

启动参数辨识硬件在环仿真实验

1. 实验目的

本实验和设计实验类似，区别在于需要使用 CubePilot/Pixhawk 自驾仪进行实验得到所需的数据。

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]；MATLAB2022B以上版本。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台^[2]。

3. 实验地址

例程目录：

[[安装目录](#)]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e10-FixedWingCtrl\code_5\e3-4
\AerodynamicParameter_Identification

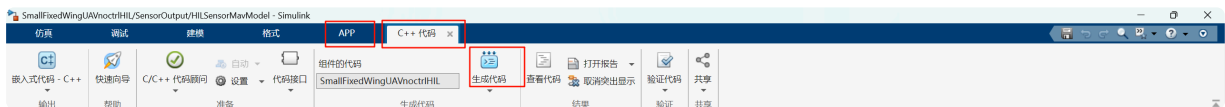
- [UAVIdentification.bat](#)：启动固定翼无人机硬件在环仿真实验的批处理文件。
- [UAVIdentificationLowGPU.bat](#)：低GPU模式下启动固定翼无人机硬件在环仿真实验的批处理文件。
- [Python38Env.bat](#)：Python 3.8环境配置批处理文件。
- [Python38Run.bat](#)：运行Python脚本的批处理文件。
- [AircraftMathworksAttCtrl.py](#)：飞机姿态控制Python脚本。
- [PX4MavCtrlV4.py](#)：PX4飞控控制Python脚本。
- [model/InitData.m](#)：模型初始化数据MATLAB文件。
- [model/Init.m](#)：模型初始化MATLAB文件。
- [load_manipulate_data.m](#)：加载和处理数据的MATLAB文件。
- [Cl_DataPreprocess.mlx](#)：阻力系数数据预处理MATLAB live script文件。
- [Cl_Identification.mlx](#)：阻力系数辨识MATLAB live script文件。
- [cut_data.m](#)：数据裁剪MATLAB文件。

- [acai.m](#)：气动参数辨识相关MATLAB函数。
- [disturbance_doc.m](#)：干扰文档MATLAB文件。
- [find_land_changed_time.m](#)：查找着陆时间变化的MATLAB文件。
- [generateBf.m](#)：生成体轴系相关MATLAB文件。
- [initialize_model.m](#)：初始化模型MATLAB文件。
- [lossfactor_doc.m](#)：损耗因子文档MATLAB文件。
- [mat_pqr2euler.m](#)：角速度转换MATLAB函数。
- [pwm2sigma.m](#)：PWM到西格玛转换MATLAB函数。

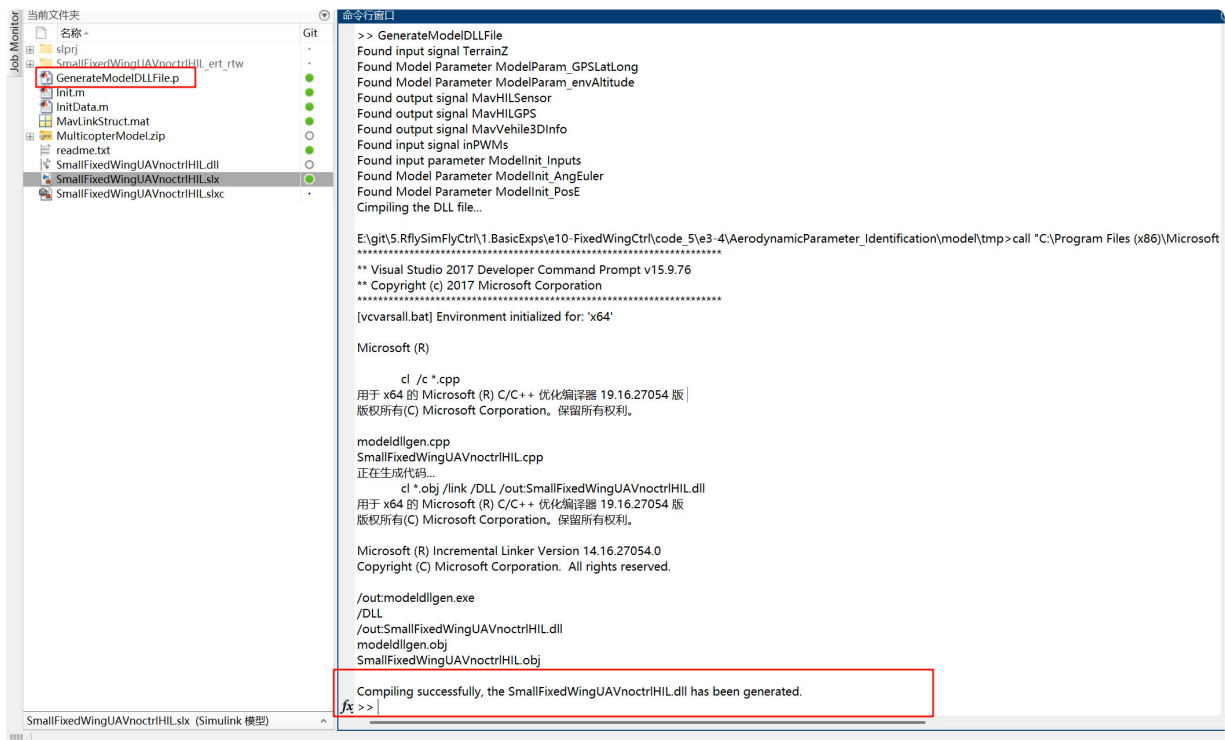
4. 实验内容或步骤

4.1 步骤1：运行硬件在环仿真，完成辨识所需动作

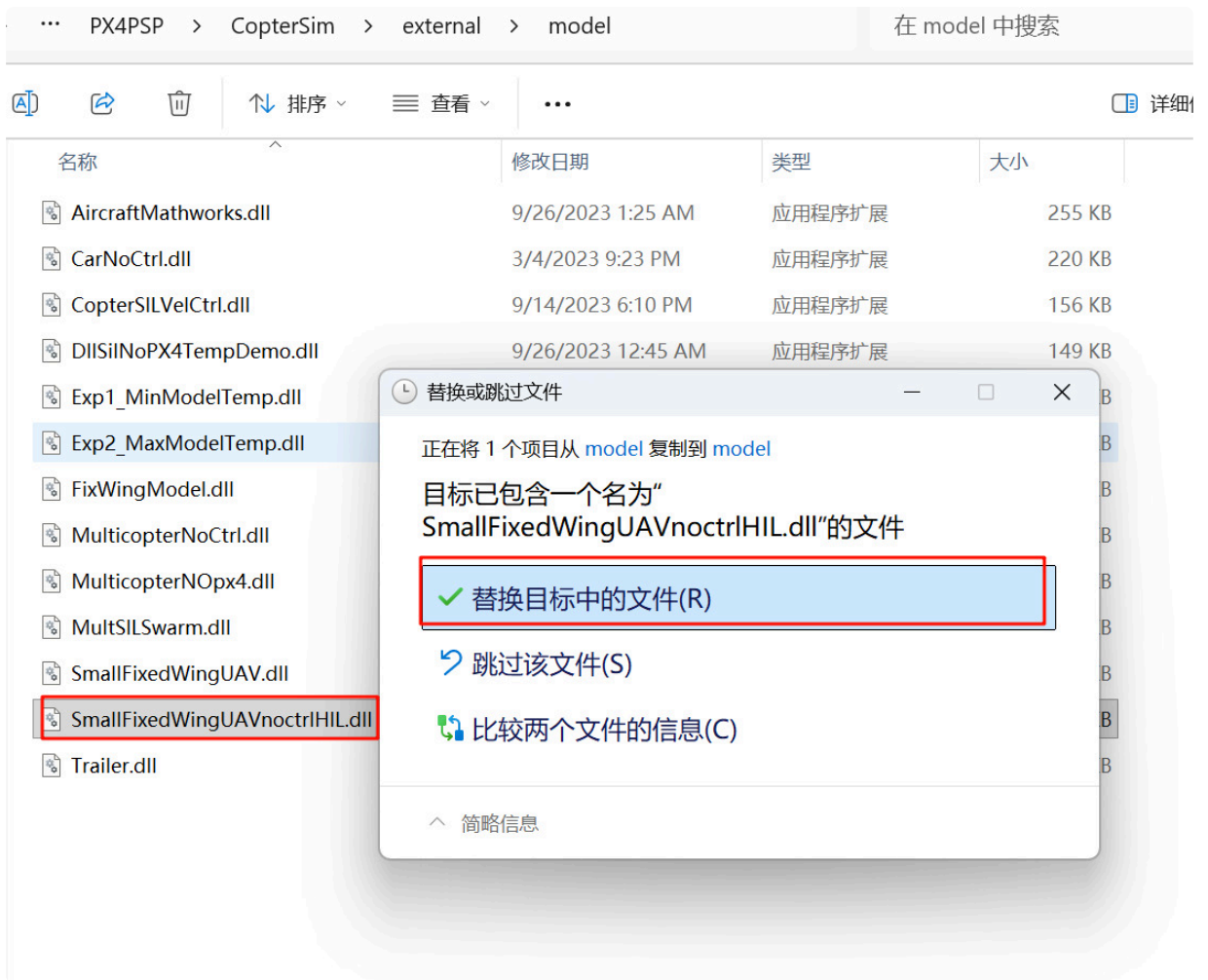
1. 使用MATLAB运行 [InitData.m](#) 并打开 [SmallFixedWingUAVnoctrlHIL.slx](#)，在工具栏中点击APP-Embedded Coder，会进入到C++代码中，点击生成代码。



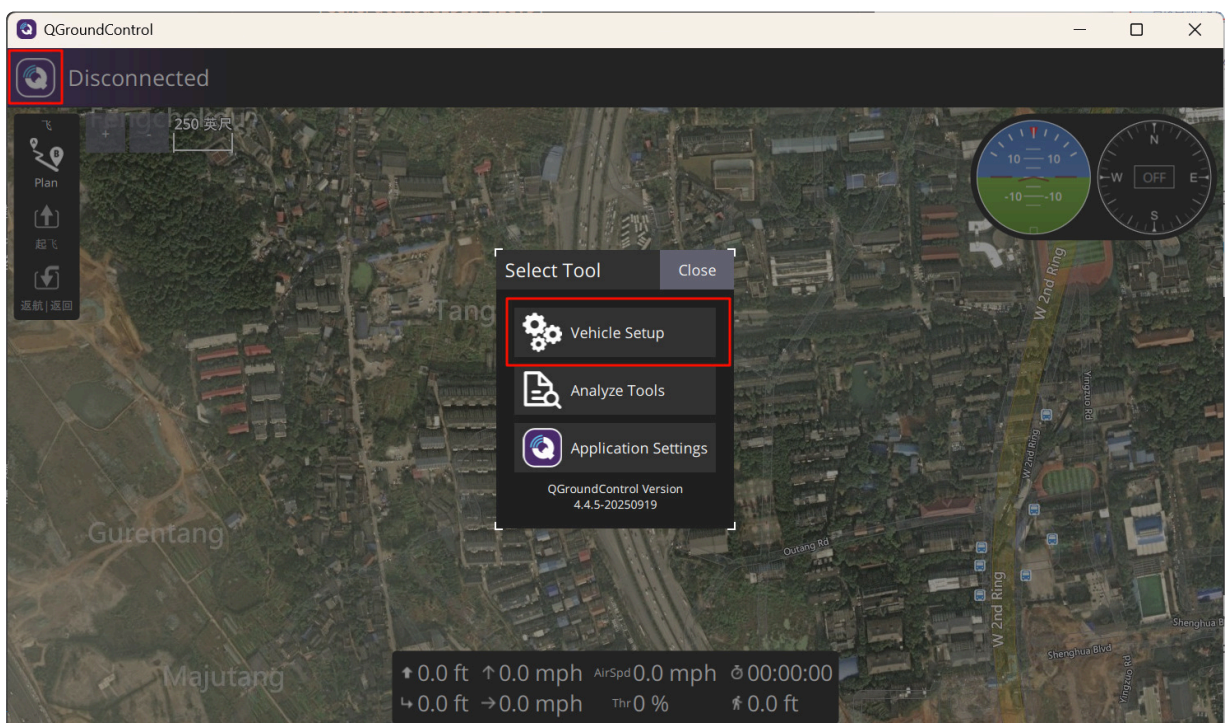
2. 等待生成代码完成，在MATLAB中运行 [GenerateModelDLLFile.p](#) 生成dll文件。



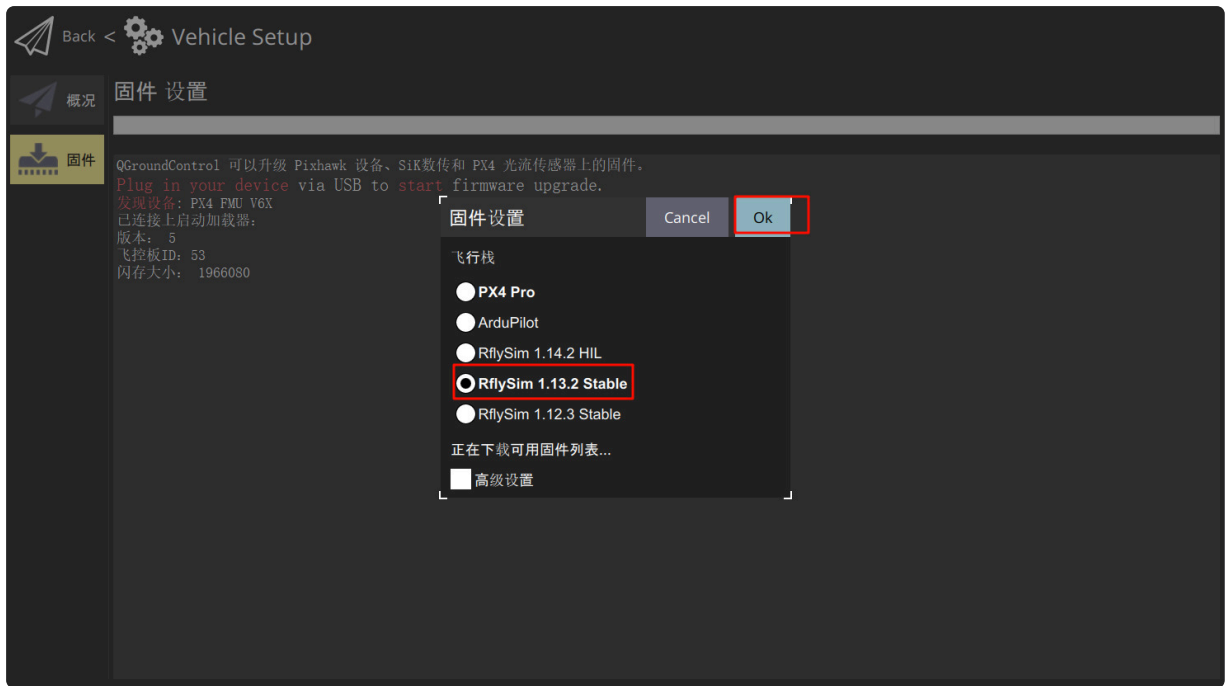
3. 把 **SmallFixedWingUAVnoctrlHIL.dll** 文件替换到
*:\PX4PSP\CopterSim\external\model 文件夹下。



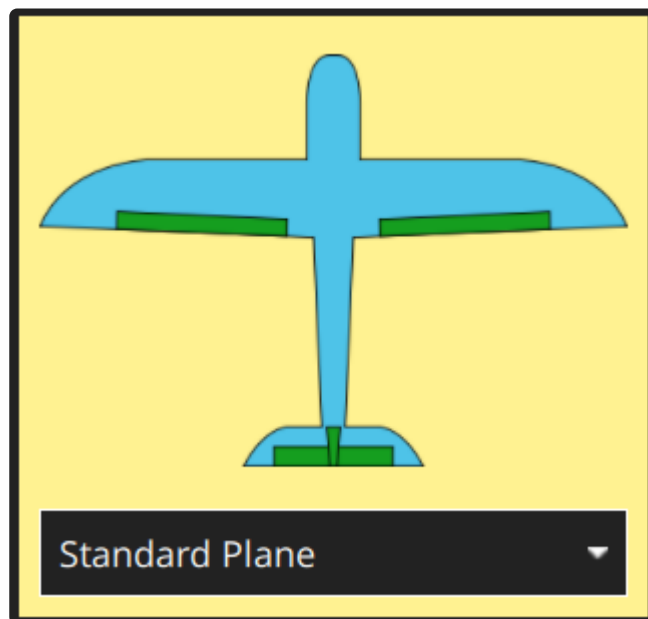
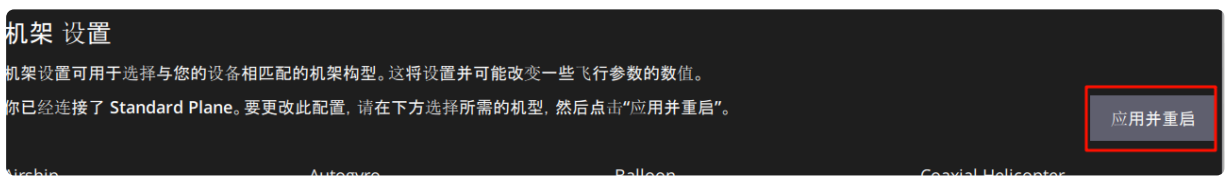
4. 在桌面/RflyTools文件夹下打开QGroundControl,点击Vehicle Setup.



5. 点击固件重新插拔飞控，选择RflySim 1.13.2 Stable点击ok。等待烧入完成。



6. 机架选择Standard Plane，点击重启并应用。



7. 将飞控使用USB连接到电脑，打开 [UAVIdentification.bat](#) 输入串口号。

```
The system cannot find the file specified.
-----
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: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=1)
-----
Recommended COM list input is: 3
-----
My COM list for HITL simulation is: 3
```

8. 会打开1个CopterSim。1个RflySim 3D, 1个QGC, 1个QGC,等待CopterSim信息栏出现'GPS 3D fixed & EKF initialization finished.'。

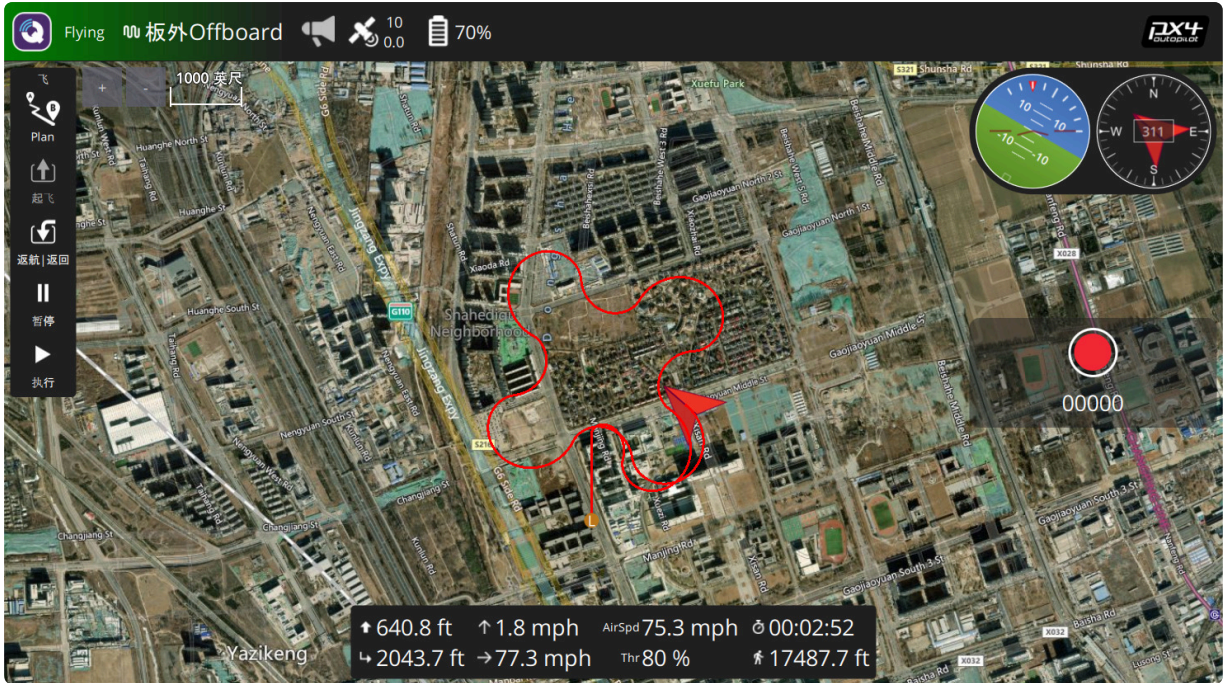
```
CopterID: 3DClassID: Use DLL Model: Simulation Mode:
1 234 AircraftMathworks PX4_HITL
FCU COM: USB 串行设备 COM3 Baudrate: 921600 Comm M
Mavlin

PX4: GPS PARAM Send.
PX4: Airspeed sensor healthy, start using again (-1, 1)
PX4:
PX4: Data link regained
PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.
PX4: Enter Auto Loiter Mode!
PX4: Command ID: 512 DENIED
PX4: Command ID: 521 UNSUPPORTED
```

9. 打开Python38Run.bat运行AircraftMathworksAttCtrl.py

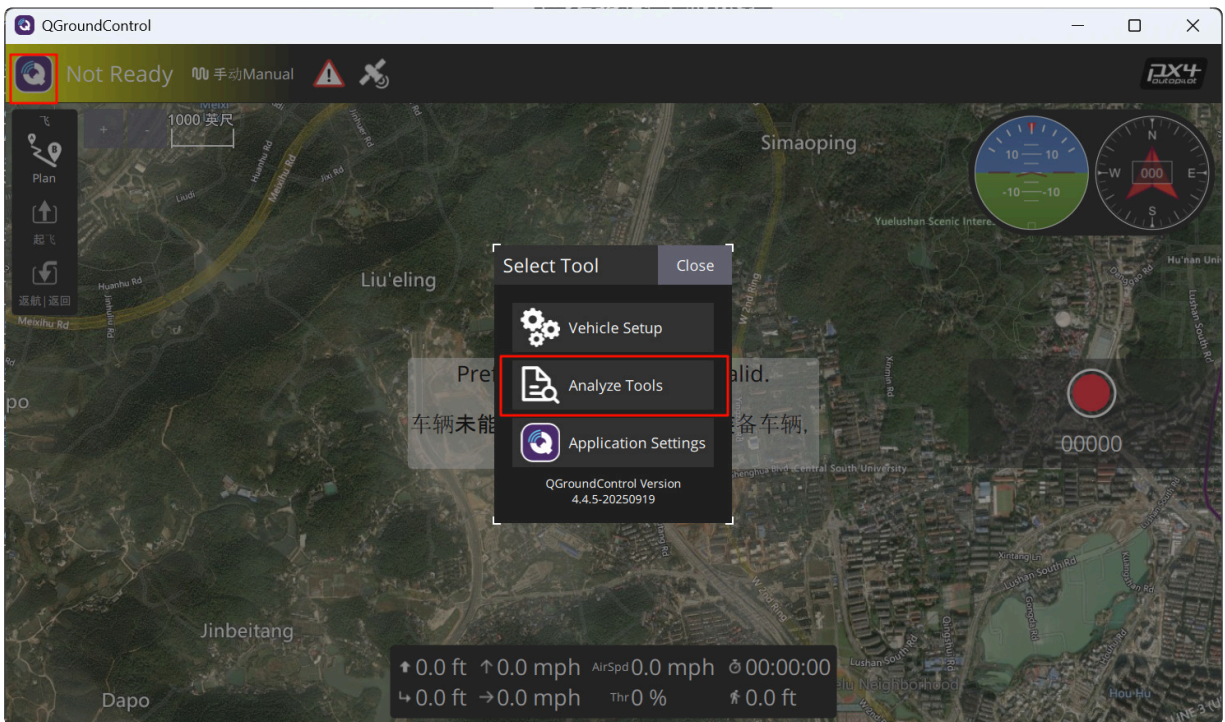
```
C:\WINDOWS\system32\cmd. x + v
Python3.8 environment has been set with openCV+pymavlink+numpy+pyulog etc.
You can use pip or pip3 command to install other libraries
Put Python38Run.bat into your code folder
Use the command: 'python XXX.py' to run the script with Python
E:\git\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\10-FixedWingCtrl\code_5\3-4\AerodynamicParameter_Identification>python AircraftMathworksAttCtrl.py
```

10. 在控制脚本作用下, 固定翼无人机会循环执行设定的姿态激鼓动作, 进行3-5此激鼓动作后, 在cmd窗口按任意键, 关闭所有软件。

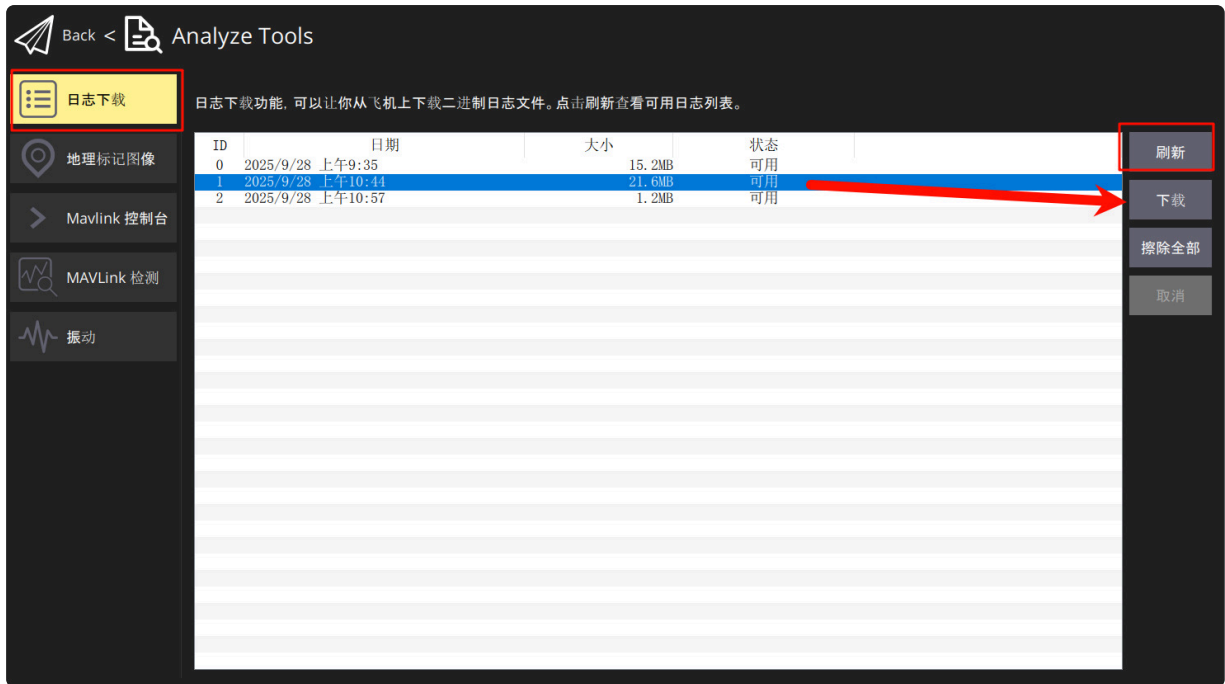


4.2 步骤2：从自动驾驶中导出飞行日志，进行数据预处理

1. 等待无人机落地之后在QGC中点击左上角图标，在Select Tool中点击进入到Analyze Tools。



2. 在日志下载界面点击刷新，选择最新时间的日志文件，点击下载。



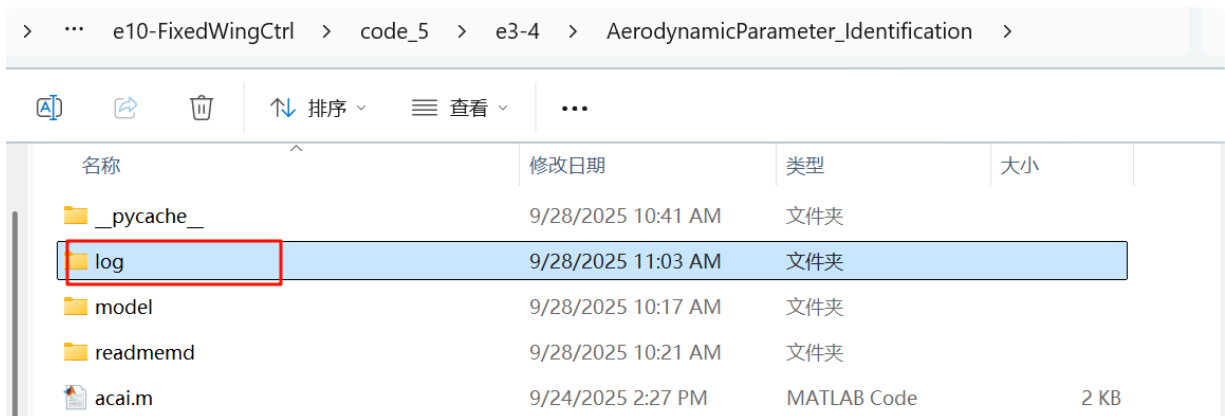
3. 打开 [Python38Env.bat](#)，进入脚本，进入到下载日志的文件夹，输入 `ulog2csv log_1_2025-9-28-10-44-24.ulg` 并运行。

```

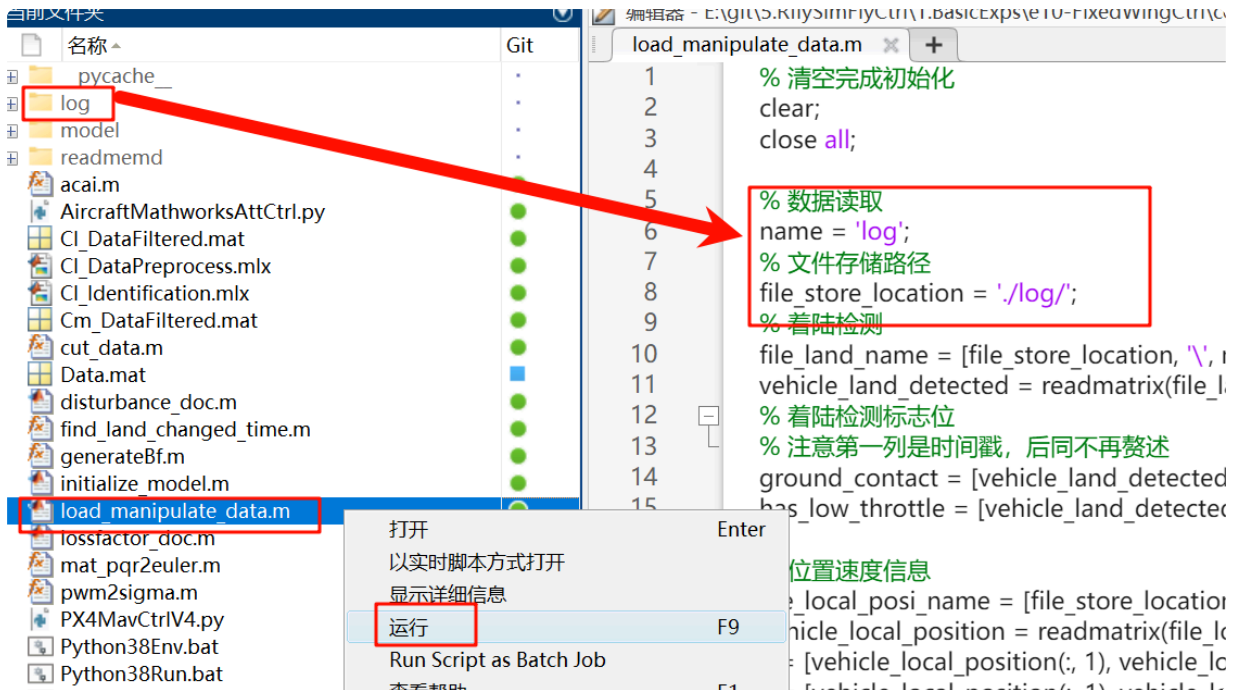
Python3.8 environment has been set with openCV+pymavlink+numpy+pyulog etc.
You can use pip or pip3 command to install other libraries
Put your python scripts 'XXX.py' into the folder 'C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\Python38Scripts'
Use the command: 'python XXX.py' to run the script with Python
For example, try entering 'python ImgCVShow.py' below to use OpenCV to read and show a image
You can also use pyulog (see https://github.com/PX4/pyulog) to convert PX4 Log file
For example, try entering 'ulog2csv log.ulg' to convert ulg file to excel files for MATLAB

C:\PX4PSP\RfLySimAPIs\Python38Scripts>cd C:\Users\uavcs\Desktop\AerodynamicParameter_Identification
C:\Users\uavcs\Desktop\AerodynamicParameter_Identification>ulog2csv log_1_2025-9-28-10-44-24.ulg
  
```

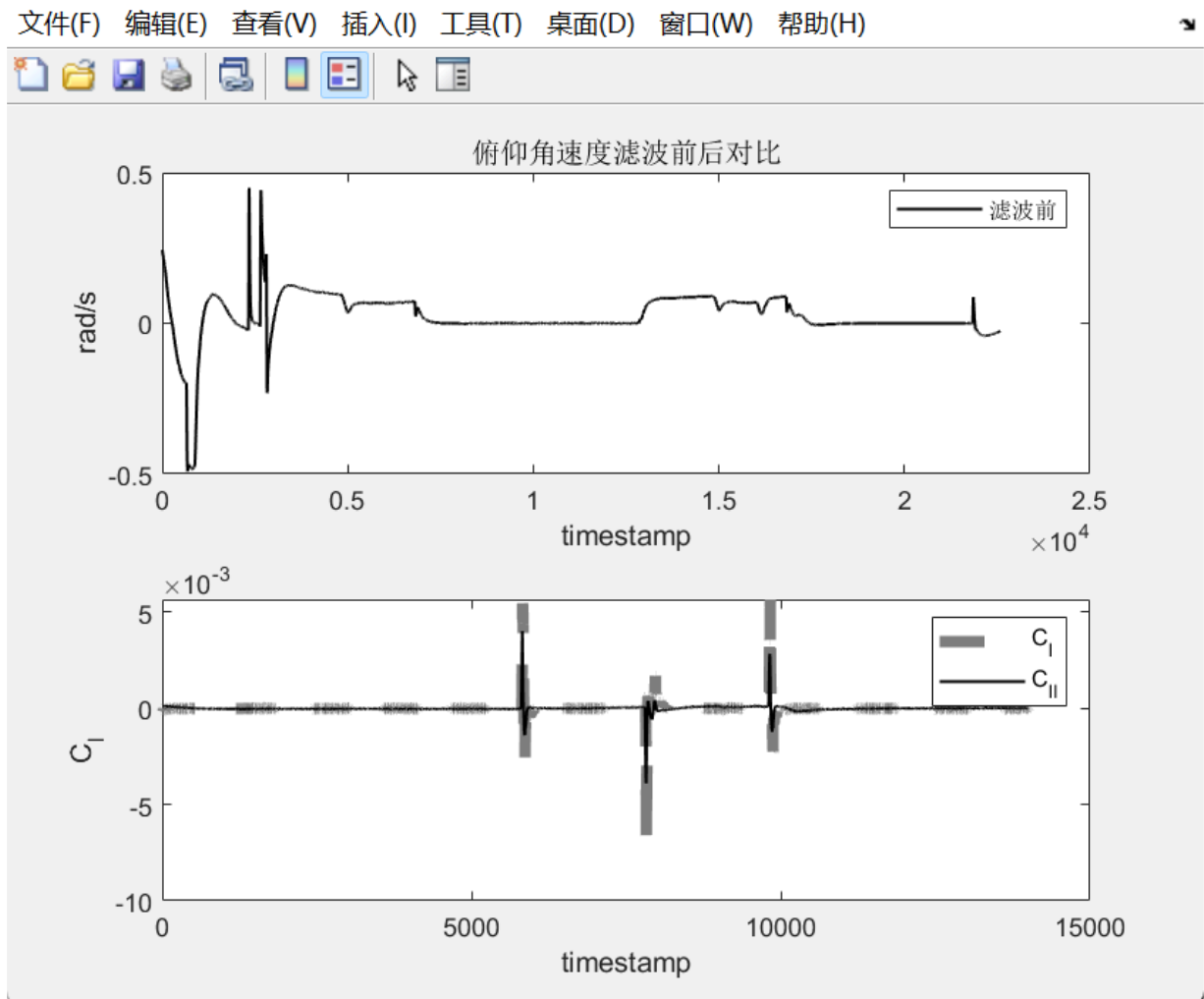
4. 把日志文件夹复制到本实验文件夹下，并将文件夹名修改为 `log`



5. 使用 MATLAB 运行 `load_manipulate_data.m` 将数据保存为 `mat` 文件。

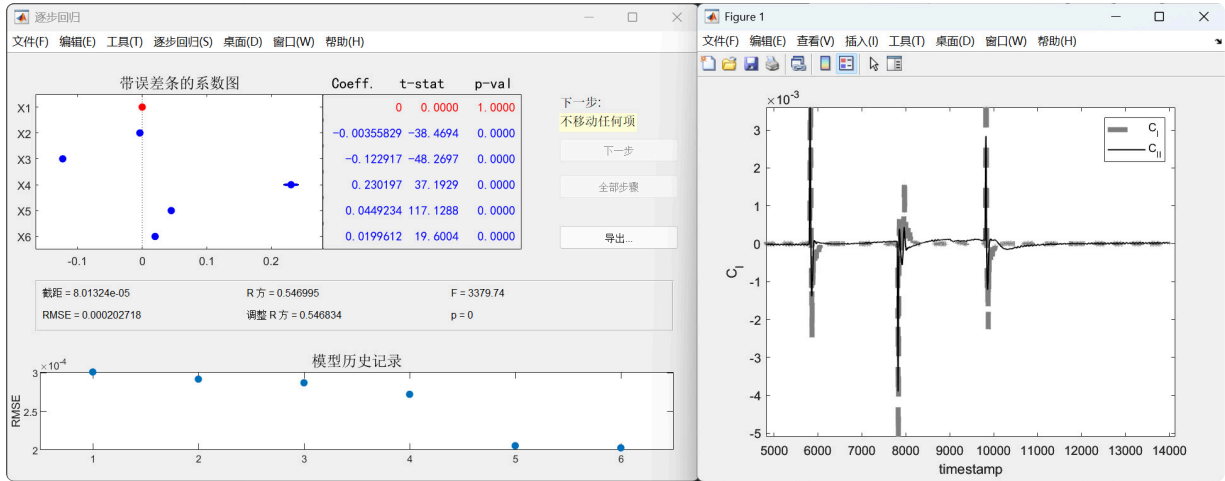


6. 使用MATLAB运行Cl_DataPreprocess.mlx



4.3 步骤3：使用最小二乘法和递归回归法辨识气动参数并验证结果

1. 运行Cl_Identification.mlx文件,可以得到辨识结果, R^2 达到 0.55, 基本符合预期。



5. 关键知识点

关键知识点1：固定翼无人机气动建模原理

实验基于固定翼无人机的气动模型,通过建立包括升力、阻力、侧力以及滚转、俯仰、偏航力矩在内的完整气动力学模型,为参数辨识提供理论基础。模型考虑了飞机的几何参数、质量分布、气动导数等因素。

关键知识点2：硬件在环仿真技术 (HITL)

使用RflySim仿真平台结合真实的Pixhawk飞控硬件进行硬件在环仿真。通过将无人机动力学模型编译为DLL文件并在CopterSim中加载,实现与真实飞控的联合仿真,提高了仿真结果的可信度。

关键知识点3：激励信号设计与数据采集

通过Python控制脚本设计特定的激励动作(如滚转机动),使无人机在飞行中产生充分的气动响应。利用飞控日志系统记录飞行过程中的关键状态数据,包括姿态、位置、速度、控制输出等信息。

关键知识点4：数据预处理方法

对采集到的原始飞行数据进行预处理，包括数据裁剪、去噪、重采样等操作。通过提取有效飞行时间段、统一采样频率、滤除异常数据等步骤，为后续参数辨识提供高质量的数据集。

关键知识点5：最小二乘参数辨识算法

采用最小二乘法和递归回归法对气动参数进行辨识。通过建立回归方程，将飞行数据与理论模型进行拟合，求解出最优的气动参数估计值，并通过判定系数(R^2)评估辨识结果的准确性。

更多详细实验原理可见:全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践.北京,2025

6.参考资料

1. [RflySim官方文档](#)
2. 全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践.北京,2025.

7.常见问题

Q1：硬件在环仿真无法正常启动，提示"GPS 3D fixed & EKF initialization finished"长时间未出现。

A1：这个问题通常是由于飞控与仿真软件通信不稳定导致的。请检查串口连接是否正确，确认串口号输入无误，同时确保飞控固件版本与仿真平台兼容。可以尝试重新插拔USB线并重启仿真软件。

Q2：从飞控日志导出的CSV数据格式异常或缺失关键字段。

A2：这种情况可能是因为ulog2csv转换工具版本不兼容或者日志文件损坏。请确认使用的Python环境已正确安装ulog包，建议使用[Python38Env.bat](#)环境执行转换命令。如果问题

仍然存在，可以尝试重新执行飞行任务以获取新的日志文件。

Q3: 参数辨识结果 R^2 值偏低或出现异常值。

A3: 辨识结果不理想通常与激励信号不足或数据质量差有关。请检查飞行过程中无人机是否完成了充分的机动动作，确保数据预处理步骤正确执行，特别是有效数据段的选取。同时确认无人机模型参数设置是否合理，必要时可以调整激励信号的幅度和频率。

1. 平台安装时的编译命令为：px4_fmuv6x_default，推荐PX4固件版本为：1.13.2。 [↩](#)
2. 推荐配置请见：<https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> [↩](#)