

## 1. 实验名称及目的

**inSILInts 和 inSILFloats 接口实验：**熟悉平台最大系统模型 inSILInts 和 inSILFloats 接口的使用。

在使用 RflySim 平台进行软硬件在环仿真时，最大系统模型中的 inSILInts 和 inSILFloats 接口会接收来自外部的 UDP 结构体数据，端口号为 30100 系列。因此，用户可以通过 inSILInts 和 inSILFloats 接口来实现附加功能，如故障注入。

## 2. 实验原理

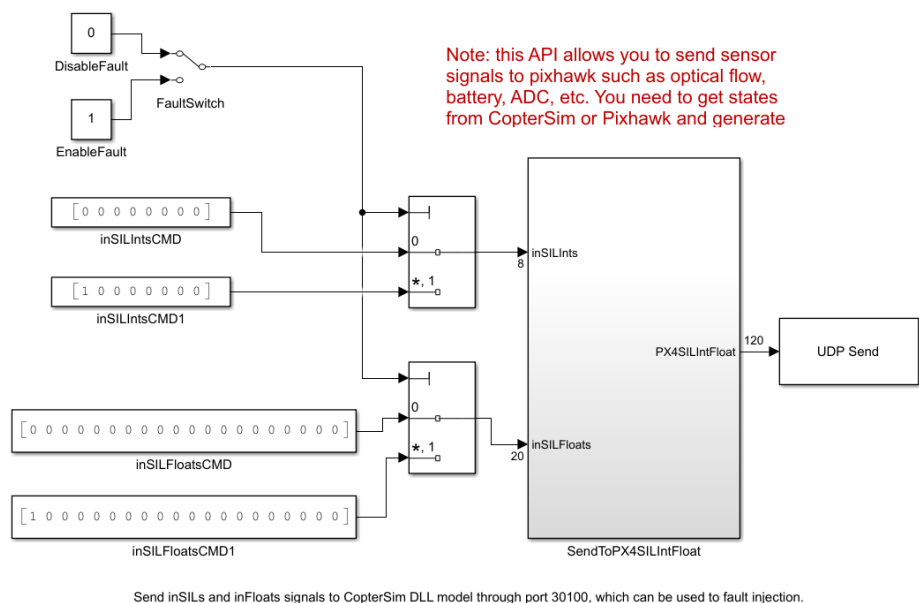
### 2.1. 软/硬件在环仿真（SIL/HIL）的实现[1][2]

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。

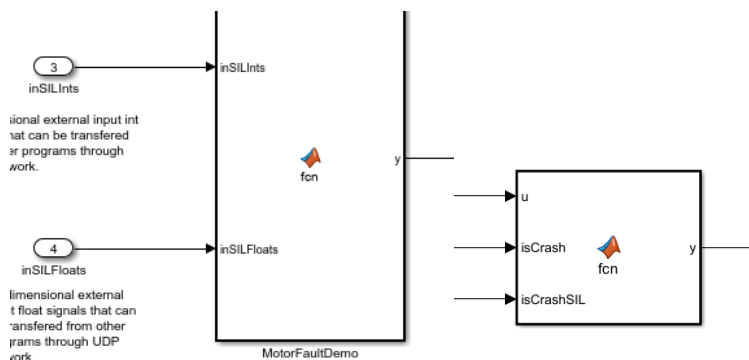
### 2.2. 通过外部控制接口（MATLAB）注入故障

与之前 [inFaultAPITest](#) 中通过故障注入脚本 InFaultAPITest.py 脚本注入电机故障的原理相同。这里通过 PX4ExtMsgSender.slx 中的 SendToPX4SILIntFloat 模块发送故障信息



注：这里的故障注入仅使用简化协议对通信接口进行验证，与第 7 讲所用的故障注入接口有所区别。

这里的值会通过 UDP 30100 转发到 CopterSim 下的 DLL 模型的 inSILFloats 和 inSILInts 接口，打开 Exp2\_MaxModelTemp.slx 可见，模型会通过以下两个函数作出判断：当 InsilInt 的第一位和 InsilFloat 的第一位大于 0.5 时触发电机故障



### 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，按照指定结构体向 inSILInts 和 inSILFloats 接口发送数据，触发电机故障，在 RflySim3D 中观察到四旋翼坠地。

### 4. 文件目录

文件夹/文件名称	说明
PX4ExtMsgSender.slx	故障注入发送文件。
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
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。

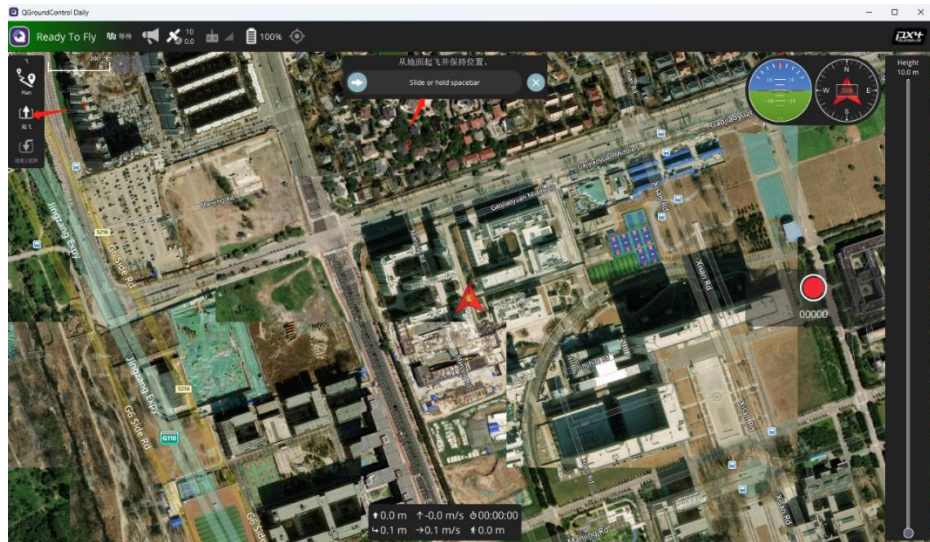
 Exp2_MaxModelTemp.dll	2023/8/18 11:22	应用程序扩展	239 KB
 Exp2_MaxModelTempSITL.bat	2023/8/4 10:40	Windows 批处理...	6 KB
 PX4ExtMsgSender.slx	2022/7/27 22:17	Simulink Model	41 KB
 readme.docx	2023/8/25 14:31	Microsoft Word ...	5,511 KB

```
C:\Windows\system32\cmd.e  X  +  v
已复制      1 个文件。
-----
Please input UAV swarm number:1|
```

### 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。

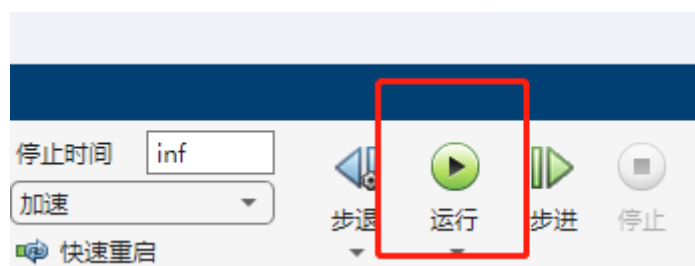
```
CopterSim: TCP port 4560 connected successfully with SITL
CopterSim: Receive Mavlink heartbeat
PX4: Init MAVLink
PX4: Awaiting GPS/EEF fixed for Position control...
PX4: EKF2 Estimator start initializing...
PX4: Found firmware version: 1.12.3dev
PX4: Command ID: 512 ACCEPTED
PX4: Command ID: 512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



### Step 3:

打开 PX4ExtMsgSender.slx 文件并运行

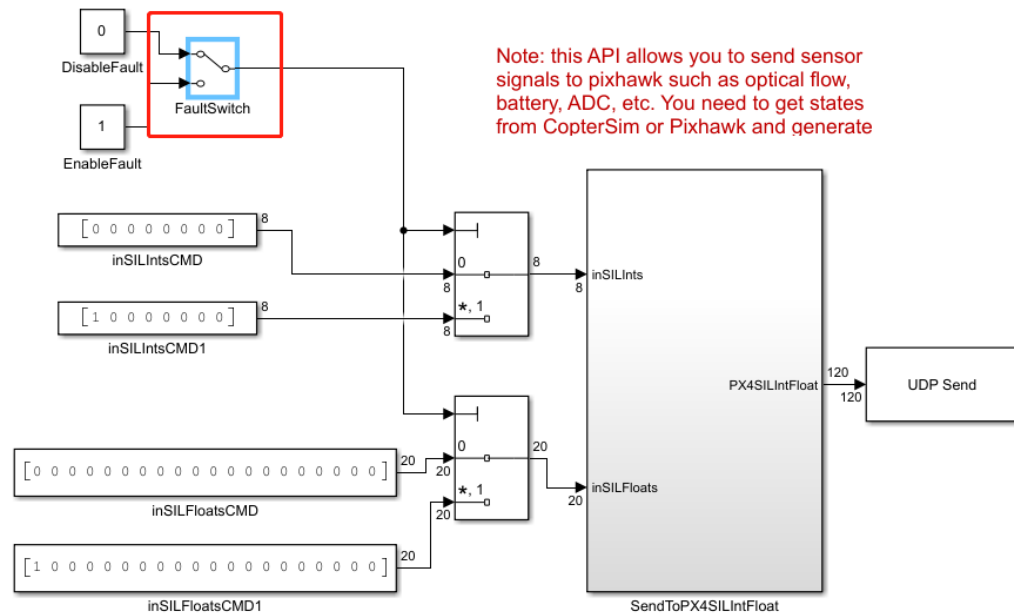
 Exp2_MaxModelTemp.dll	2023/8/18 11:22	应用程序扩展	239 KB
 Exp2_MaxModelTempSITL.bat	2023/8/4 10:40	Windows 批处理...	6 KB
 PX4ExtMsgSender.slx	2022/7/27 22:17	Simulink Model	41 KB
 readme.docx	2023/8/25 14:31	Microsoft Word ...	5,515 KB





## Step 4:

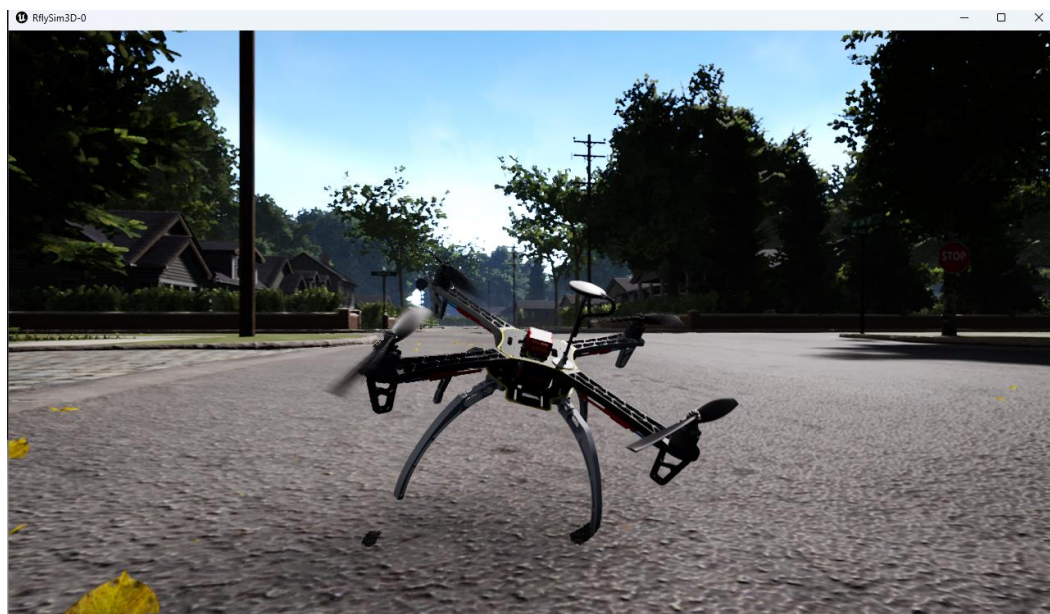
然后点击切换 FaultSwitch 开关，可以发送一个 inSILInts 和 inSILFloats 首位数都是 1 的信号，触发电机故障。



Send inSILs and inFloats signals to CopterSim DLL model through port 30100, which can be used to fault injection.

## Step 5:

随后可以在 RflySim3D 中看到飞机坠机，同时在 CoperSim 中可以看到数据接受和飞机状态。



```
PX4: Command ARM/DISARM ACCEPTED
PX4: Armed by external command
PX4: Motors Armed
PX4: Enter Takeoff Mode!
PX4: Takeoff detected
PX4: Enter Auto Landing Mode!
CopterSim: PX4ModelInParams MSG Received from port 30100
CopterSim: PX4SILIntFloat MSG Received from port 30100
PX4: Failsafe enabled: no global position
PX4: Failsafe mode activated
PX4: Navigation failure! Land and recalibrate sensors
PX4: Enter Land Mode!
```

## 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.