

---

## 外部控制与轨迹规划例程库介绍与学习指南

1. 快速索引.....	1
2.学习路线.....	1
2.1 外部控制开发 workflow.....	1
2.1.1 外部控制开发.....	1
2.1.2 RflySim 工具链集成.....	2
2.2 预备知识.....	3
2.2.1 理论知识预备.....	3
2.2.2 平台配置.....	4
2.2.3 硬件配置.....	4
2.3 文档学习路线: .....	5
2.4 例程学习路线: .....	5
3.关键功能索引.....	6
4.精彩案例图文展示.....	6
附加资源.....	6

# 1. 快速索引

本讲例程主要介绍本平台在无人系统开发中的外部控制与轨迹规划接口及相关例程。

[0.ApiExps/Index.pdf](#) 例程库包含 RflySim 工具链中外外部控制与轨迹规划开发所需的实验平台配置以及平台外部控制相关功能接口的调用方法。

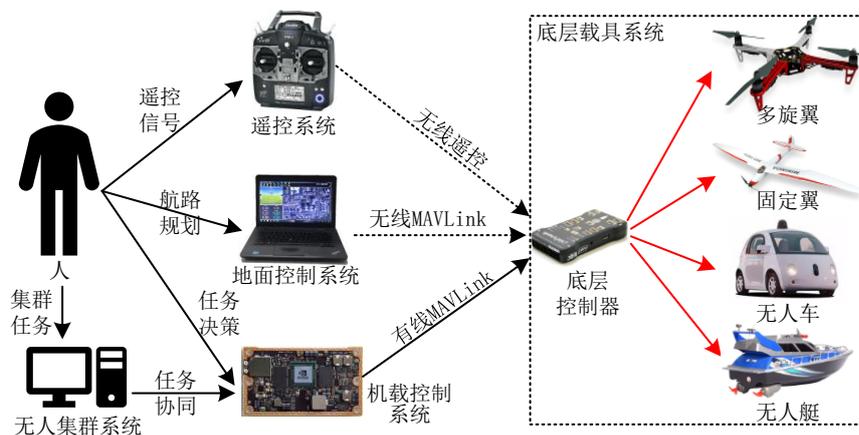
[1.BasicExps/Index.pdf](#) 例程库包含基础不同的外部控制方式的例程，包括位置、速度等接口控制例程。

[2.AdvExps/Index.pdf](#) 例程库包含进阶的外部控制与轨迹规划，其中包括在 Simulink 中实现 MAVLink 通信并直接控制无人机进行解锁等动作。

[3.CustExps/Index.pdf](#) 例程库包含完整版特有的更加复杂的高阶例程。

## 2. 学习路线

### 2.1 外部控制开发 workflow



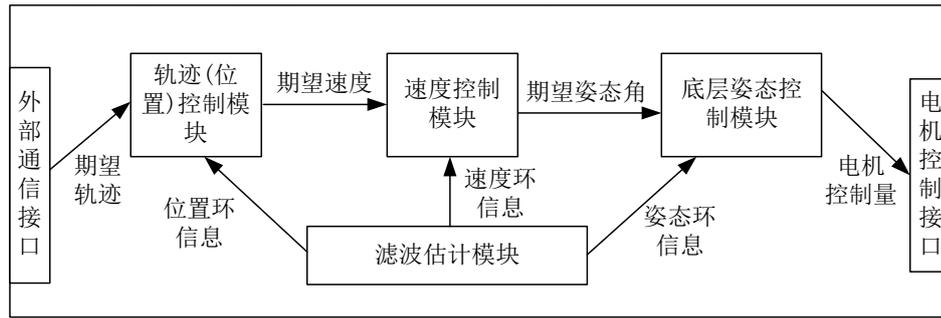
无人系统的开发者通常可以分为两类，底层开发者和上层开发者。底层开发者需要直接接触载具的传感器、执行器等内部部件，开发任务包括了机身结构设计、动力系统选型、控制器设计等，更关注载具本身的操控和机动性能。而上层开发者，则直接将无人载具看作一个整体（智能体）或者说是一个被控对象，通过设计上层智能规划算法得到控制指令并发送给底层载体系统去完成期望任务，更关注的是智能感知与决策的能力。其中 Python 接口库如下：[PX4MavCtrlV4.py](#)、[PX4MavCtrlV4ROS.py](#)

#### 2.1.1 外部控制开发

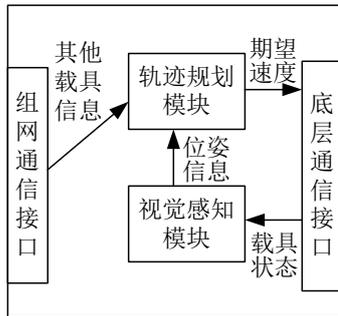
##### (1) 内/外部控制方式

外部控制的轨迹规划模型也可以放到飞控内部。同理内部飞控的很多逻辑也可放到外部，对于机动需求更强的控制任务，可以放到飞控内，以更高频率运行。例如，高机动轨迹跟随，穿窗、倒翻等特技动作的 AI 算法训练等。

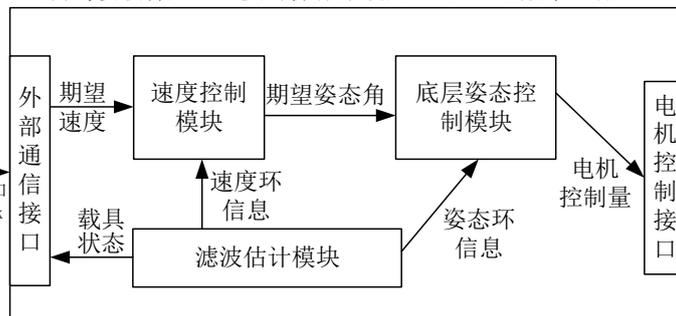
PX4 自驾仪硬件/NuttX 实时操作系统/400-1000Hz 频率运行



机载板卡/Ubuntu+ROS 系统/30Hz 频率



PX4 自驾仪硬件/NuttX 实时操作系统/400-1000Hz 频率运行



## (2) 控制模式

无人系统的控制模式可以分为直接控制模式和间接控制模式。直接控制模式下，底层控制器（自驾仪、飞控板）响应遥控系统和地面控制系统的指令，去完成特定的任务。直接控制模式通常采用无线通信的方案，受到通信带宽和延迟的限制，通常只能传递简单的指令（遥控信号、起飞降落命令、航路飞行命令等）给底层控制器，最终由后者去完成载具的任务控制。而间接控制模式下，机载可控制系统和底层控制器都装载在载具上，可以通过有线方式进行高速传数，因此机载控制系统可以发送更高频率的控制指令，获得更高的控制权限，例如可以直接实时控制载具的速度、姿态、加速度、角速度等。

## (3) 控制接口使用

外部控制中根据控制的方式和工具的不同可以分为：遥控操控、Mavlink 通信、Pymavlink、Mavsdk、Mavros、ROS1/2 几种方式。同时，结合 MATLAB/Simulink 中的中上层控制算法库，实现轨迹规划和控制指令的输出。

## 2.1.2 RflySim 工具链集成

RflySim 工具链可以实现多种方式的控制，从最基本的遥控操控到顶层复杂算法的外部控制。其中，遥控器模式是人为操作无人机的一种控制方式，在一些无人机特技表演中有较好的效果，本节使用的遥控器是“美国手”的操作方式，即左侧摇杆对应的油门与偏航控制量，而右侧摇杆对应滚转与俯仰。RflySim 平台支持目前市面上常规的无人机遥控器平台，均可在本平台中实现 HITL 和实飞实验。更多详细的信息可见：<..\5.RflySimFlyCtrl\Intro.pdf>

---

### (1) MAVLink 协议接口

Mavlink 是一种用于小型无人载具的通信协议。该协议广泛应用于地面站 (Ground Control Station, GCS) 与无人载具 (Unmanned vehicles) 之间的通信, 同时也应用在载具上机载计算机与 Pixhawk 之间的内部通信中, 协议以消息库的形式定义了参数传输的规则。RflySim 平台中集成了 MAVLink 协议, 你可在 SITL、HITL、实飞中直接调用。同时, Offboard 模式是无人机的一种控制模式, 通常给机载计算机或地面计算机 (上位机) 实时控制飞机的速度、位置、姿态等, 可以把飞机当成一个整体对象, 专注于顶层的视觉与集群算法开发。

### (2) MAVSDK 控制接口

MAVLink 飞控通讯协议常用于无人机和地面站之间的通讯, 直接通过底层 MAVLink 协议去控制无人机较为困难, 容易失败, 是因为无人机存在一些操控逻辑和细节。因此, 使用一些 MAVLink 协议相关的开源 API, 工程或 SDK 软件包去操作, 无疑是最好的选择。MAVSDK 是一个由开源社区 mavlink 开发的轻量级 SDK, 用于与 MAVLink 系统的通讯接口。它提供了一套现代多编程语言接口 (c++、python、go、java 等), 处理了很多逻辑细节, 使得开发者能够轻松地与飞行控制器、地面站以及其他 MAVLink 设备进行通信, 从而构建复杂的无人机应用。

### (3) Mavros 控制接口

Mavros 是 PX4 官方提供的一个运行于 ros 下收发 mavlink 消息的工具, 利用 mavros 可以发送 mavlink 消息给飞控(可以控制飞机), 并且可以从飞控中接受数据(例如: 飞控的位置速度 IMU 数据等等)。在 px4 中, mavlink 模块负责接收和发送 mavlink 消息。(比如和 QGC 地面站通信) 在机载电脑中, mavros 底层代码负责接收和发送 mavlink 消息。我们利用 plugin 发布的 ros 话题去编写代码, 实现功能, 然后发布控制相关的 ros 话题, plugin 接收我们的话题, 替我们发送给飞控。

## 2.2 预备知识

### 2.2.1 理论知识预备

#### (1) 数据传输协议简介

遥控器 (接收机) 与底层控制器 (自驾仪) 之间的通信协议: PWM (Pulse Width Modulation)、PPM (Pulse Position Modulation, 也叫 CPPM)、SBUS (Serial Bus, 也叫 S.BUS, S-BUS)、DSM2 (Digital Spread Spectrum Modulation, 同一协议不同代: DSM, DSMDX)

地面控制系统/机载控制系统与底层控制器 (自驾仪) 之间的通信协议: MAVLink 或一些定制的通信协议, 传输途径包括无线数传、有线串口、WIFI 网络等方式。

地面控制系统/机载控制系统的操作系统中进程间通信 (Inter-Process Communication) 协议: 包括底层的共享内存、TCP/UDP、管道等, 以及更上层的 ROS/ROS2 (Robot Operating System) 等。

无人集群系统中不同载具 (机载控制系统) 之间的数据交互协议: MQTT (Message Q

ueuing Telemetry Transport)、DDS (Data Distribution Service)、RTI (Real-Time Interaction) 等。

## (2) PX4\_Offboard 模式

Offboard 模式是无人机的一种控制模式，通常给机载计算机或地面计算机（上位机）实时控制飞机的速度、位置、姿态等，可以把飞机当成一个整体对象，专注于顶层的视觉与集群算法开发。与遥控器信号控制相比，Offboard 控制模式更方便。遥控器信号控制没法定量地控制飞机的速度，但是遥控器信号控制模式是最接近人的操作的方式，一些高机动表演控制中效果更好。Offboard 模式是 PX4 官方控制器提供的功能，注意：因此需要确保 Pixhawk 运行的是官方固件。

## 2.2.2 平台配置

RflySim 工具链（下载链接：<https://rflysim.com/download.html>）进行开发，因此，在使用本课程资源之前需要确保 RflySim 工具链安装成功，具体安装方式可见：<https://rflysim.com/doc/zh/1/InstallLearn.html>。若安装设置如下所示。



## 2.2.3 硬件配置

- 系统：Windows 10 x64 系统（版本大于等于 1903 以上）
- 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，Simulink 等工具箱必须安装）

注：电脑配置应该越高越好，低配电脑也可以运行本工具链 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：本工具链更适用于游戏本或游戏主机，专业服务器和图形工作站可能出现抖动与

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。

## 2.3 文档学习路线：

内容	描述	文件
外部控制与轨迹规划 API 文件	外部控制与轨迹规划 API 接口文档	<a href="#">API.pdf</a>
外部控制与轨迹规划课件	该文件全面的讲解了基于 RflySim 工具链的外部控制与轨迹规划以及效果展示。	<a href="#">PPT.pdf</a>
外部控制与轨迹规划入门介绍	外部控制与轨迹规划的核心功能介绍	<a href="#">Intro.pdf</a>
外部控制与轨迹规划例程索引	包含本讲全部例程的索引	<a href="#">index.pdf</a>

## 2.4 例程学习路线：

内容	描述	学习路线
实验平台配置及场景交互接口调用实验	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/Intro.pdf</a>
基础建模仿真案例	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，本讲中包含有基本的模型和场景的导入方法。	<a href="#">1.BasicExps/Intro.pdf</a>
进阶建模仿真案例	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：进阶场景和模型导入方法。	<a href="#">2.AdvExps/Intro.pdf</a>
扩展模型接口及建模仿真案例	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/Intro.pdf</a>

### 3. 关键功能索引

如何通过 RflySim 工具链进行无人机飞行控制接口	<a href="#">0.ApiExps\1_PX4MavCtrlAPITest\intro.pdf</a> <a href="#">0.ApiExps\2_PX4ComAPITest\intro.pdf</a>
如何通过 RflySim 工具链进行无人机加速度和姿态控制接口	<a href="#">0.ApiExps\6_PX4MavAccCtrlTest\Readme.pdf</a> <a href="#">0.ApiExps\7_PX4MavAttCtrlTest\Readme.pdf</a>
如何使用 RflySim 工具链不同的 UDP 通信方式控制仿真	<a href="#">0.ApiExps\10_UDPMode0Test\Readme.pdf</a> <a href="#">0.ApiExps\11_UDPMode1Test\Readme.pdf</a> <a href="#">0.ApiExps\12_UDPMode2DefaultTest\Readme.pdf</a>
如何通过 MAVSDK 来控制无人机	<a href="#">0.ApiExps\17_MAVSDKExps\Index.pdf</a>
如何通过 MAVROS 来控制无人机	<a href="#">0.ApiExps\18_MavrosExps\readme.pdf</a>
如何通过 ROS 来控制无人机	<a href="#">0.ApiExps\19_Ros2CtrlDemo\Readme.pdf</a>

### 4. 精彩案例图文展示

参见 [6.2 本章精彩案例 · GitBook \(rflysim.com\)](#)

#### 附加资源

官方文档: RflySim 官方文档: <https://rflysim.com/doc/zh/>

社区交流: 加入 RflySim 技术交流群: 951534390

