

微小型固定翼无人机飞行控制 设计与实践

第2章 实验平台配置及开发过程

全 权

qq_buaa@buaa.edu.cn

自动化科学与电气工程学院



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



可靠飞行控制研究组

RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP



大纲



- 1. 实验平台及开发过程总体介绍**
- 2. 软件平台安装及硬件配置**
- 3. 快速入门实验**
- 4. 其它接口介绍**

实验平台及开发过程总体介绍

软硬件平台总览

- RflySim工具链作为一个工具链，包含了众多运用于无人系统开发的软件，如：Python 3.8 环境、MATLAB / PSP工具箱、FlightGear、QGroundControl等；同时，针对无人系统的自主开发的RflySim3D、CopterSim等。
- 除了软件系统，RflySim硬件系统有：地面计算机/机载计算机、机架系统、动力系统、遥控器系统、自驾仪系统等等。



控制器设计与仿真



代码自动生成与固件编译



代码阅读与修改



处理器在环仿真



室内外飞行实验



实验平台及开发过程总体介绍



软件平台

- Microsoft Windows系统：是美国微软公司以图形用户界面为基础研发的操作系统。RflySim工具链支持运行在win10及以上的系统，基于批处理预言开发的bat脚本系统，能够一键开启所有需要的软件并完成配置，大大提高实验效率。
- MATLAB/Simulink：它是Mathworks公司开发的一款可视化仿真工具，可以方便的通过模块化编程预言搭建仿真系统用于动态系统建模、控制器设计、软硬件仿真和特性分析等功能。本书提供的仿真软件包与例程代码推荐早MATLAN2022b及以上版本运行。
- Pixhawk Support Package (PSP) 工具箱： Mathworks公司官方为Pixhawk自驾仪推出一个工具箱，用于将Simulink中设计的控制算法生成C代码并编译上传到Pixhawk自驾仪硬件。
- FlightGear飞行模拟器：一款非常受欢迎的开源飞行模拟器软件，可以通过 UDP接收Simulink发送的飞行状态，方便地观测Simulink仿真时飞机的飞行状态。
- PX4 软件源代码：PX4 是一款开源 飞行控制软件系统，它运行在Pixhawk系列自 驾仪硬件平台上，构成了Pixhawk PX4自驾 仪软硬件平台，是目前世界范围内广泛应用的开源无人机自驾仪。

实验平台及开发过程总体介绍



软件平台

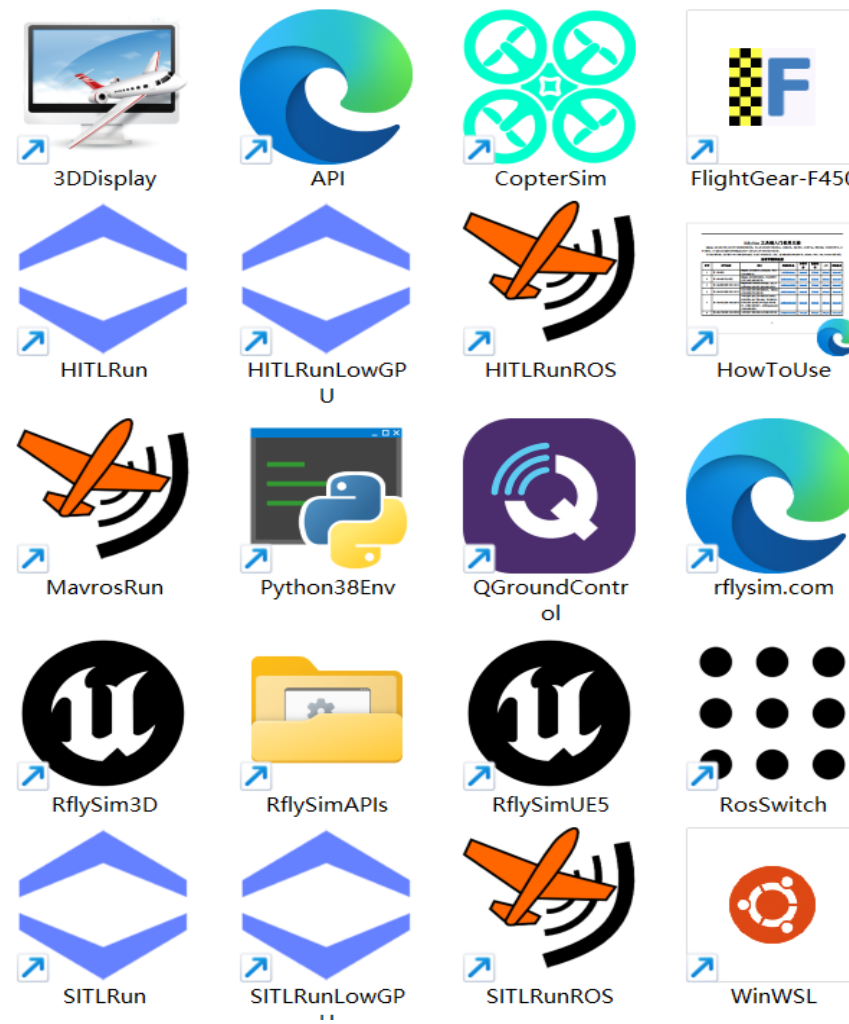
- PX4固件编译环境：在Windows下是无法直接进行PX4固件编译，一般采取的方式是安装Linux模拟环境（WSL、Msys2或Cygwin等）并部署编译工具链，将PX4源代码和PSP工具箱生成的控制器代码编译成“.px4”格式的固件，然后下载并烧录到Pixhawk 自驾仪硬件中（类似于重装系统的过程），重新启动后就会自动运行PSP工具箱生成的控制算法。
- QGroundControl（QGC）地面站：包含配置飞控参数和控制飞机起飞、降落、航线等功能。用户可以阅读如下网址来学习软件使用：<https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/index.html>。
- CopterSim：本工具链核心仿真软件，运行多旋翼运动动态模型，并连同其他软件构成软/硬件在环仿真。
- Python38Env：RflySim工具链中内置的Python 3.8版环境启动快捷方式，包含OpenCV等库的一个Python环境。

实验平台及开发过程总体介绍



软件平台

- WinWSL编译器：用于编译固件和软件在环仿真。
- RflySim3D：本工具链核心三维显示软件，基于Unreal Engine 4（UE4，完整版支持UE5）引擎开发，具备高逼真虚拟现实显示效果。
- RflySimAPIs例程文件夹：包含了本课程的所有例程和源码，覆盖了单/多机控制、集群飞行、视觉控制等。注：该文件夹中包含有旧版RflySim工具链中的PPT文件夹所有文件。

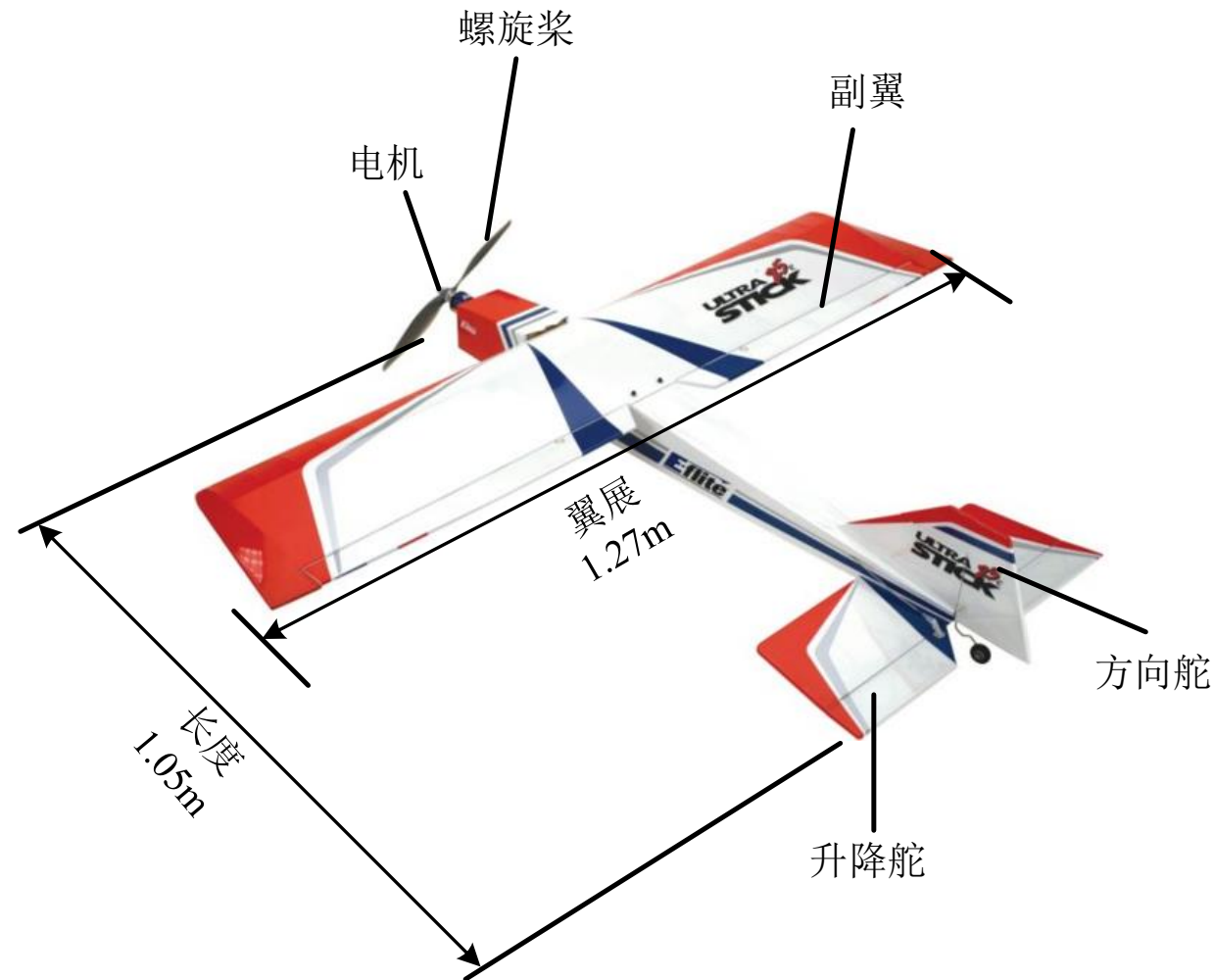


实验平台及开发过程总体介绍



硬件平台

- 自驾仪系统：自驾仪/飞控、GPS模块、电源模块、USB数据线、数传模块、机载AI视觉/集群计算机。
- 遥控器系统：遥控器发射器、接收机、充电器、锂电池等。
- 机架系统：推荐的无人机为UltraStick 25E，它是由HorizonHobby推出的一系列电动遥控飞机之一，可用于科研学习、休闲娱乐、飞行练习，甚至是小规模飞行表演。

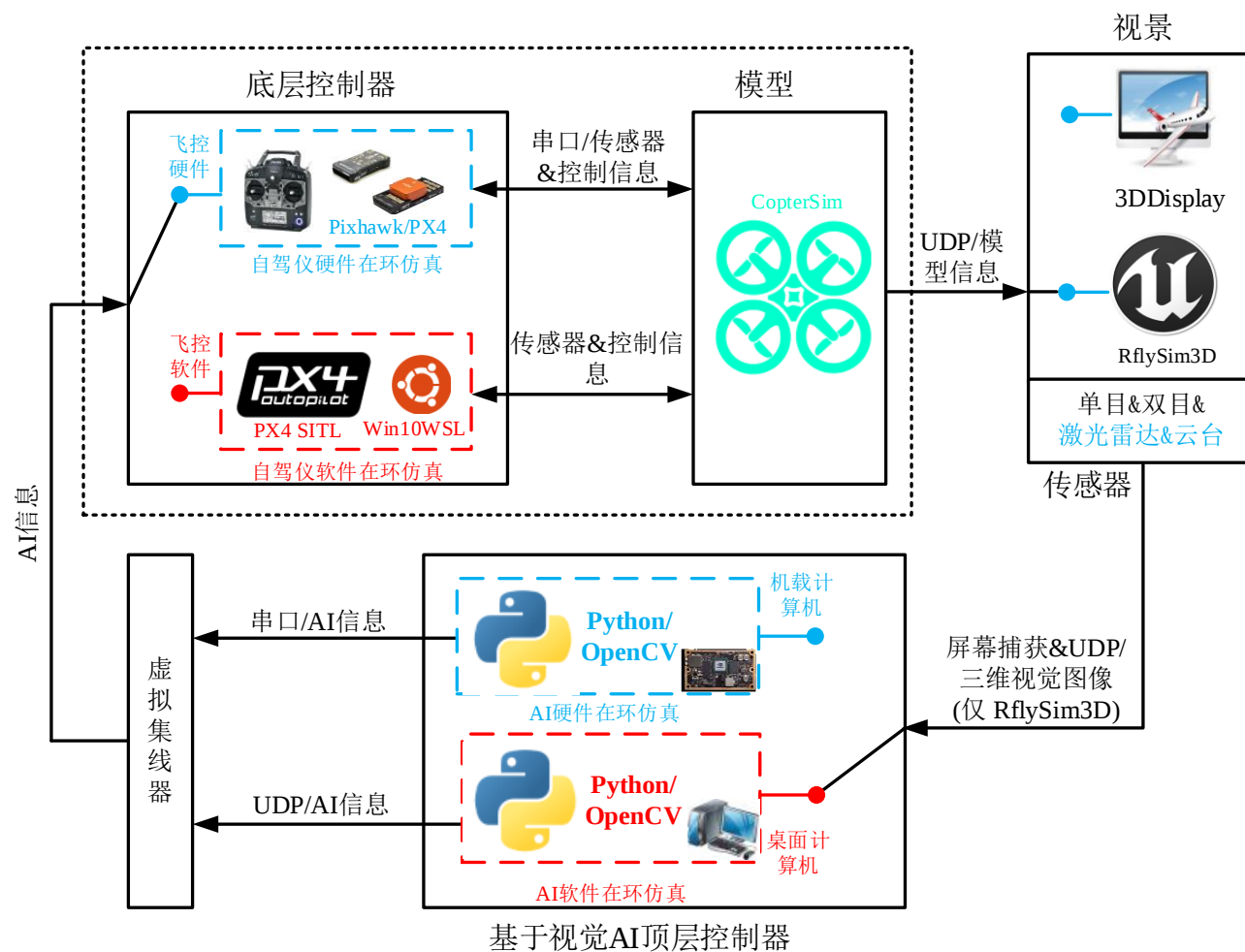


实验平台及开发过程总体介绍



软/硬件总体关系

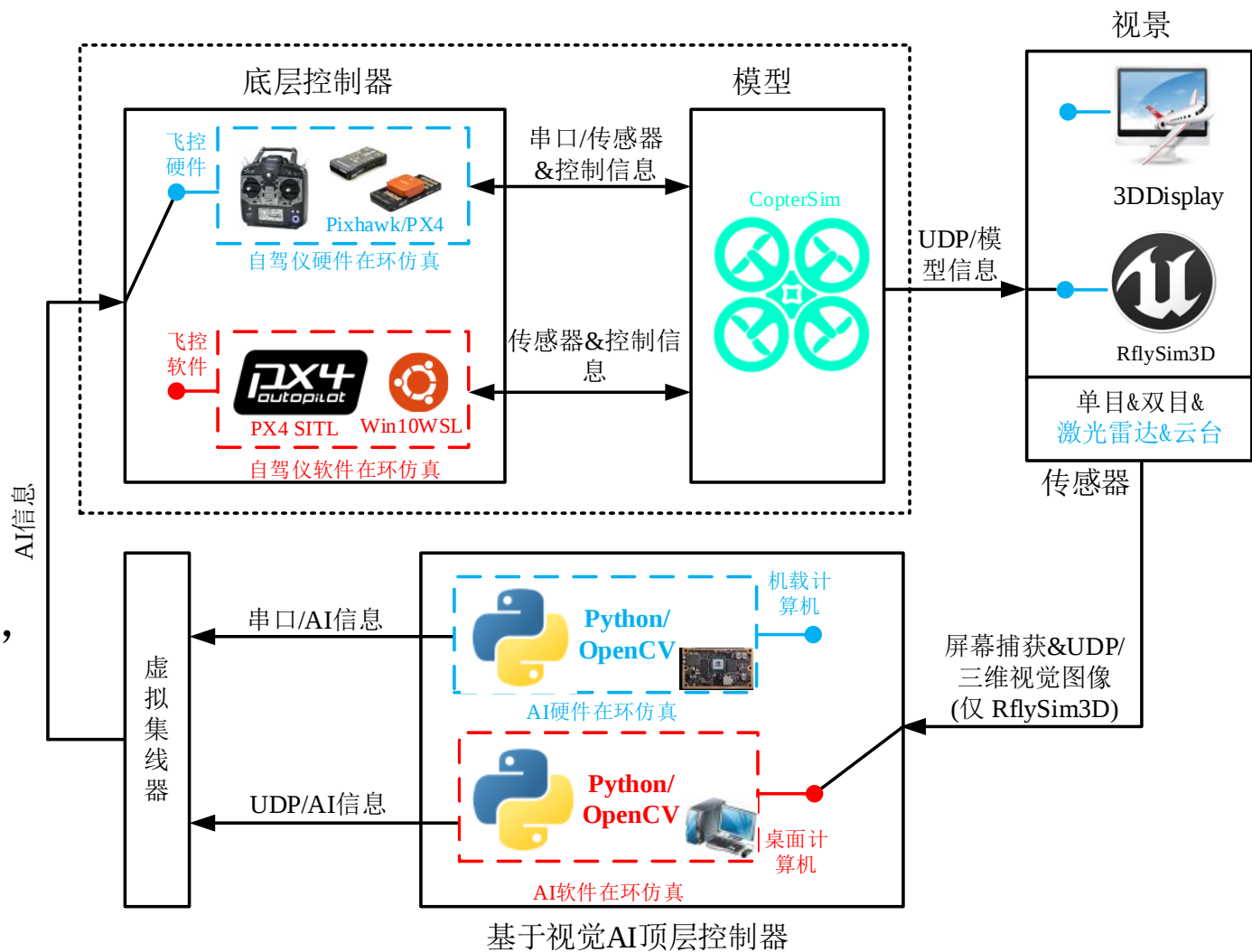
- RflySim 工具链主要包含了底层控制器、运动仿真模型、三维仿真模型、视觉集群顶层控制器等模块；其中底层控制器可实现基于PX4的软、硬件在环仿真的切换。仿真过程中，通过UDP或串口通信的方式传输传感器数据和控制信息给CopterSim。CopterSim接收到来自“底层控制器”的电机控制信号，并输入到DLL模型的输入接口中，然后实时且周期性地驱动模型向前推进，并将输出的传感器数据（加速度、GPS、磁力计等）回传给“底层控制器”使其能够正常运行。



实验平台及开发过程总体介绍

软/硬件总体关系

同时，将仿真状态数据发送给“三维仿真模型”从而能够在可视化环境中观察到无人载具的运动。顶层控制器的数据主要是来自“三维仿真模型”的视觉传感器数据（相机图像、激光点云等），输出是发送给“底层控制器”的控制指令（解锁、起飞、期望速度、期望位置、期望航线等），从而形成了兼容硬件在环仿真和软件在环仿真的闭环仿真与开发系统。



实验平台及开发过程总体介绍



开发过程总体介绍

基于RflySim 工具链进行开发时，我们将固定翼无人机的实验开发过程层层递进分为三个阶段：**算法开发和数值仿真、自驾仪软件在环仿真和自驾仪硬件在环仿真。**

1. **算法开发和数值仿真验证阶段**：该阶段也可称为模型在环仿真(Model-in-the-loop Simulation, MIL)验证阶段。此类固定翼无人机系统的模型中，不考虑其他干扰因素，其主要目的是验证在算法的合理性和准确性。
2. **软件在环仿真(Software-in-the-loop Simulation, SIL) 验证阶段**：SIL 仿真是指在主机上编译生成的源代码并将其作为单独的进程执行。通过比较普通模式仿真结果和SIL 仿真结果，测试模型与生成的代码之间是否存在数值等效性
3. **硬件在环仿真(Hardware-in-the-loop Simulation, HIL) 验证阶段**：本阶段是一种用于实时嵌入式系统的开发和测试技术。相对于软件在环仿真，硬件在环仿真中固定翼无人机模型运行速度与实际时钟是一致的，以此保证仿真的实时性，同时控制算法可以部署并运行在真实的嵌入式系统中，更加接近实际固定翼无人机系统。

大纲



1. 实验平台及开发过程总体介绍
2. 软件平台安装及硬件配置
3. 快速入门实验
4. 其它接口介绍

软件平台安装及硬件配置



软件平台安装——安装步骤

整个RflySim 平台软件包的安装流程已经高度自动化，可以通过运行一键安装脚本，实现快速全自动的部署。整体的安装步骤可以总结如下：

注意，若无需进行底层飞控开发，可以不用MATLAB
直接运行一键安装程序

从官方网站(<https://rflysim.com/>) 下载得到RflySim 仿真软件安装包镜像文件并加载后，启用WSL 子系统功能，然后打开MATLAB 主程序导入刚才下载并解压得到的安装包文件夹，之后运行一键安装脚本。

一键安装脚本的作用主要有以下几点：

首次安装时，将工具链一键部署到系统中（使用默认配置，全选“是”即可），并完成相关配置。

后续使用中，再次运行安装脚本，可以修改编译命令、编译器、固件版本、还原软件等。（不需要还原的项目选择“否”，会根据情况更新配置，节省时间）

下载新安装包后，直接运行安装脚本（选择“自动”，会需要更新的内容），再点击确认，开始升级。

软件平台安装及硬件配置

软件平台安装——高级设置

对于高级独立开发者，可以在图所示配置窗口设置安装路径、Pixhawk 硬件版本、PX4 固件版本和编译环境等。

以下逐条介绍右图的各选项含义：

(1) 软件包安装路径。本平台的所有依赖文件都会安装在本路径下，大约需要30G的空间。默认安装路径是“C:\PX4PSP”，如果C 盘空间不够可以选择其他盘符下的路径，例如图中选择F盘。需要注意的是路径名称必须正确，且只能用纯英文的路径，否则会导致编译失败。



工具箱一键安装脚本

1.工具包安装路径
F:\PX4PSP

2.PX4固件编译命令：见Firmware\boards目录，模版px4_fmu-v6x_default、droneeye_racer_default等
px4_fmu_v6c_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, 7: PX4-1.13.3）
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）
是

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）
是

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

软件平台安装及硬件配置



软件平台安装——高级设置

对于高级独立开发者，可以在图所示配置窗口设置安装路径、Pixhawk 硬件版本、PX4 固件版本和编译环境等。

以下逐条介绍右图的各选项含义：

（1）软件包安装路径。本平台的所有依赖文件都会安装在本路径下，大约需要30G的空间。默认安装路径是“C:\PX4PSP”，如果C 盘空间不够可以选择其他盘符下的路径，例如图中选择F盘。需要注意的是路径名称必须正确，且只能用纯英文的路径，否则会导致编译失败。

工具箱一键安装脚本

1.工具包安装路径

F:\PX4PSP

2.PX4固件编译命令：见Firmware\boards目录，模版px4_fmu-v6x_default、droneeye_racer_default等

px4_fmu_v6c_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, 7: PX4-1.13.3）

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）

是

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）

是

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：第一次安装完成后，除了重新运行本安装脚本，另一种针对不同的Pixhawk硬件板子想更换不同的编译命令（例如换成px4_fmu-v3_default）的方法，只需要在MATLAB中输入命令：PX4CMD('px4_fmu-v3_default') 或者使用命令：PX4CMD px4_fmu-v3_default



(2) PX4 固件编译命令：默认的编译命令为“px4_fmu-v5_default”，在PSP 生成控制器代码后，会自动调用编译器将其编译为“px4_fmu-v5_default”格式固件文件，然后将该“.px4”文件下载并烧录到支持的硬件上，就可以实现算法的部署。具体的长期适配的飞控型号及编译命令可见：

<https://rflysim.com/doc/zh/B/2.Pixhawk.html>。

(3) PX4 固件版本：PX4 源代码版本一直在更新，目前最新的固件版本为1.14。随着固件版本的升级，功能会逐渐增加，支持的新产品也越多，但是对旧的一些自驾仪硬件的兼容就会变差。本书使用的是目前应用最多的Pixhawk4版本自驾仪硬件，对应的编译指令为“px4_fmu-v5_default”，需要选用的固件版本PX4-1.12.3 以上的版本以获取更好的使用效果。

(4) PX4 固件编译器：由于PX4 源代码的编译依赖于Linux 编译环境，本软件包提供了相应工具链来实现Windows 平台下对Linux 编译环境的模拟，主要使用基于Windows Subsystem for Linux (WSL) 16 的编译环境Win10WSL 编译器。如需编译PX4-1.8 版本及以下固件，请选择Msys2Toolchain 编译器

软件平台安装——高级设置

(5) 是否重新安装PSP 工具箱：如果该选项设置为“是”，会将PSP 工具箱安装在本地MATLAB 软件中。

(6) 是否重新安装其他依赖程序包：如果该选项设置为“是”，会将FlightGear、QGC 地面站、CopterSim、3DDisplay 等软件部署在设定的安装路径上，并安装Pixhawk 硬件的相关驱动程序，以及在桌面生成这些软件的快捷方式。

(7) 是否重新配置固件编译器编译环境：如果该选项设置为“是”，会将选定的编译器（Win10WSL、CygwinToolchain 或Msys2Toolchain）部署在设定的安装路径上，如果环境已经存在，则会清空旧的编译环境，进行还原与全新部署。

(8) 是否重新部署PX4 固件代码：如果该选项设置为“是”，会将选定的PX4 Firmware 源代码部署在设定的安装路径上，如果固件存在，会删除旧的固件文件夹，并进行全新部署。

软件平台安装——高级设置

(9) 是否预先用选定命令编译固件。

如果该选项设置为“是”，会对部署固件进行预编译，这样可以大大节省后续代码生成与编译的时间，同时可以检测环境安装是否正常。如果该选项设置为“否”则不会进行任何更改。

(10) 是否屏蔽PX4 自身控制器输出。

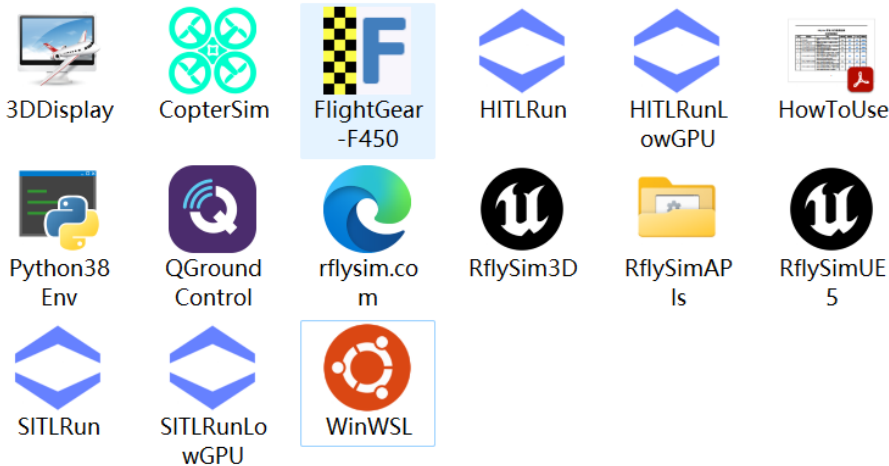
如果该选项设置为“是”，会对PX4 自身的控制器输出信号进行屏蔽，防止其与Simulink 生成的控制器发生冲突。在本书的仿真与实际飞行实验中，这一项必须设置为“是”。如果选择“否”，则不会进行对PX4 自身的控制输出进行屏蔽，这种模式可以用于测试PX4 自带的控制算法。

软件平台安装及硬件配置

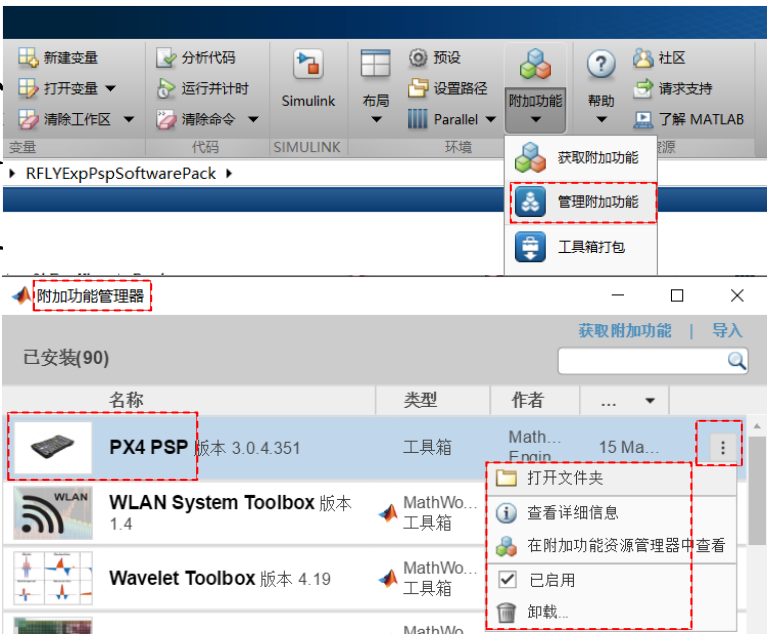


软件平台安装——安装完成验证

(1) 桌面上能够看到生成的如图所示的核心工具的快捷方式，通过双击启动图中的SITLRun批处理脚本可以正常启动“CopterSim”、“QGroundControl”和“RflySim3D”并完成初始化。



(2) 在MATLAB 主界面的“附加功能”-“管理附加功能”页面，可以看到新安装的PSP工具箱图标。在该页面可以对PSP 工具箱进行一些管理设置，例如禁用、卸载、查看安装目录等。需要注意的是，本工具箱只需安装一次即可给本电脑上所有版本的MATLAB 使用。





Introduction · GitBook

HowToInstall.pdf

https://rflysim.com/doc/zh/

ENGLISH 安装与下载 基础教程 购买教程 飞思实验室官网

Type to search

Introduction

核心功能

第1章 工具链安装与学习方法

1.1 工具链安装使用

1.2 软件组件介绍

1.3 硬件设备介绍

1.4 背景知识入门

1.5 工具链课程列表

1.6 本章常见问题

第2章 实验平台配置与使用

2.1 本章使用方法

2.2 本章精彩案例

2.3 本章常见问题

第3章 三维场景建模与仿真

3.1 本章使用方法

3.2 本章精彩案例

3.3 本章常见问题

第4章 载具运动建模与仿真

4.1 本章使用方法

4.2 本章精彩案例

4.3 本章常见问题

第5章 位置控制与滤波估计

5.1 本章使用方法

1. RflySim是什么?

RflySim智能无人集群系统自动化设计与开发工具链 (RflySim工具链, RflySim Toolchain)。由飞思实验室联合北航+中南团队,打造的专业、免费、开放的开发工具集,提供无人系统从算法开发、到硬件在环仿真、再到真机部署实验的全流程自动化解决方案。该工具链采用基于模型 (MBD) 的设计理念,基于Pixhawk/PX4、MATLAB/Simulink和ROS等以及货架智能硬件等,可开展(不限于):无人智能体控制的仿真与实飞/运动,无人智能体集群的仿真与实飞/运动,以及基于无人智能体视觉的仿真与实飞/运动。针对上述问题的研究时,可以开展无人系统建模、控制器设计、软件在环仿真 (Software-In-the-Loop, SIL)、硬件在环仿真 (Hardware-In-the-Loop, HIL),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,实现Sim2Real。详情见链接

软件在环仿真
↓
硬件在环仿真
↓
台架测试



软件平台安装及硬件配置

硬件平台配置——遥控器

本书采用的遥控器有两款，分别是乐迪AT9S 遥控器和 Futaba T14SG 遥控器。这两款遥控器的接收机都具备 S.BUS 输出功能，可以通过一根数据线将所有通道的 PWM 信号传输给自驾仪，使用较为简单。下面以乐迪 AT9S 遥控器为例介绍其配置方法，其余遥控器类似，必备组件如下：

- 遥控器发射器和R9DS接收机
- 电池（3S, 11.1V LiPo）及充电器
- JR 线（或杜邦线，用于连接接收机与Pixhawk自驾仪）
- MicroUSB 数据线（用于连接Pixhawk与电脑）



硬件平台配置——遥控器

(1) 电池和充电器使用

电池连接到充电器右侧插口充电。红色灯表示充电中，绿色灯表示充满电。

电池安装：打开遥控器背面的电池槽，接好供电头（红线为正极）至插口即可。

(2) 接收机初次设置

连线：使用JR线将接收机连接到Pixhawk自驾仪的RC排针，再用MicroUSB数据线将Pixhawk连接到电脑，给接收机供电。

遥控器与接收机对码： 打开遥控器电源，正确连接接收机、Pixhawk和电脑，长按接收机右侧的对码开关，LED灯闪烁7-8次后变为常亮，表示配对成功。

S.BUS模式设置： 默认S.BUS模式可以传输所有通道的PWM信号，若LED灯为蓝白色，表示已处于S.BUS模式。若为红色，短按对码开关两次切换到S.BUS模式。

硬件平台配置——遥控器

(3) 遥控器设置

打开遥控器：向上拨动“开关”按钮。

设置控制模式：长按“模式”按钮进入基础菜单，选择“MODEL TYPE”进入机型选择页面。将机型从“HELICOPTER”（直升机）更改为“MULTICOPTER”（多旋翼）。

油门通道反向设置：在“REVERSE”（舵机相位）设置页面，将油门通道从“NOR”（正向）修改为“REV”（反向），以适应多旋翼模式。

CH5~CH6 模式切换通道设置：在“AUX-CH”（辅助通道）页面，将CH5 映射为左上角三段开关“SwE”，CH6 映射为右上角三段开关“SwG”。

通道确认：重启遥控器，按“返回”按钮进入“SERVO”（舵量显示）界面，检查摇杆的PWM值变化是否正确。

硬件平台配置——Pixhawk 自驾仪系统

本书中主要使用Pixhawk 自驾仪进行相关算法的硬件在环仿真验证，为了使Pixhawk 自驾仪的配置满足实验需求，需要进行一些基本的固件烧录与模式配置操作，确保自驾仪功能正常且配置正确。

(1) 连接飞控并烧录固件

如图进入QGC固件烧录页面。用USB 线连接Pixhawk 自驾仪与电脑，此时软件会自动识别Pixhawk 硬件，在界面右侧弹出固件配置窗口，勾选“PX4 Flight Stack”，然后点击“OK”，QGC 开始自动下载并安装最新的PX4 固件到Pixhawk 自驾仪硬件中。



(a) 设置页面



(b) 固件烧录页面

软件平台安装及硬件配置



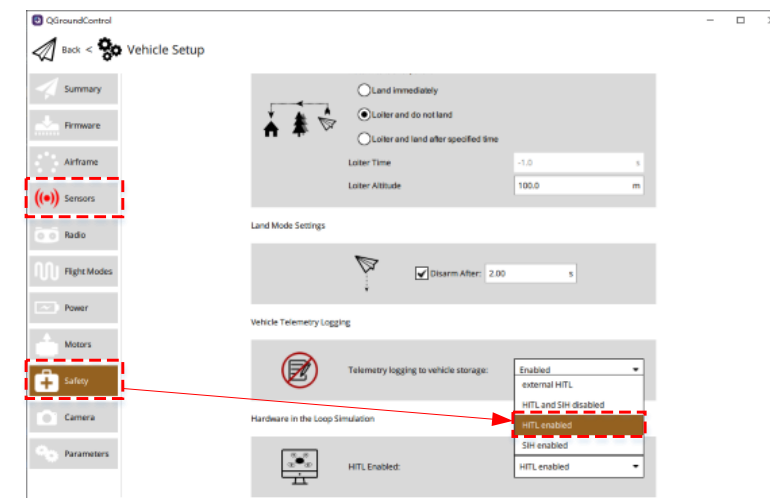
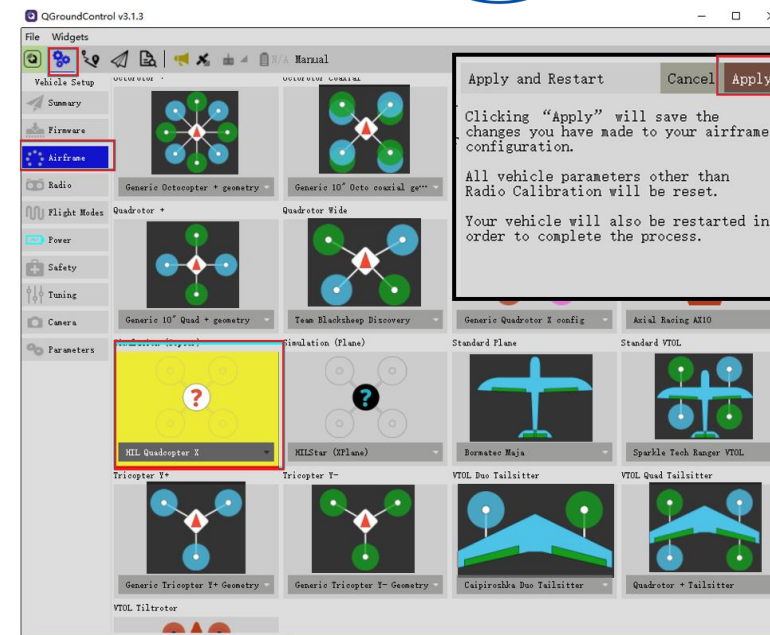
硬件平台配置——Pixhawk 自驾仪系统

(2) 选择机架类型：固件烧录完成后，自驾仪自动重启并连接到 QGC。进入 “Airframe” 标签，选择 “Standard Plane” 作为机架类型，点击 “Apply”，自驾仪会自动重启。

(3) 启用硬件在环仿真模式 (HITL)：自驾仪重启并重新连接后，进入 “Safety” 标签页。在页面底部的 “Hardware in the loop Simulation” 选项卡中，选择 “HITL enabled” 以启用硬件在环模式。

注意，如果是选择1.13版本飞控固件，还需要禁用一个 uavcan 的参数

(4) 验证配置是否成功：拔出 USB 数据线并再次连接以重启自驾仪。重启 QGC，软件会自动连接 Pixhawk。检查各个配置页面，确保 “Sensor” 标签中的红色警告消失，确认 Pixhawk 进入硬件在环仿真模式，无警告项出现，即完成自驾仪的基本设置。



大纲



1. 实验平台及开发过程总体介绍
2. 软件平台安装及硬件配置
3. 快速入门实验
4. 其它接口介绍

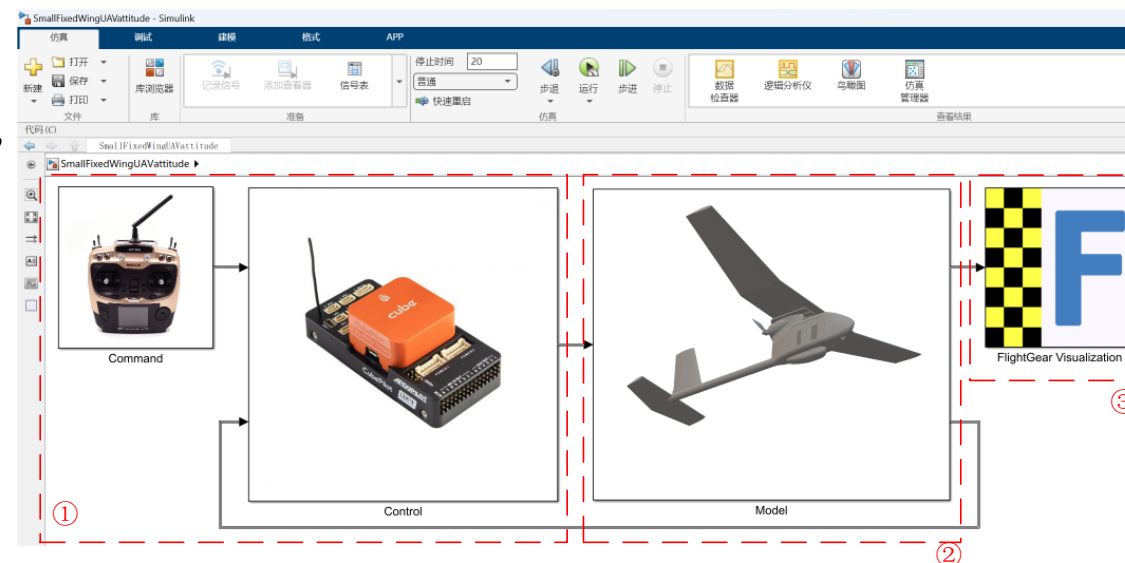
数值仿真案例——仿真系统配置

本书提供了一套基于Simulink/Flight-Gear 的较为完整逼真的数值仿真环境，源代码主文件见

“e0\sim\SmallFixedWingUAVattitude.slx”。该仿真系统包含三个子系统模块：“控制器”子系统、

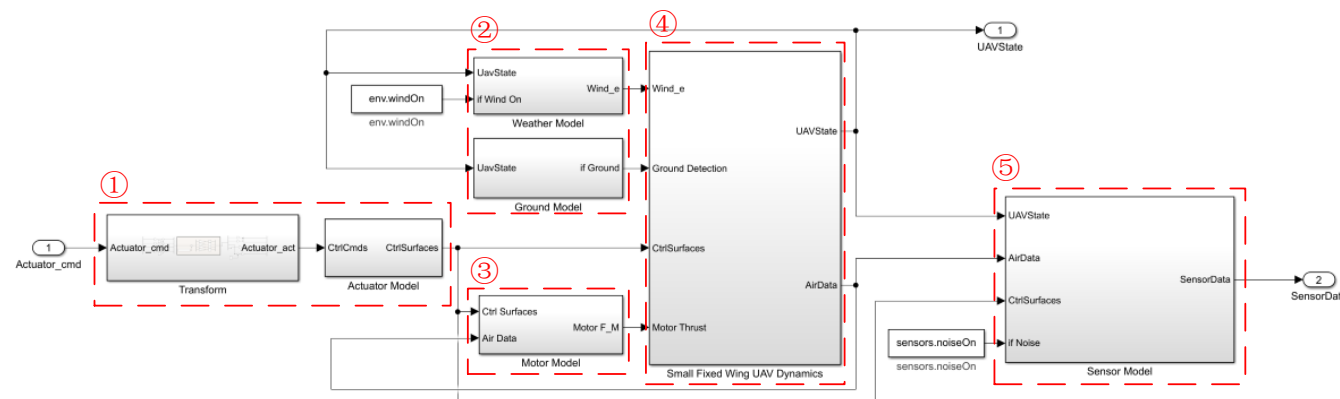
“微小型固定翼模型”子系统和“FlightGear 接口”子系统，各子系统的输入输出配置与真实系统保持一致。

微小型固定翼模型参数都存储在一个初始化脚本“e0\sim \InitDatactrl.m”中。在开始Simulink 仿真之前，需先执行该初始化文件以将所有参数导入工作空间，保证仿真正常运行。



数值仿真案例——动态系统建模

“微小型固定翼模型”子系统的内部结构如下图。该模块模拟真实的微小型固定翼系统，以舵面和电机油门的控制量为输入，以固定翼的状态和传感器信息为输出。整个“微小型固定翼模型”子系统又包含如下五个主要模块：



①电机模块：模拟电机动态；

②环境模块：引入地形数据以及计算环境数据；

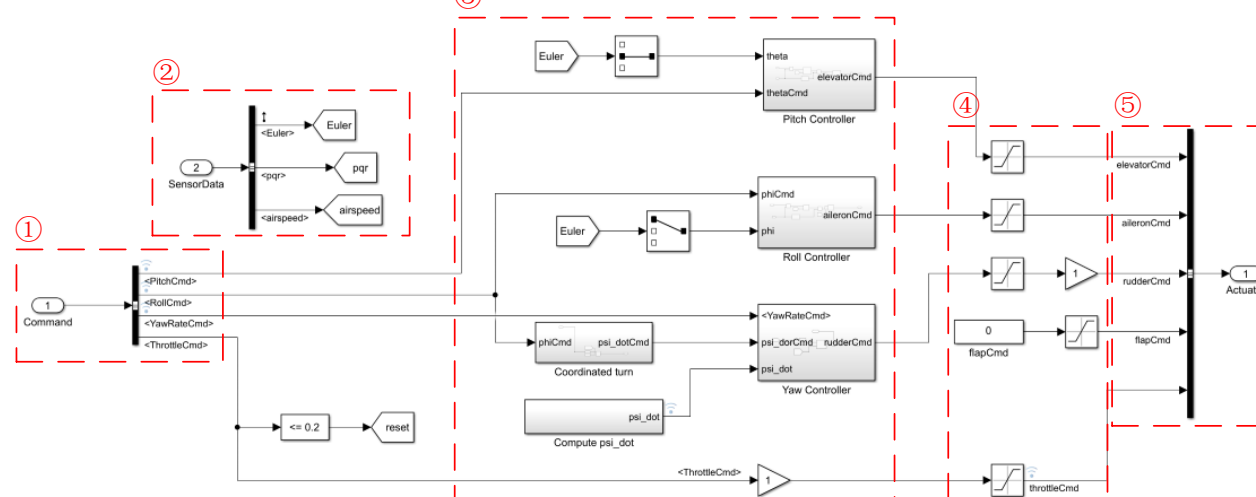
③动力系统模块：模拟螺旋桨拉力；

④动力学模块：模拟机身气动力、自身重力以及地面支撑力等所有的外部力和力矩，并计算固定翼的速度、位置、姿态等运动学状态；

⑤传感器模块：模拟GPS 数据以及传感器延迟等，并将数据打包成需要的格式。

数值仿真案例——单机姿态控制

“控制器”子系统内部的内部结构如图。本例程展示的是一个简单的俯仰和滚转姿态的控制器。它会接收遥控器的控制输入，将微小型固定翼无人机控制到指定的俯仰和滚转角度。

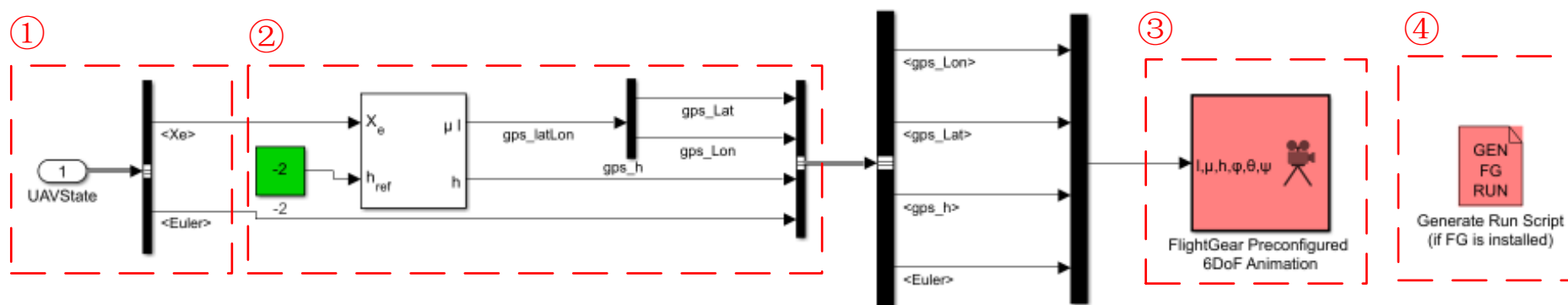


- ① “输入接口”模块：接收遥控器信号；
- ② “状态反馈”模块：接收飞机状态观测信号；
- ③ “姿态控制器”模块：根据期望姿态和油门等指令，计算各个操纵面的控制量；
- ④ “控制量限幅”模块：将各个操纵面的控制量根据实际情况进行限幅；
- ⑤ “输出接口”模块：输出各个操纵面的控制量和电机油门；

数值仿真案例——三维显示接口

“FlightGear 接口”子系统内部结构如图。有两个输入分别为微小型固定翼无人机位置和微小型固定翼无人机姿态欧拉角，主要包括四个部分：

- ① “输入接口”模块：接收固定翼无人机状态；
- ② “经纬度转换”模块：基于预设的原点，将局部位置转换为经纬度；
- ③ “六自由度状态信息发送”模块：本地的FlightGear 软件发送数据；
- ④ “Flightgear 配置”模块：配置Flightgear 机型和环境信息等；



数值仿真案例——实验步骤

(1) 将“e0\sim \pa28-161.rar”文件复制到平台安装目录中的Flightgear 的模型文件目录中，默认为“C:\PX4PSP\FlightGear2016.1.2\data\Aircraft”，并解压。

(2) 运行初始化脚本“e0\sim \InitDatactrl.m”，然后“SmallFixedWingUAVattitude.slx”仿真程序，双击“FlightGear Visualization”模块。双击打开“Generate Run Script”，将“FlightGear geometrymodel name”机型设置为“pa28-161”，再“FlightGear base directory”软件路径设置为平台安装目录下的Flightgear 软件目录，默认为“C:\PX4PSP\FlightGear 2016.1.2”，完成上述设置后，点击“Generate script”，即

会在当前目录（见图2.26）中生成Flightgear 启动脚本“runfg.bat”

(3) 双击脚本“runfg.bat”启动Flightgear，启动完成后点击Simulink 工具栏的“运行”按钮即可运行“SmallFixedWingUAVattitude.slx”仿真程序；

(4) 此时可以在FlightGear 界面中，可以看到固定翼在地面加速滑跑，约5 秒后逐渐从地面起飞，然后约10 秒后开始以一定的滚转角进行转弯飞行。

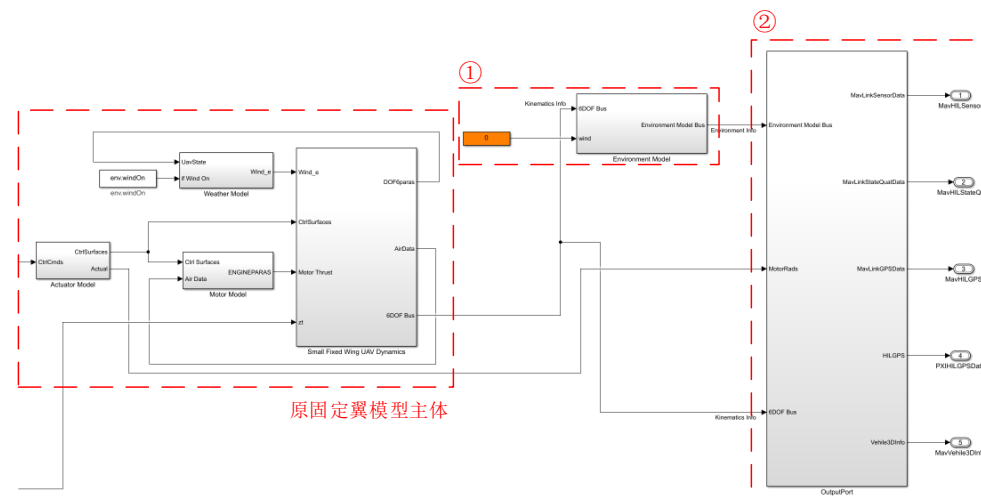
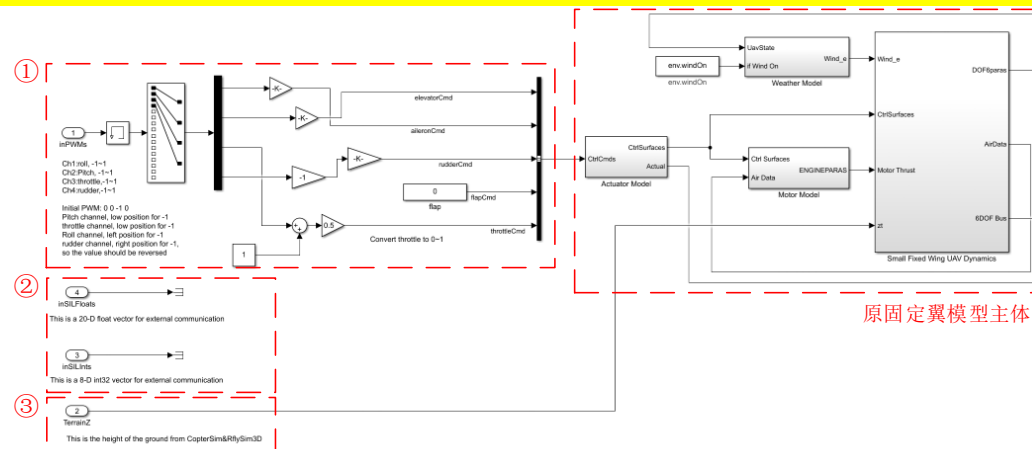
硬件在环仿真案例——动态系统模型代码生成

(1) 了解模型输入输出接口配置

模型输入接口主要包含“PWM 信号模块”（接收来自控制算法或遥控器的 PWM 信号，转换为舵面和油门控制量）和“地形数据模块”（接收三维场景中的地形数据）。根据需求选用其他通信接口模块。

模型输出接口主要包括“环境信息处理模块”（生成环境数据总线）和“Mavlink 数据通信模块”（将 Simulink 中的数据转换为 Mavlink 数据格式）。

这里提供了用于开发硬件在环模型的仿真程序“e0\hil\model\SmallFixedWingUAVnoctrlHIL.slx”文件中已完成相关配置,并完成输入输出接口连接,读者在进行开发时只需修改模型核心部分。



硬件在环仿真案例——动态系统模型代码生成

(2) Simulink 代码生成配置

在 Simulink 工具栏中，点击“建模”选项卡，选择“模型设置”。在“代码生成”页面，将“系统目标文件”设置为“ert.tlc”，并将生成的压缩文件名称设置为“MulticopterModel”。

(3) 代码编译与 DLL 文件生成

设置完成后，点击“Embedded Coder”中的“Generate Code”，等待代码生成。若“编译过程已成功完成”，则表示固定翼模型的 C++ 代码生成成功。运行“GenerateModelDLLFile.p”脚本，等待编译完成，最终生成的文件名为“SmallFixedWingUAVnoctrlHIL.dll”。



硬件在环仿真案例——控制器代码生成

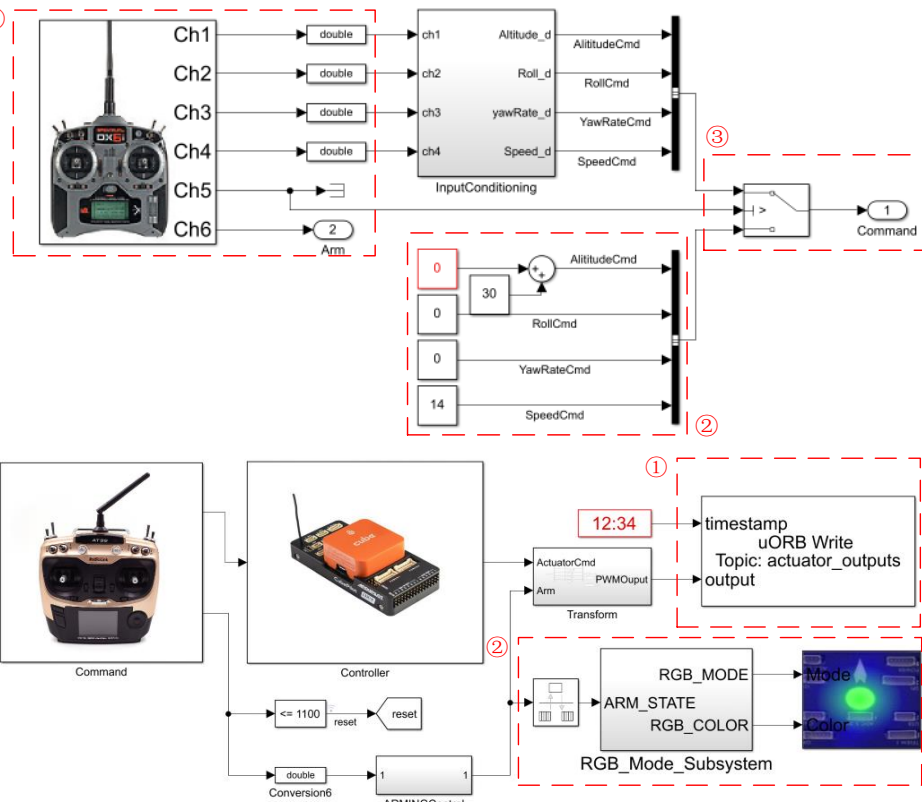
(1) 了解固定翼控制接口配置

这里提供了用于开发硬件在环模型的仿真程序“e0\hil\control\SmallFixedWingUAVUpperHIL.slx”文件中已完成相关配置，并完成输入输出接口连接，读者在进行开发时仅需修改模型核心部分。

输入接口主要包括“遥控器模块”（用于接收遥控器摇杆信号①）、“定高定速指令”（设置固定翼无人机的高度和速度）、“指令切换模块”（用于手动遥控指令和定高定速指令）。

状态反馈接口包括“姿态数据模块”、“空速模块”和“位置模块”（用于获取无人机的高度）。空速和位置数据通过uORB 模块读取，分别对应飞控中的“airspeed”话题和“vehicle_local_position”话题。

输出接口包括“执行器输出模块”（通过 uORB Write 模块实现）和“解锁LED提示模块”（控制无人机是否处于解锁状态的 LED 灯）。



硬件在环仿真案例——控制器代码生成

(2) Simulink 代码生成配置

在 Simulink 工具栏中，点击“建模”选项卡，选择“模型设置”。在“硬件实现”页面，将“Hardware board”设置为“Pixhawk PX4”。

(3) 代码编译与 PX4 固件文件生成

完成模型配置后，在“HARDWARE”选项卡中点击“Build”，等待代码生成报告。将 PX4 固件烧录到 Pixhawk 硬件：通过 USB 数据线将 Pixhawk 连接到电脑。点击工具栏中的“代码(c)”标签，选择“PX4 PSP Upload code to Px4FMU”。如果显示“waiting for the bootloader...”，尝试重新连接飞控。烧录完成后，命令行显示“Rebooting”，Pixhawk 会自动重启。

大纲



1. 实验平台及开发过程总体介绍
2. 软件平台安装及硬件配置
3. 快速入门实验
4. 其它接口介绍

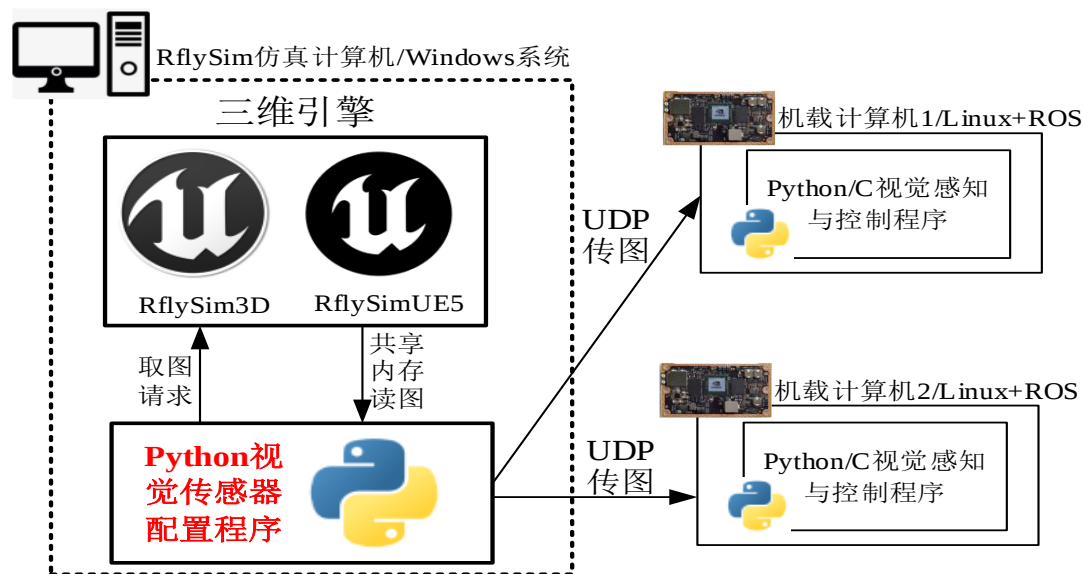
其它接口介绍



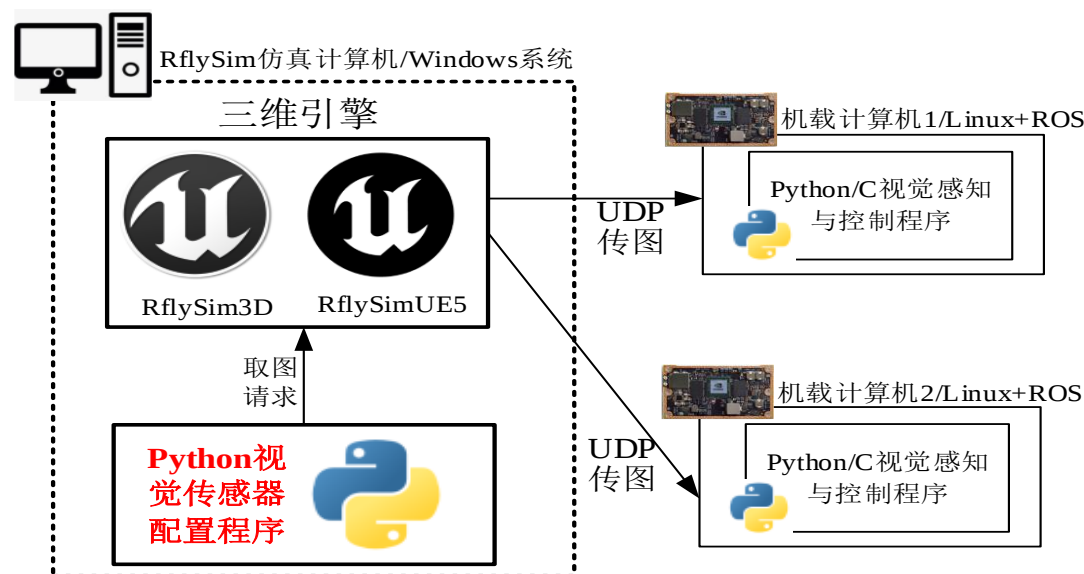
视觉取图接口

RflySim平台通常运行于Windows电脑上，但是其图像流可以通过共享内存、网络通信等方式传输给本机视觉程序、其他电脑（Windows或Linux）、其他嵌入式计算机（Linux+ROS），用于视觉算法的开发与仿真验证。

将视觉传感器配置协议文件Config.json中的配置信息发送给RflySim3D可请求发送图片。

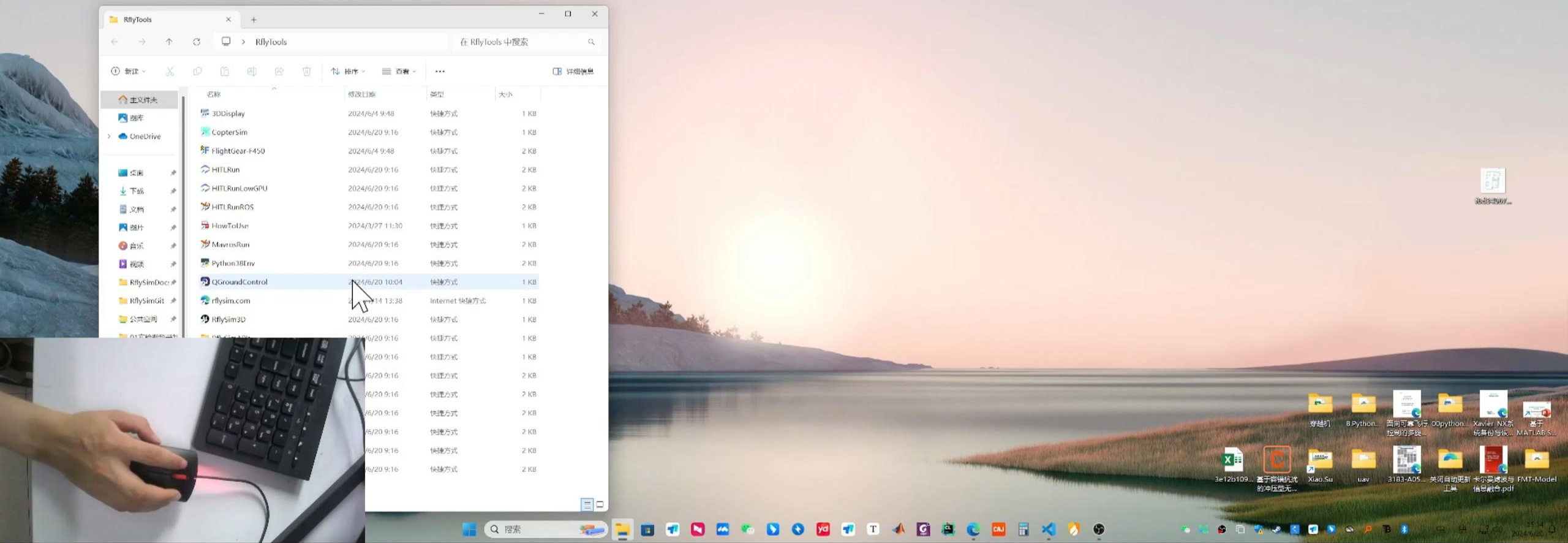


(a) 共享内存取图，中转发送模式（适用免费版，存在延迟）



(b) RflySim3D图像直发（适用完整版，效率高延迟低）

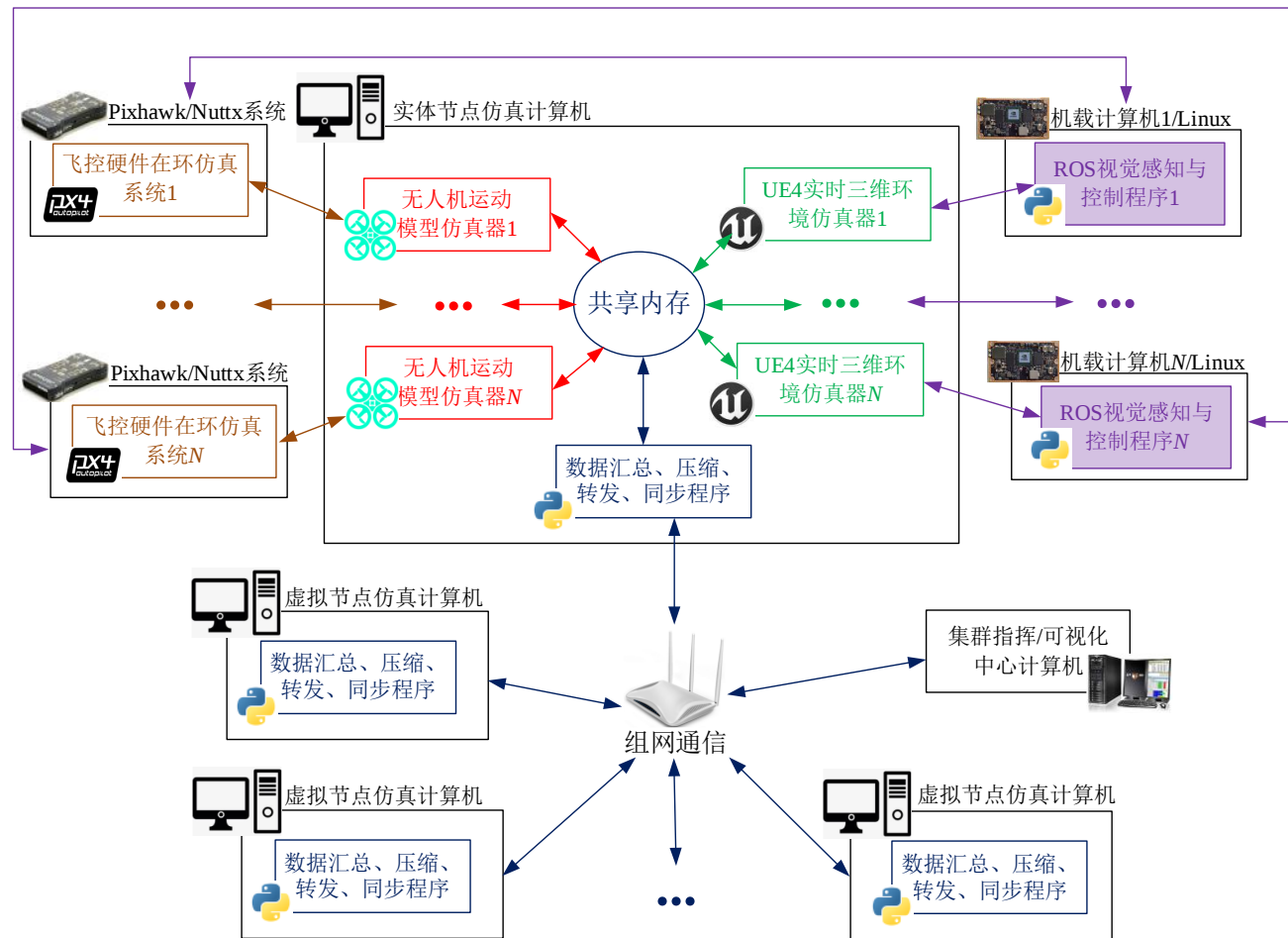
打开实验资源目录



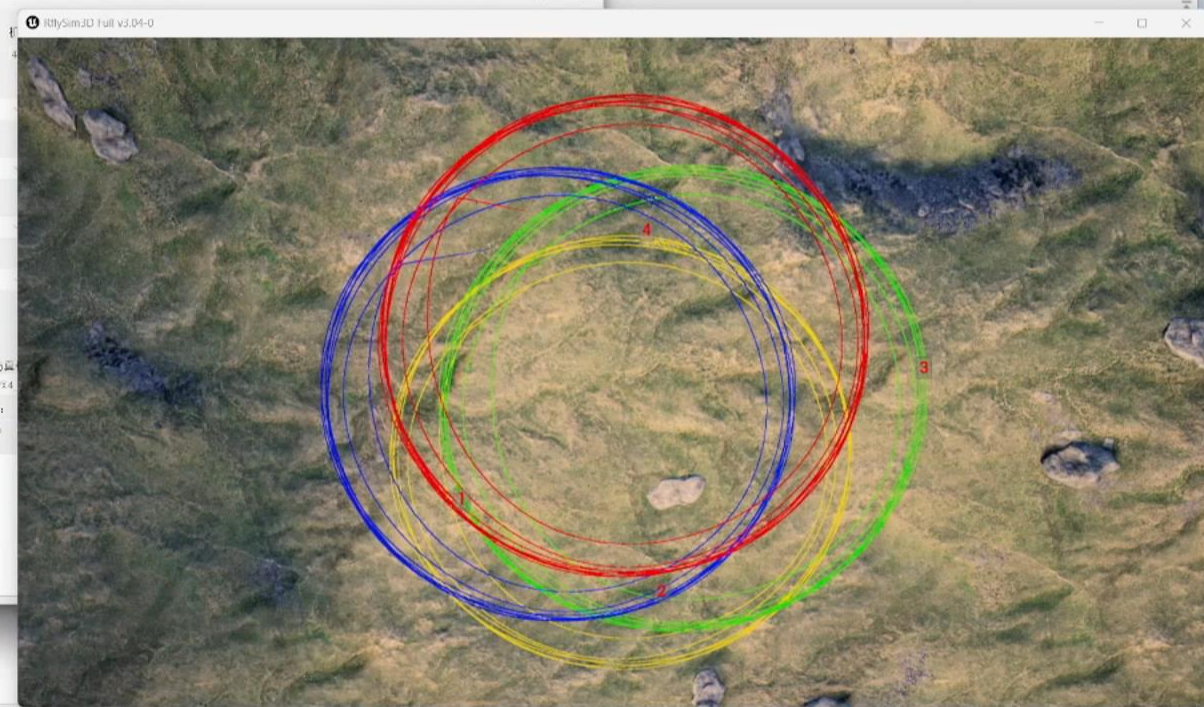
其它接口介绍

集群控制接口

1. RflySim通信构架如图所示，其中集群控制模块主要使用了 CopterSim进行压缩中转机制。
2. 真机使用的MAVLink通信的数据量过于庞大，不适合在大规模集群时在通信网络中直接传输，因此需要对MAVLink数据进行压缩中转。
3. Python或Simulink集群控制器接收飞控状态数据并发送 Offboard指令（速度、位置、加速度等顶层控制）来控制飞机完成指定飞行任务。
4. 多个CopterSim+飞控组合会同时向局域网内的三维引擎、集群控制、视觉控制模块发送数据，从而实现集群通信仿真。

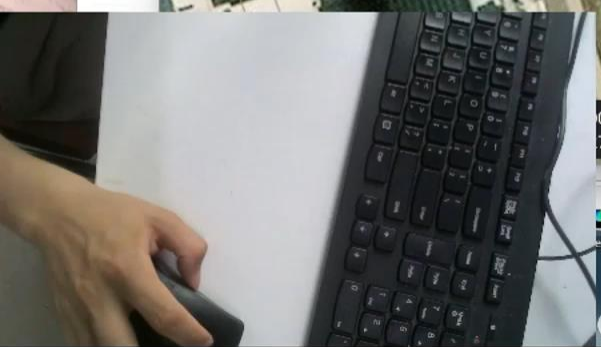


```
C:\Program Files\Git\cmd.exe
** Simulation start and UDP initializing **
** Target UDP IP address is 127.0.0.1
** Start UDP port is 20100
** Total v
** UDP dat
C:\Windows\System32\cmd.exe
Start QGroundControl
Kill all CopterSims
Starting PX4 Build
** startin
[1/1] Generating ./../logs
Using Airframe File: 10016_iris
Starting instance 1 in /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_1
Starting instance 2 in /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_2
Starting instance 3 in /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_3
Starting instance 4 in /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_4
Copying rcS files
PX4 instances start finished
Press any key to exit
```



板外Offboard
已解锁
开始任务
CopterSims: 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -10.00
CopterSims: Get Offboard Message.
PX4: Command ARM/2123M ACCEPTED
PX4: ARMED by external: command
PX4: Motors Armed
CopterSims: Send Offboard command.
PX4: Command SET_GUIDE_ENABLE MSGFPC:RTSD
PX4: Command SET_WOIF ACCEPTED
PX4: Enter Offboard Mode!
PX4: Takeoff detected

0:01:06
74.2 m



□ 感谢中南大学戴训华副教授为本讲PPT准备做出的贡献。



□ 更多信息请访问公众号和网站



rfly.buaa.edu.cn