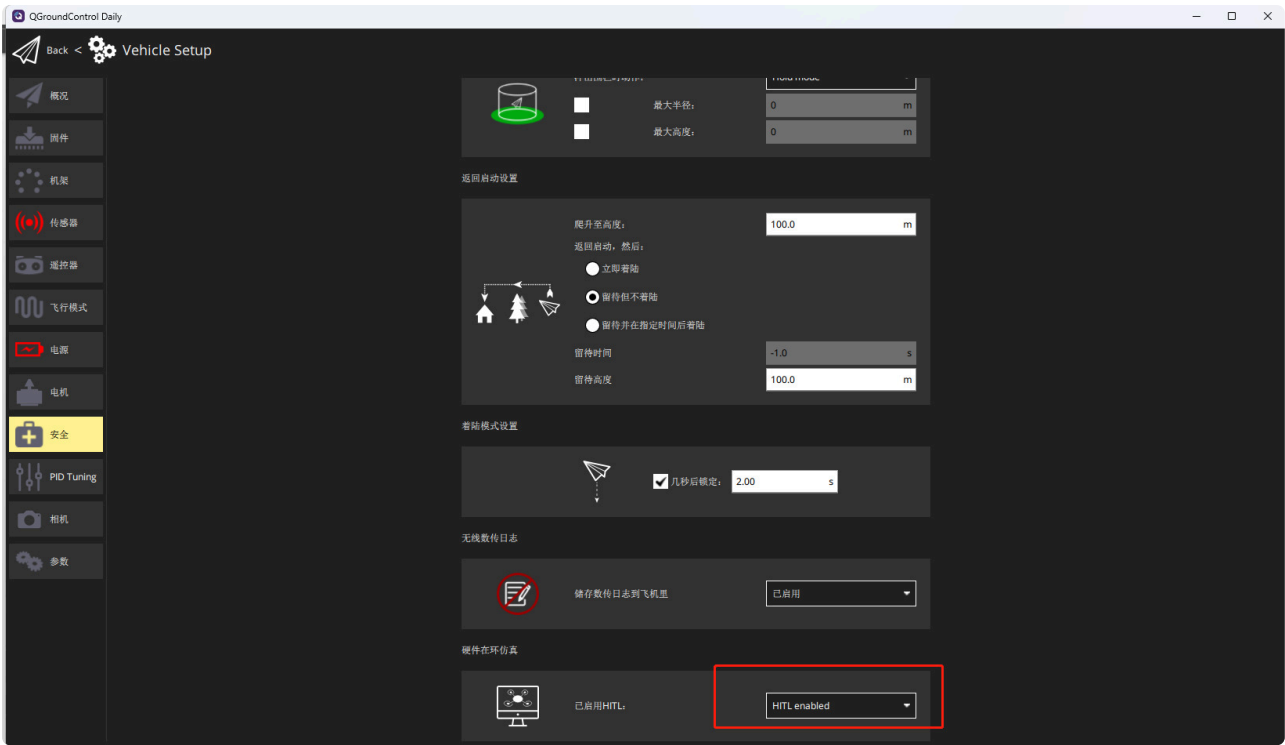
	3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	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“Generic Ground Vehicle”，设置完毕后重插拔飞控完成机架设置。

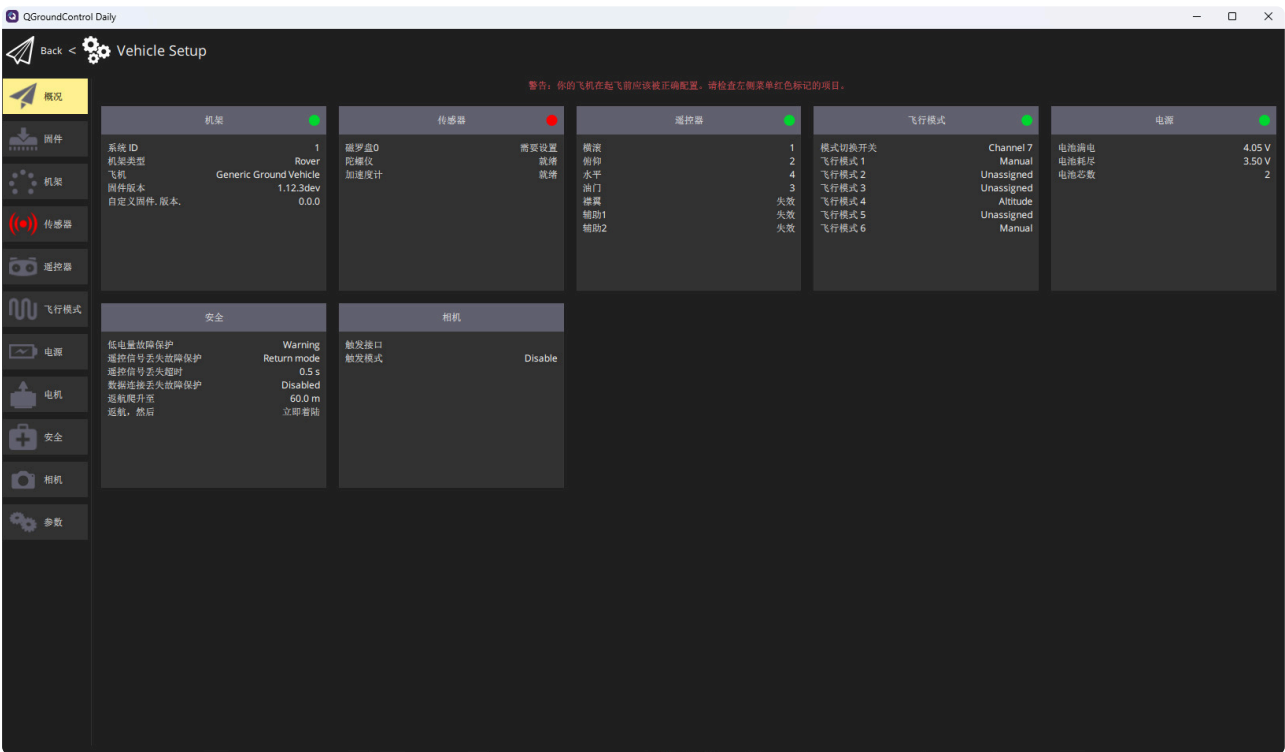


Step 3: 配置硬件在环参数

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。












下图为完成硬件在环仿真相关配置后的示意图。



Step 4: 启动仿真

右键以管理员身份运行 [CarAckermanHITLRun.bat](#)

批处理文件，输入端口号（如自动完成端口号识别则不用输入），启动硬件在环仿真。

名称	修改日期	类型	大小
 CarAckerman.dll	2023/11/10 14:04	应用程序扩展	218 KB
 CarAckermanHITLRun.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	6 KB
 CarAckermanMultiPos4.bat	2023/11/10 14:16	Windows 批处理...	5 KB
 CarAckermanMultiPos4.slx	2023/10/24 15:33	Simulink Model	54 KB
 Init.m	2023/10/24 15:33	MATLAB Code	1 KB
 Readme.docx	2023/11/10 15:07	Microsoft Word ...	6,662 KB
 Readme.pdf	2023/11/10 17:39	Foxit PDF Reade...	1,301 KB
 RflyUdpFast.cpp	2023/10/24 15:33	C++ Source	25 KB
 RflyUdpFast.mexw64	2023/11/13 9:19	MATLAB Mex	26 KB

Step 5: 仿真过程

随后参照5.2中的Step2到Step4可以进行无人车的位置控制。

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

OK Cancel