



---

# 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1讲 RflySim背景及介绍



# 大纲

---

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

---

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室



RflySim教程



## 1. RflySim平台背景

---

智能无人系统开发和测试通常分为基于实验和基于仿真。如下表所示，以无人机开发为例，基于实验的开发和测试虽然很直接，但是存在安全、空间、时间和成本等诸多痛点，以上痛点对于集群飞行测试更“痛”。

基于实验的开发和测试	基于仿真的开发和测试
安全痛点：旋翼转速高，飞行过程危险高，特别对于在校学生	室内进行 只需要电脑等设备，成本低，场地受限小 ...。
空间痛点：室内空间又寸土寸金，而室外空域又难申请	可以仿真任何故障，并在期望的飞行环境中自动注入。
时间痛点：无人机通常不稳定，调试测试时间花费巨大，并且大部分时间花在硬件调试而非算法	所有状态、输入、输出均可以获取，可以随时获取真值。
成本痛点：硬件成本高，调试过程经常摔机，并且硬件更新换代时间快	可以在实验开发阶段随时进行。 结果可信度难以保证，通常仅用于开发和功能测试。

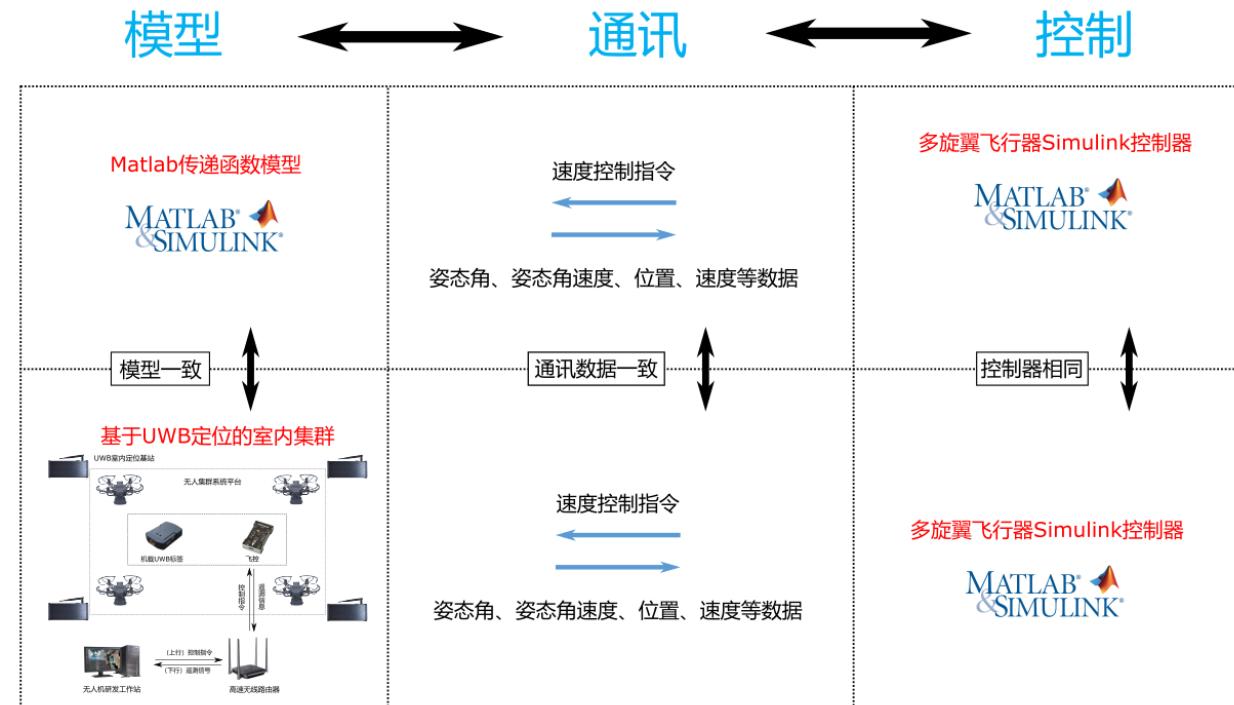


# 1. RflySim平台背景

典型的无人智能体集群协同控制从仿真到实验全流程、全模块的系统架构如图所示，涉及包含无人智能体系统的设计与搭建、通讯系统的设计与搭建、定位系统的搭建与设计、导航与运动控制系统的搭建与设计、载荷系统的搭建与设计、任务规划系统的搭建与设计、地面站综合控制系统的搭建与设计等在内的众多软硬件系统，是一个庞大的生态系统和工具链。

仿真

实验





## 1. RflySim平台背景

---

目前大多数高校和科研院所在开展多智能体协同控制相关研究领域时，往往存在以下困难：

- 整个平台设计工具链复杂庞大，从零开始搭建费时费力；
- 缺乏系统性的平台搭建力量，研究初期，人员精力被消耗在非核心研究职责方向上；
- 现有各分散的软硬件存在使用标准、软件接口、通讯协议不统一，相关源码不开放，学习掌握和二次开发难度较大。
- 部分开源平台，服务支撑能力不足，无法满足本土科研需求。

面对上述的需求和不足，目前亟需一款面向无人系统开发、仿真及测试的全流程软件生态系统或工具链。



# 大纲

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室

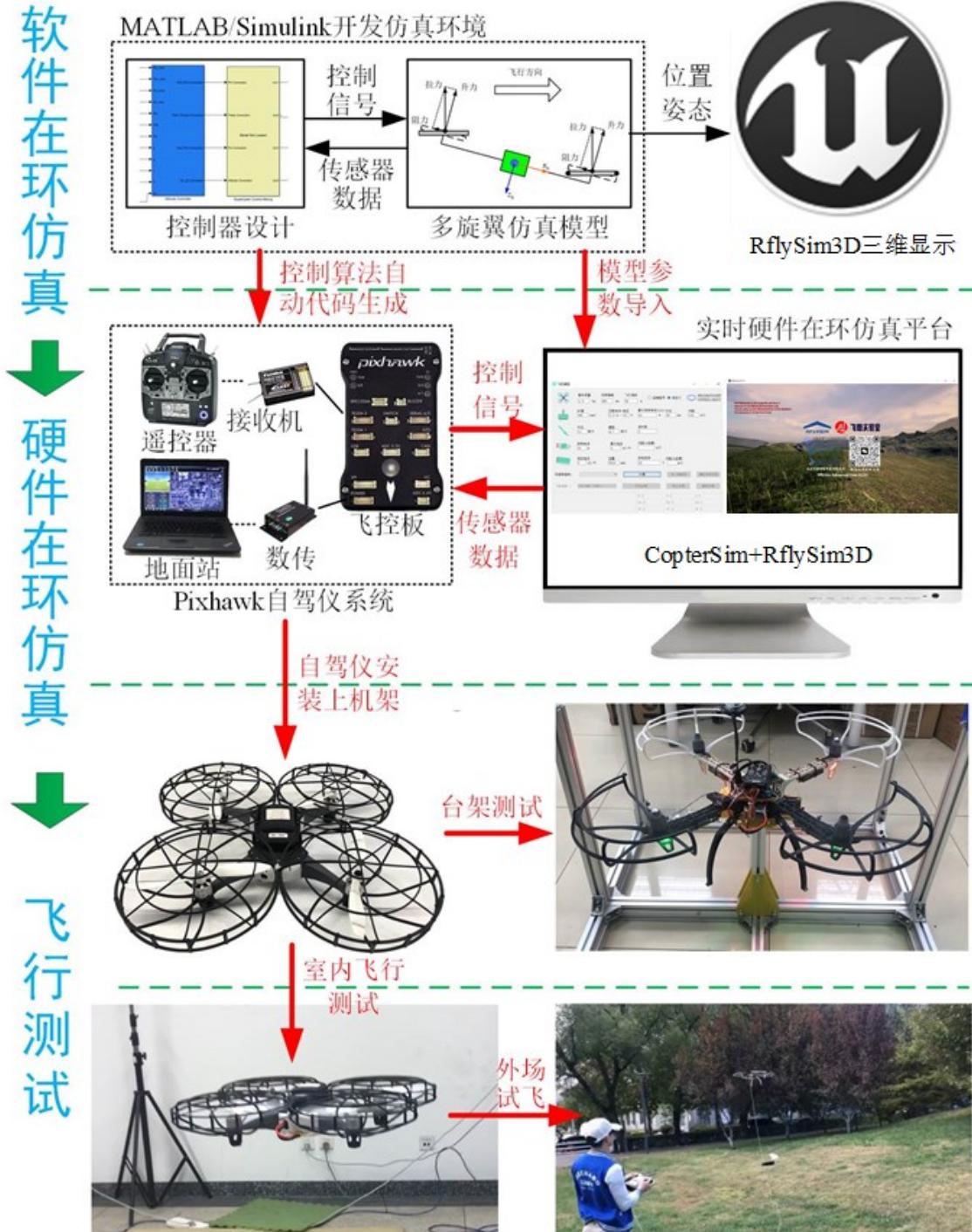


RflySim教程



## 2. RflySim是什么？

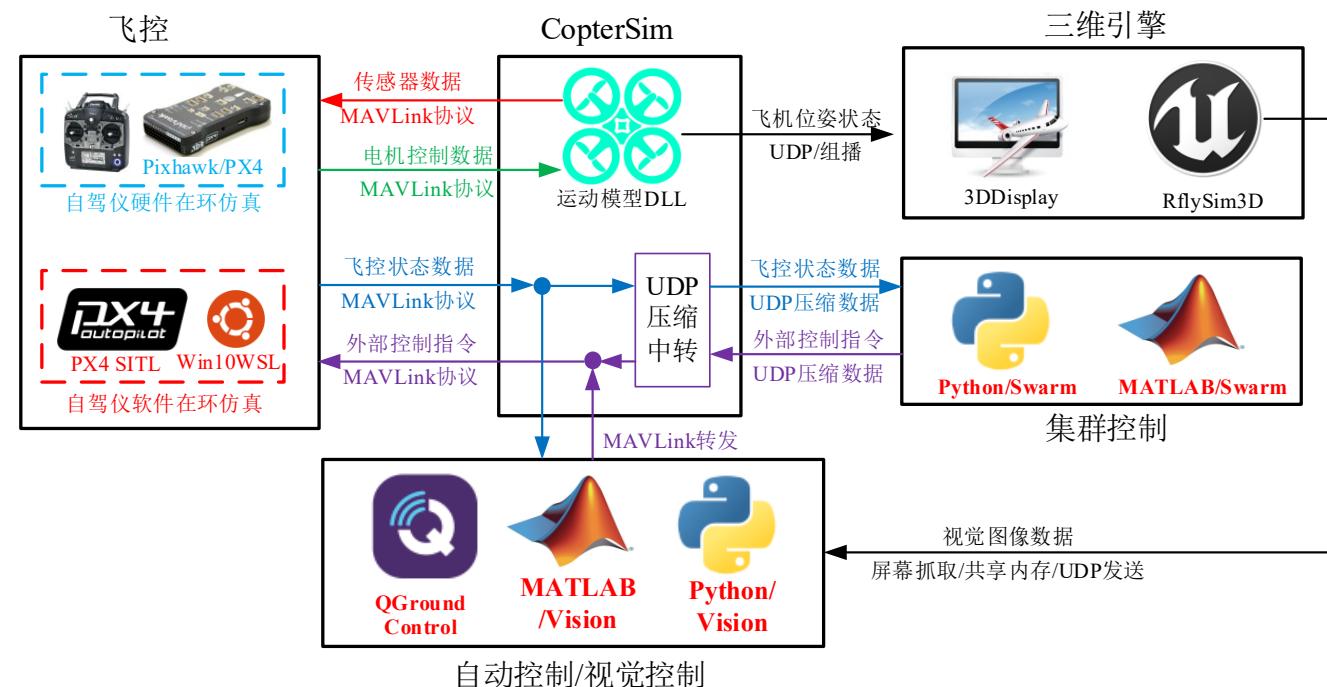
RflySim是由北航可靠飞行控制组发布的生态系统或工具链。它由全权教授指导，戴训华博士主导开发，后经卓翼智能旗下的飞思实验室接管和推动高级功能的开发，专为无人平台控制系统开发、大规模集群协同、人工智能视觉等前沿研究领域研发的一套高可信度的无人控制系统开发、测试与评估平台。





## 2. RflySim是什么？

RflySim是一套专为科研和教育打造的Pixhawk /PX4 和MATLAB/Simulink 生态系统或工具链，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。





# 大纲

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室



RflySim教程



### 3. RflySim平台版本划分

---

RflySim平台目前分为了五个版本：免费版、个人版、个人集合版、完整版以及企业版（付费，请咨询 [service@rflysim.com](mailto:service@rflysim.com)，详见：[版本区分](#)）。

- ◆ **免费版：**该版本安装包体积较小，只包含了PX4底层算法Simulink开发的功能，支持小规模( $\leq 4$ )的集群仿真，同时，支持RflySim平台配套书籍课件实验，目前支持最为完善的书籍为《多旋翼飞行器设计与控制实践》一书。
- ◆ **个人版：**基于免费版，开放了无人机集群仿真数量 $\leq 15$ 架，支持选购拓展更多的例程资源。
- ◆ **集合版：**基于个人版，集群仿真的飞机数量无限制（注：最终能仿真飞机数量取决于电脑性能，通常高配电脑的SITL小于15个，HITL小于20个，Simulink&DLL支持更多），飞机动力学模型开发、UE4三维场景开发、视觉控制开发和集群算法开发等功能，但是限制了集群数量和分布式仿真等功能。



### 3. RflySim平台版本划分

RflySim平台目前分为了五个版本：免费版、个人版、集合版、完整版以及企业版（付费，请咨询 [service@rflysim.com](mailto:service@rflysim.com)，详见：[版本区分](#)）。

- ◆ **完整版：**保留RflySim全部功能，增加了最新的UE5引擎、全球大场景仿真、分布式局域网集群视觉仿真等功能。
- ◆ **企业版：**基于完整版，新增CopterSim和RflySim3D支持隐藏或自定义LOGO、支持多电脑分布式组网构架大规模集群仿真、支持Redis通信协议（用于大规模分布式集群仿真）、带定制化的大型进阶例程（直升机、倾转旋翼、多机集群实验等）、支持Windows高性能电脑，或Linux服务器进行部署（RflySimCloud云平台）、支持基于FPGA的超高实时硬件在环仿真平台（支持ArduPilot等飞控）等等



# 大纲

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室



RflySim教程



## 4. RflySim平台安装及特点

---

4.1 检查电脑配置。为了能够运行RflySim平台，推荐以下电脑配置：

- 系统：Windows 10 x64系统（版本大于等于1809）
- CPU：Intel i7 八代处理器及以上，或同等性能 AMD处理器
- 显卡：独立显卡 NVIDIA GTX2060及以上，或同等性能 AMD显卡
- 内存：容量16G及以上，频率DDR3 1600MHz及以上
- 硬盘：剩余容量40G及以上（推荐固态硬盘）
- 显示器：分辨率1080P（1920\*1080）及以上（推荐双屏幕）
- 接口：至少有一个USB Type A接口（可用扩展线）
- MATLAB：2017b或以上版本（推荐2017b版本，Simulink等工具箱必须安装）

台式机参考配置：联想拯救者刃7000K（13代i7-13700KF RTX4070Ti 12GB显卡16G DDR5 1TB SSD），

<https://item.jd.com/100042898422.html>

笔记本参考配置：联想Y7000P（i7-13620H 16G 1T RTX4060 16英寸2.5K）

<https://item.jd.com/100061054764.html>



## 4. RflySim平台安装及特点

### 4.1 如果做底层飞控开发，不做视觉算法开发，推荐以下配置：

- **系统**: Windows 10 x64系统（版本大于等于1809）
- **CPU**: Intel i5 十代处理器及以上，或同等性能AMD处理器
- **显卡**: 英特尔集成显卡UHD 620及以上，或同等性能AMD显卡
- **内存**: 容量16G及以上，频率DDR3 1600MHz及以上
- **硬盘**: 剩余容量40G及以上（推荐固态硬盘）
- **显示器**: 分辨率1080P（1920\*1080）及以上（推荐双屏幕）
- **接口**: 至少有一个USB Type A接口（可用扩展线）
- **MATLAB**: 2017b或以上版本（推荐2017b版本）

注：电脑配置应该越高越好，低配电脑也可以运行本平台Demo，但是可能出现控制不稳定、实验效果不佳等问题。MATLAB请提前自行安装。

注：本平台适用于游戏本或游戏主机，专业服务器和图形工作站不兼容本平台，会出现抖动与卡顿。

— 注：对于只关注于Python进行视觉集群等上层控制算法开发的用户，也可不安装MATLAB，直接使用后文的exe一键程序安装，这种模式将无法使用MATLAB相关的底层飞控开发和集群控制功能。



## 4. RflySim平台安装及特点

4.1 为了能流畅运行平台所有例程，能流畅运行UE4/RflySim3D和UE5/RflySimUE5，且能够支持单机尽可能多的视觉窗口，并运行尽快能多的集群飞机，推荐使用如下配置：

- 系统：Windows 10 x64系统（版本大于等于1809）
- CPU：Intel i9 十二代处理器及以上，或同等性能AMD处理器
- 显卡：独立显卡NVIDIA GTX3080及以上，或同等性能AMD显卡
- 内存：容量32G及以上，频率DDR5 1600MHz及以上
- 硬盘：剩余容量80G及以上（推荐固态硬盘）
- 显示器：分辨率1080P（1920\*1080）及以上（推荐双屏幕）
- 接口：至少有一个USB Type A接口（可用扩展线）
- MATLAB：2017b或以上版本（推荐2017b版本）

台式机参考配置：联想拯救者刃9000K（i9-14900KF RTX4080 16G显卡32G DDR5 1TB SSD），  
<https://item.jd.com/100070918986.html>



## 4. RflySim平台安装及特点

### 4.2 软件获取及安装

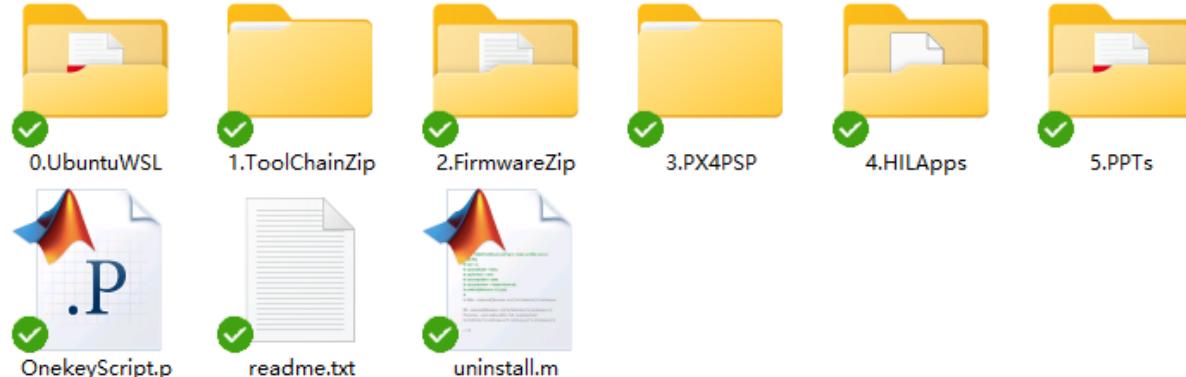
注意:

- 基础版和高级体验版镜像可以通过填写邮箱的方式，从<https://rflysim.com/download> 获取云盘下载链接。
- 完整版下载链接和注册码请咨询[service@rflysim.com](mailto:service@rflysim.com)
- 我们分享的云盘链接和密码不会变更，但里面的安装包会经常更新，因此以云盘中安装包更新的时间为版本基准。

➤ 获取安装包：从官方途径获取最新.iso的镜像（完整版是RflySimAdv3Full-\*\*\*\*.iso，体验版是RflySimAdvFree-\*\*\*\*.iso，后面\*\*\*\*表示版本号），可以鼠标右键-打开方式-Windows资源管理器来加载镜像（或用解压软件解压，或用虚拟光驱加载），从而获取右图所示安装包文件夹。详细安装步骤请见：[Readme.pdf](#)



扫码查看RflySim平台视频安装教程



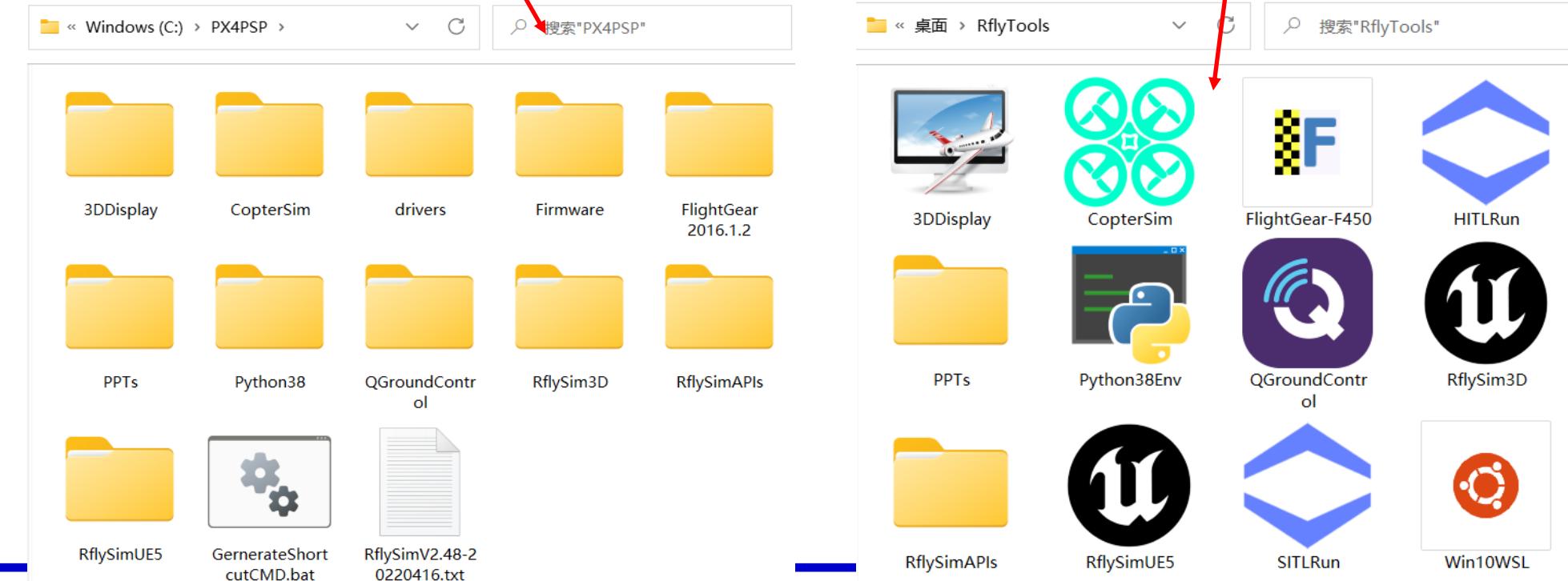
注意：“5.PPTs”文件夹有最新的PPT教程，运行安装脚本后会复制到PX4PSP目录，readme.txt有版本号、更新时间和更新内容



## 4. RflySim平台安装及特点

### 4.3 安装后Windows效果

- 如下图所示，在安装目录（默认是C:\PX4PSP）下可以得到一系列的文件夹，其中“RflySimAPIs”文件夹是高级功能的接口教程文件夹，最为重要。
- 如右图所示，在桌面RflyTools文件夹内可以得到一系列的快捷方式。



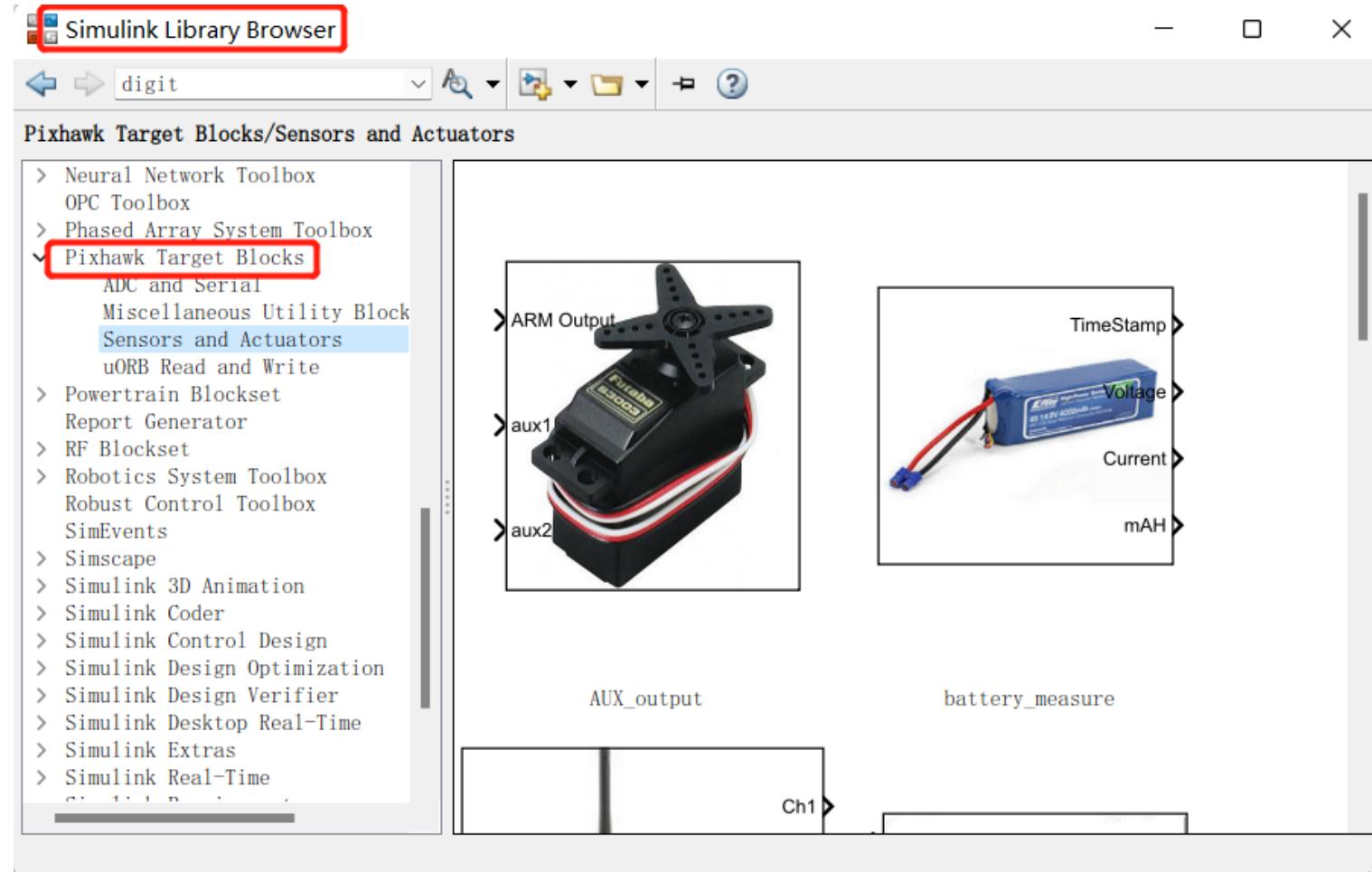


## 4. RflySim平台安装及特点

此功能仅面向底层飞控算法开发用户，视觉和集群算法开发用户不需要查看。

### 4.4 安装后的Simulink工具箱

- 打开MATLAB，任意新建一个Simulink程序，进入库浏览器（Library browser）页面。
- 如右图，向下翻可以看到 Pixhawk Target Blocks 的工具箱，说明安装成功。
- 本功能针对底层飞控算法开发，支持Simulink设计飞控算法，并生成代码上传到Pixhawk中，进行硬件在环仿真和真机实验。

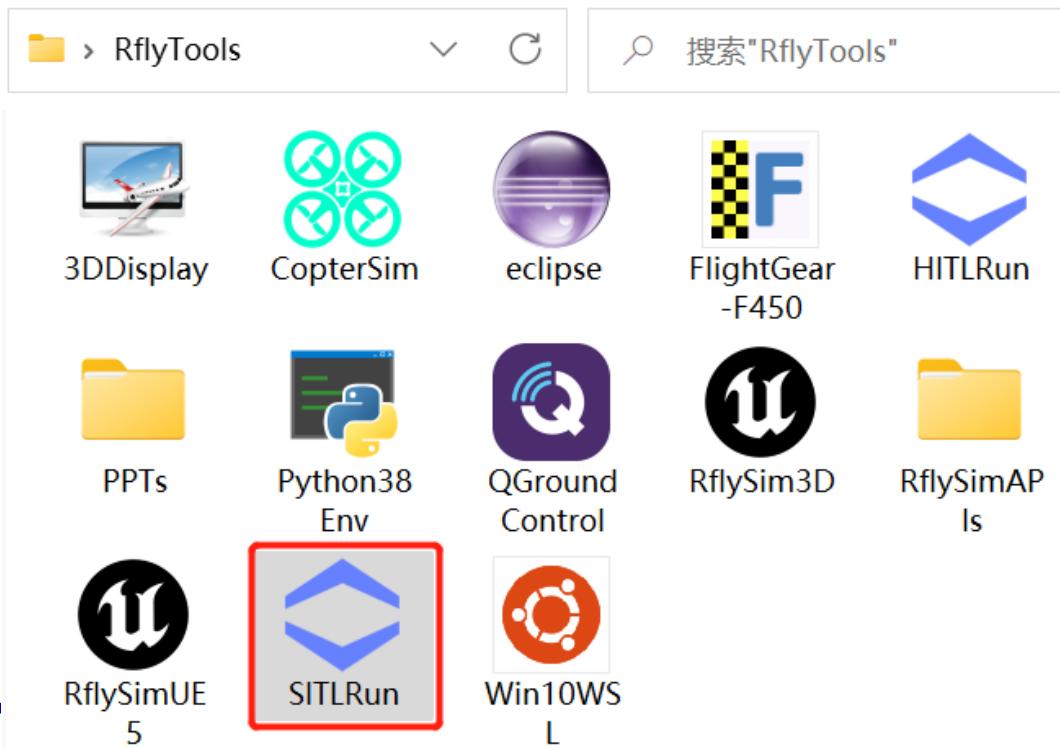




## 4. RflySim平台安装及特点

### 4.5 平台安装成功验证

- 进入桌面“RflyTools”文件夹，双击“SITLRun”快捷方式，并输入1，再回车。
- 等到RflySim3D显示“\*\*\* EKF 3DFixed”（CopterSim上也会显示），表示飞控已经初始化完毕，可以开始控制自主飞行。



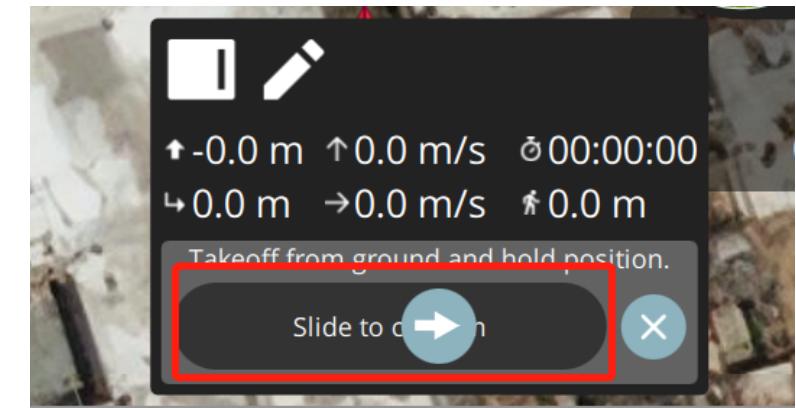
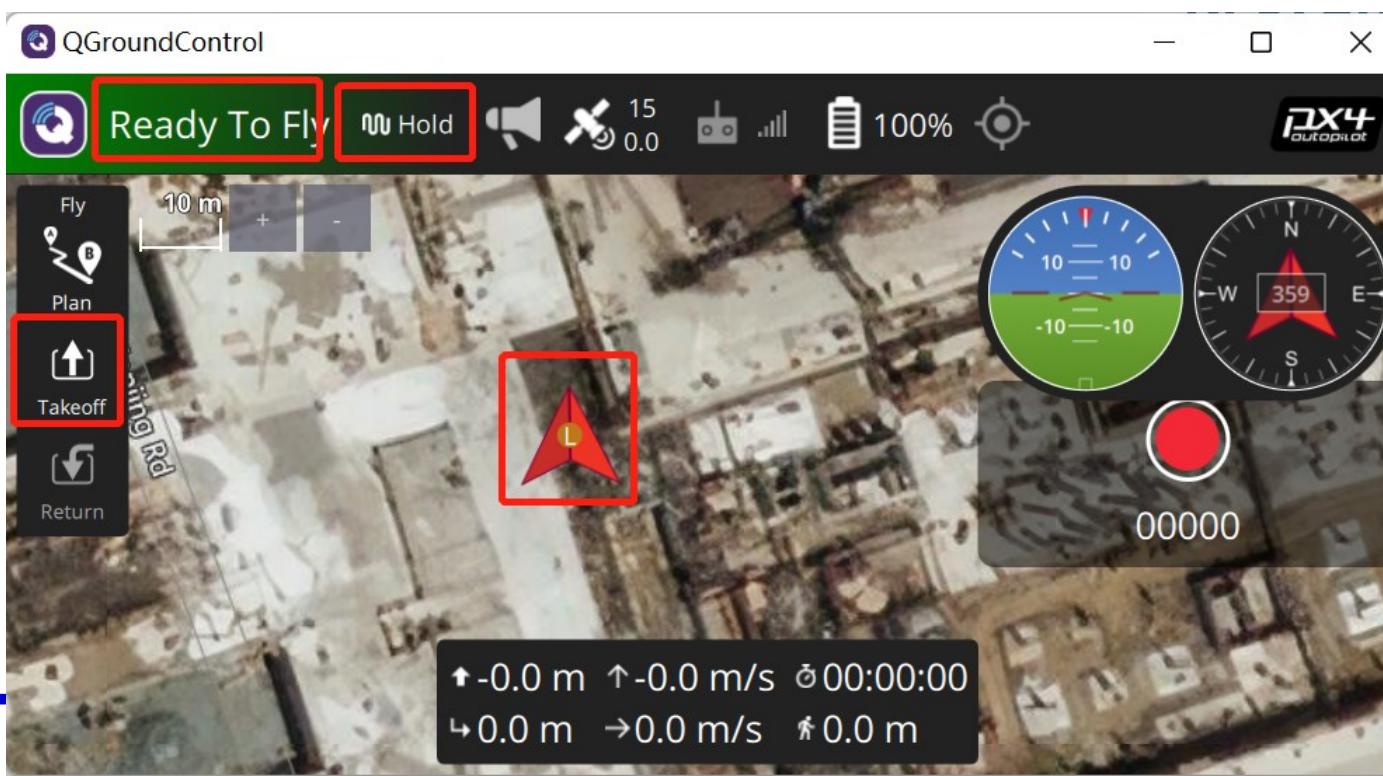


## 4. RflySim平台安装及特点

注：如果直接运行bat脚本出现飞机抖动，请用鼠标右键并使用管理员方式打开bat脚本！这样可以获取更高的运行优先级。

### 4.5 平台安装成功验证

- 进入QGroundControl软件，看到飞机进入“Hold”模式，点击“Takeoff”按钮。
- 会弹出确认滑块，将其拖到最右侧，开始自动起飞。
- 如果飞机能离地起飞，说明平台配置正确。



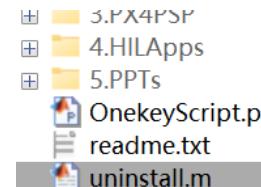


## 4. RflySim平台安装及特点

### 4.6 平台软件卸载方法

注：只有需要卸载本平台时才需要执行本页操作。

- **自动卸载：**用MATLAB打开安装包目录，运行“uninstall.m”脚本，即可完成所有卸载工作。
- **手动卸载：**包含如下流程（可查看uninstall.m 内注释）
  1. 删除桌面RflyTools内所示快捷方式；
  2. 删除 “[文档]\MATLAB\Add-Ons\Toolboxes\PX4PSP” 文件夹。
  3. 编辑MATLAB “pathdef.m”，查找并删除残余的PX4PSP路径条目；
  4. 在Windows系统中卸载Ubuntu 18.04 LTS程序。
  5. 删除[文档]目录下的QGroundControl、FlightGear等临时目录
  6. 删除RflyMaps的本地临时Cesium地图目录
  7. 注意：[文档]\Ogre目录下存储着序列号等文件sn6.txt，完整版会保留。
  8. 删除安装目录（默认“C:\PX4PSP”）文件夹内的所有文件和子文件夹



打开  
以实时脚本方式打开  
隐藏详细信息

运行 F9  
Run Script as Batch Job  
查看帮助 F1

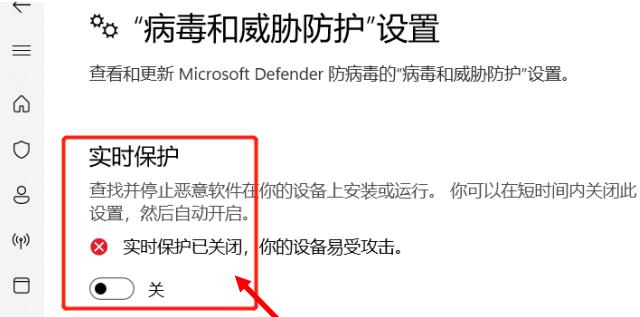


## 4. RflySim平台安

### 4.7 平台安装故障排除

- 如果蓝屏、无法仿真、或无法起飞，请确认以下要点
- ① 若出现编译缓慢、编译时蓝屏、SITL时无法连接QGC、Offboard无法控制飞机、局域网电脑无法联机等问题，请确认，**请确认彻底关闭或卸载电脑杀毒软件（如联想电脑管家、火绒、360杀毒/安全卫士、腾讯电脑管家等），并关闭Windows10的实时保护！**
- ② SITL命令行窗口中，查看命令是否有报错，确认px4\_sitl软件控制器运行成功。
- ③ CopterSim页面，消息框显示了“3D Fixed”字样，确保飞机模型正确初始化且连接飞控。
- ④ 重新运行一键安装脚本，并进入配置页面，确认固件版本≥PX4 1.10，编译器为Win10WSL。
- ⑤ 若还是无法起飞，请将图片和问题描述发布在<https://github.com/RflySim/RflyExpCode/issues>
- ⑥ 如安装时MATLAB出现文件占用的错误，首先尝试重启并重新打开MATLAB来安装，不能解决请卸载重装。

注：也可按照后文添加  
杀毒排除项



```
SITLRun
Please input UAV swarm number:1
Start QGroundControl
Kill all CopterSims
Starting PX4 Build
The Same File
[1/1] Generating ../../logs
killing running instances
Using Airframe File: 10016_iris
starting instance 1 in /mnt/c/PX4PSP/Firmware/build/px4_si
copying rcS file
PX4 instances start finished
Press any key to exit
```

```
飞控选择：
UDP Mode
UDP_Full

PX4: Enter Other Mode!
PX4: Enter Manual Mode!
PX4: EKF2 Estimator start initializing...
PX4: [logger] ./log/2022-04-04_15_47_24.ulg
PX4: Found firmware version: 1.11.3dev
PX4: Command REQUEST_AUTOPILOT_VERSION ACCEPTED
PX4: Command REQUEST_MAVLINK_VERSION ACCEPTED
PX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.
```

```
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-v6_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
```



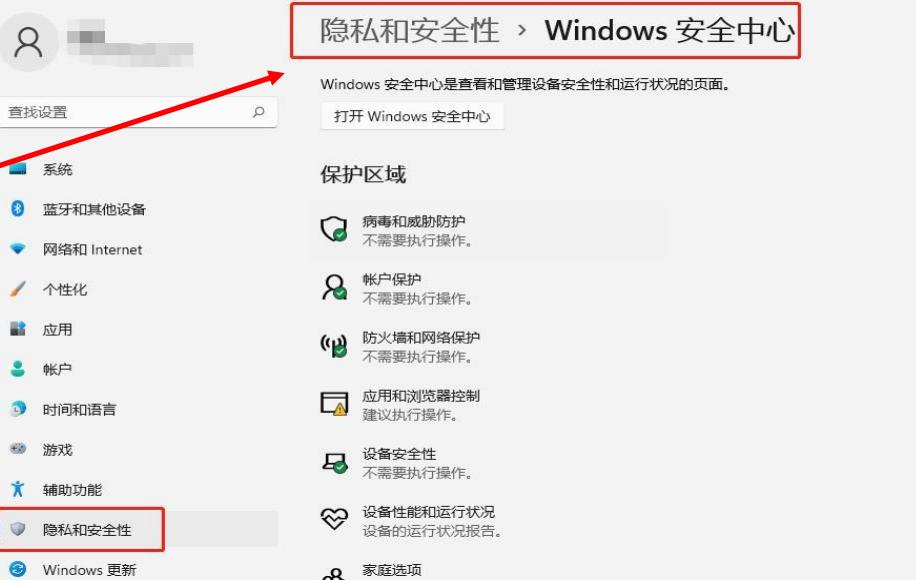
## 4. RflySim平台

### 4.7 平台安装故障排除—添加杀毒排除项

- 点击电脑的设置，找到隐私和安全选项，然后打开Windows安全中心如右图所示。
- 然后打开病毒和威胁防护，找到管理设置选项，点击打开。
- 接着打开添加或删除排除项，在添加排除项中点击添加文件夹，把C:\PX4PSP路径（改成用户自己期望的安装目录，如果还没有这个文件夹，就先手动新建一个）添加进去。

注：该步骤是以window11系统为例，其它系统操作方法类似，另外，所有杀毒软件应该都有添加排除文件夹的功能，都可按照此步骤添加。

注：该步骤是比直接关闭杀毒和安全中心更方便的方式，推荐使用。



### 排除项

添加或删除要从 Microsoft Defender 防病毒扫描中排除的项目。





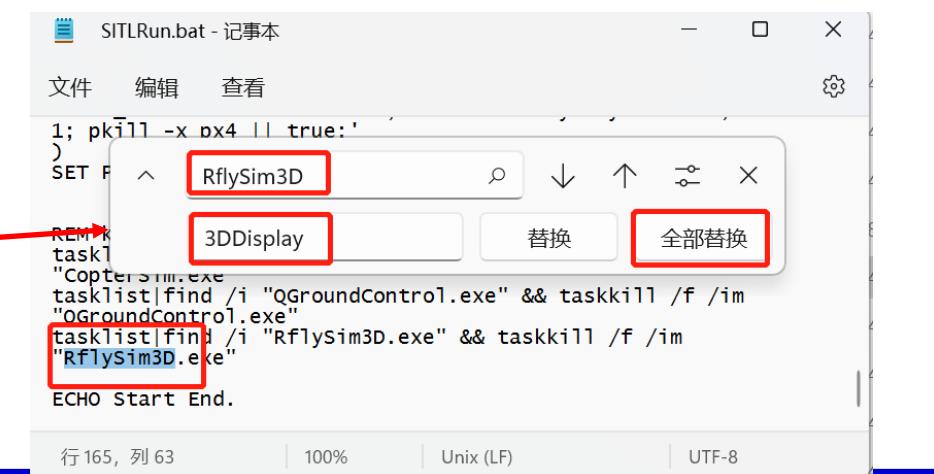
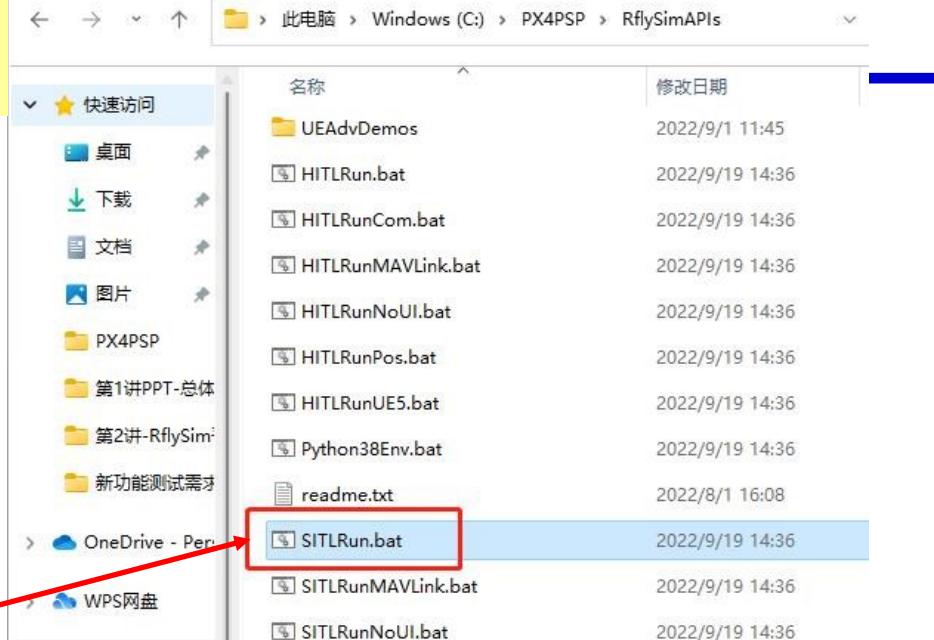
## 4. RflySim平

注：平台推荐I7+3060及以上游戏主机配置，并保证功率供应，其他配置可能出现不兼容问题

### 4.7 平台安装故障排除—电脑配置问题

对于电脑配置低，出现飞行仿真抖动的用户，可以先尝试右键以管理员方式运行bat脚本。其次，可以修改bat脚本，查找并替换其中的RflySim3D字符为3DDisplay，启用简易三维引擎来观察效果。以SITLRun脚本为例，具体步骤如下：

1. 打开平台的安装目录，默认为 C:\PX4PSP\RflySimAPIs，找到SITLRun.bat的脚本。
2. 右键编辑，修改bat脚本，使用替换工具，搜索并替换其中的所有RflySim3D字符为3DDisplay即可。
3. 右键以管理员方式修改完的bat一键脚本。



注：3DDisplay仅能用于单机姿态预览。



# 大纲

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室



RflySim教程



## 5. RflySim平台学习资源

### 5.1 配套书籍



《多旋翼飞行器设计与控制》：本书讲授多旋翼设计、动态模型建立、状态估计、控制和决策等方面的基础知识。涉及到空气流体力学、电机、电路、材料结构、理论力学、以及导航、制导与控制各个学科的基础知识，具有基础性和系统性两个特色。因此，有利于读者将已学知识融会贯通，着重培养学生解决问题的综合能力。本书覆盖了多旋翼飞行器设计的大部分内容，共十五章，包括多旋翼飞行器基础知识、布局、动力系统、建模、感知、控制和决策等部分。旨在将多旋翼飞行器工程实践中应用的设计原则组织起来，并强调基础概念的重要性，具有基础性、实用性、综合性和系统性等特点。本书可以用作高年级本科生以及研究生教材，或者作为该领域研究的入门指南，还可以作为多旋翼飞行器工程师的自学教材。

《多旋翼飞行器设计与控制实践》：本书分为实验平台和实验任务两大部分，其中实验平台依托为本书特别设计的RflySim平台。RflySim平台利用目前的先进发展理念“基于模型开发（Model-Based Design）”流程，将多旋翼飞行器、Pixhawk自驾仪，以及MATLAB Simulink编程语言紧密联系在一起。实验任务共包括循序渐进的8个实验：动力系统设计、动态建模、传感器标定、滤波器设计、姿态控制器设计、定点位置控制器设计、半自主控制模式设计及失效保护逻辑设计，完成多旋翼飞行器设计与控制实践。本书适合对无人机特别是多旋翼飞行器设计与控制感兴趣的读者，也可以把本书部分实验作为专业课程的实践环节。



## 7. RflySim平台学习资源

### 5.1 配套书籍



《多旋翼飞行器从原理到实践》：本书是多旋翼飞行器的一本入门级教材，也是一本从原理到操作实践的手册。它首先介绍了多旋翼飞行器的基本概念、飞行原理、发展历史等内容；然后，对其系统组成以及机架、动力系统、通信系统、飞行控制系统等重要组成部分进行了详细介绍；最后，介绍了组装调试、操控和维护、行业应用和发展等知识。总的来说，本书做到了理论讲解和实践操作的有机融合，做到了内容的全面与细致，也在处处讲解安全操作，培养读者的安全意识。我们也为本书配备了大量教学和实践操作视频，帮助读者更好地学习和掌握本书内容。

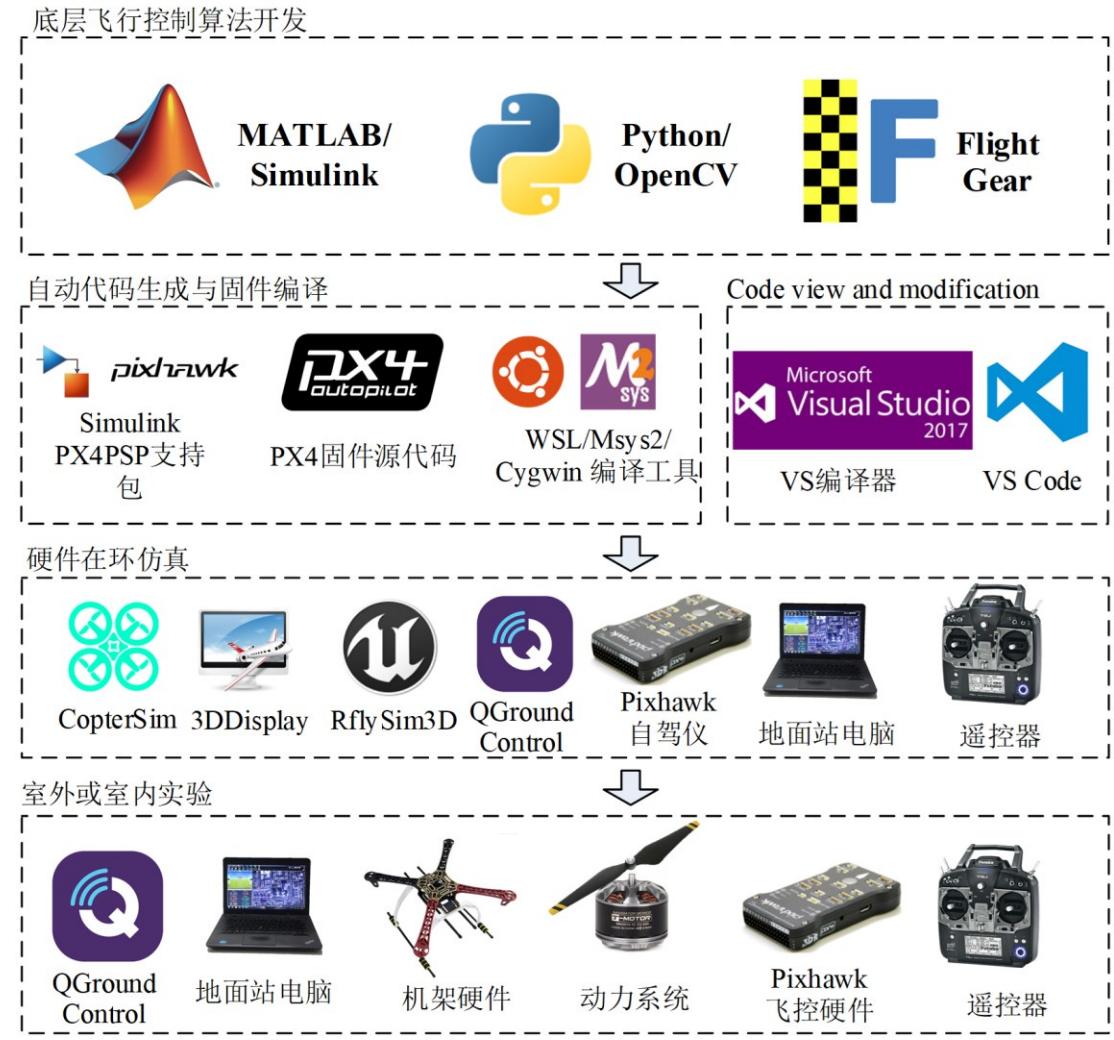
《多旋翼飞行器远端控制实践》：本书瞄准多旋翼无人机的应用实践，旨在降低入门门槛，为更多不具备多旋翼专业知识和开发背景的高职、低年级本科生或相关从业人员提供理论实践相结合的综合参考教科书，让读者在学习“自动控制原理”等专业课之后，运用所学专业技术基础课及专业课知识，进行控制系统的详细设计，使读者在综合运用专业理论解决工程问题方面得到实际锻炼。



## 5. RflySim平台学习资源

### 5.2 实验平台配置与使用

RflySim平台包含了众多在进行无人系统建模、仿真、算法验证等开发过程中所涉及到的软件，其中，核心组件有CopterSim、QGroundControl、RflySim3D/RflySimUE5、Python38Env、Win10WSL子系统、SITL/HITLRun一键运行脚本、MATLAB自动代码生成工具箱、Simulink集群控制接口、PX4 Firmware源码、RflySim配套资料文件以及配套硬件系统。用户通过对这些核心组件的学习即可快速上手无人系统的开发和测试工作。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Read me](#)。

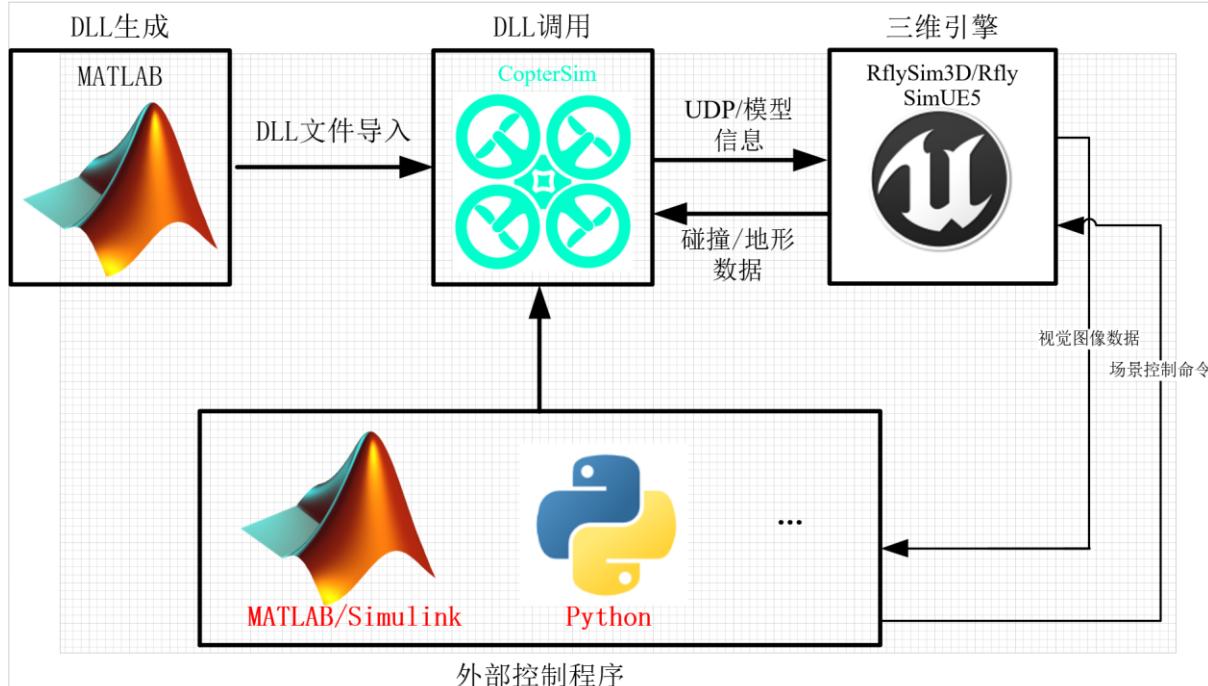




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.3 三维场景建模与仿真

RflySim3D是RflySim三维仿真平台，CopterSim会根据从Pixhawk（或者PX4 SITL）传入的电机控制数据解算出无人机当前的状态（主要是位置、姿态数据），随后会将这些数据发送给RflySim3D，而RflySim3D会将这些数据应用至场景里相应的无人机上，从而使我们能更直观的看到无人机的状态。RflySim3D还支持通过XML文件进行一些配置，主要是用XML配置无人机的构型（四旋翼、六旋翼、固定翼等）、模型在列表中的优先级、飞机的名字、飞机的初始位置与姿态、各致动器（一般是旋翼）的初始位置、姿态、材质、旋转轴、运动模式，还可以定义摄像机的位置，还可以定义一些障碍组件（例如柱子、圆环）等等。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。

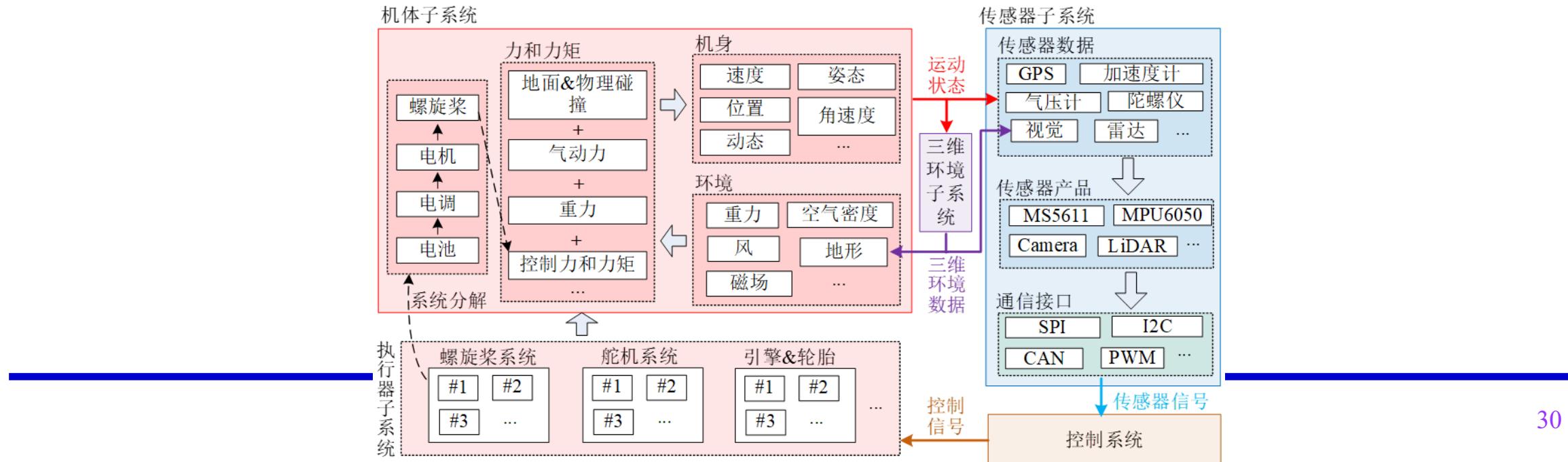




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.4 载具运动建模与仿真

无人载具系统统一建模框架将整个无人载具系统分解为两个部分：机身系统与控制系统。机身系统与控制系统之间进行着传感器数据与控制信号。而机身系统又可以细分为四个子系统：机体子系统、执行器子系统、三维环境子系统和传感器子系统。在整个建模框架中，机身系统需要进行高精度建模，并且在实时仿真计算机中实现，最后连接控制系统软件或硬件，构成软件在环仿真或硬件在环仿真闭环。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。





## 5. RflySim平台学习资源

### 5.5 位姿控制与滤波估计

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。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。

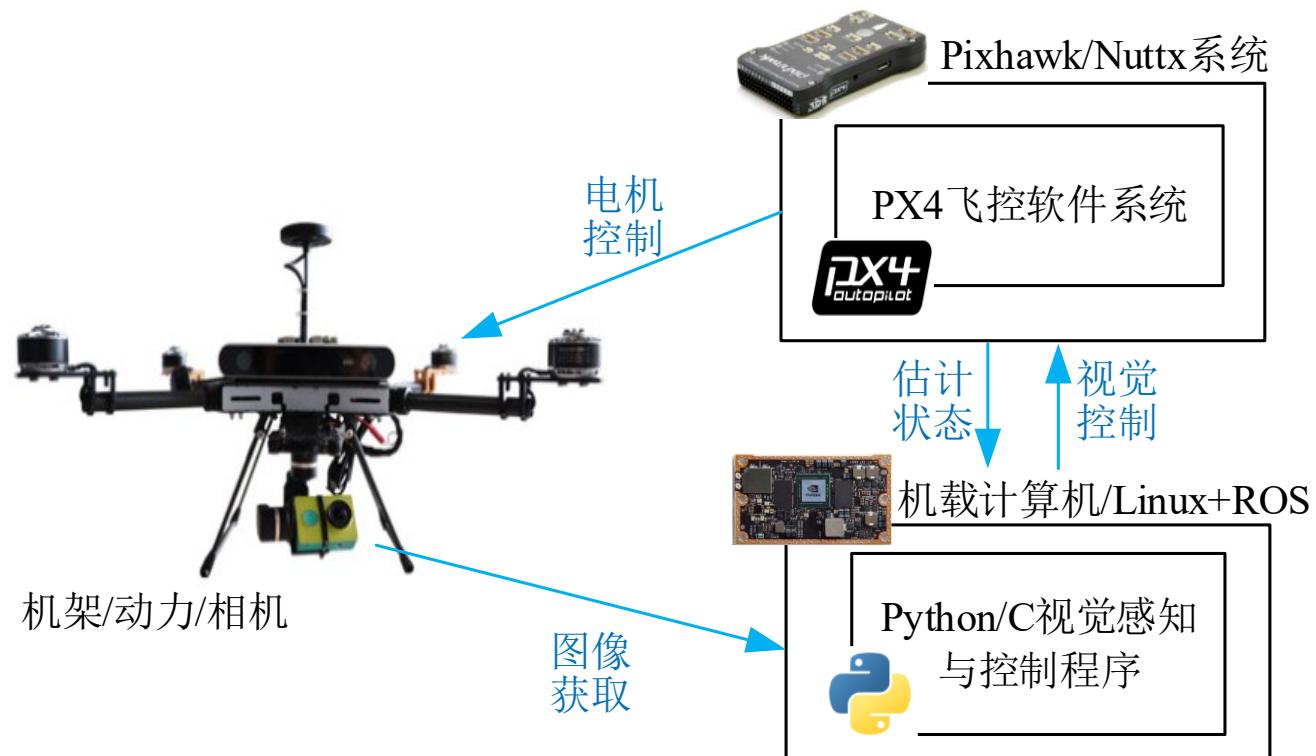




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.6 外部控制与轨迹规划

无人机作为一种具有自主飞行能力的飞行器，其外部控制能力对于实现精确的飞行任务和安全的飞行操作至关重要。通常常见的控制方式有：遥控器控制、地面站控制、半自主控制、和通过计算机相应接口控制。其中外部控制理论主要涉及飞行器在空中的稳定性，一般为理解为对无人机的位置和姿态控制，对此我们将深入探讨无人机的飞行控制刚体模型，也就是制导模型。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Read me](#)。

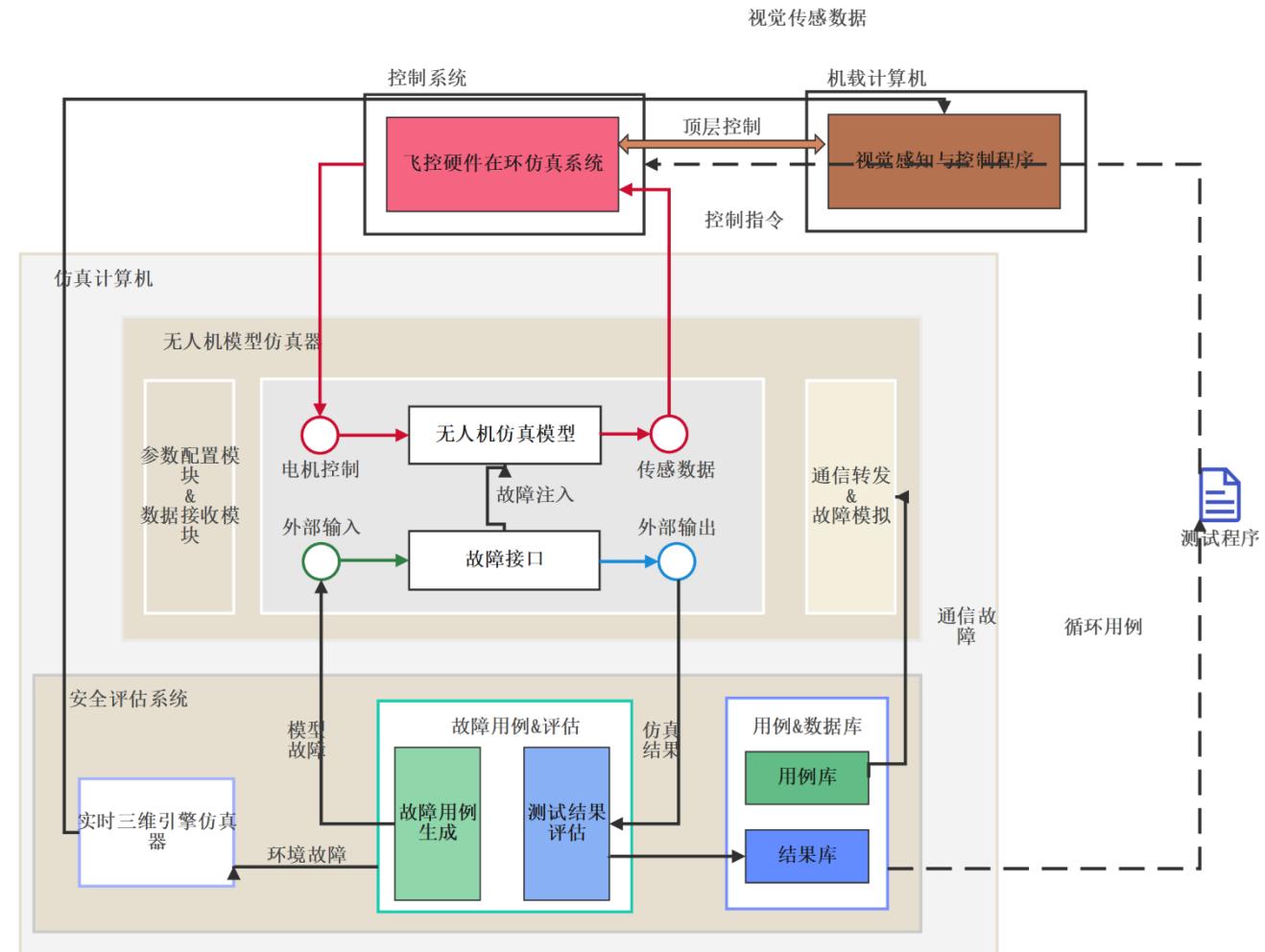




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.7 安全测试与健康平台

RflySim故障注入架构由实物模块、仿真模块与评估模块组成。实物模块由飞控硬件组成，负责与仿真计算机连接，接收来自外部的控制指令并作出姿态响应，组成半物理仿真闭环，可通过飞控进行硬件在环的实时故障注入。仿真模块由CopterSim、RFlySim3D、QGC组成，负责整机的故障消息发送和三维故障注入，进行实时的故障模拟。评估模块负责输出故障注入之后的安全状况。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。



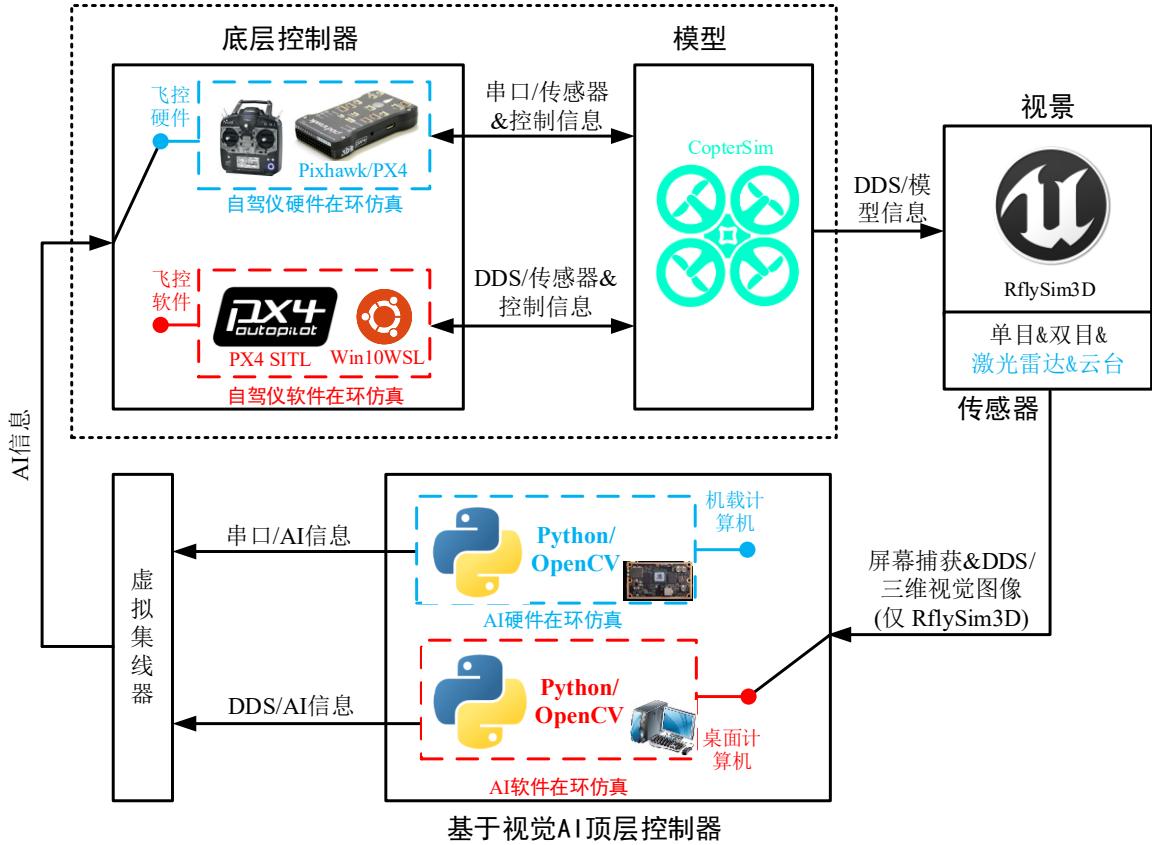


## 5. RflySim平台学习资源

### 5.8 视觉感知与避障决策

RflySim平台支持外部传感器接入，我们将这些传感器数据分为两类：一类直连飞控的外部传感器（磁罗盘、差分GPS、光流测速等），另一类是直连机载计算机的视觉传感器（双目、Lidar、深度相机等）飞控传感器通过Simulink等程序直接生成传入Pixhawk飞控，视觉传感器通过三维环境引擎生成，随图像传入机载计算机。RflySim提供传感器基本参数与安装位置的深度相机传感器模块SDK，用户可以通过设置相关参数对无人机载视觉传感器进行设计朝向、焦距、视场角等，自定义机载视觉模块；根据用决策的输入输出接口协议，提供决策系统输入/输出接口。

本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。

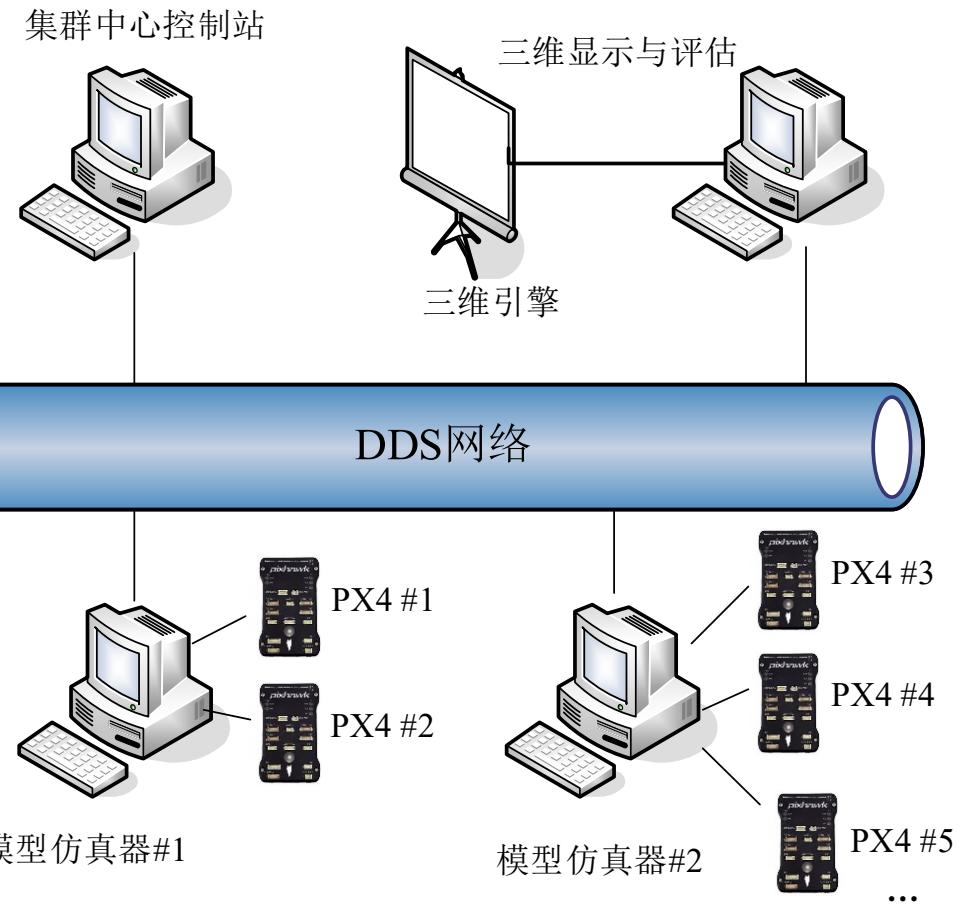




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.9 通信协议与集群组网

RflySim采用分布式组网架构，不同的仿真模型可以运行在同一台电脑或者不同的电脑上。打开多个模型仿真器并连接多个Pixhawk/PX4自驾仪硬件就可以形成多无人集群的仿真环境。由于单台电脑的性能是有限的，可以通过局域网内多台电脑间进行相互通信的形式进一步扩展整体飞机数量。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Readme](#)。

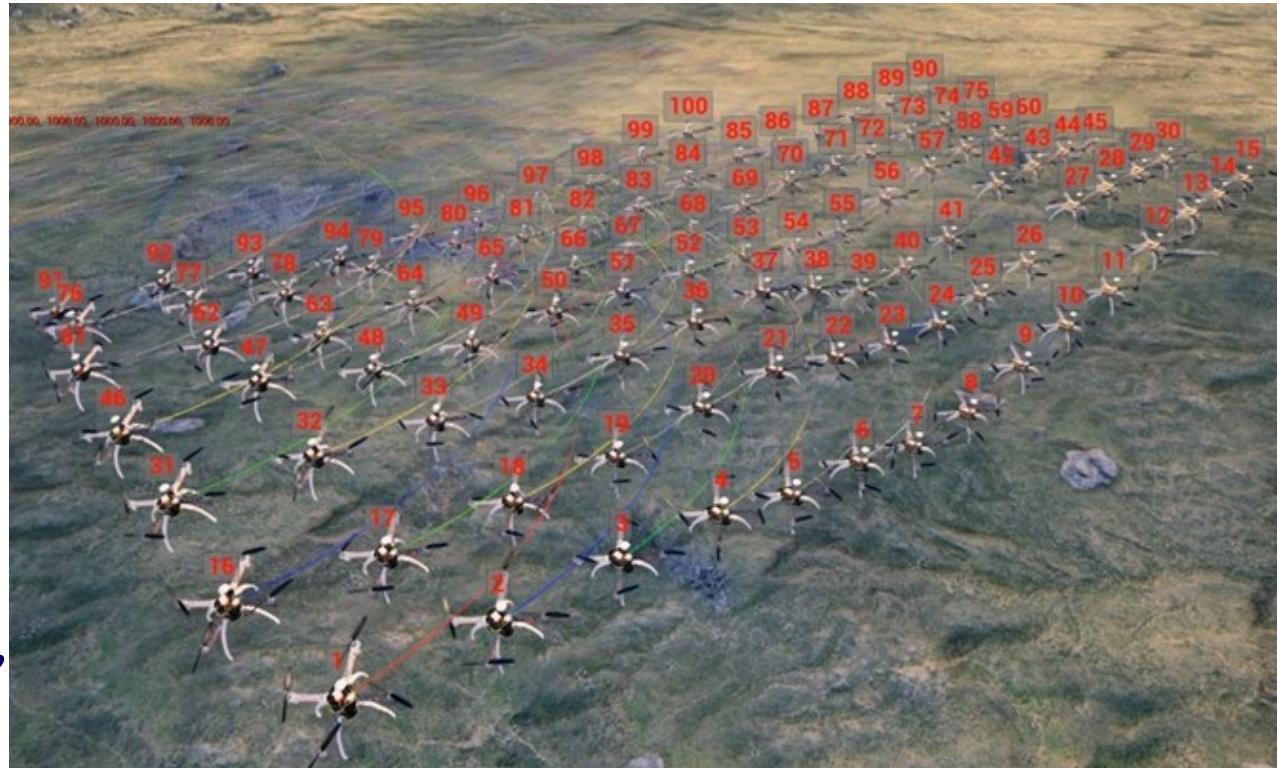




## 5. RflySim平台学习资源

### 5.10 集群控制与博弈对抗

RflySim支持一键启动多机集群仿真功能，支持MATLAB/Simulink、Python端集群仿真开发，支持多架软件在环、硬件在环及软、硬件相结合的虚实集群仿真，支持局域网内多台电脑的分布式集群仿真。同时，随着飞机数量的增加，网络通信负载越来越大，为了在有限带宽下实现更多数量的无人机集群仿真，需要对通信进行优化，目前平台的数据协议主要有两种：MAVLINK数据和UDP压缩结构体，基于这两种数据协议，RflySim提出了5种压缩的数据协议，实现上百架的无人机集群仿真。本章开发相关API接口平台地址为：[API](#)。本章所有例程平台地址为：[Read me](#)。





# 大纲

---

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

---

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室

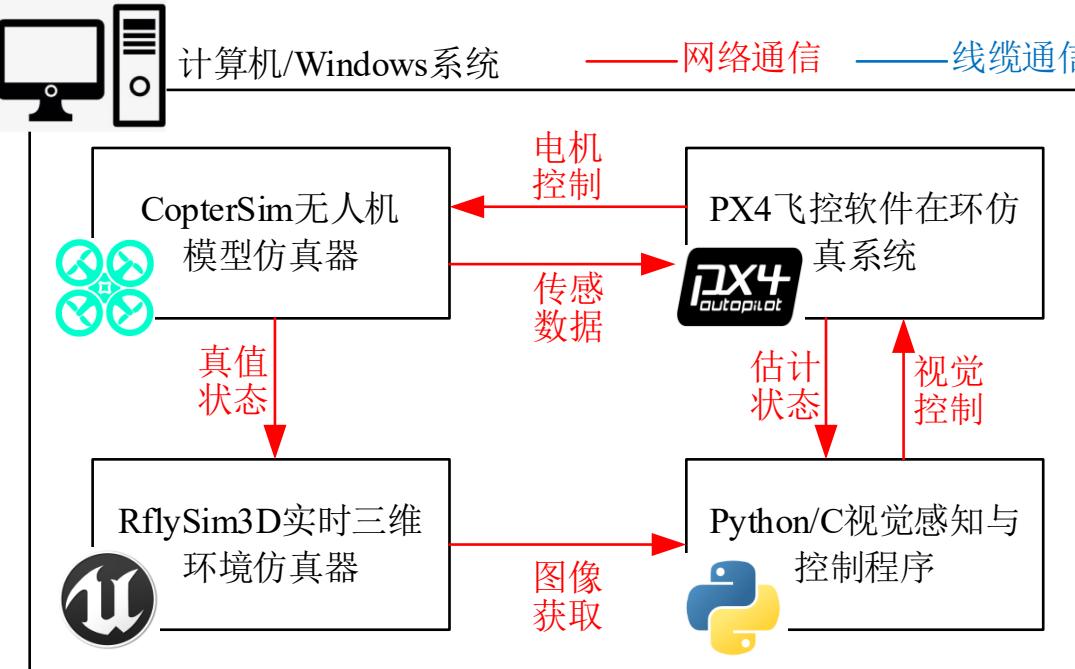


RflySim教程

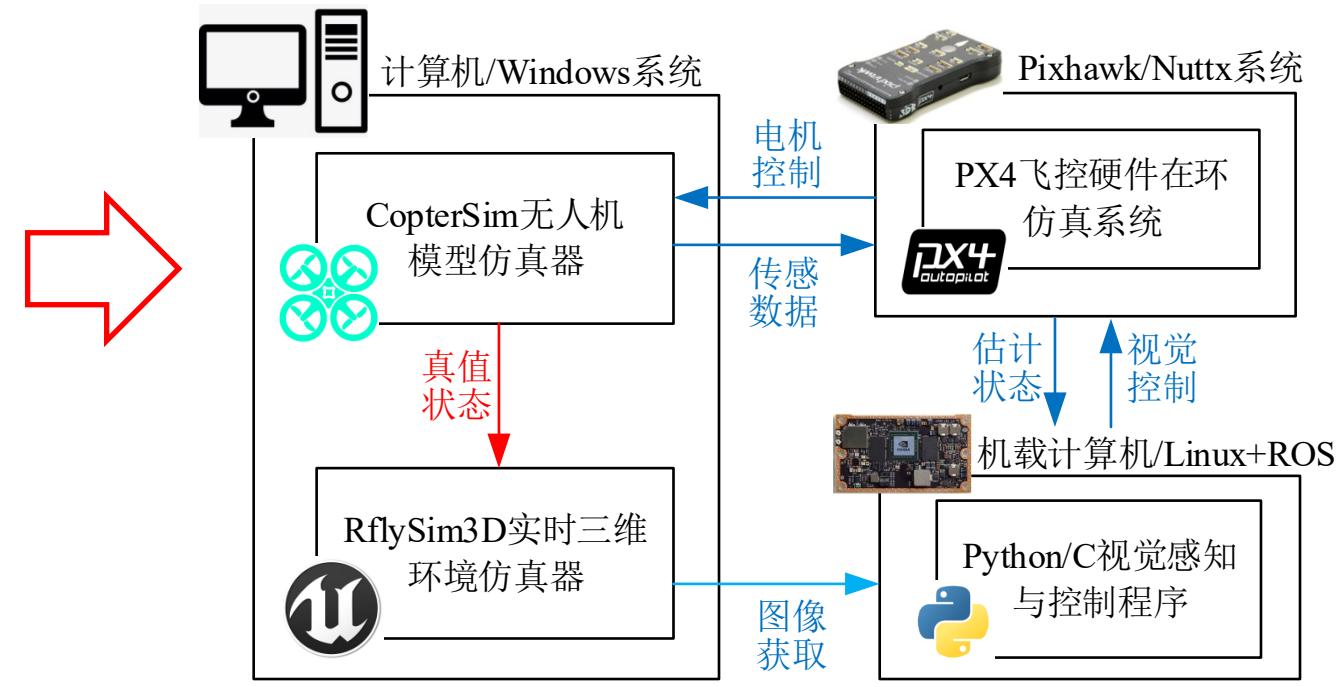


## 6.未来功能与展望

### 6.1 兼容ROS的顶层视觉/决策算法开发



(a) 单电脑Windows下纯软件在环开发模式



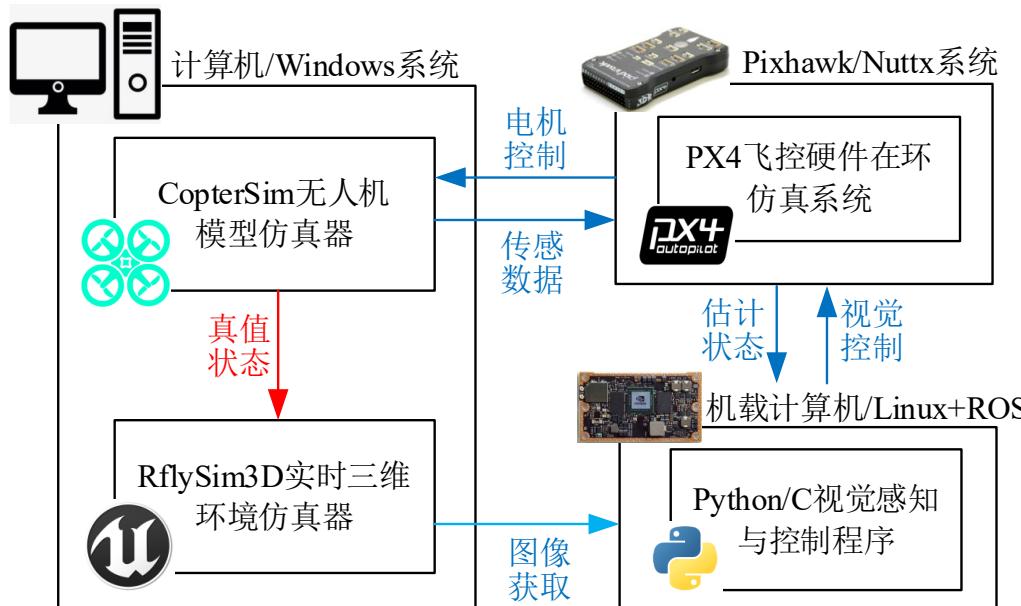
(b) “自驾仪+通信链路+机载计算机”硬件在环仿真

- 单电脑下开发&测试单一视觉功能，成本低、效率高；Windows下开发，易用强、门槛低；
- 多硬件下测试整个视觉&决策整体，更逼真、高可信；Linux/ROS下开发，本符合实际开发。

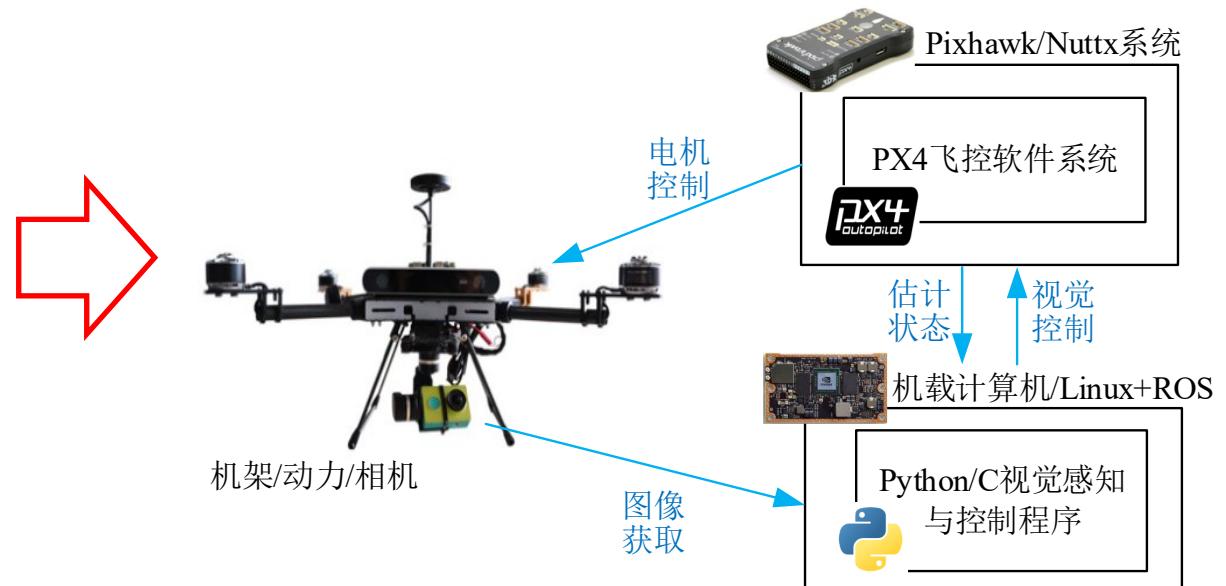


## 6.未来功能与展望

### 6.2 可靠视觉算法真机迁移流程



(b) “自驾仪+通信链路+机载计算机”硬件在环仿真



(c) “机架+自驾仪+通信链路+机载计算机”真机实验

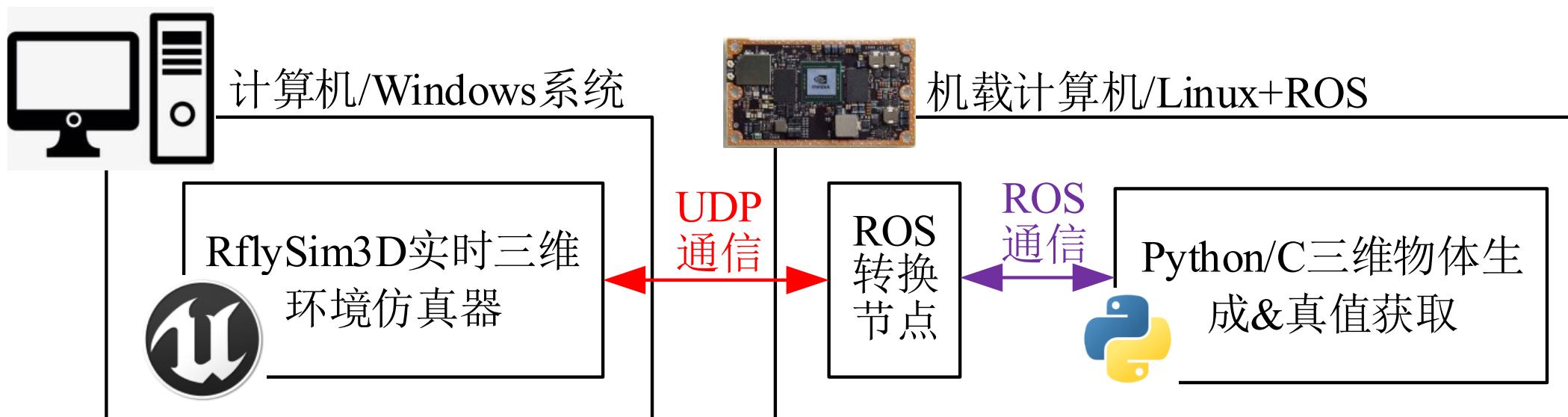
- 直接将Pixhawk/PX4飞控的PWM输出口插在机架动力系统上，图像获取接口连接相机，即可完成真机迁移。优点：无缝衔接，不需要任何额外修改，高逼真的三维场景



## 6.未来功能与展望

### 6.3 环境场景/障碍物的动态生成与配置

- 支持通过UDP/ROS动态改变场景地图、改变飞机三维样式、动态创建障碍物（其他飞机、跟踪靶标、人物、标定板、桌椅等）、动态改变飞机视角（位置、方向、焦距等）、改变三维引擎输出图像分辨率等。

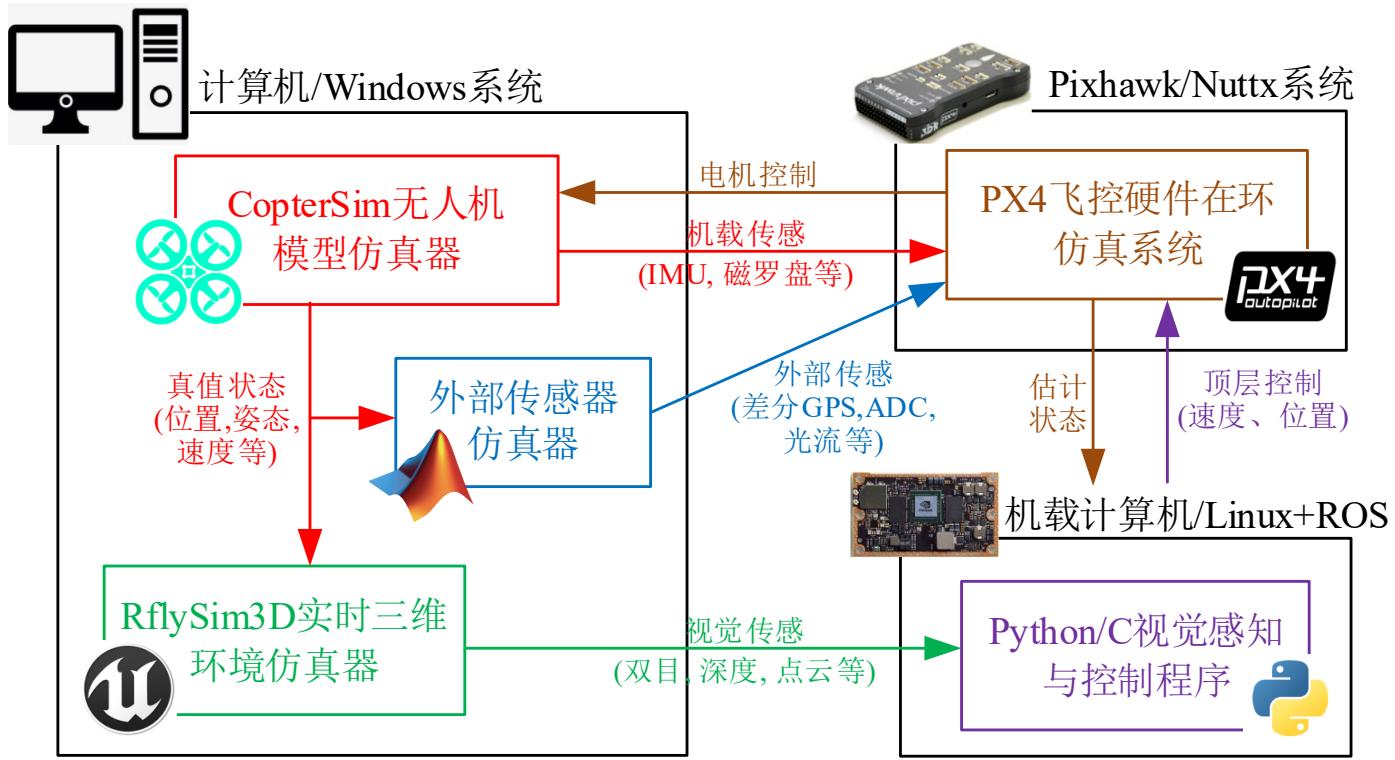




## 6.未来功能与展望

### 6.4 外部传感器支持

- 传感器数据分为两类：直连飞控的外部传感器（磁罗盘、差分GPS、光流测速等），另一类是直连机载计算机的视觉传感器（双目、Lidar、深度相机等）
- 飞控传感器通过Simulink等程序直接生成传入Pixhawk飞控
- 视觉传感器通过RflySim3D三维环境引擎生成，随图像传入机载计算机



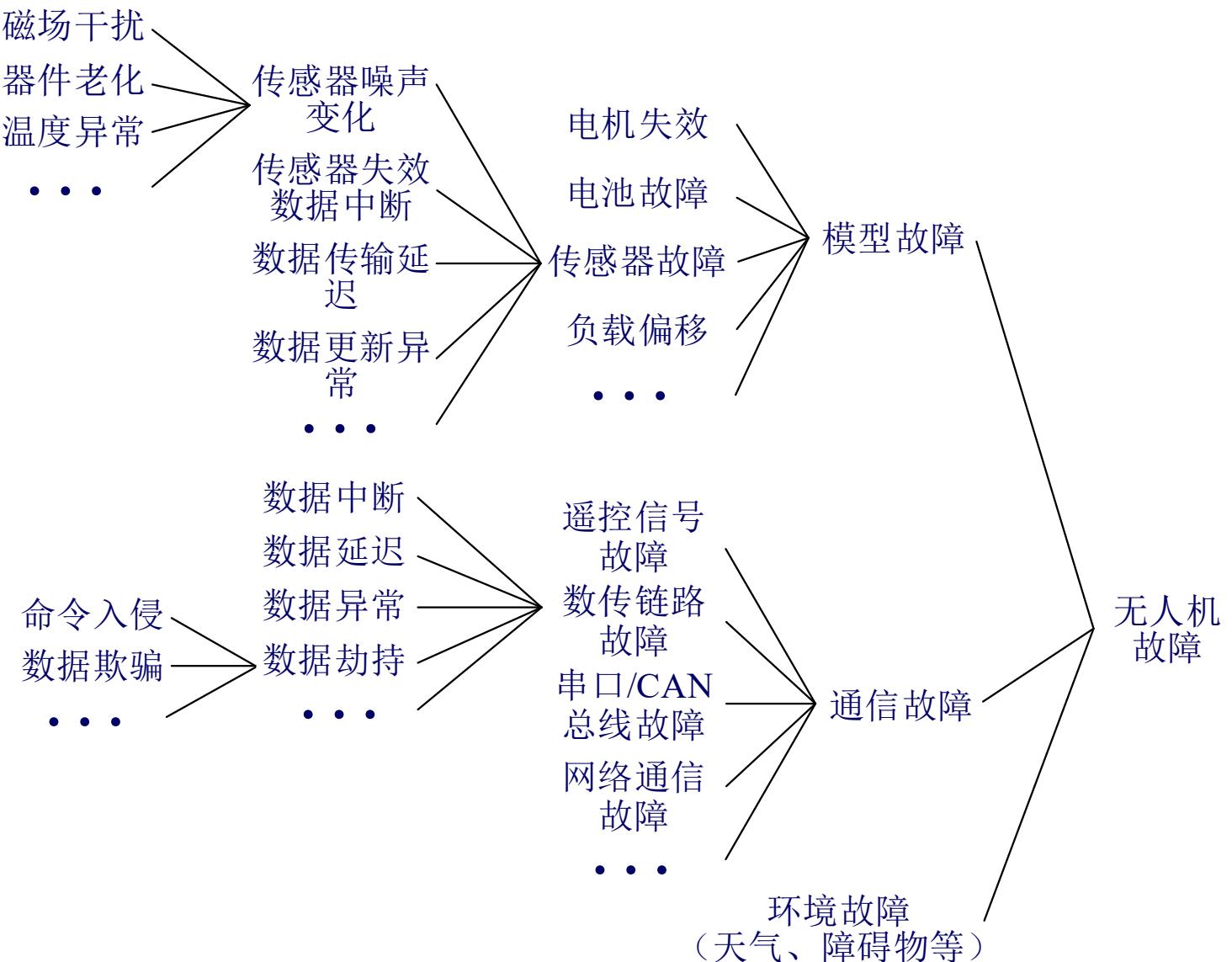
注：我们的  
RflySim3D三维环境  
引擎和Airsim一样都  
是基于Unreal  
Engine 4开发的，因  
此可以支持所有  
Airsim已有的传感器



## 6.未来功能与展望

### 6.5 故障建模与注入

- 除了基础功能的测试，无人机的故障情况下的安全/可靠性测试也至关重要。
- 本系统将故障总结为三类：
- 模型故障（与飞机数学模型有关）
- 通信故障（与数据交互传输有关）
- 环境故障（与三维场景有关）



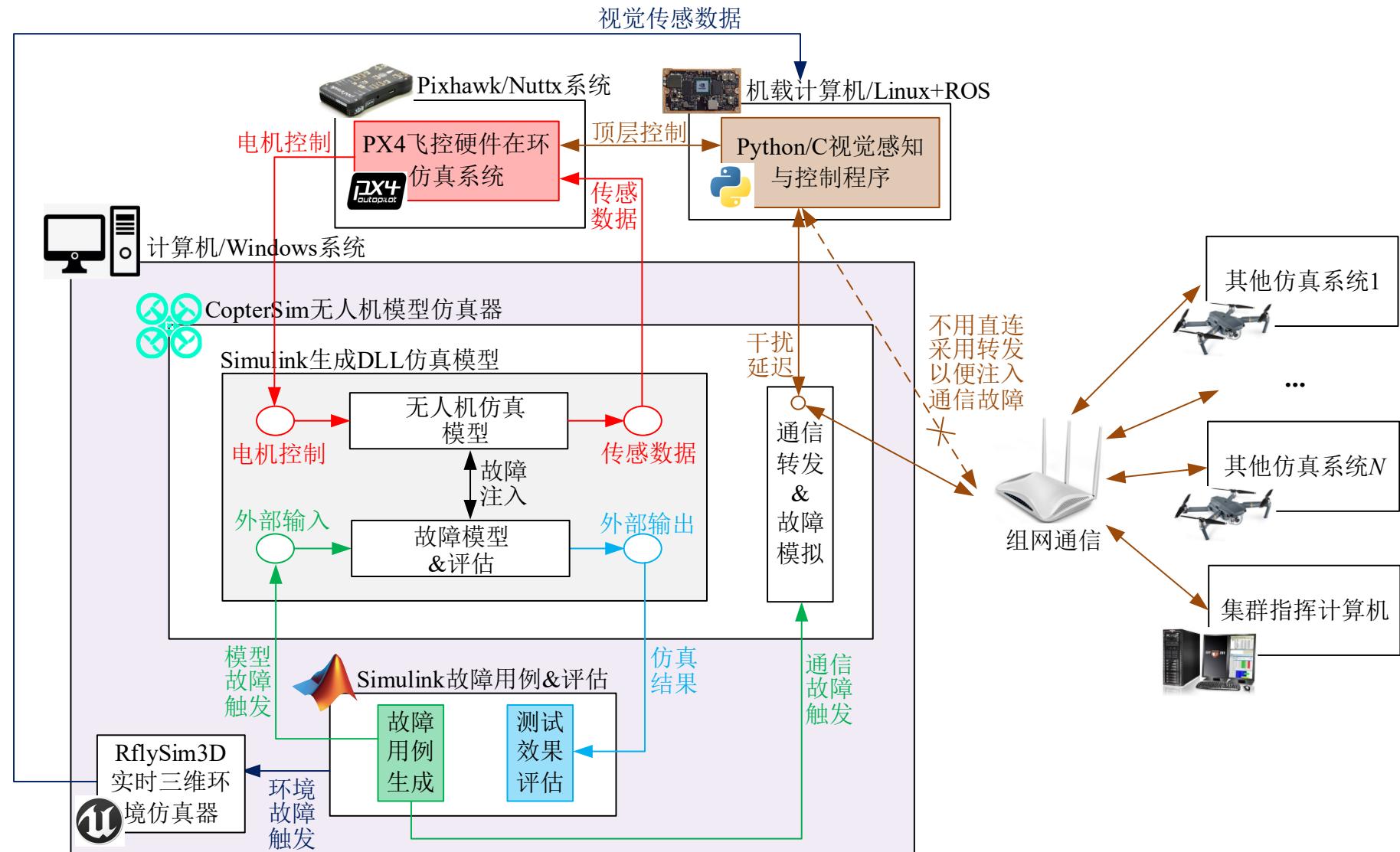


## 6.未来功能与展望

### 6.5 故障建模与注入

#### 故障模拟&评估

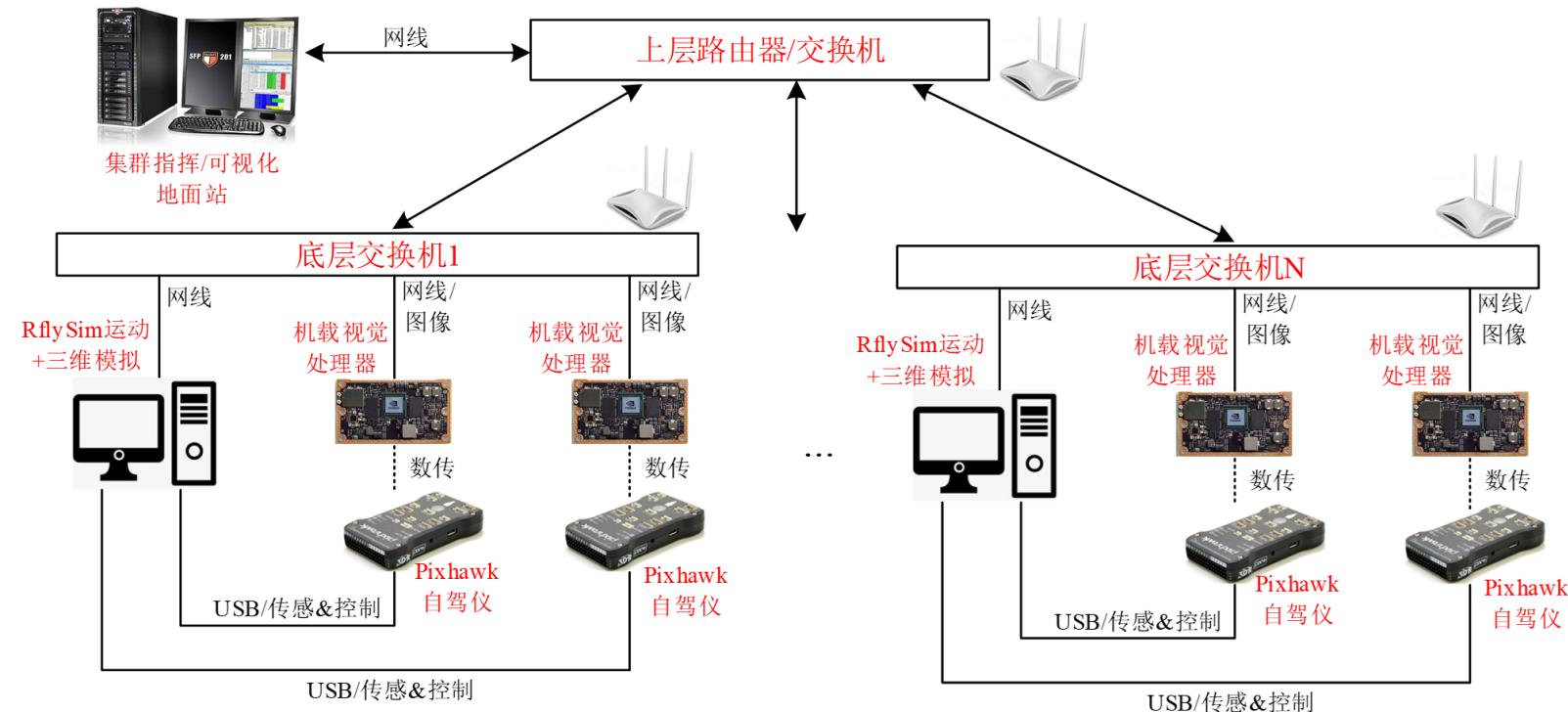
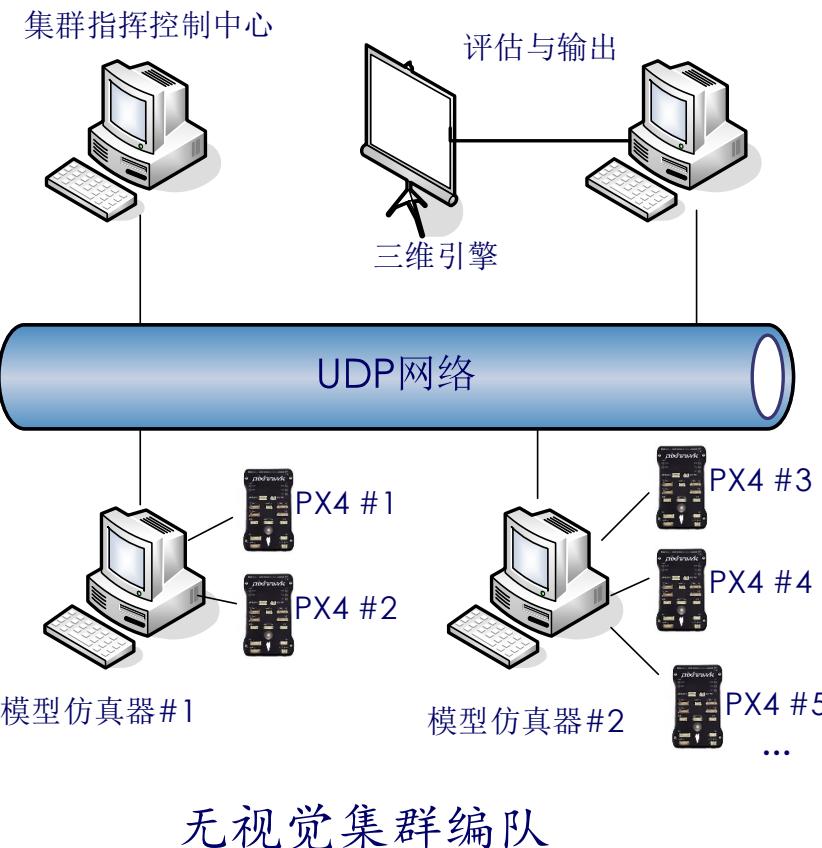
- **模型故障:** 提供 Simulink 模型和外部触发接口, 可自行加入任意故障。
- **通信故障:** 所有通信链路经过统一接口转发, 可模拟延迟、丢包等。
- **环境故障:** 障碍物等在三维引擎中生成。





## 6.未来功能与展望

### 6.6 分布式仿真框架



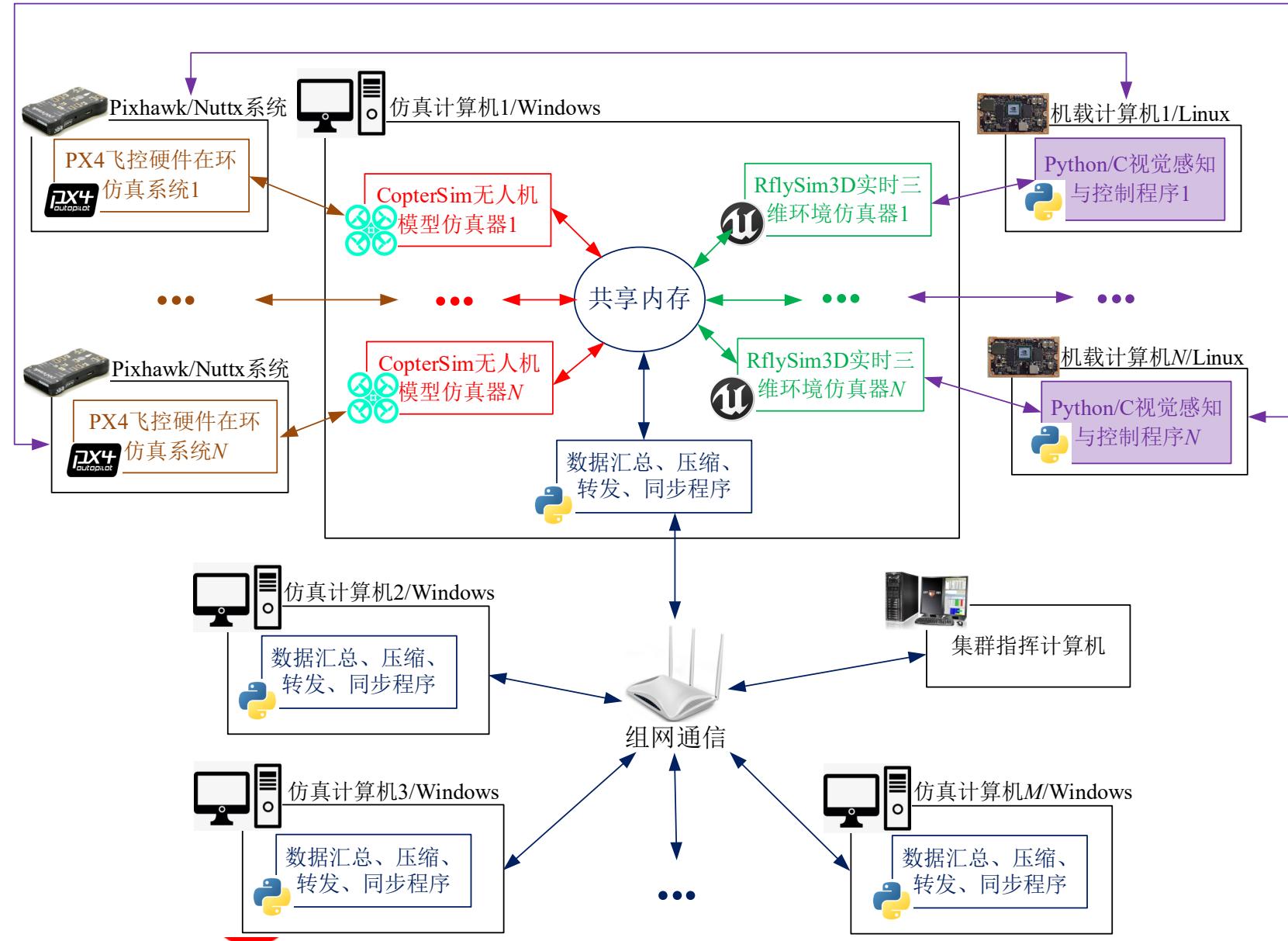


## 6.未来功能与展望

### 6.7 分布式通信优化

- 本电脑内部各个程序间的通信采用共享内存方式，直接在内存上操作，延迟最低、速度最快。
- 每台电脑可以开启多个硬/软件在环仿真系统，模拟多个无人机。
- 每台电脑向外收发数据经过汇总、压缩等，确保网内通信顺畅。
- 采用请求式通信（DDS协议），支持千架级别仿真。

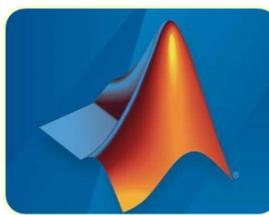
2024/1/2





## 6.未来功能与展望

### 6.8 FPGA实时仿真系统，脱离PX4限制，支持其他飞控硬件



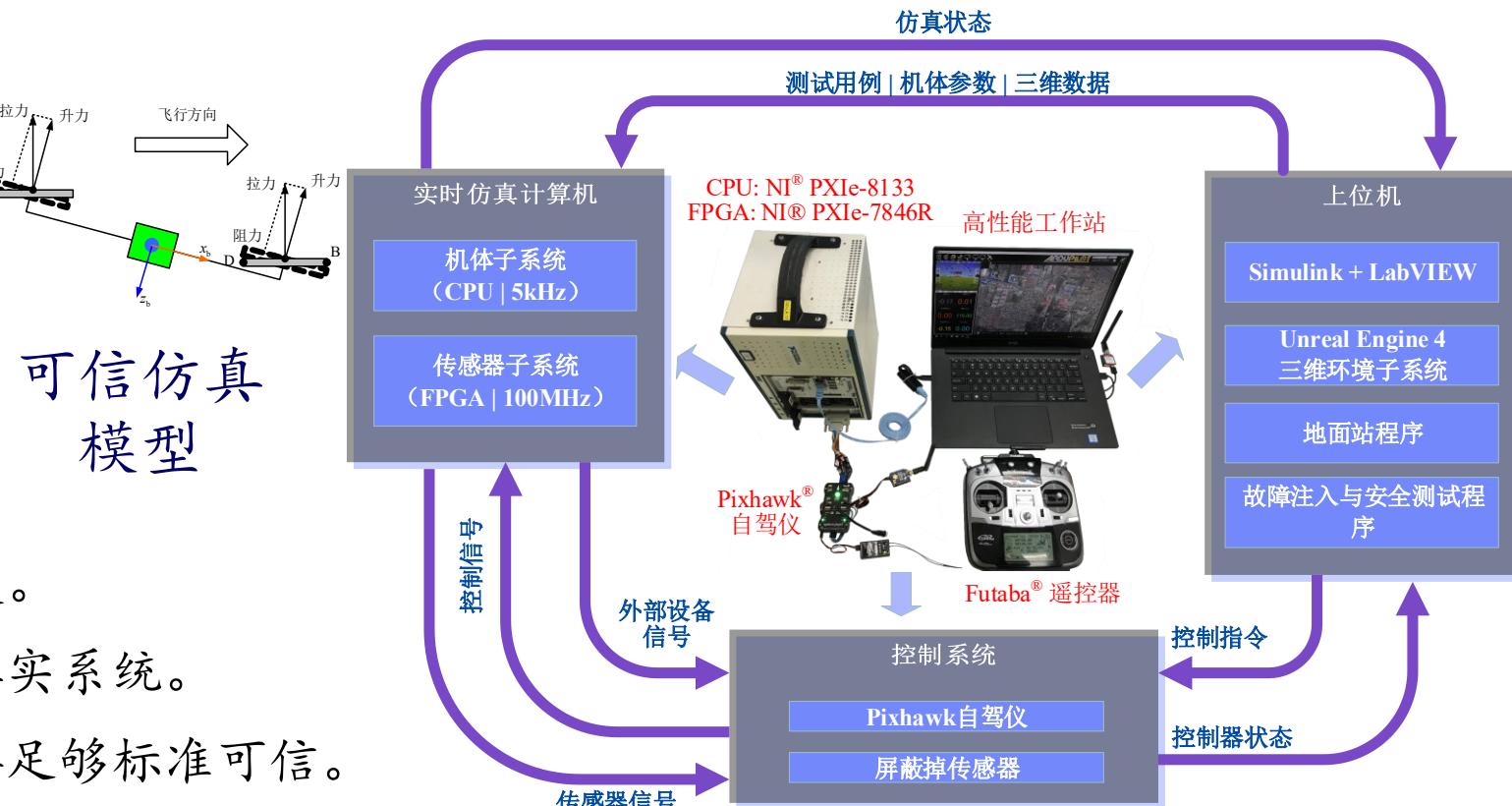
可信硬件平台

可信软件平台

可信仿真  
模型

仿真可信度保证：

1. 仿真平台本身需要具备足够的可信度。
  - 硬件层面：硬件结构需要尽量接近真实系统。
  - 软件层面：仿真的开发流程需要足够标准可信。
2. 数学仿真模型需要足够精确、可信。





# 大纲

## 1. RflySim平台背景

## 2. RflySim是什么？

## 3. RflySim平台版本划分

## 4. RflySim平台安装及特点

## 5. RflySim平台学习资源

## 6. 未来功能与展望

## 7. 总结

本课程所需教具购买（已配置好，到手即用，可跳过本PPT硬件配置部分），可以访问如下淘宝店链接，或淘宝App扫描右侧二维码 <https://shop212206553.taobao.com/>



SX200 飞思



基础版飞控套装



高级版飞控套装



飞思实验室



RflySim教程



## 7. 总结

---

- RflySim平台介绍和一键安装，并对平台的软、硬件的配置和使用进行介绍。
- 平台配置实验旨在通过实验的方式，帮助学员快速入门RflySim配置和使用。
- 对后续章节的主要内容进行了概括性的预览，帮助学员全面认识本平台包含的所有例程和教学资料。

如有疑问，扫描下方二维码或<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



## 课程资源

- 本讲PPT公益课视频地址为：
- 软件的使用与配置：<https://www.bilibili.com/video/BV1UL4y1F7NL>
- 硬件的使用与配置：<https://www.bilibili.com/video/BV1qY4y187NZ>
- 更多课程资源：[https://space.bilibili.com/3493283546269949?spm\\_id\\_from=333.1007.0.0](https://space.bilibili.com/3493283546269949?spm_id_from=333.1007.0.0)
- 或使用手机扫码观看：



软件的使用与配置



硬件的使用与配置



RflySim更多教程



---

谢谢！