

实验 X MATLAB 发消息控制转台四旋翼

1. 实验目的

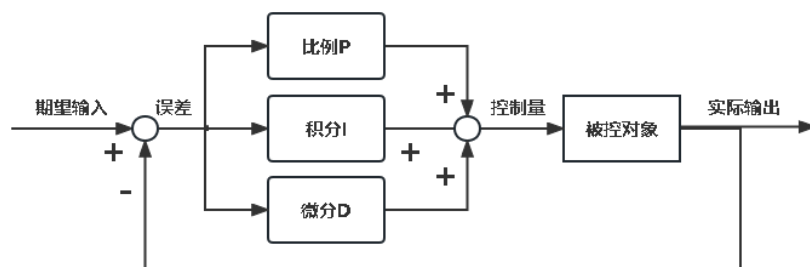
本实验通过在 MATLAB/Simulink 中搭建多旋翼飞行控制器，并通过 Simulink 发送控制指令，控制转台上的四旋翼无人机姿态。熟练掌握 MAVLINK 通信运用，熟练掌握四旋翼无人机姿态控制与参数整定。

2. 实验原理

本实验的关键内容分为两个部分，一部分是 MAVLINK 通信，一部分是控制器设计。本实验中 MAVLINK 协议用于飞控与上位机之间进行通信，一方面 MATLAB 发送的控制指令通过 MAVLINK 协议传递给飞控。另一方面飞控将关键状态通过 MAVLINK 协议传递给 MATLAB 进行显示，便于调试和分析。控制器则采用经典的 PID 控制器，为了让控制器更加安全，有必要对各个通道的计算结果进行限幅。

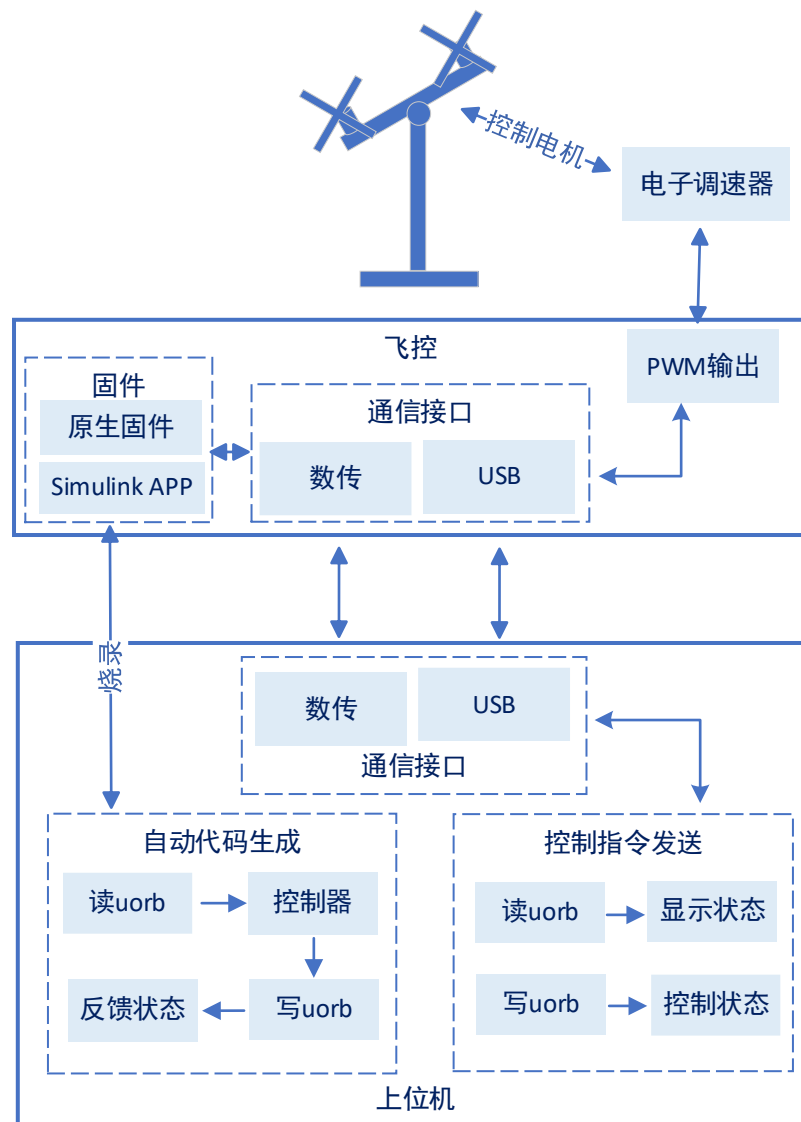
MAVLink (Micro Air Vehicle Link) 是一种用于小型无人载具的通信协议，于 2009 年首次发布。该协议广泛应用于地面站 (Ground Control Station, GCS) 与无人载具 (Unmanned vehicles) 之间的通信，同时也应用在载具上机载计算机与 Pixhawk 之间的内部通信中，协议以消息库的形式定义了参数传输的规则。MAVLink 协议支持无人固定翼飞行器、无人旋翼飞行器、无人车辆等多种载具。

控制器则采用应用最为广泛的 PID 控制器。PID 控制算法是由比例 P (Proportion)、积分 I (Integration)、微分 D (Differentiation) 组成的一种控制算法。PID 控制就是将变量偏差的比例、积分和微分之和作为控制输入，计算输出值的一种控制方法。传统 PID 控制系统的结构框图如图所示。



图中的比例“P”参数起到矫正偏差的作用，P 参数越大对误差的灵敏度越高，误差的矫正速度越快，从而系统的动作也越快，但是过大的 P 参数会使系统出现过大的超调。积分“I”参数可以起到提高精度的作用，I 越大跟踪误差越小，系统跟踪越精确。微分“D”参数可以起到抑制超调的作用，可以反应误差信号的变化率，能在跟踪快要达到期望目标时提前减速，一般 D 参数不会太大，过大的 D 参数会引起系统震荡。

PID 控制算法被广泛应用，因为其结构简单、稳定性好、可靠性高且调节方便而成为工业控制的主要技术之一。其最大的优势在于不需要对系统建模或者系统辨识，只需设计完成后在实验中反复调节即可。对于一般的无人系统其建模复杂，所以 PID 控制算法使用频率很高。



本实验的总体框架如上图所示，在上位机上使用 PSP 工具箱设计 MATLAB 控制器。MATLAB 控制器可以直接编译成可在飞控上使用的 Simulink APP。将 Simulink APP 烧录到飞控当中，控制器即可计算控制律并对转台上的无人机进行控制。在上位机上，可以通过 Simulink 读取飞控的状态或者发送控制指令给飞控。上位机与飞控的物理连接可以通过数传或者 USB，数传连接时通信速率较慢部分消息不可用，而 USB 连接时通信速率高，可以显示所有信息。

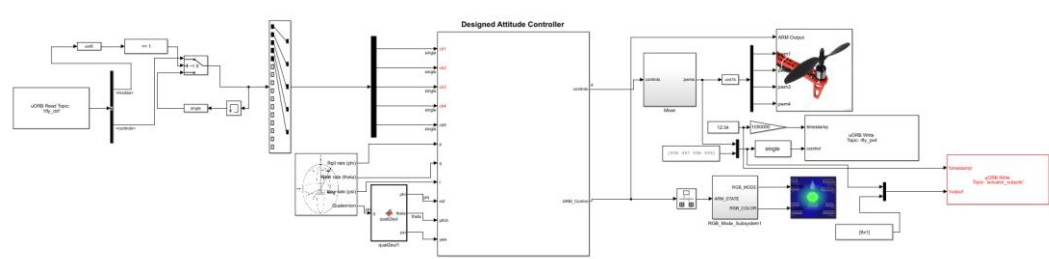
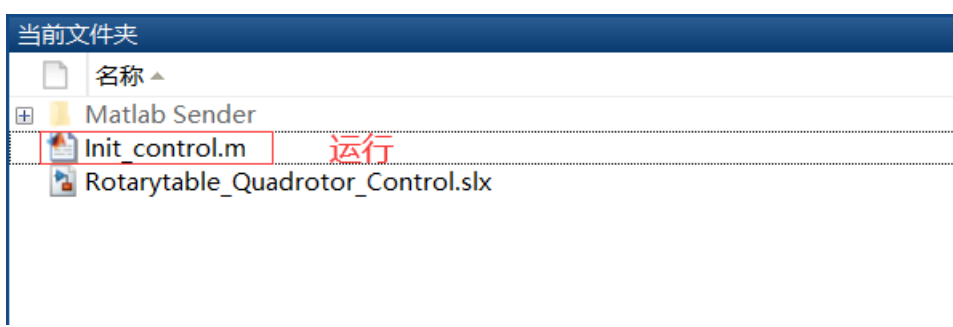
3. 实验器材

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
2	RflySim 平台最新版	卓翼 X200 飞机	1

4. 实验步骤

Setp1:

在桌面双击打开 MATLAB 软件，在 MATLAB 软件中打开文件：
"*\\demo\\Init_control.m"。Init_control.m 运行后会自动打开 Rotarytable_Quadrotor_Control.slx。



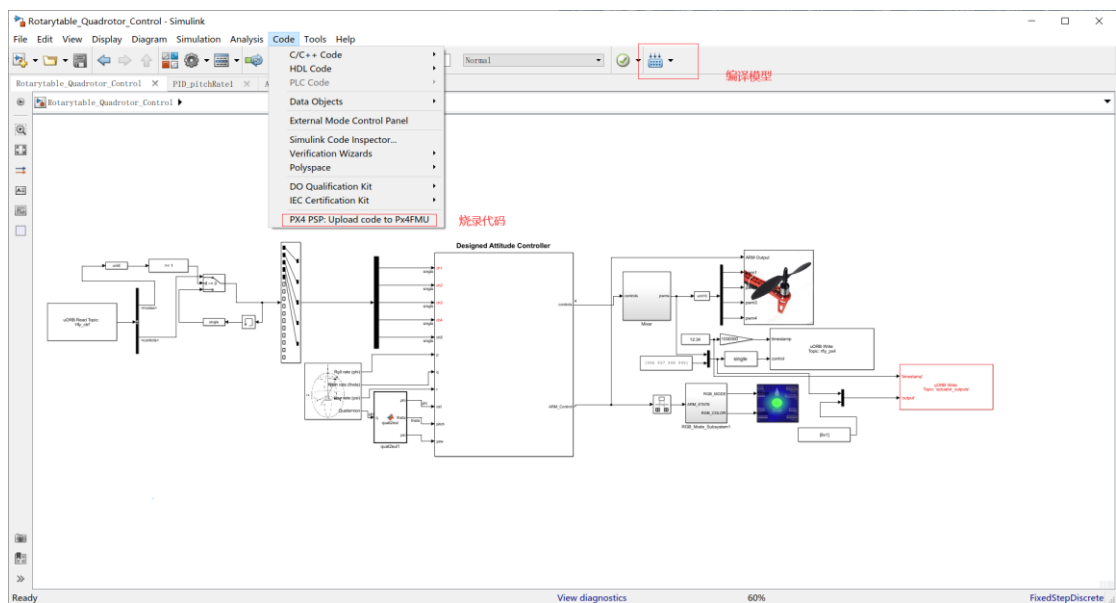
Setp2:

在打开 Init_control.m 文件，查看参数设置。如下参数适用于立式转台的 X200 飞机。
可对 P 参数和 I 参数进行微调，优化控制效果。

```
Init_control.m  x  +
1
2 % 俯仰
3 Kp_PITCH_ANGLE = 5;
4 Kp_PITCH_AngleRate = 0.1;
5 Ki_PITCH_AngleRate = 0.05;
6 Kd_PITCH_AngleRate = 0.0001;
7
8 % 滚转
9 Kp_ROLL_ANGLE = 5;
10 Kp_ROLL_AngleRate = 0.1;
11 Ki_ROLL_AngleRate = 0.05;
12 Kd_ROLL_AngleRate = 0.0001;
13
14 % 偏航
15 Kp_YAW_ANGLE = 2;
16 Kp_YAW_AngleRate = 0.1;
17 Ki_YAW_AngleRate = 0.01;
18 Kd_YAW_AngleRate = 0.00;
19
20 % 积分饱和
21 Saturation_I_RP_Max = 0.2;
22 Saturation_I_RP_Min = -0.2;
23 Saturation_I_Y_Max = 0.1;
24 Saturation_I_Y_Min = -0.1;
25
26 % 最大角速率限制, rad/s
27 MAX_CONTROL_ANGLE_RATE_PITCH = 5;
28 MAX_CONTROL_ANGLE_RATE_ROLL = 5;
29 MAX_CONTROL_ANGLE_RATE_YAW = 3;
30
31 % 启动模型
32 Rotarytable_Quadrotor_Control
33
```

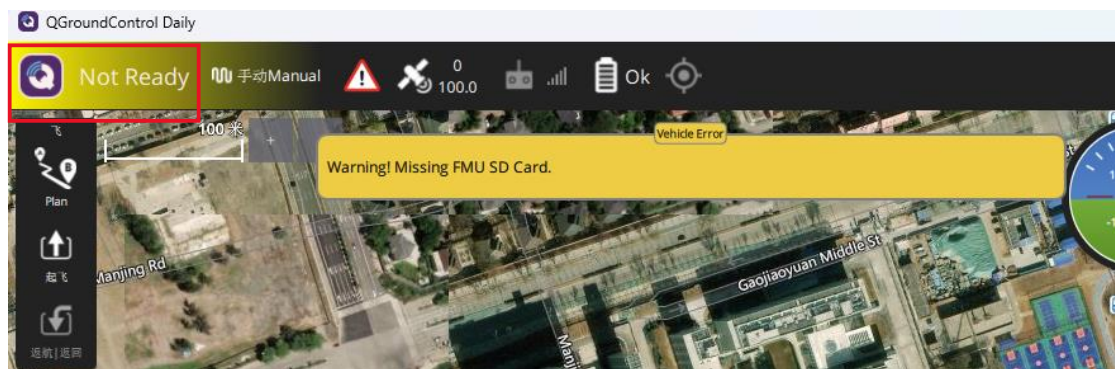
Setp3:

编译模型，连接卓翼 X200 飞机，烧录代码。

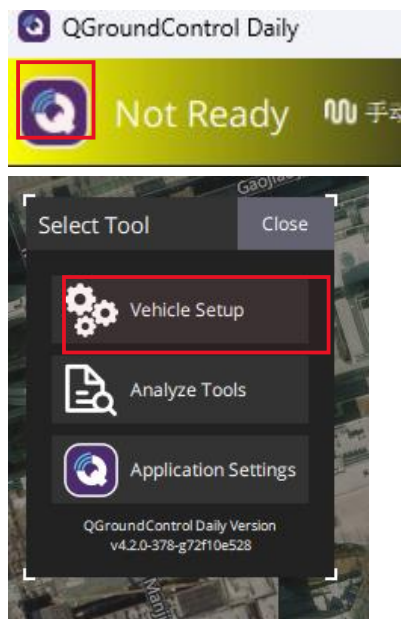


Step4:

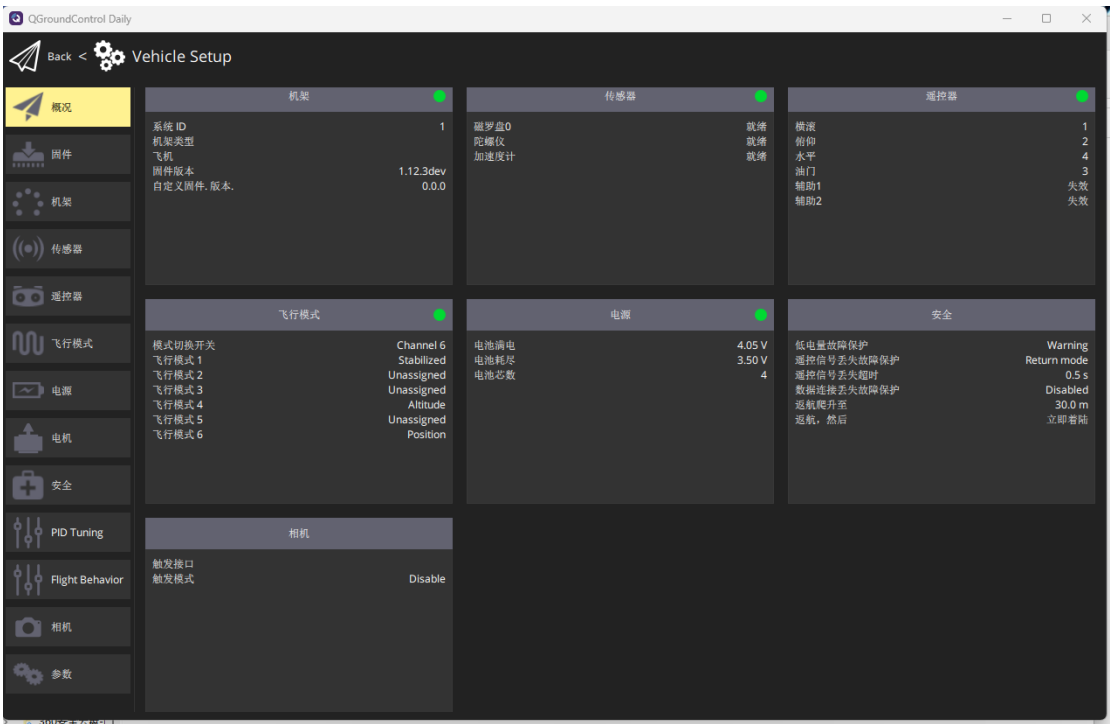
飞机校准，将代码烧录进去之后，打开 QGC，显示 Not Ready。



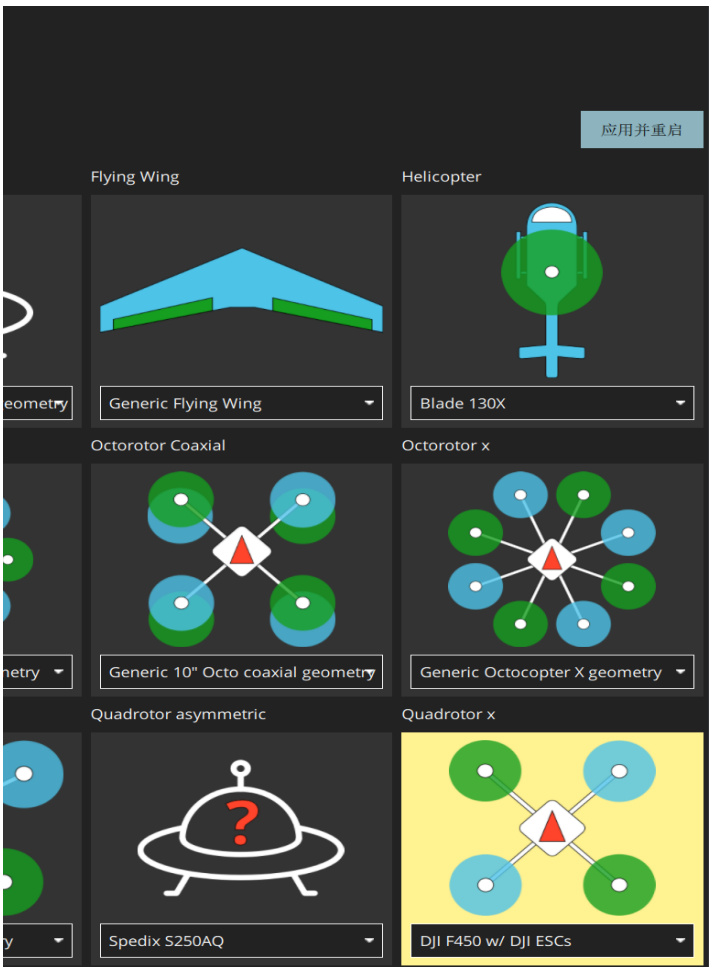
点击 QGC 图标，打开选择工具，打开设置。



完成传感器校准等工作。



机架类型选择，在机架选择之后，需要点击应用并重启。

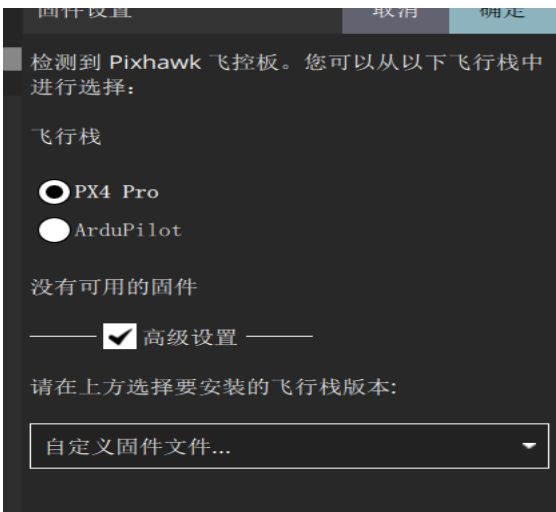
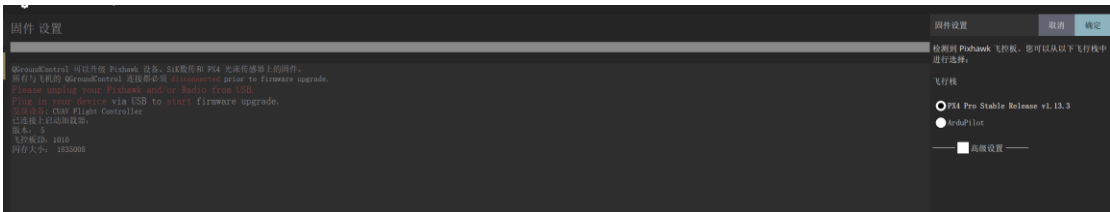


在进行机架选择之后，需要分别对传感器，遥控器，飞行模式以及电源进行校验。



在对电源进行校验时，需要先使用官方固件。

点击固件，数据线重新插拔，显示固件设置，选择高级设置，选择自定义固件文件，安装官方固件。



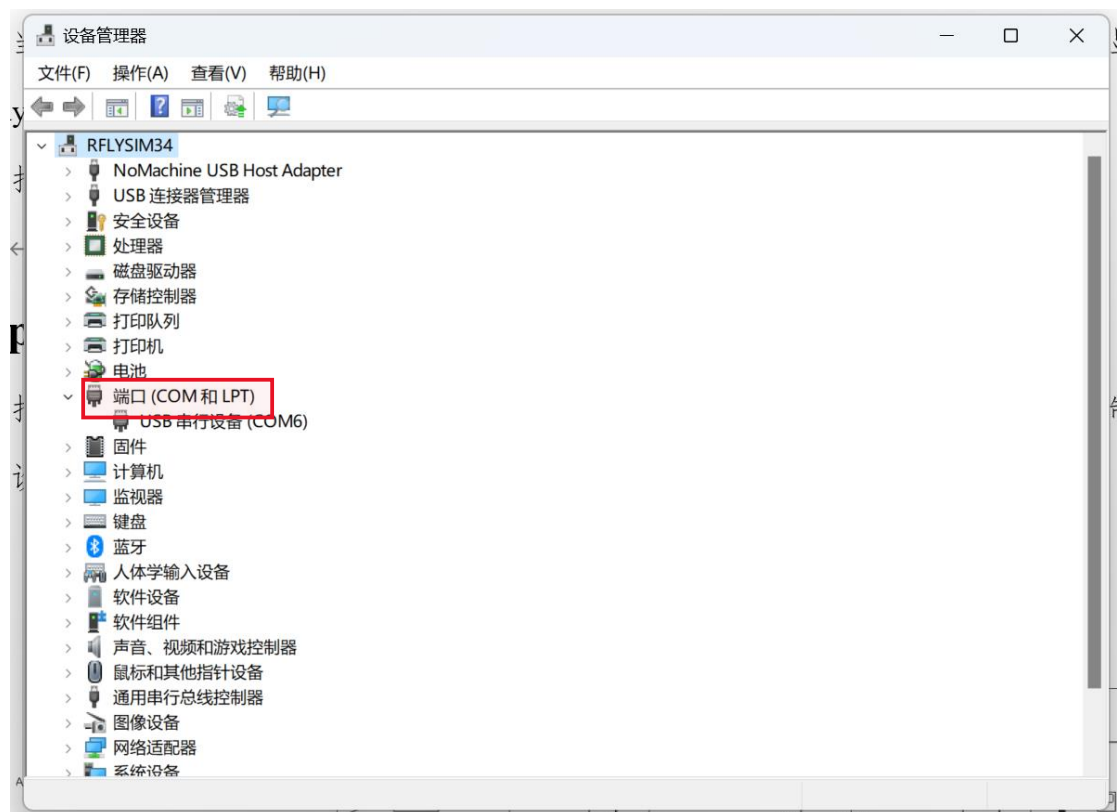
安装官方固件后，当显示升级完成后，需要重新对传感器等进行校验，这时可以对电源进行校验。再进行校验之后，便可以重新烧录自己的固件。在烧录自己的固件时，需要先关闭 QGC。

烧录自己的固件之后，无人机的校验结果应该是直接显示完成的。

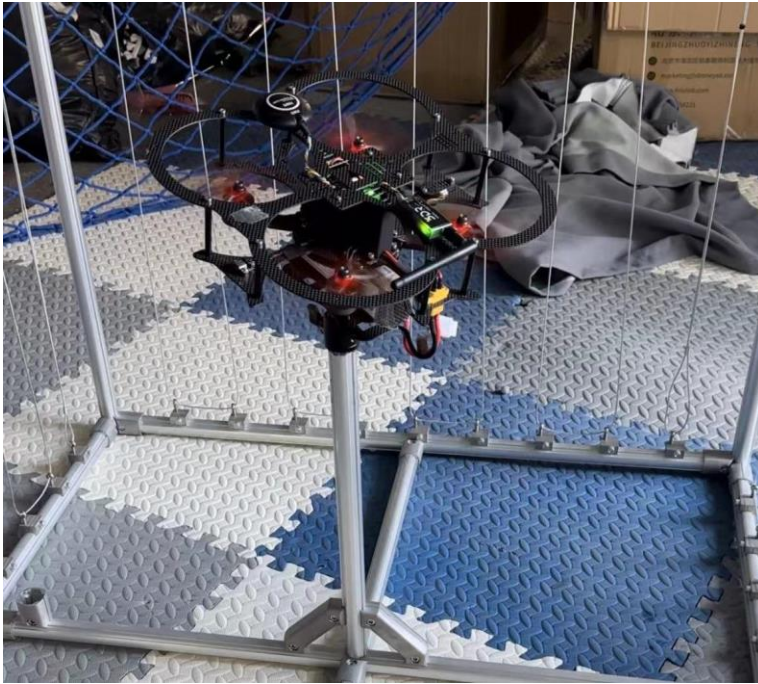
Setp5: 飞机固定

飞机固定在台架上，并连接数传。当连接数传之后，我们可以在 QGC 上看到数传与无人机是否建立连接，当 QGC 显示 Ready to fly,需要关闭 QGC，否则会抢占端口，使后续工作无法完成。

打开设备管理器，找到端口。

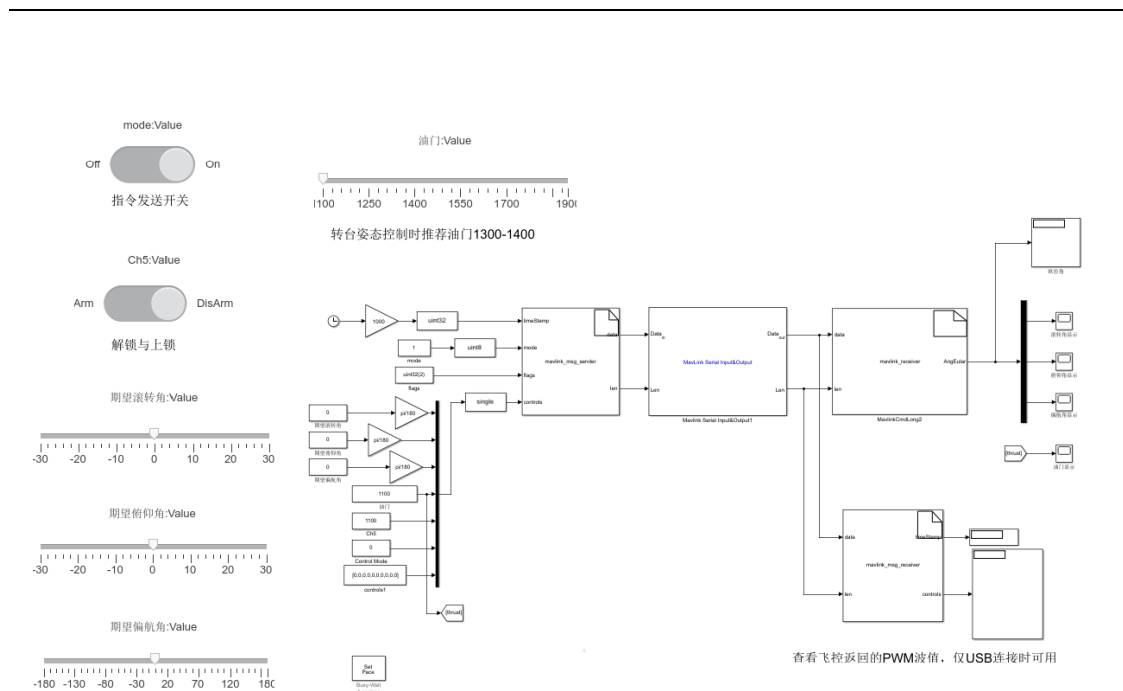


之后，需要在 Simulink 中相应的模块改为对应的端口。



Setp6: 打开 Mav_Control_Quadrotor.slx

打开 Mav_Control_Quadrotor.slx 发送消息控制无人机，整体形式如下图所示。控制指令的设置集中在左侧和上部，返回结果的显示集中在右侧。



下面详细介绍每一个部分的功能。如下图所示，是发送端的两个关键控制开关，排在上面的是“指令发送开关”，排在下面的是“解锁与上锁”开关。

当“指令发送开关”设置为 Off 时，Mav_Control_Quadrotor.slx 上的任何修改都不起作用，即不会发送任何有效指令。当“指令发送开关”设置为 On 时，“解锁与上锁”开关将变得有效，同时滚转、俯仰、偏航及油门的设置也将生效。

“解锁与上锁”开关用于控制电机解锁。在首次解锁时，需要三步才能将电机进行解锁：第一步将“解锁与上锁”开关打到 Arm，等待 2s，电机将会发出一声滴答声；第二步将“解锁与上锁”开关打到 DisArm，等待 2s，电机将会发出一声滴答声；第三步，将“解锁与上锁”开关打到 Arm，将完成电机的解锁。

警告 ⚠：电机解锁前，应仔细检查油门、期望滚转角、期望俯仰角、期望偏航角的设置，否则可能应转速过大损坏飞机或者造成人员受伤。

建议：首次实验时，油门值设定为最低，期望滚转角、期望俯仰角、期望偏航角设置为 0。待熟悉了平台的基本使用后，再调整油门值、期望滚转角、期望俯仰角、期望偏航角。

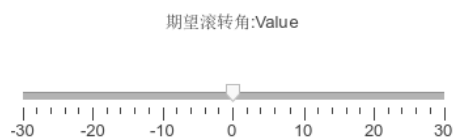


油门值设置。如下图滑杆，可以设置油门值。油门值可以理解为 PWM 脉宽，通常无刷电机支持的脉宽是 1000-2000，但为了安全起见仅支持设置 1100-1900。当滑杆打到最左侧时，将设置为最低值 1100，当打到最右侧时将设置为最大值 1900。在做转台上 V200 飞机姿态控制时，建议将油门设置为 1300-1400。



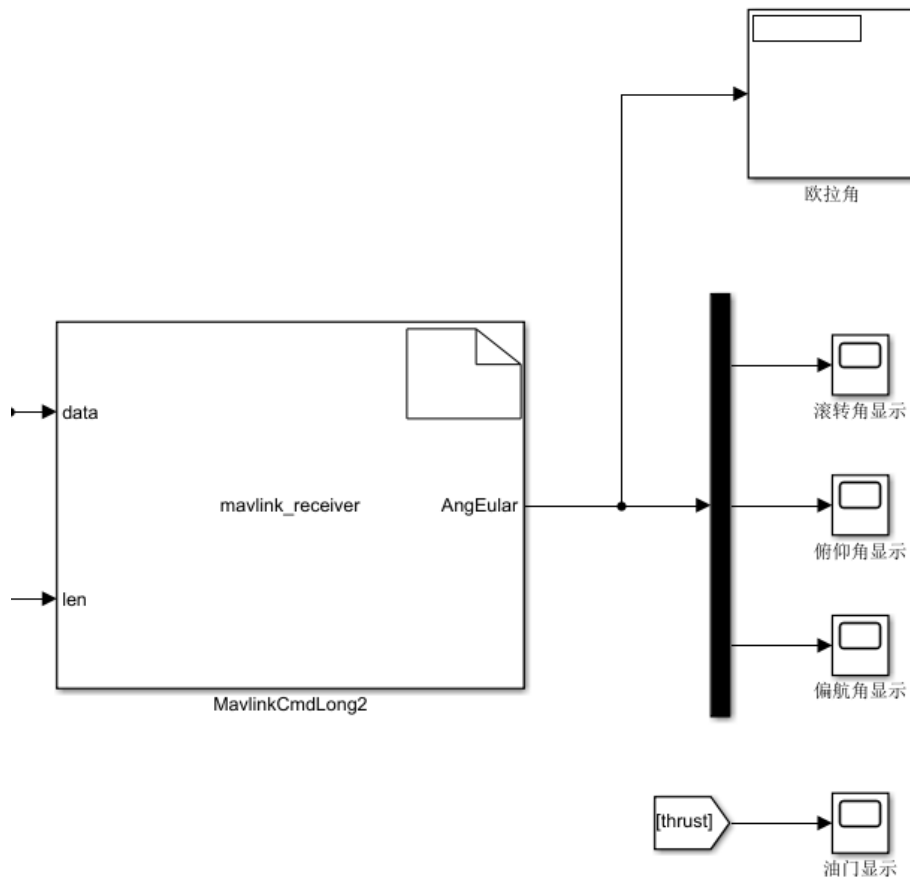
转台姿态控制时推荐油门1300-1400

期望姿态设置。如下可设置期望滚转角、期望俯仰角、期望偏航角。期望滚转角、期望俯仰角可设置 -30° ~ 30° ，在开始调试时建议最大倾角不超过 20° 。偏航角支持 -180° ~ 180° ，偏航角可随意设置，对系统稳定性影响较小。

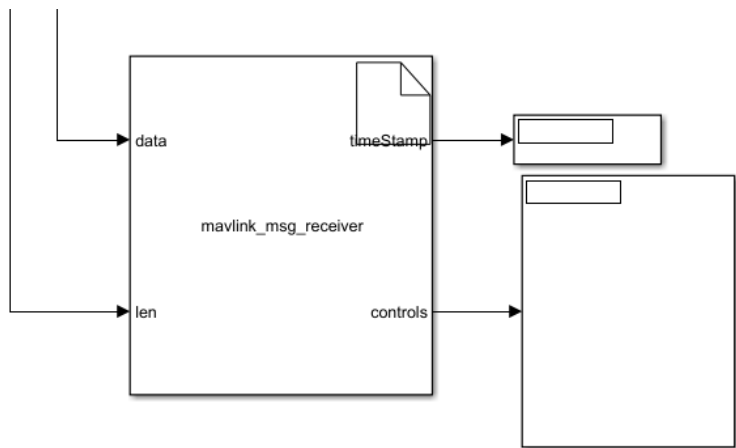


在 Mav_Control_Quadrotor.slx 的右侧，可以显示实时欧拉角的数值，也可以通过示波

器查看欧拉角的曲线。在最下面的一个示波器，可以显示油门值。



在设计控制器时，往往需要验证控制逻辑是否符合预期，这时需要查看控制器的原始输出。如下图的模块可以显示控制器的原始输出，即每一个电机对应的 PWM 波的脉宽。该功能仅使用 **USB** 连接飞控时可用，因为使用数传连接时速率太低，相应的消息不会发送。



查看飞控返回的PWM波值，仅**USB**连接时可用

5. 实验结果分析

实验结果表明所设计的控制器能够支持 MATLAB 发送指令控制姿态。

6. 实验总结

(1) MAVLink 消息可用于上位机控制无人机，MATLAB 有相应的模块支持从 MAVLink 收发消息。

(2) PID 控制器需要限幅，这样能提升控制器的鲁棒性。

7. 参考文献

- [1]. 全权,杜光勋,赵峙尧,戴训华,任锦瑞,邓恒译.多旋翼飞行器设计与控制[M],电子工业出版社, 2018.
- [2]. 全权,戴训华,王帅.多旋翼飞行器设计与控制实践[M],电子工业出版社, 2020.
- [3]. MAVLink 官方使用文档网站: <https://mavlink.io/en/messages/common.html>