



智能无人集群系统开发与实践

基于RflySim平台的全栈开发案例

第7讲 安全测试与健康评估



大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结





1.安装方法

1.1 需要安装的组件

- Visual Studio 2017（体验版和完整版都需要安装）
- 为MATLAB配置C++ 编译器（体验版和完整版都需要安装）
- Matlab 2023a*（高级完整版安装）

下面介绍Visual Studio 2017的安装方法（需要联网）：
在本平台中，已经放置了Visual Studio 2017的安装包



1. 安装方法

1.2 Visual Studio 2017的安装方法

- 首先，我们可以打开平台安装的位置，找到*:\PX4PSP\RflySimAPIs此处位置，此处放置的是平台中的一些例程以及软件的安装包
- 之后，我们可以打开第四章的内容，找到基础版的例程，4.RflySimModel\1.BasicExps，我们可以在其中找到名为VS2017Installer的文件夹，其中便是Visual Studio 2017的安装包。



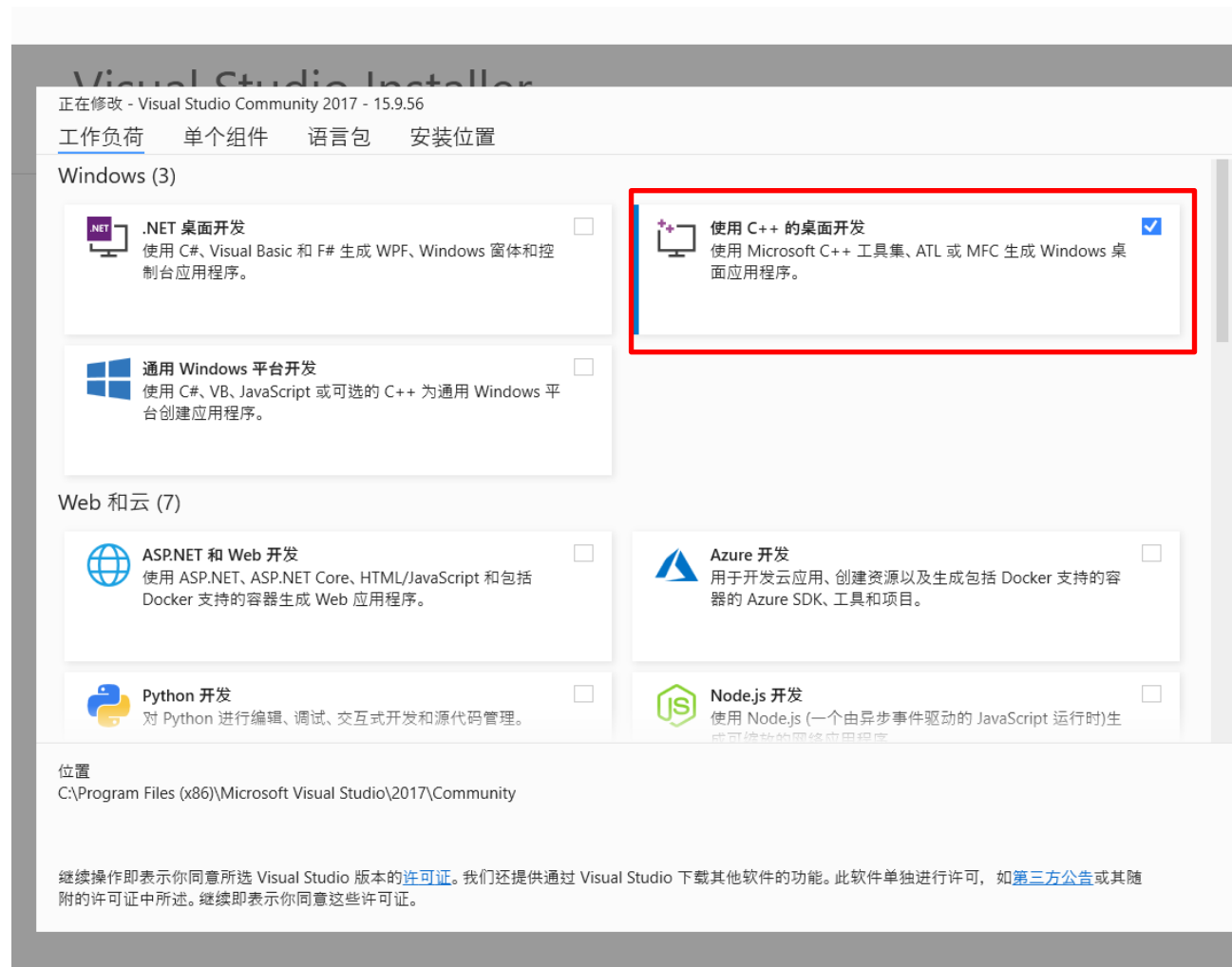
在线安装步骤（需联网）如下：双击
“RflySimAPIs\SimulinkControlAPI\VS2017Installer\vs_community2017.exe”



1.安装方法

1.2 Visual Studio 2017的安装方法

- 安装Visual Studio 2017 (也可以用其他版本, MATLAB能识别即可)。
- 后续课程很多地方都需要用到Visual Studio编译器, 例如MATLAB S-Function Builder模块的使用、Simulink自动生成C/C++模型代码等
- 本课程内容只需勾选右图的“C++的桌面开发”即可。





1.安装方法

1.2 Visual Studio 2017的安装方法

- 注意：高版本MATLAB也可安装VS2019，但是MATLAB只能识别到低于自己版本的Visual Studio，因此MATLAB 2017b无法识别VS 2019。
- 注意：请不要更改VS默认安装目录（例如装到D盘），会导致MATLAB无法识别。
- 不能使用Mingw编译器，需VS



1. 安装方法

• 1.3 为MATLAB 配置C++ 编译器

• 在MATLAB的命令行窗口中输入指令“`mex -setup`”

• 一般来说会自动识别并安装上VS 2017编译器，如右图所示显示“**MEX 配置使用 ‘Microsoft Visual C++ 2017’以进行编译**”说明安装正确

• 若有其他编译器，本页面还可以切换选择 VS 2013/2015等其他编译器

```
命令行窗口
>> mex -setup
MEX 配置为使用 'Microsoft Visual C++ 2017 (C)' 以进行 C 语言编译。
警告: MATLAB C 和 Fortran API 已更改, 现可支持
包含 2^32-1 个以上元素的 MATLAB 变量。您需要
更新代码以利用新的 API。
您可以在以下网址找到更多的相关信息:
http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab\_external/upgrading-mex-files-to-use-64-bit

要选择不同的 C 编译器, 请从以下选项中选择一种命令:
Microsoft Visual C++ 2013 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2013.xml C
Microsoft Visual C++ 2015 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2015.xml C
Microsoft Visual C++ 2017 (C) mex -setup:C:\Users\dream\AppData\Roaming\MathWorks\MATLAB\R2017b\win64\mexopts\msvc2017.xml C

要选择不同的语言, 请从以下选项中选择一种命令:
mex -setup C++
mex -setup FORTRAN
fx >>
```





1.安装方法

- 1.4 Matlab 2023a的安装方法
- MATLAB 安装包下载路径:
- <https://ww2.mathworks.cn/products/matlab.html>





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结



2.关键接口介绍

2.0 基础实验总览

包括基础功能接口“RflySimAPIs/7.RflySimPHM/0.ApiExps”以及基础例程“RflySimAPIs\7.RflySimPHM\1.BasicExps”

详细参见[API.pdf](#)以及[Readme.pdf](#)

名称	修改日期	类型
e1_SignTAG	2023/11/7 19:20	文件夹
e2_FaultParamStruct	2023/11/7 19:20	文件夹
e3_FaultInjectAPITest_mat	2023/11/7 19:20	文件夹
e4_FaultInjectAPITest_py	2023/11/7 19:20	文件夹
e5_ExtMsgSender	2023/11/7 19:20	文件夹
e6_UseFaultLib	2023/11/7 19:20	文件夹
e7_NoFaultModelMinTemplate	2023/11/7 19:20	文件夹
e8_BaseMotorFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e1_NoFaultModelMaxTemplate	2023/11/7 19:20	文件夹
e2_GPSFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e3_MotorFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e4_SensorFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e5_WindFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e6_LoadFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e7_PropFault	2023/11/7 19:20	文件夹
e8_BatteryFault	2023/11/7 19:20	文件夹



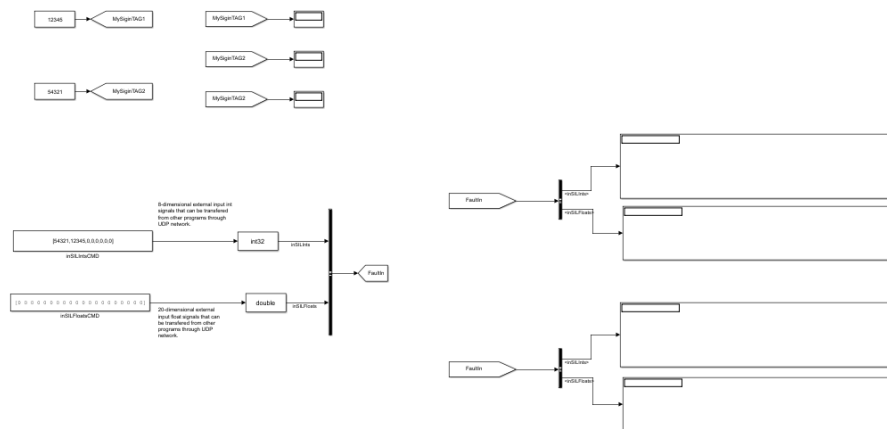
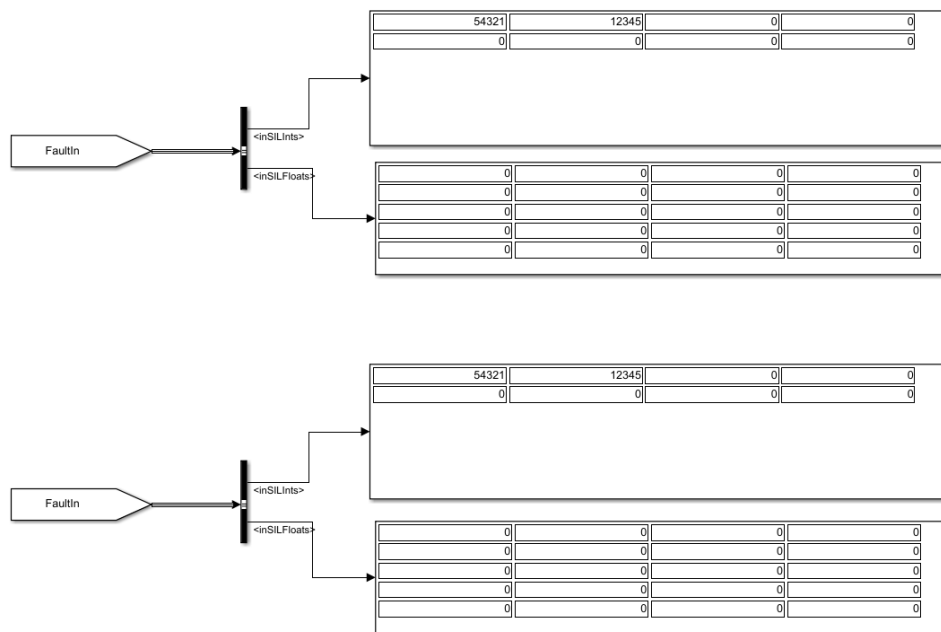
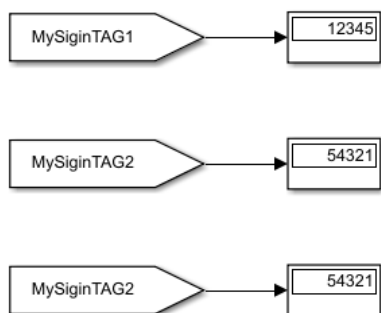


2.关键接口介绍

2.1信号标签模块的学习与使用

通过本次例程学习对 Goto 以及 From 模块的使用。详细操作及实验效果见

0.ApiExps/e1_SignTAG/readme.pdf





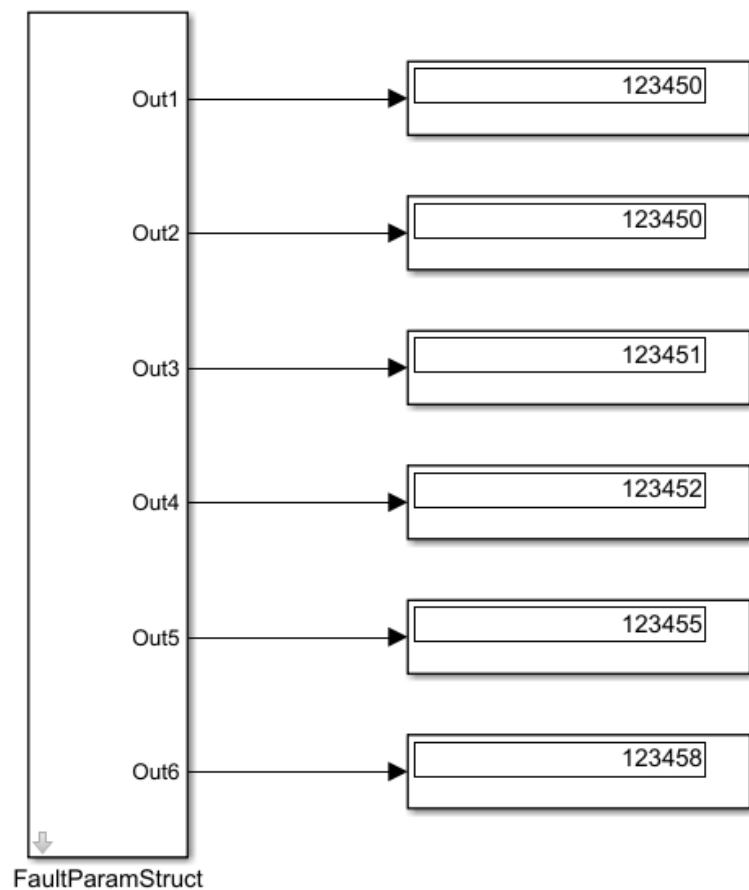
2.关键接口介绍

2.2故障参数与模块封装参数引用的学习与使用

学习通过创建封装参数从工作区读取所需故障参数。

详细操作及实验效果见

[0.ApiExps\e2_FaultParamStruct\readme.pdf](#)





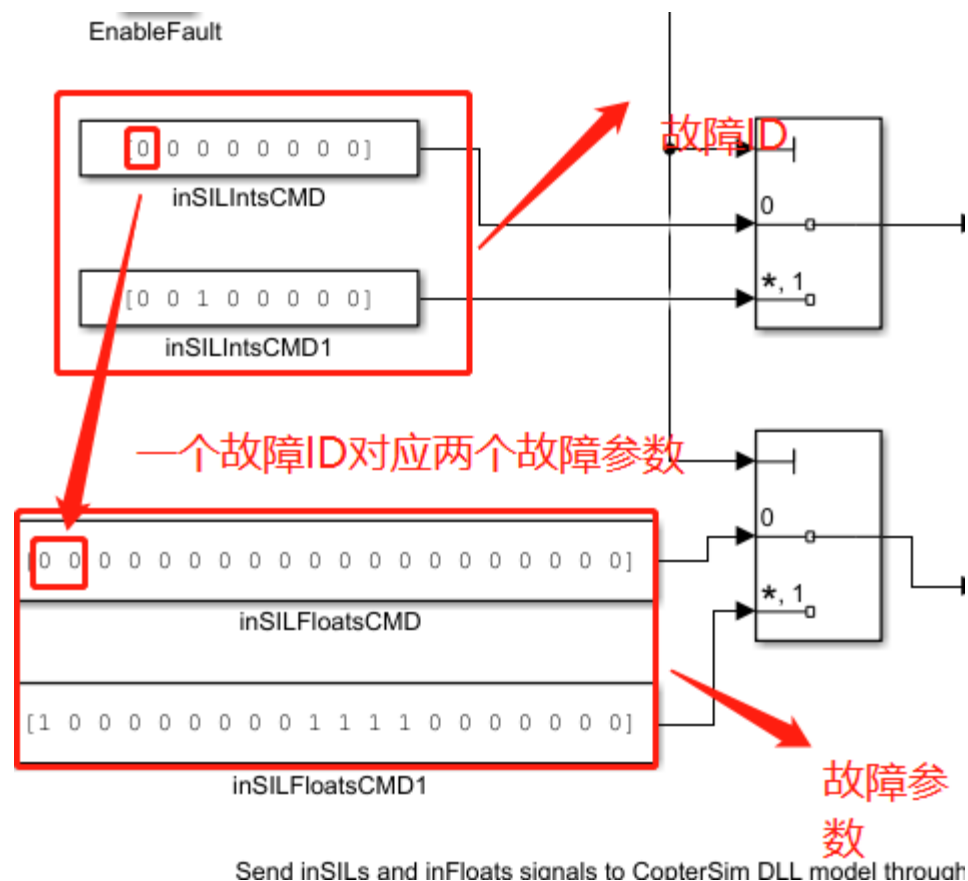
2.关键接口介绍

2.3 UDP模式发送故障注入参数模块的学习与使用

通过本次例程学习使用UDP模式发送故障注入参数代码。

具体实验操作及效果见

0.ApiExps/e3_FaultInjectAPITest_mat/readme.pdf

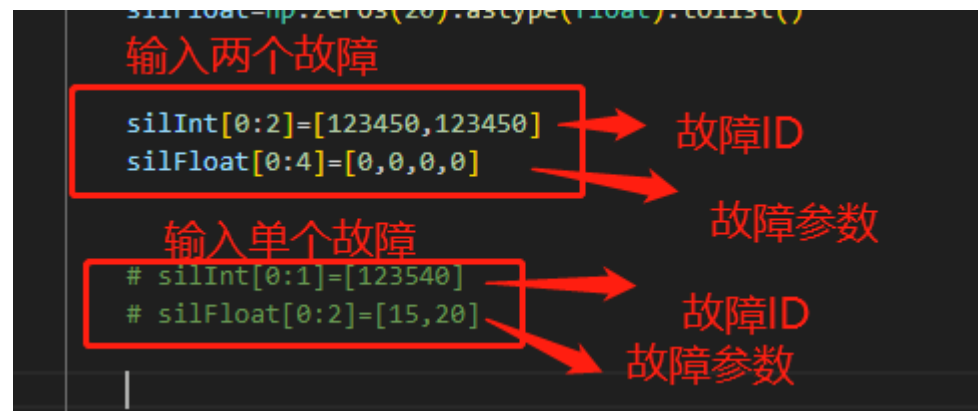




2.关键接口介绍

2.4 UDP模式发送故障注入参数模块的学习与使用

通过本次例程学习使用UDP模式发送故障注入参数代码。部分实验效果如右图，详细操作及实验效果见[0.ApiExps\e4_FaultInjectAPITest_py\readme.pdf](#)





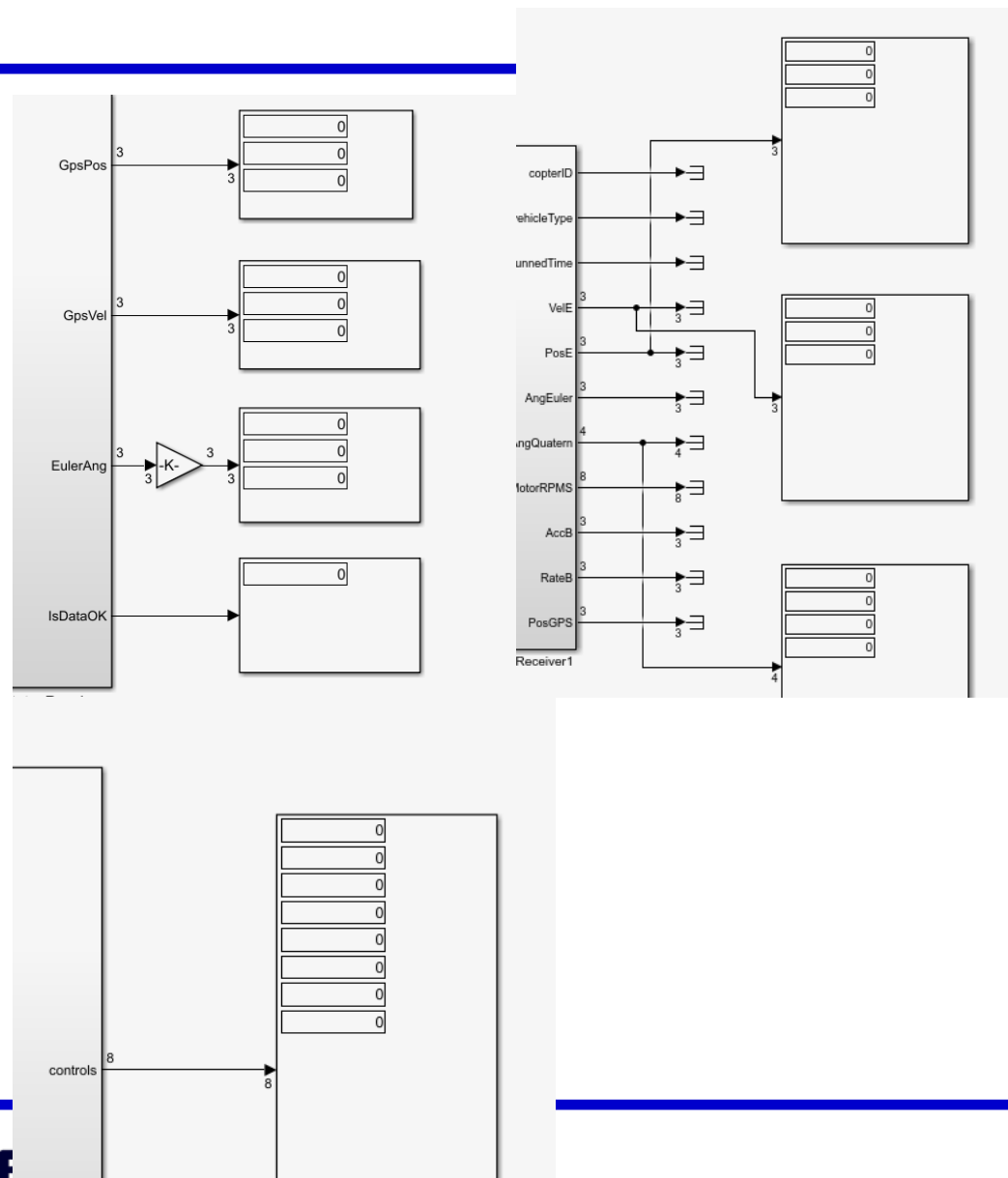
2.关键接口介绍

2.5 PX4外部消息发送与接收模块的学习与使用

通过本次例程学习如何向PX4的接口发送外部消息和接受PX4的状态信息。

具体实验操作及效果见

[0.ApiExps\e5_ExtMsgSender\readme.pdf](#)





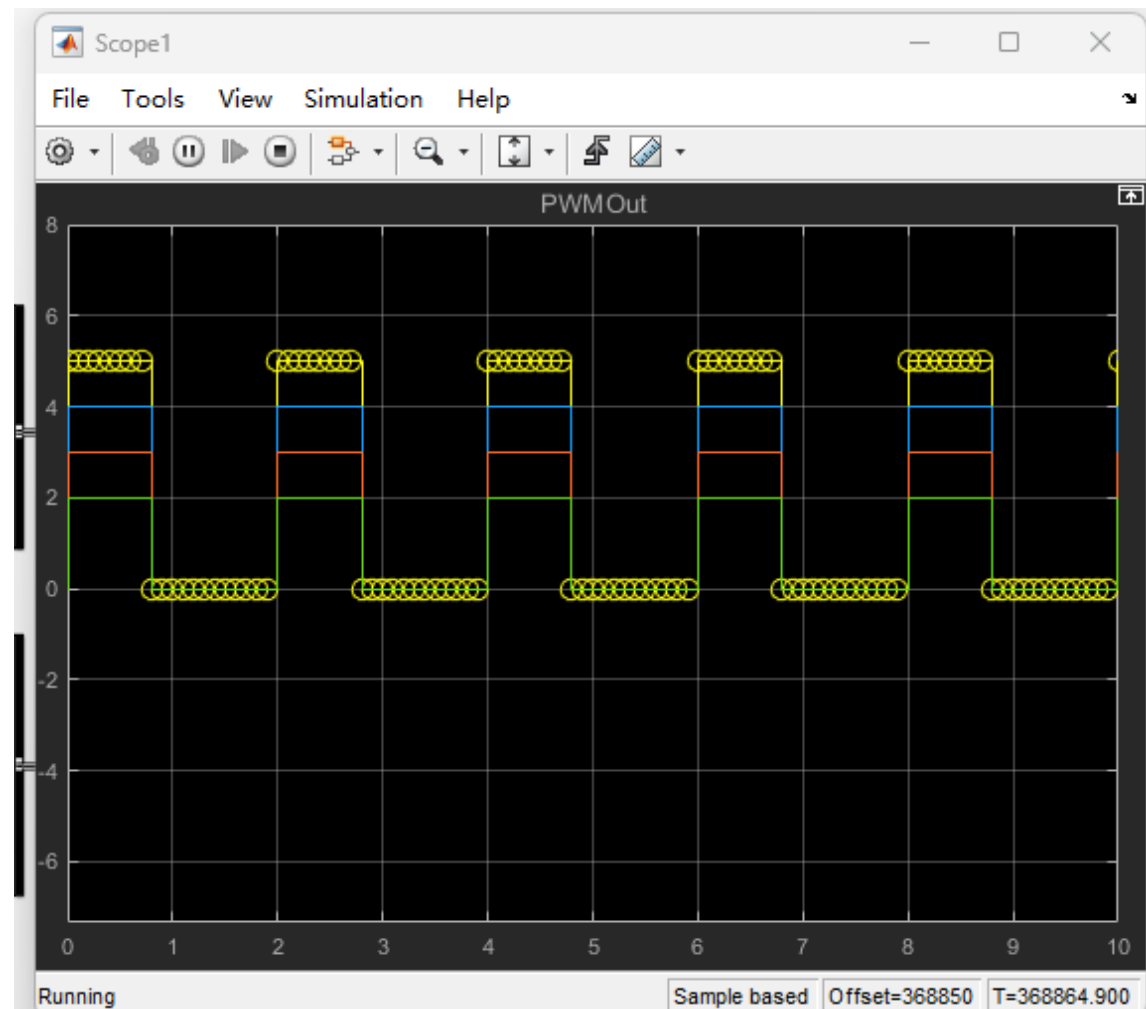
2.关键接口介绍

2.6电机故障建模原理的学习与使用

通过本次例程学习从0到1使用一个带有电机故障注入模块的学习与使用。

具体实验操作见文件

[0.ApiExps\e6 UseFaultLib\readme.pdf](#)





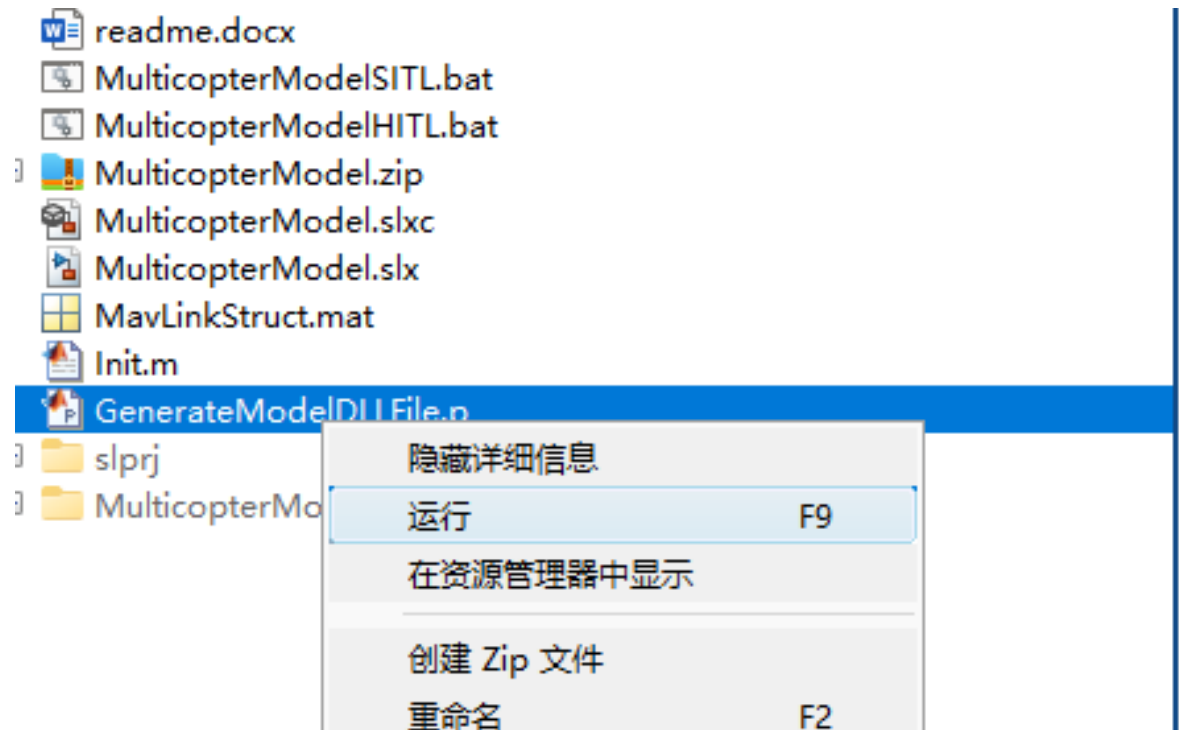
2.关键接口介绍

2.7故障注入模块的最小模板

通过本例程学习故障注入最小模板的使用，学习如何生成DLL文件。

具体实验操作见文件

[0.ApiExps\e7_NoFaultModelMinTemplate\readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结

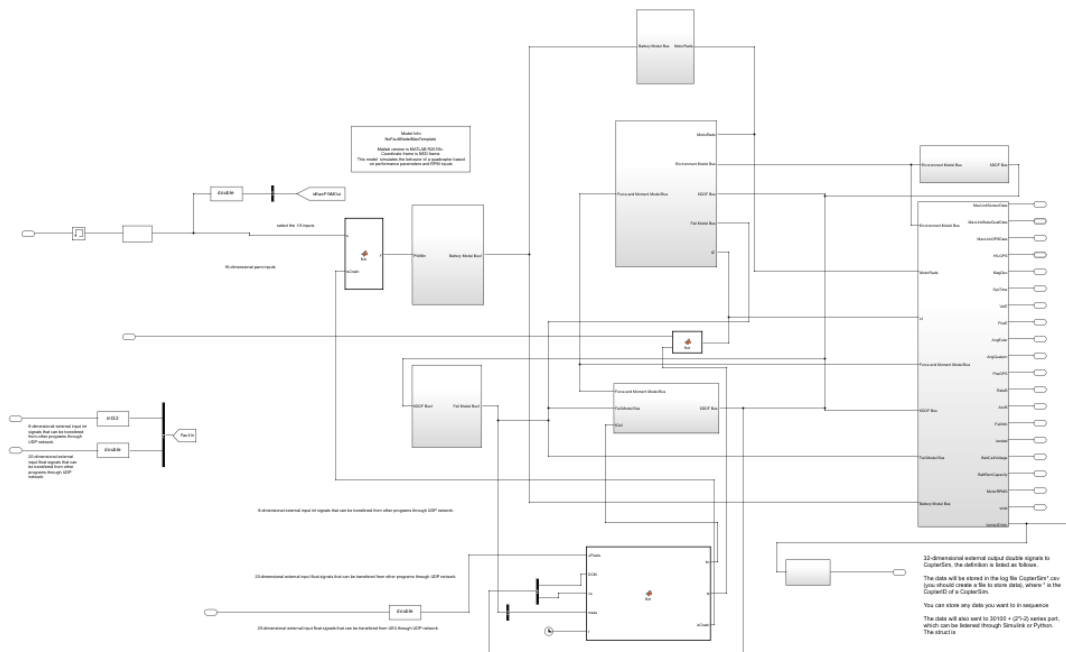


3.基础实验案例

3.1故障注入模块的最大模板

本实验没有产生任何故障效果，只是一个没有任何故障的最大模板，可以将任何故障注入模块来替换。最小模板跟最大模板的区别在于最小模板没有外部故障注入接口，最大模板有外部故障注入接口。

具体实验操作见文件[1.Basic Exps\e1_NoFaultModelMaxTemplate\readme.pdf](#)



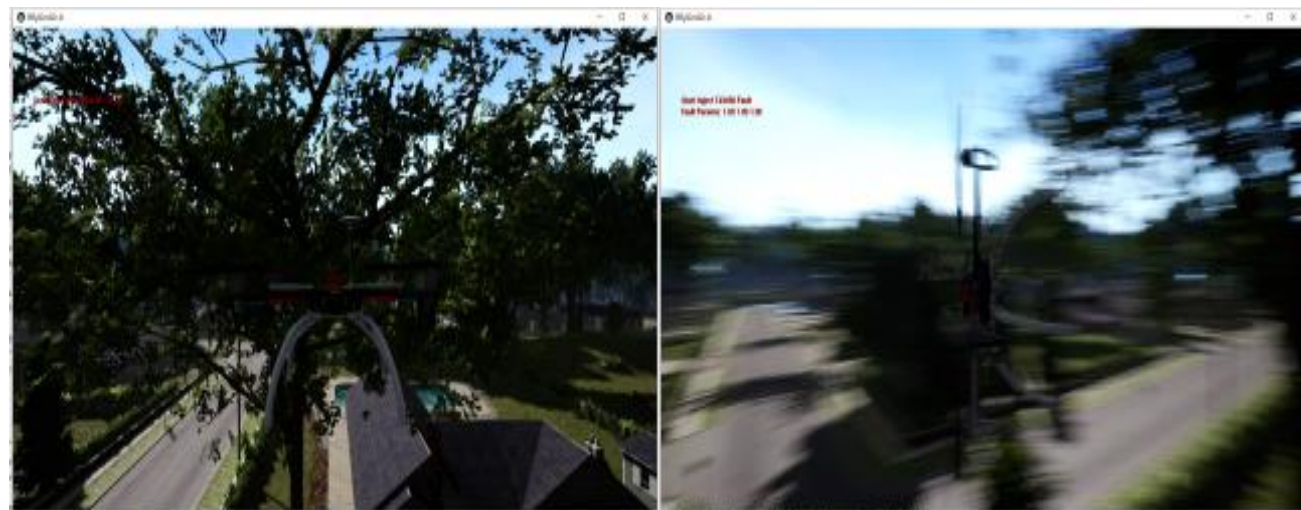


3.基础实验案例

3.2基于最大模板的GPS模块故障注入的原理

基于最大模板进行GPS模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件[1.Basic Exps\e2_GPSFault\Readme.pdf](#)



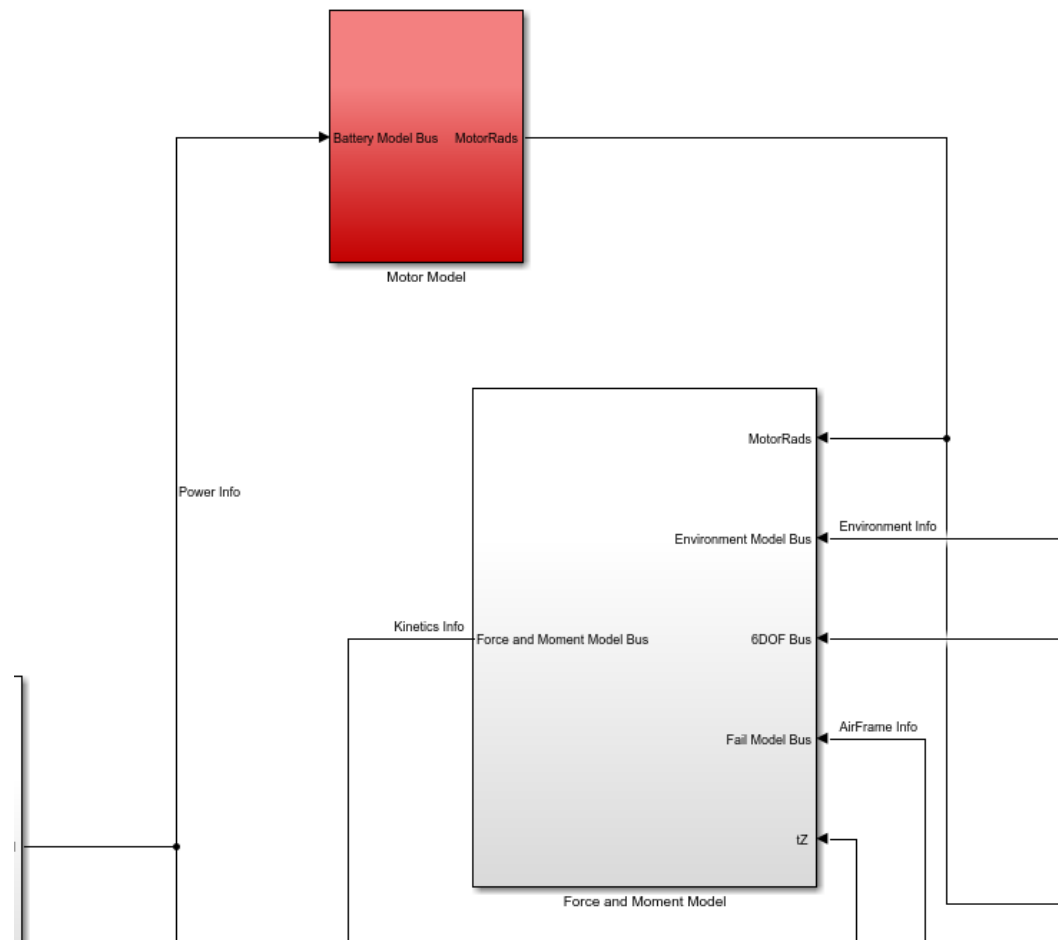


3.基础实验案例

3.3基于最大模板的电机模块故障注入的原理

基于最大模板进行电机模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件[1.Basic Exps\e3_MotorFault\Readme.pdf](#)



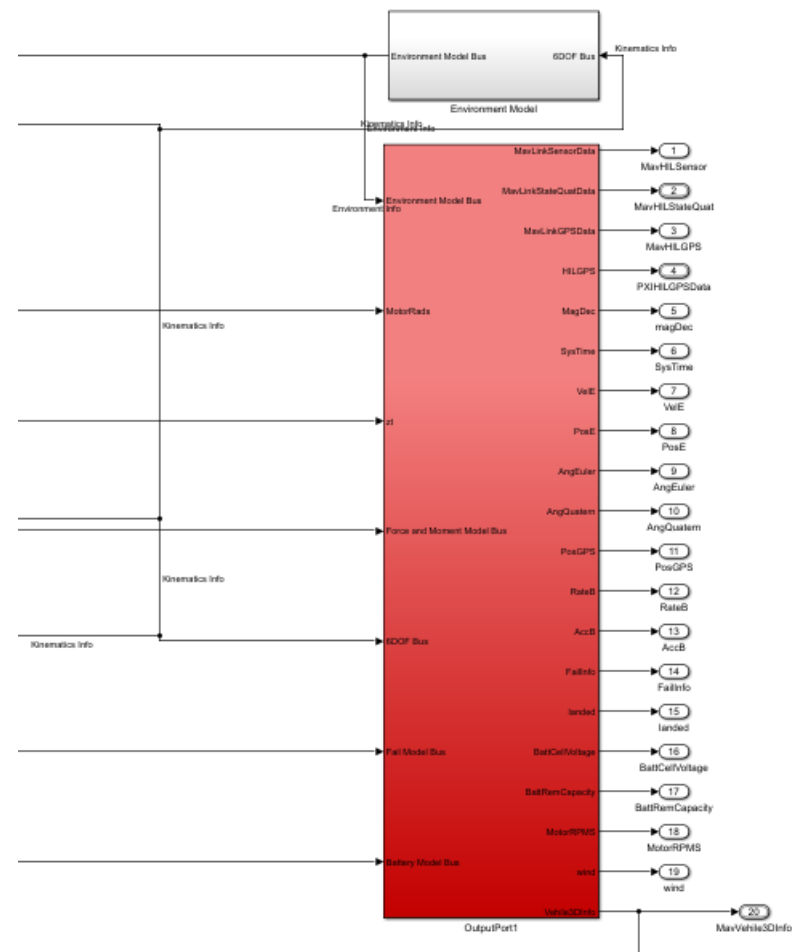


3.基础实验案例

3.4基于最大模板的传感器模块故障注入的原理

对最大模板的传感器模块故障建模，将故障建模的模型导出为 DLL 文件，再通过 Copter Sim 加载 DLL 文件，最后通过 udp 模式（python/matlab 形式）注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件 [1.Basic Exps\e4_SensorFault\Readme.pdf](#)

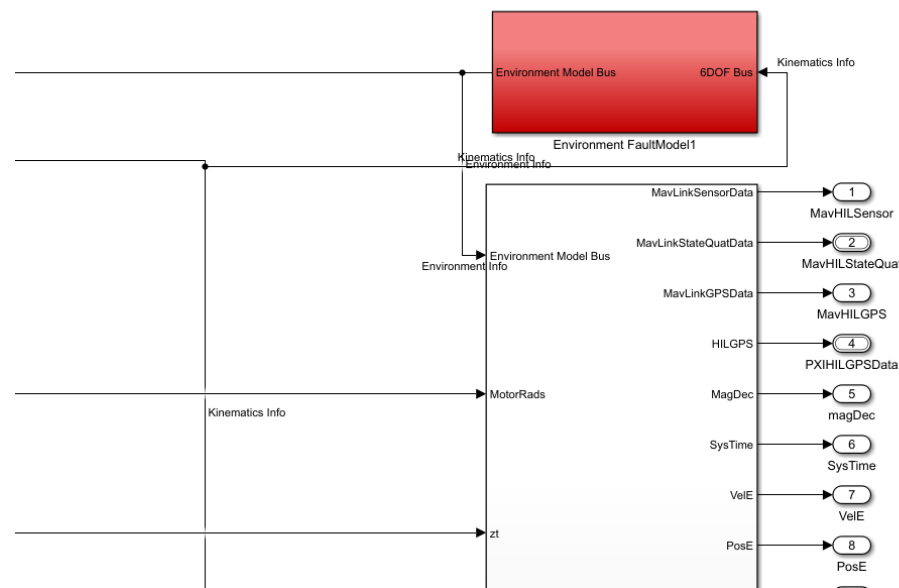




3.基础实验案例

3.5基于最大模板的环境风模块故障注入的原理

对最大模板的环境风模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行故障注入仿真。具体实验操作见文件[1.BasicExps/e5_WindFault/Readme.pdf](#)



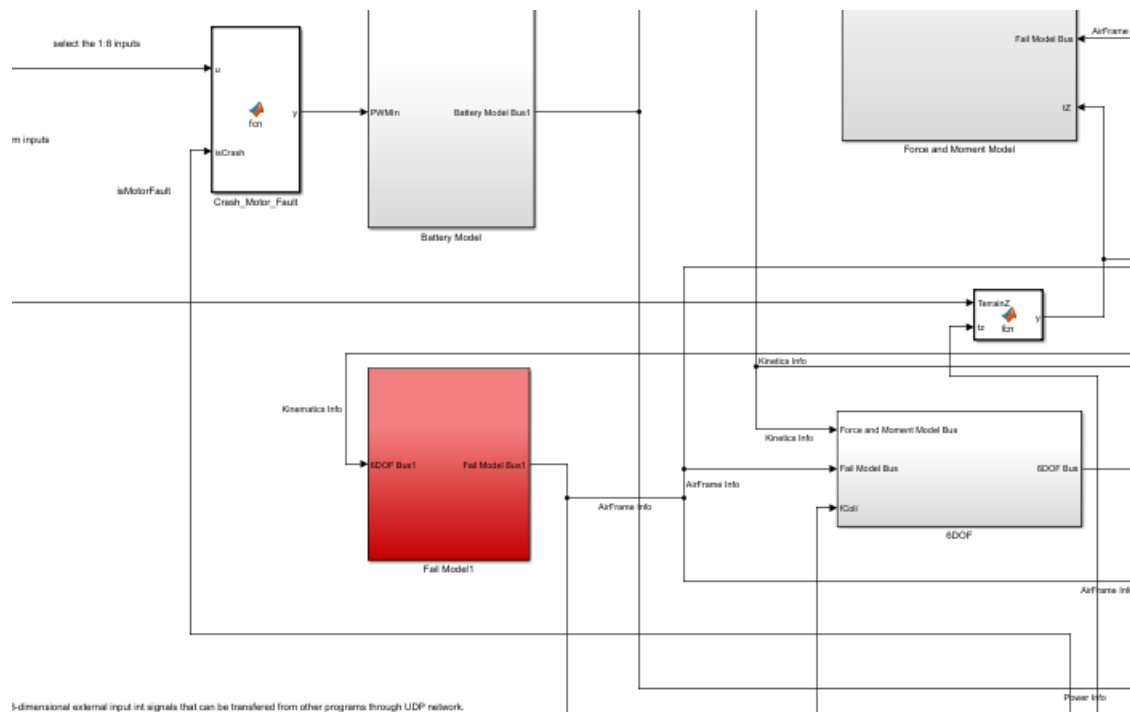


3.基础实验案例

3.6基于最大模板的负载模块故障注入的原理

对最大模板的负载模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件[1.Basic Exps\e6_LoadFault\Readme.pdf](#)

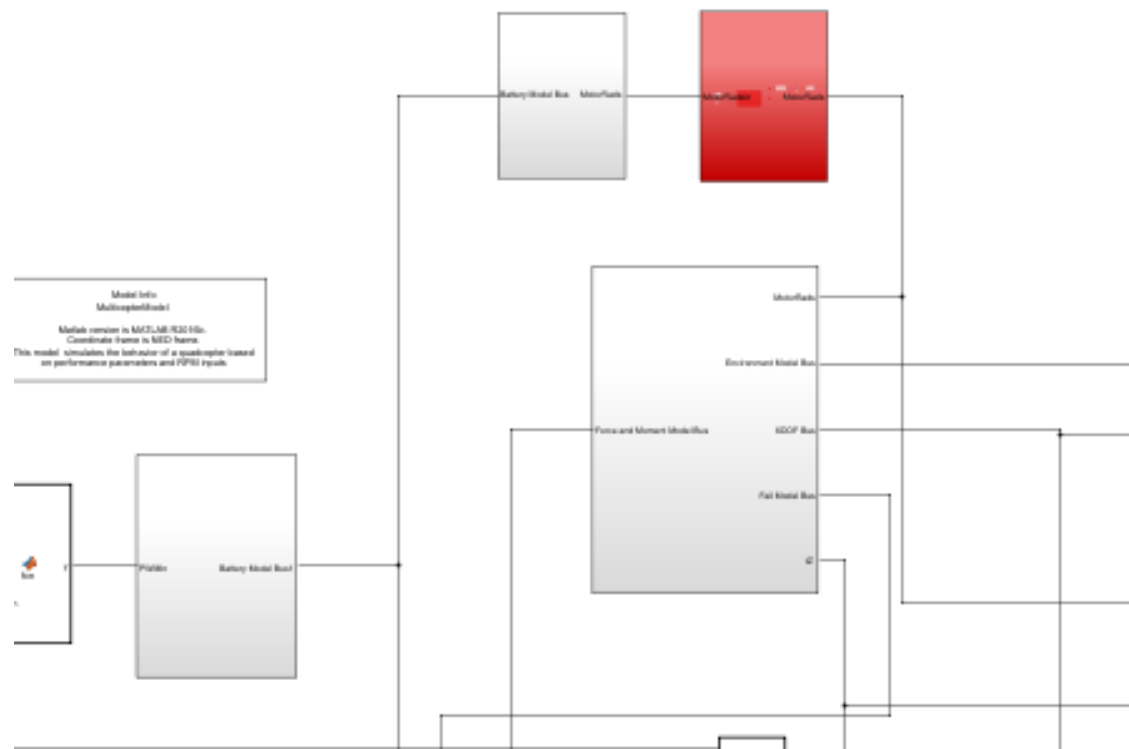




3.基础实验案例

3.7基于最大模板的螺旋桨模块故障注入的原理

对最大模板的螺旋桨模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行故障注入仿真。具体实验操作见文件[1.BasicExps/e7_PropFault/Readme.pdf](#)



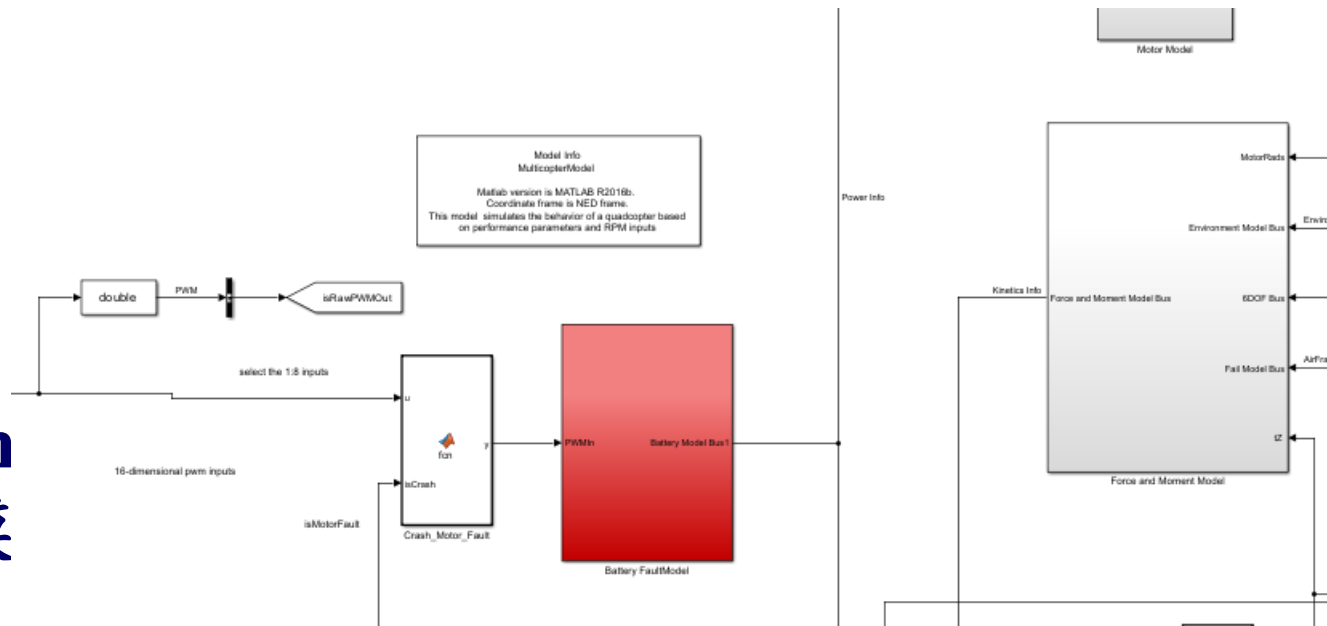


3.基础实验案例

3.8基于最大模板的电池模块故障注入的原理

对最大模板的电池模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件[1.Basic Exps\e8_BatteryFault\Readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结

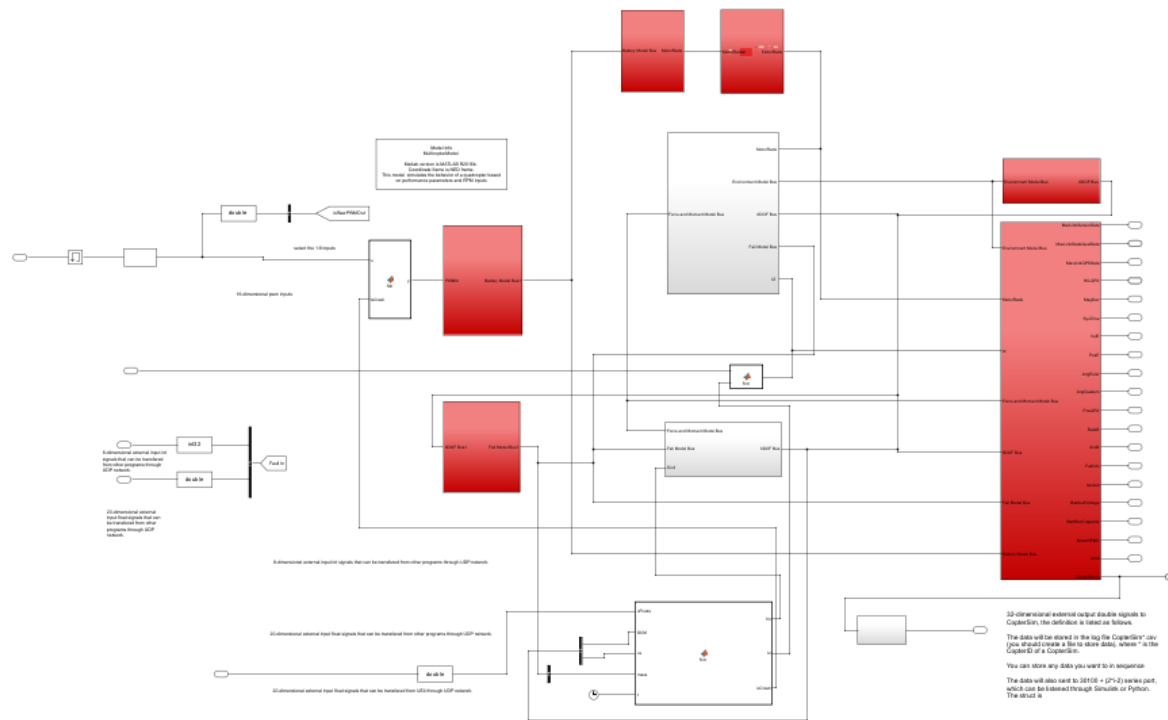


4.进阶案例实验

4.1基于最大模板的全故障模块注入的原理

对最大模板的全故障模块故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行故障注入仿真。

具体实验操作见文件[2.AdvExps/e1_FullFaultModelTemplate/readme.pdf](#)





4.进阶案例实验

4.2故障生成注入界面应用程序

基于最大模板进行各种故障注入，通过MATLAB APP设计出一个可以对模型注入各种故障参数的APP，通过此方法可以明显的看出注入的故障，并能够将生成的故障注入到软件在环中，达到故障注入的效果。

具体实验操作见文件[2.AdvExps/e2_FailureGenerator GUI APP/readme.pdf](#)

MATLAB App

手动故障

初始化 停止 记录日志 运行时间 0 s

故障设备	使能	故障描述	故障参数			
电机	<input type="checkbox"/>	电机执行效率故障	电机1	0	电机2	0
	<input type="checkbox"/>	电机转速异常	电机3	0	电机4	0
螺旋桨	<input type="checkbox"/>	螺旋桨执行效率故障	电机1	0	电机2	0
	<input type="checkbox"/>		电机3	0	电机4	0
电池	<input type="checkbox"/>	电池失效故障	螺旋桨1	0	螺旋桨2	0
	<input type="checkbox"/>	低电压故障	螺旋桨3	0	螺旋桨4	0
	<input type="checkbox"/>	低电量故障				
负载	<input type="checkbox"/>	负载故障	电压失效比	0		
	<input type="checkbox"/>	负载漂移故障	电量失效比	0		
	<input type="checkbox"/>	负载泄露故障	重量泄露比	0	漂移因子X	0
环境风	<input type="checkbox"/>	常风故障	重量泄露比	0	漂移因子Y	0
	<input type="checkbox"/>	阵风故障	重量泄露比	0	泄露因子	0
	<input type="checkbox"/>	紊流风故障	常风故障	0	常风故障	0
	<input type="checkbox"/>	切向风故障	阵风强度	0	持续时间	0
传感器	<input type="checkbox"/>	加速度计噪声干扰	紊流风强度	0		
	<input type="checkbox"/>	陀螺仪噪声干扰	切向风强度	0		
	<input type="checkbox"/>	磁力计噪声干扰	噪音增益	0		
	<input type="checkbox"/>	气压计噪声干扰	噪音增益	0		
GPS	<input type="checkbox"/>	GPS故障	噪音增益	0	锁定星数	0
			噪音增益	0	搜星数	0

保存故障参数 选择已有故障参数 故障发送



4.进阶案例实验

4.3飞控源码故障注入实验

本实验提供了一套将场景通过本实验不在依靠自动生成代码进行故障注入实验，而是直接对源码进行修改，从而实现故障注入的效果。

具体实验操作见文件

[2.AdvExps\3 PX4](#)

[FailureGenerator\readme.pdf](#)

```
(G) 运行(R) 终端(T) 帮助(H) PythonSender.py - PythonSender - Visual Studio Code
PythonSender.py X PX4MavCtrlV4.py
PythonSender > PythonSender.py > ...
9 mav = PX4MavCtrl.PX4MavCtrl(20100)
10
11
12 #Turn on MAVLink to monitor CopterSim data and update it in real time.
13 # 可以监听数据来自20100端口，主要是outHILStateData结构体
14 mav.InitMavLoop()
15 time.sleep(0.5)
16
17 #Turn on MAVLink to monitor CopterSim data and update it in real time.
18 # 开始监听数据来自30100端口，主要是SOut2Simulator，表示飞机真值数据
19 # 开始监听数据来自40100端口，主要是PX4ExtMsg，来自PX4内部向外发布的数据
20 mav.InitTrueDataLoop()
21 time.sleep(5)
22
23 ctrls=[123450,2,120,120,120,0,120,120,0,0,0,0,0,0,0]
24
25 # 发送SendHILCtrlMsg数据，在PX4内部产生rfly_ctrl的uORB消息
26 mav.SendHILCtrlMsg(ctrls)
27
28
29 time.sleep(5)
30 #Display Position information received from CopterSim
31 print(mav.uavPosNED) # 飞控数据来自20100端口
32
33 time.sleep(3)
34 print(mav.truePosNED)# 真值数据来自30100端口
35
```





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结

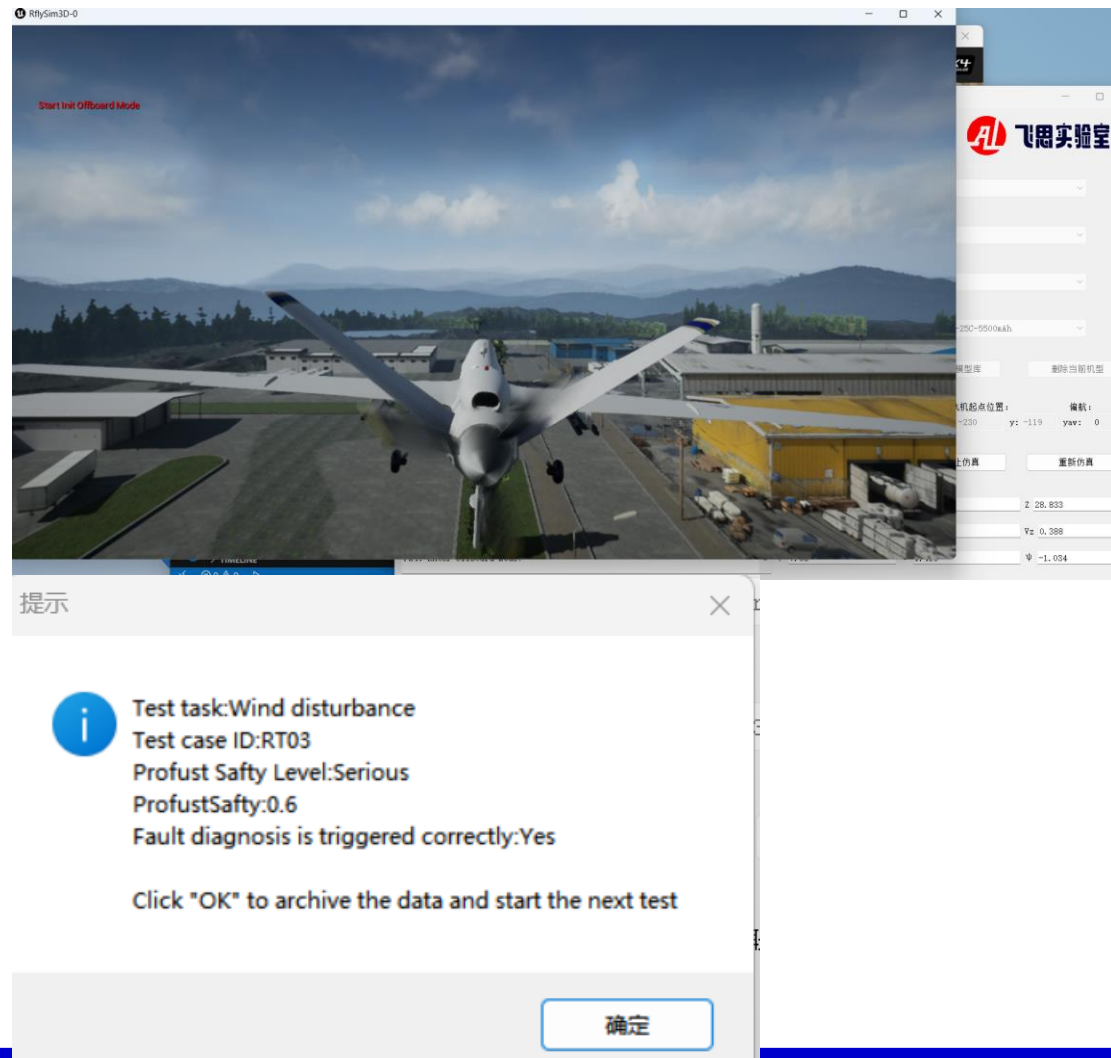


5.扩展案例

5.1电机故障安全评估实验

对电机进行pwm输出故障建模，将故障建模的模型导出为DLL文件，再通过CopterSim加载DLL文件，最后通过udp模式（python/matlab形式）注入故障码进行安全测试，并记录测试结果。

详细实验流程参见[3.CustExps/e1_HealthProjPlatform/readme.pdf](#)





大纲

1. 实验平台配置
2. 关键接口介绍（免费版）
3. 基础实验案例（免费版）
4. 进阶案例实验（集合版）
5. 扩展案例（完整版）
6. 小结



7. 小结

- 本讲主要对无人机系统的故障注入模型进行讲解，分为基础实验、进阶实验和扩展案例三部分，可以实现模型故障注入以及飞控源码注入教程。

如有疑问，请到<https://doc.rflysim.com/>查询更多信息。



RflySim更多教程



扫码咨询与交流



飞思RflySim技术交流群



谢谢！