

## 5.RflySimFlyCtrl 底层控制算法开发

RflySim 采用基于模型设计（Model-Based Design, MBD）的思想，可用于无人系统的控制和安全测试。通过以下五个阶段：建模阶段、控制器设计阶段、软件在环仿真阶段（Software-In-the-Loop, SIL）、硬件在环仿真阶段（Hardware-In-the-Loop, HIL）和实飞测试阶段。通过 MATLAB/Simulink 的自动代码生成技术，控制器能够被方便地自动下载到硬件中，用于 HIL 仿真和实际飞行测试。

序号	实验名称	简介	文件地址	版本
1	位姿控制与滤波估计 API 文件	位姿控制与滤波估计开发所使用的 API 接口文档	<a href="#">API.pdf</a>	nan
2	位姿控制与滤波估计课件	该文件全面的讲解了基于 RflySim 平台的位姿控制与滤波估计开发的实验以及效果展示。	<a href="#">PPT.pdf</a>	nan
3	基础接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中接口使用类的实验，旨在帮助用户快速熟悉本讲各种接口以便于后续实验开发。	<a href="#">0.ApiExps\Readme.pdf</a>	免费版
4	第 01 讲_课程介绍	RflySim 底层飞行控制算法开发系列课程总体介绍。	<a href="#">0.ApiExps\第 01 讲_课程介绍.pdf</a>	免费版
5	第 02 讲_实验平台配置	本章内容主要面对独立学习的读者或者实验课程老师，需要完成代码生成环境的部署工作并准备好实际飞行实验的平台。如果已经有配置好的实验平台，读者也可以跳过本章的内容，直接在搭建好的平台上按照后续章节内容完成实验课程。 本书提供的实验平台总体可以分成两个部分：硬件平台和软件平台。下面将依次介绍各个部分的	<a href="#">0.ApiExps\第 02 讲_实验平台配置.pdf</a>	免费版

		基本组成，以及详细的平台部署步骤。		
6	第 03 讲_实验平台使用	首先来介绍一下平台的整体组成，本次课程主要是使用 RflySim 平台的第 5 讲部分内容，本次课程中主要用到 RflySim 平台的部分功能和资料有如下：Simulink 控制器设计与仿真系统、Pixhawk 自驾仪硬件系统、多旋翼处理器在环仿真器实验指导包。本节将详细讲解实验平台的使用方法。	<a href="#">0.ApiExps\第 03 讲_实验平台使用.pdf</a>	免费版
7	第 04 讲_实验流程介绍	本章内容主要面对独立学习的读者或者实验课程老师，需要完成代码生成环境的部署工作并准备好实际飞行实验的平台。如果已经有配置好的实验平台，读者也可以跳过本章的内容，直接在搭建好的平台上按照后续章节内容完成实验课程。本书提供的实验平台总体可以分成两个部分：硬件平台和软件平台。下面将依次介绍各个部分的基本组成，以及详细的平台部署步骤。	<a href="#">0.ApiExps\第 04 讲_实验流程介绍.pdf</a>	免费版
8	基础功能性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中基础性的功能实验，用户可快速上手熟悉一些简单的功能性实验，本讲中包含有多旋翼动力系统建模、传感器标定、滤波器设计、姿态及位置控制器设计以及半自主失效保护逻辑设计实验等。	<a href="#">1.BasicExps\Readme.pdf</a>	免费版
9	进阶性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶的实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，用	<a href="#">2.AdvExps\Readme.pdf</a>	个人集合版

		户在已经熟悉基于 RflySim 平台开发本章中的实验，该文件夹中的实验均为本讲的进阶例程，如：ADRC 控制器设计实验、MCC 控制器设计实验等等。		
10	定制性实验	本文件夹中的所有实验均为部分项目中的拆解实验，相比其他文件夹中的实验，该文件夹中的实验更加完整、复杂，满足更多的项目或者科研需求。	<a href="#">3.CustExps\Readme.pdf</a>	完整版
11	基础接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中接口使用类的实验，旨在帮助用户快速熟悉本讲各种接口以便于后续实验开发。	<a href="#">0.ApiExps\Readme.pdf</a>	免费版
12	基础功能性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中基础性的功能实验，用户可快速上手熟悉一些简单的功能性实验，本讲中包含有多旋翼动力系统建模、传感器标定、滤波器设计、姿态及位置控制器设计以及半自主失效保护逻辑设计实验等。	<a href="#">1.BasicExps\Readme.pdf</a>	免费版
13	进阶性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶的实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，用户在已经熟悉基于 RflySim 平台开发本章中的实验，该文件夹中的实验均为本讲的进阶例程，如：ADRC 控制器设计实验、MCC 控制器设计实验等等。	<a href="#">2.AdvExps\Readme.pdf</a>	个人集合版
14	进阶接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶接口类实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，本文件夹中均为针对本章的进阶性接口类实验，如：自动屏蔽 PX4 软件中代码实验、PX4 模块重	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\Readme.pdf</a>	个人版

		命名实验以及多 PX4_app 并行开发等实验		
15	定制性实验	本文件夹中的所有实验均为部分项目中的拆解实验，相比其他文件夹中的实验，该文件夹中的实验更加完整、复杂，满足更多的项目或者科研需求。	<a href="#">3.CustExps\Readme.pdf</a>	完整版
16	位姿控制与滤波估计例程检索文件	通过本文件，您可快速了解并掌握本讲全部的例程简介和例程文件地址。	<a href="#">readme.pdf</a>	nan

## 所有文件列表

序号	实验名称	简介	文件地址	版本
1	底层控制算法开发	RflySim 采用基于模型设计 (Model-Based Design, MBD) 的思想, 可用于无人系统的控制和安全测试。通过以下五个阶段: 建模阶段、控制器设计阶段、软件在环仿真阶段 (Software-In-the-Loop, SIL)、硬件在环仿真阶段 (Hardware-In-the-Loop, HIL) 和实飞测试阶段。通过 MATLAB/Simulink 的自动代码生成技术, 控制器能够被方便地自动下载到硬件中, 用于 HIL 仿真和实际飞行测试。	<a href="#">readme.pdf</a>	免费版
2	基础接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中接口使用类的实验, 旨在帮助用户快速熟悉本讲各种接口以便于后续实验开发。	<a href="#">0.ApiExps\Readme.pdf</a>	免费版
3	基础功能性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中基础性的功能实验, 用户可快速上手熟悉一些简单的功能性实验, 本讲中包含有多旋翼动力系统建模、传感器标定、滤波器设计、姿态及位置控制器设计以及半自主失效保护逻辑设计实验等。	<a href="#">1.BasicExps\Readme.pdf</a>	免费版
4	进阶性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶的实验, 基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验, 用户已经在熟悉基于 RflySim 平台开发本章中的实验, 该文件夹中的实验均为本讲的进阶例程, 如: ADRC 控制器设计实验、MCC 控制器设计实验等等。	<a href="#">2.AdvExps\Readme.pdf</a>	个人集合版

5	进阶接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶接口类实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，本文件夹中均为针对本章的进阶性接口类实验，如：自动屏蔽 PX4 软件中代码实验、PX4 模块重命名实验以及多 PX4_app 并行开发等实验	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\Readme.pdf</a>	个人版
6	定制性实验	本文件夹中的所有实验均为部分项目中的拆解实验，相比其他文件夹中的实验，该文件夹中的实验更加完整、复杂，满足更多的项目或者科研需求。	<a href="#">3.CustExps\Readme.pdf</a>	完整版
7	位姿控制与滤波估计例程检索文件	通过本文件，您可快速了解并掌握本讲全部的例程简介和例程文件地址。	<a href="#">readme.pdf</a>	nan
8	位姿控制与滤波估计 API 文件	位姿控制与滤波估计开发所使用的 API 接口文档	<a href="#">API.pdf</a>	nan
9	位姿控制与滤波估计课件	该文件全面的讲解了基于 RflySim 平台的位姿控制与滤波估计开发的实验以及效果展示。	<a href="#">PPT.pdf</a>	nan
10	基础接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中接口使用类的实验，旨在帮助用户快速熟悉本讲各种接口以便于后续实验开发。	<a href="#">0.ApiExps\Readme.pdf</a>	免费版
11	第 01 讲_课程介绍	RflySim 底层飞行控制算法开发系列课程总体介绍。	<a href="#">0.ApiExps\第 01 讲_课程介绍.pdf</a>	免费版
12	第 02 讲_实验平台配置	本章内容主要面对独立学习的读者或者实验课程老师，需要完成代码生成环境的部署工作并准备好实际飞行实验的平台。如果已经有配置好的实验平台，读者也可以跳过本章的内容，直接在搭建好的平台上按照后续章节内容完成实验课程。本书提供的实验平台总体可以分成两个部分：硬件平台和软	<a href="#">0.ApiExps\第 02 讲_实验平台配置.pdf</a>	免费版

		件平台。下面将依次介绍各个部分的基本组成，以及详细的平台部署步骤。		
13	第 03 讲_实验平台使用	首先来介绍一下平台的整体组成，本次课程主要是使用 RflySim 平台的第 5 讲部分内容，本次课程中主要用到 RflySim 平台的部分功能和资料有如下：Simulink 控制器设计与仿真系统、Pixhawk 自驾仪硬件系统、多旋翼处理器在环仿真器实验指导包。本节将详细讲解实验平台的使用方法。	<a href="#">0.ApiExps\第 03 讲_实验平台使用.pdf</a>	免费版
14	第 04 讲_实验流程介绍	本章内容主要面对独立学习的读者或者实验课程老师，需要完成代码生成环境的部署工作并准备好实际飞行实验的平台。如果已经有配置好的实验平台，读者也可以跳过本章的内容，直接在搭建好的平台上按照后续章节内容完成实验课程。本书提供的实验平台总体可以分成两个部分：硬件平台和软件平台。下面将依次介绍各个部分的基本组成，以及详细的平台部署步骤。	<a href="#">0.ApiExps\第 04 讲_实验流程介绍.pdf</a>	免费版
15	资源文件安装	该文件夹中主要是包含有本讲(或平台)实验中，所用到的驱动、软件以及各种学习资源。	<a href="#">0.ApiExps\0.ResourcesFile\Readme.pdf</a>	免费版
16	软件在环仿真	熟悉 Simulink 控制器与仿真平台，该例程提供了一套基于 Simulink/RflySim3D 的较为逼真的仿真环境例程。	<a href="#">0.ApiExps\1.SoftwareSimExps\Readme.pdf</a>	免费版
17	QGC 实时调整	在进行硬件在环仿真和真机实验时，常常需要在	<a href="#">0.ApiExps\10.QGC-Param-Tune\Readme.pdf</a>	免费版

	控制器参数	QGC 地面站中观察飞行状态，并对控制器参数进行实时调整，以使得飞机达到最佳的控制效果。		
18	传感器数据读取	通过 RflySim 的底层开发接口，可获取的传感器数据包含磁力计、加速度计、陀螺仪、气压计和时间戳以及 GPS 数据等信息。本实验将进行上述传感器部分数据的获取，以此思路可订阅更加多样的传感器数据。	<a href="#">0.ApiExps\11.SenorDataGet\Readme.pdf</a>	免费版
19	自驾仪 CPU 使用率查看	在使用 RflySim 平台进行底层开发的时，通常是需要是在自驾仪硬件上验证我们自己开发的算法，但在 Simulink 中搭建的算法模型在自动代码生成自驾仪固件时，可能会因算法的复杂度和模型搭建的合理性，造成自驾仪系统的 CPU 占用率超负载，从而导致实验失败，如下图。本实验将演示如何查看自己自驾仪系统的 CPU 占用率情况。	<a href="#">0.ApiExps\12.AutopilotCPUUsageGet\Readme.pdf</a>	免费版
20	Simulink 中 M-Function 和 S-Function 对自驾仪系统资源占用对比	PX4 固件的飞控系统都是基于 Nuttx 这个操作系统的。Nuttx 是一个实时嵌入式操作系统 (Embedded RTOS)，它很小巧，在微控制器环境中使用。Nuttx 完全可扩展，可从从小型 (8 位) 至中型嵌入式 (32 位) 系统。它的设计目的还在于完全符合 POSIX 标准，完全实时，并完全开放。以 Holybro Pixhawk 6C 为例，其所使用主处理器为 STM32H743，频率为 480MHz，内存为 2MB，协处理器 STM32F103，频率为 72MHz，静态随机存取存储器(Static Random-Access Memory, SRAM)为 64KB。因此在运行较大的算法程序时，可能会造成内存使用爆满，CPU 超载等情况。本实验将分别烧录由 M-Function 和 S-	<a href="#">0.ApiExps\13.Simulink_MS_FuncVS\Readme.pdf</a>	免费版



		Function 搭建的 Simulink 模型，通过分析自驾仪系统的资源占用情况，可得 S-Function 搭建的 Simulink 模型占用自驾仪资源更少。		
21	SITL 验证自动代码生成代码	Simulink 的自动代码机制可以直接一键生成目标硬件的所有代码并调用相关的编译器自动生成工程文件，省去了模型应用层代码和底层驱动关联的工作环节。TLC (Target Language Compiler) 语言在 Simulink 中是连接模型和目标代码的桥梁，是一种解释性语言。本实验将使用前面实验的文件 (..\3.DesignExps\Exp4_AttitudeSystemCodeGen.slx) 进行自动代码生成，说明基于 RflySim 平台的 SITL 仿真环境下验证自动生成的代码。	<a href="#">0.ApiExps\14.SITLVeriGenCodeFirm\Readme.pdf</a>	免费版
22	PSP 官方提供	熟悉 PSP 官方提供的实验资源，通过对 px4demo_input_rc.slx 实验的讲解，了解硬件在环仿真流程。本例程是为了方便调参与测试，在 PSP 工具箱提供访问飞控内部参数的方法，这样可以在飞行测试实验中，通过地面站软件来修改 Simulink 生成控制器参数。(注：本文档以 px4demo_input_rc.slx 为主进行讲解，其余实验请参见 Pixhawk_Pilot_Support_Package.pdf 文件或关注本平台其余课程实验；本节其他例程在后续例程有更详细的讲解，此文档只做对 PSP 工具箱访问飞控内部参数和自动生成代码配置的说明)	<a href="#">0.ApiExps\2.PSPOfficialExps\Readme.pdf</a>	免费版
23	姿态控制器设计	熟悉 Simulink 控制器与仿真平台、软件在环仿真、硬件在环仿真以及实飞实验的流程，本实验以一个设计好的姿态控制系统为例，介绍整个实验的基本	<a href="#">0.ApiExps\3.DesignExps\Readme.pdf</a>	免费版

		操作流程。		
24	飞控固件上传	熟悉飞控固件还原的方法和途径。	<a href="#">0.ApiExps\4.PX4Firmwares\Readme.pdf</a>	免费版
25	log 数据记录与读取	使用二进制日志记录模块：binary_logger，完成飞行数据写入与读取，log 数据记录，以 RflySim 平台设定了 20s 的四维随机数据，数据存储位置飞控板内的片上外设存储卡内（路径为 /fs/microsd/log/pixhawk），熟悉 PX4 飞控的底层运行逻辑。	<a href="#">0.ApiExps\5.Log-Write-Read\Readme.pdf</a>	免费版
26	uORB 消息读取与写入	自定义 uORB 消息，PX4 的 uORB 消息系统是提供了非常强大且方便的内部模块间数据交互能力，本例程是通过创建一个自定义的 uORB 消息实现读写功能，以此熟悉并掌握 PX4 的 uORB 消息系统。	<a href="#">0.ApiExps\6.uORB-Read-Write\Readme.pdf</a>	免费版
27	自定义 uORB 消息	通过创建一个自定义的 uORB 消息实现读写功能，以此熟悉并掌握 PX4 的 uORB 消息系统。	<a href="#">0.ApiExps\7.uORB-Create\Readme.pdf</a>	免费版
28	回传提示消息	在飞控中，我们时常需要向外发布一些文字消息，来反映系统当前的运行状态，这个功能可以通过发送“mavlink_log”的 uORB 消息来实现。	<a href="#">0.ApiExps\8.Mavlink-Msg-Echo\Readme.pdf</a>	免费版
29	PX4 控制器的外部通信	本例程以外部发送的 rfly_ctrl 数据来作为遥控器输入，同时会将收到的数据向 rfly_px4 发送出去，回传给外部程序。	<a href="#">0.ApiExps\9.PX4CtrlExternalTune\Readme.pdf</a>	免费版
30	基础功能性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中基础性的功能实验，用户可快速上手熟悉一些简单的功能性实验，本讲中包含有多旋翼动力系统建模、传感器标定、滤波器设计、姿态及位置控制器设计以及半自主失效保护逻辑设计实验等。	<a href="#">1.BasicExps\Readme.pdf</a>	免费版

31	动力系统设计	多旋翼飞行评估网站 <a href="https://flyeval.com/paper/">https://flyeval.com/paper/</a> 。熟悉多旋翼无人机动力系统设计流程和各项参数对性能的影响分析。	<a href="#">1.BasicExps\1-FlightEval\Readme.pdf</a>	免费版
32	动态建模	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；在 MATLAB/Simulink 上建立完整的多旋翼飞行器模型。在姿态模型方面，可以采用四元数模型、旋转矩阵模型，或者欧拉角模型；在 RflySim3D 中添加四旋翼的三维模型；	<a href="#">1.BasicExps\2-UavModeling\Readme.pdf</a>	免费版
33	传感器标定	利用数据采集模型和飞控采集加速度计和陀螺仪数据，按步骤完成互补滤波，处理所得数据并绘制相关姿态角数据图；基于 4.1 基础实验，改变滤波器参数，分析滤波器参数对滤波效果的影响；理解卡尔曼滤波原理，并设计卡尔曼滤波器实现滤波器功能。	<a href="#">1.BasicExps\3-SensorCalib\Readme.pdf</a>	免费版
34	滤波器设计	利用数据采集模型和飞控采集加速度计和陀螺仪数据，按步骤完成互补滤波，处理所得数据并绘制相关姿态角数据图；基于 4.1 基础实验，改变滤波器参数，分析滤波器参数对滤波效果的影响；理解卡尔曼滤波原理，并设计卡尔曼滤波器实现滤波器功能。	<a href="#">1.BasicExps\4-FilterDesign\Readme.pdf</a>	免费版
35	姿态控制器设计	四旋翼无人机姿态控制器设计实验 (SITL->HITL->FLY)	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\Readme.pdf</a>	免费版
36	基础	(1) 复现四旋翼飞行器的 Simulink 仿真，分析控制分配器的作用；(2) 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	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.1\Readme.pdf</a>	免费版

		闭环姿态控制系统的稳定裕度；(3) 完成四旋翼硬件在环仿真。		
37	分析	(1) 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；(2) 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。	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.2\Readme.pdf</a>	免费版
38	设计	(1)建立姿态控制通道的传递函数模型，设计校正控制器,使得姿态角速度环稳态误差，相位裕度 $>65^\circ$ ，截至频率 $>10\text{rad/s}$ 。姿态角度环截至频率 $>5\text{rad/s}$ ，相位裕度 $>60^\circ$ ；(2)使用自己设计的控制器进行硬件在环仿真实验；	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.3\Readme.pdf</a>	免费版
39	姿态控制器设计-实飞	熟悉实飞实验流程。	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.4\Readme.pdf</a>	免费版
40	第 09 讲_实验五_姿态控制器设计实验	nan	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\第 09 讲_实验五_姿态控制器设计实验.pdf</a>	免费版
41	第 11 讲_底层飞行控制 V2	nan	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\第 11 讲_底层飞行控制 V2.pdf</a>	免费版
42	基础	(1) 复现四旋翼飞行器的 Simulink 仿真，分析控制分配器的作用；(2) 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；(3) 完成四旋翼硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.1\Readme.pdf</a>	免费版
43	分析	(1) 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；(2)	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.2\Readme.pdf</a>	免费版

		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。		
44	设计	(1)建立姿态控制通道的传递函数模型，设计校正控制器,使得姿态角速度环稳态误差，相位裕度 $>65^\circ$ ，截至频率 $>10\text{rad/s}$ 。姿态角度环截至频率 $>5\text{rad/s}$ , 相位裕度 $>60^\circ$ ；(2)使用自己设计的控制器进行硬件在环仿真实验；	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.3\Readme.pdf</a>	免费版
45	姿态控制器设计-实飞	熟悉实飞实验流程。	<a href="#">1.BasicExps\5-AttitudeCtrl\5.4\Readme.pdf</a>	免费版
46	定点位置控制器设计实验	四旋翼无人机定点位置控制器设计实验 (SITL->HITL->FLY)	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\Readme.pdf</a>	免费版
47	基础	复现四旋翼 Simulink 仿真，分析控制作用在轴和轴的解耦；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；完成硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.1\Readme.pdf</a>	免费版
48	基础	调节 PID 控制器的相关参数改善系统控制性能，并记录超调量和调节时间，得到一组满意的参数。在得到满意参数后，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。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.2\Readme.pdf</a>	免费版
49	基础	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,使得加入校正环节后系统速度控制环阶跃响应稳态误差，相位裕度 $>75^\circ$ 截止频率 $>2.0\text{rad/s}$ 。位置控制环截止频率 $>1\text{rad/s}$ ,相位裕度 $>60^\circ$ ；使用自己设计的控制器进行软件在环仿真实验和硬件在环仿真实	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.3\Readme.pdf</a>	免费版

		验；使用自己设计的控制器进行实飞实验。		
50	定点位置控制器设计	让多旋翼实现位置定点控制飞行。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.4\Readme.pdf</a>	免费版
51	第 10 讲_实验六_定点位置控制器设计实验	nan	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\第 10 讲_实验六_定点位置控制器设计实验.pdf</a>	免费版
52	第 12 讲_基于半自主自驾仪的位置控制 V2	nan	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\第 12 讲_基于半自主自驾仪的位置控制 V2.pdf</a>	免费版
53	基础	复现四旋翼 Simulink 仿真，分析控制作用在轴和轴的解耦；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；完成硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.1\Readme.pdf</a>	免费版
54	基础	调节 PID 控制器的相关参数改善系统控制性能，并记录超调量和调节时间，得到一组满意的参数。在得到满意参数后，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。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.2\Readme.pdf</a>	免费版
55	基础	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，使得加入校正环节后系统速度控制环阶跃响应稳态误差，相位裕度 $>75^\circ$ 截止频率 $>2.0\text{rad/s}$ 。位置控制环截止频率 $>1\text{rad/s}$ ，相位裕度 $>60^\circ$ ；使用自己设计的控制器进行软件在环仿真实验和硬件在环仿真实验；使用自己设计的控制器进行实飞实验。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.3\Readme.pdf</a>	免费版
56	定点位置控制器设计	让多旋翼实现位置定点控制飞行。	<a href="#">1.BasicExps\6-PositionCtrl\6.4\Readme.pdf</a>	免费版

57	半自主控制模式设计实验	四旋翼无人机半自主控制模式设计实验 (SITL->HITL->FLY)	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\Readme.pdf</a>	免费版
58	基础	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，记录当期望姿态为零时的水平位置响应，记录当油门回中时的高度响应；完成硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.1\Readme.pdf</a>	免费版
59	基础	在自稳模式的基础上改成定高模式。根据实验数据分析，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；完成硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.2\Readme.pdf</a>	免费版
60	基础	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；利用三段拨码开关实现三种模式的自由切换，完成硬件在环仿真实验和实飞实验。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.3\Readme.pdf</a>	免费版
61	半自主控制模式设计	根据基础实验和分析实验，实现四旋翼三种半自主控制模式（自稳模式、定高模式和定点模式）切换。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.4\Readme.pdf</a>	免费版
62	第 11 讲_实验七_半自主控制模式设计实验	nan	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\第 11 讲_实验七_半自主控制模式设计实验.pdf</a>	免费版
63	第 13 讲_任务决策 V2	nan	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\第 13 讲_任务决策 V2.pdf</a>	免费版
64	基础	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，记录当期望姿态为零时的水平位置响应，记录当油门回中时的高度响应；完成硬件在环仿真。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.1\Readme.pdf</a>	免费版
65	基础	在自稳模式的基础上改成定高模式。根据实验数据	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.2\Readme.pdf</a>	免费版



		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；完成硬件在环仿真。		
66	基础	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；利用三段拨码开关实现三种模式的自由切换，完成硬件在环仿真实验和实飞实验。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.3\Readme.pdf</a>	免费版
67	半自主控制模式设计	根据基础实验和分析实验，实现四旋翼三种半自主控制模式（自稳模式、定高模式和定点模式）切换。	<a href="#">1.BasicExps\7-SemiAutoCtrl\7.4\Readme.pdf</a>	免费版
68	失效保护逻辑设计实验	四旋翼无人机失效保护逻辑设计实验 (SITL->HITL->FLY)	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\Readme.pdf</a>	免费版
69	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.1\Readme.pdf</a>	免费版
70	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.2\Readme.pdf</a>	免费版



		析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。		
71	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.3\Readme.pdf</a>	免费版
72	失效保护逻辑设计	根据基础实验和分析实验，实现四旋翼返航和遥控器失联时能自动着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.4\Readme.pdf</a>	免费版
73	第 12 讲_实验八_失效保护逻辑设计实验	nan	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\第 12 讲_实验八_失效保护逻辑设计实验.pdf</a>	免费版
74	第 14 讲_健康评估和失效保护 V2	nan	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\第 14 讲_健康评估和失效保护 V2.pdf</a>	免费版
75	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.1\Readme.pdf</a>	免费版

		析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。		
76	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.2\Readme.pdf</a>	免费版
77	失效保护逻辑设计	本实验主要内容则是详细介绍了多旋翼失效保护的原理和保护机制的设计，并设计了分步实验（基础实验、分析实验和设计实验）由浅入深的带领读者者领会这部分知识。在基础实验中，读者将复现由手动控制模式（可能是自稳模式、定高模式或定点模式的一种）到返航模式或着陆模式的切换；分析实验则要求读者更改状态转移条件，能够实现返航和着陆之间的切换；设计实验要求读者实现四旋翼在遥控器失联时多旋翼能自动返航着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.3\Readme.pdf</a>	免费版
78	失效保护逻辑设计	根据基础实验和分析实验，实现四旋翼返航和遥控器失联时能自动着陆。	<a href="#">1.BasicExps\8-FailsafeLogic\8.4\Readme.pdf</a>	免费版
79	PX4 模块替换	因 Simulink 控制器模块与 PX4 内部子模块是相互独立，并行运行的。因此，在本实验中只需要将 PX4 模块的输出消息屏蔽掉，用 Simulink 控制器发送该	<a href="#">1.BasicExps\9-ReplacePX4Module\Readme.pdf</a>	免费版

		消息，就能实现模块的替换。		
80	进阶性实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶的实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，用户已经熟悉基于 RflySim 平台开发本章中的实验，该文件夹中的实验均为本讲的进阶例程，如：ADRC 控制器设计实验、MCC 控制器设计实验等等。	<a href="#">2.AdvExps\Readme.pdf</a>	个人集合版
81	进阶接口类实验	本文件夹中的所有实验均为本讲中进阶接口类实验，基于 0.ApiExps、1.BasicExps 文件夹中的实验，本文件夹中均为针对本章的进阶性接口类实验，如：自动屏蔽 PX4 软件中代码实验、PX4 模块重命名实验以及多 PX4_app 并行开发等实验	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\</a>	个人版
82	自定义屏蔽 PX4 中任意模块输出	基于 RflySim 底层控制算法开发时，为了验证所开发的控制算法，我们需要屏蔽掉 PX4 软件中的输出，在大多数情况下，我们只需要直接屏蔽掉 PX4 软件系统中的电机输出即可。但是，某些特定开发任务需要屏蔽的是 PX4 软件系统中某个模块的某个中间量，以此满足开发需求。本实验通过替换 PX4 中的姿态角速率环的 uORB 消息“actuator_controls_0”语句和替换修改好的 CPP 文件替换的方式屏蔽 PX4 相关功能为例详细阐述实验步骤。	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\1.CusMaskPX4Code\Readme.pdf</a>	个人版
83	重命名 PX4 应用名称	基于 PX4 软件系统中的多进程运行状态，MATLAB 自动代码生成的 PX4 应用名称为：px4_simulink_app，本实验可将其进行重命名并新增创建一个全新的应用在 PX4 软件系统中并编译。	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\2.RenamePX4App\Readme.pdf</a>	个人版
84	加载 PX4 应用	RflySim 平台支持加载自定义开发完成的 PX4 应用，根据本实验所提供的 PX4 应用程序可直接加载到	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\3.LoadPX4App\Readme.pdf</a>	个人版

		PX4 软件系统中进行固件编译。		
85	创建多个PX4应用	基于 PX4 软件系统中的多进程运行状态, MATLAB 自动代码生成的 PX4 应用名称为: px4_simulink_app, 本实验可将其进行重命名后, 再通过 MATLAB 自动代码生成新的 PX4 应用, 以此即可实现同时创建多个 PX4 应用。	<a href="#">2.AdvExps\0_AdvApiExps\4.MultPX4App\Readme.pdf</a>	个人版
86	ADRC 相关控制设计实验	本文件夹中的所有实验均为基于四旋翼的自抗扰控制(ADRC)器设计实验例程, ADRC 是一种无模型控制方法, 适用于为具有未知动态特性以及内部和外部扰动的被控对象设计控制器。此算法只需要对被控对象动态特性进行逼近, 即可设计具有稳健抗扰功能的无超调的控制器。本文件夹包含了四旋翼无人机的姿态、定高、定点以及半自助模式控制器设计例程。	<a href="#">2.AdvExps\1_ADRC-CtrlExp\1</a>	集合版
87	ADRC 姿态控制器设计	把系统的模型作用当做系统的内扰, 那么它连同系统的外扰一起, 均可作为对系统的扰动。这个补偿分量并不区分内扰和外扰, 直接检测并补偿他们的总和作用——对系统的总扰动。由于这个分量的补偿作用, 被控对象实际上被化成积分器串联型而易于构造出理想的控制器, 这个补偿分量的补偿作用实质上是一种抗扰作用。因此我们将此控制器称为“自抗扰控制器”(ADRC)。本实验将对四旋翼的姿态作为控制目标, 进行设计 ADRC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\1_ADRC-CtrlExp\1.AttitudeCtrl-ADRC\Readme.pdf</a>	集合版
88	ADRC 姿态控制器设计	把系统的模型作用当做系统的内扰, 那么它连同系统的外扰一起, 均可作为对系统的扰动。这个补偿	<a href="#">2.AdvExps\1_ADRC-CtrlExp\1.AttitudeCtrl-ADRC\Readme.pdf</a>	集合版

		分量并不区分内扰和外扰，直接检测并补偿他们的总和作用——对系统的总扰动。由于这个分量的补偿作用，被控对象实际上被化成积分器串联型而易于构造出理想的控制器，这个补偿分量的补偿作用实质上是一种抗扰作用。因此我们将此控制器称为“自抗扰控制器”（ADRC）。本实验将对四旋翼的姿态作为控制目标，进行设计 ADRC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。		
89	进阶接口类实验	本文件夹中的所有实验均为模型补偿控制(MCC)器设计实验例程，MCC 中摒弃了传统的 ESO（Extended State Observer, ESO）观测器，采用更高精度的补偿函数观测器（Compensation Function Observer,CFO）实现对复杂扰动或快速时变扰动的高精度估计，并将总扰动的估计反馈给控制器，实现无人机系统的高精度跟踪控制。本文件夹包含了四旋翼无人机的姿态、定高、定点以及半自助模式控制器设计例程。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\.</a>	集合版
90	MCC 姿态控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control，即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的姿态作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\1.AttitudeCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
91	MCC 定高控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control，即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的定高作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\2.AltitudeCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
92	MCC 定点控制	MCC 全称为 Model Compensation Control，即模型	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\3.PositionCtrl-</a>	集合版

	器设计	补偿控制器。本实验将对四旋翼的定点作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">MCC\Readme.pdf</a>	
93	MCC 半自主控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control, 即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的半自主作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包为实飞程序。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\4.SemiAutoCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
94	MCC 姿态控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control, 即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的姿态作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\1.AttitudeCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
95	MCC 定高控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control, 即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的定高作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\2.AltitudeCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
96	MCC 定点控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control, 即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的定点作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包含有控制器搭建->SITL->HITL->实飞。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\3.PositionCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
97	MCC 半自主控制器设计	MCC 全称为 Model Compensation Control, 即模型补偿控制器。本实验将对四旋翼的半自主作为控制目标，进行设计 MCC 控制器设计实验包为实飞程序。	<a href="#">2.AdvExps\2_MCC-CtrlExp\4.SemiAutoCtrl-MCC\Readme.pdf</a>	集合版
98	定制性实验	本文件夹中的所有实验均为部分项目中的拆解实验，相比其他文件夹中的实验，该文件夹中的实验更加完整、复杂，满足更多的项目或者科研需求。	<a href="#">3.CustExps\Readme.pdf</a>	完整版



## 备注

注 1：各版本区别说明详见：<http://rflysim.com/doc/RflySimVersions.xlsx>。更高版本获取请见：<https://rflysim.com/download.html>，或咨询 [service@rflysim.com](mailto:service@rflysim.com)。