

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

多旋翼硬件在环扫频辨识实验

1.2 实验目的

对给定的多旋翼非线性模型进行姿态环辨识，得到roll、pitch和yaw三个通道的传递函数

1.3 关键知识点

2. 实验效果

3. 文件目录

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e13_CopIdModel\2.HILFreqId](#)

文件夹/文件名称	说明
OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx	以滚转通道为例的姿态环自动扫频程序

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://rflsim.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://rflsim.com/>

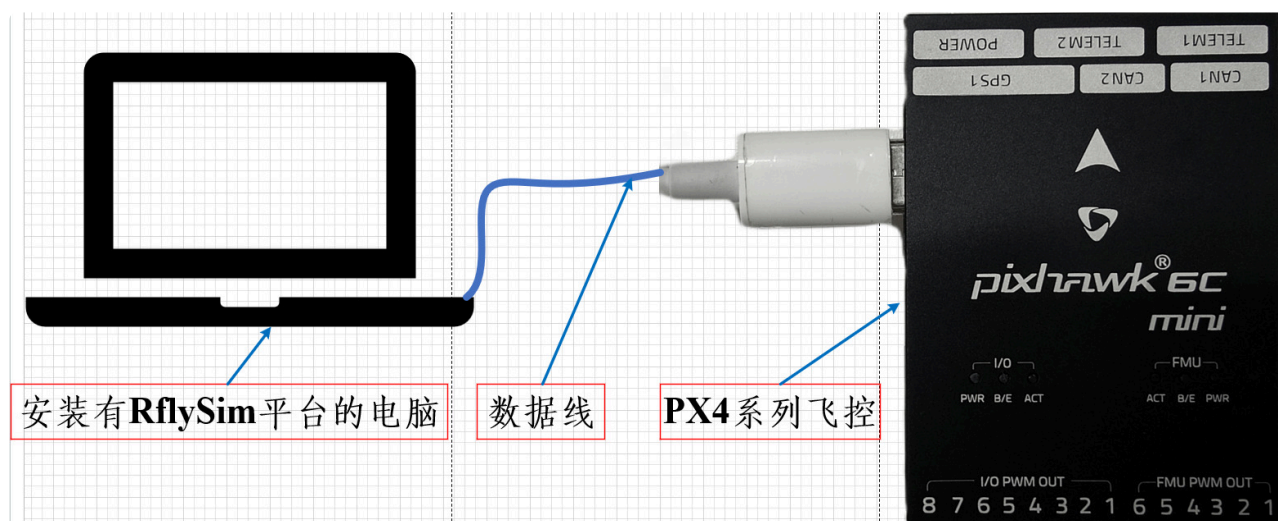
5. 实验步骤

选做实验：硬件在环仿真下的扫频实验

Step 1: 飞控配置

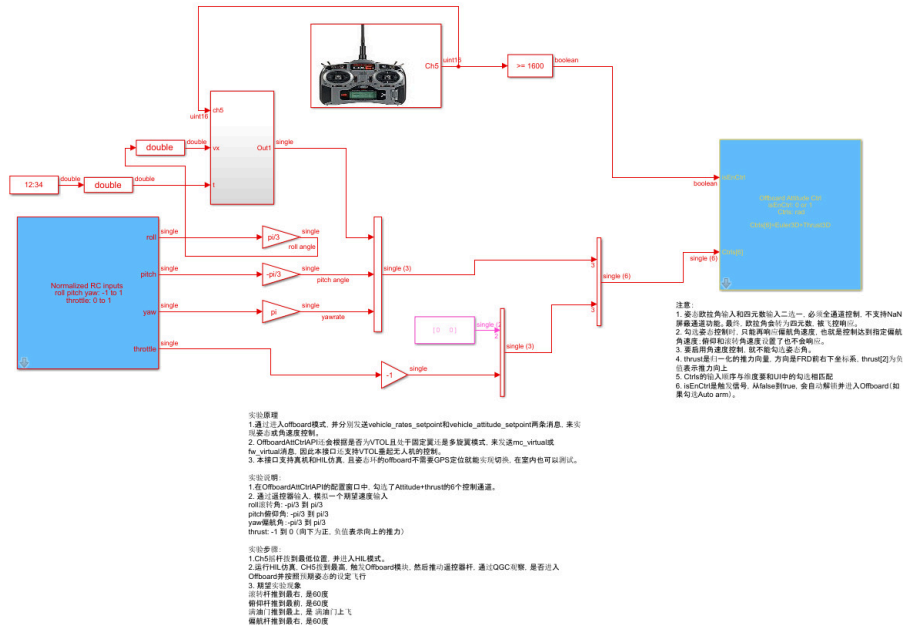
Step 1.1: 连接飞控

将Pixhawk自驾仪与计算机通过USB数据线连接。

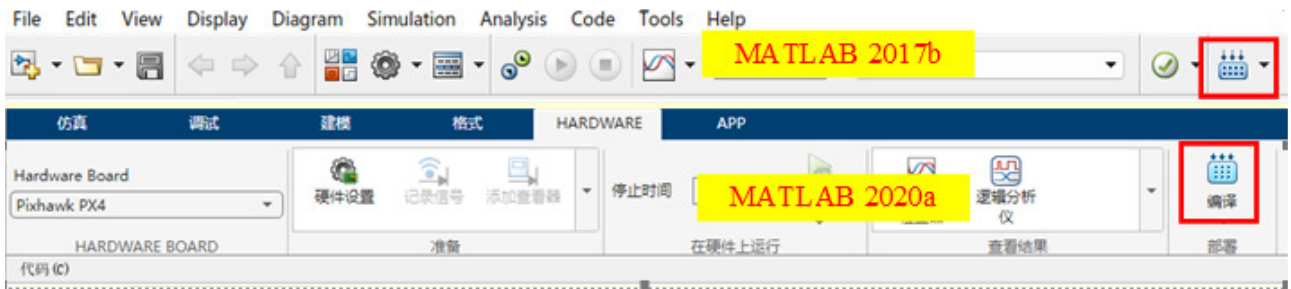


Step 1.2: 编译上传扫频控制器

打开OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx

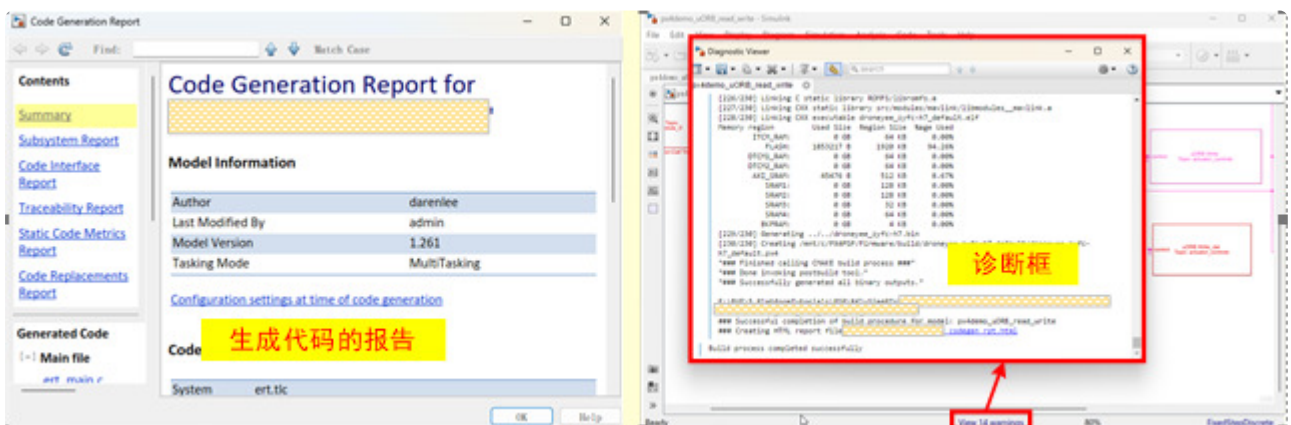


在Simulink中,点击编译命令。

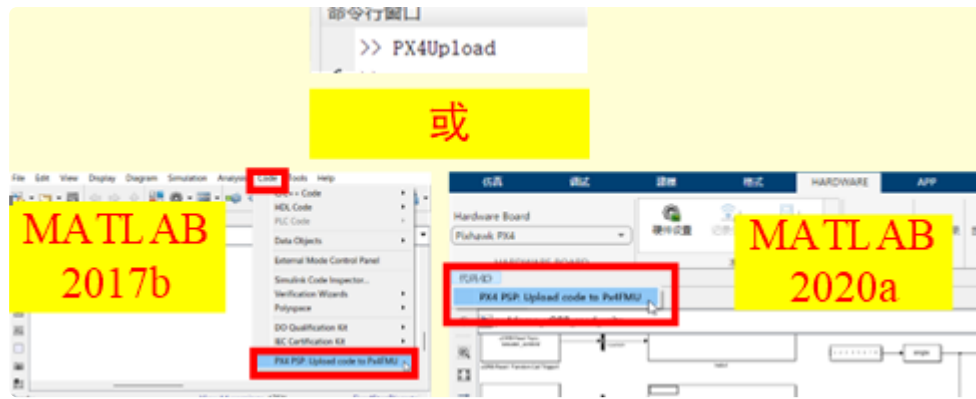


在Simulink的下方点击View

diagnostics指令,即可弹出诊断对话框,可查看编译过程。在诊断框中弹出Build process completed successfully,即可表示编译成功,左图为生成的编译报告。



用USB数据线链接飞控与电脑。在MATLAB命令行窗口输入:PX4Upload并运行或点击PX4 PSP: Upload code to Px4FMU,弹出CMD对话框,显示正在上传固件至飞控中,等待上传成功。



```
C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd x + v
Loaded firmware for board id: 56,0 size: 1882616 bytes (95.75%), waiting for the bootloader...
Attempting reboot on COM7 with baudrate=57600...
If the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.












Found board id: 56,0 bootloader version: 5 on COM7
sn: 003800413532511838383730
chip: 20036450
family: b'STM32H7[4|5]x'
revision: b'V'
flash: 1966080 bytes
Windowed mode: False

Erase : [=====] 100.0%
Program : [=====] 100.0%
Verify : [=====] 100.0%
Rebooting. Elapsed Time 26.113

F:\d2\4.RflySimModel\2.AdvExps\e13_CopIdModel\2.HILFreqId>
```

Step 1.3: 设置硬件在环机架

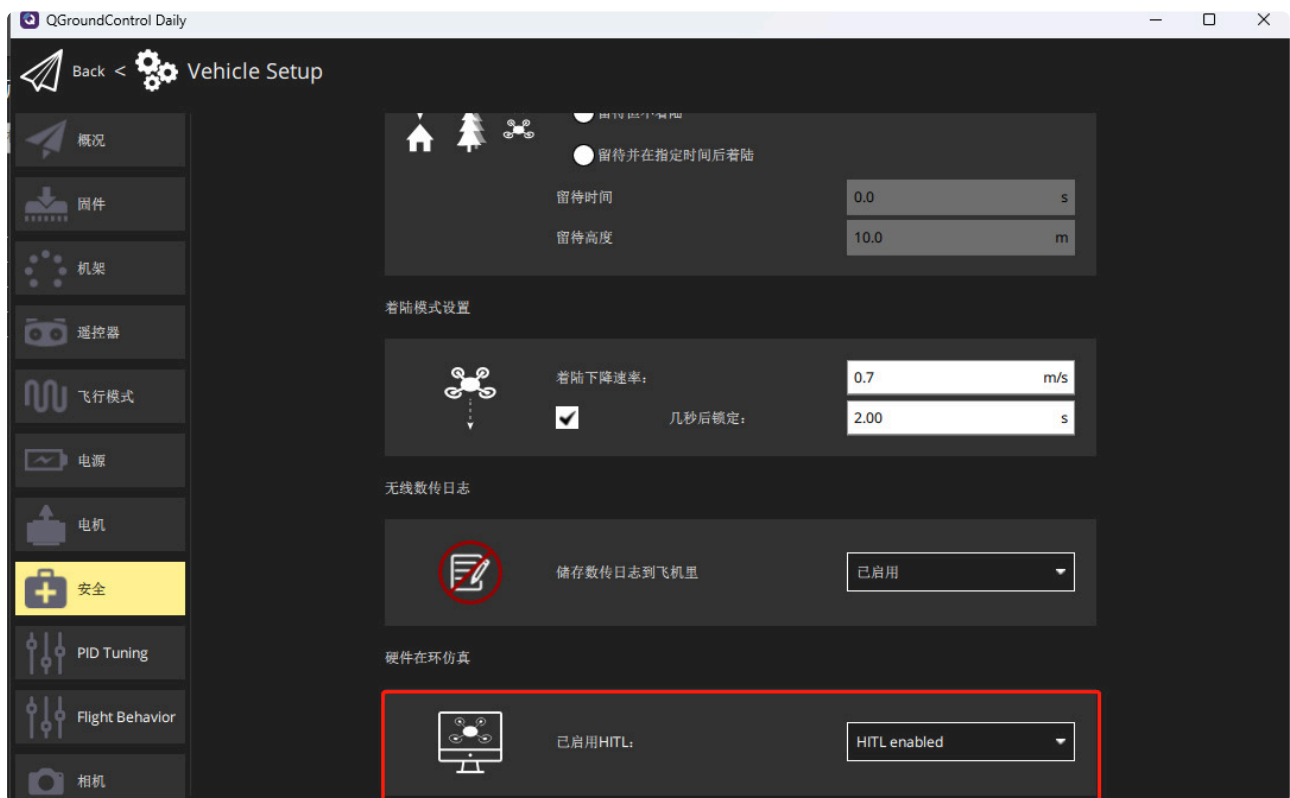
在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

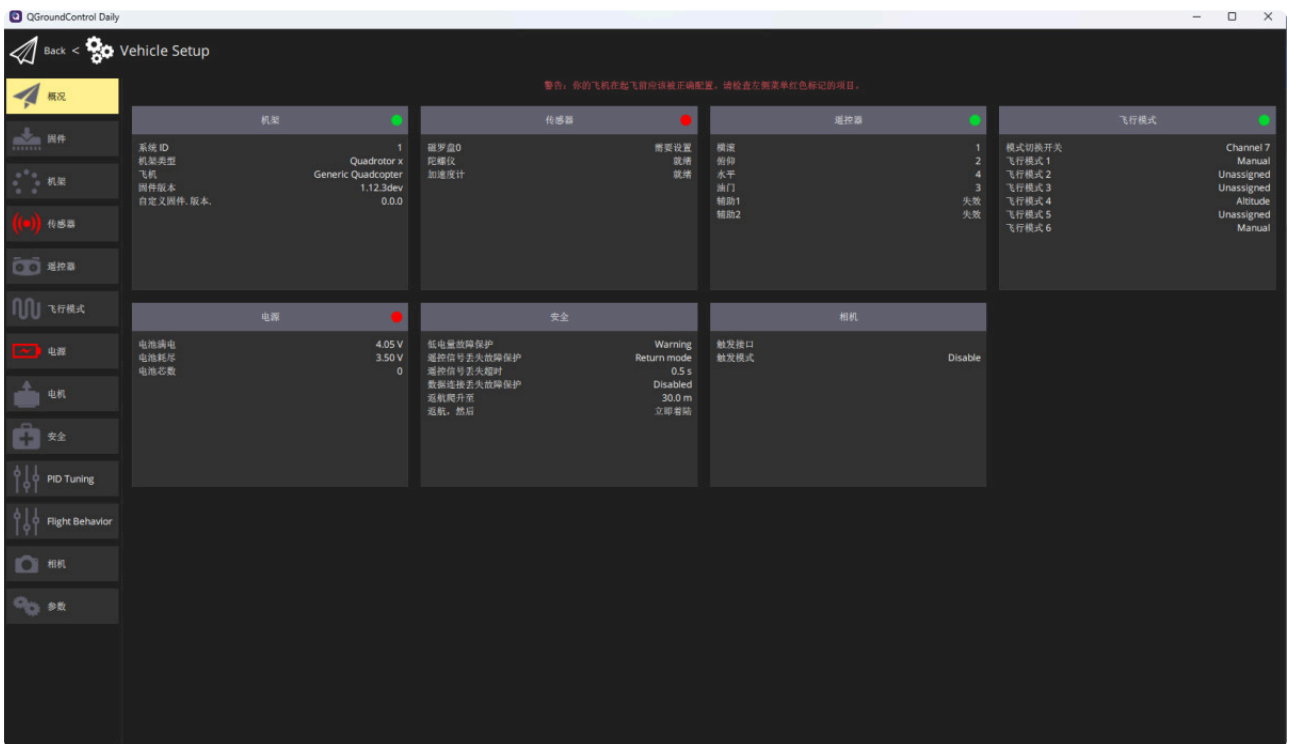
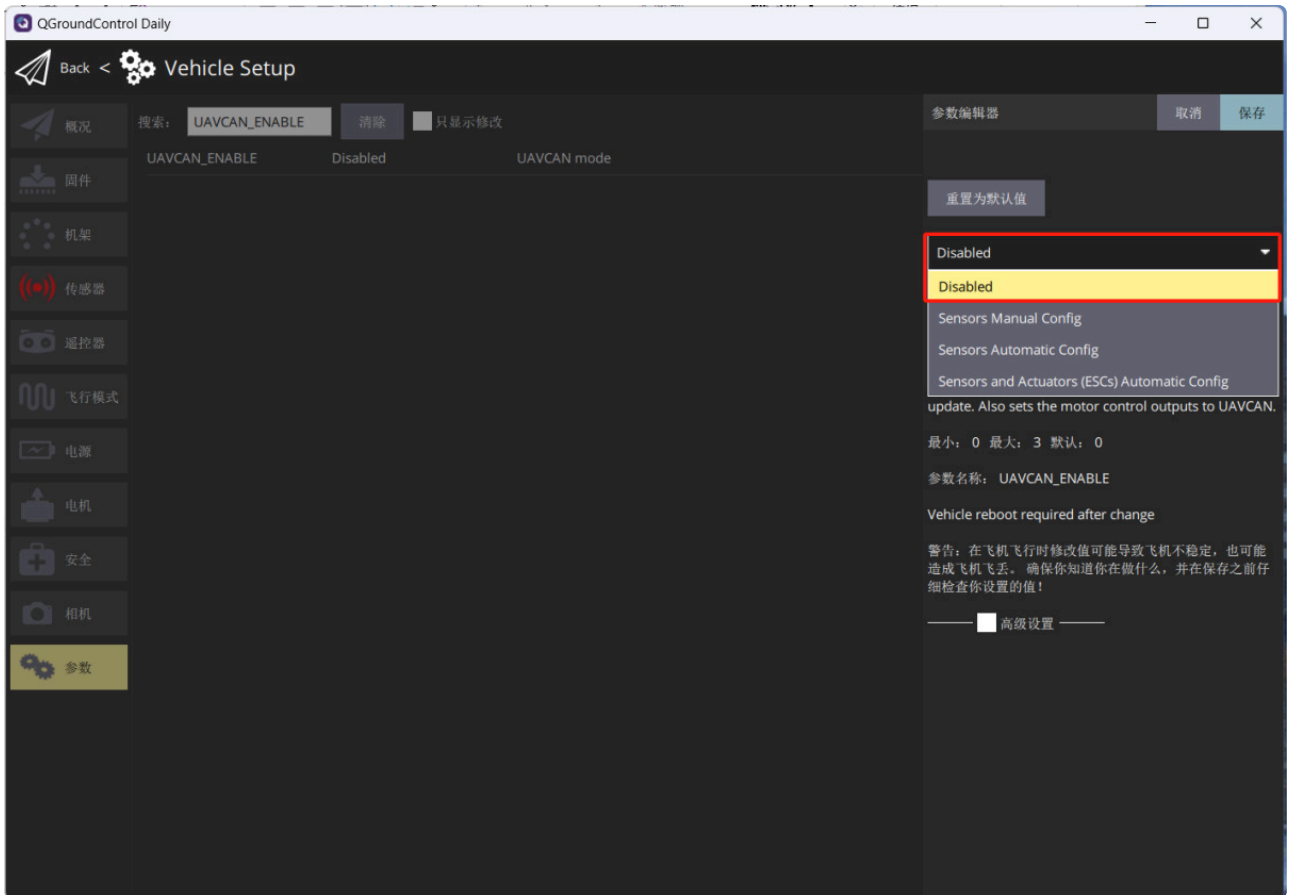
 3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
 CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
 FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
 HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
 Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
 QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
 RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
 RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	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“HIL Quadcopter”，设置完毕后点击右侧“应用并重启”，等待飞控重启。

Step 1.4: 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。若使用PX4 1.13版本固件，在搜索栏中输入“UAVCAN_ENABLE”，点击“参数”，在弹出框中设置为“Disabled”，点击保存，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。





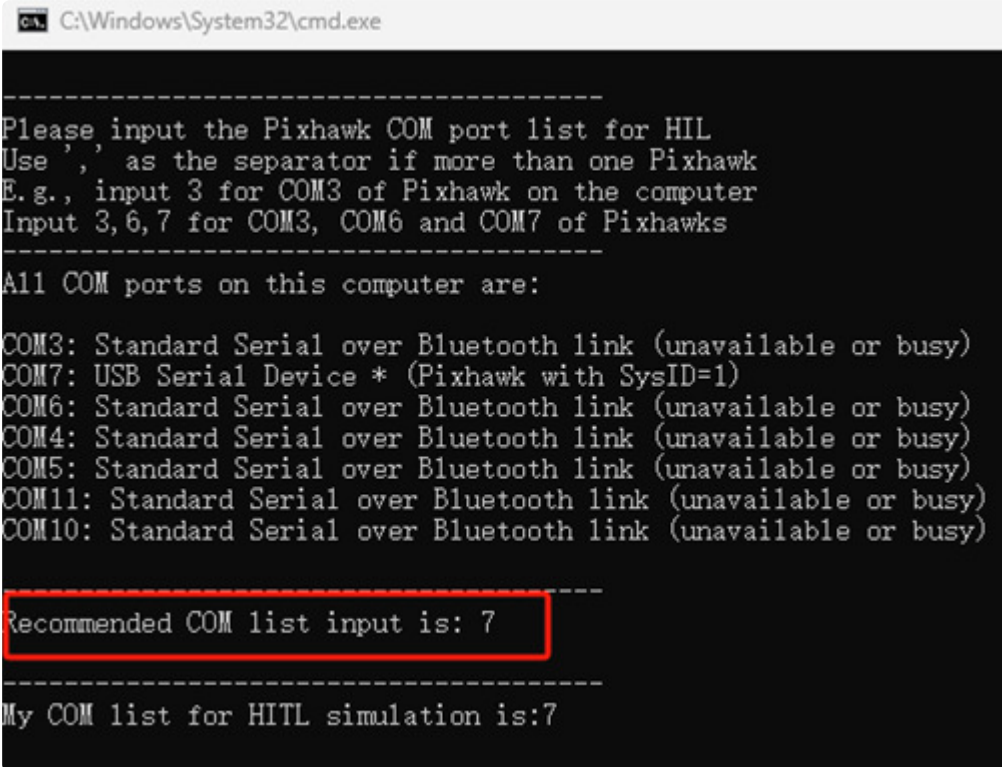
Step2: 遥控器配置

Step 2.1: 连接接收机并对码

按如下图所示连接接收机和飞控。

Step 3: 启动仿真

运行桌面RflyTools/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。



```
C:\Windows\System32\cmd.exe

-----
Please input the Pixhawk COM port list for HITL
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
-----

All COM ports on this computer are:

COM3: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)
COM7: USB Serial Device * (Pixhawk with SysID=1)
COM6: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)
COM4: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)
COM5: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)
COM11: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)
COM10: Standard Serial over Bluetooth link (unavailable or busy)

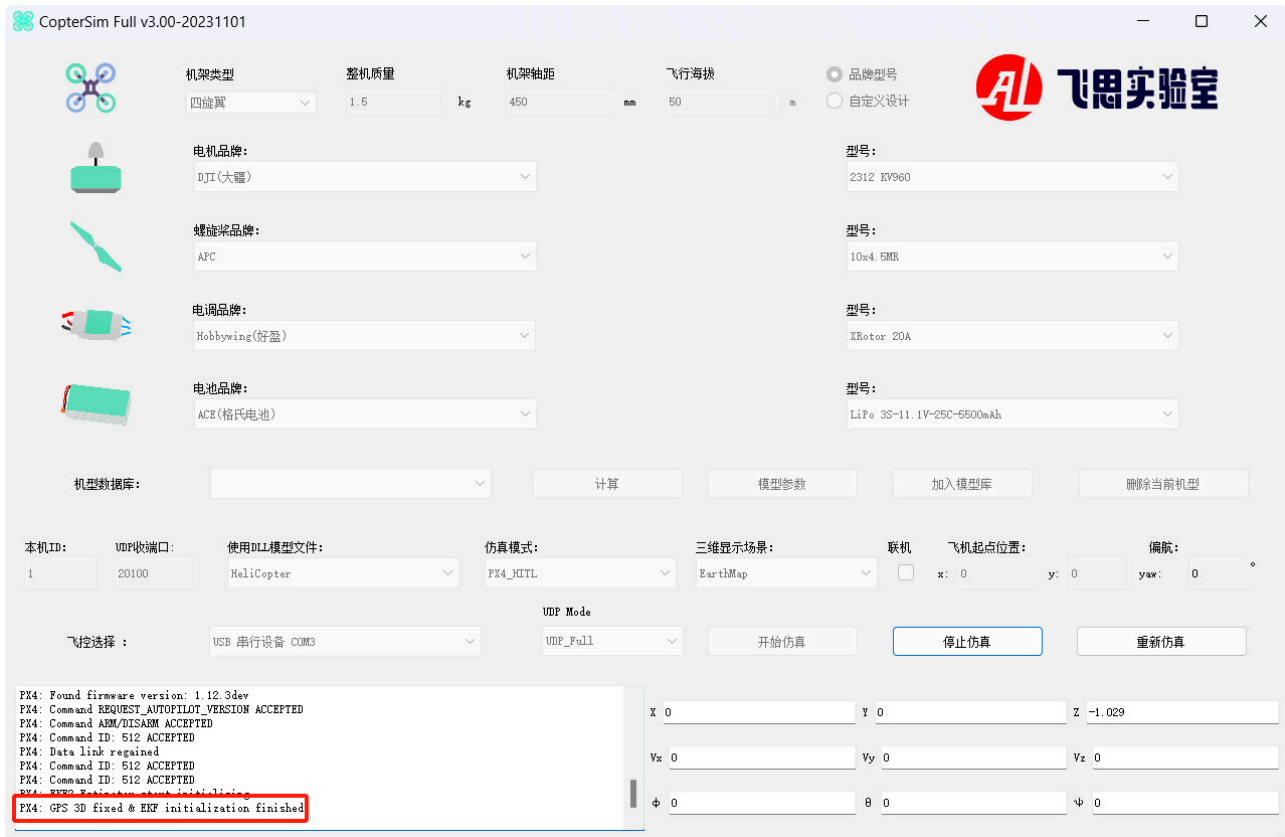
-----
Recommended COM list input is: 7
-----

My COM list for HITL simulation is:7
```

在填写完串口号后，按下回车键，系统会自动打开所有与硬件在环仿真相关的RflySim3D、CopterSim和QGC地面站。

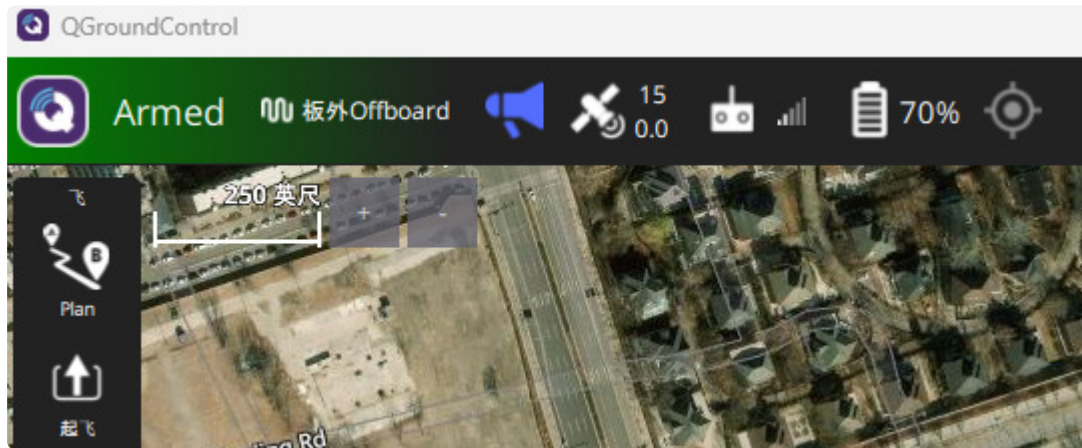
Step 4: 等待初始化完成

CopterSim右下角显示以下信息时，表明仿真初始化完成，可以通过遥控器开始硬件在环仿真。



Step 5: 遥控操作

拨动遥控器ch5通道对应的开关，进入Offboard模式



拨动油门杆在仿真中将无人机飞至一定高度将自动开始roll通道的扫频

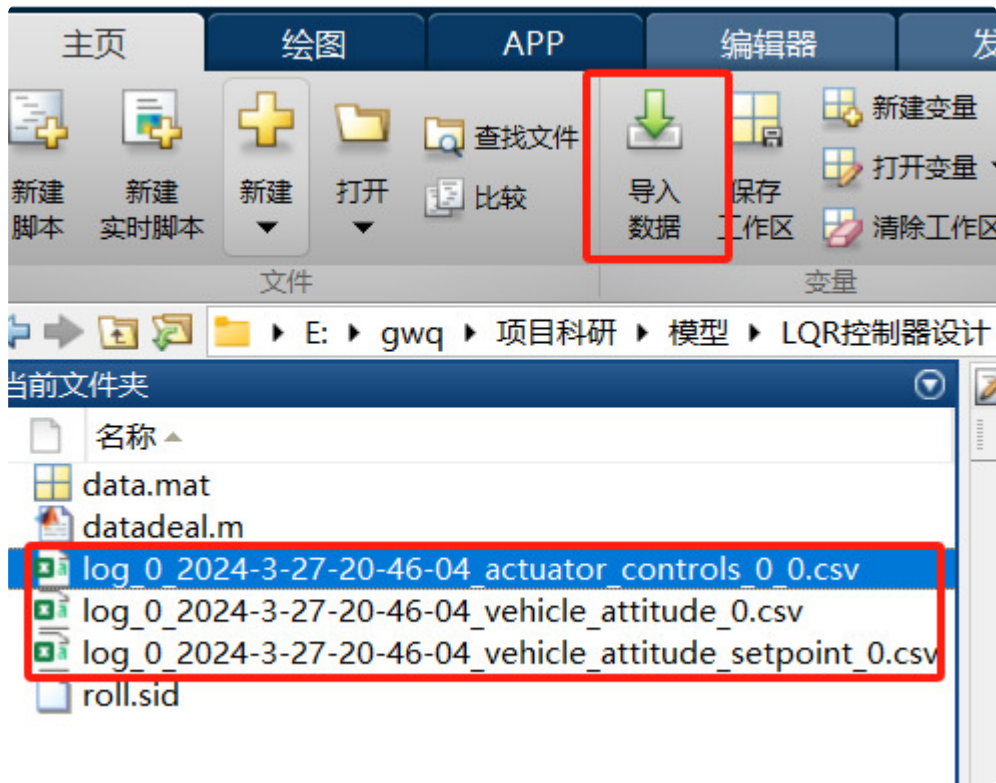


进行扫频实验后，可以通过QGC下载飞行日志，再“RflySimAPIs\Python38Env.bat”来打开Python环境，并输入“ulog2csv log.ulg”，就可以得到日志文件的.csv格式。

必做实验：数据预处理

Step 1: 导入输入输出数据到工作空间

通过matlab导入数据获取vehicle_attitude_0中实际角速度、角度等，和actuator_controls_0中的控制指令，如下图中所示：



actuator_controls_0中选择前三个通道control0、control1和control2（分别对应roll、pitch和yaw三个通道），vehicle_attitude_0选择四元数输出q0、q1、q2和q3，再通过四元数转换为对应的姿态角，具体如下图所示：

3-27-20-46-04_actuator_controls_0_0.csv					
B	C	D	E	F	
log02024327204604actuatorcontrols					
timestamp...	control0	control1	control2	control3	control4
数值	数值	数值	数值	control[2] 已转换为[类型	
timestamp...	control[0]	control[1]	2.0	control[3]	control[4]
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28369778	-0.414422...	0.41388783	0.0002212...	0.0	0.0
28421063	-0.4142329	0.41296387	0.0001179...	0.0	0.0
28473055	-0.4151046	0.41428196	-0.000723...	0.0	0.0
28521011	-0.412725...	0.41626692	-0.000154...	0.0	0.0
28574286	-0.413340...	0.41445026	-0.000344...	0.0	0.0
28621076	-0.4125219	0.4156887	0.0014156...	0.0	0.0
28672966	-0.4152495	0.4163731	-0.000715...	0.0	0.0
28721118	-0.4135704	0.4151455	0.0008112...	0.0	0.0
28773429	-0.413105...	0.4160813	0.0005834...	0.0	0.0
28821210	-0.415731...	0.4179455	5.074046e...	0.0	0.0
28869227	-0.413288...	0.417269	-0.000105...	0.0	0.0

C	D	E	F	G	
log02024327204604vehicleattitude0					
q0	q1	q2	q3	delta_q_re...	delta...
数值	数值	数值	数值	数值	数值
q[0]	q[1]	q[2]	q[3]	delta_q_re...	delta...
0.9999986	6.285377e...	-0.000597...	-0.001595...	0.9999994	1.672
0.9999985	1.9402994...	-0.000560...	-0.001686...	0.9999994	1.672
0.9999985	-2.516124...	-0.000542...	-0.001692...	0.9999994	1.672
0.99999833	-0.000102...	-0.000494...	-0.001771...	0.9999994	1.672
0.9999982	-0.000181...	-0.000476...	-0.001816...	0.9999994	1.672
0.99999803	-0.000201...	-0.00044053717	-0.001952...	0.9999994	1.672
0.999998	-0.000217...	-4.4053717E	-0.001988...	0.9999994	1.672
0.999998	-0.000161...	-0.000426...	-0.001984...	0.9999994	1.672
0.999998	-0.000115...	-0.000422...	-0.002042...	0.9999994	1.672
0.9999978	-0.000101...	-0.000496...	-0.002083...	0.9999994	1.672
0.99999774	-5.351707...	-0.000522...	-0.002096...	0.9999994	1.672
0.99999774	-0.000112...	-0.000541...	-0.002086...	0.9999994	1.672
0.9999977	-6.346217...	-0.000580...	-0.002120...	0.9999994	1.672
0.9999976	-9.625064...	-0.000522...	-0.002151...	0.9999994	1.672
0.9999976	-4.379179...	-0.000457...	-0.002135...	0.9999994	1.672
0.9999977	-8.047503...				

转换四元数为姿态角的代码如下：

```
[r1,r2,r3] = quat2angle([q0 q1 q2 q3],'XYZ');
```

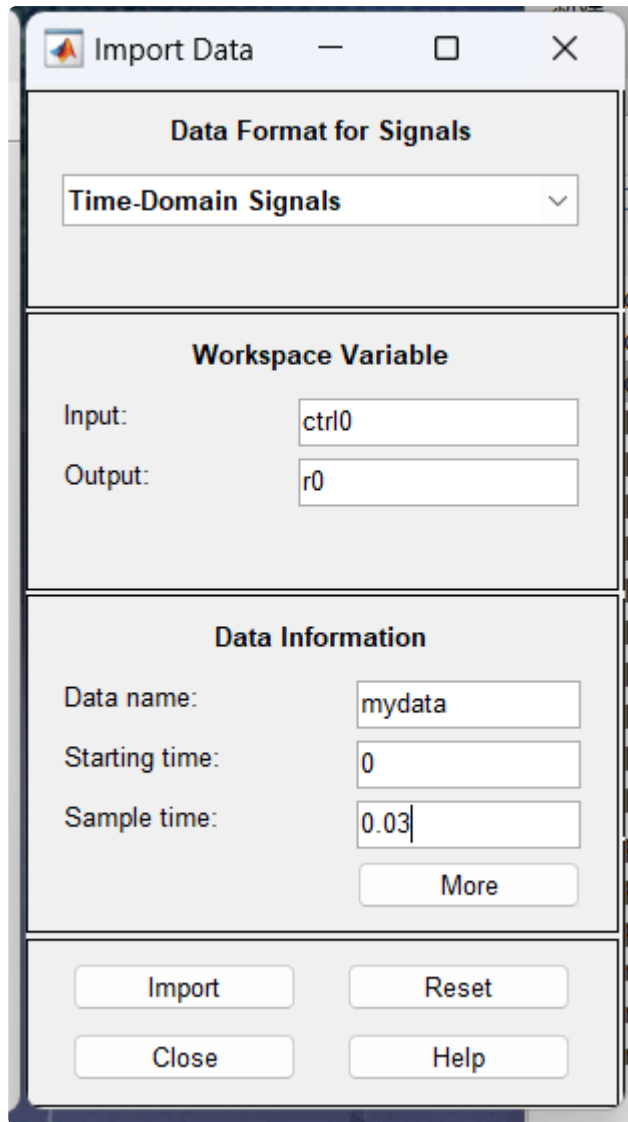
Step 2: 将时域数据导入辨识应用的数据板

获得数据之后，使用matlab的system Identification工具箱进行辨识，如下图中所示：



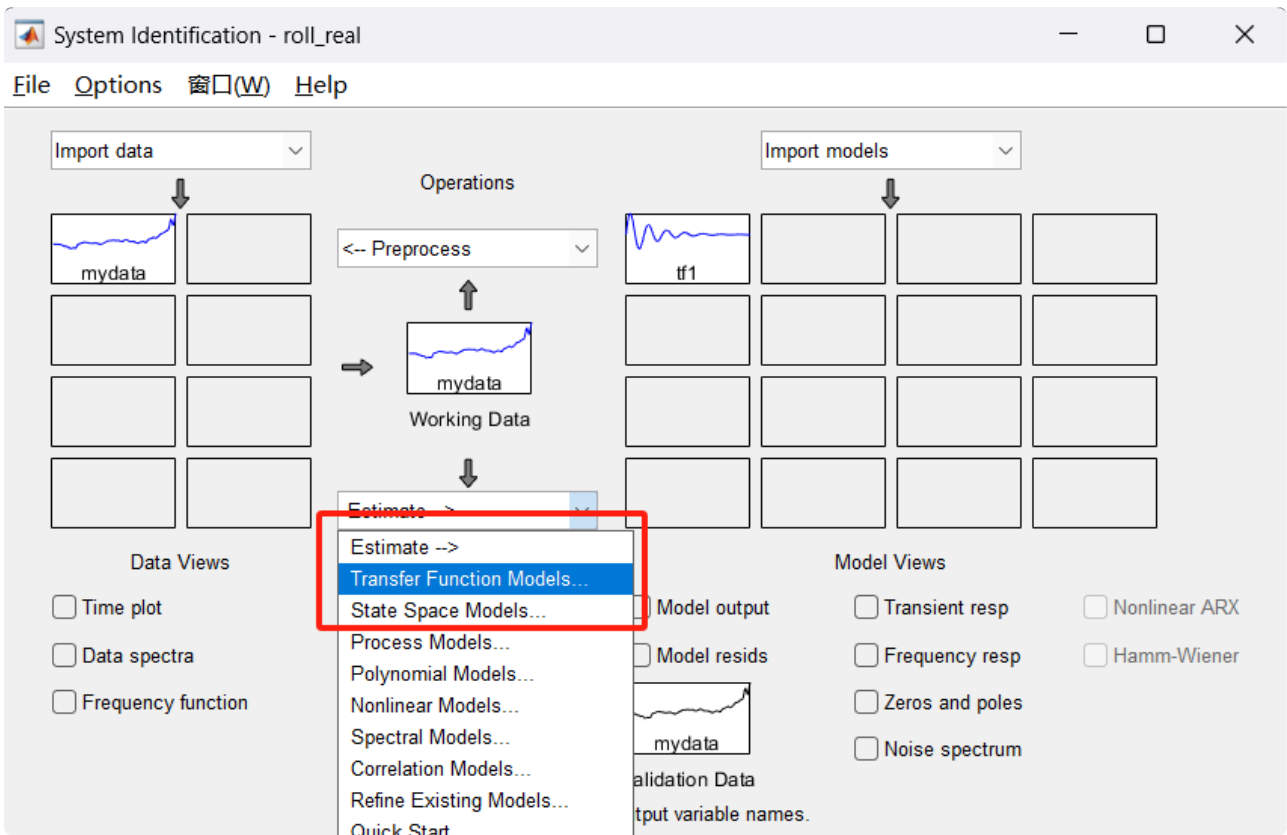
在工具箱中选择时序数据输入，选择输入数据和对应的响应数据（roll通道角度对应control0，pitch通道角度对应control1.....），数据时间间隔即数据采样周期为0.03s（根

据实际数据采样周期自行选择), 具体如下图所示:

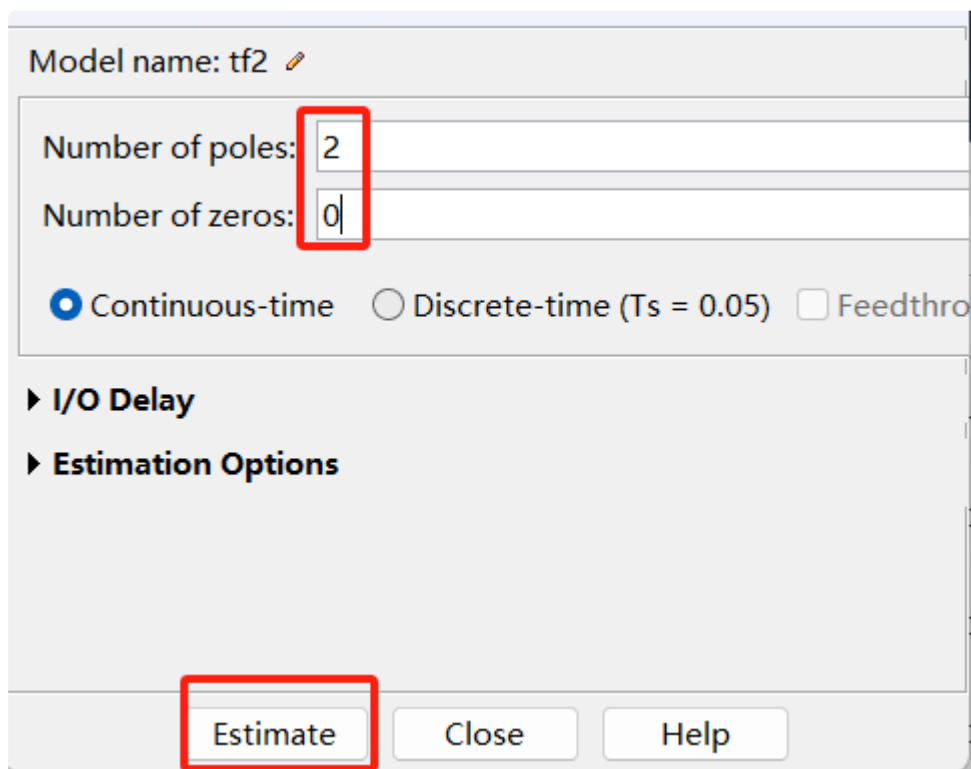


必做实验：估计模型并辨识

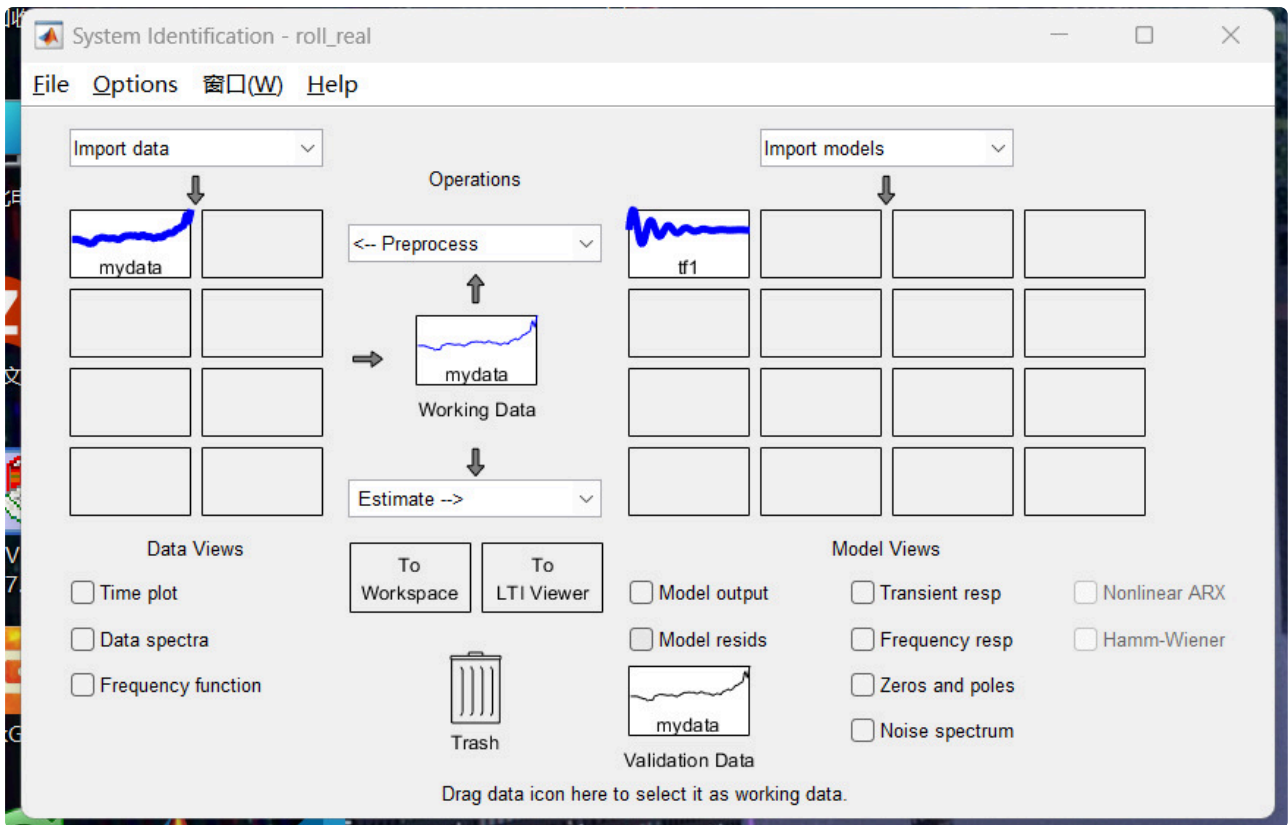
Step 1：传递函数结构的模型



根据推导的形式选择对应零极点如下：



最终辨识得到结果如下：

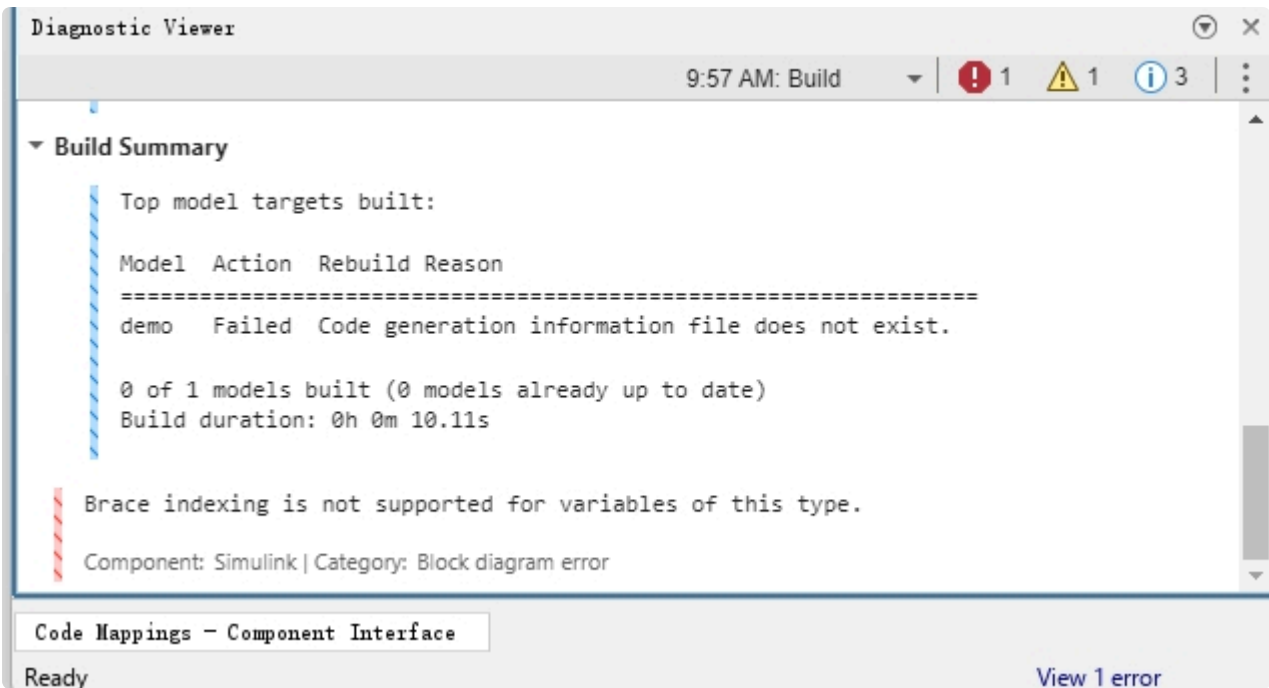


6.参考资料

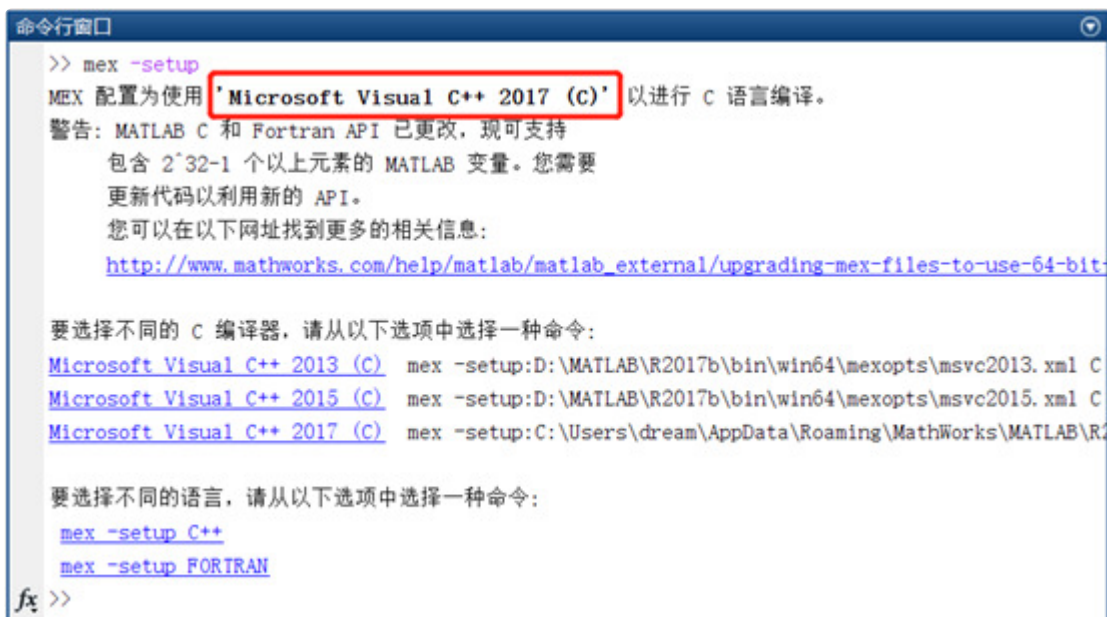
1.

7.常见问题

Q1: 未正确安装visual studio c++编译环境并配置mex，导致Simulink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