

四旋翼无人机实飞输出信号验证

1. 实验目的

针对在进行实飞时，出现的四旋翼无人机在解锁之后，电机不转动的问题，本实验旨在帮助用户快速定位该问题的具体原因，从而排除问题。

2. 实验要求

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

3. 实验地址

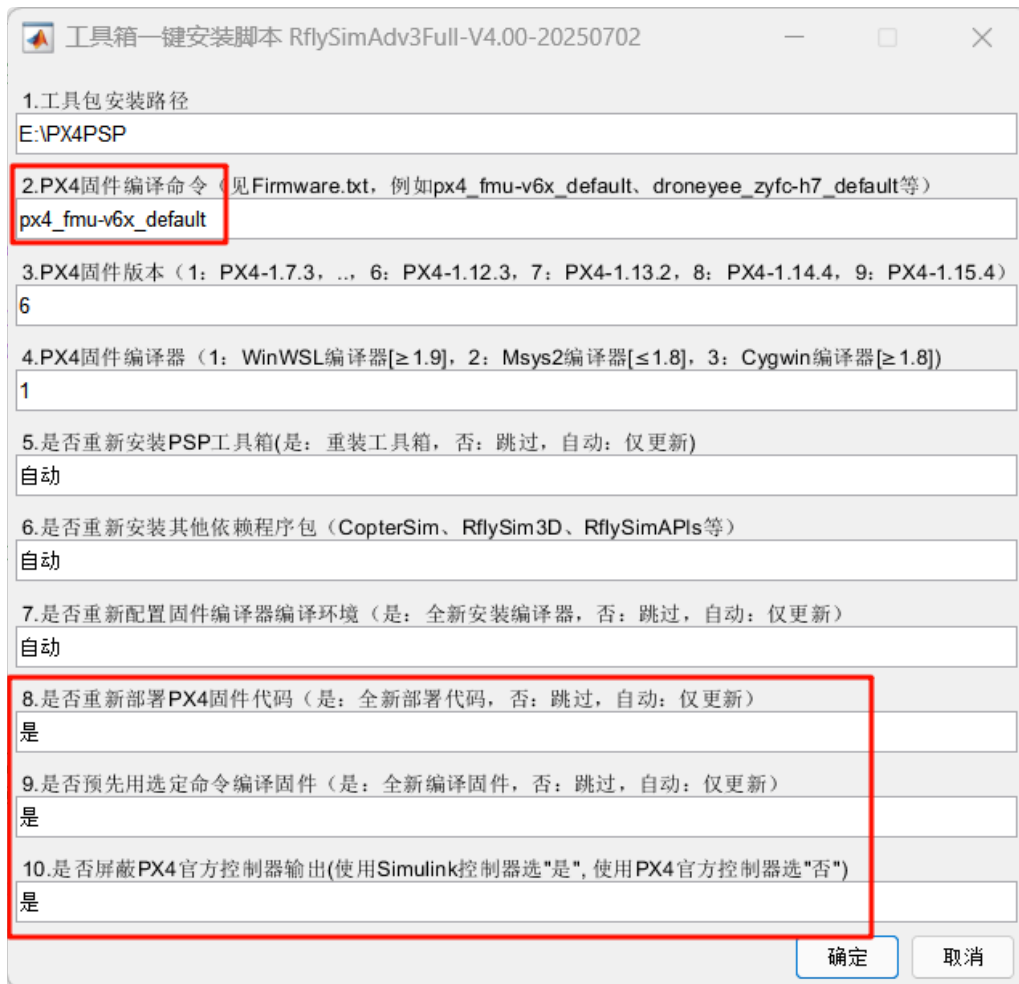
例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\20.FlyCtrlsSingalsTest](#)

- PwmAndAuxOutput.slx: Simulink模型文件，
- 6xParams.params: Pixhawk 6X mini飞控参数文件

4. 实验内容或步骤

4.1 步骤1：RflySim 安装环境确认

本实验是基于Pixhawk 6X飞机进行相关步骤，请确认RflySim安装时的编译命令为 `px4_fmU-v6x_default`。若无法确认环境环境可直接重新安装RflySim平台，按照下图进行切换。



4.2 步骤2：飞控固件还原

在MATLAB命令行窗口输入：`PX4official` ,等待编译完成。如下图所示。

```

命令行窗口
[1348/1355] Linking CXX static library src/systemcmds/ver/libsystemcmds__ver.a
[1349/1355] Building CXX object src/modules/mavlink/CMakeFiles/modules__mavlink.dir/modules__mavlink_unity.cpp.obj
[1350/1355] Building C object src/systemcmds/hardfault_log/CMakeFiles/systemcmds__hardfault_log.dir/hardfault_log.c.obj
[1351/1355] Linking CXX static library src/modules/mavlink/libmodules__mavlink.a
[1352/1355] Linking CXX static library src/systemcmds/hardfault_log/libsystemcmds__hardfault_log.a
[1353/1355] Linking CXX executable px4_fmuv6x_default.elf
Memory region      Used Size  Region Size  %age Used
    itcm:           0 GB      64 KB      0.00%
   flash:    1923889 B    1920 KB    97.85%
   dtcm1:           0 GB      64 KB      0.00%
   dtcm2:           0 GB      64 KB      0.00%
    sram:         67364 B    512 KB    12.85%
   sram1:           0 GB    128 KB      0.00%
   sram2:           0 GB    128 KB      0.00%
   sram3:           0 GB     32 KB      0.00%
   sram4:           2 KB     64 KB     3.12%
   bbram:           0 GB     4 KB      0.00%
[1354/1355] Generating ../../px4_fmuv6x.bin
[1355/1355] Creating /mnt/e/PX4PSP/Firmware/build/px4_fmuv6x_default/px4_fmuv6x_default.px4
固件编译完毕

```

编译成功后的固件在 `[RflySim安装路径]\Firmware\build\px4_fmuv6x_default\px4_fmuv6x_default.px4` , 将飞控通过USB线连接到电脑上, 然后在MATLAB 命令行输入 `PX4Upload` , 在弹出的对话框中, 等待上传完成。

```
C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd X + v
Loaded firmware for board id: 53,0 size: 1923889 bytes (97.85%), waiting for the bootloader...
Attempting reboot on COM4 with baudrate=57600...
If the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.
Attempting reboot on COM3 with baudrate=57600...
If the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.

Found board id: 53,0 bootloader version: 5 on COM4
sn: 002e00413033511639323834
chip: 20036450
family: b'STM32H7[4|5]x'
revision: b'V'
flash: 1966080 bytes
Windowed mode: False

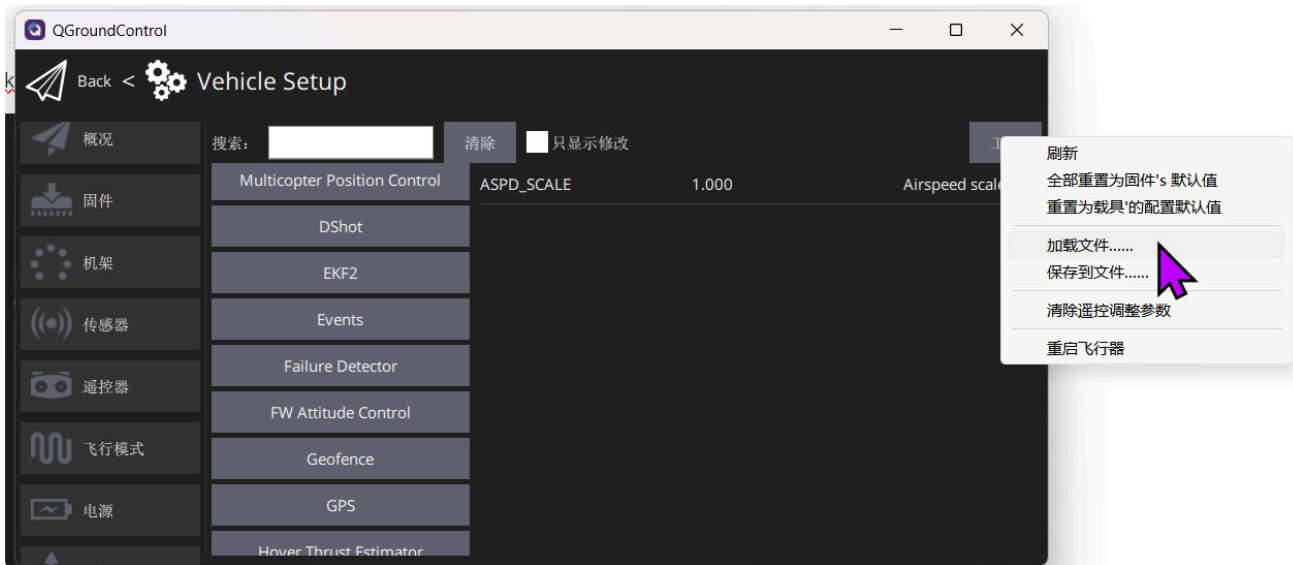
Erase : [=====] 100.0%
Program: [== ] 10.1%
```

4.3 步骤3：飞控状态设置 (QGC)

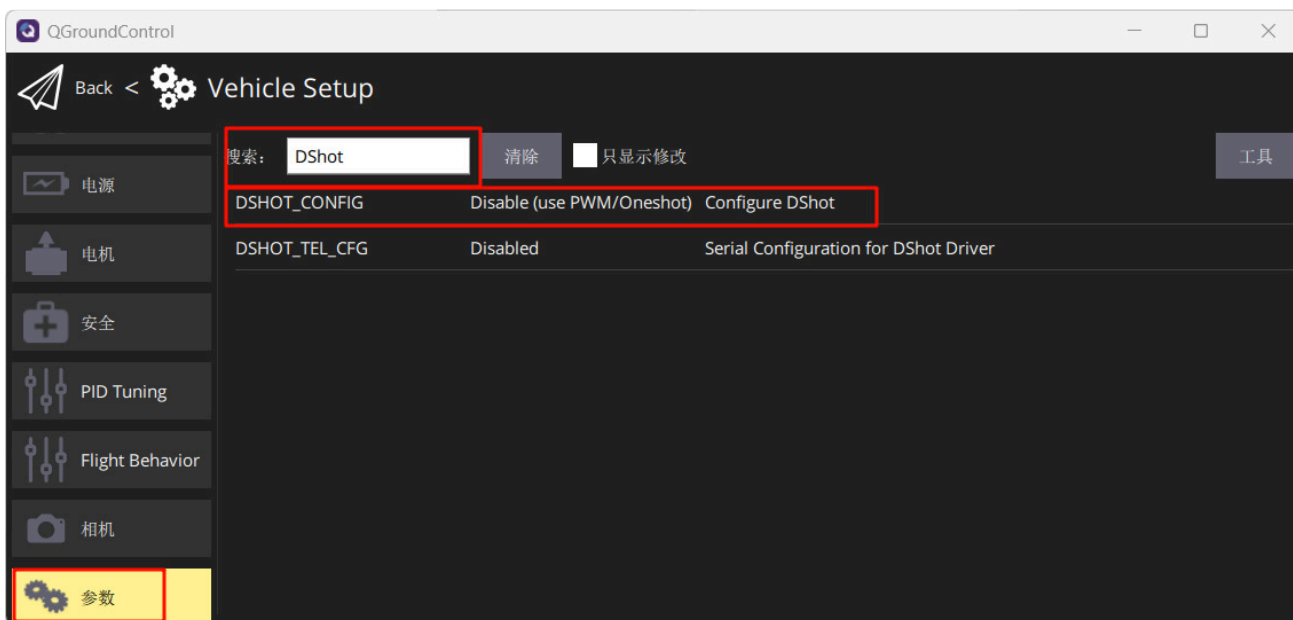
打开桌面的"*\Desktop\RflyTools\QGroundControl.Ink"软件，进入载具的机架设置，将其设置为四旋翼的任意实飞机架。



进入“参数”界面，将本实验文件夹中的6xParams.params的参数文件烧录飞控当中。若为其他飞控可根据地面站提示进行传感器等校核，确保页面中无报警标红。



在“参数”界面中进行搜索 `DShot`，确认飞控的电机控制输出协议为PWM。

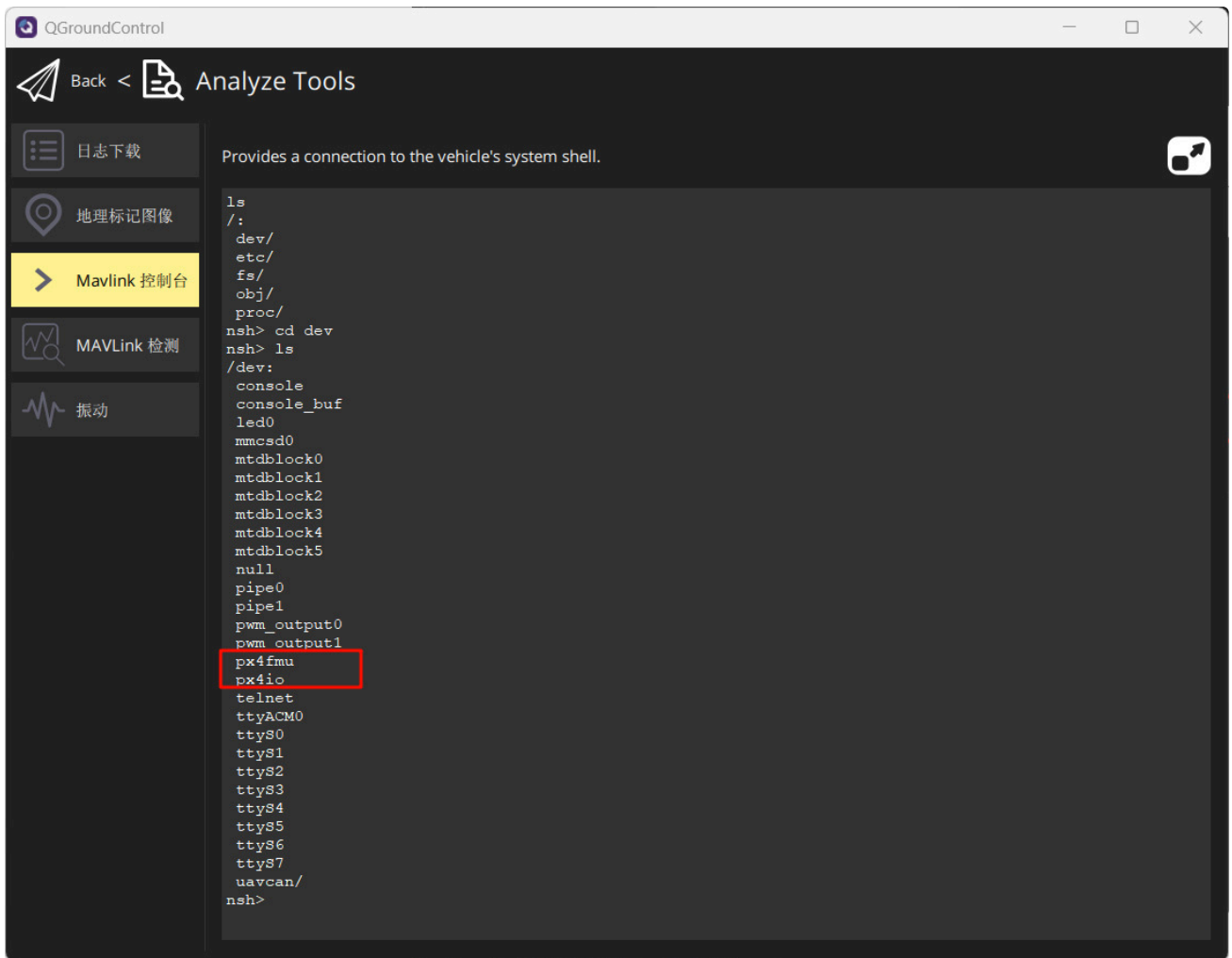


4.4 步骤4：飞控输出接口查看

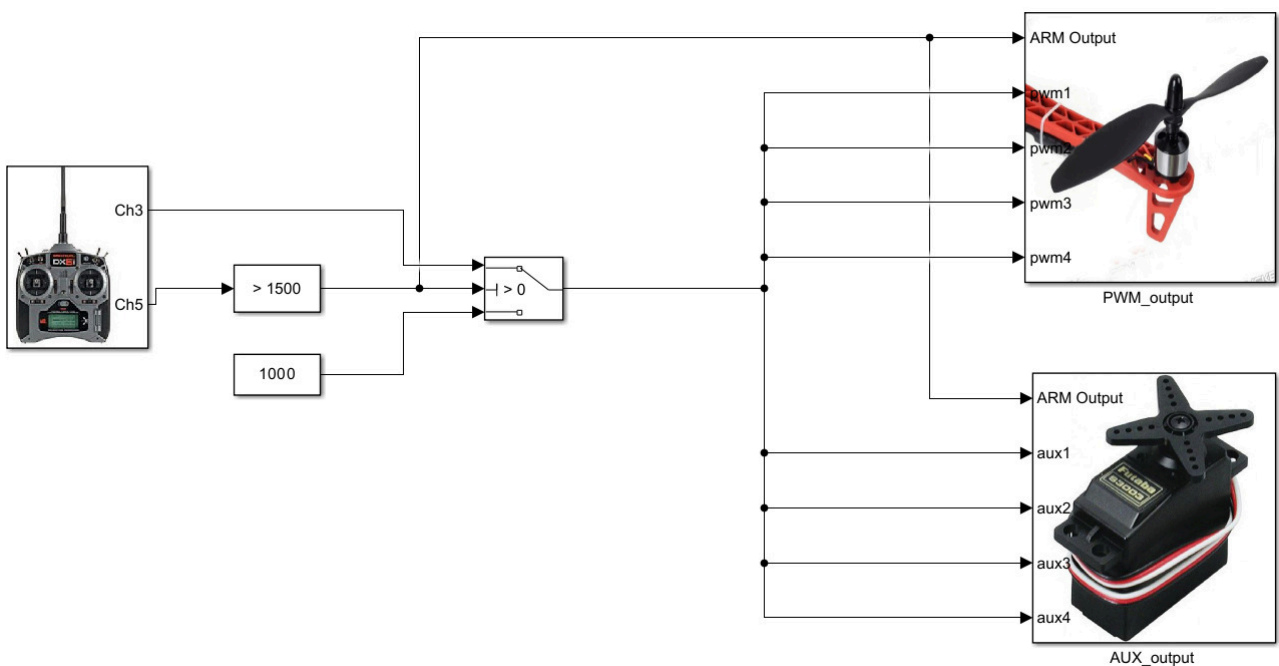
进入QGC地面站的Mavlink控制台，依次输入：

```
1 | ls
2 | cd dev
3 | ls
```

如下图所示，即可显示出该飞控的相关文件，可以看到Pixhawk 6X mini飞控中包含有 `px4fmu`、`px4io`。即表示支持I/O输出，也支持fmu直接输出。部分飞控中若仅支持fmu输出，则飞控中包含有 `px4fmu`。

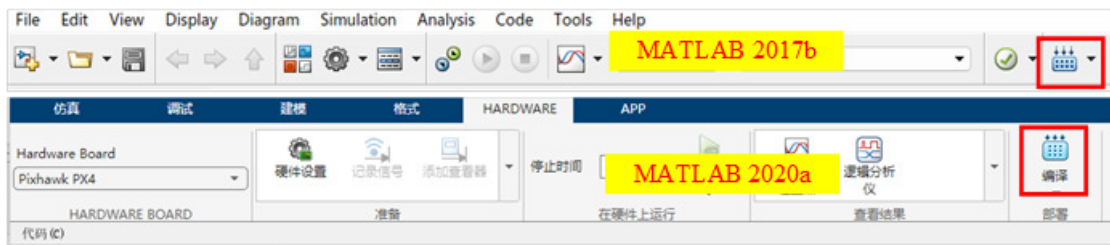


因此，Simulink模型文件PwmAndAuxOutput.slx（如下图所示）中，PWM_output模块对应可输出I/O输出，AUX_output模块对应fmu直接输出。

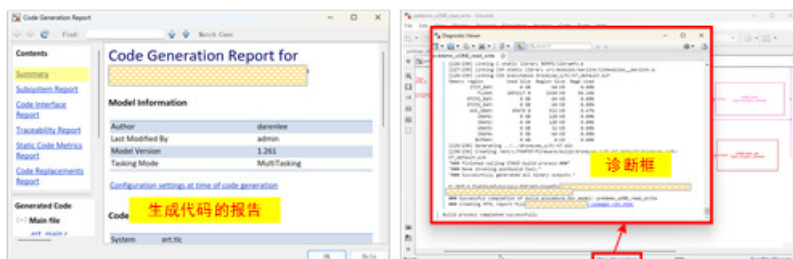


4.5 步骤5：验证模型生成固件并烧录

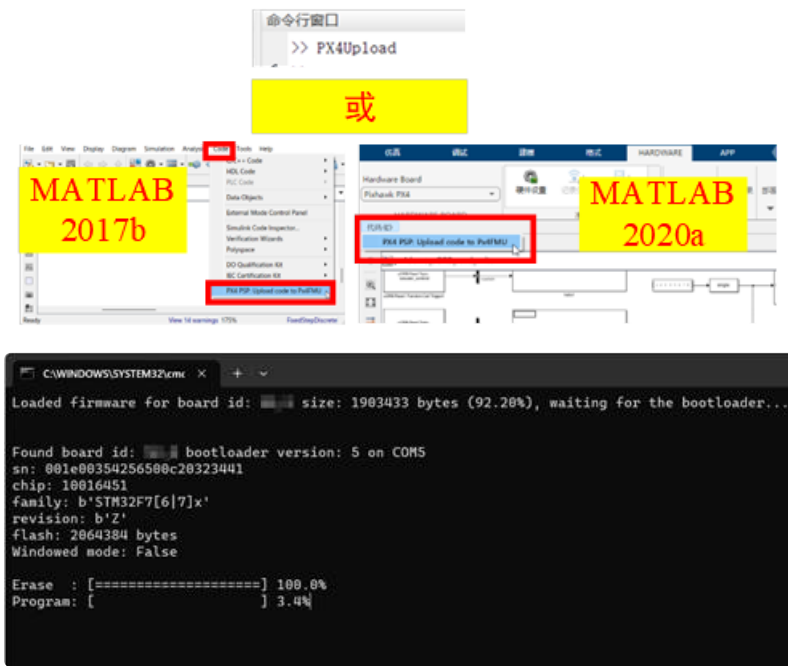
打开MATLAB软件，在MATLAB中打开PwmAndAuxOutput.slx文件，并点击编译命令。



在Simulink的下方点击View diagnostics指令，即可弹出诊断对话框，可查看编译过程。在诊断框中弹出Build process completed successfully，即可表示编译成功，左图为生成的编译报告。

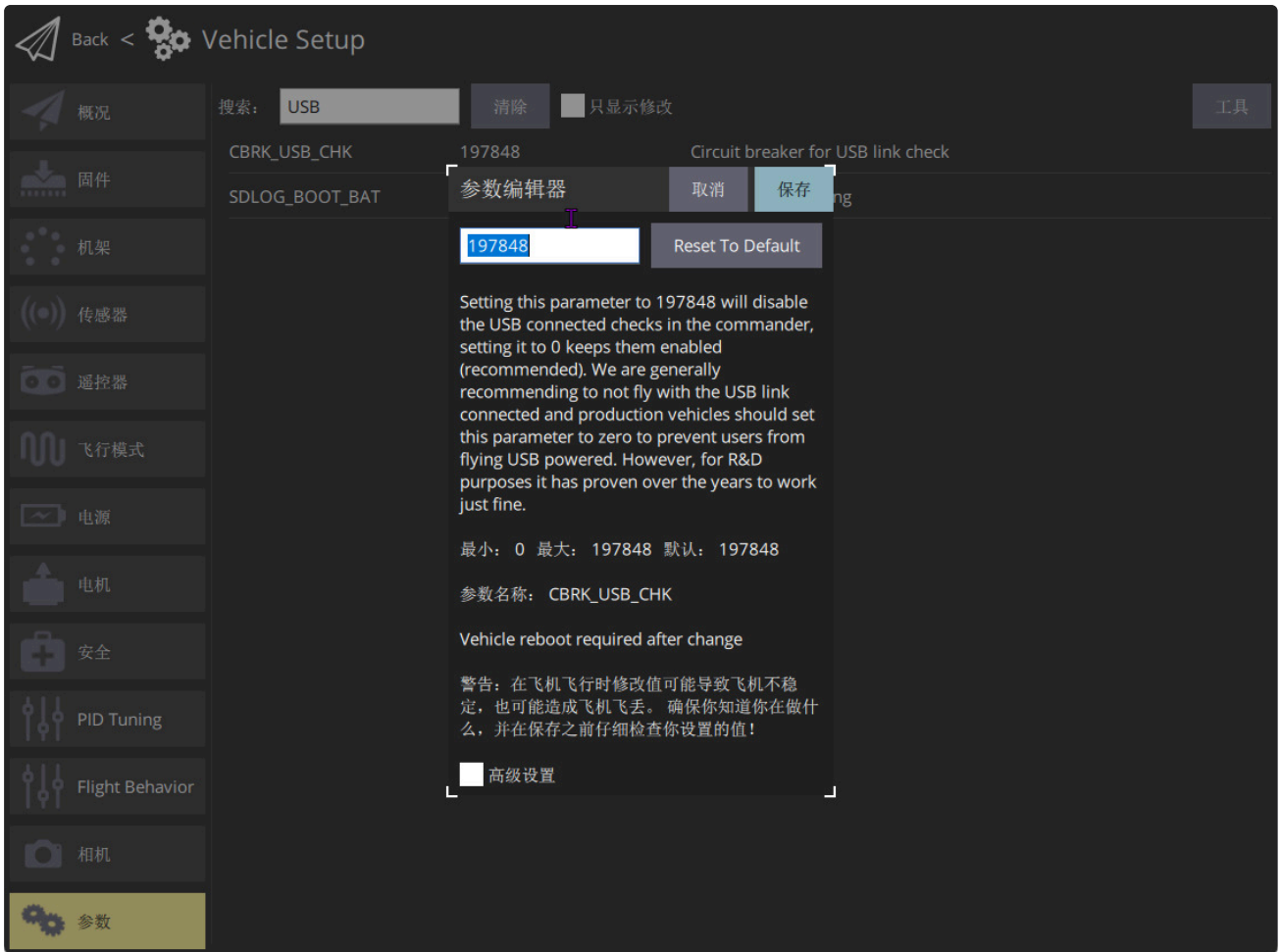


用USB数据线链接飞控与电脑。在MATLAB命令行窗口输入：PX4Upload并运行或点击PX4 PSP: Upload code to Px4FMU，弹出CMD对话框，显示正在上传固件至飞控中，等待上传成功。

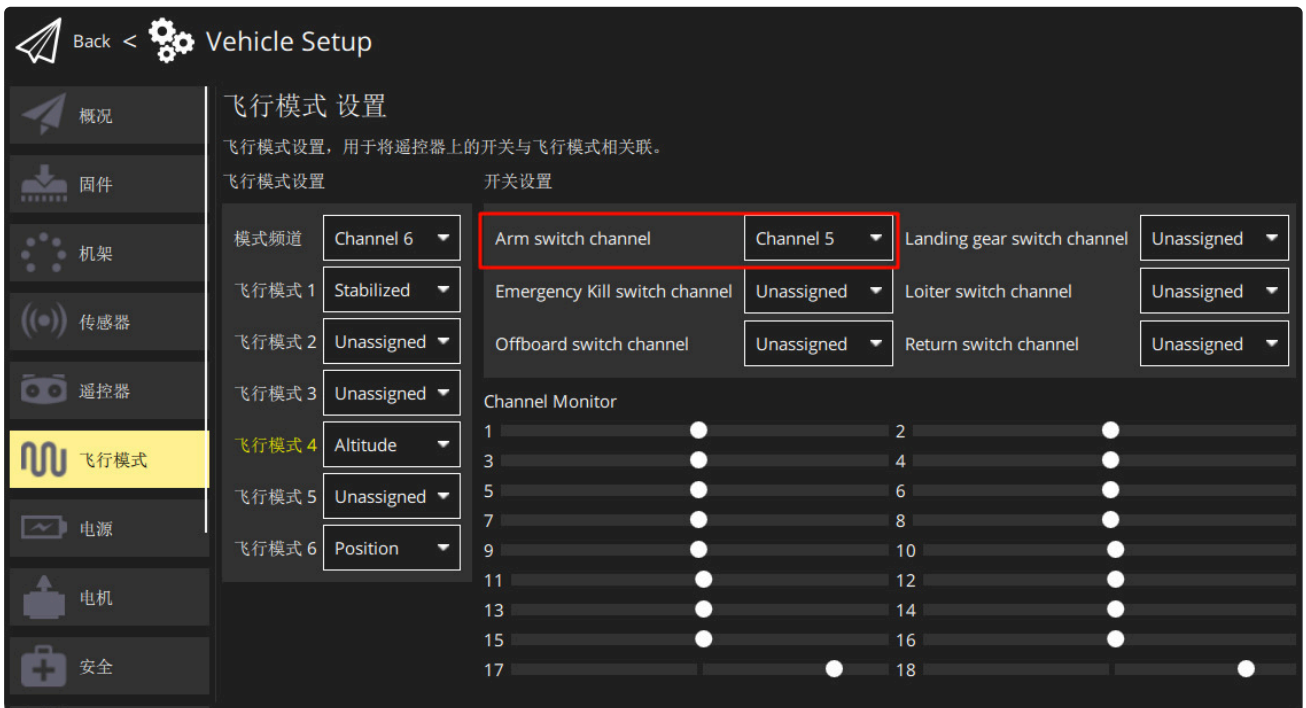


4.6 步骤6：电机驱动验证

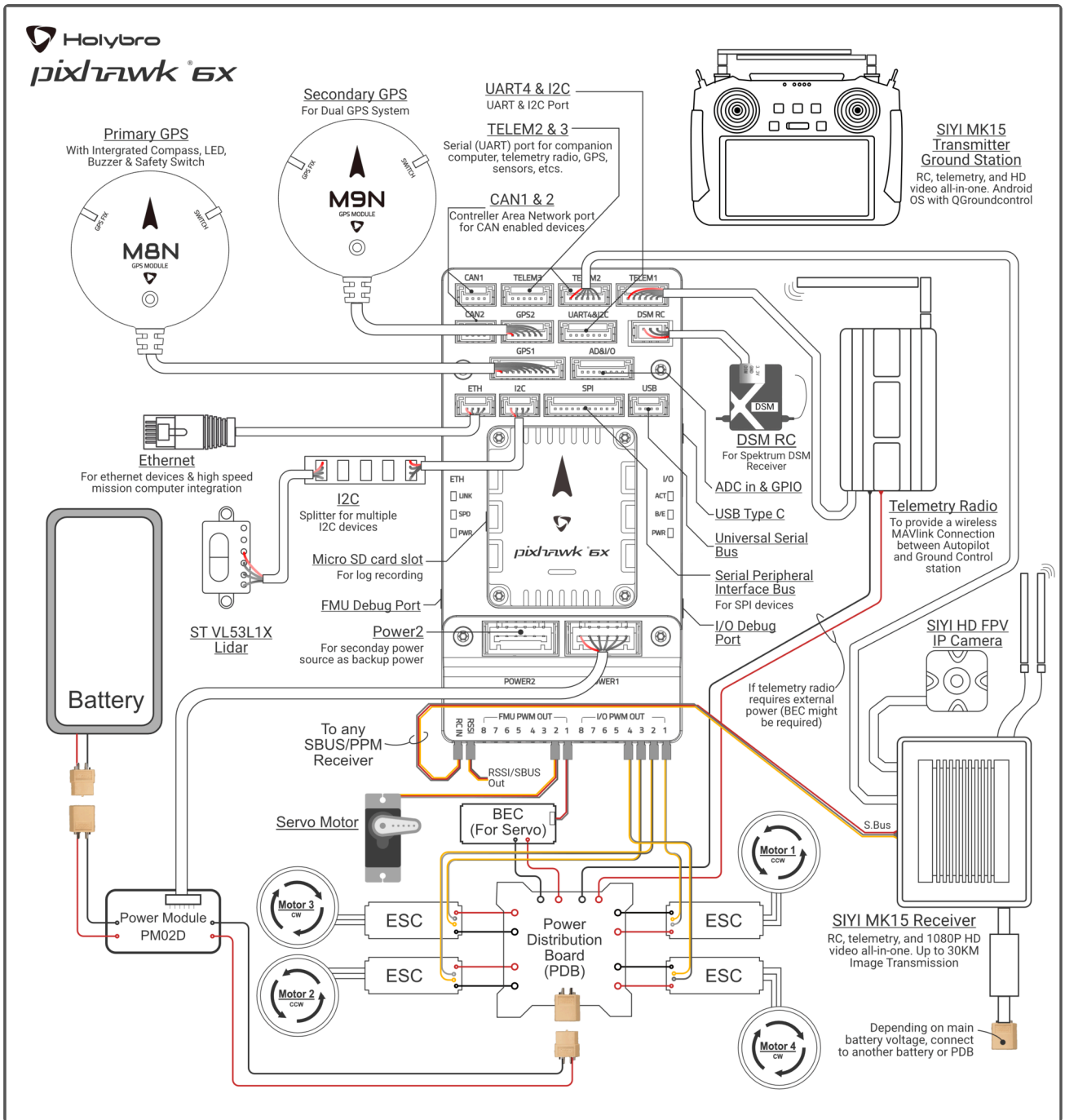
确定QGC与飞控链接成功，若是通过USB与飞控链接时，还需要注意将参数 `CBRK_USB_CHK` 设置为 `198748`。表示实飞检查前忽略USB检查。



另外确认设置QGC地面站的飞行模式中的解锁为CH5拨杆。如下图所示。



测试前, 请将螺旋桨拆除! 拨动遥控器CH5通道, 若电机链接到I/O_PWM_OUT、FMU_PWM_OUT的中1~4端口, 推动CH3通道油门均可看到电机正常转动。



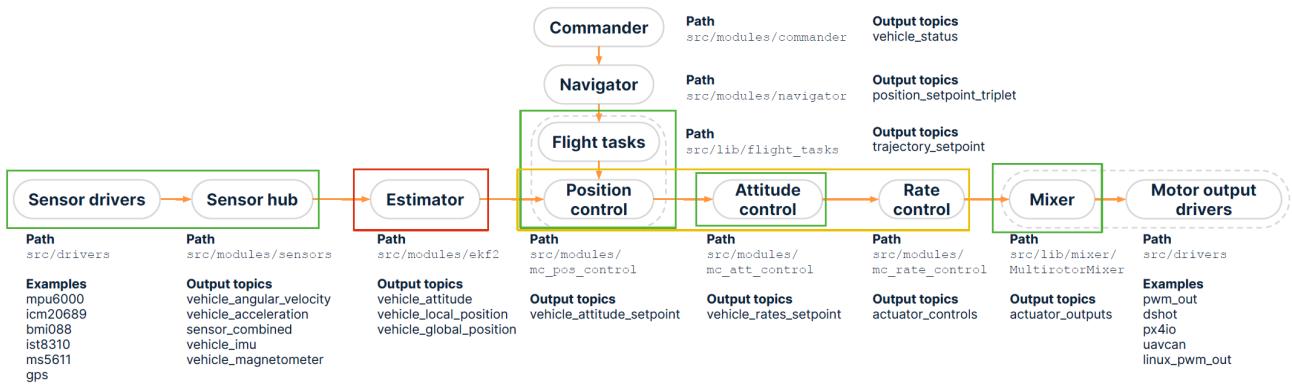
4.7 步骤7: DShot模式下的飞行控制算法

DShot是一种数字电调协议，广泛用于无人机飞控系统（如PX4、Betaflight、iNav等），相比传统的PWM协议具有低延迟、抗干扰、免校准等优势。若是需要基于DShot模式下来开发飞行控制算法时，PWM_output模块、AUX_output模块则无法使用，可直接将控制器的输出输出到力和力矩模型（如：PSP工具箱中的TorqueThrustCtrls模块）来控制电机，具体实验可见文件

[RflySim安装路径]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\0.ApiExps\3.DesignExps\Exp6_AttitudeSystemCodeGen3.slx
进行相关控制算法开发。

5. 关键知识点

PX4飞控系统控制环路架构



- 姿态估计：融合IMU、磁力计等传感器数据，通过扩展卡尔曼滤波(EKF)计算飞行器当前姿态
- 姿态控制器：采用串级PID控制结构，外环角度控制（P控制器），内环角速率控制（PID控制器）
- 位置控制器：接收外部导航指令，生成姿态设定值，支持位置/速度控制模式
- 混控器：将控制量转换为电机PWM信号，实现6自由度运动解算

飞控硬件电机控制接口

飞控硬件的电机控制接口是连接飞控系统与电机的关键部分，其主要作用是将飞控根据飞行姿态、任务需求等计算出的控制信号准确无误地传输至电机，实现对电机转速、转向等运行状态的精确控制，从而确保飞行器能够按照预定的目标稳定、高效地飞行。

- **I/O**：是输入 / 输出 (Input/Output) 的简称，泛指设备与外部进行数据交换的接口或通道，可实现数据的双向传输，virtually 所有需要与外部交互数据的电子设备都有 I/O 功能，如计算机的 USB 接口、串口等，用于连接外部存储设备、显示器等。
- **AUX**：是辅助 (Auxiliary) 的简称，通常指辅助的输入或输出接口，多用于音频领域，如 AUX 音频输入接口，可用于连接 CD 播放器、MP3 播放器等外部音频源设备，将音频信号输入到音响系统或耳机等。

在飞控系统中的应用

- **功能及与 FMU 的关系**
 - **I/O**：在飞控系统中，I/O 通常由单独的 I/O 板管理，该板负责处理机载传感器和外围设备的输入 / 输出，如连接外部设备，包括传感器、执行器等，进行数据采集和控制信号输出，同时可减轻主 FMU 板的计算负担，部分 I/O 板还具备数字和模拟 I/O 以支持多种传感器和执行器。
 - **AUX**：AUX 输出端口一般直接连接到 FMU，由 FMU 直接控制，多用于连接一些非关键或辅助的执行器，如舵机等，对于没有 I/O 板的简单飞控系统，AUX 输出可能由 FMU 直接控制，承担部分非核心的控制任务。
- **应用场景**
 - **I/O**：适用于多种应用场景，包括但不限于连接各种传感器来获取飞行器的状态信息，如加速度计、陀螺仪、气压计等，以及连接执行器来控制飞行器的飞行姿态和动作，如电机、舵机等。还可用于与其他外围设备通信，如数据传输模块、存储设备等。
 - **AUX**：常用于连接一些辅助性的设备和执行器，如云台、相机、照明设备等，这些设备对飞行器的飞行控制不是必需的，但在特定任务中可以提供额外的功能支持。
- **与电机控制的关系**

- **I/O**：在许多飞控系统中，I/O 板负责控制电机的启动、停止和转速调节等，通过向电机驱动器发送控制信号来实现对电机的精确控制，以确保飞行器的飞行姿态稳定和按照预设的飞行轨迹飞行。
- **AUX**：一般不直接用于控制电机，但在某些特殊情况下，如果主输出端口不足，AUX 输出也可用于控制一些非关键的电机或执行器，如小型无人机的辅助推进电机等，不过这种应用相对较少。
- **不同品牌飞控中的定义和使用差异**
 - **Pixhawk 系列**：在 Pixhawk 4 中，PX4 固件中的 MAIN 输出映射到 I/O PWM OUT 端口，AUX 输出映射到 FMU PWM OUT 端口。例如，MAIN1 映射到 I/O PWM OUT 的 IO_CH1 引脚，AUX1 映射到 FMU 的 FMU_CH1 引脚。
 - **CUAV V5 Nano**：不使用 IOMCU，其输出标记为 MAIN，但这些输出实际上可以像 AUX 输出一样，既能用作 GPIO，也能用作 Dshot ESC 控制。

6. 参考资料

1. [RflySim 官方文档](#)
2. [RflySim 官网](#)
3. [PX4 官方文档](#)

7. 常见问题

Q1：飞控固件烧录后电机不转动怎么办？

A1：首先确认飞控的电机控制输出协议是否为 PWM。进入 QGC 地面站，在“参数”界面中搜索 `DShot`，确保飞控的电机控制输出协议设置为 PWM 而非 DShot。此外还需确认电机连接正确，检查电机是否连接到 I/O_PWM_OUT 或 FMU_PWM_OUT 的 1~4 端口。

Q2：如何确认飞控支持 I/O 输出还是 FMU 直接输出？

A2：可以通过 QGC 地面站的 Mavlink 控制台查看。进入控制台后依次输入 `ls`、`cd dev`、`ls` 指令，如果显示结果中包含 `px4fmu` 和 `px4io`，则表示支持 I/O 输出和 fmu 直接输出。如果只有 `px4fmu`，则只支持 fmu 直接输出。

Q3：通过 USB 连接飞控时，为什么无法解锁？

A3：当通过 USB 连接飞控进行实飞测试时，需要在 QGC 地面站中将参数 `CBRK_USB_CHK` 设置为 `198748`，这样可以忽略 USB 检查，使飞控能够在连接 USB 的情况下正常解锁。

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