



---

# 智能无人系统设计与控制 系列实验

## RflySim高级课程 第2讲 飞行控制算法开发



# 大纲

---

1. 课程学习

2. 基础实验

3. 进阶实验

4. 小结



# 1.课程学习

## 1.1 参考教材

- 全权,戴训华,王帅著.多旋翼飞行器设计与控制实践[M].北京:电子工业出版社.2020



注:

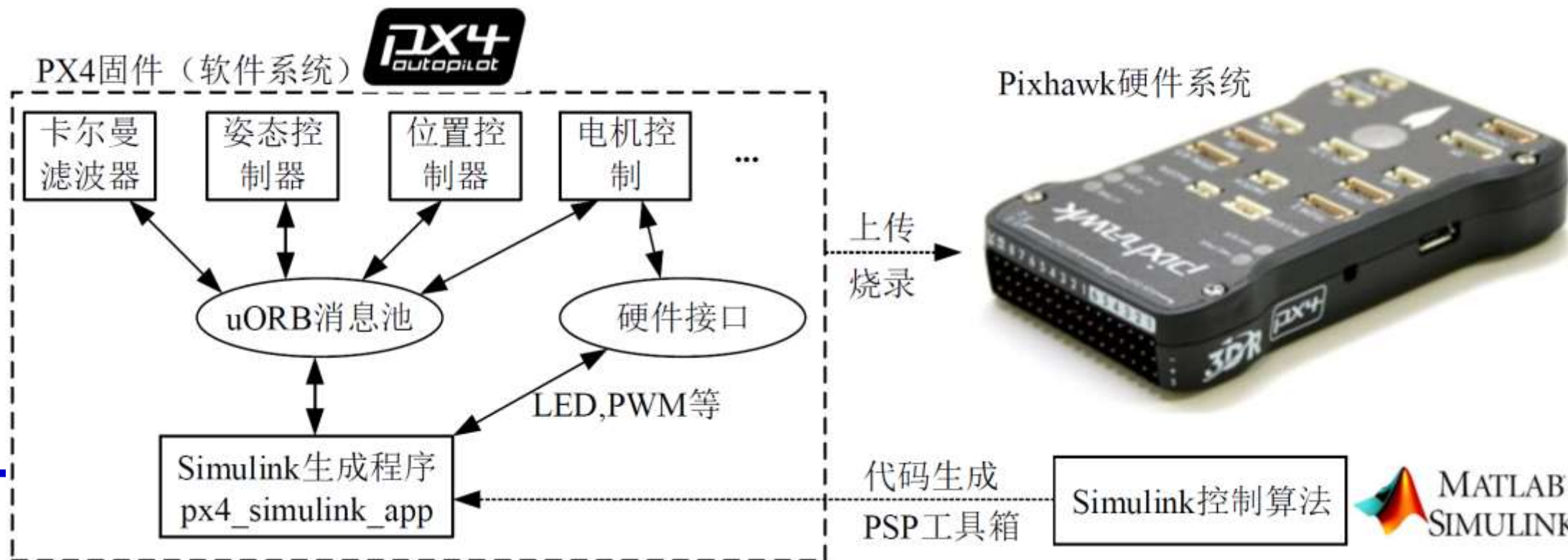
- 左侧的《多旋翼飞行器设计与控制实践》为2020年推出的针对飞行控制算法开发的实践课程，里面包含了部分理论知识与一系列实验，使得读者可以很快地将自己算法在Simulink中编程，并下载到Pixhawk真机中做飞行实验。
- 右侧的《多旋翼飞行器设计与控制》为2017年推出的教程，主要针对多旋翼控制理论。



# 1.课程学习

## 1.2 Pixhawk/PX4/Simulink代码生成平台构架

- Pixhawk是硬件（相当于电脑主机），PX4是飞控软件（相当于Windows操作系统），Simulink控制器生成代码后编译成固件（相当于系统iso镜像），上传到Pixhawk硬件（相当于重装系统），Simulink控制器以新线程（相当于电脑上第三方APP）独立于PX4官方控制器（相当于系统预装软件），并行运行。

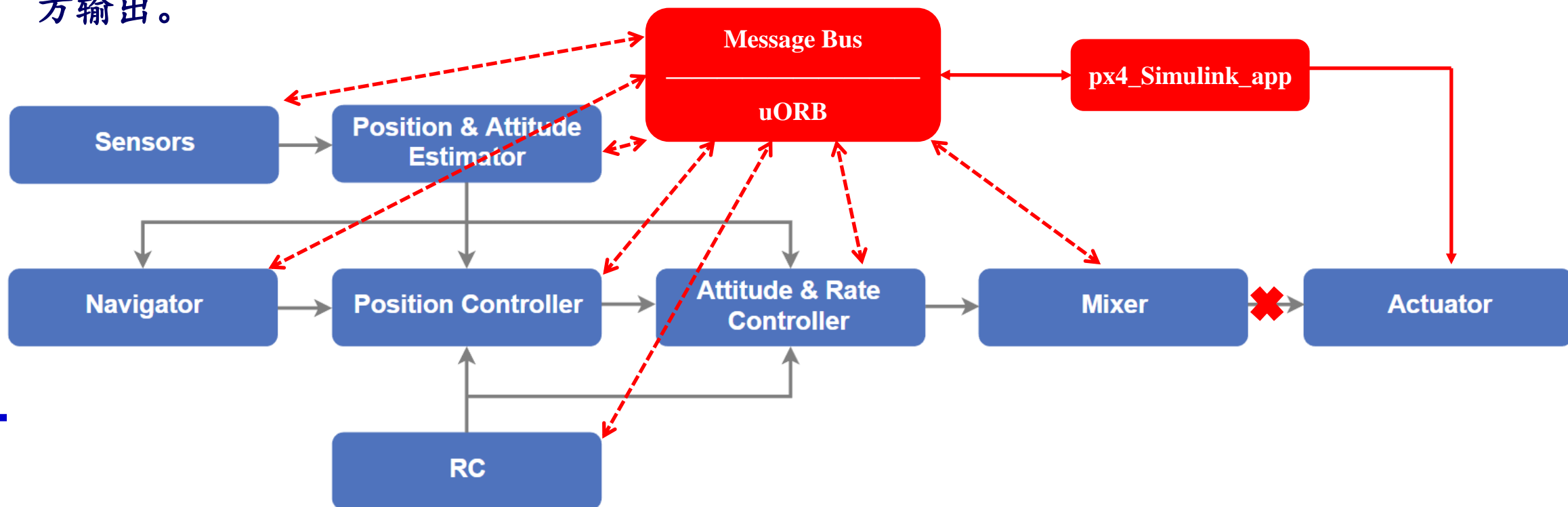




# 1.课程学习

## 1.3 为何屏蔽PX4输出

- PX4采用uORB发布与订阅消息机制，任何APP都可以从uORB消息池中获取和发布数据。
- Simulink代码生成到Pixhawk后生成名为px4\_Simulink\_app的一个APP，可以通过uORB消息池机制与其他APP通信。
- Simulink\_App不能和PX4控制器同时访问电机，不然会产生冲突，因此需要屏蔽PX4官方输出。





# 1.课程学习

## 1.4 Simulink 自动代码生成配置

新建任意空白slx例程文件

1、进入Simulink设置页面（MATLAB 2019b及以上需要在MODELING标签页点击设置按钮）。

2、选择Hardware board设置为Pixhawk PX4后，会自动完成本平台需要的所有代码生成设置。

3、可以定制任务优先级。

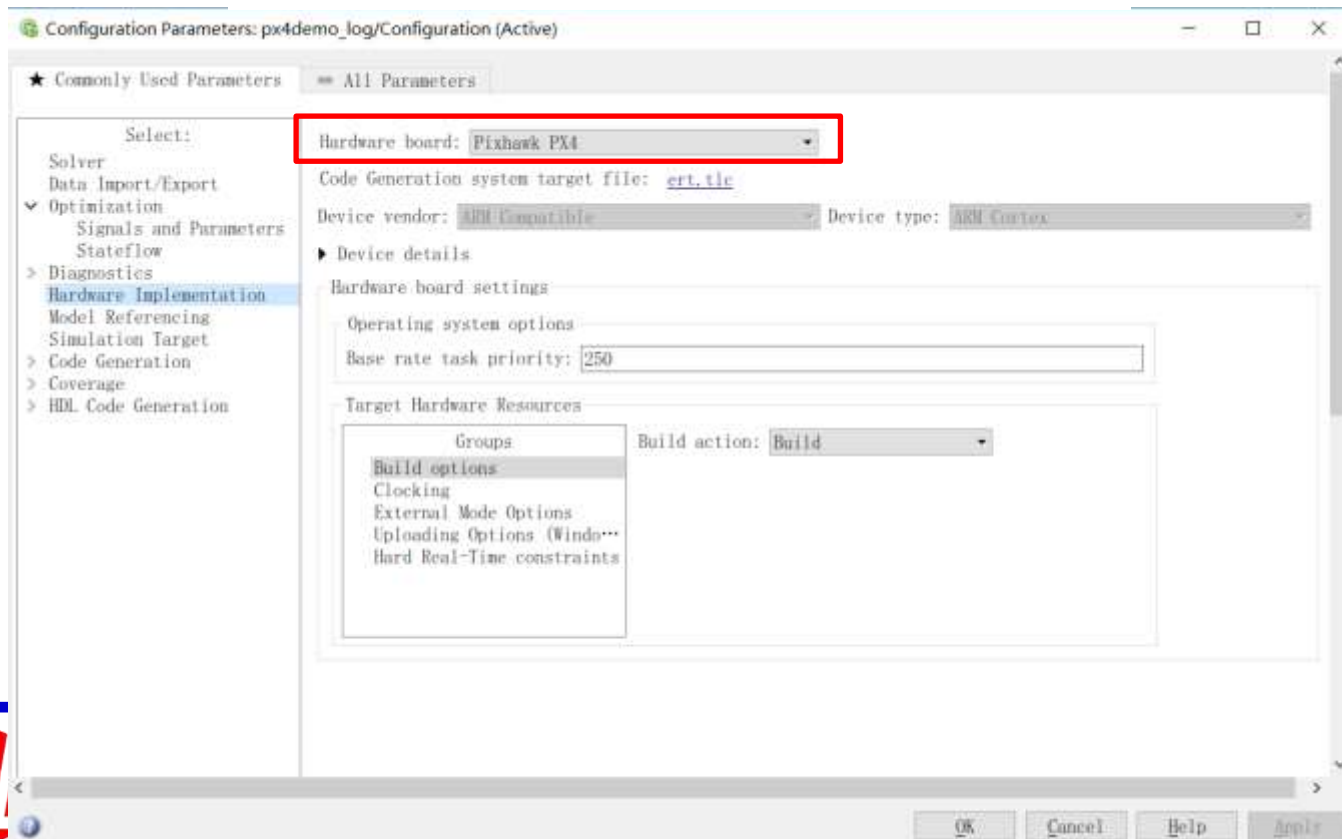
4、配置编译选项。



(a) Simulink “设置”按钮（MATLAB 2017b~2019a）



(b) Simulink “设置”按钮（MATLAB 2019b及更高版本）



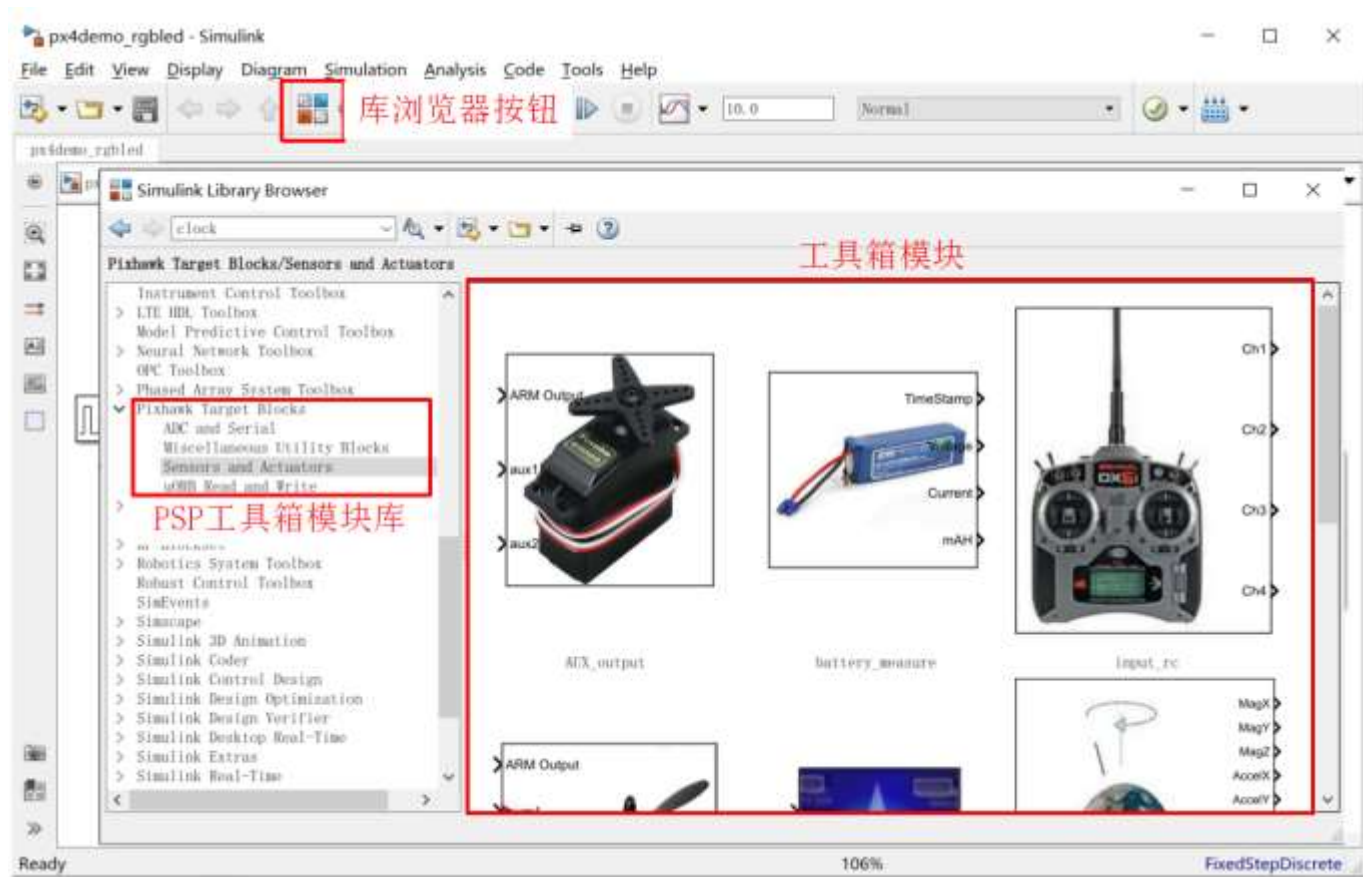




# 1.课程学习

## 1.5 PX4PSP工具箱位置

- 任意打开一个Simulink文件，点击“库浏览器（Simulink Library Brower）”按钮，可以在其中找到PSP工具箱的“Pixhawk Target Blocks”模块库。
- 其中的模块可以看做是从PX4的uORB池中订阅或发布数据的上层封装的接口，包含了传感器、遥控器、电机、串口等功能。
- 注意：这些模块内部没有模型，只有在生成代码并编译成PX4固件时才能获取数据，在Simulink中直接运行的话，接收到的数据为全0。
- 各个模块更详细的使用方法，可以参考[基础版](#)课程或教程的第三讲。





# 1.课程学习

## 1.6 实验配置—推荐安装配置选项

- 推荐使用最新的Pixhawk 4（外观见下图）自驾仪，其编译命令为px4\_fmu-v5\_default。
- 重新运行安装包内“OnekeyScript.p”脚本
- 使用最新的PX4固件版本“6”——PX4-1.12.3
- 其他配置如右图所示。



工具箱一键安装脚本

1.工具包安装路径  
C:\PX4PSP

2.PX4固件编译命令: PX4-1.8之前样式px4fmu-v3\_default, PX4-1.9之后样式px4\_fmu-v3\_default  
px4\_fmu-v5\_default

3.PX4固件版本 (1: PX4-1.7.3, 4: PX4-1.10.2, 5: PX4-1.11.3, 6: PX4-1.12.3)  
6

4.PX4固件编译器 (1: Win10WSL[通用], 2: Msys2[适用版本≤PX4-1.8], 3: Cygwin[适用≥PX4-1.8])  
1

5.是否重新安装PSP工具箱(是: 重装工具箱, 否: 维持现有安装)  
否

6.是否重新安装其他依赖程序包 (CopterSim、QGC地面站、硬件在环仿真软件等, 约5分钟)  
否

7.是否重新配置固件编译器编译环境 (是: 全新安装编译器, 否: 维持原样, 重装约5分钟)  
否

8.是否重新部署PX4固件代码 (是: 全新部署代码, 否: 维持现状, 大约5分钟)  
否

9.是否预先用选定命令编译固件 (是: 全新编译固件, 否: 维持现状, 大约5分钟)  
是

10.是否屏蔽PX4官方控制器输出(使用Simulink控制器选"是", 使用PX4官方控制器选"否")  
是

确定 取消

注: 或者在MATLAB中输入“PX4CMD  
px4\_fmu-v5\_default”命令来快速切换。

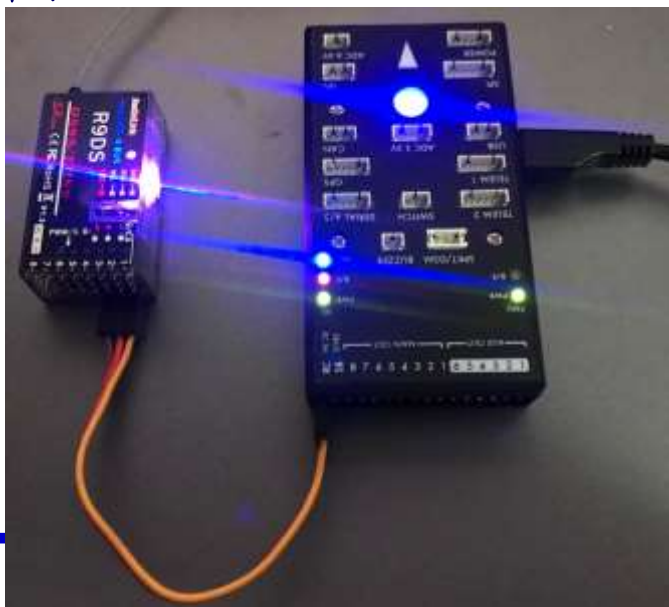
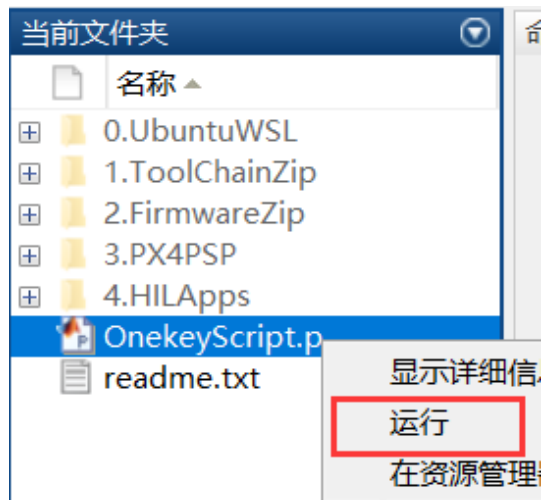




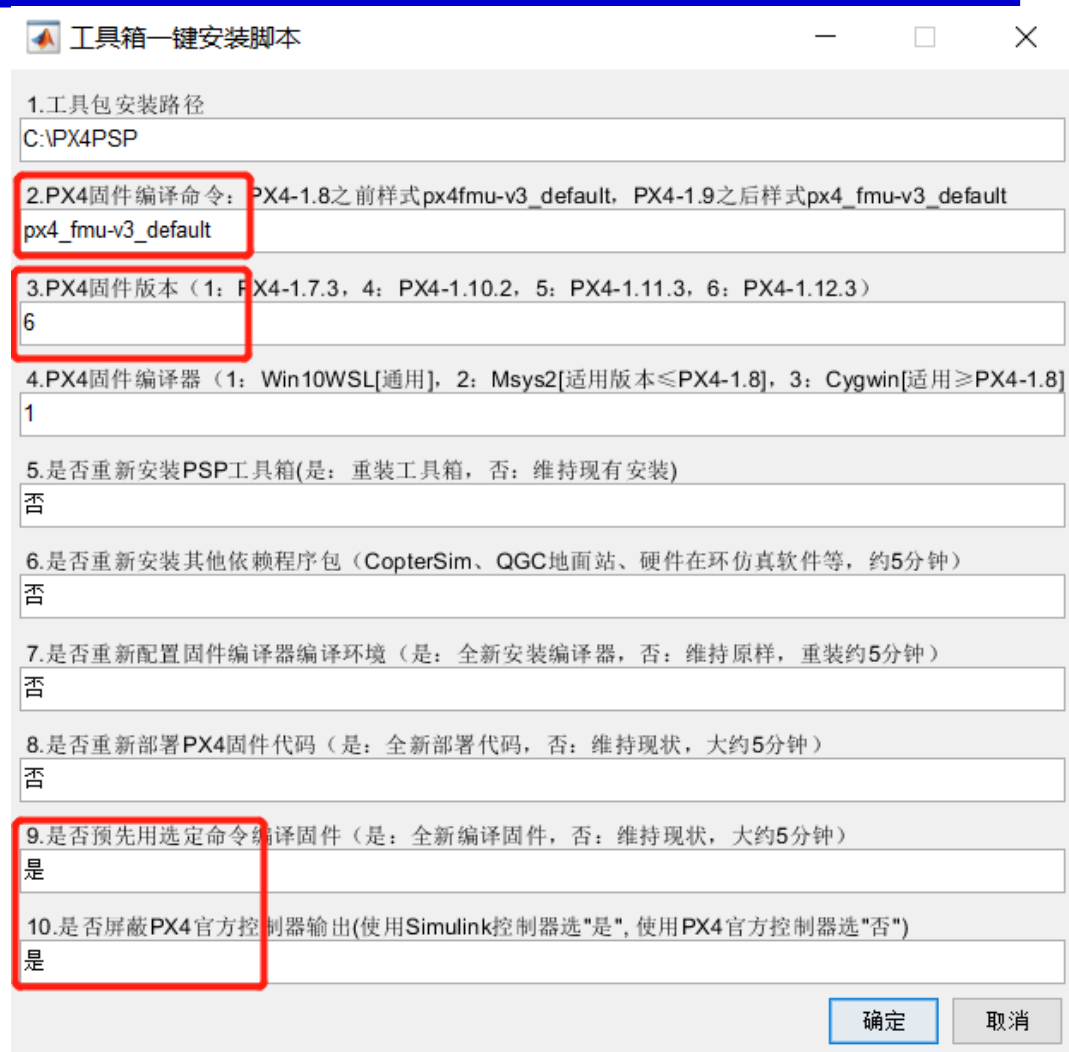
# 1.课程学习

## 1.7 实验配置—教材旧版安装配置选项

- 如果使用教材推荐的Pixhawk 1（外观见下图）的编译命令px4\_fmu-v3\_default。
- 重新运行安装包内“**OnekeyScript.p**”脚本。
- 使用最新PX4固件版本“6”——PX4-1.12.3，和编译器“1”——Win10WSL。
- 其他配置如右图所示。



注：如果使用教程推荐的Pixhawk 1自驾仪，推荐按本页配置，也可按照书上的配置方法，选择PX4 1.7.3版本+Msys2编译器（不推荐）。



注：或者在MATLAB中输入“PX4CMD px4\_fmu-v3\_default”命令来快速切换。





# 1.课程学习

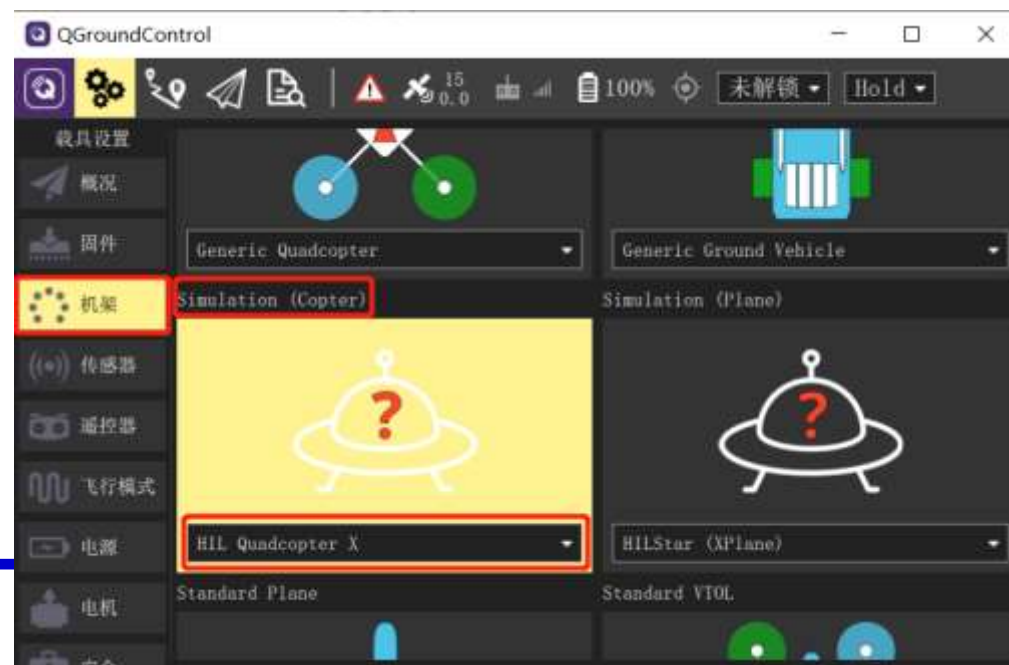
## 1.8 实验配置—硬件配置与校验

1、硬件配置方法，请参考教程链接：

[https://doc.rflysim.com/hardware/3RC/AT9s\\_Pro.html](https://doc.rflysim.com/hardware/3RC/AT9s_Pro.html)

2、确认完成以下配置：

- 确认Pixhawk已经在QGC中烧入最新的1.12版本官方固件，且LED正常闪烁
- 正确连接Pixhawk与接收机，正确连接遥控器与接收机，打开QGC地面站，确定能观察到遥控器摇杆的动作信号。
- 正确对遥控器进行配置并在QGC中校准，最低位置和最高位置满足教程链接中定义。
- 确认Pixhawk飞控已经在QGC中设置选择HIL Quadcopter X机架。
- 确认QGC中飞行模式按教程配置。

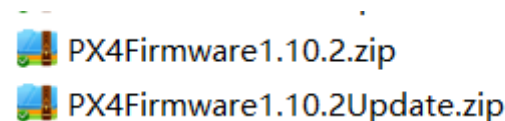
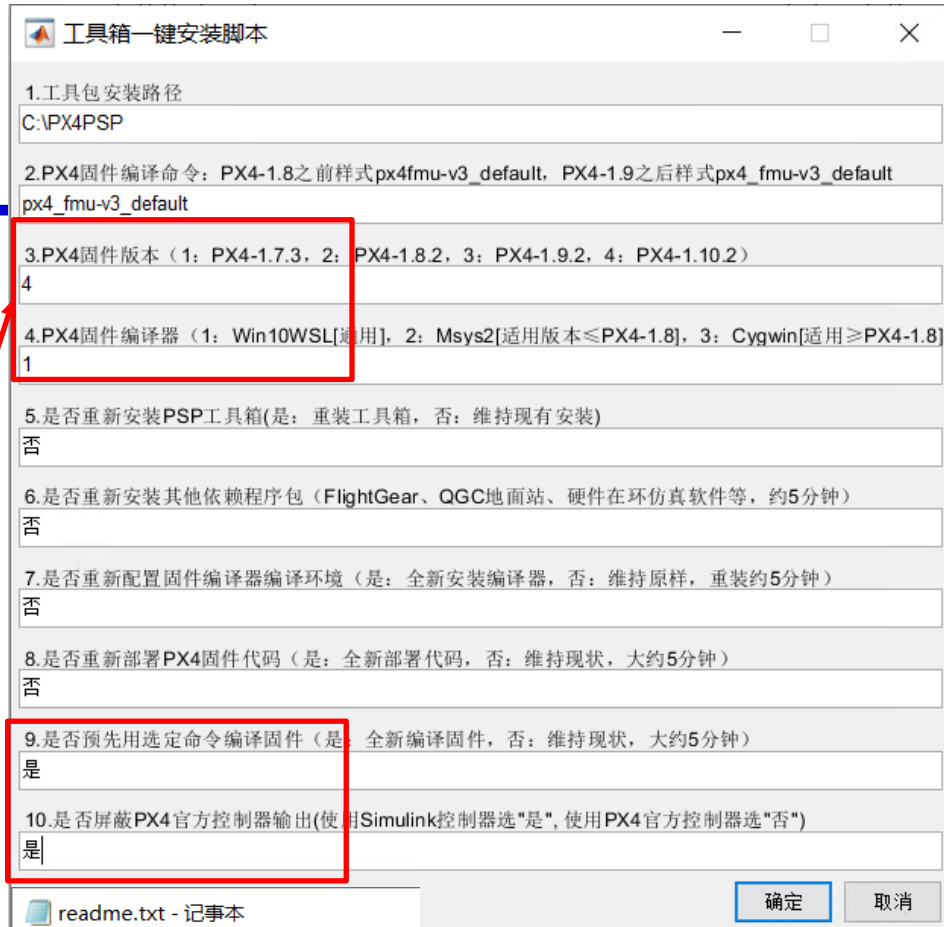
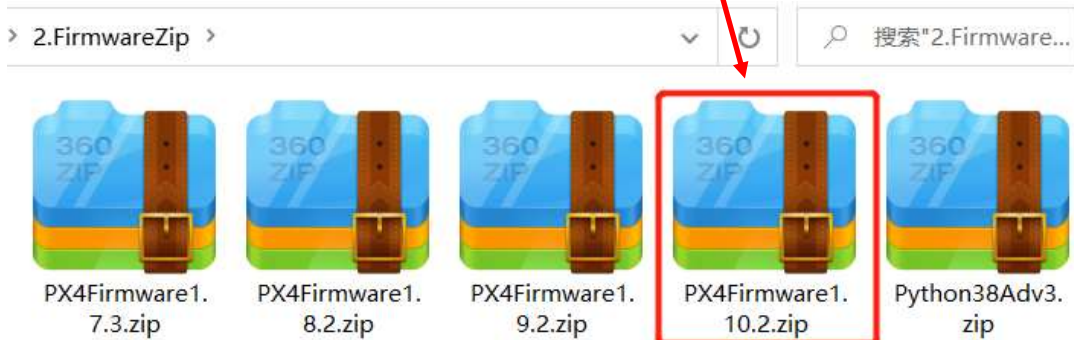




### 3.进阶实验

#### 1.9 选用其他固件版本（或自己的固件）

- 如果您需要使用自己的PX4固件代码，请将您的代码文件夹改名为Firmware，并压缩为Firmware.zip文件，然后根据2.FirmwareZip\readme.txt规则重命名，并选择需要固件版本。
- 例如，自己基于PX4 1.10开发的代码，命名为“PX4Firmware1.10.2.zip”，并替换原来掉“2.FirmwareZip”文件夹下的同名文件，在右图安装选项中的固件版本处选择“4”即可。
- 是否屏蔽PX4输出项目选择“是”，脚本会自动完成所有需要的固件修改以适配本平台。



注：也可以将PX4Firmware1.10.2.zip官方固件的增量文件打包并命名为“PX4Firmware1.10.2Update.zip”的格式放在2.FirmwareZip目录，安装时会自动拷贝到固件文件夹。



# 大纲

---

1. 课程学习

2. 基础实验

3. 进阶实验

4. 小结





## 2.基础实验

### 2.0 基础实验总览

该基础课程文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy”，具体原理请学习基础版课程对应PPT及[readme.pdf](#)文件。

文件地址：*\RflySimAPIs\Exp02_FlightControl\e0-PlatformStudy					
1.SoftwareSimExps	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
2.PSPOfficialExps	🔵	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
3.DesignExps	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
4.PX4Firmwares	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
5.Log-Write-Read	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
6.uORB-Read-Write	🔵	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
7.uORB-Create	🔵	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
8.Mavlink-Msg-Echo	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
9.PX4CtrlExternalTune	🔵	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
10.QGC-Param-Tune	🟢	🔒	2023/2/9 14:42	文件夹	
📄 readme.pdf	🟢	🔒	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	119 KB
📄 第01讲_课程介绍.pdf	🟢	🔒	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	1,875 KB
📄 第02讲_实验平台配置.pdf	🟢	🔒	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	1,821 KB
📄 第03讲_实验平台使用.pdf	🟢	🔒	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	2,740 KB
📄 第04讲_实验流程介绍.pdf	🟢	🔒	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	2,376 KB





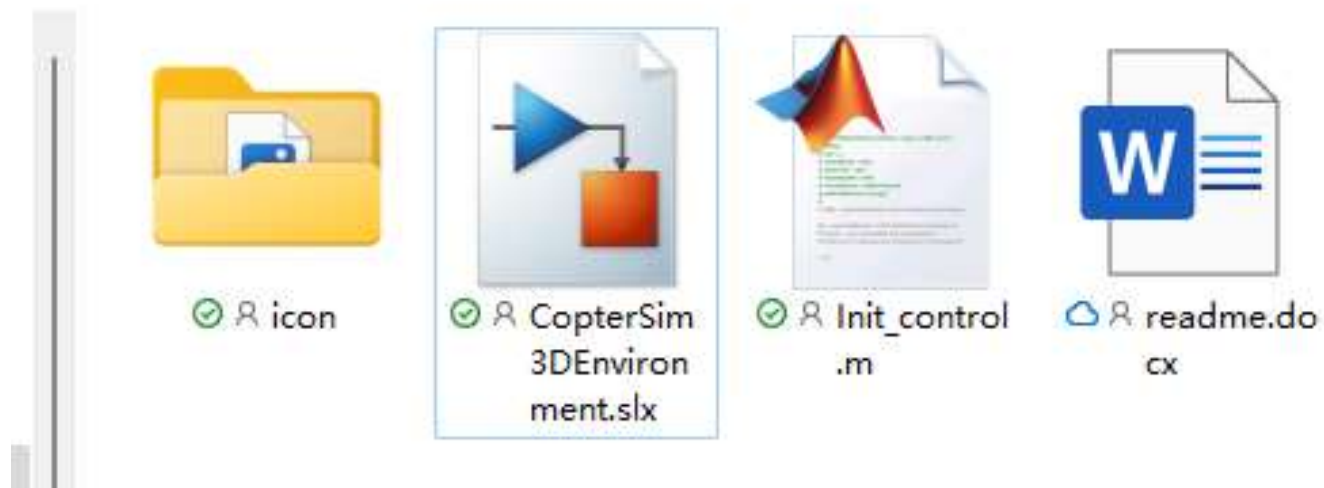


## 2.基础实验

### 2.1 软件在环仿真实验

本实验提供了一套基于Simulink/RflySim3D的较为完整逼真的仿真环境例程，主文件见“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\1.SoftwareSimExps”，如下：

Exp02\_FlightControl > e0-PlatformStudy > 1.SoftwareSimExps >

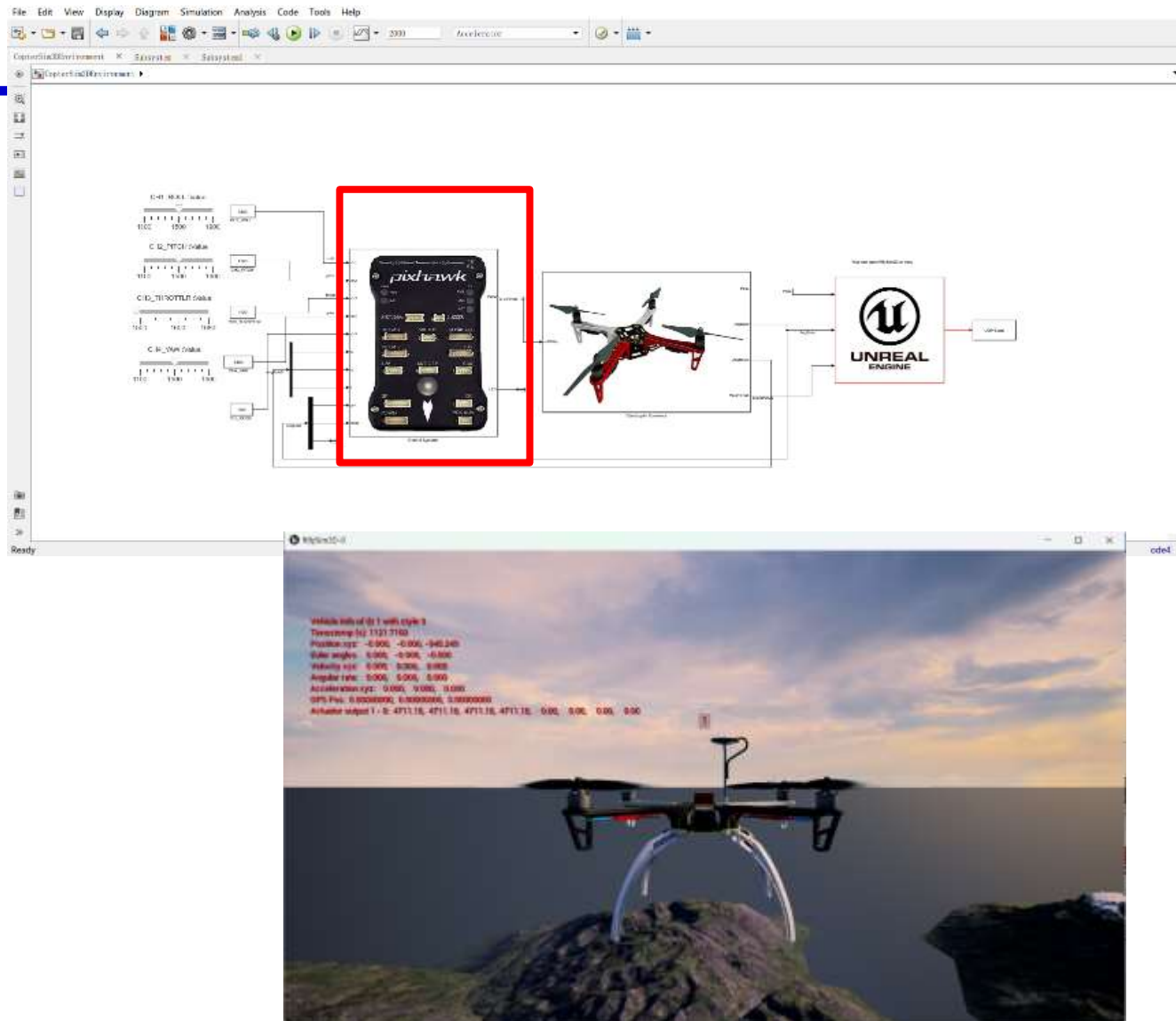




## 2.基础实验

## 2.1 软件在环仿真实验

如右图所示，将多旋翼控制到指定的俯仰滚转角度，并将姿态的保持与控制，控制器响应遥控器的控制输入，可拖动左侧Slider模块模拟遥控器的输入。具体实验操作见文件[readme.pdf](#)，实验效果如右图所示。

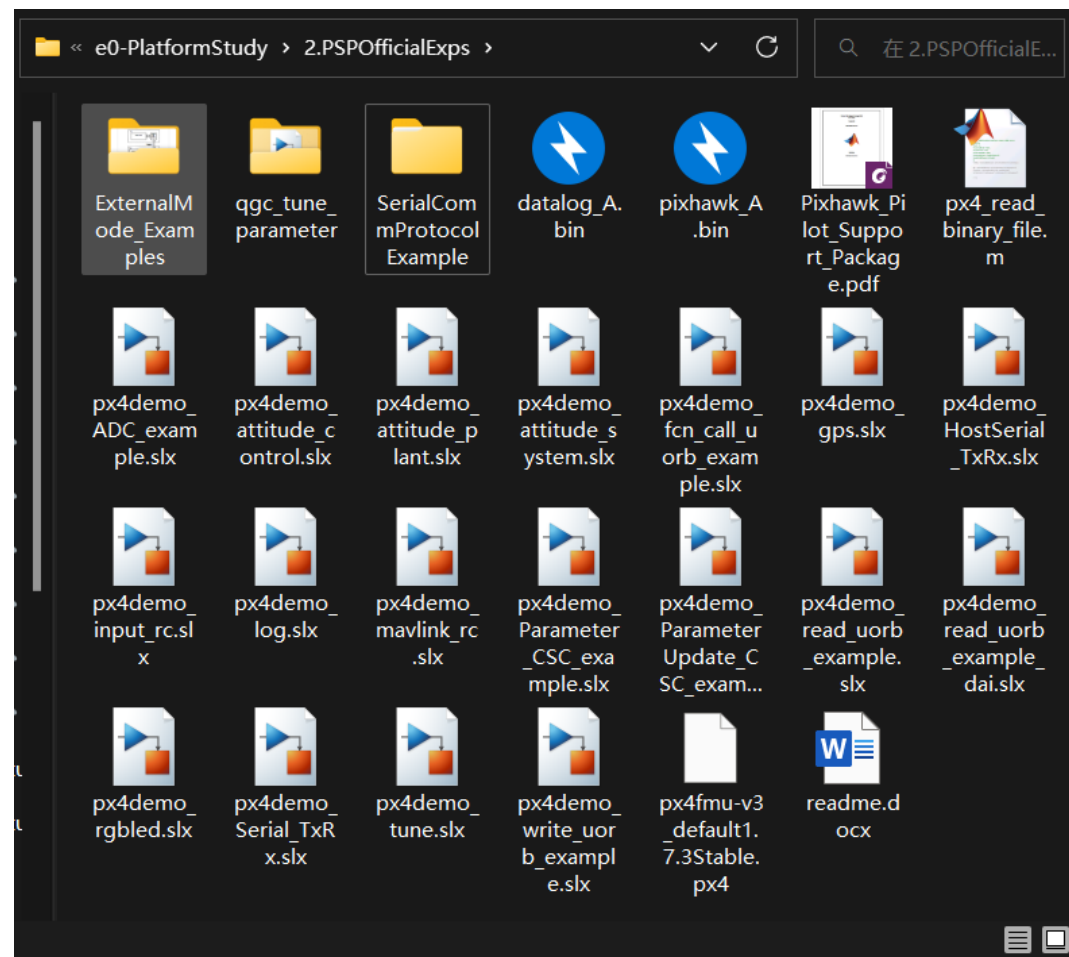




## 2.基础实验

### 2.2 自动代码生成工具箱官方例程实验

MATLAB官方提供了Pixhawk Pilot Support Package (PSP)的相关例程和帮助文档(Pixhawk\_Pilot\_Support\_Package.pdf), 用户可以通过学习实现在Simulink中对飞行控制模型的建模、模拟和验证, 并通过自动代码生成的功能部署到控制系统集成的PX4硬件上。该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\2.PSPOfficialExps”。具体实验操作见文件[readme.pdf](#)。





## 2.基础实验

### 2.3 姿态控制器设计实验

本实验设计了一个以遥控器Ch1~Ch5通道信号、角速度反馈量AngRateB以及多旋翼欧拉角（单位为rad）为输入的控制器，并在Simulink中搭建模型实现软件在环仿真→自动代码生成→硬件在环仿真→实飞的整个流程。

本实验文件夹见“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\3.DesignExps”。

实验的具体操作见文件[readme.pdf](#)。



软件在环RflySim3D显示

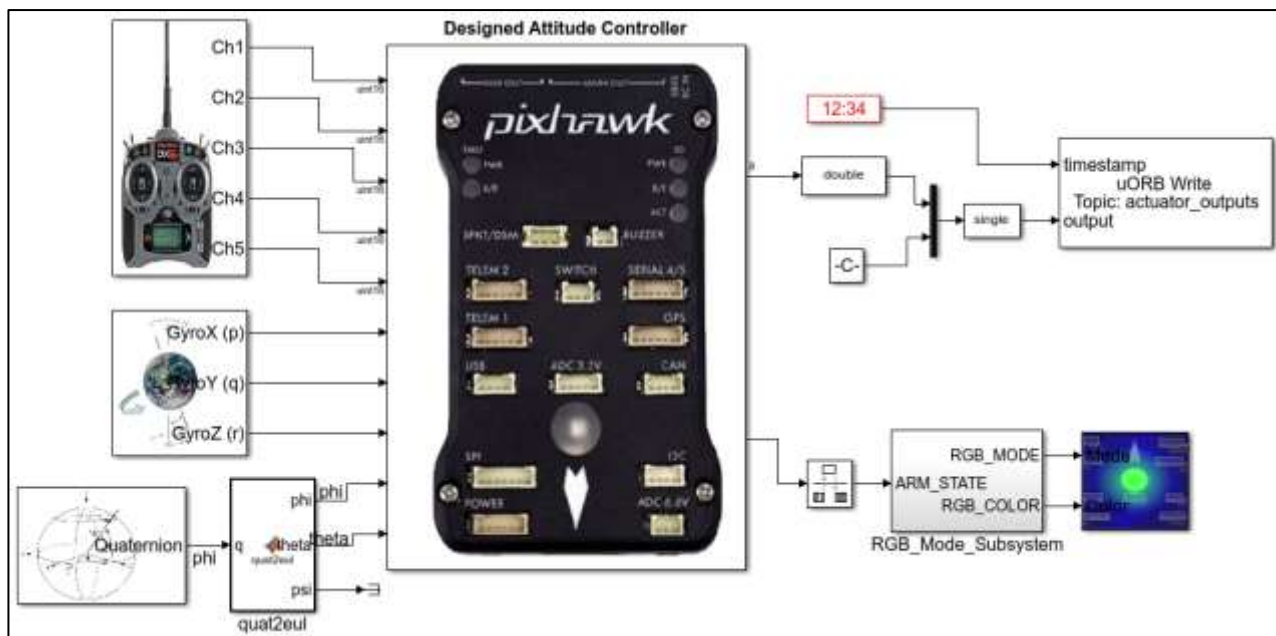






## 2.基础实验

### 2.3 姿态控制器设计实验



硬件在环Simulink模型

```
Diagnostic Viewer
Exp4_AttitudeSystemCodeGen
f.c.obj
[7/11] Building C object
src/modules/px4_simulink_app/CMakeFiles/modules__px4_simulink_app.dir/nuttxin
initialize.c.obj
[8/11] Linking C static library
src/modules/px4_simulink_app/libmodules__px4_simulink_app.a
[9/11] Linking CXX executable nuttx_px4fmu-v3_default.elf
[10/11] Generating px4fmu-v2.bin
[11/11] Creating /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4fmu-v3_default/px4fmu-
v3_default.px4
"### Finished calling CMAKE build process ###"
"### Done invoking postbuild tool."
"### Successfully generated all binary outputs."

C:\Users\dream\Desktop\e0\3.DesignExps\Exp4_AttitudeSystemCodeGen_ert_rtw>exi
t /B 0
### Successful completion of build procedure for model:
Exp4_AttitudeSystemCodeGen
### Creating HTML report file Exp4_AttitudeSystemCodeGen_codegen_rpt.html

Build process completed successfully
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Loaded firmware for 9.0, size: 879196 bytes, waiting for the bootloader...
If the board does not respond within 1-2 seconds, unplug and re-plug the USB connector.
PX4_SIMULINK = None
attempting reboot on COM2...
if the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.
attempting reboot on COM3...
if the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.
attempting reboot on COM3...
if the board does not respond, unplug and re-plug the USB connector.
Found board 9.0 bootloader rev 4 on COM3
50583400 00ac2600 00100000 00ffffff ffffffff ffffffff ffffffff 66ed47ff ff73cc15 c8ad940c dbe59f39 d6c20e06 f93
3d3ef f3073019 d035ab0d 3f60334e 10dda9f8 cdb0cbb6 42cdc6b6 3ba305f7 81532581 84ee3da6 23bc6340 8321be68 eed355e9 1e3b8f
5c 5e07decc 9c8be5a2 458a1513 4bbbbc21 cda35ce5 a8b840a5 e7019ca5 c89bb183 bb00f0c0 06d1a26 7375ff57 1ca41d94 24aa662e
ffffffff ffffffff ffffffff ffffffff ffffffff ffffffff ffffffff type: PX4
idtype: ~00
vid: 000028ac
pid: 00000010
con: Zuh//9zgBXIrZQM28RT0BACDgh5U9Pv8wGdA1gw0/TDNOEN2p+Q2wy7)C8oa206MF94FTJYGE7j2aITxjQ1Wbvnjt01bJRjuPXF8B3sycay*WiRy
VEDu7vCHto1z1qLhApe8BnKX1e7GDwDwaAbbG1ZadF93HKQd1CSqZ14=
an: 0038001f343247d3122333
Erane : [=====] 100.0%
Program: [=====] 100.0%
Verify : [=====] 100.0%
Rebooting.
```

Simulink自动代码生成



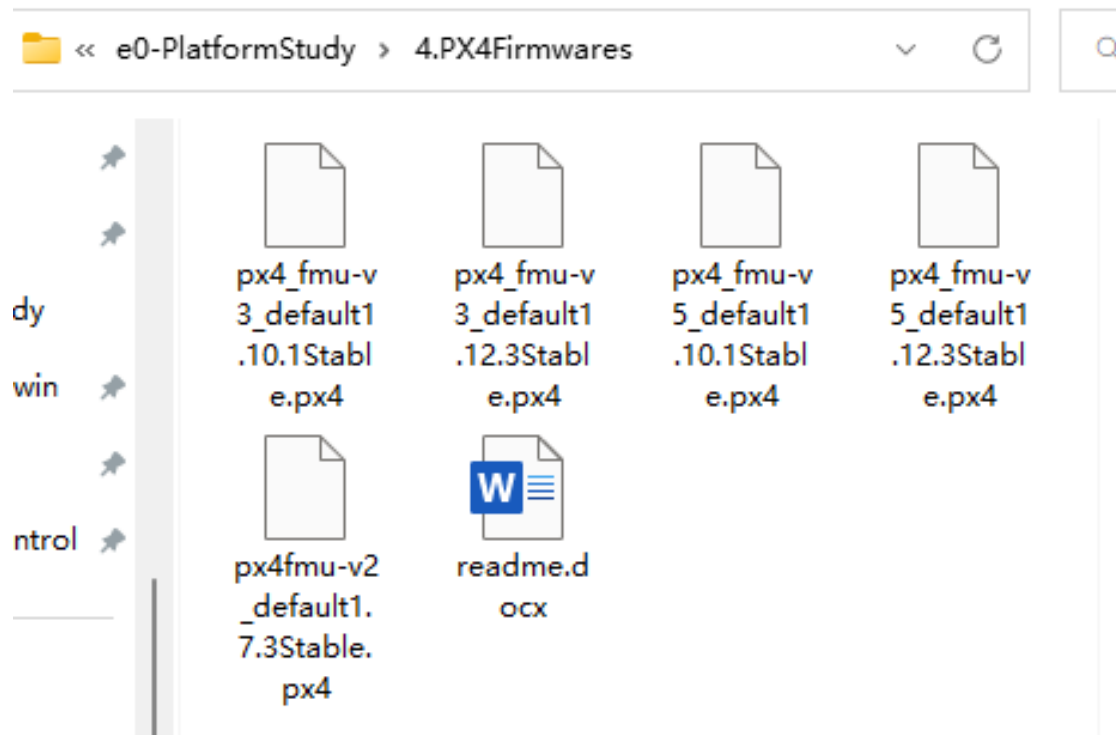




## 2.基础实验

### 2.4 飞控固件烧录实验

本实验提供了部分飞控固件，可通过QGroundControl进行飞控固件的烧录实验，具体实验文件见“Rfly SimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\3.DesignExps”，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)。

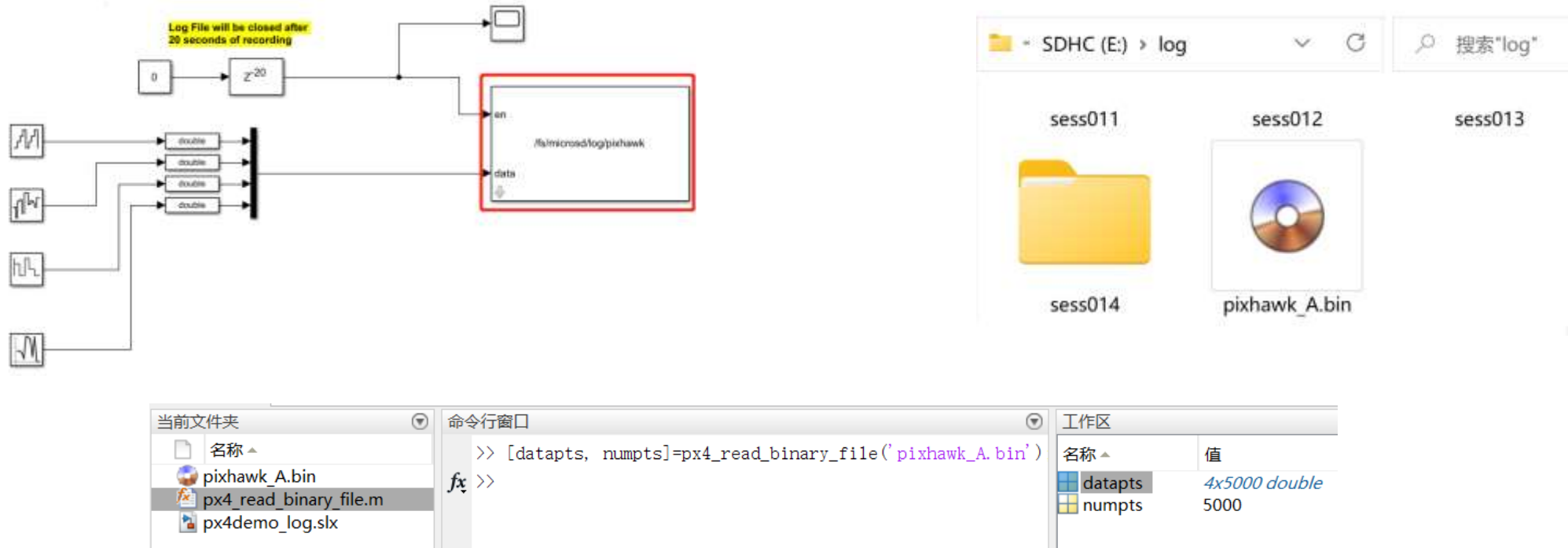




## 2.基础实验

### 2.5 log数据记录

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\5.Log-Write-Read”具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)，实验效果如下：

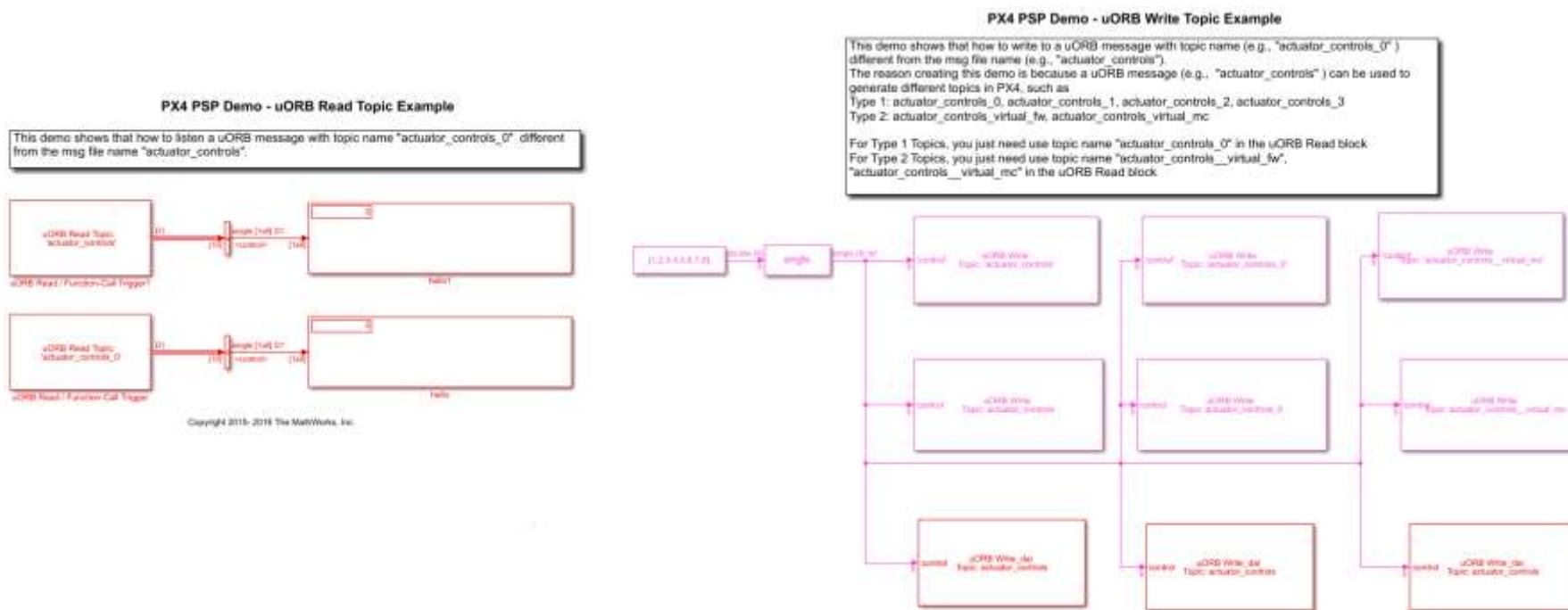




## 2.基础实验

### 2.6 uORB读写通信

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\6.uORB-Read-Write”具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)，实验效果如下：



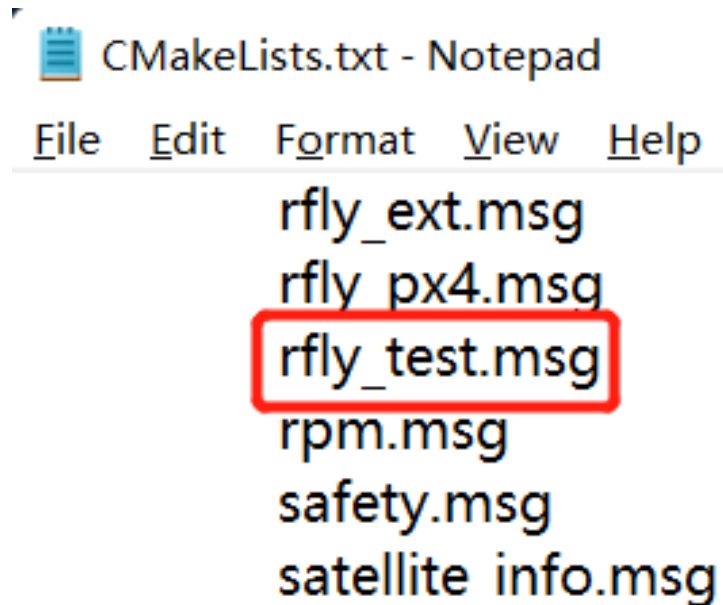


## 2.基础实验

### 2.7 自定义uORB消息

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\c0-PlatformStudy\7.uORB-Create”具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)，实验效果如下：

```
≡ rfly_test.msg X
D: > OneDrive > RflySimSource > RflySimAPIs\Exp02_FlightControl\c0-PlatformStudy\7.uORB-Create
1  uint64 timestamp
2  float32[8] control
3  |
```

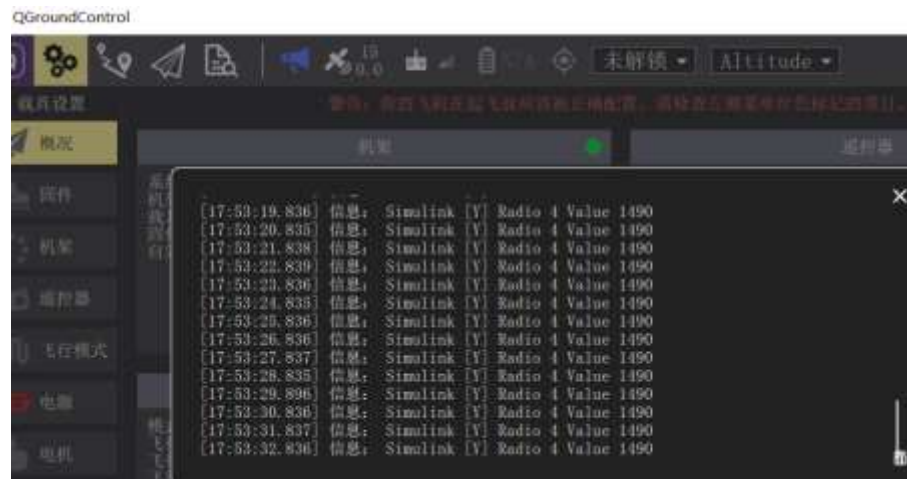
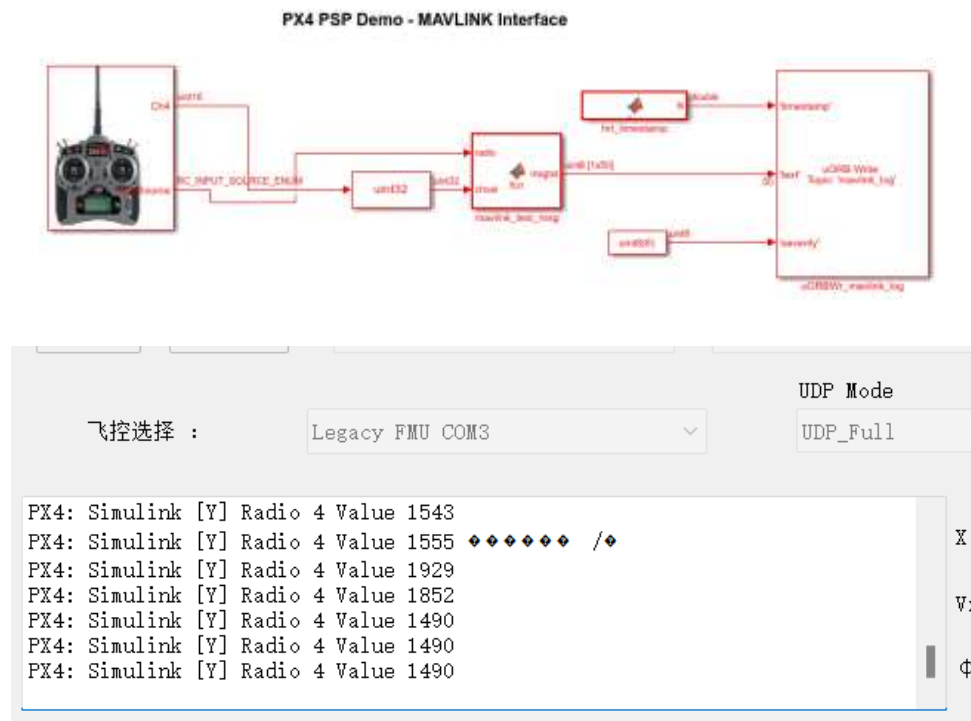




## 2.基础实验

### 2.8 回传提示消息

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\8.Mavlink-  
Msg-Echo”具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)，实验效果  
如下：







## 2.基础实验

### 2.9 PX4控制器的外部通信

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e0-PlatformStudy\9.PX4CtrlExternalTune”具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见文件[readme.pdf](#)，实验效果如下：

QGroundControl

分析

- Log Download
- GeoTag Images
- MAVLink Console
- MAVLink Inspector

查看实时 MAVLink 消息。

1	ACTUATOR_CONTROL_TARGET	30.0Hz
1	ALTITUDE	10.0Hz
1	ATTITUDE	50.7Hz
1	ATTITUDE_QUATERNION	50.7Hz
1	ATTITUDE_TARGET	8.0Hz

信息:  
组件:  
计数:

未解锁 Altitude

ACTUATOR\_CONTROL\_TARGET (140) 30.0Hz

1 3242

Name	Value	Type
time_usec	136000000	uint64_t
group_mlx	123	uint8_t
controls	1500, 1500, 1100, ...	float

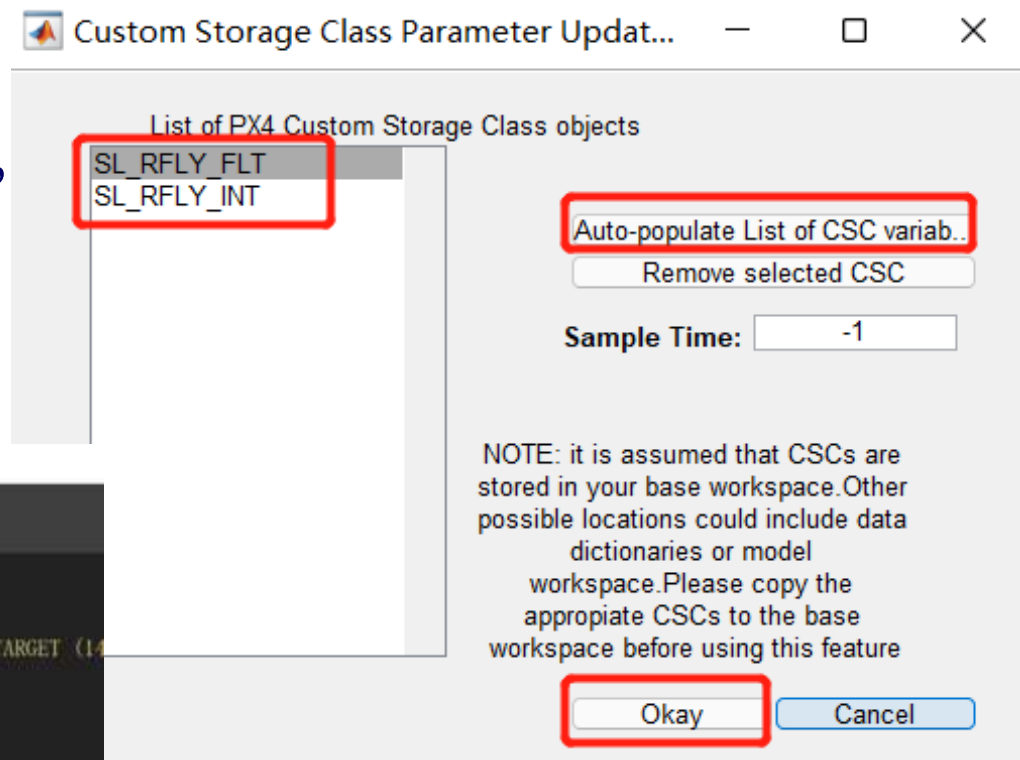




## 2.基础实验

### 2.10 QGC实时调整控制器参数

该实验文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_Flight Control\c0-PlatformStudy\10.QGC-Param-Tune”  
具体原理请学习基础版课程，具体操作步骤见  
文件[readme.pdf](#)，(部分)实验效果如下：





# 大纲

---

1. 课程学习

2. 基础实验

3. 进阶实验

4. 小结



## 3.进阶实验

### 3.0 进阶实验总览

该进阶课程文件夹“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl”，具体原理请学习进阶版课程对应PPT及[readme.pdf](#)文件。

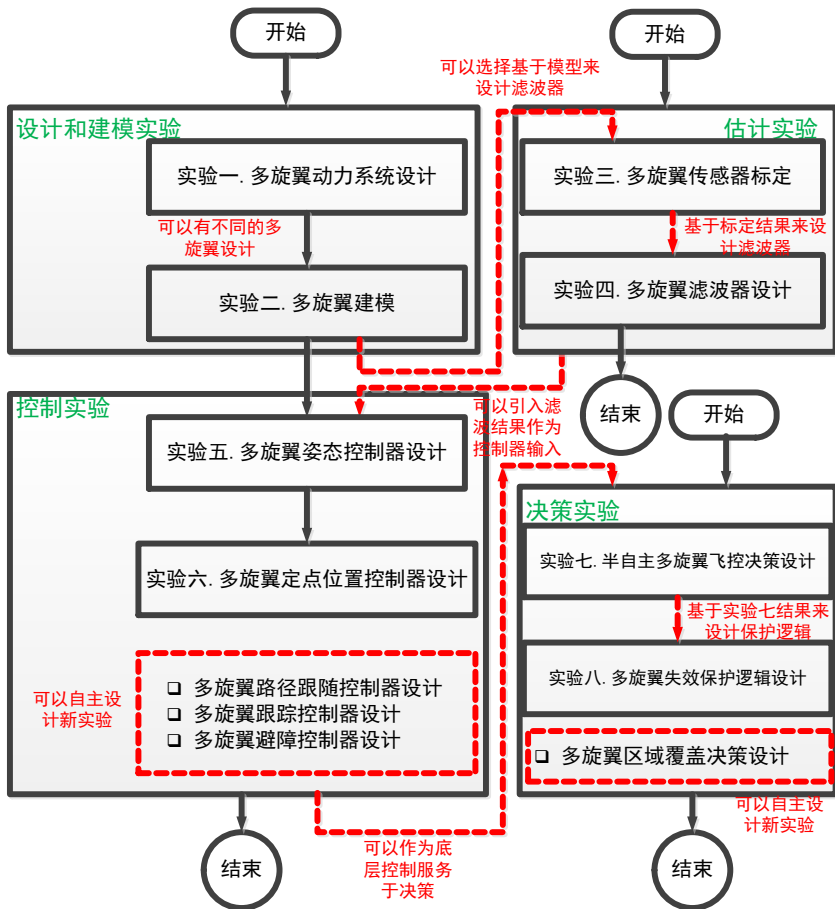
文件地址：*\RflySimAPIs\Exp02_FlightControl				
e0-PlatformStudy	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e1-FlightEval	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e2-UavModeling	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e3-SensorCalib	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e4-FilterDesign	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e5-AttitudeCtrl	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e6-PositionCtrl	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e7-SemiAutoCtrl	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e8-FailsafeLogic	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
e9-ReplacePX4Module	📁	2023/2/9 14:42	文件夹	
readme.pdf	📄	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	154 KB
RflySim高级版_第02讲_飞行控制算法开...	📄	2023/2/9 10:06	Adobe Acrobat ...	1,923 KB





## 3.进阶实验

### 3.0 进阶实验总览



■ 本平台提供的例程可以保证每个实验或者每个板块的实验可以被**单独完成**

■ 为了使任务目标有差异化，我们课程可以按照一种递进的结构完成。递进路线可以分为：

(1) 设计和建模实验 -> 控制实验

(2) 设计和建模实验 -> 控制实验-> 决策实验

(3) 设计和建模实验 -> 估计实验-> 控制实验-> 决策实验

■ 需要**设计不同的飞行器**，这样将会使**模型各不相同**，而且**建模方法也可以各不相同**，**控制实验的设计也各不相同**。

■ 教师还可以自行**增加附加实验**





## 3.进阶实验

### 3.0 进阶实验总览

打开例程，阅读并运行程序代码，然后观察并记录分析数据。

指导读者修改例程，运行修改后的程序并收集和分析数据。

在上述两个实验的基础上，针对给定的任务，进行独立的设计。



## 3.进阶实验

### 3.0 进阶实验总览

表. 实验类型、目标和内容

目标	基础实验	分析实验	设计实验
熟悉开发平台	✓	✓	✓
熟悉分析过程	×	✓	✓
熟悉设计方法	×	×	✓
进行软件在环仿真	✓	✓	✓
进行硬件在环仿真	✓	✓	✓
实际实验测试	×	×	✓



## 3.进阶实验

---

### 3.1 动力系统设计实验

本实验的目标如下：

- 1、利用[多旋翼飞行评估网站](#)，设计多旋翼飞行器动力系统；
- 2、根据已知信息，设计出多旋翼飞行器的动力系统并与[多旋翼飞行评估网站](#)生成的参数进行对比，分析在不同城市、温度、螺旋桨大小和数量对多旋翼飞行器的悬停事件影响。

实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e1-FlightEval”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



### 3.进阶实验

#### 3.1 动力系统设计实验

实验效果如下(部分):

详细信息					
悬停性能：		最大油门性能：		整体性能：	
悬停时间	: 22.5 min.	飞行时间	: 7 min.	正常使用	: 17.8 min.
油门百分比	: 63.6 %	总升力	: 94.3 N	整机重量	: 4.56 kg
电调电流	: 6.69 A	电机电流	: 21.8 A	剩余载重	: 2.8 kg
电机转速	: 4623.5 rpm	电机转速	: 6716.3 rpm	最大起飞海拔	: 3.85 km
电机输出功率	: 132.2 W	电机输出功率	: 417.8 W	最大倾斜角度	: 51.7 °
电池输出电压	: 23.7 V	电池输出电压	: 22.9 V	最大平飞速度	: 12.4 m/s
电池输出电流	: 27.2 A	电池输出电流	: 87.3 A	单程飞行距离	: 8.5 km
能量效率	: 80.9 %	能量效率	: 79.8 %	抗风等级	: 4 级

螺旋桨尺寸/英寸	悬停时间/min
10	17
9.4	16.5
9	15.9
8	14.5

地点	海拔/m	悬停时间/min
上海	4	16.5
北京	43.5	16.5
长沙	500	16.1
拉萨	3658	13.5

温度/°C	悬停时间/min
0	17.1
10	16.8
20	16.6
30	16.3
40	16.1



## 3.进阶实验

---

### 3.2 动态建模实验

本实验的目标如下：

1、分析多旋翼总质量、转动惯量矩阵、螺旋桨推力系数、螺旋桨拉力系数对整个多旋翼飞行性能产生的影响。

2、建立完整的多旋翼飞行器模型，并在RflySim3D中添加四旋翼的三维模型。

实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\2-UavModeling”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。

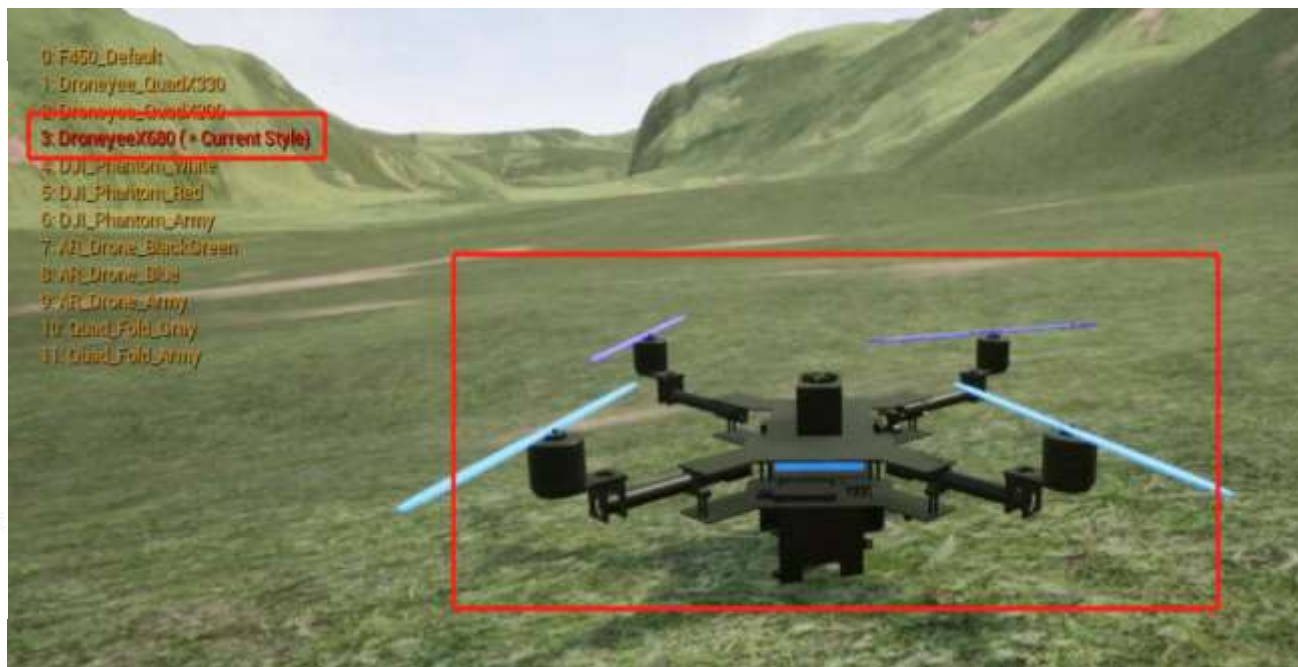
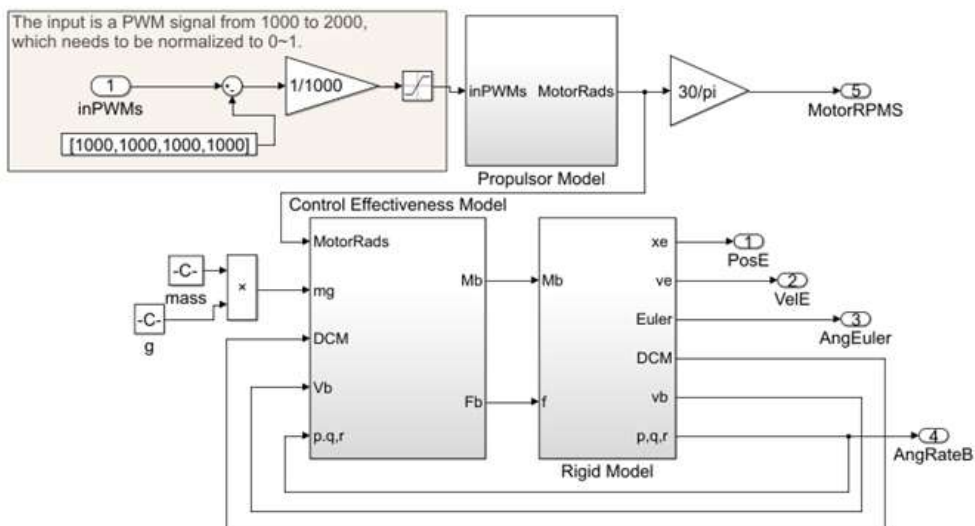




## 3.进阶实验

### 3.2 动态建模实验

实验效果如下(部分):





## 3.进阶实验

---

### 3.3 传感器标定实验

本实验的目标如下：

- 1、根据实验步骤完成加速度的标定。
- 2、根据给出的磁力计误差模型，设计磁力计数据采集模型，用测得的数据和LM 算法函数求出模型参数的最优解，完成磁力计的标定。

实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\3-SensorCalib”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



## 3.进阶实验

### 3.3 传感器标定实验

实验效果如下(部分):

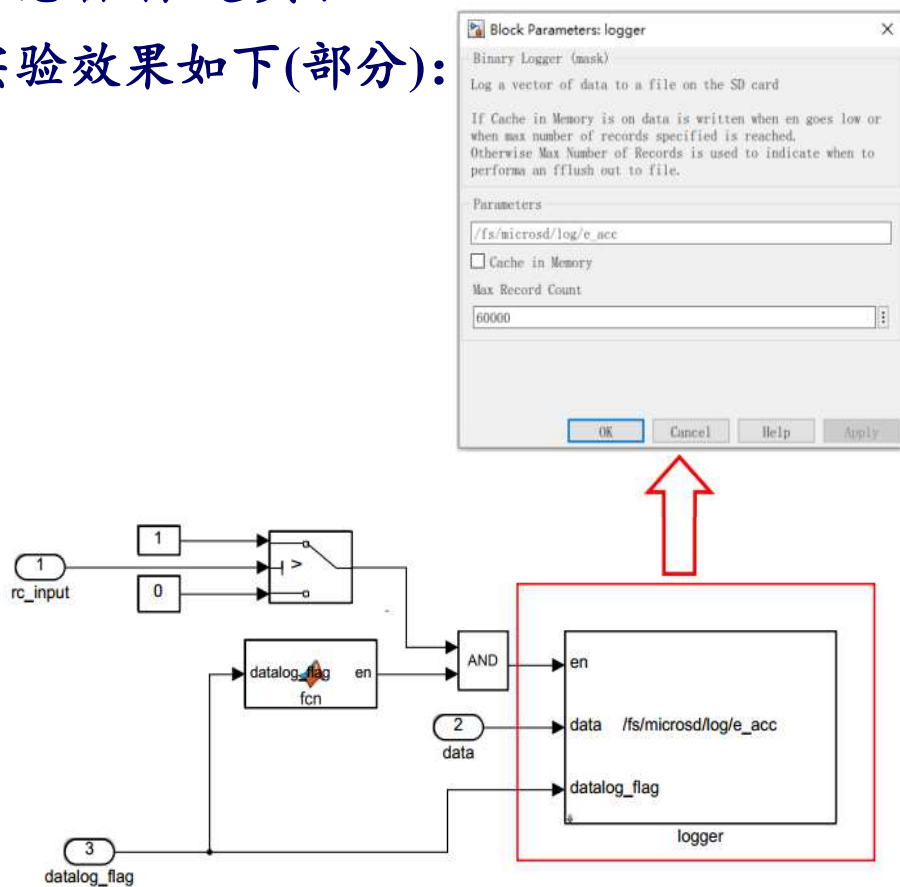


图. 加速度数据采集“binary\_logger”模块

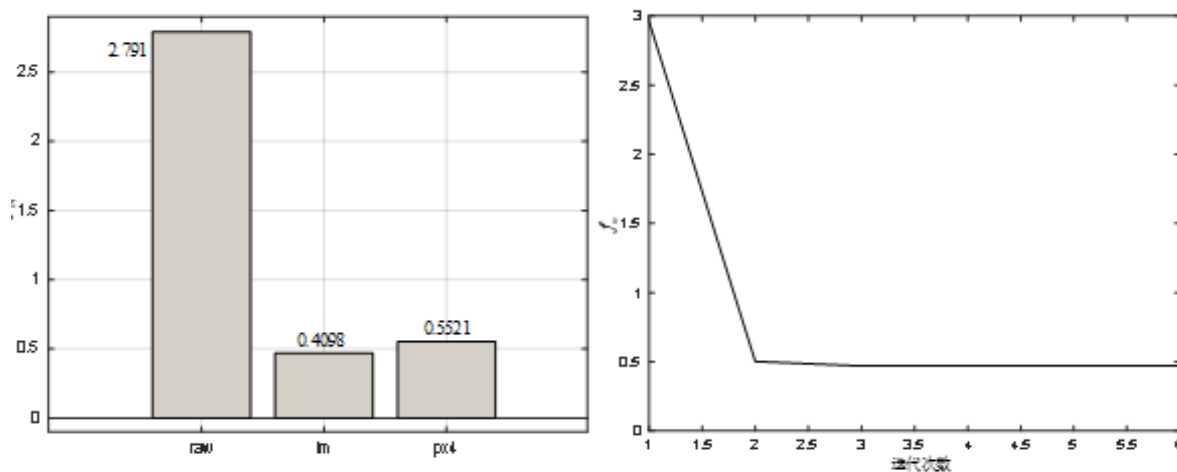


图. 磁力计校正对比值





## 3.进阶实验

---

### 3.4 传感器标定实验

本实验的目标如下：

- 1、根据实验中所提供的数据，完成互补滤波，与原数据和Pixhawk自带的滤波器算出的数据进行比较，以理解互补滤波器的优点。
- 2、改进互补滤波器中的参数，分析互补滤波器参数对滤波效果的影响。
- 3、理解卡尔曼滤波原理，设计卡尔曼滤波器实现滤波器，处理加速度和角速度数据，并绘制出相关姿态角得数据图。

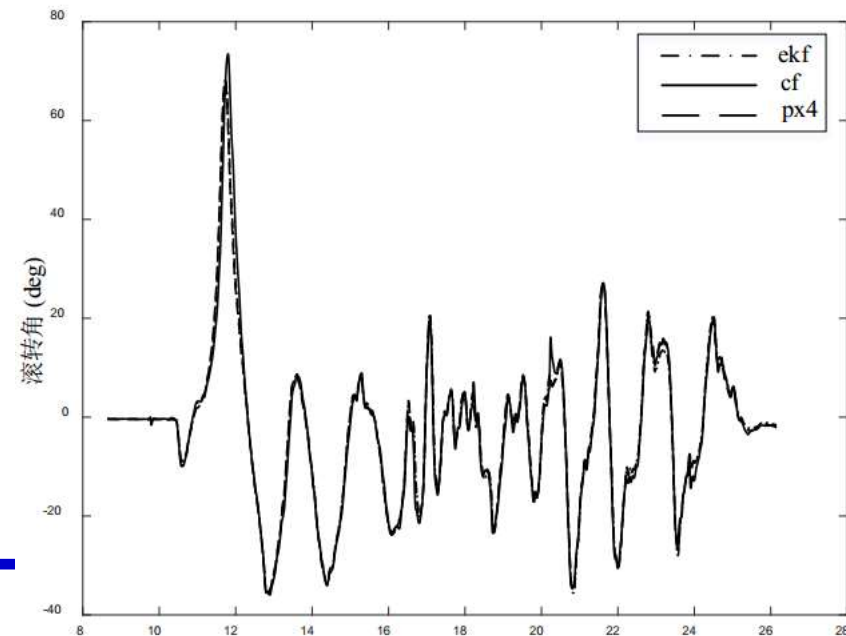
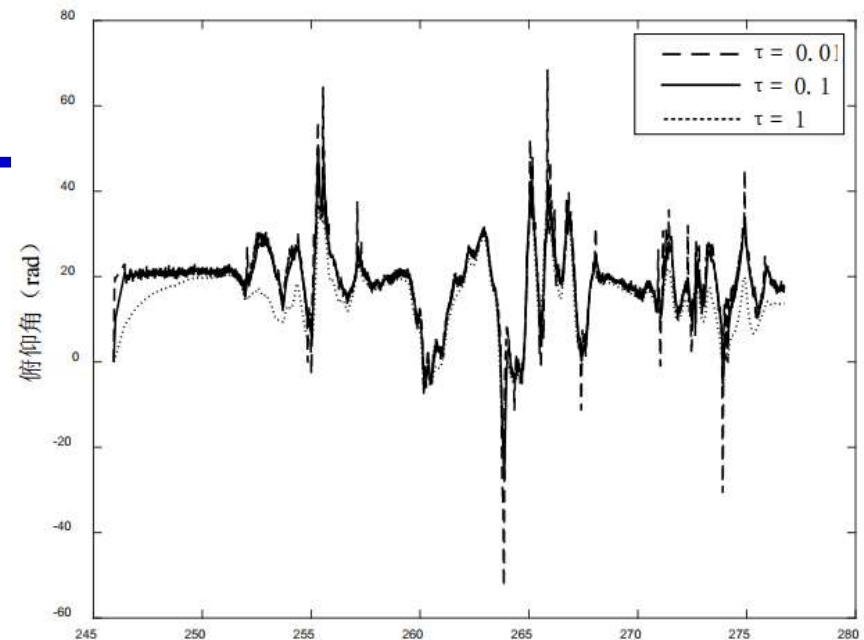
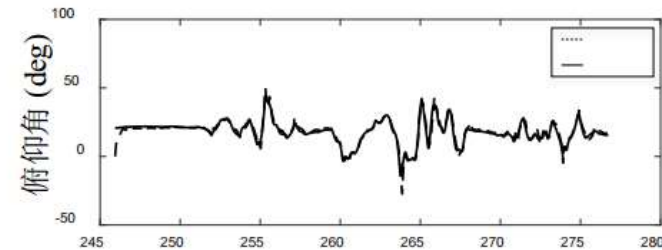
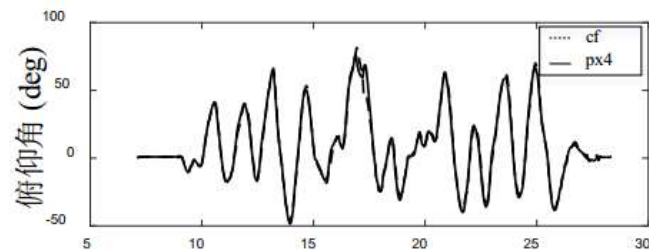
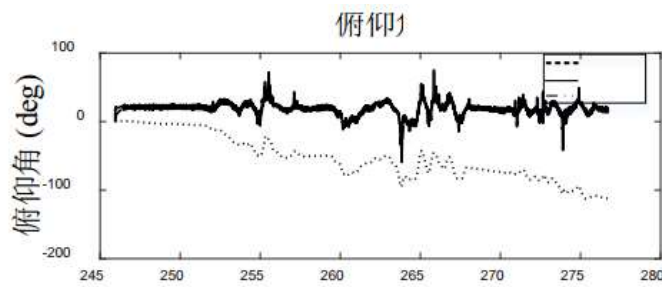
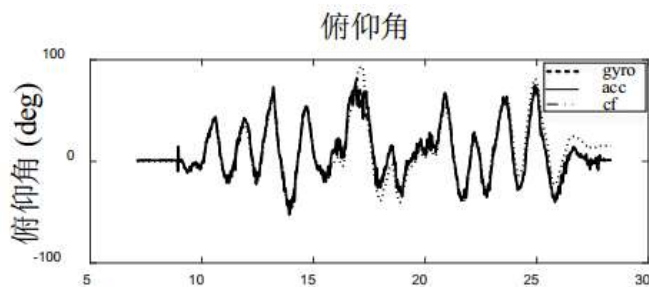
实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e4-FilterDesign”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



## 3.进阶实验

### 3.4 传感器标定实验

实验效果如下(部分):







## 3.进阶实验

---

### 3.5 姿态控制器设计实验

本实验的目标如下：

1、复现四旋翼飞行器的Simulink仿真，分析控制分配器的作用；记录姿态的阶跃响应，并对开环姿态控制系统进行扫频以绘制Bode图，分析闭环姿态控制系统的稳定裕度；完成四旋翼硬件在环仿真。

2、调节PID控制器相关参数以改善控制性能并记录超调量和调节时间，得到一组恰当参数；使用调试后的参数，对系统进行扫频以绘制Bode图，观察系统幅频响应,相频响应曲线，分析其稳定裕度。

3、建立姿态控制通道的传递函数模型，设计校正控制器；使用自己设计得控制器进行软、硬件仿真实验及实飞实验。

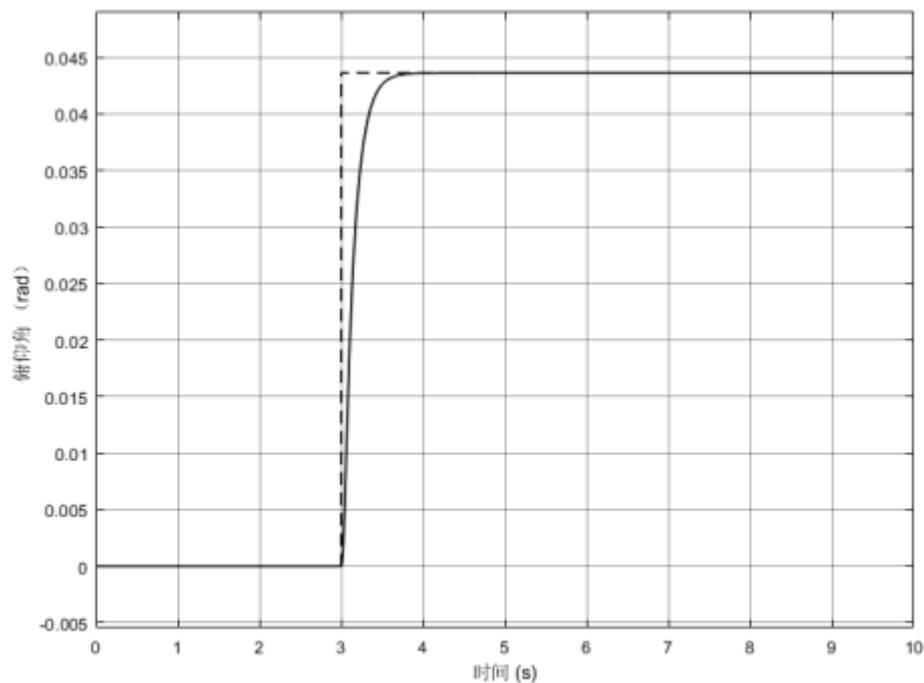
实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e5-AttitudeCtrl”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



## 3.进阶实验

### 3.5 姿态控制器设计实验

实验效果如下(部分):





## 3.进阶实验

---

### 3.6 定点位置控制器设计实验

本实验的目标如下：

- 1、复现四旋翼Simulink仿真，分析控制作用在 $O_b x_b$ 轴和 $O_b y_b$ 轴的解耦；对系统进行扫频以绘制bode图，分析闭环位置控制系统稳定裕度。
- 2、调节PID控制器的相关参数改善系统控制性能；在得到满意参数后，对系统进行扫频以绘制Bode图。
- 3、建立位置控制通道的传递函数模型，使用MATLAB “ControlSystemDesigner”设计校正控制器，并调节系统误差、相对裕度等参数。

实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\6-PositionCtrl”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



## 3.进阶实验

### 3.6 定点位置控制器设计实验

实验效果如下(部分):

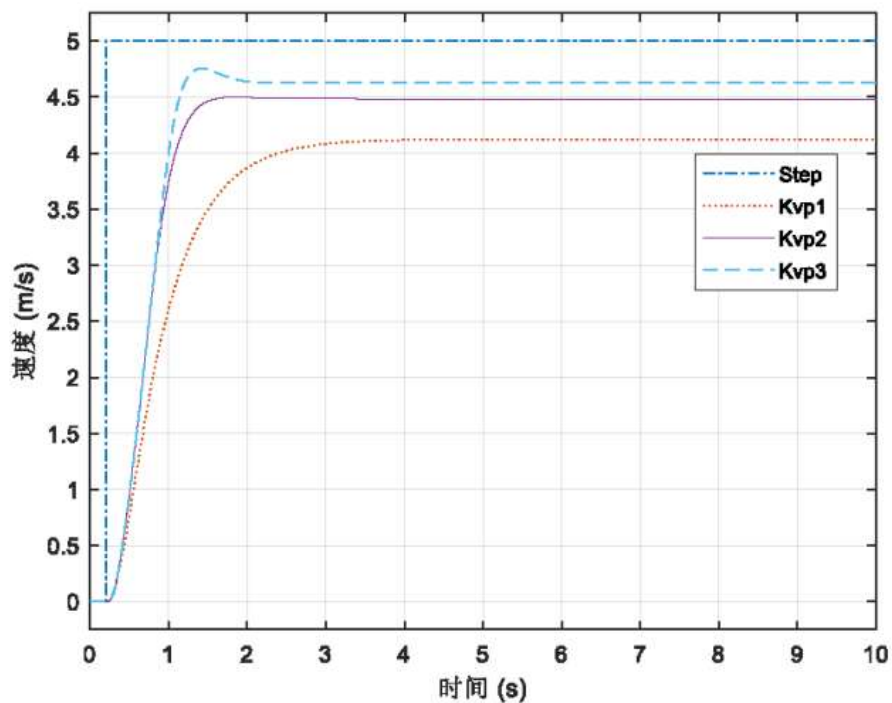
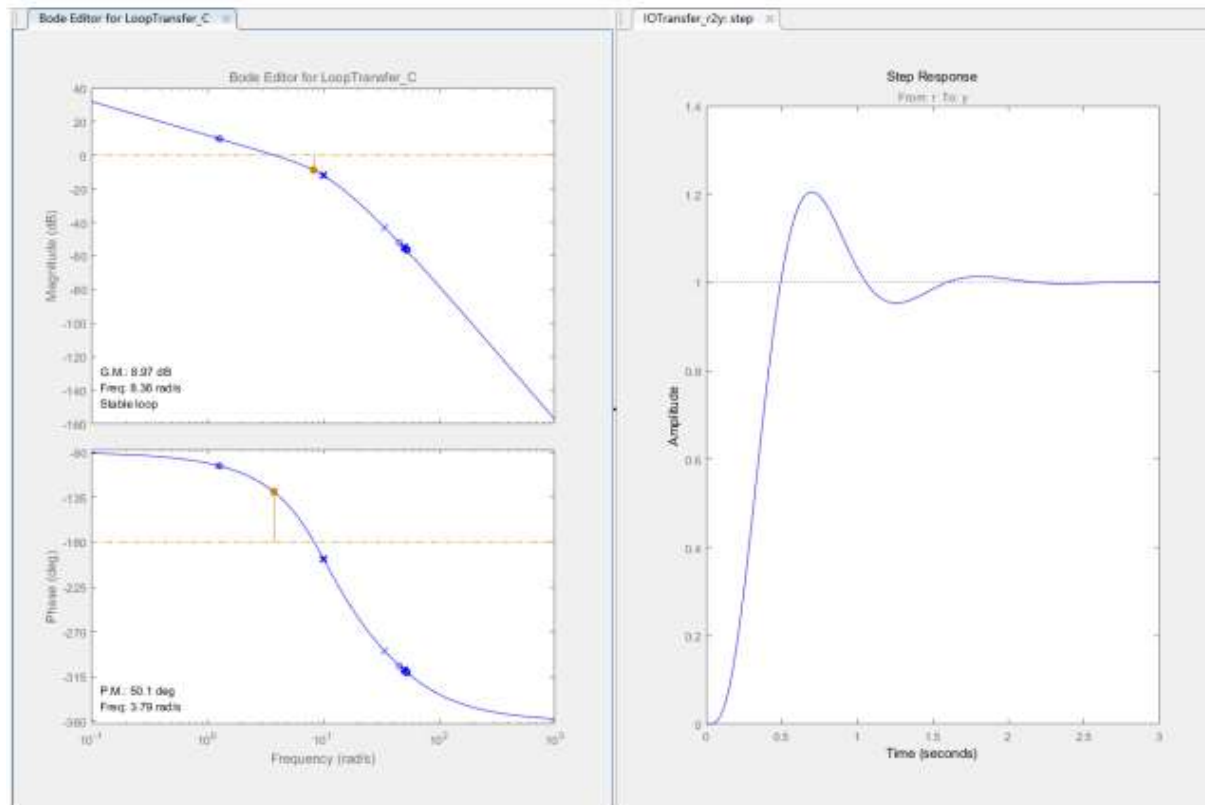


图. 不同比例项系数下的阶跃响应





## 3.进阶实验

---

### 3.7 半自主控制模式设计实验

本实验的目标如下：

- 1、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；
- 2、在自稳模式的基础上改成定高模式。根据实验分析，与自稳模式相比，多旋翼在定高模式下姿态和位置输出值的变化。
- 3、在自稳模式的基础上改成定点模式。根据实验分析，与自稳模式相比，多旋翼在定点模式下姿态和位置输出值的变化；并利用三段拨码开关实现三种模式的自由切换。

实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e7-SemiAutoCtrl”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。

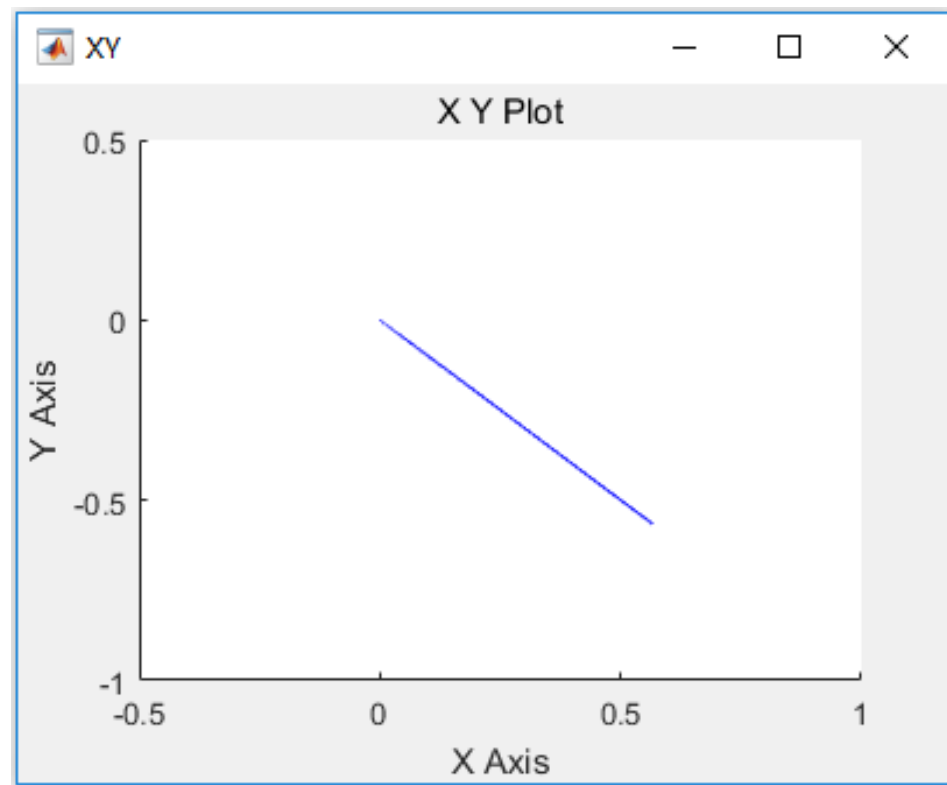
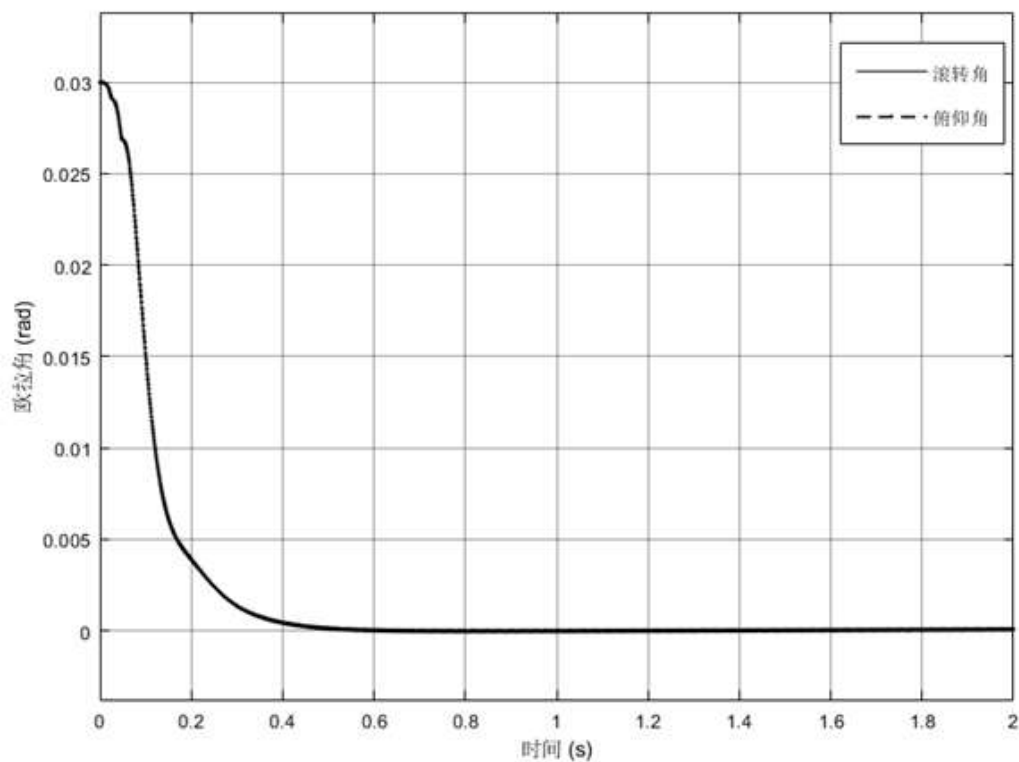




### 3.进阶实验

#### 3.7 半自主控制模式设计实验

实验效果如下(部分):





## 3.进阶实验

---

### 3.8 失效保护逻辑设计实验

本实验的目标如下：

- 1、在Simulink仿真环境中，在手动模式下，实现飞行器的返航与着陆，并记录和分析仿真结果。
- 2、在基础实验的基础上，添加相应的状态转移，在手动模式下，实现飞行器的返航和着陆，并且返航和着陆之间可以相互切换。
- 3、在前面实验的基础上，增加遥控器断电失联事件，完成新的模态和切换设计，即加入失效返航和失效着陆两个状态，完成状态机的设计。

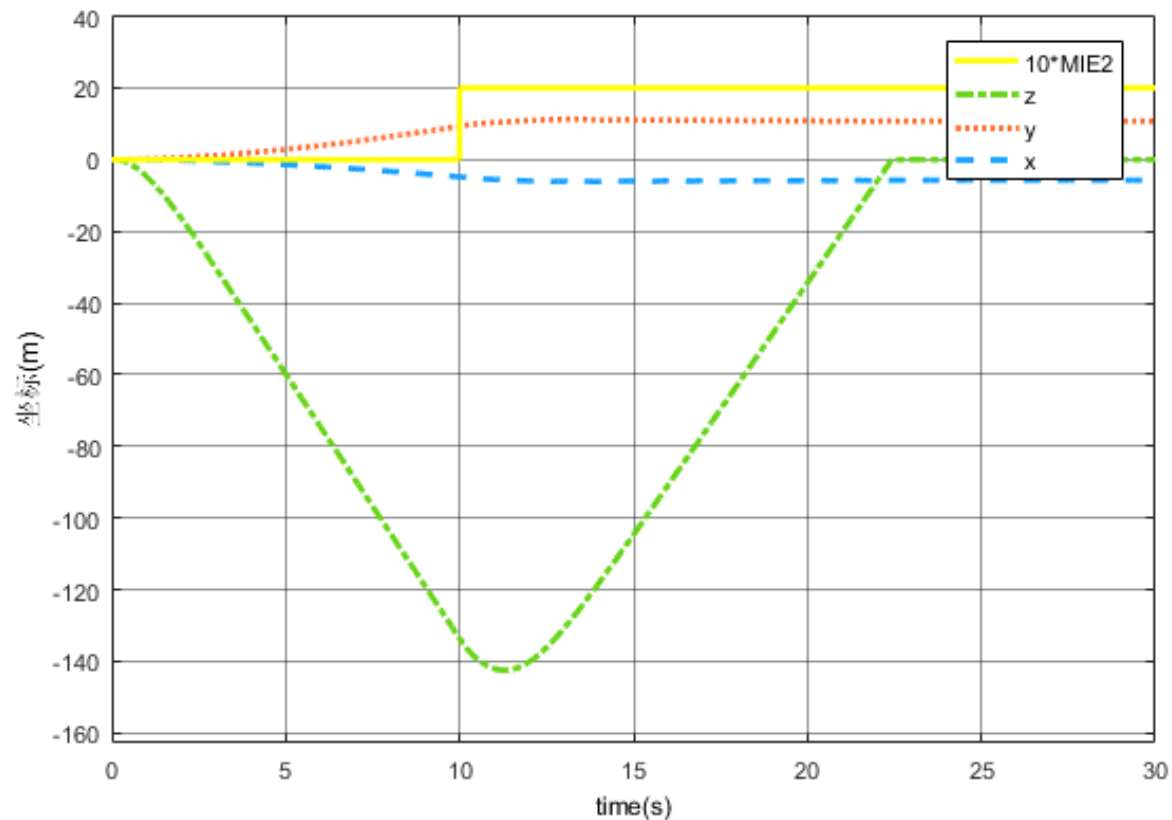
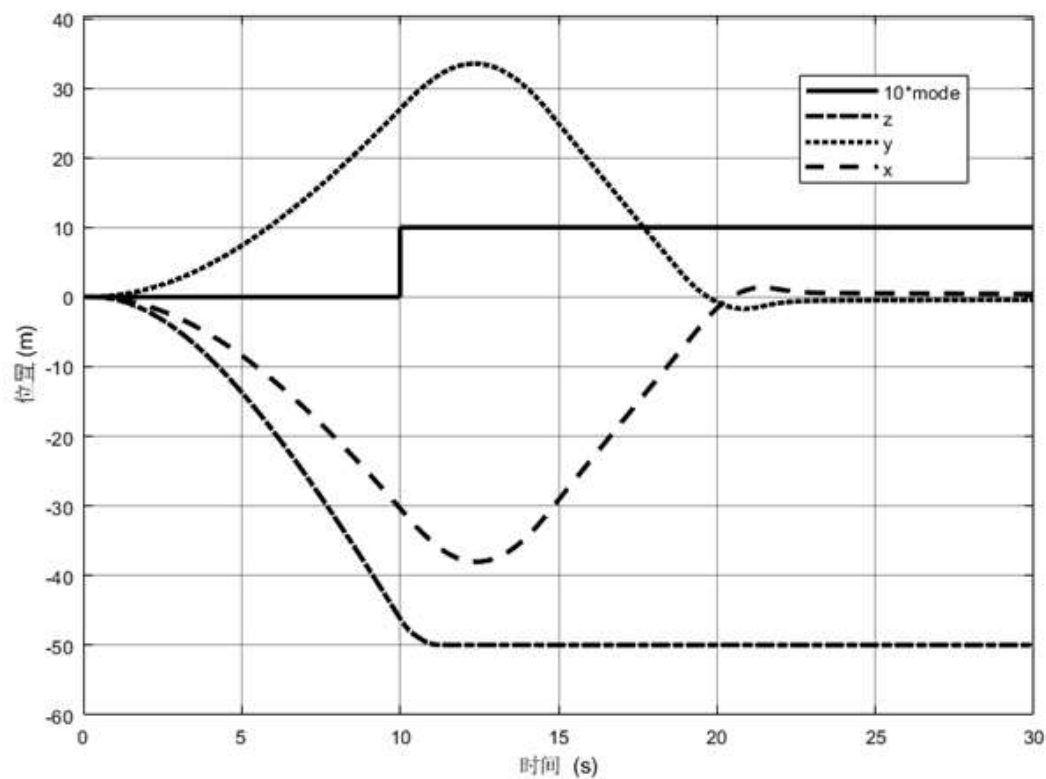
实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e8-FailsafeLogic”，具体实验原理请学习进阶版课程，实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



### 3.进阶实验

#### 3.8 失效保护逻辑设计实验

实验效果如下(部分):





## 3.进阶实验

---

### 3.9 PX4模块替换实验

本实验的目标如下：

实现利用生成的Simulink代码快速替换PX4控制软件的某些原生模块(传感器、滤波器、姿态控制器等)，该实验提供两种方法来实现，分别是：

- 1、打开“Firmware\src\modules\ekf2\ekf2\_main.cpp”文件，手动注释掉需屏蔽的模块代码；
- 2、修改PX4模块启动脚本文件“Firmware\ROMFS\px4fmu\_common\init.d\rcS”，并注释掉需屏蔽的模块。

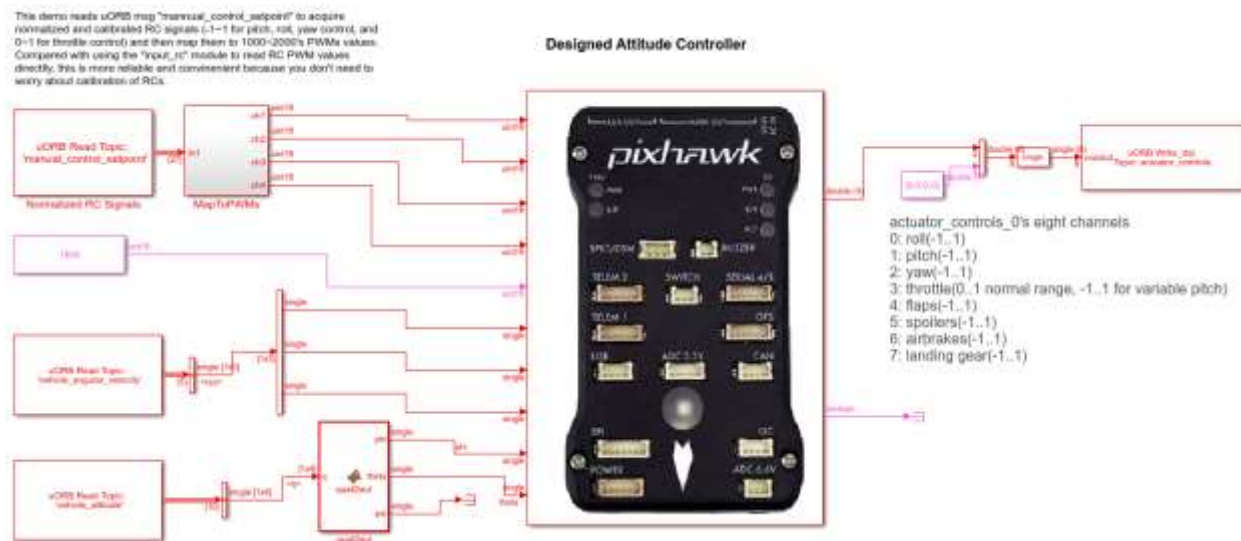
实验文件夹为“RflySimAPIs\Exp02\_FlightControl\e9-ReplacePX4Module”，具体实验原理请学习进阶版课程。实验操作步骤见文件[readme.pdf](#)。



## 3.进阶实验

### 3.9 PX4模块替换实验

本实验对“Position & Attitude Estimator”滤波器模块进行了屏蔽，将2.3小节(姿态控制器设计实验)进行改造，搭建了“Exp6\_ReplacePX4AttitudeCtrler.slx”模型，如下：



**注：**在本实验开发完成后，请务必将修改的代码归回原位，以免影响其他功能的开发。





# 大纲

---

1. 课程学习

2. 基础实验

3. 进阶实验

4. 小结



## 4. 小结

- 本讲主要对飞行控制算法的开发课程进行讲解，分为基础实验和进阶实验两部分，使各位学员能够尽快熟悉多旋翼的理论设计、RflySim平台仿真、物理真机控制等开发流程。
- 基础实验是基于RflySim平台软件在环和硬件在环仿真流程学习为主，进阶实验是从多旋翼理论设计和建模实验→估计实验→控制实验→决策实验的学习路线进行教学。

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！