

Offboard模块

OffboardAdvCtrlAPI, OffboardAttCtrlAPI, OffCtrlMsgAll验证实验

1. 实验目的

OffboardAdvCtrlAPI是OffboardPvaCtrlAPI接口的进阶版本，能够在弹出配置窗上勾选需要控制的通道，并通过Ctrls输入匹配序号和维度的控制量。

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链¹，MATLAB 2022b及以上，若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4_fmuv6x_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>
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台²。

3. 实验地址

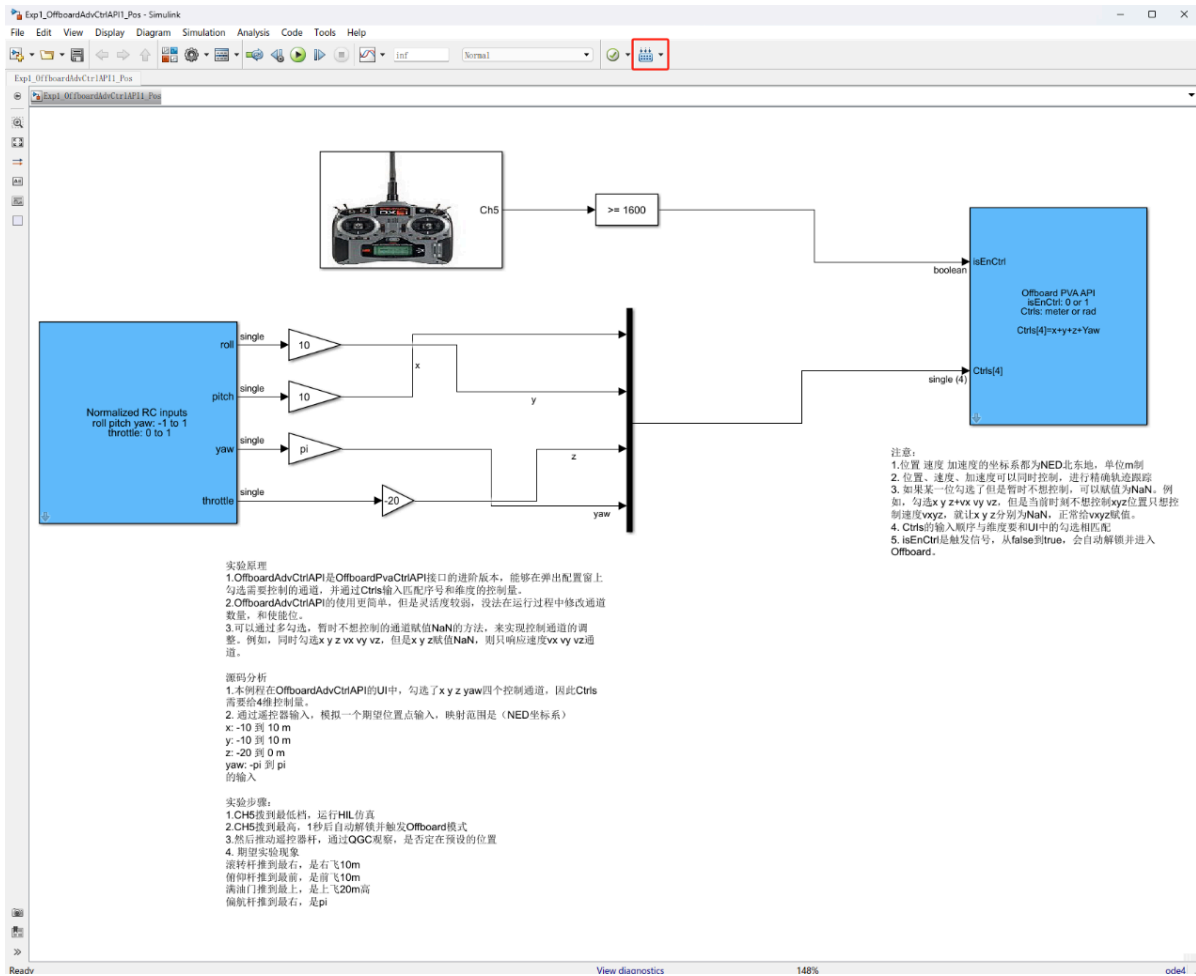
例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI](#)

- Exp1_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos.slx：Offboard模式下位置控制模型
- Exp2_OffboardAdvCtrlAPI2_Vel.slx：Offboard模式下速度控制模型
- Exp3_OffboardAdvCtrlAPI3_Acc.slx：Offboard模式下加速度控制模型
- Exp4_OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx：Offboard模式下欧拉角控制模型
- Exp5_OffboardAttCtrlAPI_Rate.slx：Offboard模式下欧拉角速率控制模型
- Exp6_OffboardPvaCtrlAPI.slx：Offboard模式下API控制模型
- Exp7_OffCtrlMsgAll.slx：offboard模式下Msg信息控制模
- Exp7_OffCtrlMsgAll.bat：Offboard模式下Msg信息控制硬件在环仿真脚本
- Exp7_OffCtrlMsgAll.py：Offboard模式下Msg信息控制python脚本

4. 实验内容或步骤

步骤1：Offboard模式下位置控制模型

打开MATLAB软件，在MATLAB中打开[\[安装目录\]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI](#)中的Exp1_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos.slx文件，点击编译，等待编译完成后将固件烧录到飞控。



遥控器CH5拨到最低档，
以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本，开启硬件在环仿真。

```

C:\Windows\System32\cmd.exe

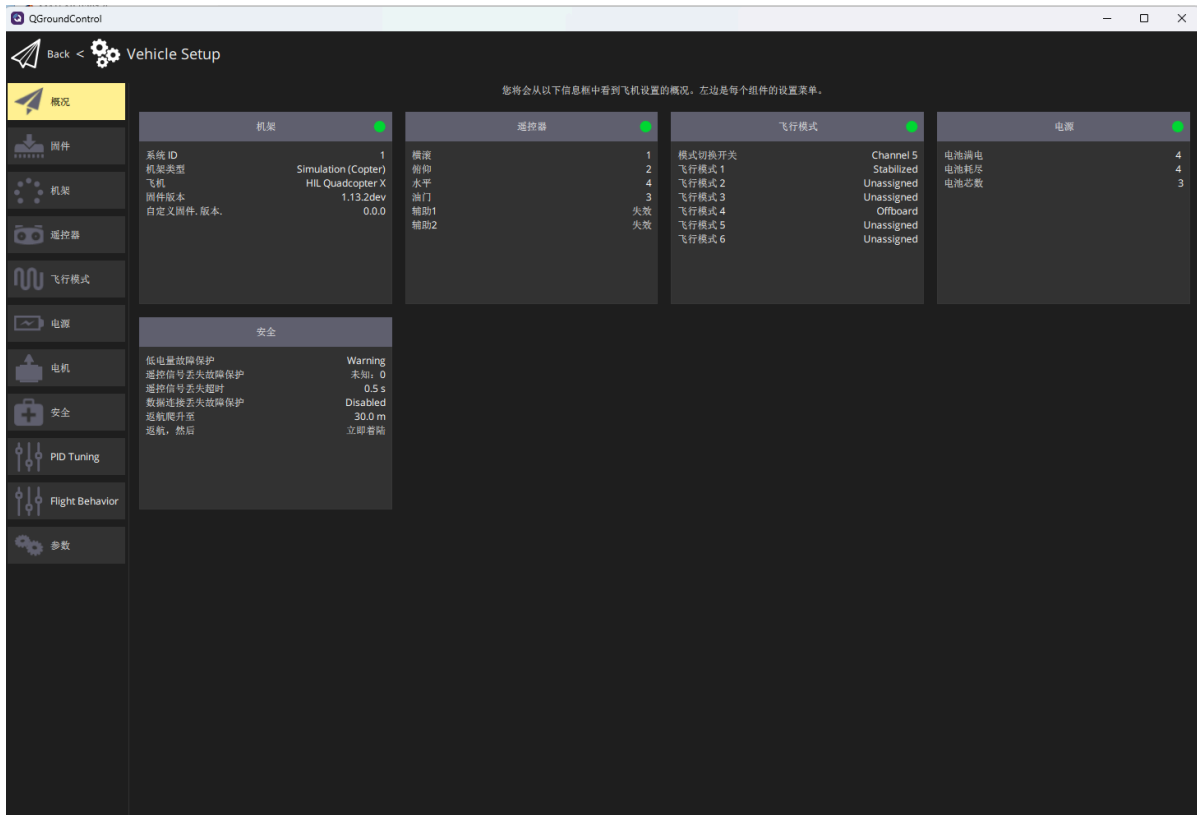
-----
Please input the Pixhawk COM port list for HIL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks

Available COM ports on this computer are:
COM4: USB ????

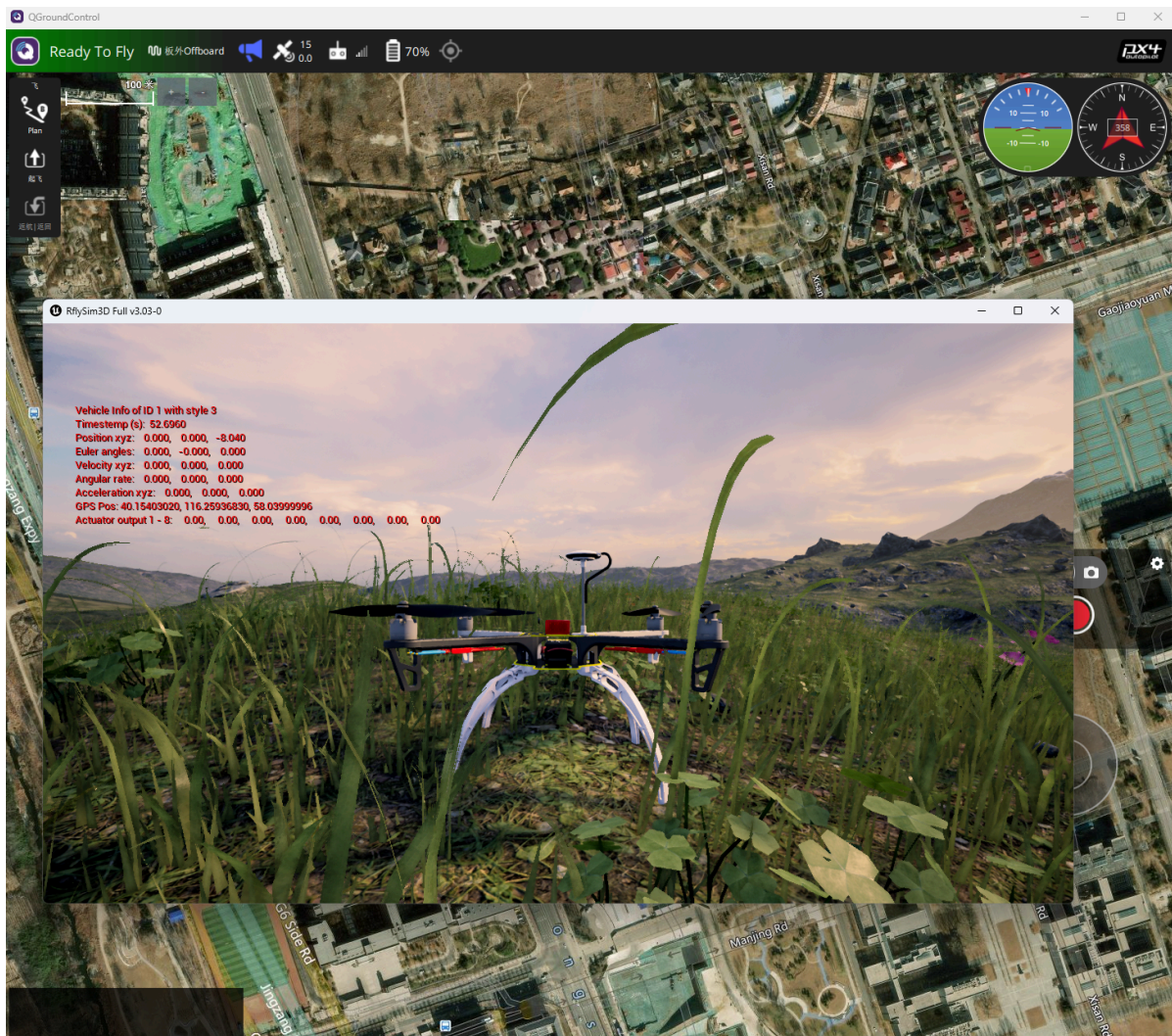
Recommended COM list input is: 4

-----
My COM list for HITL simulation is:4_

```



CH5拨到最高, 1秒后自动解锁并触发Offboard模式

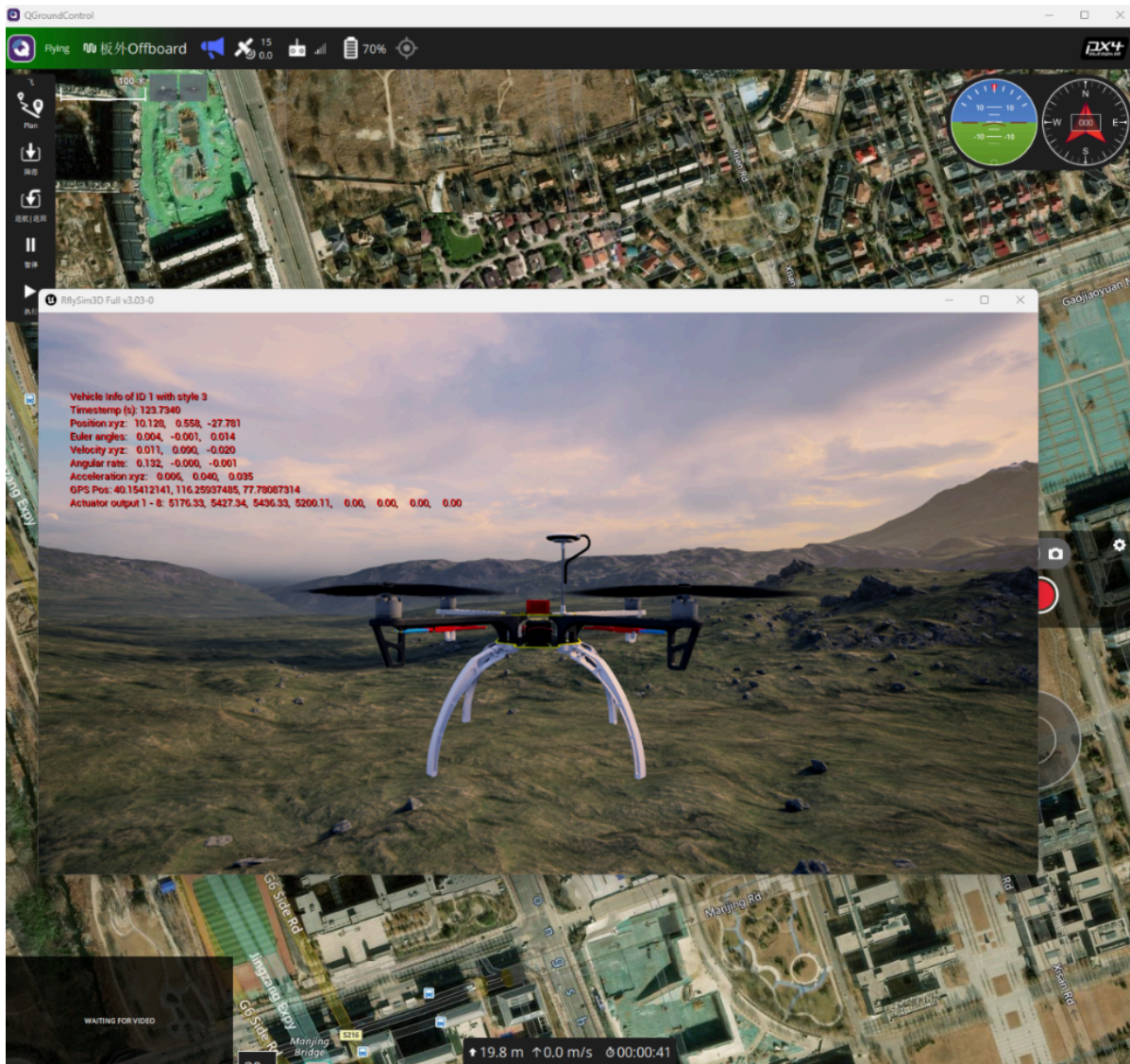


然后推动遥控器杆, 通过QGC观察, 是否落在预设的位置。

滚转杆推到最右, 是右飞10m



俯仰杆推到最前，是前飞10m

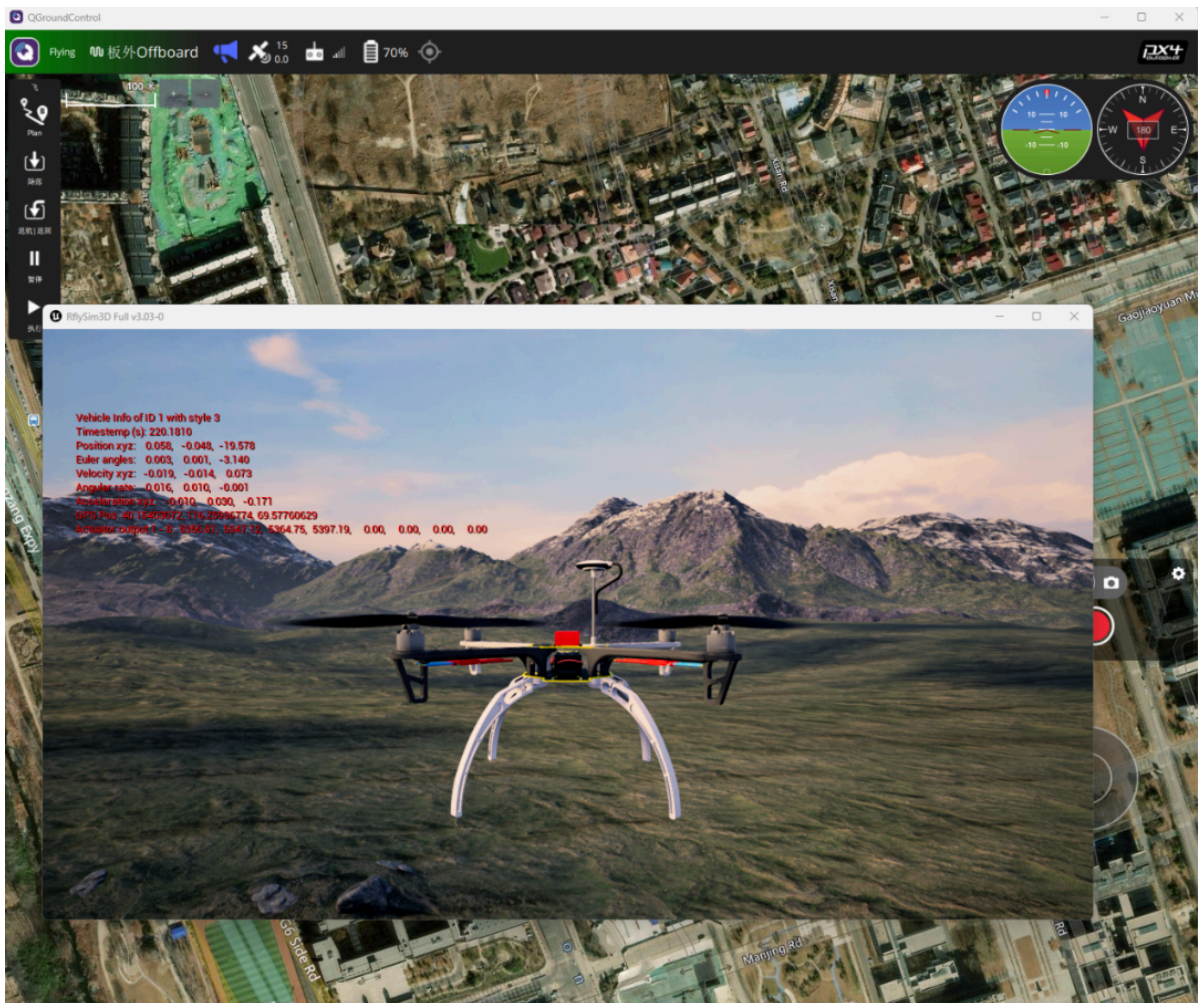


油门推到最上，是上飞20m高

注：初始高度在-8m左右。

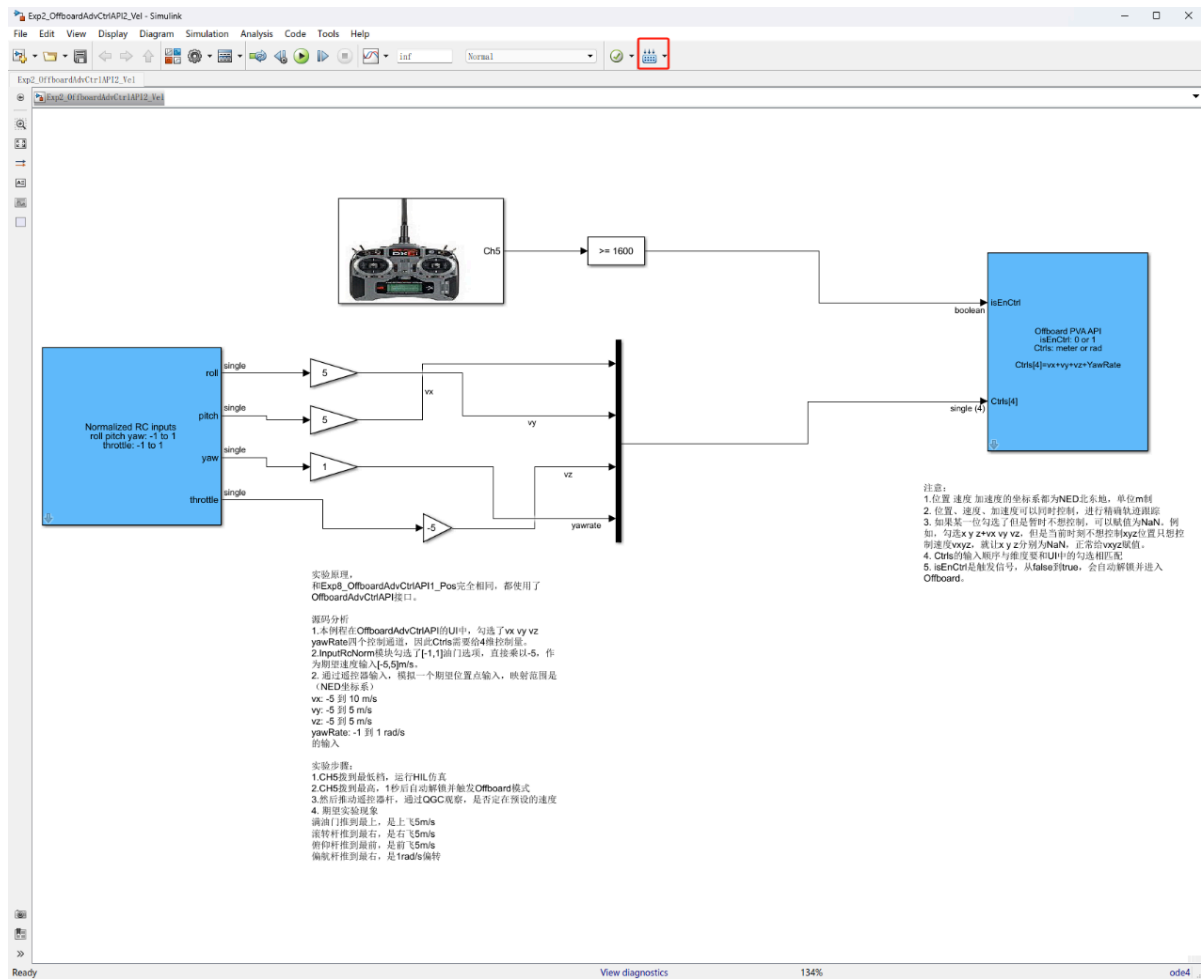


偏航杆推到最右，是pi



步骤2: Offboard模式下速度控制模型

打开MATLAB软件, 在MATLAB中打开[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp2_OffboardAdvCtrlAPI2_Vel.slx文件, 点击编译, 等待编译完成后将固件烧录到飞控。



遥控器CH5拨到最低档,

以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本, 开启硬件在环仿真。

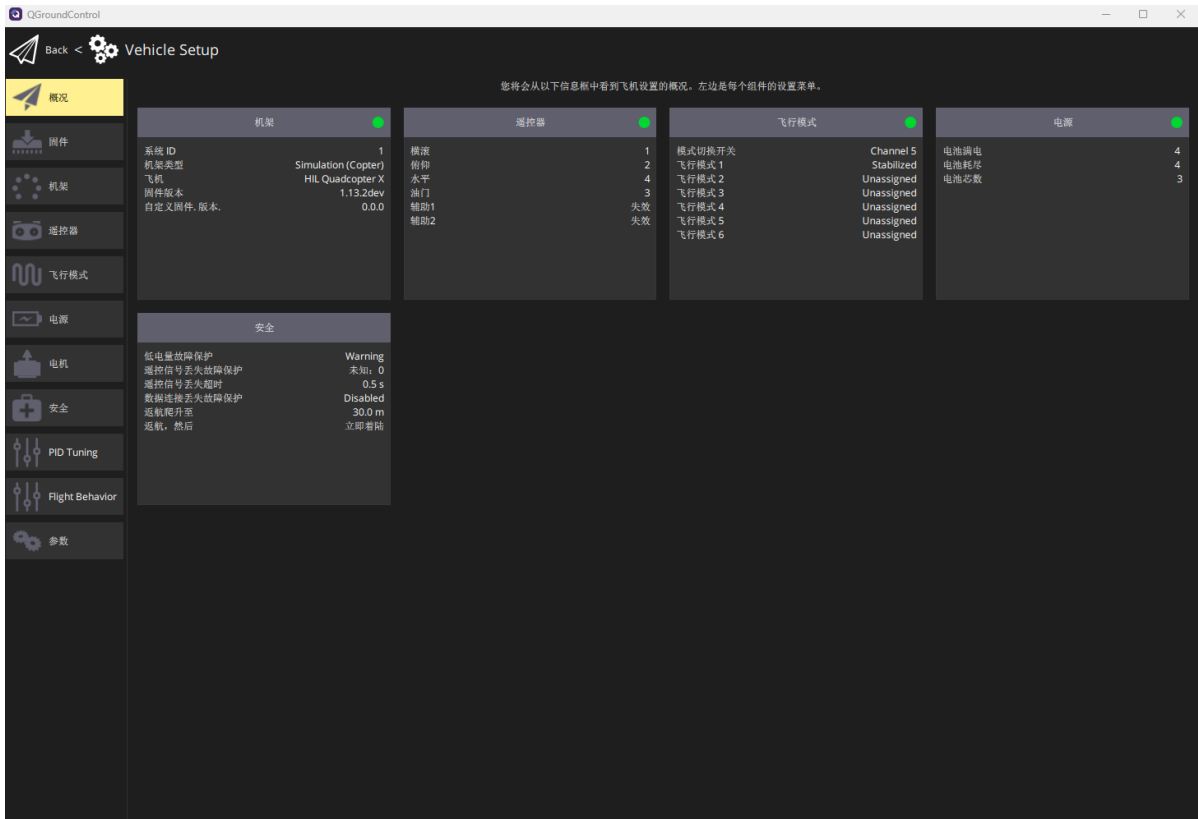
```
CA\Windows\System32\cmd.exe

-----
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:
COM4: USB ???

Recommended COM list input is: 4

-----
My COM list for HITL simulation is:4_
```



CH5拨到最高，1秒后自动解锁并触发Offboard模式

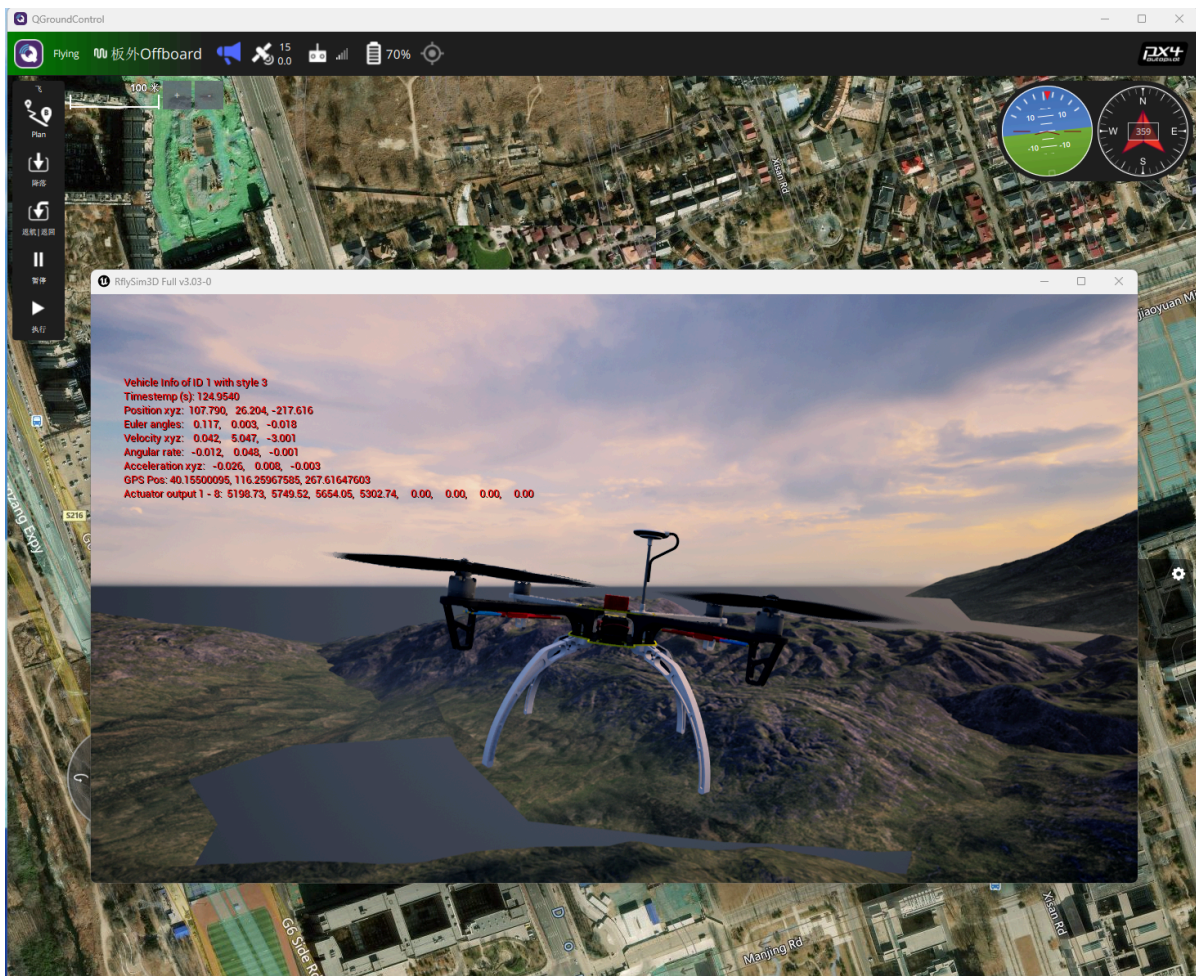


然后推动遥控器杆，通过QGC观察，是否落在预设的位置。

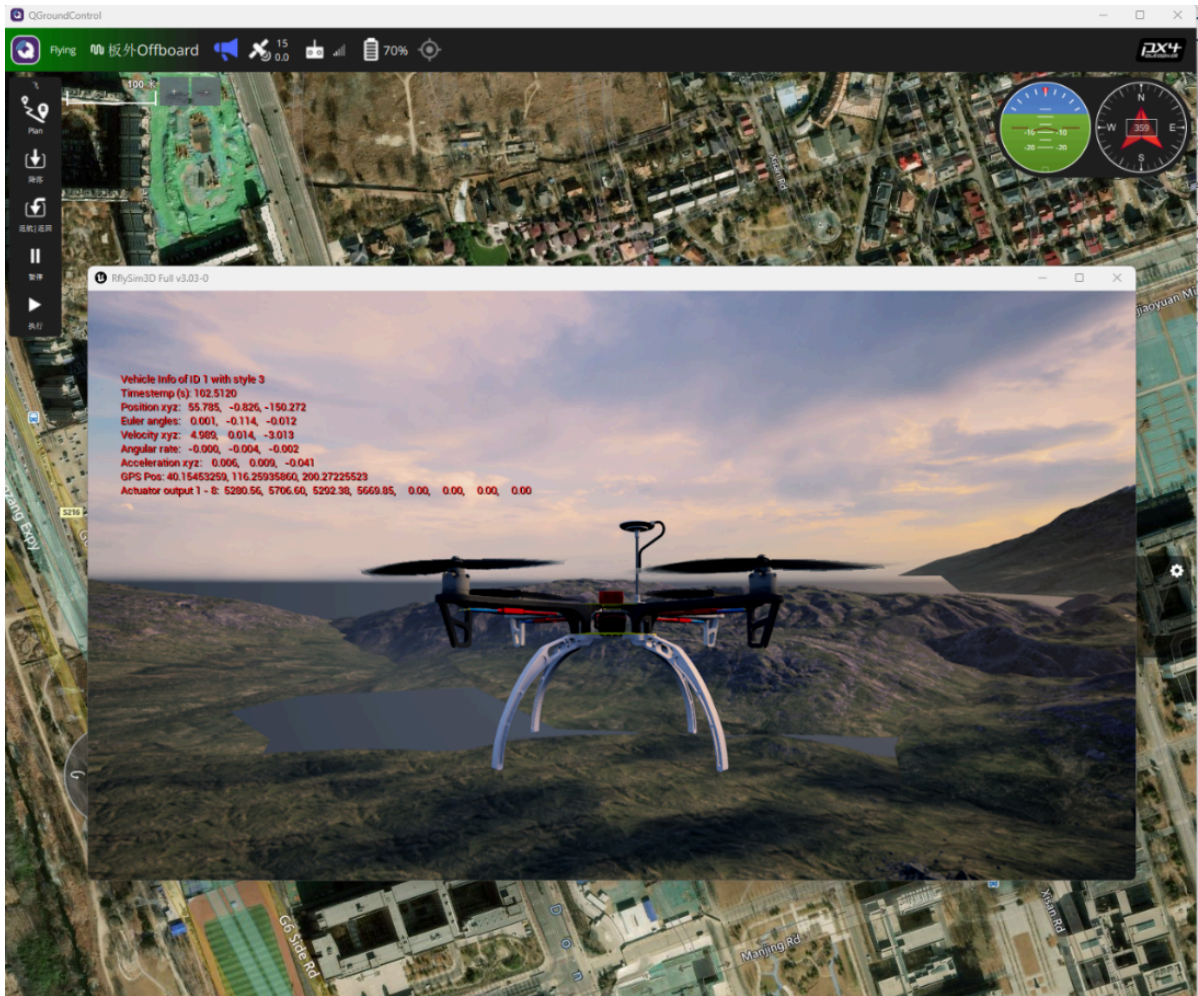
满油门推到最上，是上飞3m/s



滚转杆推到最右，是右飞5m/s



俯仰杆推到最前，是前飞5m/s



偏航杆推到最右，是1rad/s偏转



步骤3: Offboard模式下加速度控制模型

打开MATLAB软件, 在MATLAB中打开[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp3_OffboardAdvCtrlAPI3_Acc.slx文件, 点击编译, 等待编译完成后将固件烧录到飞控。

实验原理:
和Exp8_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos完全相同, 都使用了OffboardAdvCtrlAPI接口。

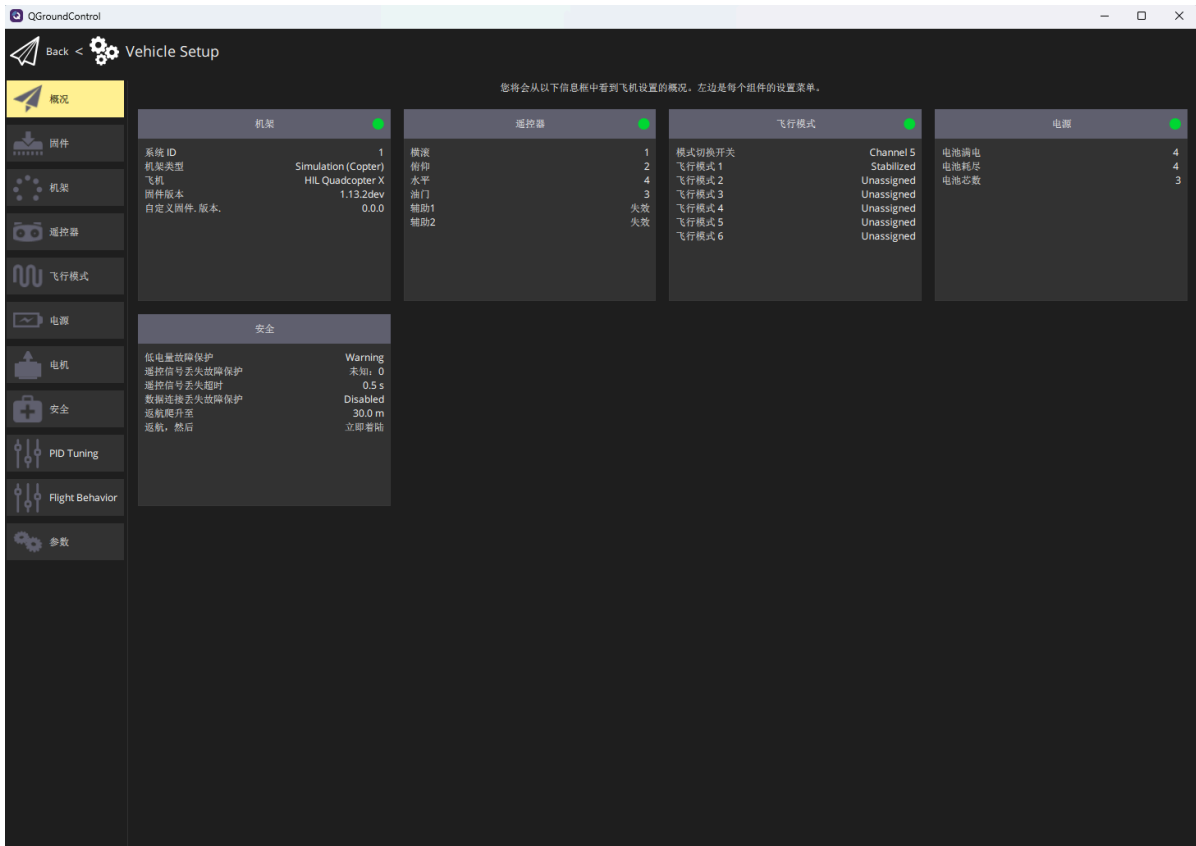
源码分析:
1. 本教程在OffboardAdvCtrlAPI的UI中, 勾选了ax ay az yawRate四个控制通道, 因此Ctrl中需要4个控制量。
2. InputRCNorm模块勾选了[-1,1]油门选项, 直接乘以-5, 作为期望加速度输入(-5.0m/s²)。
3. 通过增益块输入, 实际一个期望位置点输入, 映射范围是(NED坐标系)
ax: -5 到 5m/s²。
ay: -5 到 5m/s²。
az: -5 到 5m/s²。
yawRate: -1 到 1 rad/s的输入。

实验步骤:
1. CH5拨到最低档, 运行HIL仿真。
2. CH5拨到最低档, 1秒后松开油门并触发Offboard模式。
3. 然后推动控制杆, 通过OGC/RflySim3D观察, 是否在预期的加速度。
4. 期望实验现象
油门杆推到最上, 是上飞5m/s²。
滚转杆推到最右, 是右飞5m/s²。
俯仰杆推到最前, 是前飞5m/s²。
偏航杆推到最右, 是1rad/s偏转。

注意:
1. 位置 速度 加速度的坐标系都为NED北系, 单位m制
2. 位置、速度、加速度可以同时控制, 进行精确轨迹跟踪
3. 如果某一位勾选了但是暂时不想控制, 可以赋值为NaN, 例如: 勾选x y z ax ay vz, 但是当前时刻不想控制y轴位置只想控制速度vxyz, 就让x y z分别为NaN, 正常给vxyz赋值。
4. Ctrl的输入顺序与维度要和UI中的勾选相匹配。
5. isEnCtrl是触发信号, 从false到true, 会自动解锁并进入Offboard。

遥控器CH5拨到最低档,
以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本, 开启硬件在环仿真。

```
-----  
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:  
COM4: USB ????  
  
Recommended COM list input is: 4  
  
-----  
My COM list for HITL simulation is:4
```

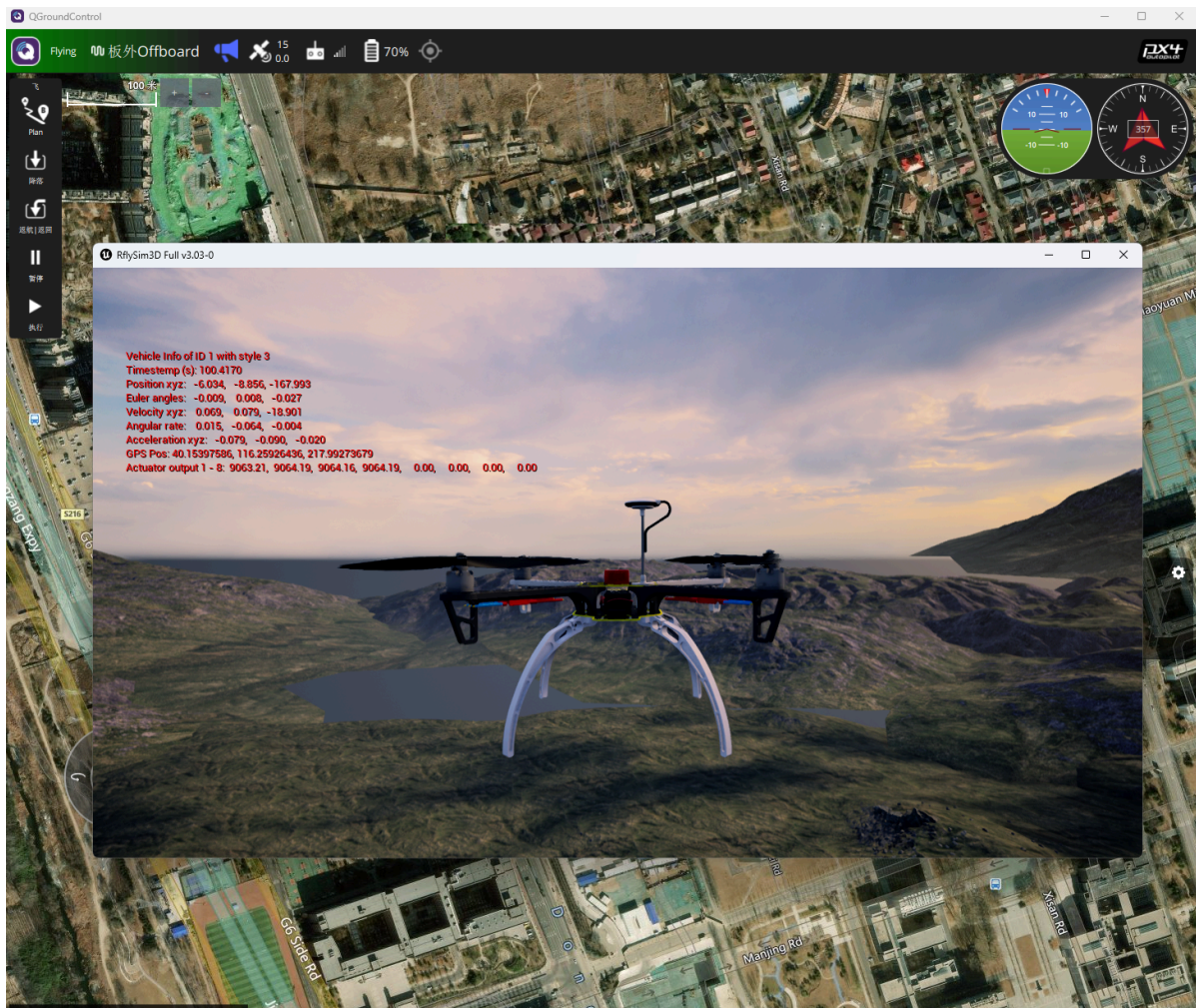


CH5拨到最高，1秒后自动解锁并触发Offboard模式

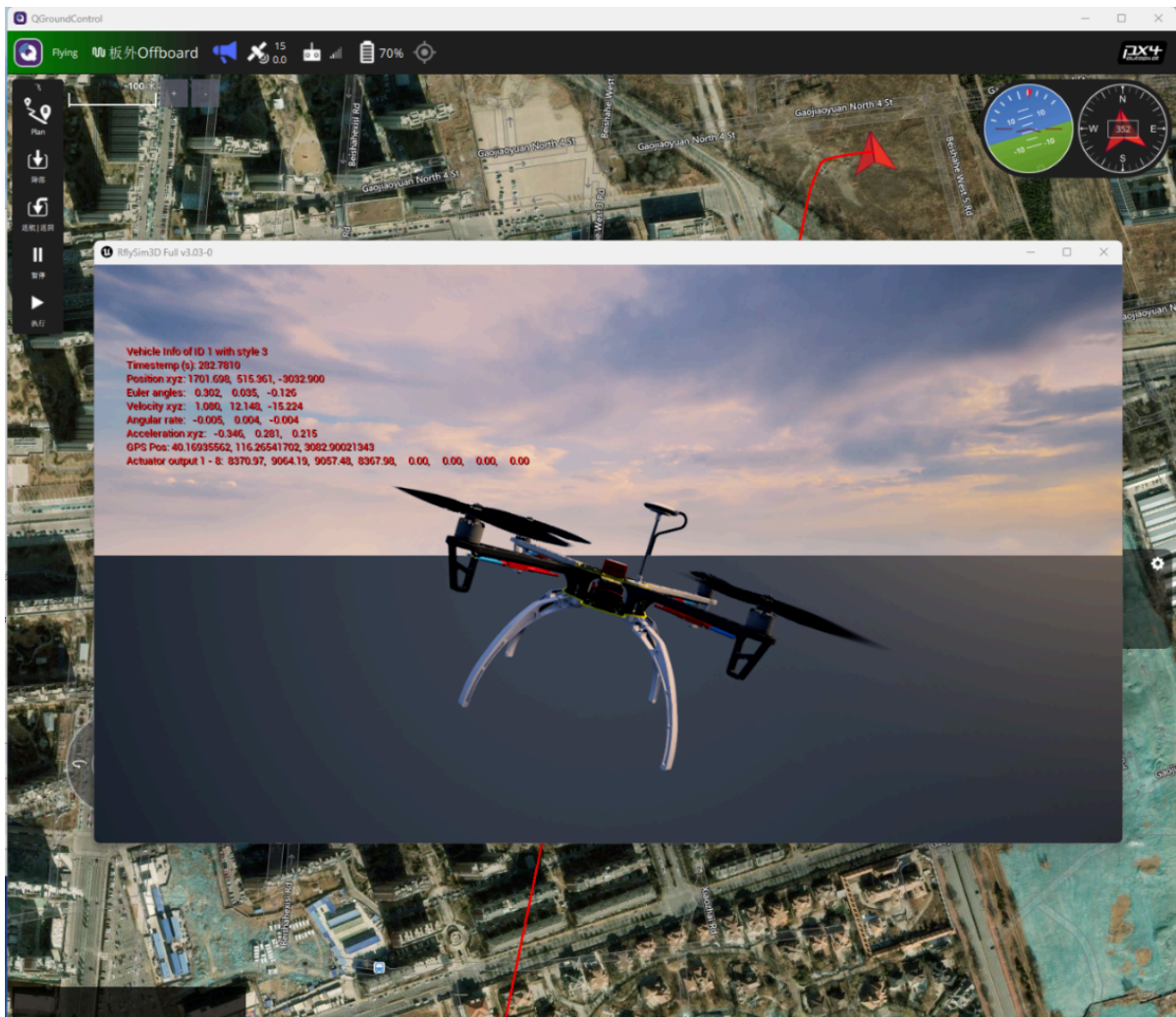


然后推动遥控器杆，通过QGC观察，是否定在预设的位置。

满油门推到最上，是上飞 5m/s^2 。



滚转杆推到最右，是右飞 5m/s^2 。



俯仰杆推到最前，是前飞 5m/s^2 。

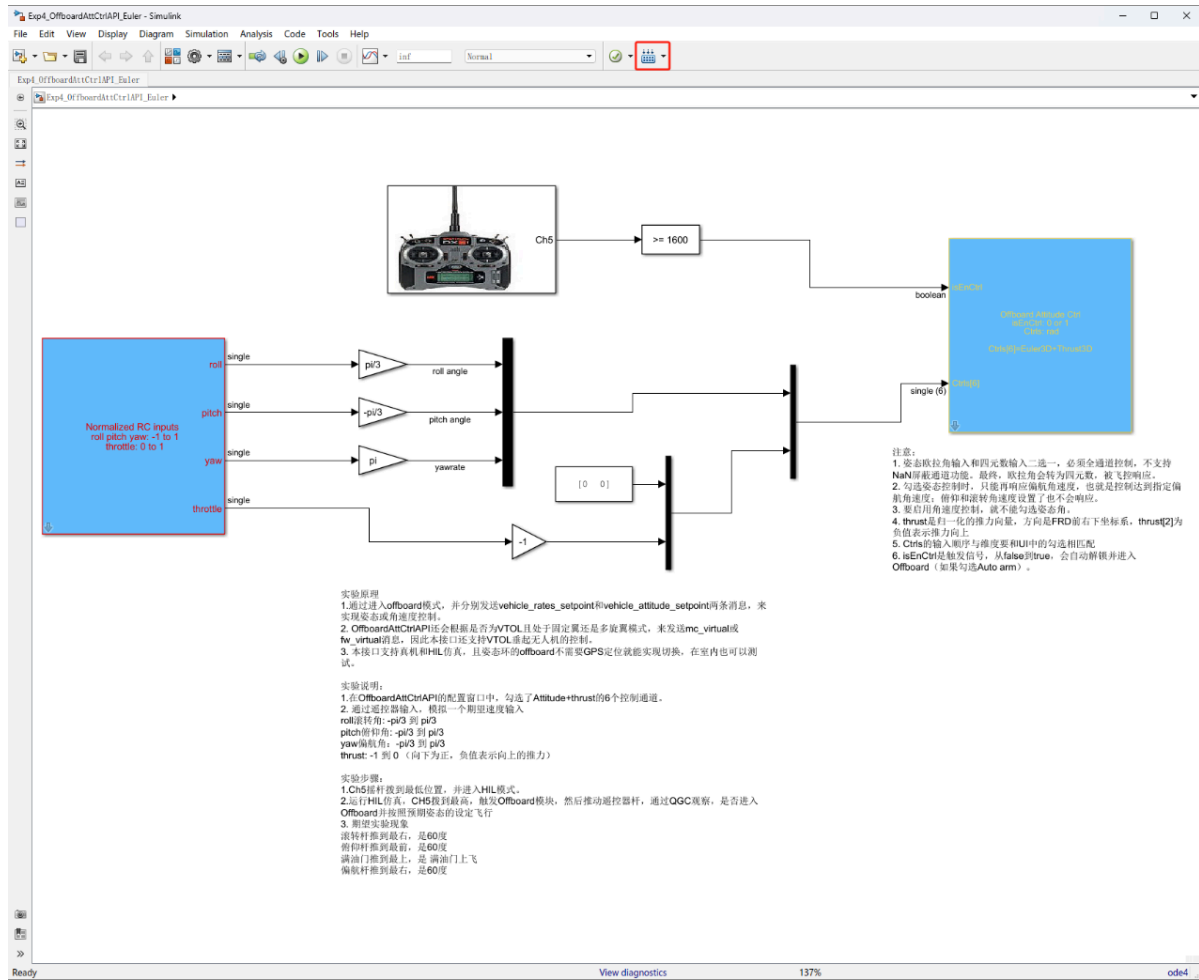


偏航杆推到最右，是1rad/s偏转



步骤4: Offboard模式下欧拉角控制模型

打开MATLAB软件, 在MATLAB中打开[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp4_OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx文件, 点击编译, 等待编译完成后将固件烧录到飞控。



遥控器CH5拨到最低档,

以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本, 开启硬件在环仿真。

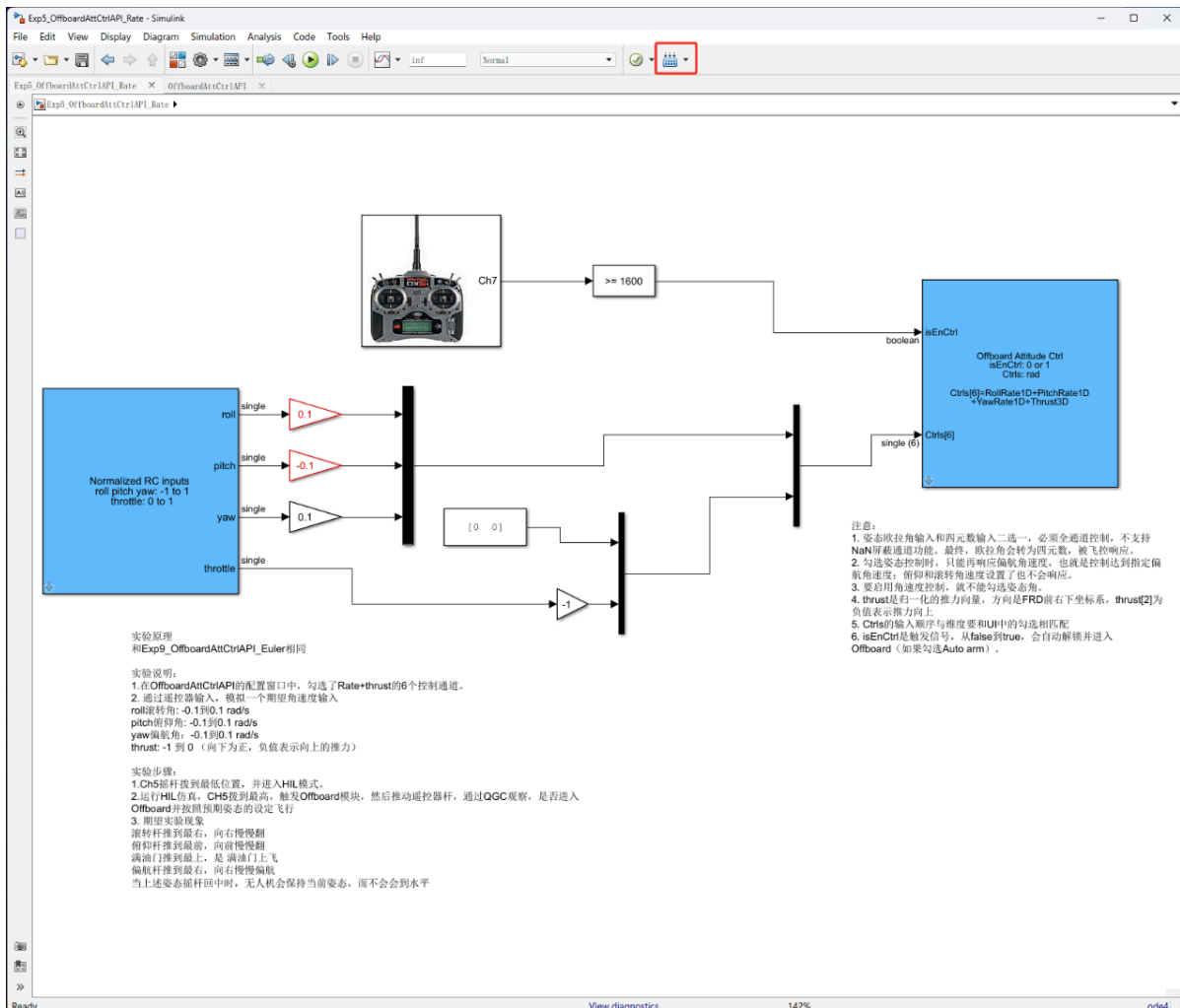
实验现象为:

CH5拨到最高, 1秒后自动解锁并触发Offboard模式,

滚转杆推到最右是60度、俯仰杆推到最前是60度、满油门推到最上是满油门上飞和偏航杆推到最右, 是pi

步骤5: Offboard模式下欧拉角速率控制模型

打开MATLAB软件, 在MATLAB中打开[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp5_OffboardAttCtrlAPI_Rate.slx文件, 点击编译, 等待编译完成后将固件烧录到飞控。



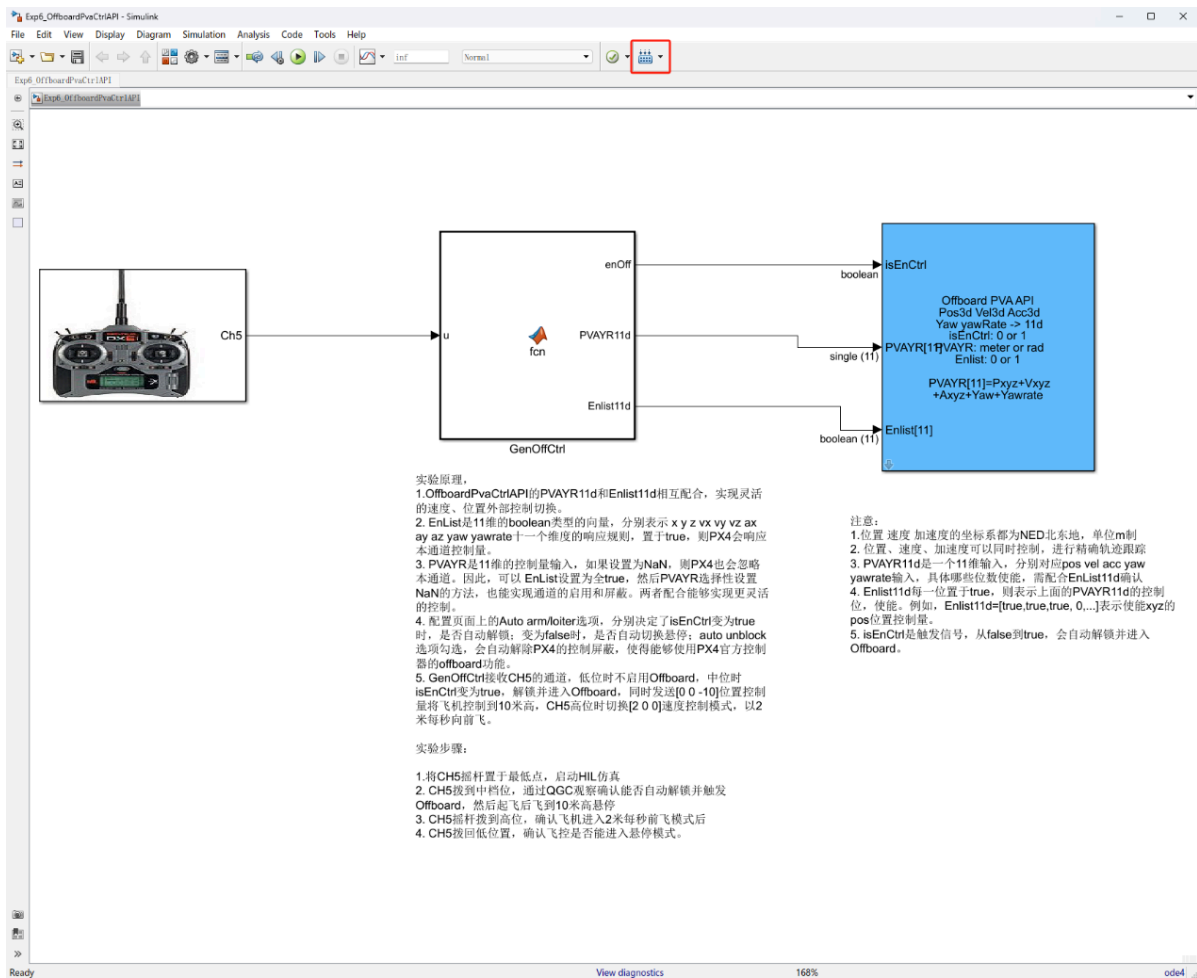
遥控器CH5拨到最低档，
以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本，开启硬件在环仿真。

实验现象为：

滚转杆推到最右向右慢慢翻、俯仰杆推到最前向前慢慢翻、满油门推到最上是满油门上飞和偏航杆推到最右向右慢慢偏航，当上述姿态摇杆回中时，无人机会保持当前姿态，而不会回到水平。

步骤6：Offboard模式下API控制模型

打开MATLAB软件，在MATLAB中打开[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp6_OffboardPvaCtrlAPI.slx文件，点击编译，等待编译完成后将固件烧录到飞控。



遥控器CH5拨到最低档,

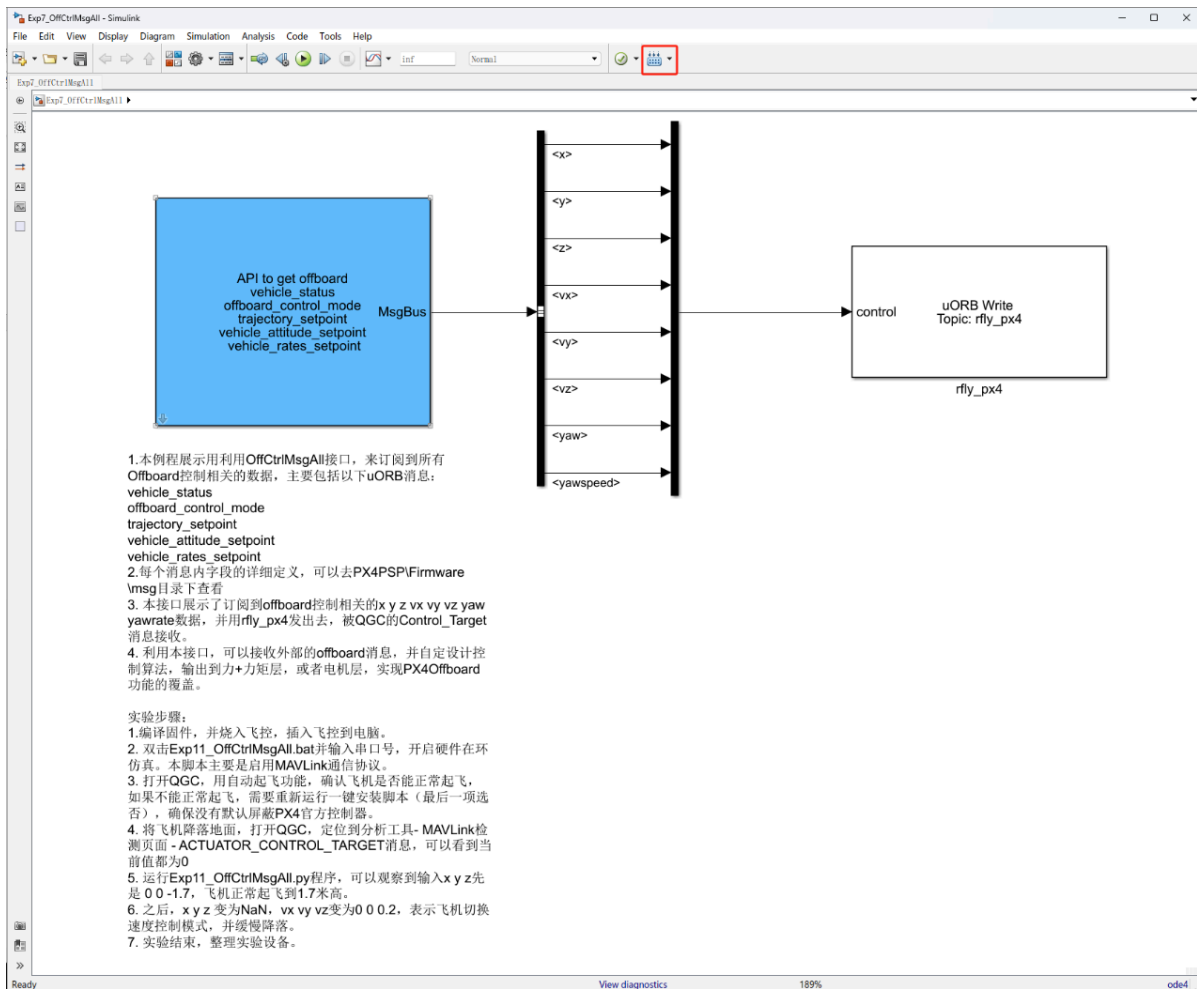
以管理员的身份运行RflyTools中的HITLRun脚本, 开启硬件在环仿真。

实验现象为:

CH5拨到中档位, 通过QGC观察确认能否自动解锁并触发Offboard, 然后起飞后飞到10米高悬停。CH5摇杆拨到高位, 飞机进入2米每秒前飞模式; CH5拨回低位, 飞控进入悬停模式。

步骤7: Offboard模式下Msg消息控制模型

打开MATLAB软件, 在MATLAB中打开[[安装目录](#)]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp7_OffCtrlMsgAll.slx文件, 点击编译, 等待编译完成后将固件烧录到飞控。



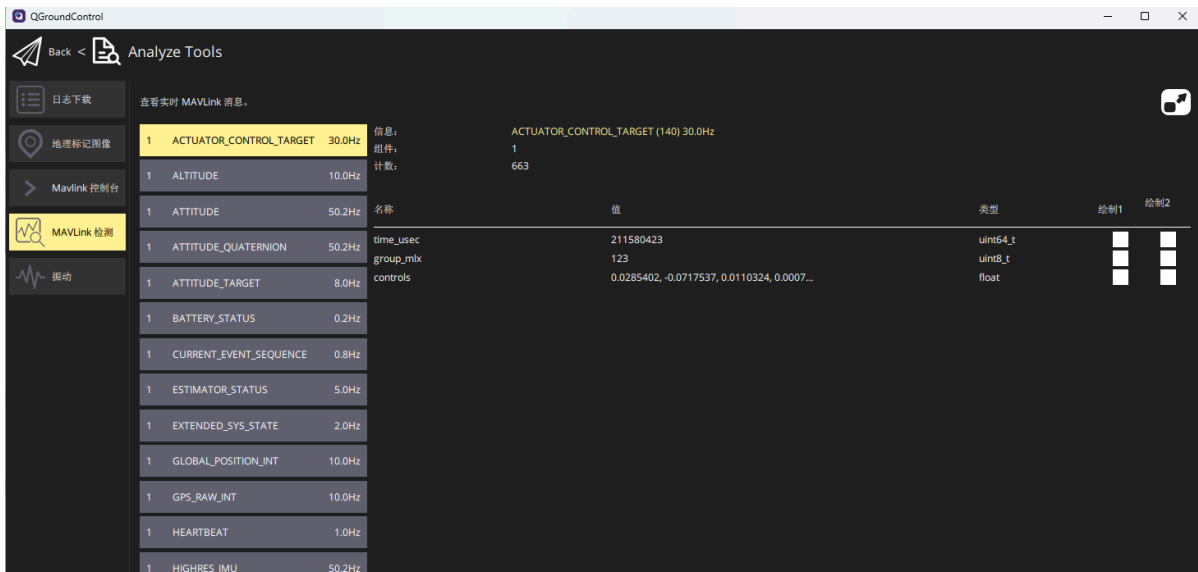
遥控器CH5拨到最低档,

以管理员的身份运行[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp7_OffCtrlMsgAll.bat脚本, 开启硬件在环仿真。

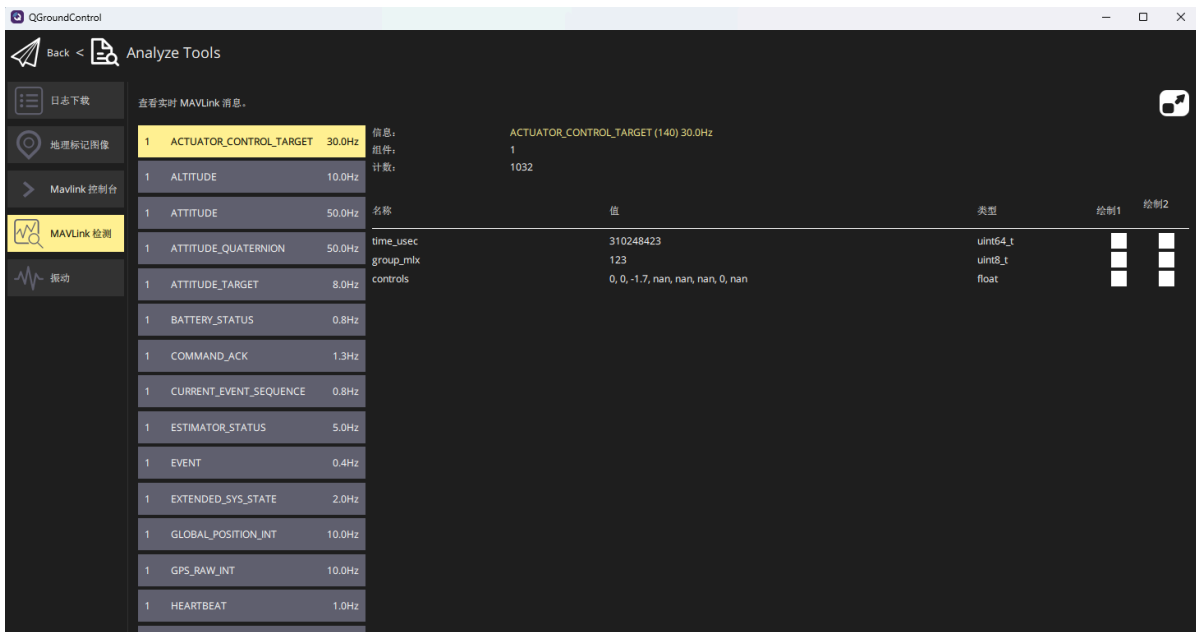
进入QGC, 用自动起飞功能, 确认飞机是否能正常起飞。



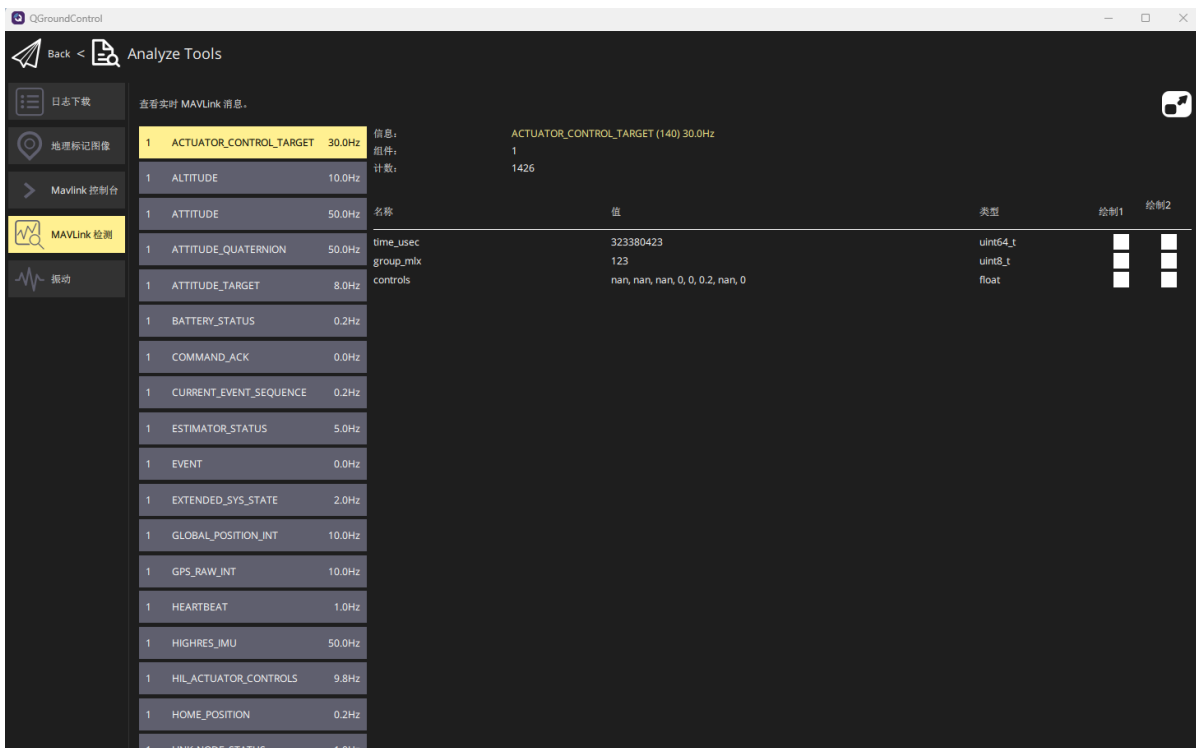
将飞机降落地面，打开QGC，定位到分析工具- MAVLink检测页面 -ACTUATOR_CONTROL_TARGET消息，可以看到当前值都为0



运行[安装目录]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\17.OffboardCtrlsAPI中的Exp7_OffCtrlMsgAll.py程序，可以观察到输入x y z先是 0 0 -1.7，飞机正常起飞到1.7米高。



之后，x y z 变为NaN，vx vy vz变为0 0 0.2，表示飞机切换速度控制模式，并缓慢降落。



5. 关键知识点

预备知识

Offboard模式通常是指一种飞行模式，其中多旋翼通过外部计算机（通常是地面站）发送的命令来控制。在Offboard模式下，多旋翼不依赖于自身的传感器数据或内部算法进行飞行控制，而是依赖外部计算机提供的指令。

Offboard 模式的一般解析：

通信接口：Offboard

模式的关键是与外部计算机之间的通信。这通常通过一种无线通信协议（如Wi-Fi、蓝牙、或者专用的无线电链路）实现。多旋翼通过这个通信接口接收来自外部计算机的控制指令，并将飞行状态信息发送回外部计算机用于监控和反馈。

地面站软件：外部计算机通常运行着地面站软件，用于生成控制指令并监控多旋翼的状态。地面站软件可以提供图形用户界面（GUI）或命令行界面，使操作员能够轻松地与多旋翼进行交互。

控制算法：外部计算机上运行的控制算法负责生成适当的控制指令，以实现期望的飞行动作。这些控制指令通常基于多旋翼的当前状态以及用户输入的指令。

实时性要求：Offboard

模式对通信的实时性要求较高，因为多旋翼需要及时地接收和执行外部计算机发送的控制指令。延迟过高可能会导致多旋翼失去控制，甚至发生事故。

安全性考虑：由于多旋翼的控制权被外部计算机接管，因此必须考虑安全性问题。通信链路需要加密和验证机制以防止未经授权的访问和指令篡改。

总的来说，Offboard

模式提供了一种灵活的飞行控制方式，使我们能够通过外部计算机实现复杂的飞行任务和自主飞行。但是，使用

Offboard 模式需要考虑通信的可靠性和安全性，并确保控制算法的准确性和稳定性。

更多信息可以参考[API.pdf](#)。

实验原理

实验一：Exp1_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos.slx

1、OffboardAdvCtrlAPI是OffboardPvaCtrlAPI接口的进阶版本，能够在弹出配置窗上勾选需要控制的通道，并通过Ctrls输入匹配序号和维度的控制量。

2、OffboardAdvCtrlAPI的使用更简单，但是灵活度较弱，没法在运行过程中修改通道数量，和使能位。

3、可以通过多勾选，暂时不想控制的通道赋值NaN的方法，来实现控制通道的调整。例如，同时勾选x y z vx vy vz，但是x y z赋值NaN，则只响应速度vx vy vz通道。

实验二：Exp2_OffboardAdvCtrlAPI2_Vel.slx

和Exp1_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos完全相同，都使用了OffboardAdvCtrlAPI接口。

实验三：Exp3_OffboardAdvCtrlAPI3_Acc.slx

和Exp1_OffboardAdvCtrlAPI1_Pos完全相同，都使用了OffboardAdvCtrlAPI接口。

实验四：Exp4_OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx

1、通过进入offboard模式，并分别发送vehicle_rates_setpoint和vehicle_attitude_setpoint两条消息，来实现姿态或角速度控制。

2、OffboardAttCtrlAPI还会根据是否为VTOL且处于固定翼还是多旋翼模式，来发送mc_virtual或fw_virtual消息，因此本接口还支持VTOL垂起无人机的控制。

3、本接口支持真机和HIL仿真，且姿态环的offboard不需要GPS定位就能实现切换，在室内也可以测试。

实验五：Exp5_OffboardAttCtrlAPI_Rate.slx

和Exp4_OffboardAttCtrlAPI_Euler.slx完全相同，都使用了OffboardAttCtrlAPI接口。

实验六：Exp6_OffboardPvaCtrlAPI.slx

1、OffboardPvaCtrlAPI的PVAYR11d和EnList11d相互配合，实现灵活的速度、位置外部控制切换。

2、EnList是11维的boolean类型的向量，分别表示x y z vx vy vz ax ay az yaw yawrate十一个维度的响应规则，置于true，则PX4会响应本通道控制量。

3、PVAYR是11维的控制量输入，如果设置为NaN，则PX4也会忽略本通道。因此，可以EnList设置为全true，然后PVAYR选择性设置NaN的方法，也能实现通道的启用和屏蔽。两者配合能够实现更灵活的控制。

4、配置页面上的Auto

arm/loiter选项，分别决定了isEnCtrl变为true时，是否自动解锁；变为false时，是否自动切换悬停；auto

unblock选项勾选，会自动解除PX4的控制屏蔽，使得能够使用PX4官方控制器的offboard功能。

5、GenOffCtrl接收CH5的通道，低位时不启用Offboard，中位时isEnCtrl变为true，解锁并进入Offboard，同时发送[0

0 -10]位置控制量将飞机控制到10米高，CH5高位时切换[2 0

0]速度控制模式，以2米每秒向前飞。

实验七：Exp7_OffCtrlMsgAll.slx

1、本实验展示利用OffCtrlMsgAll接口，来订阅到所有Offboard控制相关的数据，主要包括以下uORB消息：

vehicle_status

offboard_control_mode

trajectory_setpoint

vehicle_attitude_setpoint

vehicle_rates_setpoint

2、每个消息内字段的详细定义，可以去PX4PSP\Firmware\msg目录下查看。

3、本接口展示了订阅到offboard控制相关的x y z vx vy vz yaw yawrate数据，并用rfly_px4发出去，被QGC的Control_Target消息接收。

4、利用本接口，可以接收外部的offboard消息，并自定设计控制算法，输出到力+力矩层，或者电机层，实现PX4Offboard功能的覆盖。

6.参考资料

1. [RflySim官方文档](#)
2. [RflySim工具链](#)
3. [PX4官方文档](#)
4. [QGroundControl用户指南](#)
5. [MATLAB/Simulink官方文档](#)

7.常见问题

Q1：编译模型时报错，无法找到相关库文件或头文件？

A1：请检查是否正确安装了RflySim工具链和MATLAB环境，确保环境变量已正确配置。此外，请确认使用的MATLAB版本不低于2022b。

Q2: HITL仿真无法正常启动，提示连接失败？

A2: 请检查防火墙设置，确保相关端口未被阻止。同时确认以管理员身份运行HITLRun脚本，并检查串口连接是否正常。

Q3: Offboard模式无法切换成功或飞行异常？

A3: 请确认遥控器CH5通道设置正确，检查PX4固件版本是否符合要求(推荐1.12.3)，并确保通信链路稳定。在室内测试时建议使用不需要GPS的姿态控制模式。

1. <https://rflysim.com/> 

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> 