

---

## 1. 实验名称及目的

**固定翼速度/高度/偏航接口验证实验(Simulink):** 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。

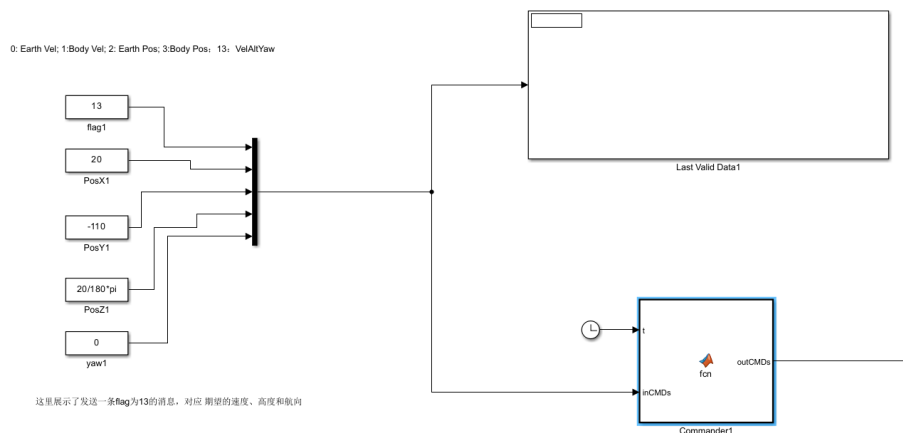
## 2. 实验原理

### 2.1. 软/硬件在环仿真 (SIL/HIL) 的实现[1][2]

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、外部控制和地面控制站五部分。

- **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。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。

## 2.2. 通过外部控制接口（simulink）发送速度/高度/偏航指令



UDP\_Simple 支持的控制模式

| 模式标号 | 描述   |
|------|--|
| 0    | 导航坐标系下速度模式[vx,vy,vz, yaw_rate]   |
| 1    | 机体坐标系下速度模式[vx,vy,vz, yaw_rate]   |
| 2    | 导航坐标系下位置模式[x,y,z, yaw]   |
| 3    | 机体坐标系下位置模式[x,y,z, yaw]   |
| 4    | 姿态油门控制指令[滚转、俯仰、偏航(弧度)、油门(0~1)], 可自动解锁, 可自动进入 OffBoard 模式   |
| 5    | 姿态油门增量控制指令[滚转、俯仰、偏航、油门增量]--可自动解锁, 可自动进入 OffBoard 模式  |
| 6    | 加速度控制模式[ax,ay,az,yaw]  |
| 7    | 加速度控制模式[ax,ay,az,yaw_rate]   |
| 8    | 加速度控制模式[ax,ay,az,yaw_rate]   |
| 9    | 解锁所示模式[解锁,-,-,-]   |
| 10   | 表示设置固定翼飞机的速度和盘旋半径, [speed, radius, -, -]   |
| 11   | 表示 Mavlink 起飞命令, 自动解锁, 导航坐标系位置[x, y, z, -]   |
| 12   | 表示 Mavlink 起飞命令, 自动解锁, GPS 坐标系位置[纬度, 经度, 高度, -]  |
| 13   | 速度高度航向命令, 自动解锁并进入 offBoard 模式, GPS 坐标系位置[速度, 高度, 航向, -]  |
| 14   | Global 坐标系下位置模式, GPS 坐标系位置[lat_int, lon_int, alt_float, yaw_float]   |
| 30   | 用于 VTOL 模式切换, 表示飞行模态切换指令, 对应 MAV_CMD_DO_VTOL_TRANSITION 的 mavlink 命令, controls[0]表示 State 位。定义见链接 ( <a href="https://mavlink.io/en/messages/common.html#MAV_VTOL_STATE">https://mavlink.io/en/messages/common.html#MAV_VTOL_STATE</a> )。controls[1]表示 Immediate 位 (1: Force immediate 前置切换, 0: normal transition 普通切换.)。 |

### 3. 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。

### 4. 文件目录

| 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。    |
| RflyUdpFast.mexw64                     | MEX 编译之后的 S 函数文件。 |

### 5. 运行环境

| 序号 | 软件要求                          | 硬件要求                  |    |
|----|-------------------------------|-----------------------|----|
|    |                               | 名称                    | 数量 |
| 1  | Windows 10 及以上版本              | 笔记本/台式电脑 <sup>①</sup> | 1  |
| 2  | RflySim 平台免费版                 | PX4 飞控 <sup>②</sup>   | 1  |
| 3  | MATLAB 2017B 及以上 <sup>③</sup> | 数据线                   | 1  |

① 推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com>

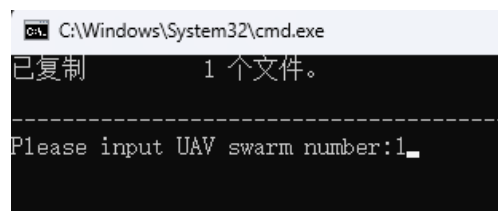
② 须保证平台安装时的编译命令为：px4\_fmuv6c\_default，固件版本为：1.12.3。其他  
配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

### 6. 实验步骤

#### 6.1. 软件在环仿真

##### Step 1:

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。



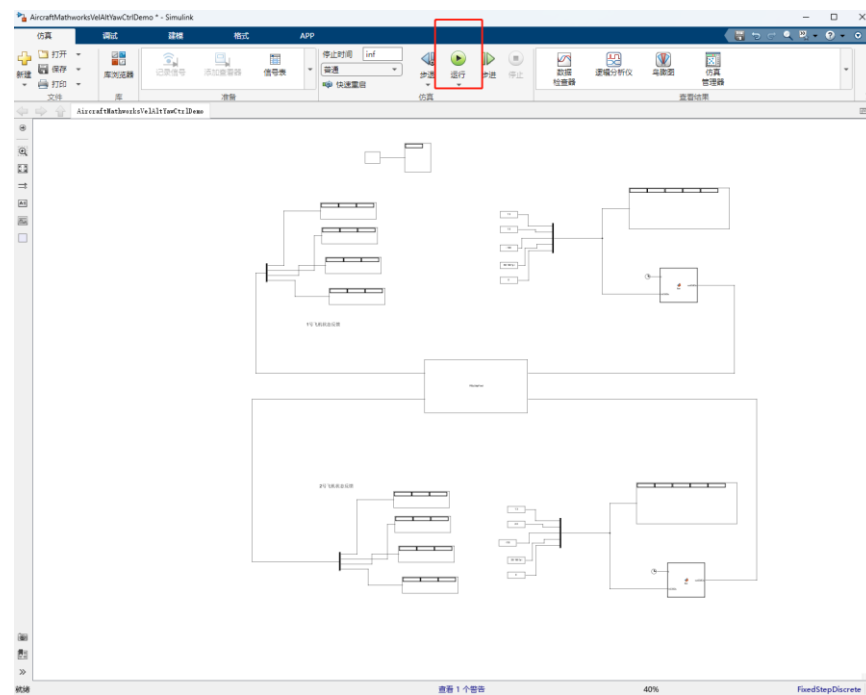
##### Step 2:

完成初始化。



### Step 3:

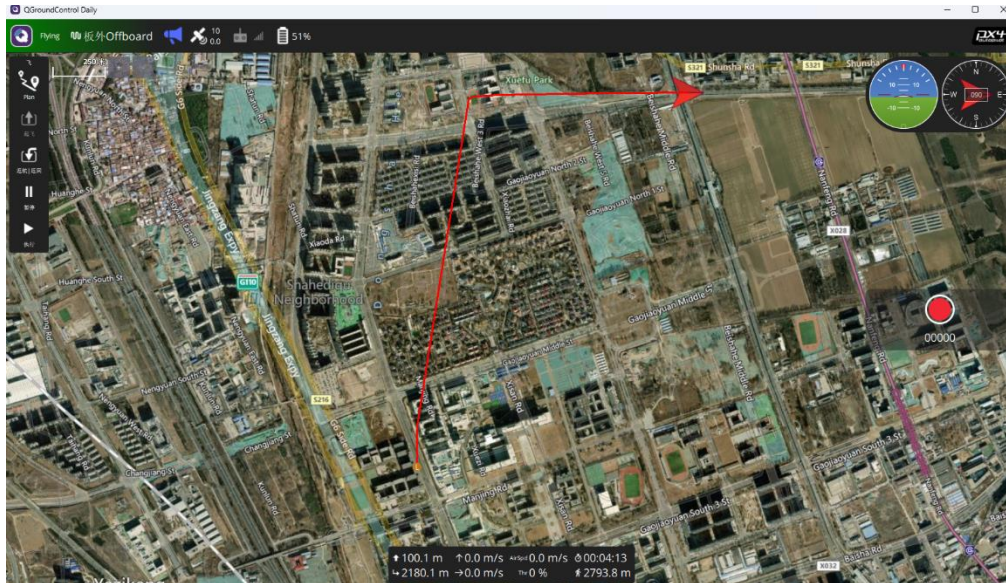
打开 AircraftMathworksVelYawAltCtrl.slx 文件并运行，



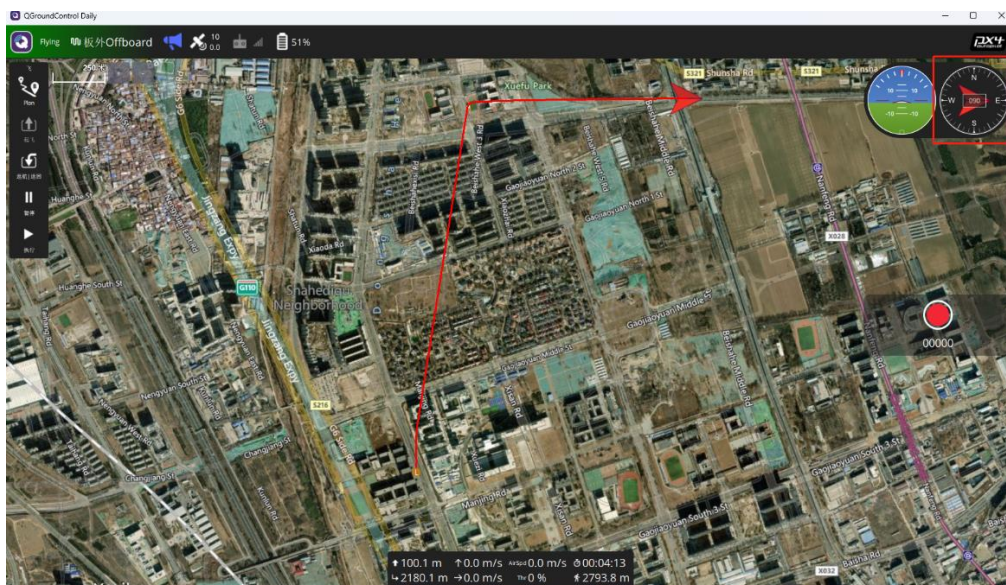
### Step 4:

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  $90^{\circ}$ 。



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       |
| $\phi$ | 0.653   | $\theta$ | 2.716   | $\psi$ | 88.879  |

## 6.2. 硬件在环仿真

### Step 1:

按下图所示将飞控与计算机链接。



### Step 2:

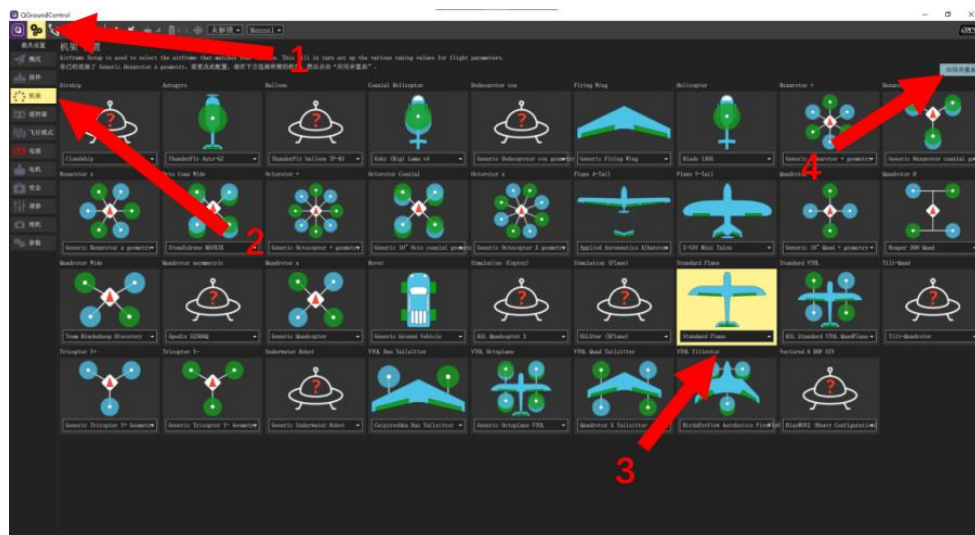
推荐使用 Pixhawk 6C 进行硬件在环仿真，固件版本为 1.12.3。

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 |

### Step 3:

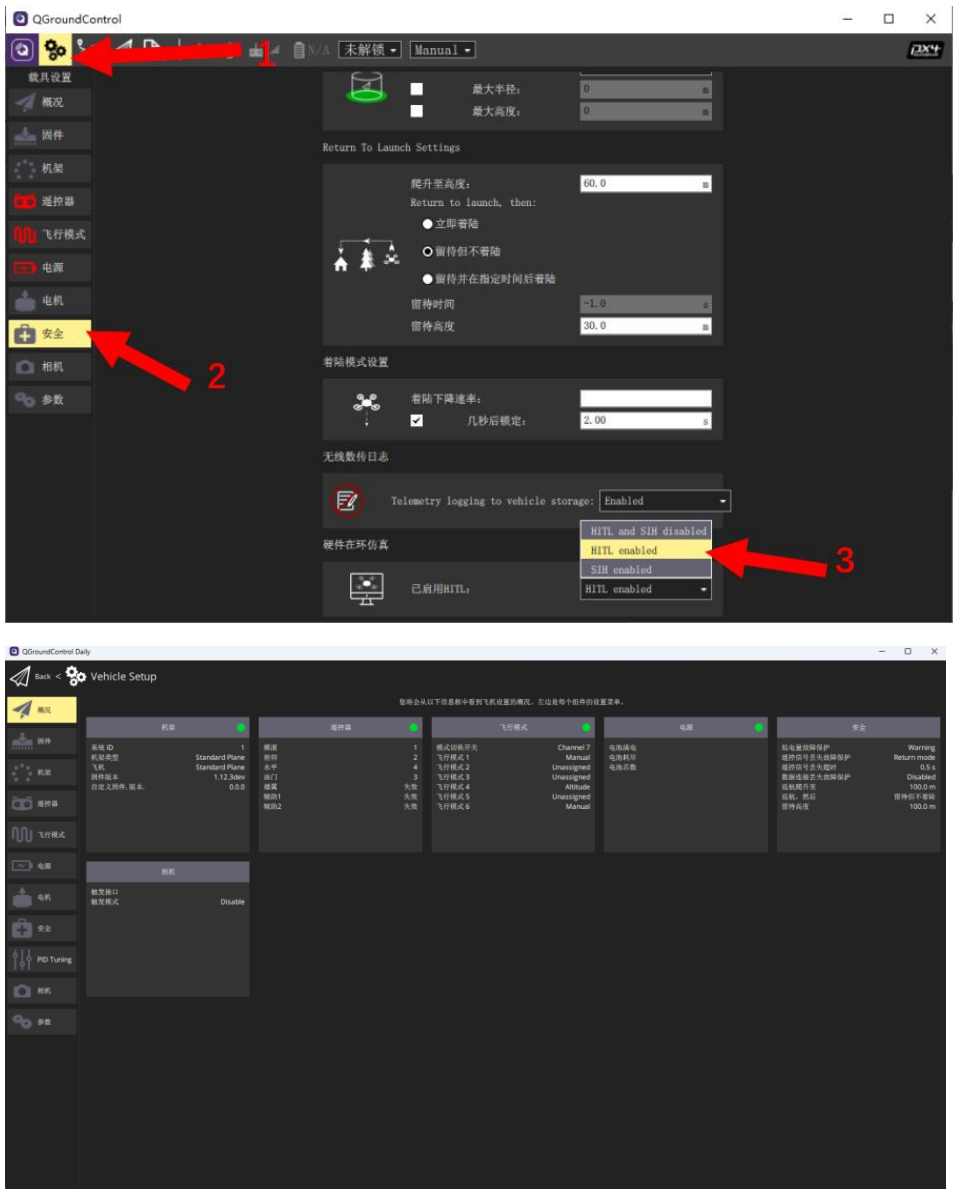
在机架界面设置机架型号为“Standard Plane”，设置完毕后点击右侧“应用并重启”。



### Step 4:






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 5:

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 5，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 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

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 6:

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

## 7. 参考文献

- [1]. DLL/SO 模型与通信接口 [..\..\API.pdf](#)
- [2]. 外部控制接口 [..\..\API.pdf](#)
- [3].
- [4].

## 8. 常见问题

Q1: \*\*\*\*

A1: \*\*\*\*