

| 简化倾转旋翼PID控制数值仿真实验

| 1. 实验目的

设计简化状态（仅包括直升机和固定翼两种主要模态以及加/减速切换两种过渡模态）的倾转旋翼机控制模型并在此基础上搭建自定义PID控制器，通过数值仿真观察各通道的响应并调试控制器。

| 2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]；MATLAB 2022B及以上版本。
- 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\3.CustExps\ue6_Tiltrotor_CtrlExp\1.Tiltrotor_SIM

- [InitData.m](#)：固定翼动力学参数
- [Init_AllMode_sim.m](#)：控制器及模型参数初始化文件
- [Tiltrotor_AllMode_sim.slx](#)：模型及控制器主要程序
- [ue4.bat](#)：RflySim3D三维场景启动脚本
- [assets](#)：Simulink模块图标

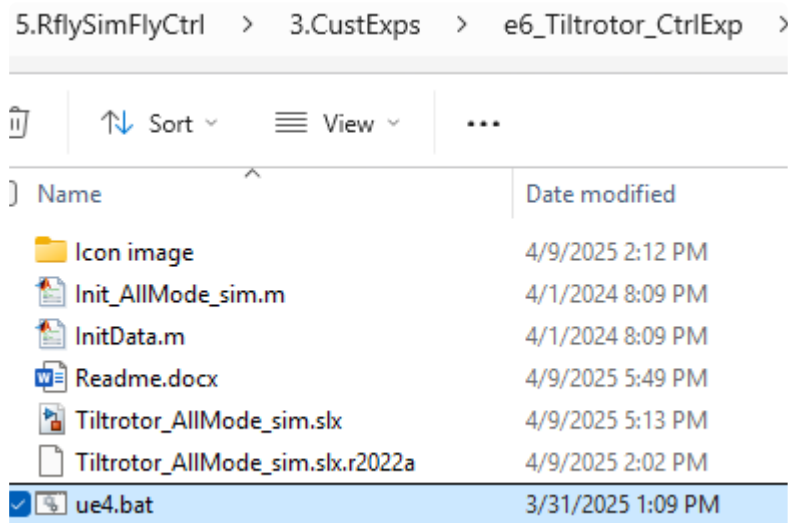
4. 实验内容或步骤

4.1 步骤1：准备三维显示模型

将命名为"QZXY"和"倾转旋翼.xml"的文件复制到RflySim3D路径下，详细路径如图6所示。



在进行后面的仿真流程之前双击 [ue4.bat](#) 启动RflySim3D.

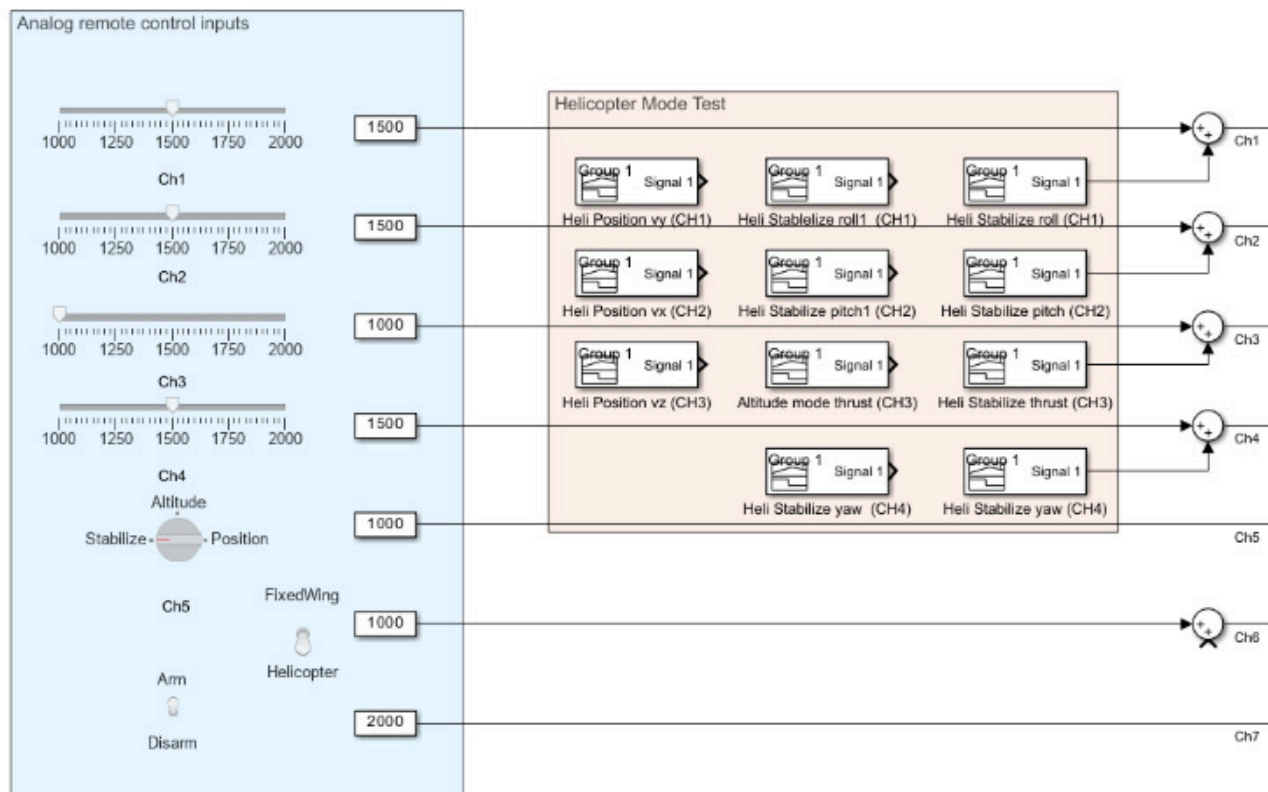




4.2 步骤2：直升机模态仿真流程

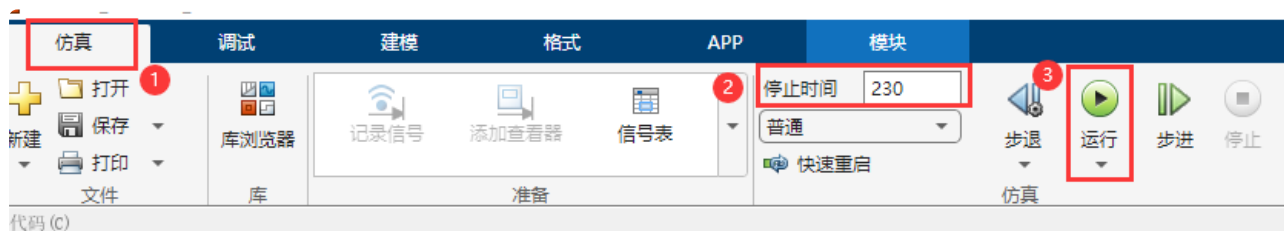
自稳模式

将初始给定信号与直升机模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Stabilize"，Ch6要选择"Helicopter"，Ch7要选择"Arm"。

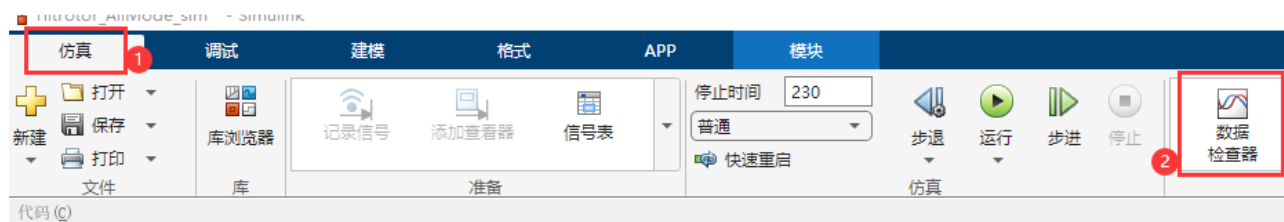


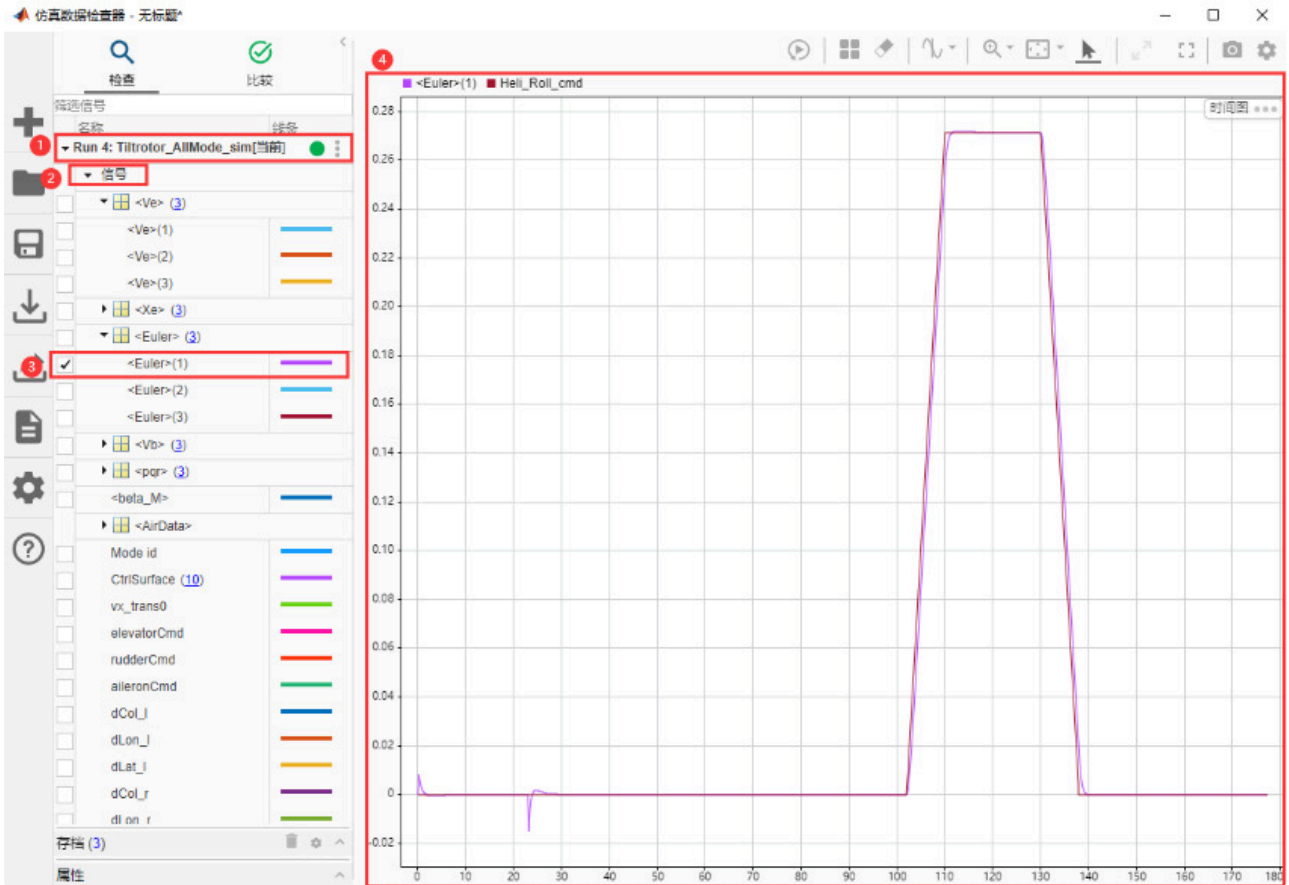
直升机模态附加给定信号只是作为例程给出，用户也可以按照自己的想法和需求自行设计给定信号。

设计好给定信号后，设置好仿真时间（为了使给定信号全部响应，仿真时间应该大于等于信号发生器的时间），点击Matlab的"运行"按钮。



用户可以通过数据检查器观察飞行器的状态变化，仿真运行同时或运行结束后都可以打开数据检查器查看各状态信息。开启数据检查器后，可通过勾选目标状态查看任意状态信息。

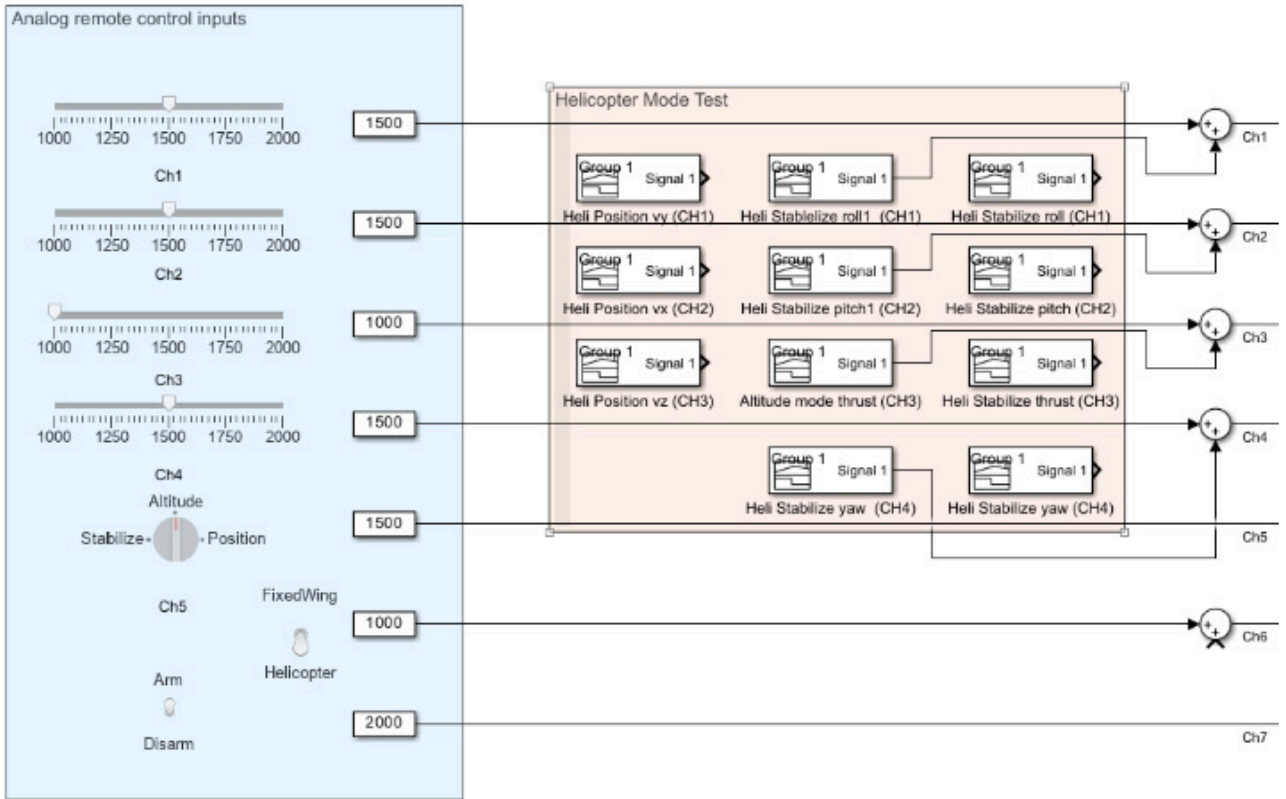




如果需要调整控制参数，则打开"[Init_AllMode_sim.m](#)"进行修改。

定高模式

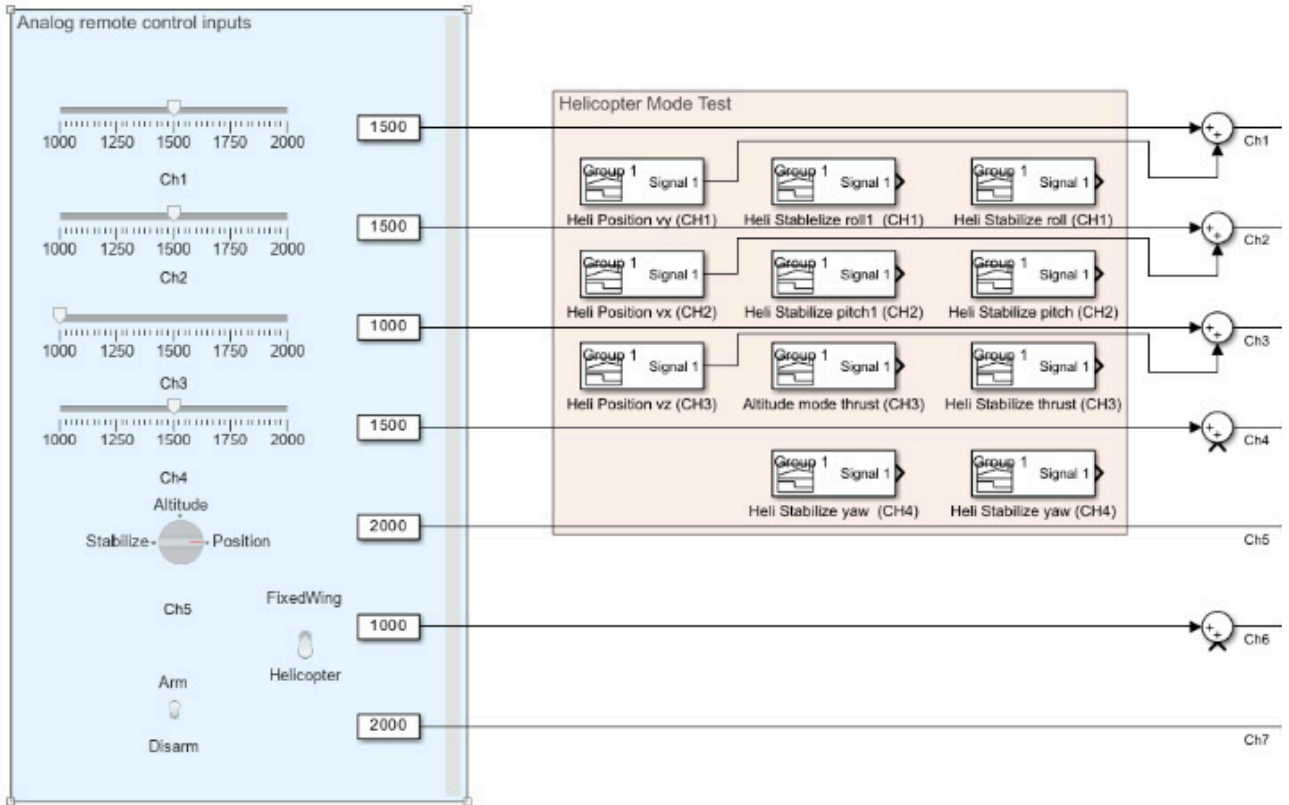
将初始给定信号与直升机模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Altitude"，Ch6要选择"Helicopter"，Ch7要选择"Arm"。



操作步骤与 [自稳模式](#) 类似，不再赘述。

■ 定点模式

将初始给定信号与直升机模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Position"，Ch6要选择"Helicopter"，Ch7要选择"Arm"。

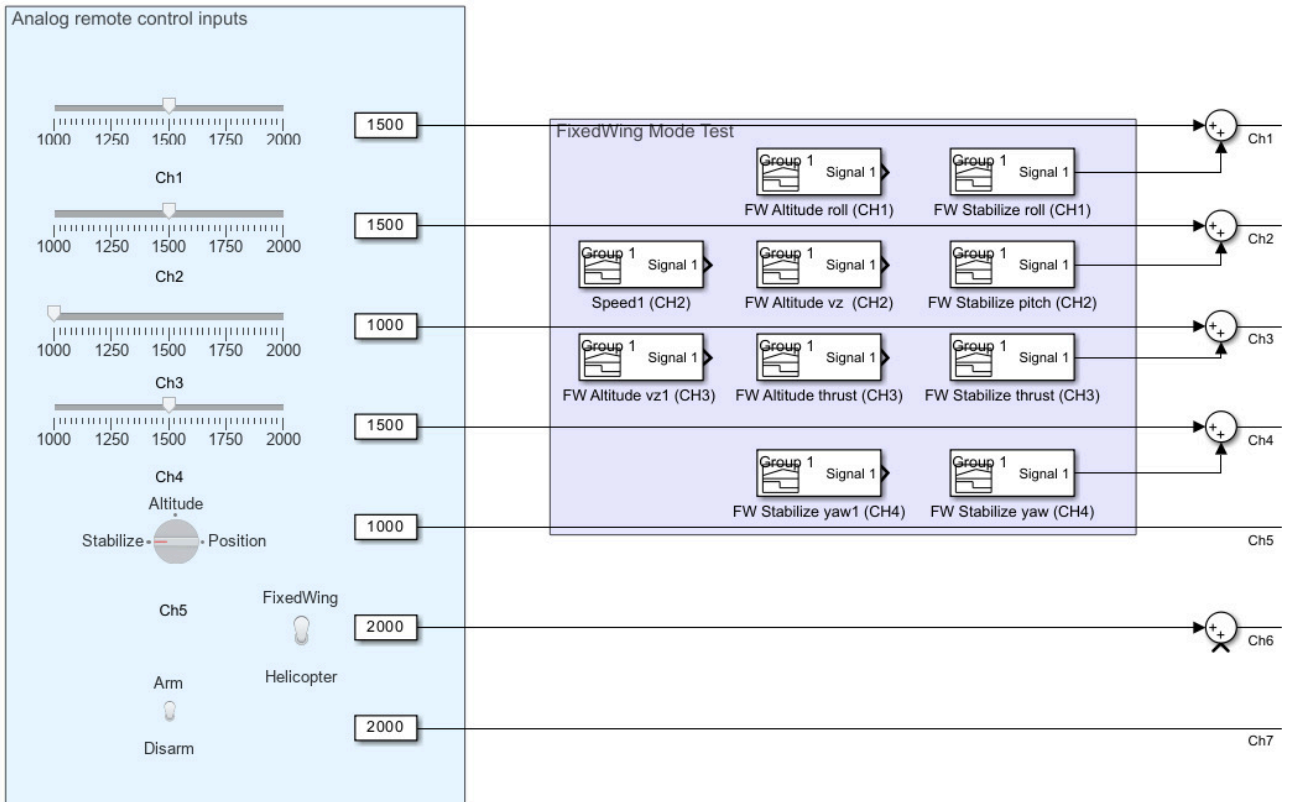


操作步骤与 [自稳模式](#) 类似，不再赘述。

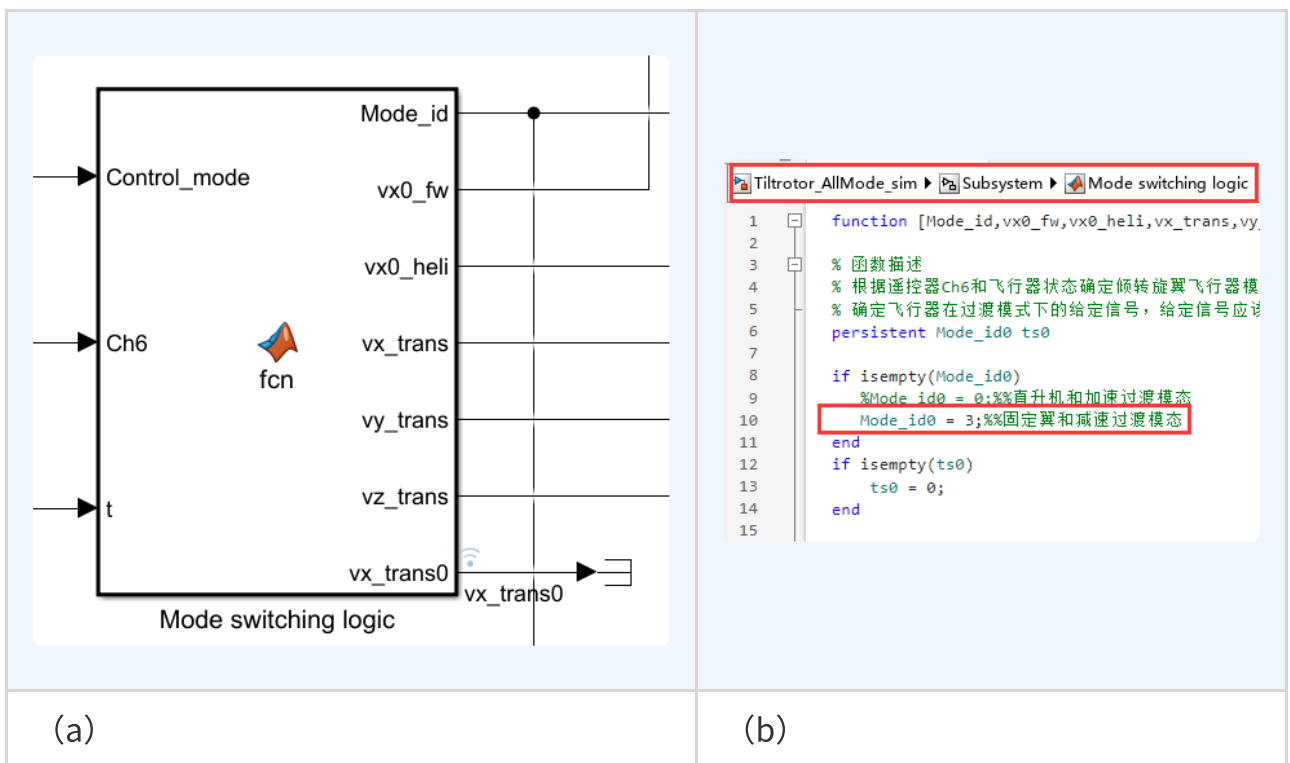
4.3 步骤3；固定翼模态仿真流程

自稳模式

将初始给定信号与固定翼模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Stabilize"，Ch6要选择"FixedWing"，Ch7要选择"Arm"。



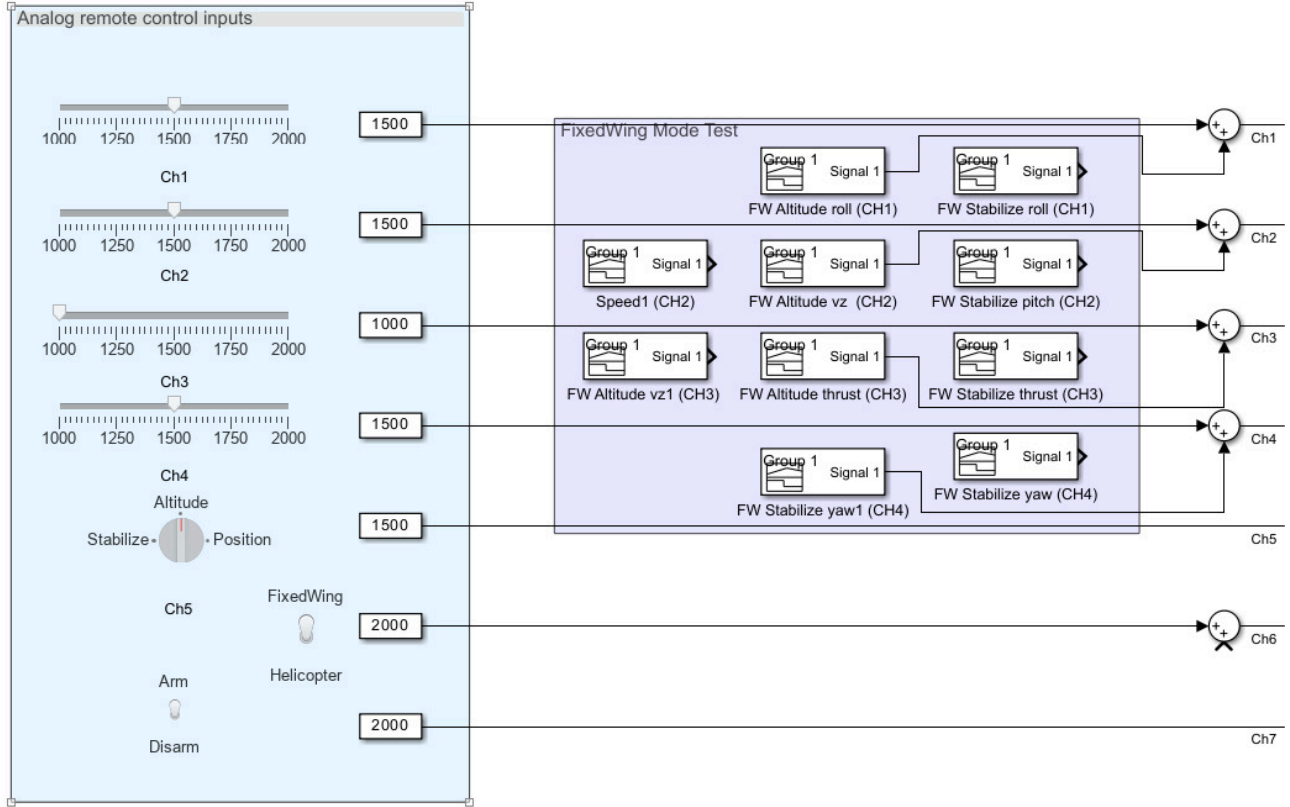
② 模态选择由"Mode_id"确定，进入主程序中的"控制模块"，找到"Mode switching logic"函数模块，并修改"Mode_id0 = 3"，如下图所示。



操作步骤与直升机系统下的自稳模式仿真流程类似，不再赘述。

定高模式

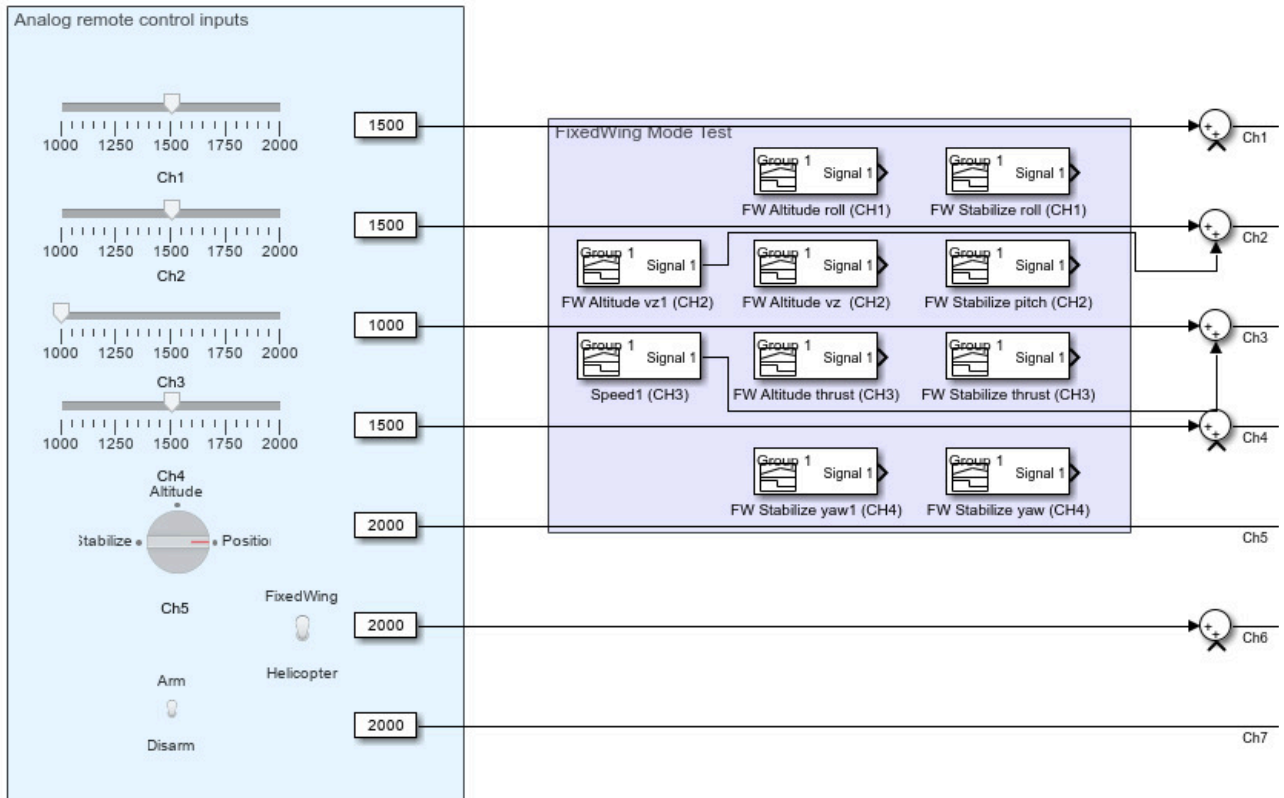
将初始给定信号与固定翼模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Altitude"，Ch6要选择"FixedWing"，Ch7要选择"Arm"。



操作步骤与 [自稳模式](#) 的仿真流程类似，不再赘述。

定速模式

将初始给定信号与固定翼模态附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Position"，Ch6要选择"FixedWing"，Ch7要选择"Arm"。

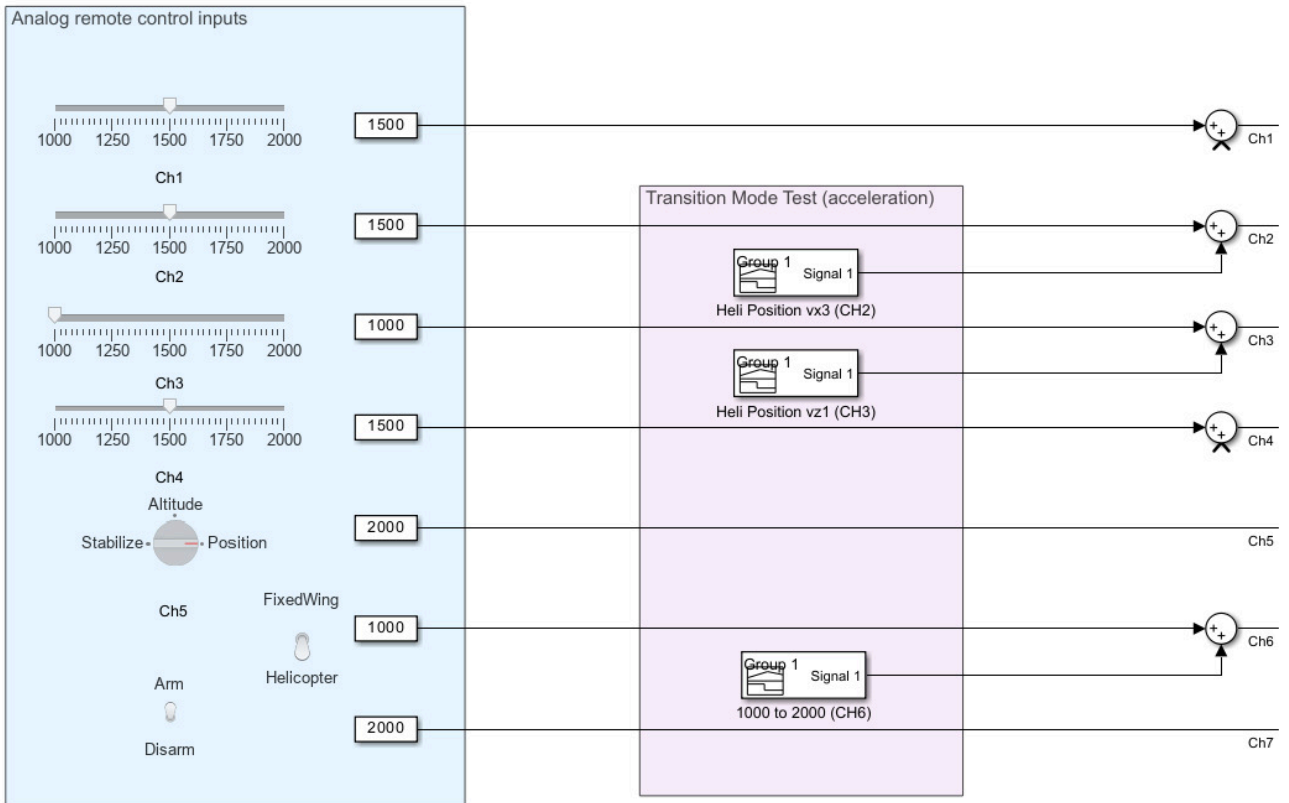


操作步骤与 [自稳模式](#) 的仿真流程类似，不再赘述。

4.4 步骤3：过渡模式仿真流程

加速过渡模式

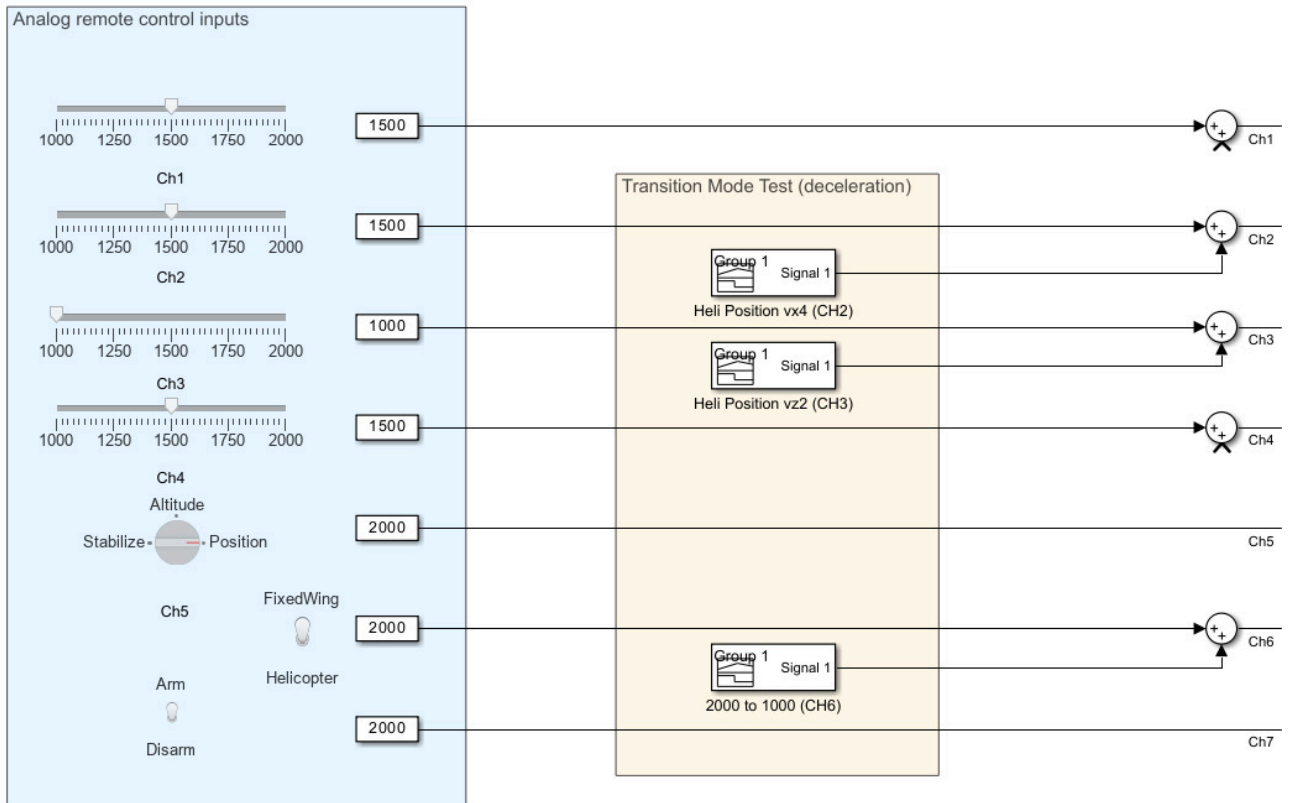
将初始给定信号与加速过渡模式附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Position"，Ch6要选择"Helicopter"，Ch7要选择"Arm"。



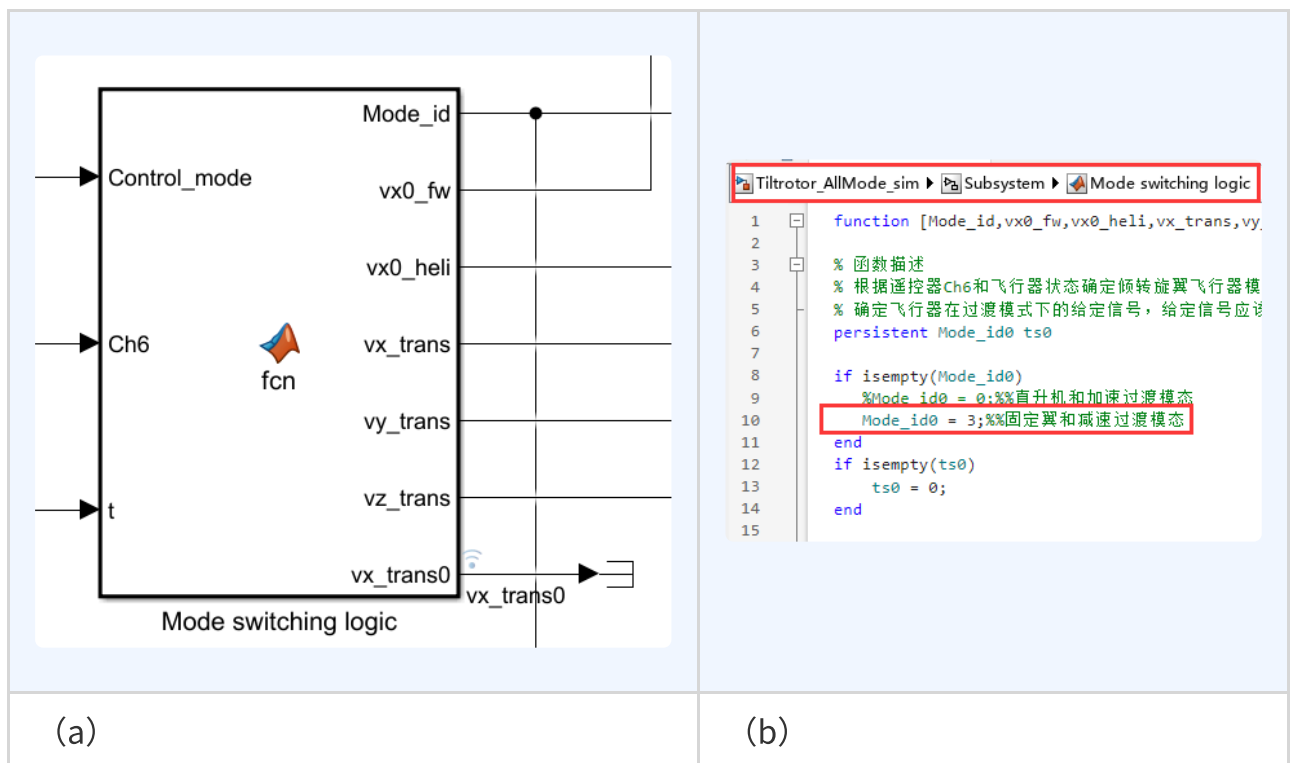
操作步骤与 [自稳模式](#) 的仿真流程类似，不再赘述。

■ 减速过渡模式

将初始给定信号与减速过渡模式附加给定信号相连接（对应CH相连即可，如下图所示）。注意：初始给定信号模块中的Ch5要选择"Position"，Ch6要选择"FixedWing"，Ch7要选择"Arm"。



模态选择由"Mode_id"确定，进入主程序中的"控制模块"，找到"Mode switching logic"函数模块，并修改"Mode_id0 = 3"，如下图所示。



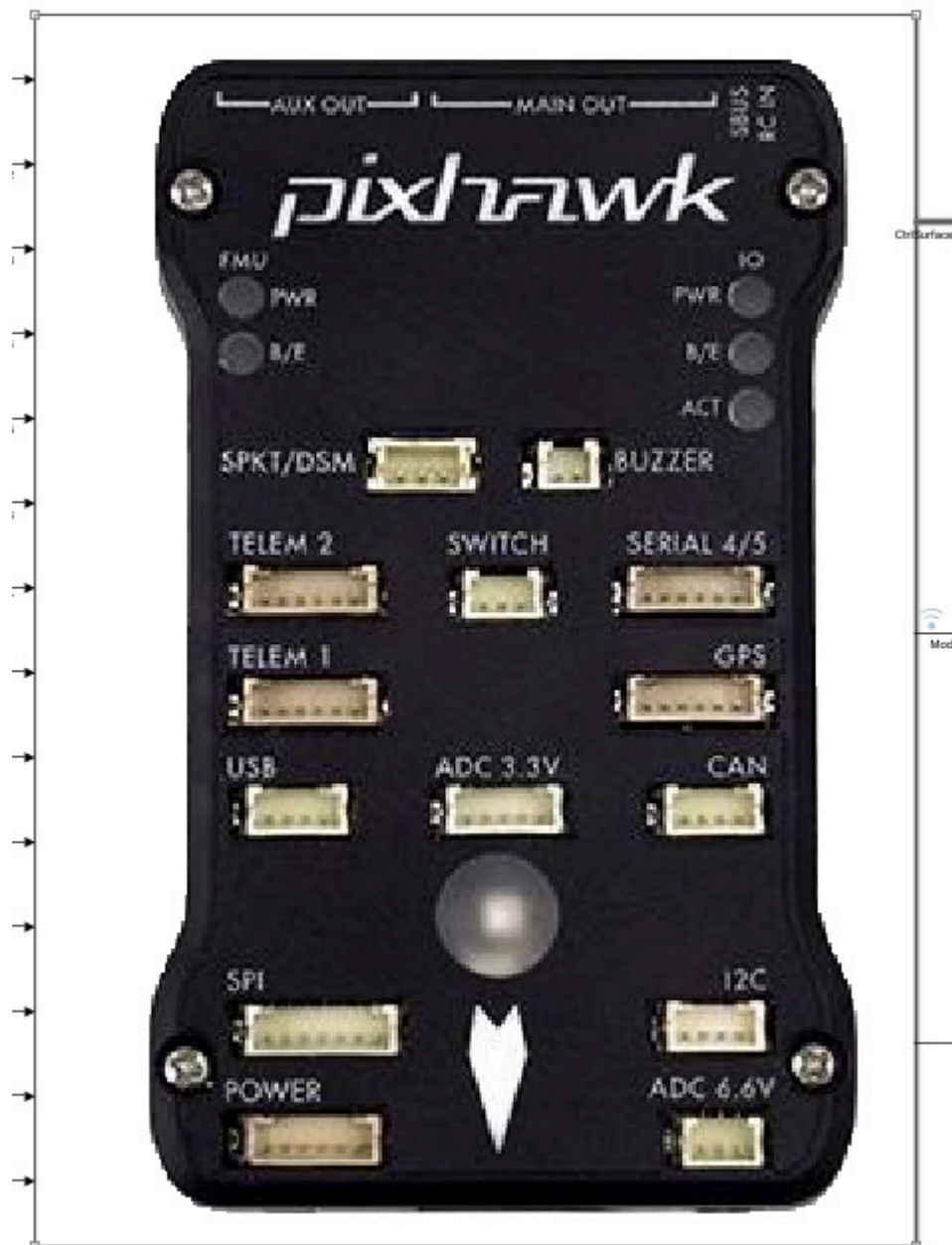
操作步骤与上小节的仿真流程类似，不再赘述。

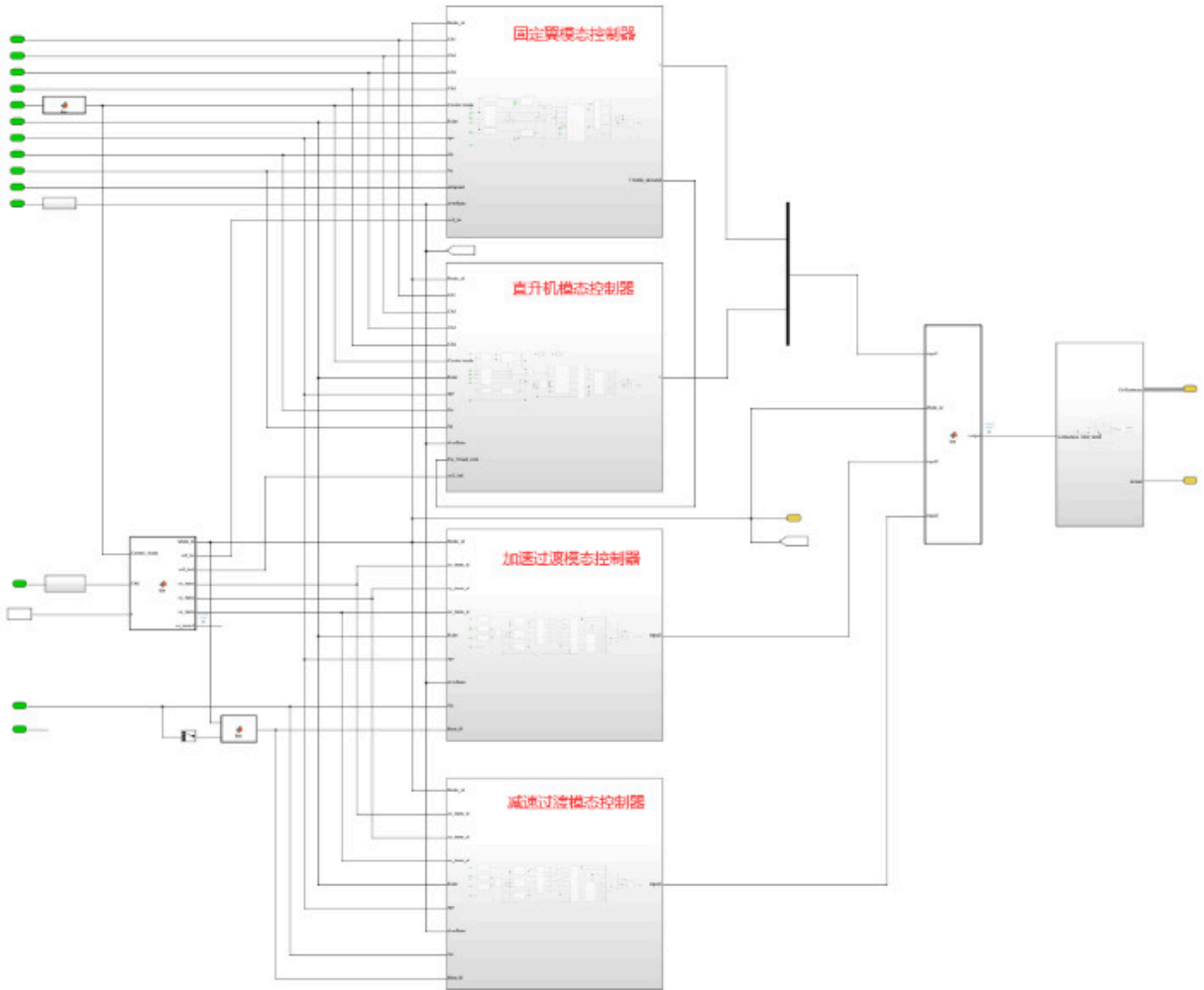
4.5 步骤5：输入信号参考

初始给定信号规定了总共用到的7个控制通道Ch1~Ch7，其中Ch1~Ch4为主要控制通道。辅助通道Ch6控制直升机模态和固定翼模态的切换；辅助通道Ch5用于切换控制模式，如直升机模态下的自稳，定高和定点（固定翼模态下的自稳，定高和定速）；辅助通道Ch7控制无人机的解锁。

为不同模态下的叠加输入模块

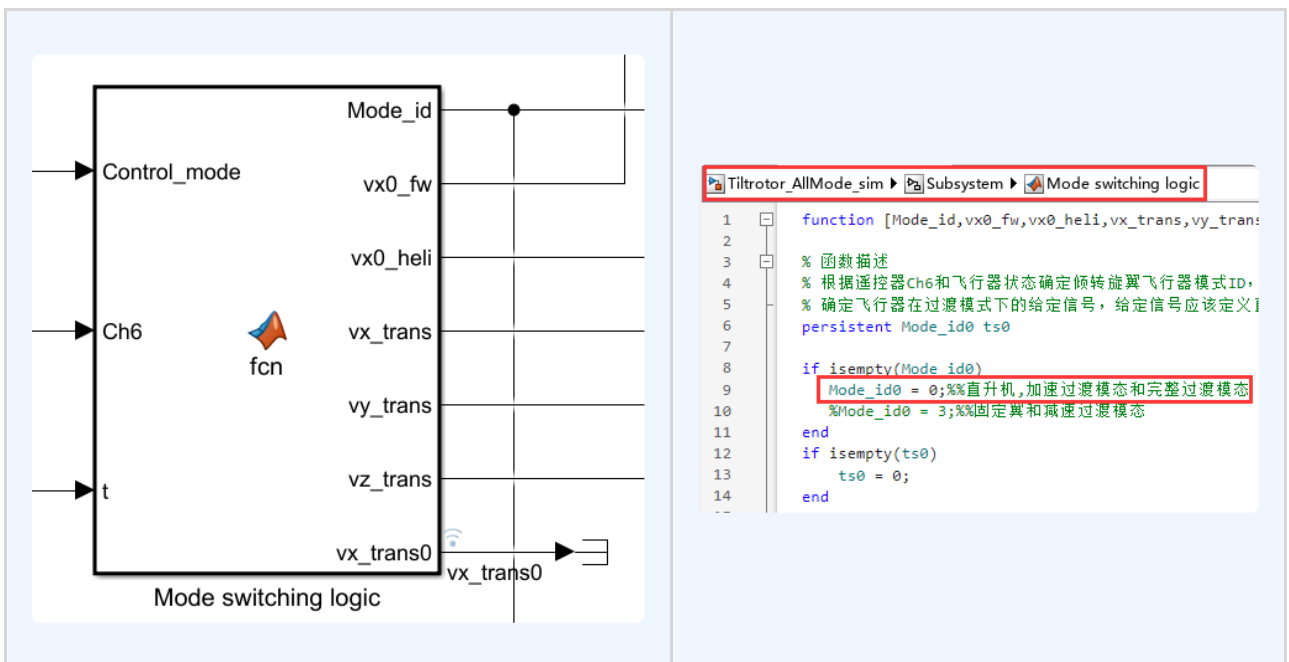
4.6 步骤6：控制器模块





控制器模块中详细的控制策略与控制器设计已在 [../Readme.pdf](#) 中详细阐述，在此不再赘述。

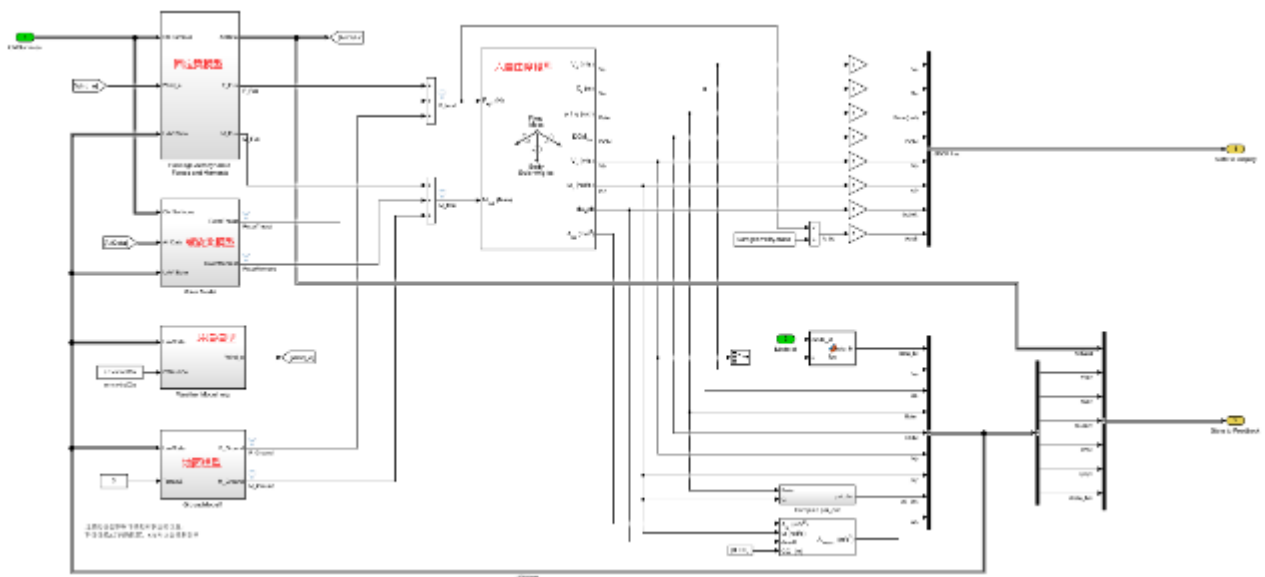
模态选择由"Mode_id"确定，进入主程序中的"控制模块"，找到"Mode switching logic"函数模块，如下图所示。



(a)

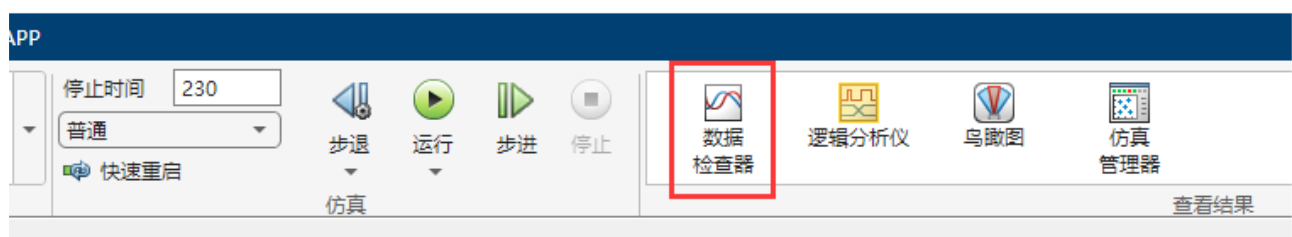
(b)

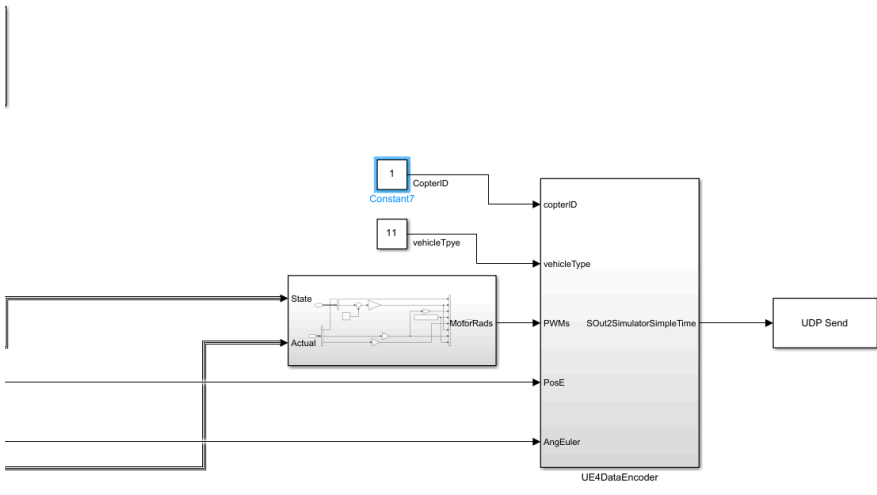
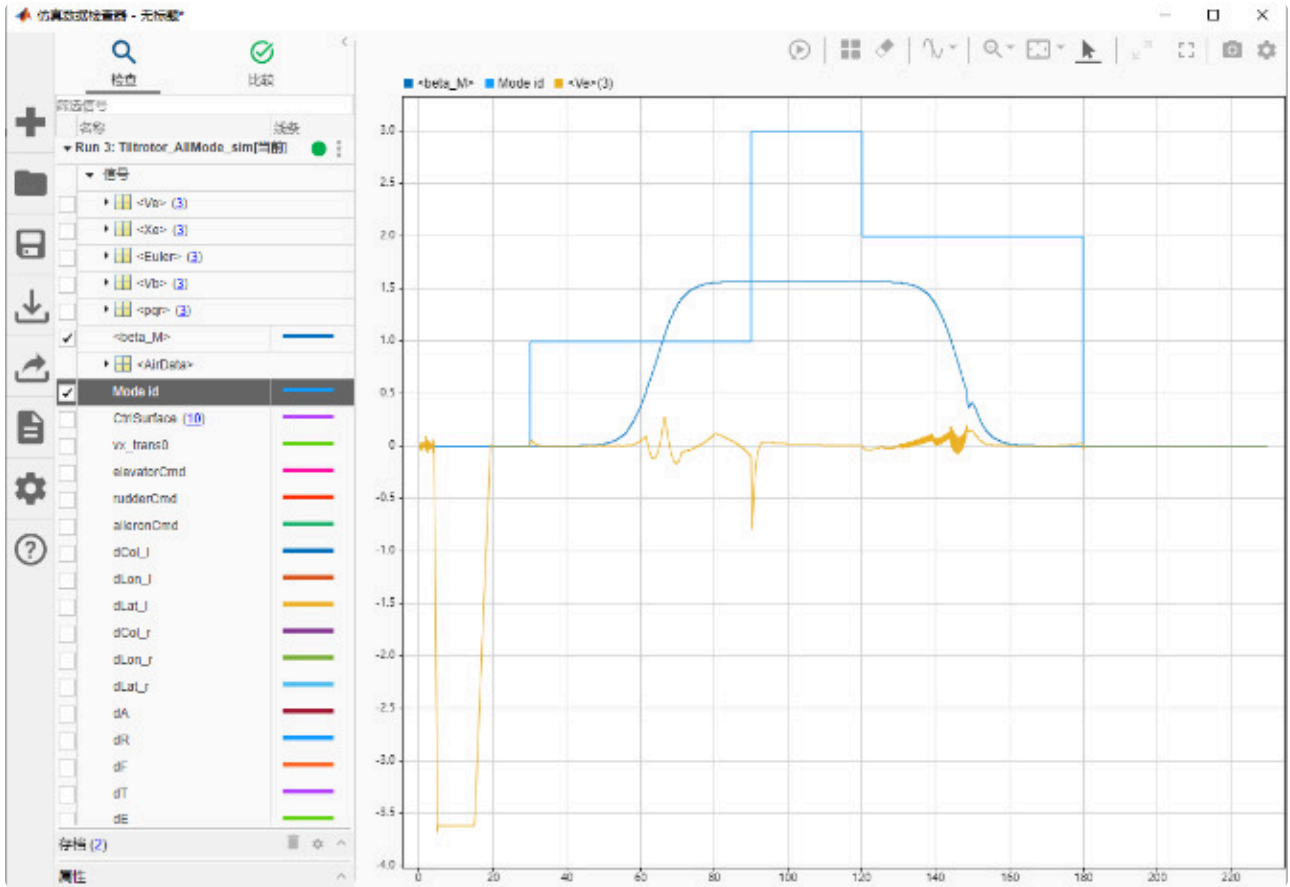
4.7 步骤7：运动模型模块



模型模块中详细的模型设计已在../Readme.pdf中详细阐述，在此不再赘述。

4.8 步骤8：数据显示







5. 关键知识点

关键知识点1: 输入信号参考

了解7个控制通道(Ch1-Ch7)的功能, 其中Ch1-Ch4为主要控制通道, Ch5控制模式切换, Ch6控制模态切换, Ch7控制解锁。

关键知识点2: 控制器模块

掌握PID控制器设计, 理解控制策略, 了解控制器模块中的详细控制算法。

关键知识点3: 模态切换逻辑

掌握Mode_id参数如何控制不同飞行模态的切换, 包括直升机模态、固定翼模态及过渡模态的控制。

6. 参考资料

1. [RflySim官方文档](#)
2. [../Readme.pdf](#) - 详细阐述了控制器设计和模型设计
3. [RflySim工具链](#)

7. 常见问题

Q1: 数据检查器中不同模式下各通道的响应与实际输入信号不匹配怎么办?

A1: 检查控制器参数设置是否正确，确认各通道输入信号是否符合预期，并调试控制器以确保响应正确。

Q2: RflySim3D中无法观测到正确的行为响应

A2: 确认模型参数设置正确，检查与RflySim3D的连接状态，并确保仿真程序正常运行。

Q3: 如何使用Pixhawk飞控进行实验?

A3: 若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：`px4_fmu-v6x_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>

1. <https://rflysim.com/> ↩

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