

1. 实验名称及目的

FaultInParam 动态修改参数验证：熟悉平台最大系统模型 FaultInParam 动态修改参数的原理及过程。

2. 实验原理

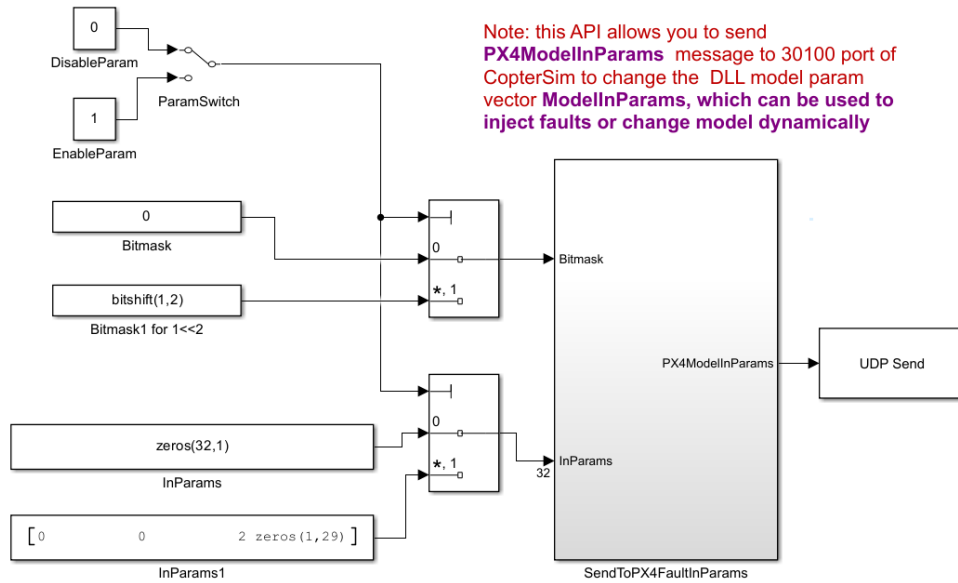
2.1. 软/硬件在环仿真（SIL/HIL）的实现[1][2]

从实现机制的角度分析，可将 RflySim 平台分为运动仿真模型、底层控制器、三维引擎、外部控制和地面控制站五部分。

- **运动仿真模型：**这是模拟飞行器运动的核心部分。在 RflySim 平台中，运动仿真模型是通过 MATLAB/Simulink 开发的，然后通过自动生成的 C++代码转化成 DLL（动态链接库）文件。在使用 RflySim 平台进行软硬件在环仿真时，会将 DLL 模型导入到 CopterSim，形成运动仿真模型。这个模型在仿真中负责生成飞行器的运动响应，它拥有多个输入输出接口与底层控制器、三维引擎、地面控制站和外部控制进行数据交互，具体数据链路、通信协议及通信端口号见 [API.pdf 中的通信接口部分](#)。
- **底层控制器：**在软/硬件在环仿真（SIL/HIL）中，真实的飞行控制硬件（如 PX4 飞行控制器）被集成到一个虚拟的飞行环境中。在软件在环仿真（SIL）中，底层控制器（通过 wsl 上的 PX4 仿真环境运行）通过网络通信与运动仿真模型交互数据。在硬件在环仿真（HIL）中，它（将 PX4 固件在真实的飞行控制器（即飞控）硬件上运行）则通过串口通信与运动仿真模型进行数据交互。飞控与 CopterSim 通过串口（硬件在环 HITL）或网络 TCP/UDP（软件在环 SITL）进行连接，使用 MAVLink 进行数据传输，实现控制闭环。
- **三维引擎：**这部分负责生成和处理仿真的视觉效果，提供仿真环境和模型的三维视图，使用户能够视觉上跟踪和分析飞行器的运动。CopterSim 发送飞机位姿、电机数据到三维引擎，实现可视化展示。
- **外部控制（offboard）：**从仿真系统外部对飞行器进行的控制，包括自动飞行路径规划、远程控制指令等。在平台例程中主要通过地面控制站（QGC）、MATLAB 和 Python 调用对应接口实现。

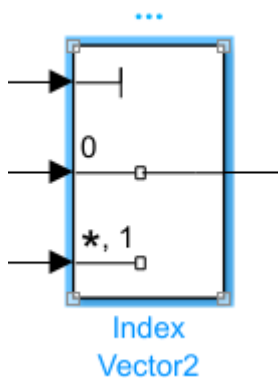
2.2. 通过实时参数修改接口—FaultParamsAPI 注入故障

与 [InSILInts&Floats](#) 中通过 PX4ExtMsgSender.slx 中的 SendToPX4SILIntFloat 模块向 DLL 模型的外部数据传入接口（inSILInts 整型数据输入和 inSILFloat 浮点型数据输入）注入电机故障的原理类似。这里通过 PX4ExtMsgSender.slx 中的 SendToPX4FaultInParams 模块发送故障信息



Send changing **FaultInParams** signal to CopterSim DLL model through port 30100, which can be used to fault injection.

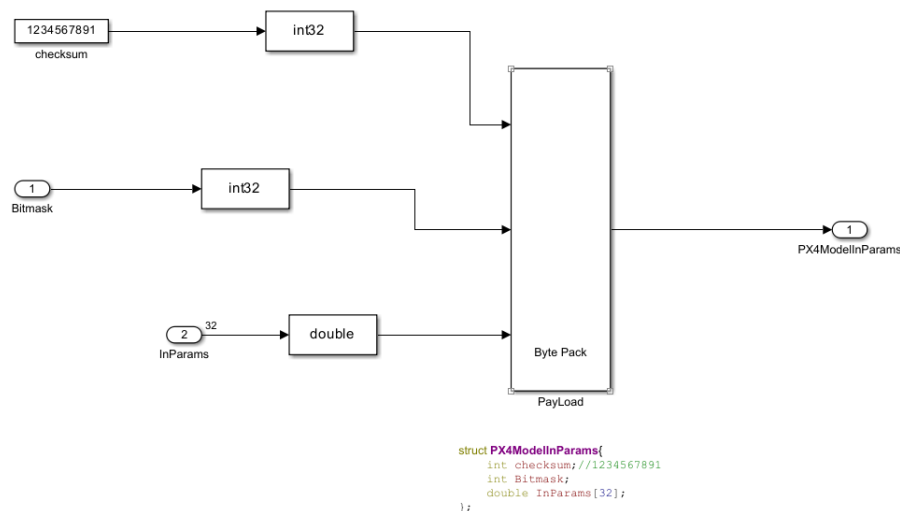
其中如下 [Multiport Switch](#) 会根据控制信号选择输出信号



Bitmask（位掩码）用于指定 32 维 ModelInParams 向量中哪些维度是有效的。Bitmask1 for $1 \ll 2$ （等同于 `bitshift(1,2)`）表示数字 1 在二进制形式下向左移动 2 位，将会产生一个二进制值 0000000000000000000000000000100，在使用这个位掩码与 InParams1 数组结合时，它将指示只操作数组中的第三个元素（从 0 开始索引为 2），而忽略其他元素。

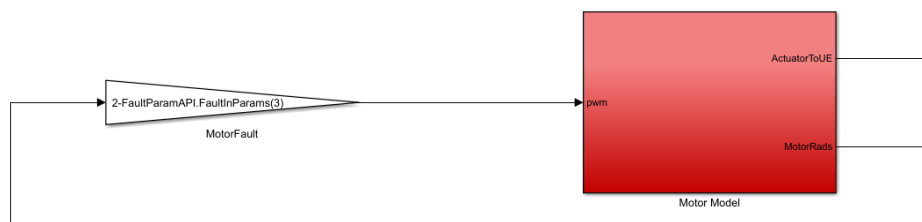
32 维数组 InParams1 将第 3 位定义为 2。

SendToPX4FaultInParams 模块定义如下



This message will be sent to PX4 DLL model's Params signals **ModelInParams[32]**.
 The checksum should be set to 1234567891, and the data should be sent to port 30100+(i-1)*2.
 The bitmask specify which dimension of 32-D **ModelInParams vector**.

在使用 RflySim 平台进行软硬件在环仿真时，最大系统模型会接收 FaultInParam 数据，端口号为 30100 系列，且 FaultInParam 中第三位参数与电机输出相关，因此可以通过动态修改参数使得电机输出全为 0 从而实现飞机降落。



3. 实验效果

软件在环仿真时，当四旋翼悬停在空中时，运行 PX4ExtMsgSender.slx 发送 PX4ModelInParams 消息，切换开关后修改 InParams（3）使电机输出为 0，在 RflySim3D 中可观察到四旋翼降落。

4. 文件目录

文件夹/文件名称	说明
PX4ExtMsgSender.slx	动态修改参数模型文件。
Exp2_MaxModelTempSITL.bat	软件在环仿真批处理文件。
Exp2_MaxModelTemp.dll	最大模型动态链接库。

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

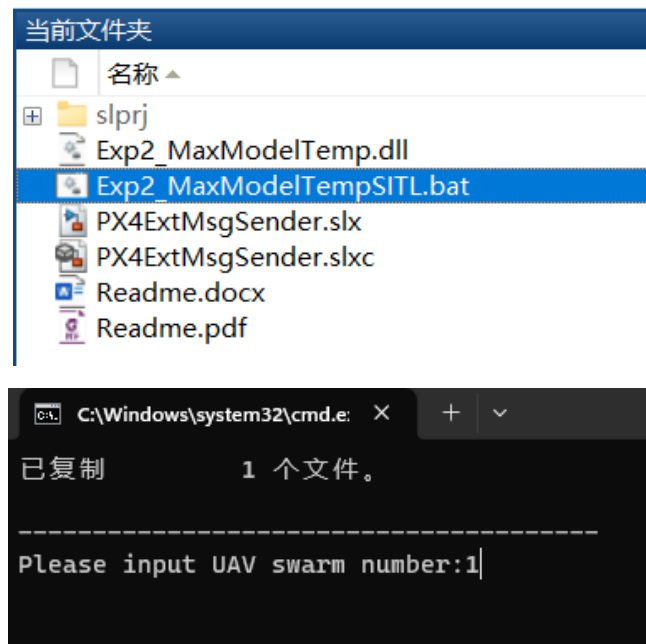
2	RflySim 平台免费版	\	\
3	MATLAB 2017B 及以上③	\	\

① 推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com>

6. 实验步骤

Step 1:

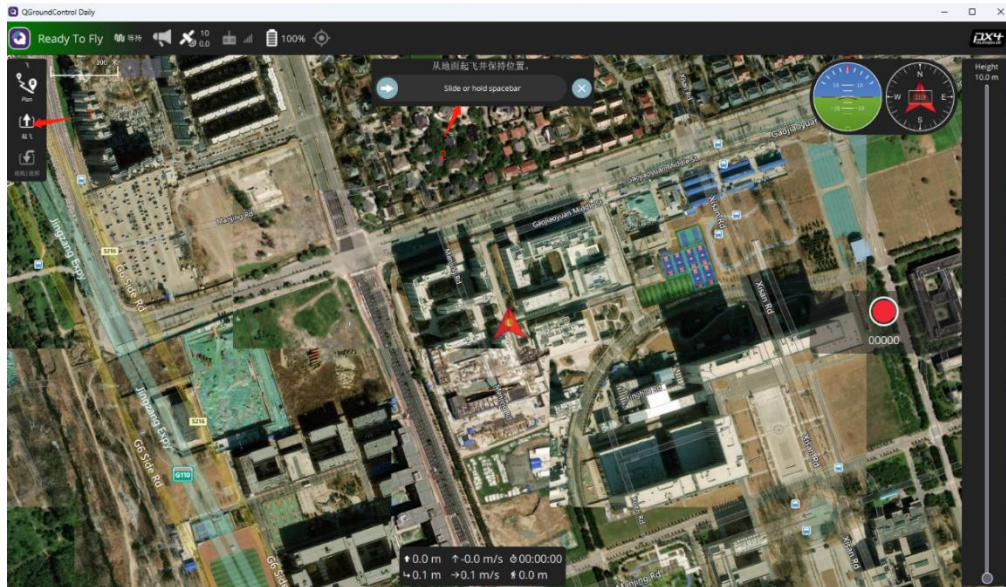
以管理员身份运行“Exp2_MaxModelTempSITL.bat”文件，并输入数字 1 后确定。



Step 2:





在初始化完成后，点击 QGC 左侧起飞按键，随后滑动 QGC 上方滑块确认起飞，可以在 RflySim3D 中看到起飞状态的飞机。

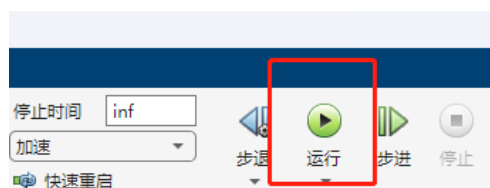
```
CopterSim: TCP port 4560 connected successfully with SITL
CopterSim: Receive Mavlink heartbeat
PX4: Init MAVLink
PX4: Awaiting GPS/EKF fixed for Position control...
PX4: EKF2 Estimator start initializing...
PX4: Found firmware version: 1.12.3dev
PX4: Command ID: 512 ACCEPTED
PX4: Command ID: 512 ACCEPTED
PX4: Command ID: 512 DENIED
PX4: Command ID: 512 ACCEPTED
PX4: GPS 3D fixed & EKF initialisation finished.
PX4: Enter Auto Loiter Mode!
```



Step 3:

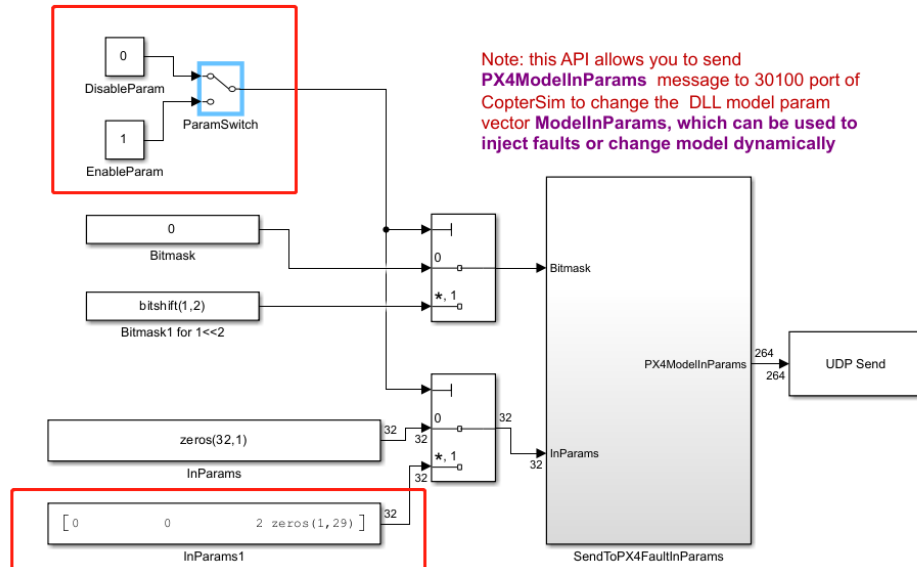
打开 PX4ExtMsgSender.slx 文件并运行

 Exp2_MaxModelTemp.dll	2023/8/18 11:22	应用程序扩展	239 KB
 Exp2_MaxModelTempSITL.bat	2023/8/4 10:40	Windows 批处理...	6 KB
 PX4ExtMsgSender.slx	2022/7/27 22:17	Simulink Model	41 KB
 readme.docx	2023/8/25 11:18	Microsoft Word ...	5,529 KB



Step 4:

然后点击切换 FaultSwitch 开关到 EnableParam，可以直接发送修改过的参数信息，使电机输出为零。



Step 5:

随后可以在 RflySim3D 中看到飞机直接降落，同时在 CopterSim 中可以看到数据接受信息。



7. 参考资料

[1]. DLL/SO 模型与通信接口 [..\..\API.pdf](#)

[2]. 外部控制接口 [..\..\API.pdf](#)

[3].

8. 常见问题

Q1.

A1.