
1、实验名称及目的

基础实验：在基于 Simulink 的控制器设计与仿真平台上，复现仿真实验分析四旋翼姿态和位置响应的特点，记录当期望姿态为零时的水平位置响应，记录当油门回中时的高度响应；完成硬件在环仿真。

2、实验原理

在基于 Simulink 的控制器设计与仿真平台上，可以利用四旋翼模型和适当的控制器来复现仿真实验并分析四旋翼的姿态和位置响应特点。下面是记录期望姿态为零时水平位置响应和油门回中时高度响应的原理：

1、水平位置响应（期望姿态为零）：为了记录四旋翼的水平位置响应，可以进行以下步骤：

创建四旋翼模型：在 Simulink 中建立适当的四旋翼模型，包括其动力学特性、传感器模型和控制器。

设计位置控制器：设计一个位置控制器，可以是 PID 控制器或其他适当的控制器。该控制器将期望位置与实际位置进行比较，并计算出相应的控制指令。

添加传感器模型：添加用于测量多旋翼位置的传感器模型，例如 GPS 模型。

仿真设置：设置仿真的时间、仿真步长和初始条件。

仿真运行：运行 Simulink 仿真，记录四旋翼水平位置响应的结果。

2、高度响应（油门回中）：为了记录四旋翼的高度响应，在油门回中的情况下，可以按照以下步骤进行操作：

创建四旋翼模型：在 Simulink 中建立适当的四旋翼模型，包括其动力学特性、传感器模型和控制器。

设计高度控制器：设计一个高度控制器，可以利用 PID 控制器或其他适当的控制器。该控制器将期望高度与实际高度进行比较，并计算出相应的控制指令。

添加传感器模型：添加用于测量多旋翼高度的传感器模型，例如气压传感器模型。

控制输入设置：设置油门输入为中值，即回中状态。

仿真设置：设置仿真的时间、仿真步长和初始条件。

仿真运行：运行 Simulink 仿真，记录四旋翼高度响应的结果。

通过这些步骤，在 Simulink 中模拟和仿真四旋翼的控制器设计，可以记录下期望姿态为零时的水平位置响应和油门回中时的高度响应。根据仿真结果，可以分析四旋翼系统的特点和性能，并根据需要进行控制器参数调整和优化。

详细内容请参考上层路径文献[3]第 11 讲_实验七_半自主控制模式设计实验.pptx，文献[4]第 13 讲_任务决策 V2.pptx。

3、实验效果

用遥控器解锁多旋翼，实现手动控制。通过遥控器给定四旋翼一个期望的姿态，可以看

到四旋翼能够快速跟踪上期望的姿态,当遥控器摇杆全部回中时,四旋翼姿态基本保持水平。

4、文件目录

	文件夹/文件名称		说明
HIL	icon	FlightGear.png	FlightGear 硬件图片。
		pixhawk.png	Pixhawk 硬件图片。
		vehicle_local_position.mat	
		F450.png	F450 飞机模型图片。
	Stabilize_HIL.slx		Simulink 仿真模型文件。
	Init_control.m		控制器初始化参数文件。
Sim	icon	UE_Logo.jpg	UE 软件的 Logo
		Init.m	模型初始化参数文件。
		FlightGear.png	FlightGear 硬件图片。
		pixhawk.png	Pixhawk 硬件图片。
		SupportedVehicleTypes.pdf	机架类型修改说明文件。
		F450.png	F450 飞机模型图片。
	PosCtrl_Sim.slx		Simulink 仿真模型文件。
	Init_control.m		控制器初始化参数文件。

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 ^①	1
2	RflySim 平台免费版	Pixhawk 6C 飞控 ^②	1
3	MATLAB 2017B 及以上	遥控器 ^③	1
		遥控器接收器	1
		数据线、杜邦线等	若干

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com/1.1InstallMethod.html>

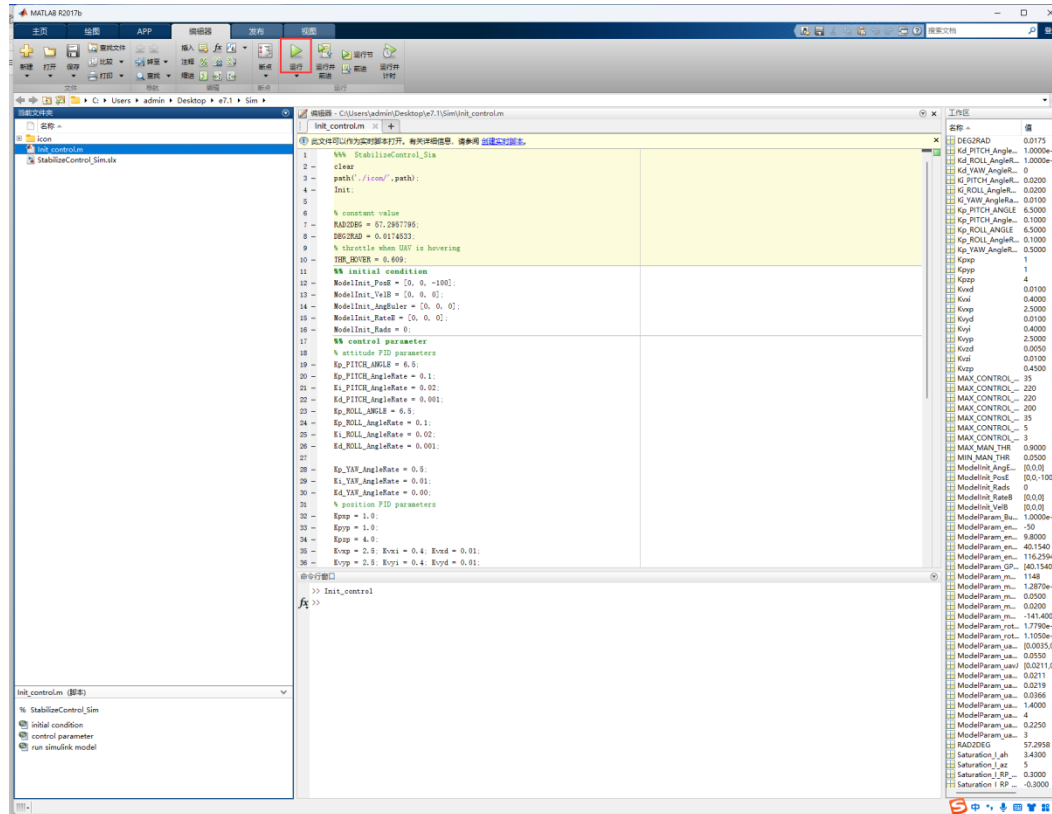
②：须保证平台安装时的编译命令为：px4_fmu-v6c_default，固件版本为：1.13.3。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 WFLY-ET10、配套接收器为：WFLY-RF209S。
遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

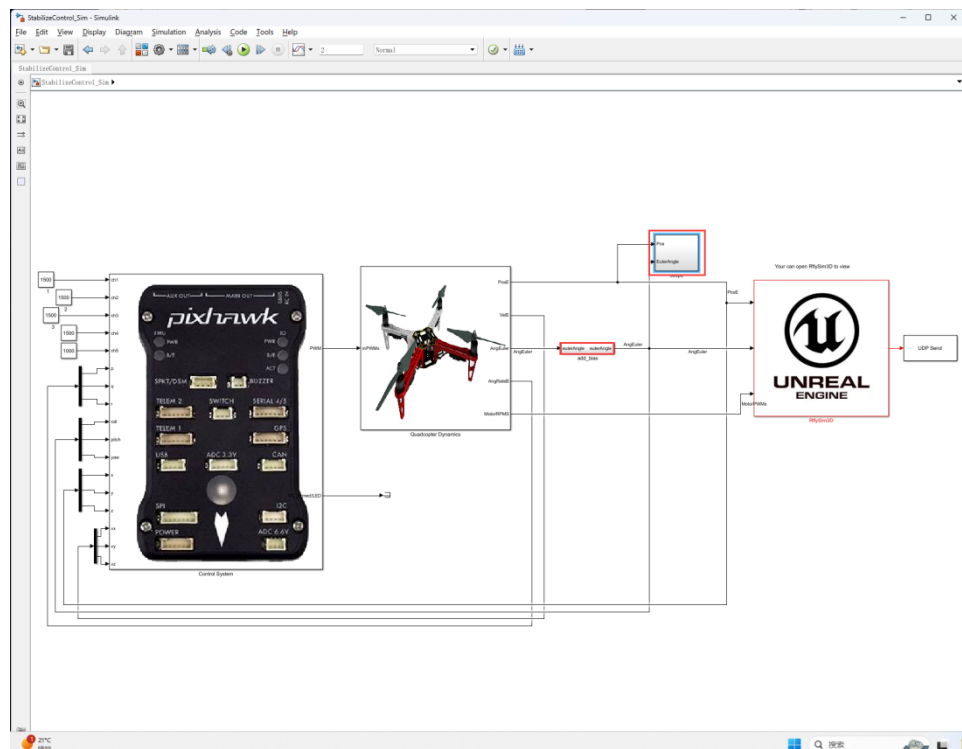
6、软件仿真实验步骤

Step 1:

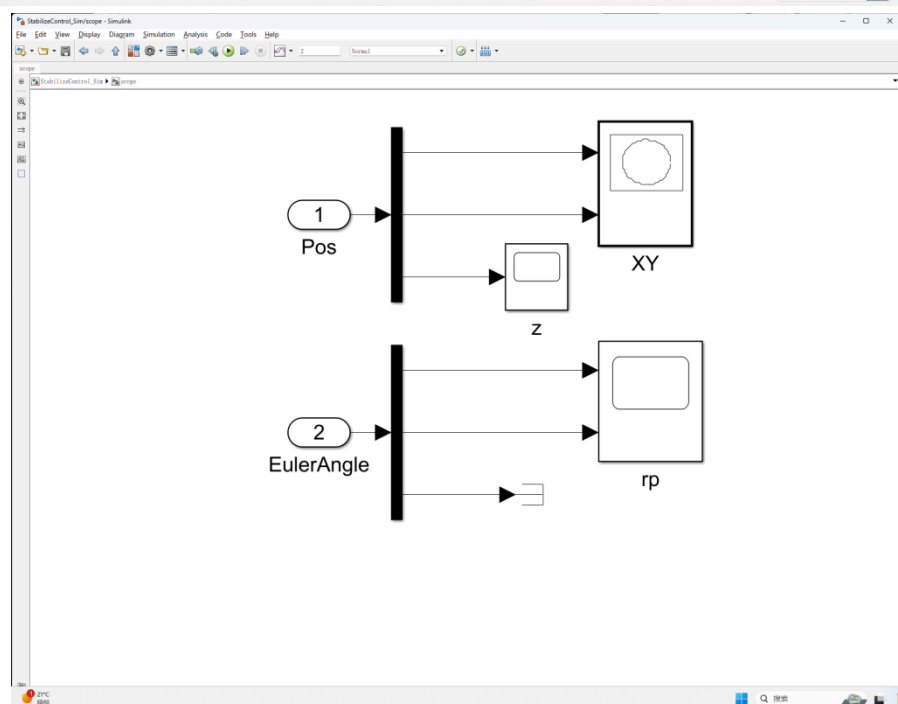
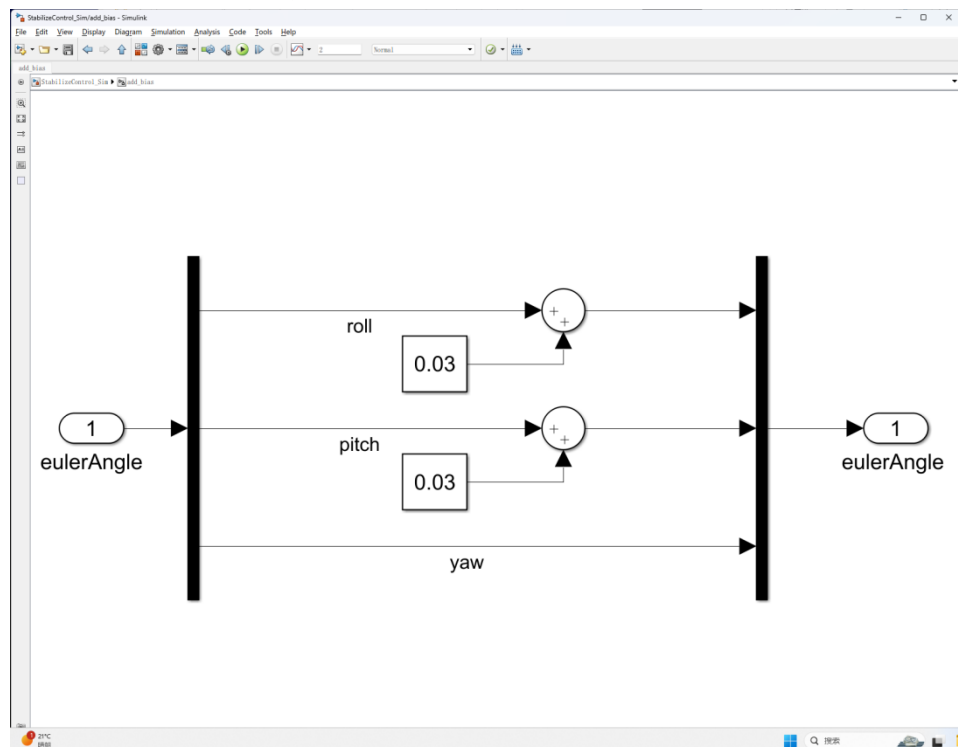
打开 e7-SemiAutoCtrl\7.1\Sim\Init_control.m 文件，点击运行初始化参数，



“StabilizeControl_Sim.slx”文件将会自动打开，如下图所示。



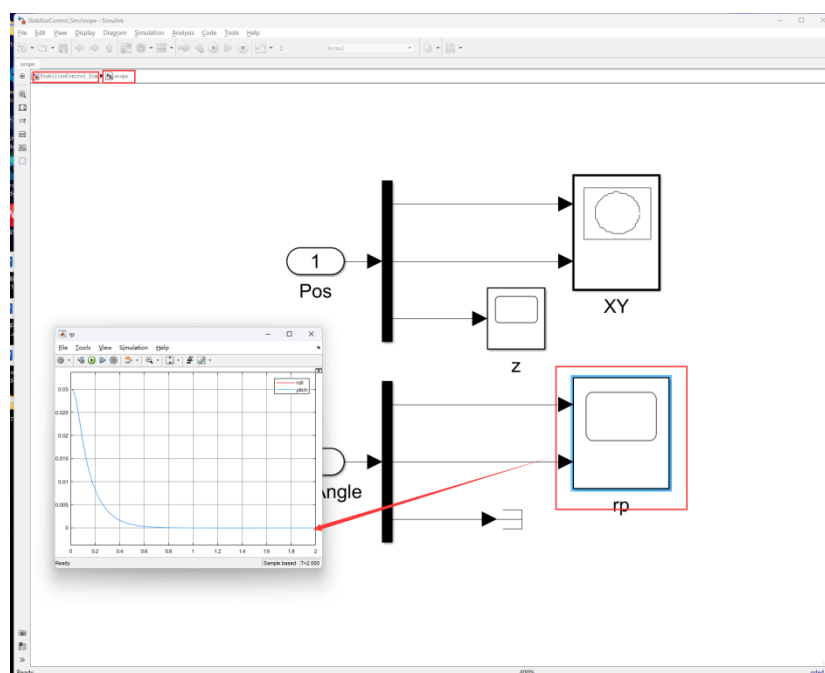
双击上图标红的两个模块，可以看到模型在姿态 角输出部分加了常值扰动，以模拟实际飞行过程中的偏差。如下图所示。



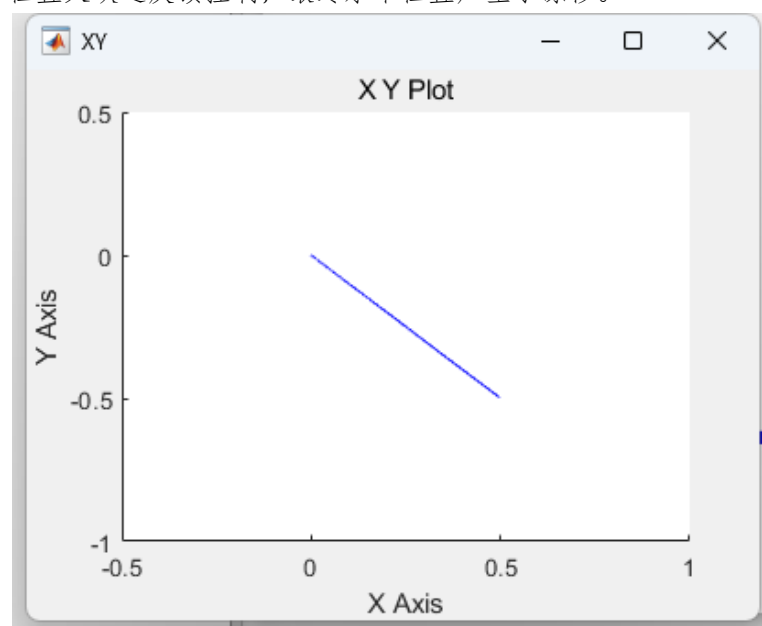
Step 2:

点击 Simulink 开始仿真按钮，开始仿真，观察并记录波形，分析实验结果。期望俯仰角和横滚角为 0，实际滚转角和俯仰角如图，因为常值干扰的存在，实际的滚转角开始并不为 0，然后在姿态控制器的调节下滚转角和俯仰角趋近期望滚转角，最终达到稳态，逼近

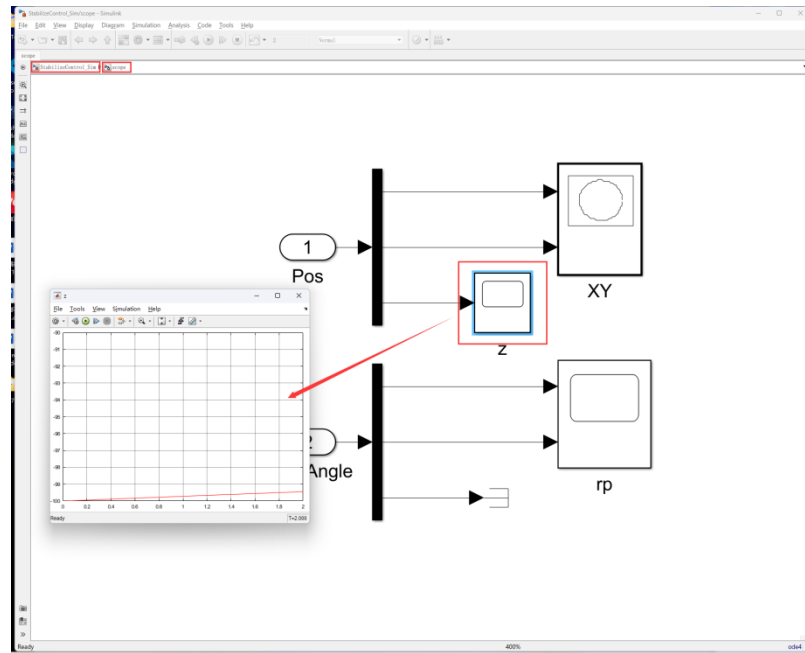
期望值。



在这个过程中，产生一个非零速度，导致水平位置输出如下图所示，可以看到，因为干扰的存在，水平位置又缺乏反馈控制，最终水平位置产生了漂移。



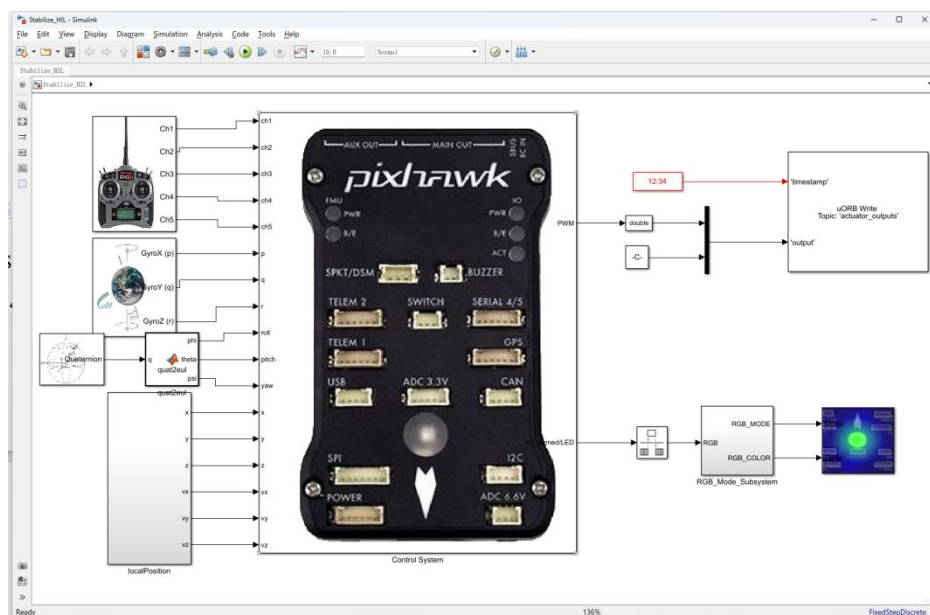
基于同样的原因，高度上也有漂移，如下图所示。所以在自稳模式下，四旋翼只能姿态稳定而不能保持位置稳定，悬停油门尽管是经过精确计算但由于舍入误差，高度仍然不能保持稳定。



7、硬件在环仿真实验步骤

Step 1:

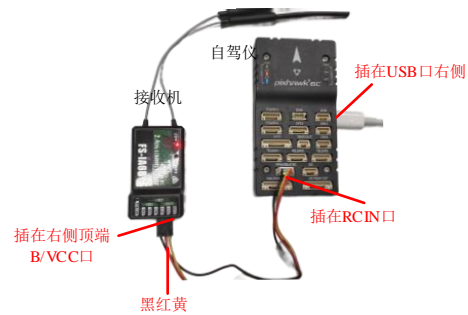
打开 e7-SemiAutoCtrl\7.1\HIL\Init_control.m 文件，点击运行初始化参数，“StabilizeControl_HIL.slx”文件将会自动打开，如下图所示。值得注意的是，“Control System”模块和软件在环仿真的相同。



Step 2:

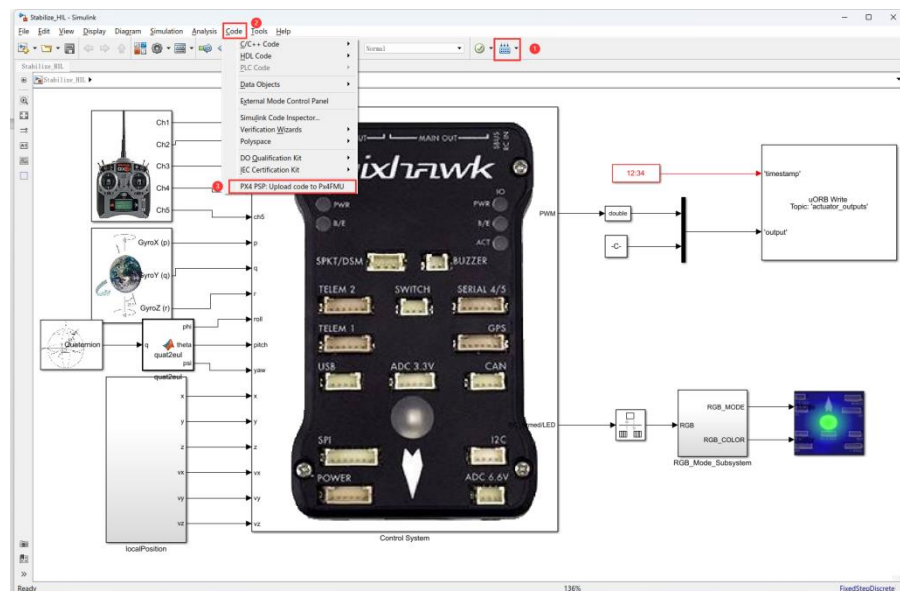
用 USB 数据线链接飞控与电脑。在 MATLAB 命令行窗口输入：PX4Upload 并运行或

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。



Step 3:

将硬件在环仿真模型编译并下载文件到 Pixhawk 自动驾驶仪中。这样就可以在 Pixhawk 自动驾驶仪中运行我们自己设计的半自主控制程序。



下载成功显示如下图:

```
C:\Windows\SYSTEM32\cmd.exe
Loaded firmware for board id: 1010,0 size: 1798496 bytes (98.01%), waiting for the bootloader...

Attempting reboot on COM3 with baudrate=57600...
If the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.

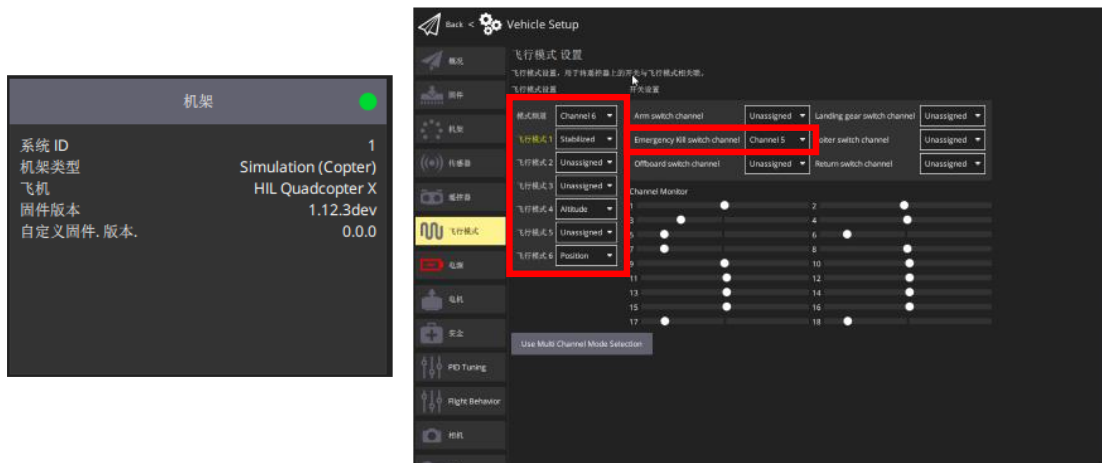
Found board id: 1010,0 bootloader version: 5 on COM3
sn: 004004b3232511537343834
chip: 20036450
family: b'STM32H7[4]x'
revision: b'V'
flash: 1966080 bytes
Windowed mode: False

Erase : [=====] 100.0%
Program: [=====] 100.0%
Verify : [=====] 100.0%
Rebooting. Elapsed Time 75.630

C:\Users\admin\Desktop\7.1\HIL>
```

Step 4:

上传成功后，打开 QGroundControl 软件。确认无人机机架及遥控器通设置如下：



Step 5:

遥控器的设置如下图。注：遥控器设置中，CH5 通道需设置为二段式开关，CH6 通道设置为三段式开关。



Step 6:

通过遥控器给定四旋翼一个期望的姿态，可以看到四旋翼能够快速跟踪上期望的姿态，当遥控器摇杆全部回中时，四旋翼姿态基本保持水平，在 RflySim3D 中按下快捷键“T”，即可显示飞机的轨迹线，可以看到四旋翼轨迹仍在移动，说明四旋翼位置在漂移。

8、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]. 第 11 讲_实验七_半自主控制模式设计实验.pptx.
- [4]. 第 13 讲_任务决策 V2.pptx.

9、常见问题

Q1: 无

A1: 无