
1. 实验名称及目的

1.1. 实验名称

RC 遥控器信号模块 InputRcCali,InputRcNorm,RCOverCtrlAPI 验证实验

1.2. 实验目的

实验综合了遥控器信号处理的多个关键环节，旨在确保 RC 遥控器能够准确、可靠地控制飞行器，并在必要时实现快速的手动干预。通过本实验，可以全面验证和优化 RC 遥控器信号处理和控制功能，为实际应用提供坚实的技术支持。

1.3. 关键知识点

实验一：Exp1_InputRcCali.slx

1、本质上是在 ManualControlSetpoint 模块的基础上，将-1 到 1 的 RC 归一化输入数据映射到 1100~1900。

2、input_rc 模块是订阅的 PX4 的原始数据（来自 input_rc 的 UORB 消息），这个数据是遥控器传过来的原始值，不同遥控器存在误差。例如，摇杆置于中间时，不一定是 1500，同时最低点也不一定是 1100，最高点不是 1900。

3、直接使用遥控器模块 input_rc，可能因为遥控器数据不准的问题，而产生飞机漂移。

4、本实验将 InputRcCali 和 input_rc 模块的四个通道输出，分别发给了 rfly_px4 消息的前 8 位，可以在 QGC 中观察。

实验二：Exp2_InputRcNorm.slx

1、本质上是订阅了 manual_control_setpoint 的 uORB 消息，输出归一化后的遥控器的值。

2、input_rc 模块是订阅的 PX4 的原始数据（来自 input_rc 的 UORB 消息），这个数据是遥控器传过来的原始值，不同遥控器存在误差。例如，摇杆置于中间时，不一定是 1500，同时最低点也不一定是 1100，最高点不是 1900。

3、实验一的例程，接收 input_rc 模块的 1100 到 1900 的 PWM 值后，会用 InputConditioning 模块进行归一化(未加死区和限幅)，得到与 InputRcNorm 接近的结果。可能因为遥控器未校准的问题，而产生飞机漂移。

4、本实验将 InputRcCali 和 input_rc 模块的四个通道输出，分别发给了 rfly_ext 消息的前 8 位，可以在 QGC 中观察。

实验三：Exp3_RCOverCtrlAPI.slx

通过重发 manual_control_setpoint 的消息，来实现 RC 遥控器手动控制信号的覆盖功

1、在本实验中，Mode 为支持手动控制的几个模式，这里选的是 2，定高模式。

2、在 RCOVerCtrlAPI 界面中勾选了 roll pitch yaw throttle 的控制输入，他们都是-1 到 1 的范围，对应了遥控器的输入状态。

- 3、在实验中，CtrlScript 脚本里面实现了一个简易状态机，能够实现下面动作。
- 1) isEnCtrl 从 false 到 true 解锁后，会自动进入定高模式，并解锁飞控。
 - 2) 在 1s 后，以[0 0 0 1]满油门竖直起飞。
 - 3) 在 5s 后，控制信号切换为[0 0 0 0]，飞机开始保持悬停。注意：这里油门是[-1,1]，因此中间油门是 0，对应油门杆居中，在定高模式时，会保持定高悬停。
 - 4) 在 10s 后，会切换到[0.3 0 0 0]，飞机向右飞。
 - 5) 在 15s 后，会切换到[0 0.3 0 0]，飞机向前飞。

2. 实验效果

本实验展示了 InputRcCali 获取校准后遥控器 PWM 值的模块，InputRcNorm 获取校准并归一化后遥控器输入值的模块，以及通过重发 manual_control_setpoint 的消息，来实现 RC 遥控器手动控制信号的覆盖功能。

3. 文件目录

文件夹/文件名称	说明
Exp1_InputRcCali.slx	获取校准后遥控器 PWM 值的模块文件
Exp2_InputRcNorm.slx	获取校准并归一化后遥控器输入值的模块文件
Exp3_RCOVerCtrlAPI.slx	RC 遥控器手动控制信号覆盖功能接口文件

4. 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 ^①	1
2	RflySim 平台免费版及以上版本	Pixhawk 6X ^②	1
3	MATLAB 2022b 及以上	遥控器 ^③	1
4		遥控器接收器	1
5		数据线、杜邦线等	若干

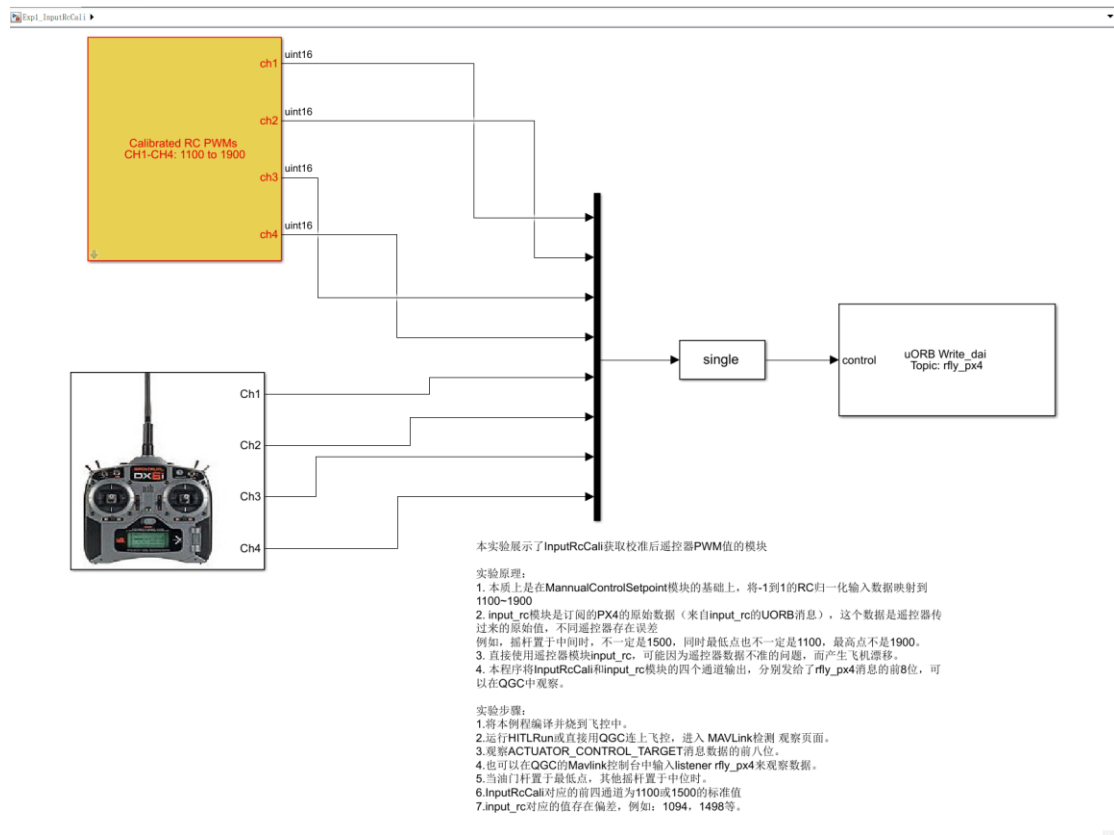
- ①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf>
- ②：须保证平台安装时的编译命令为：px4_fmuv6x_default，固件版本为：1.12.3。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com>
- ③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 ET10、配套接收器为：WFLY RF209S。遥控器相关配置见：<https://rflysim.com/doc/zh/B/3.1ET10.html>

5. 实验步骤

5.1. Exp1_InputRcCali.slx—获取校准后遥控器 PWM 值的模块文件

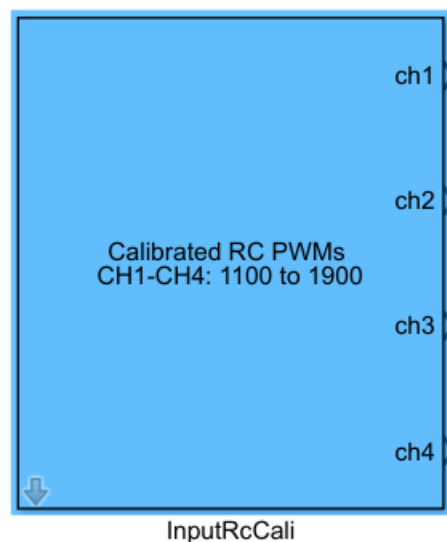
如下图所示，打开[\[安装目录\]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\15.InputSourceAPI](#) 中的 Exp1

_InputRcCali.slx 文件。该系统模型主要由 InputRcCali、input_rc 和 uORB Write Advanced_data 模块构成。



5.1.1. InputRcCali—校准遥控器 PWM 模块

将遥控器的数据映射到 1100~1900 数据范围中。



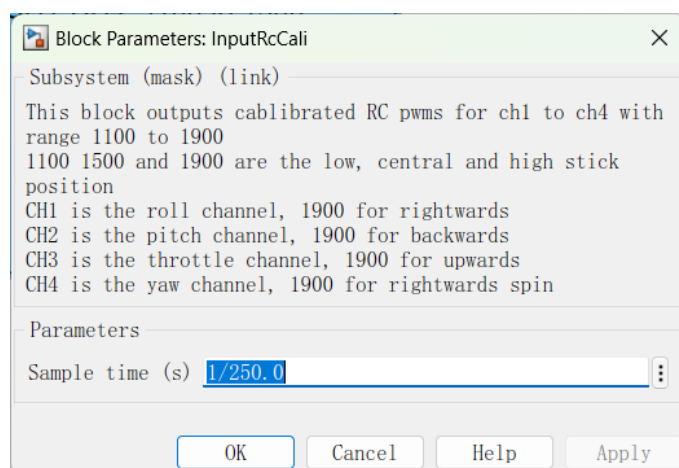
CH1：为输出滚转通道，范围为：1100~1900，1900 表示向最右方飞行；

CH2：为输出俯仰通道，范围为：1100~1900，1900 表示向最下方飞行；

CH3：为输出油门通道，范围为：1100~1900，1900 表示向最上方飞行；

CH4：为输出偏航通道，范围为：1100~1900，1900 表示向右方转动；

双击打开本模型的配置页面后，其具体定义如下：



Sample Time(s): 采样时间。

5.1.2. input_rc—遥控器输入模块

该模块允许用户访问来自 RC 发射机的信号，通过这个模块可以选择输出的信号，包括多个遥控器通道的值，以及其他的一些信息。如下图所示，这些包括：

1. Channel Selection—通道选择
 - a) uint16 数据类型，表示来自控制器的 PWM(在使用中)值。
 - b) 测量每个支持通道的脉冲宽度。
2. Channel Count—通道数
 - a) Uint32 位数据类型，被 PX4 检测器检测的通道数。
3. RC Failsafe—遥控器信号失效保护
 - a) 布尔数据类型，指示 RC Tx 正在发送 FailSafe 信号（如果设置正确）
 - b) 显示 failsafe 标志：在 Tx 失败或者 Tx 超出范围时为 true, 否则为 false。
 - c) 只有真实状态是可靠的，因为市场上有一些（PPM）接收器在没有明确告诉我们的情况下进入故障安全。
4. RC Input Source—遥控器信号输入源
 - a) 枚举数据类型，指示 RC 输入来自哪个源。
 - b) 在 ENUM 文件中找到有效值：

RC_INPUT_SOURCE_ENUM.m

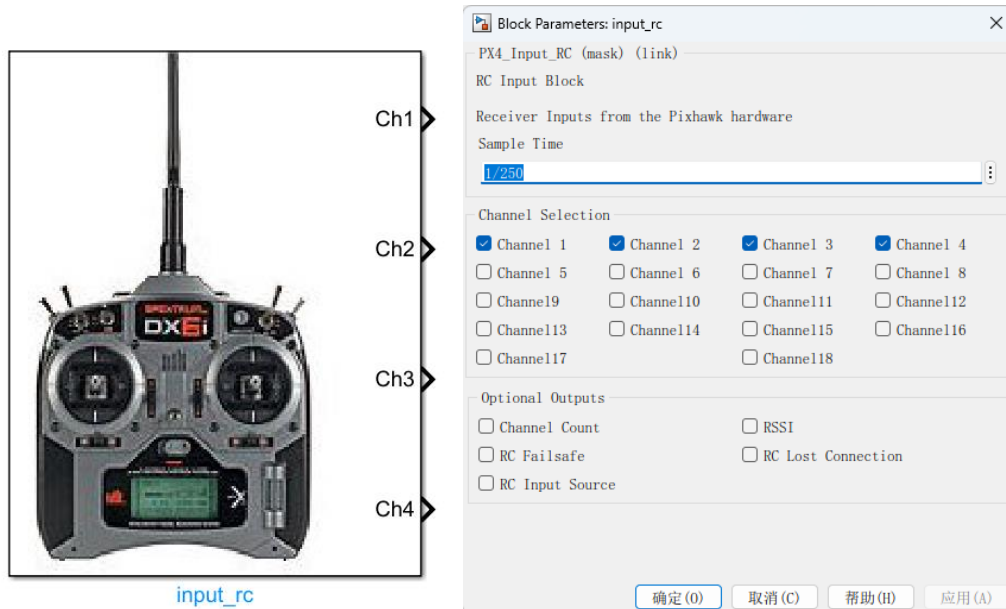
RCINPUT_SOURCE_UNKNOWN	(0)
RCINPUT_SOURCE_PX4FMU_PPM	(1)
RCINPUT_SOURCE_PX4IO_PPM	(2)
RCINPUT_SOURCE_PX4IO_SPEKTRUM	(3)
RCINPUT_SOURCE_PX4IO_SBUS	(4)

5. RSSI—接收信号强度指标

- a) 接收信号强度指标（RSSI）：<0：未定义；0：无信号；255：全接收。

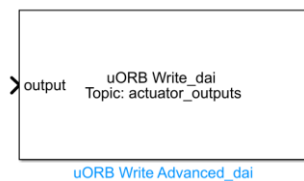
6. RC Lost Connection—遥控器信号丢失连接

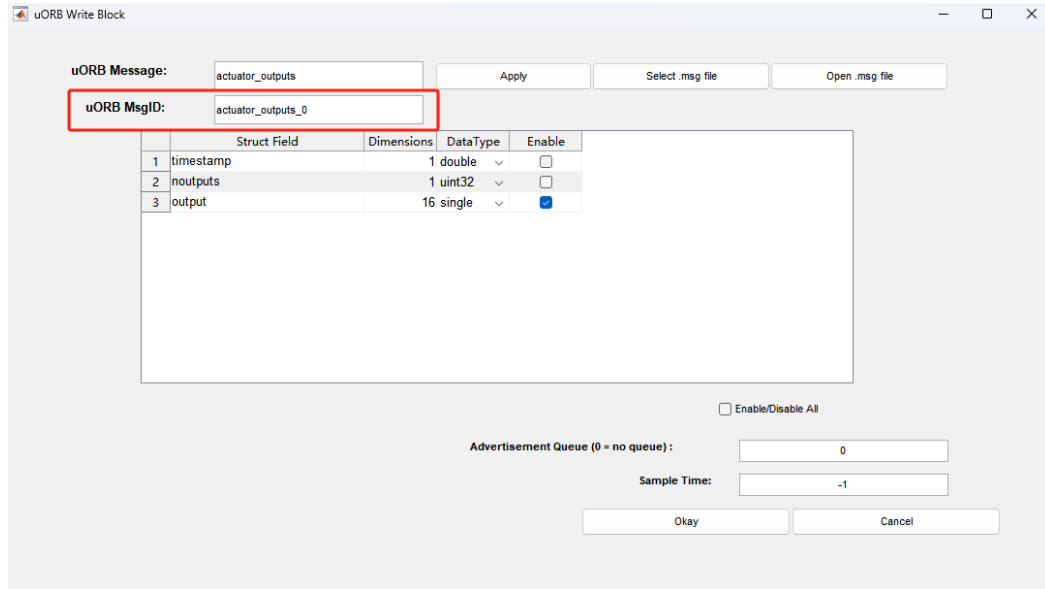
- a) 指示 RC 接收器连接状态的布尔数据类型。
- b) 如果没有帧在预期时间内到达，则为 **True**, 否则为 **false**。
- c) **True** 通常意味着接收器已断开连接，但也可以表示在“愚蠢的”系统上无线电链路丢失。
- d) 如果带有 **failsafe** 选项的 RX 在链路丢失后继续传输帧，则保持 **false**。



5.1.3.uORB Write Advanced_dai—uORB 消息数据发布接口进阶模块

如下图所示相较于 uORB Write Advanced, uORB Write Advanced_dai 新增自定义 uORBMsgID 功能。

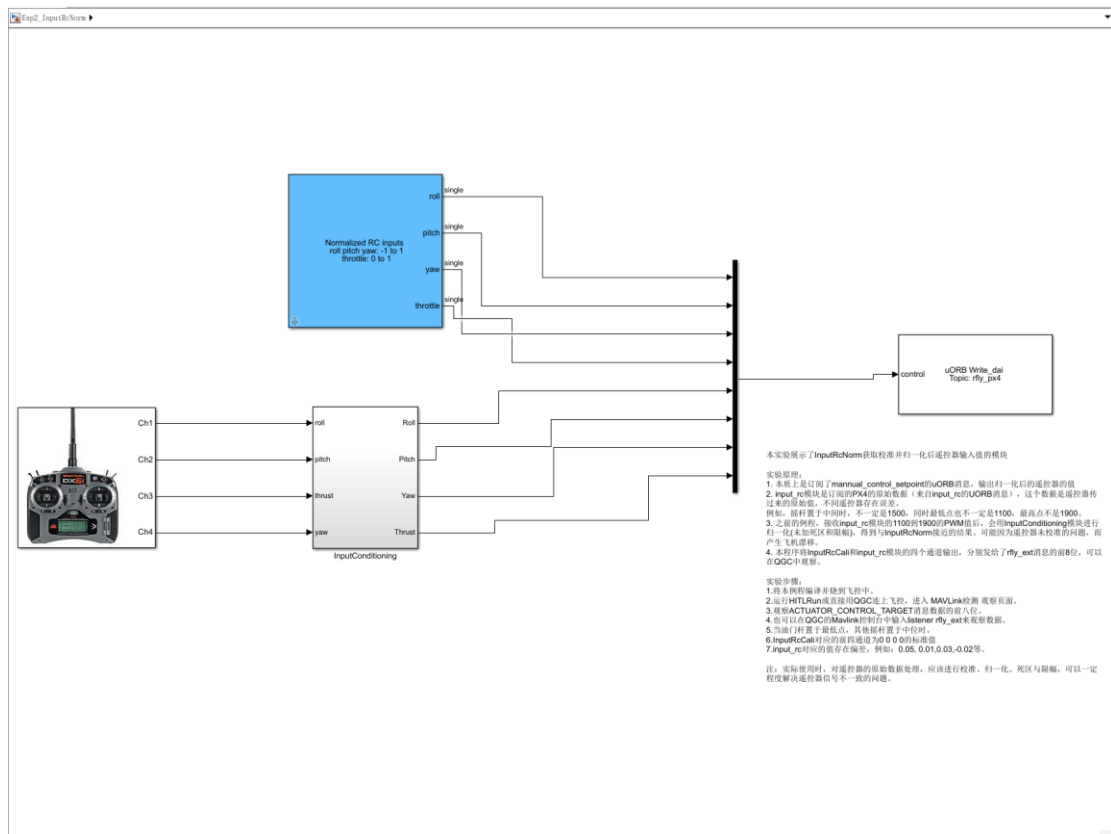




5.2. Exp2_InputRcNorm.slx—获取校准并归一化后遥控器输入值的模块文件

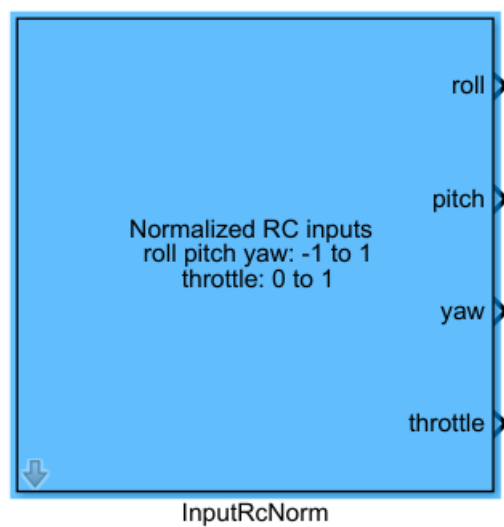
如下图所示，打开[\[安装目录\]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\15.InputSourceAPI](#)中的 Exp2_InputRcNorm.slx 文件。该系统模型主要由 InputRcNorm、input_rc 和 uORB Write Advanced_dai 模块构成。

input_rc 和 uORB Write Advanced_dai 模块的详细介绍请参考：[input_rc](#)和[uORB Write Advanced_dai](#)



5.2.1.InputRcNorm—遥控器信号归一化模块

将遥控器的数据通过归一化处理映射到的-1~1 范围数据中。



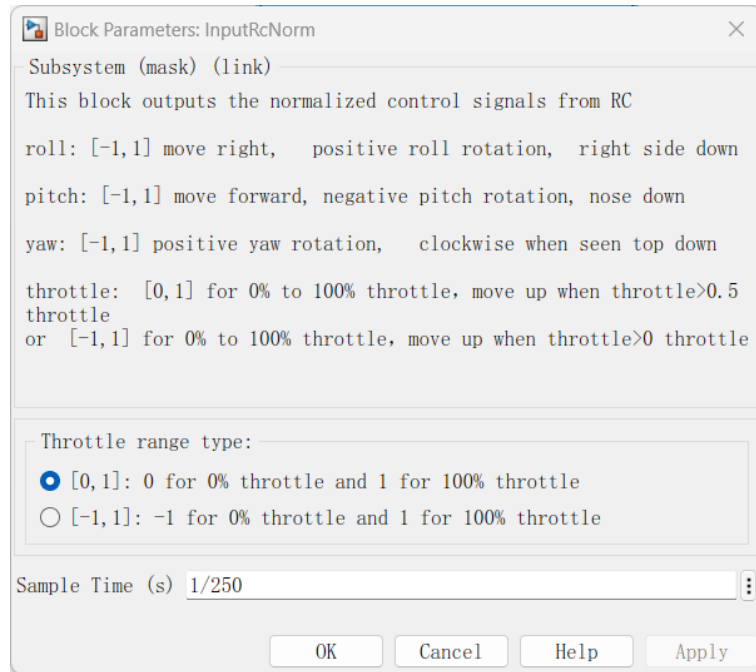
CH1: 为输出滚转通道, 范围为: $-1 \sim 1$, 1 表示向最右方飞行;

CH2: 为输出俯仰通道, 范围为: -1~1, 1 表示向最下方飞行;

CH3: 为输出油门通道, 范围为: 0~1 或-1~1, 1 表示向最上方飞行;

CH4: 为输出偏航通道, 范围为: $-1 \sim 1$, 1 表示向右方转动;

双击打开本模型的配置页面后，其具体定义如下：

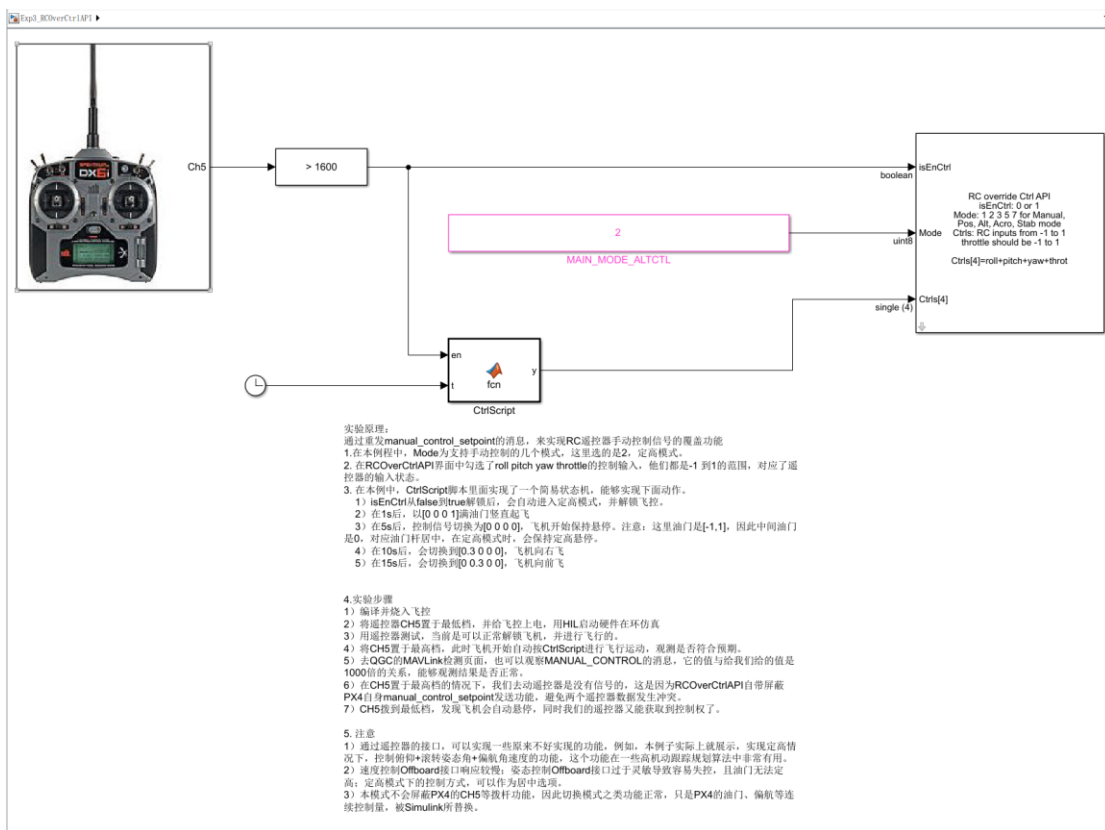


- 若勾选[0,1]: 则 CH3 端口输出数据范围为 0~1。
- 若勾选[-1,1]: 则 CH3 端口输出数据范围为-1~1。
- Sample Time(s): 采样时间。

5.3. Exp3_RCOverCtrlAPI.slx—RC 遥控器手动控制信号覆盖功能

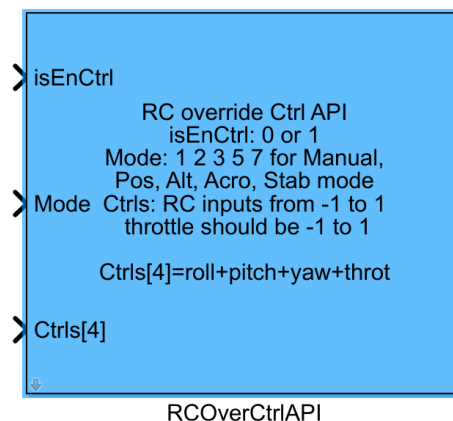
接口文件

如下图所示，打开[\[安装目录\]\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\15.InputSourceAPI](#)中的 Exp2_InputRcNorm.slx 文件。该系统模型主要由 RCOverCtrlAPI、input_rc 和 CtrlScript 模块构成。input_rc 模块的详细介绍请参考：[input_rc](#)



5.3.1. RCOverCtrlAPI—遥控器手动控制信号的覆盖模块

本模块通过重发 `manual_control_setpoint` 的消息，来实现 RC 遥控器手动控制信号的覆盖功能。



isEnCtrl: 当 `isEnCtrl` 端口输入为 `true` 时，则发送控制数据并进入 `Offboard`；否则不发送且 `PX4` 将进入 `Loiter` 模式。当指令从 `false` 到 `true` 时，会自动解锁并进入 `Offboard`。

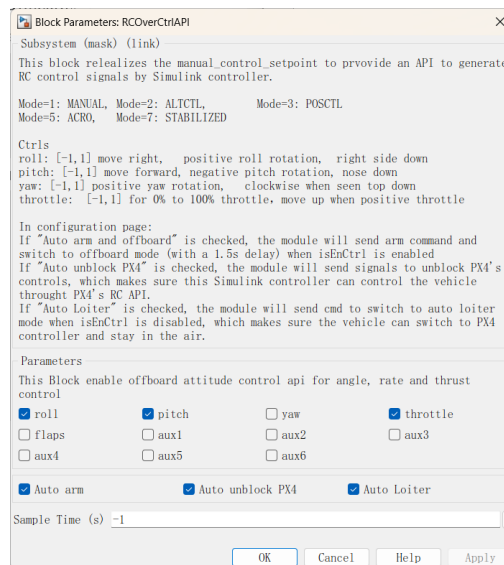
Mode: 可输入 `uint8` 类型数据实现不同的控制模式，具体协议如下：

- Mode=1:** 手动模式
- Mode=2:** 定高模式
- Mode=3:** 定点模式
- Mode=5:** 特技模式
- Mode=6:** 自稳模式

Ctrls[*]: 可输入*维 single 类型的向量, 对应的控制信号, 具体协议如下:

roll: 滚转通道, 数据范围为[-1, 1]向右移动, 正向滚动旋转, 右侧向下。
pitch: 俯仰通道, 数据范围为[-1, 1]向前移动, 负俯仰旋转, 机头向下。
yaw: 偏航通道, 数据范围为[-1, 1]正偏航旋转, 从上往下看是顺时针方向。
throttle: 油门通道, 数据范围为[-1, 1], 对应 0%到 100%的油门, 当正油门时向上移动
flaps: 襟翼的位置, 数据范围[-1, 1], 开关/旋钮/摇杆
aux1: 辅助通道 1
aux2: 辅助通道 1
aux3: 辅助通道 1
aux4: 辅助通道 1
aux5: 辅助通道 1
aux6: 辅助通道 1

双击打开本模型的配置页面后, 其具体定义如下:

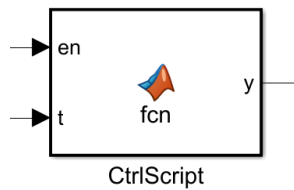


- **Parameters:** 可自定义选择 Offboard 模式下姿态控制的不同通道, 具体协议见上方。
- 若勾选 Auto arm, 当 isEnCtrl 端口输入为 true 时, 模块将发送解锁指令。
- 若勾选 Auto block PX4, 则模块将发送信号屏蔽 PX4 的输出。当 isEnCtrl 接口输入为 true 时, 将使用 Simulink 控制器控制载具。
- 若勾选 Auto Loiter, 模块将发送命令解除对 PX4 输出的屏蔽, 并切换到自动 Loiter 模式, 当 isEnCtrl 接口输入为 false 时切换到 Loiter 模式, 从而确保载具可以切换到 PX4 控制器并保持在空中。

Sample Time(s): 采样时间。

5.3.2. CtrlScript—控制函数

如下图所示, 双击打开该模块, 可得到控制脚本函数, 这个函数是模拟四旋翼的简单控制逻辑, 根据输入的拨杆状态和时间, 输出相应的控制向量。



函数解析如下：

输入的参数 **en**（一个布尔值）和时间 **t**，返回一个控制向量 **y**

function **y** = **fcn**(**en**,**t**)
定义了几个持久变量 **tLast**、**enLast**、**flag** 和 **yLast**，用于存储上一次函数执行时的状态信息

```
persistent tLast;
persistent enLast;
persistent flag;
persistent yLast;
```

检查 **en** 是否与上一次的 **enLast** 不同。如果不同，则将 **t**、**en** 更新到持久变量中，并根据 **en** 的值更新 **flag** 和 **yLast**。这部分逻辑似乎是根据输入的拨杆状态来判断飞行器的状态

```
if isempty(tLast)
    tLast=0;
end

if isempty(enLast)
    enLast=false;
end

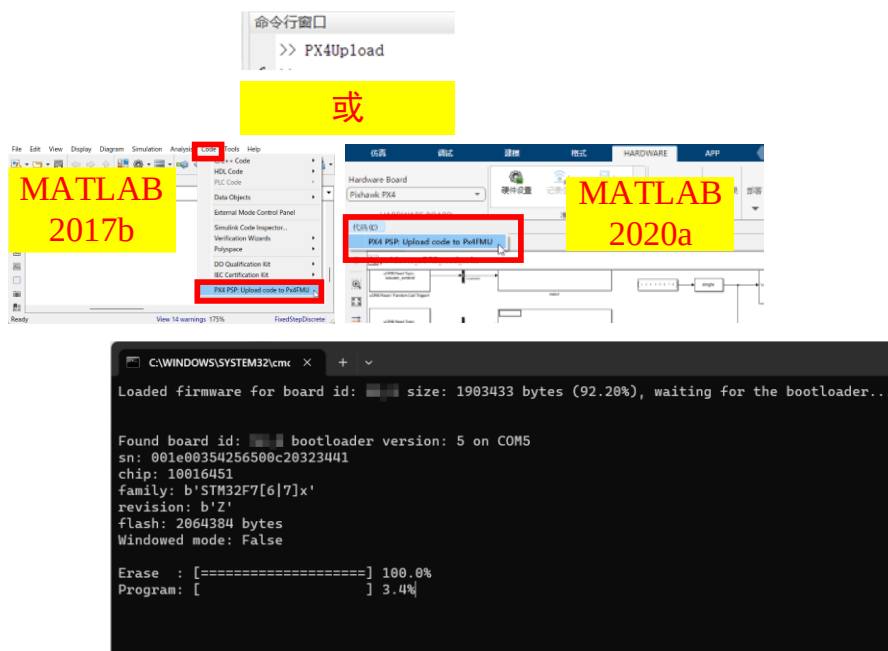
if isempty(flag)
    flag=0;
end

if isempty(yLast)
    yLast=single([0;0;0;0]);
end

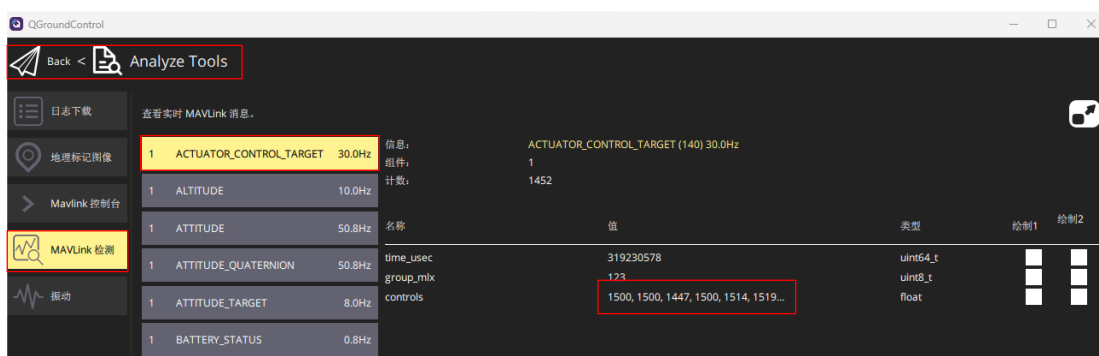
if en~=enLast % ²|,Ë±ä»~%Î»á'¥·¢
    tLast=t;
    enLast=en;
    if en
        flag=1; % ¿ªÊ¼øËË¿ØÖÆÑ~»·
    else
        flag=0; % ·μ»ØμË'ý×'Ï¬
        yLast=single([0;0;0;0]); % ¿ØÖÆÁ¿ 'éÁã
    end
end
```

根据 **flag** 的不同取值，设置不同的控制向量 **yLast**。这部分逻辑似乎是模拟飞行器的不同控制状态，比如起飞、悬停、右飞、前飞等

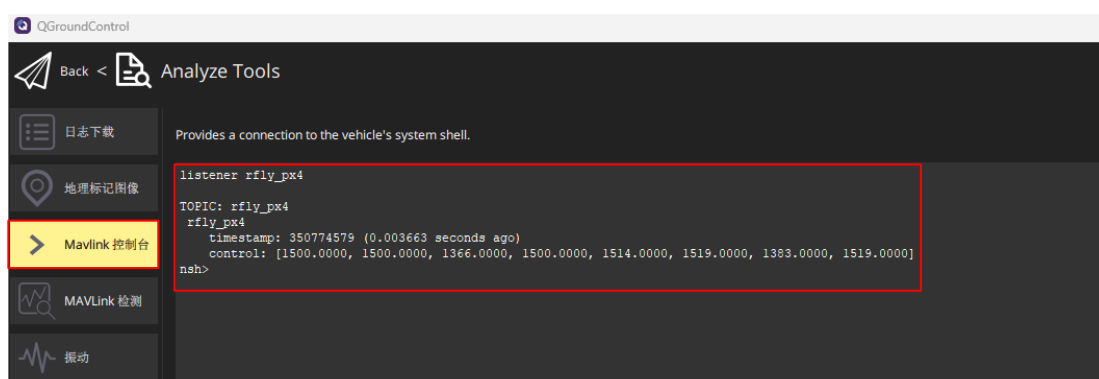
```
if abs(flag-1)<0.01 && (t-tLast)>1
    flag=2;
```

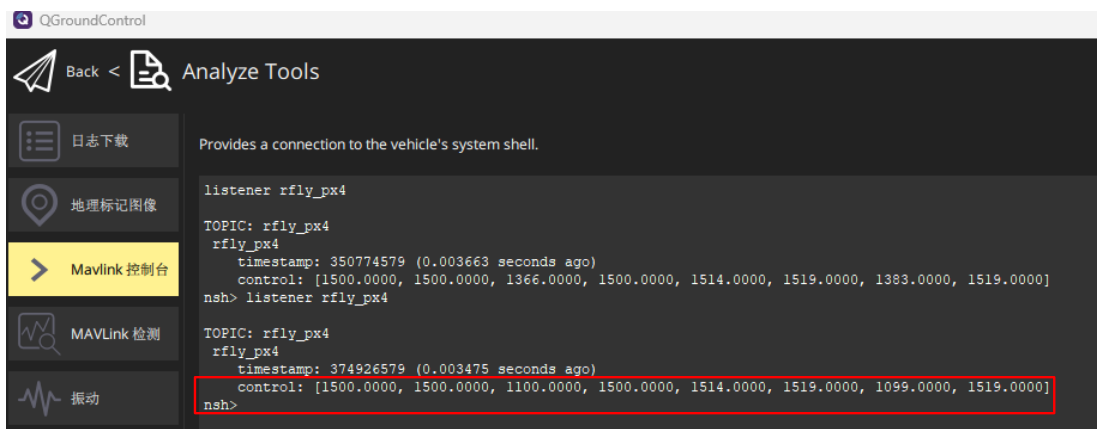
双击打开桌面“*桌面\RflyTools\QGroundControl”软件，等待飞控与 QGC 地面站连接，点击 QGC 图标—>Analyze Tools—>MAVLink 检测，观察 ACTUATOR_CONTROL_TARGET 消息数据的前八位如下图所示。



可以在 QGC 的 Mavlink 控制台输入 listener rfly_px4 来观察数据，如下图所示：



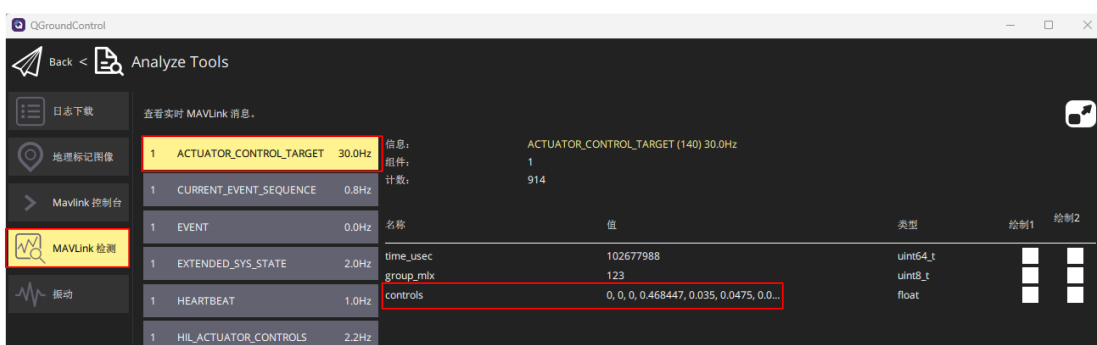
当油门杆置于最低点，其他摇杆置于中位时。InputRcCali 对应的前四通道为 1100 或 1500 的标准值。input_rc 对应的值存在偏差，例如：1094，1498 等。如下图所示：



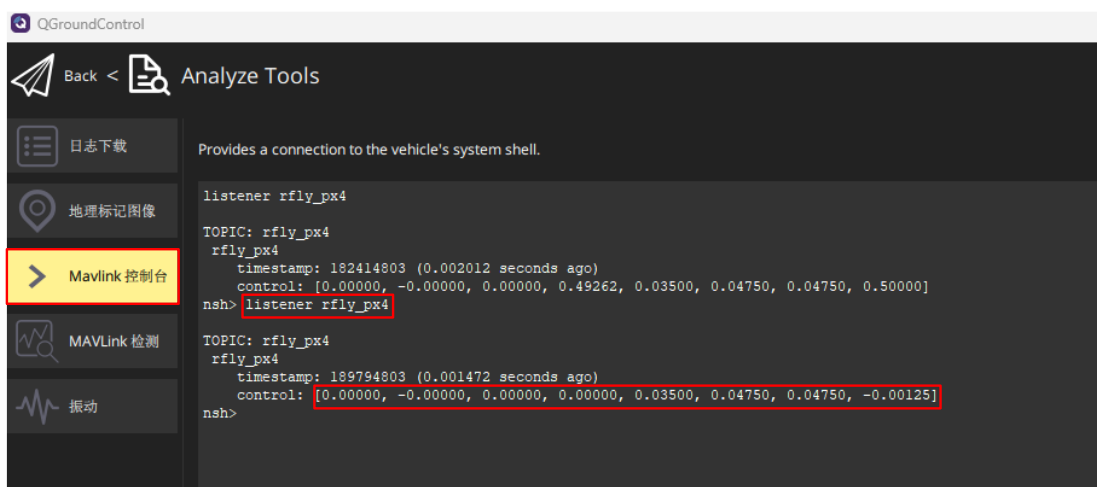
5.5. 获取校准并归一化后遥控器输入值实验

同实验一 Step1-3 一样。打开 MATLAB 软件，在 MATLAB 中打开 [Exp2_InputRcNorm.slx](#) 文件，并点击编译命令。编译完成后，上传固件至飞控。

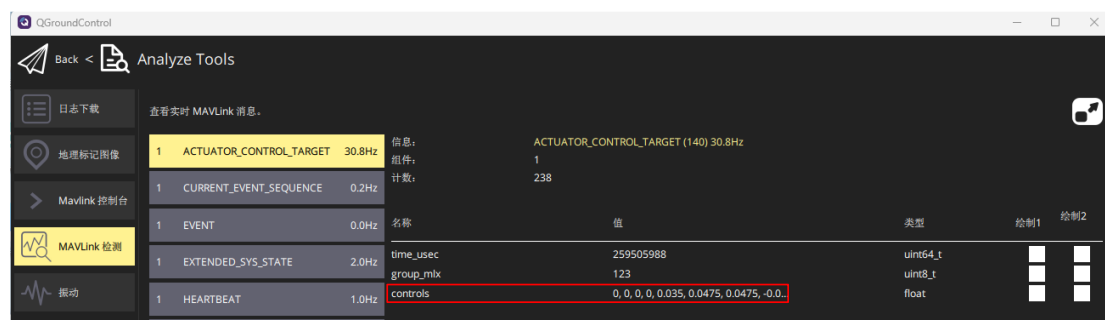
双击打开桌面 “*\\桌面\RflyTools\QGroundControl” 软件，等待飞控与 QGC 地面站连接，点击 QGC 图标—>Analyze Tools—>MAVLink 检测，观察 ACTUATOR_CONTROL_TARGET T 消息数据的前八位如下图所示。



可以在 QGC 的 Mavlink 控制台中输入 listener rfly_px4 来观察数据，如下图所示：



当油门杆置于最低点，其他摇杆置于中位时。InputRcCali 对应的前四通道为 0 0 0 0 的标准值。input_rc 对应的值存在偏差，例如：0.05,0.01,0.03,-0.02 等。



5.6. RC 遥控器手动控制信号实验

同实验一 Step1-3 一样。打开 MATLAB 软件，在 MATLAB 中打开 [Exp3_RCOVerCtrlAP.Lslx](#) 文件，并点击编译命令。编译完成后，上传固件至飞控。

将遥控器 CH5 置于最低档，并给飞控上电，双击打开桌面 “*\桌面\RflyTools\HITLRu n” 软件，启动硬件在环仿真。在出现的终端界面输入本电脑所识别到的飞控 COM 端口号：3。

```

C:\Windows\System32\cmd.exe

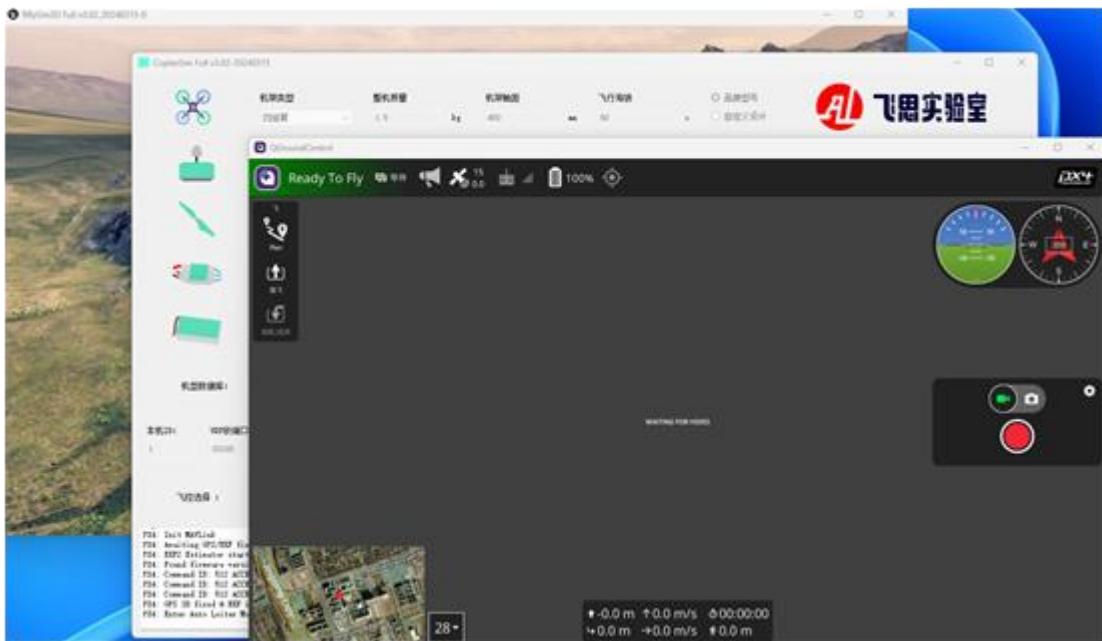
-----
Please input the Pixhawk COM port list for HITL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks

Available COM ports on this computer are:
COM3: USB ????

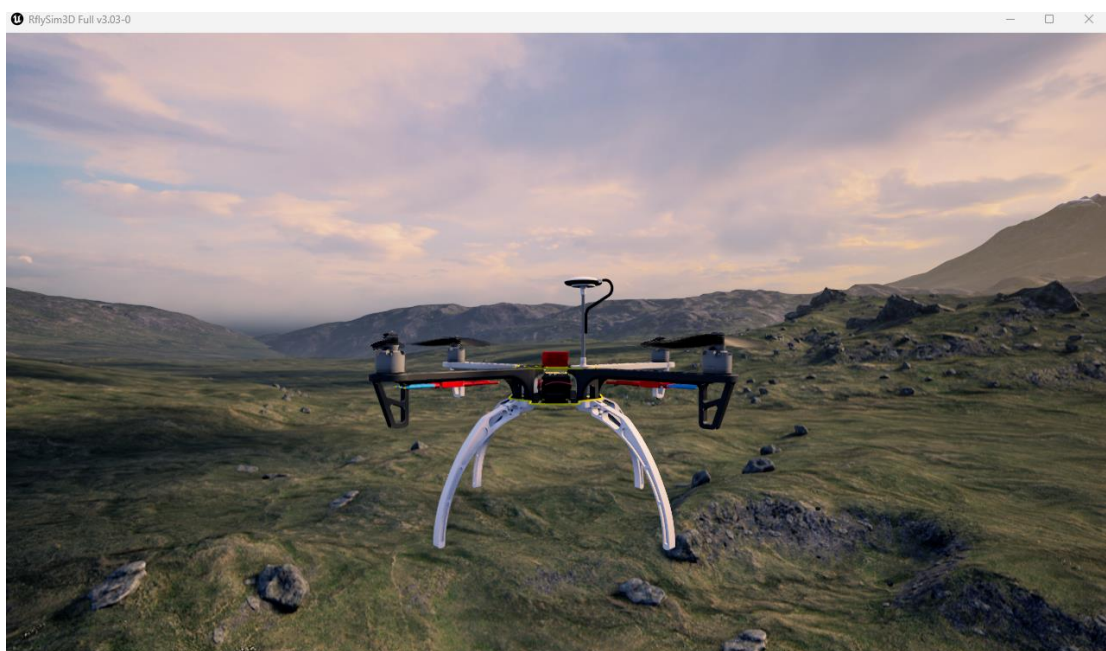
Recommended COM list input is: 3

-----
My COM list for HITL simulation is:3
  
```

RflySim 平台将启动 QGC、CopterSim、RflySim3D 软件，等待 CopterSim 左下方的消息栏中显示：PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished，代表 PX4 软件初始化完成。



用遥控器进行测试，首先使用油门杆进行内八解锁，无人机解锁，桨叶开始转到，向上推动油门，无人机开始起飞，如下图所示：

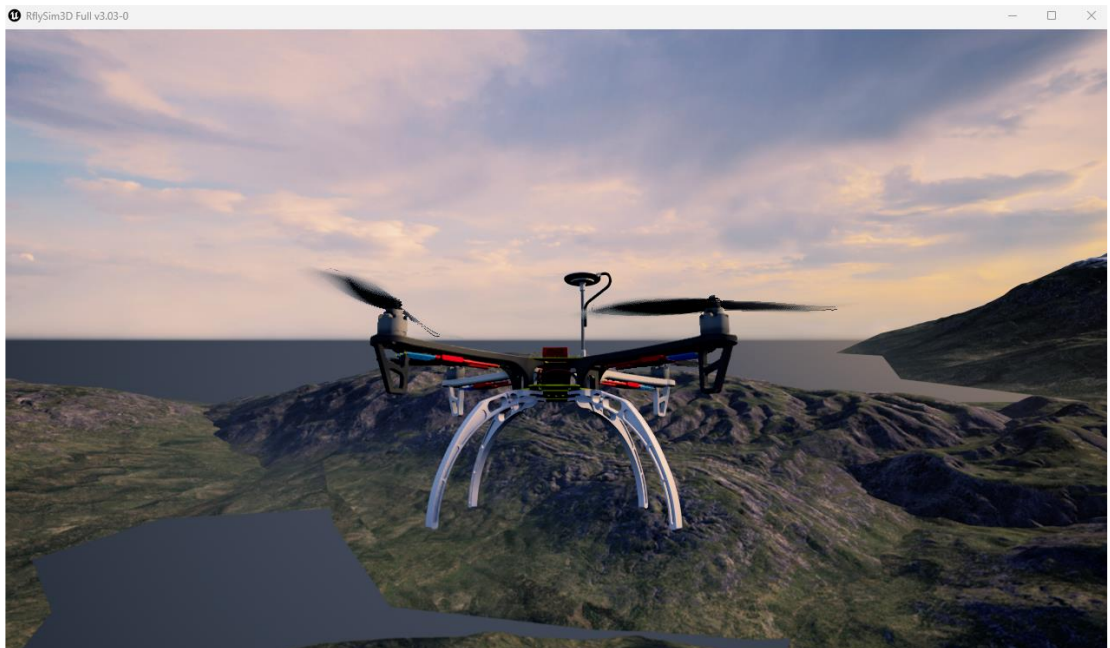


将 CH5 置于最高档，此时飞机开始自动按 CtrlScript 进行飞行运动。

- (1) isEnCtrl 从 false 到 true 解锁后，会自动进入定高模式，并解锁飞控。
- (2) 在 1s 后，以[0 0 0 1]满油门竖直起飞。
- (3) 在 5s 后，控制信号切换为[0 0 0 0]，飞机开始保持悬停。注意：这里油门是[-1,1]，因此中间油门是 0，对应油门杆居中，在定高模式时，会保持定高悬停。
- (4) 在 10s 后，会切换到[0.3 0 0 0]，飞机向右飞。



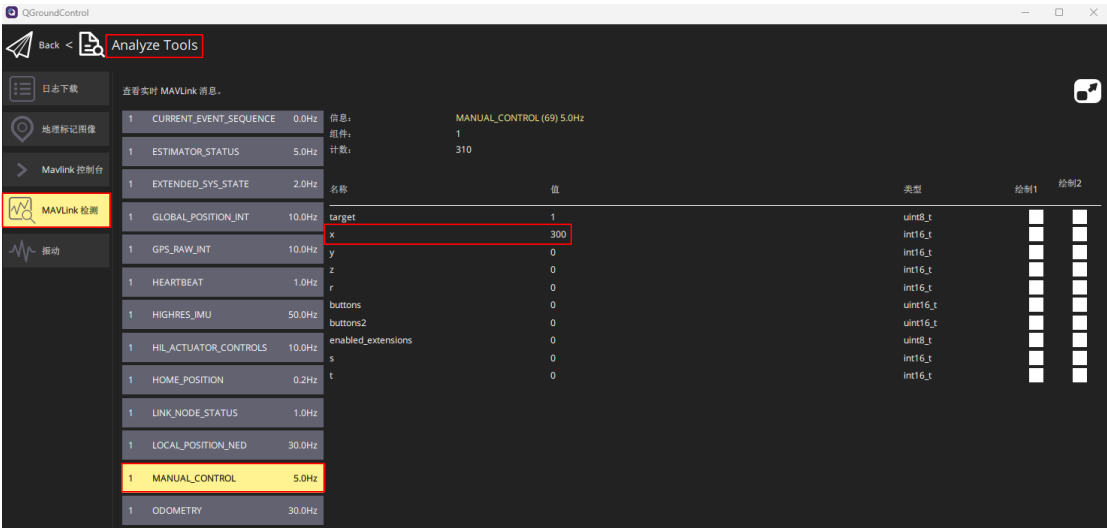
(5) 在 15s 后，会切换到[0 0.3 0 0]，飞机向前飞。



此时，使用遥控器操作是没有信号的，这是因为 RCOVerCtrlAPI 自带屏蔽 PX4 自身 manual_control_setpoint 发送功能，避免两个遥控器数据发生冲突。

点击 QGC 图标—>Analyze Tools—>MAVLink 检测—>MANUAL_CONTROL, 观察 MANUAL_CONTROL 的消息，它的值与给我们给的值是 1000 倍的关系。

例如，在 15s 后，会切换到[0 0.3 0 0]，飞机向前飞。而 QGC 上数据显示如下图所示：



CH5 拨到最低档，飞机会自动悬停，同时遥控器获取到无人机控制权。

6. 参考资料

[1] 无。

7. 常见问题

Q1: ***

A1: ***