

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

基于 SimScape 的四旋翼综合模型仿真实验

1.2 实验目的

本实验旨在通过 SimScape 建立四旋翼无人机综合模型，理解图形化物理组件建模与传统动力学方程建模的差异，掌握模型编译与 DLL 文件生成的流程，并在 RflySim 平台中运行综合仿真。

1.3 关键知识点

关键知识点1：物理组件建模原理

本例程是 SimScape 模型基础上建立的四旋翼综合模型，SimScape 摒弃了传统模型抽象数学建模的方法，使用图形化的建模方式，将各结构体“拼凑”成一个无人机模型整体；SimScape 与平台传统的动力学模型的物理本质是一致的，均是以基本物理定律为基础，描述力、运动和能量等状态的关系。

两者的建模差异主要体现在以下内容

维度	SimScape 模型	传统动力学模型
建模方式	基于“物理网络”的 图形化建模 ： 通过拖拽预定义的物理模块（如质量块、弹簧、电机等），按系统实际物理连接关系（如机械传动、电信号传递）搭建框图，无需手动推导方程。	基于“方程驱动”的 数学建模 ： 需推导系统的动力学方程（如牛顿第二定律、拉格朗日方程），再通过代码或 Simulink 基础模块（非物理域）实现方程。
多域集成能力	天然支持 多物理域耦合 （如机械 - 电气 - 液压 - 热力的混合系统），模块间可直接通过“物理接口”（如机械接口、电气接口）连接，自动处理域间能量 / 信号传递关系。	多域耦合需手动推导交叉方程 （如机电系统中电磁力与机械力的转换），建模难度较高
用户交互与复杂度	对用户的数学推导能力要求低，更侧重 系统拓扑结构的理解 （如“哪个部件连接到哪个部件”），参数修改（如质量、刚度）可直接在模块中调整，无需修改底层方程。	依赖用户对动力学方程的推导能力，建模过程需关注 方程形式的正确性 ，参数修改可能需要重新推导或修改代码，交互不够直观。
适用场景	适合 复杂多域系统 （如机器人 + 传感器 + 驱动电机的集成系统、汽车动力总成（机械	适合 单一物理域的简单系统

维度	SimScape 模型	传统动力学模型
	+ 液压 + 电气)), 或需要快速搭建模型验证拓扑设计的场景。	

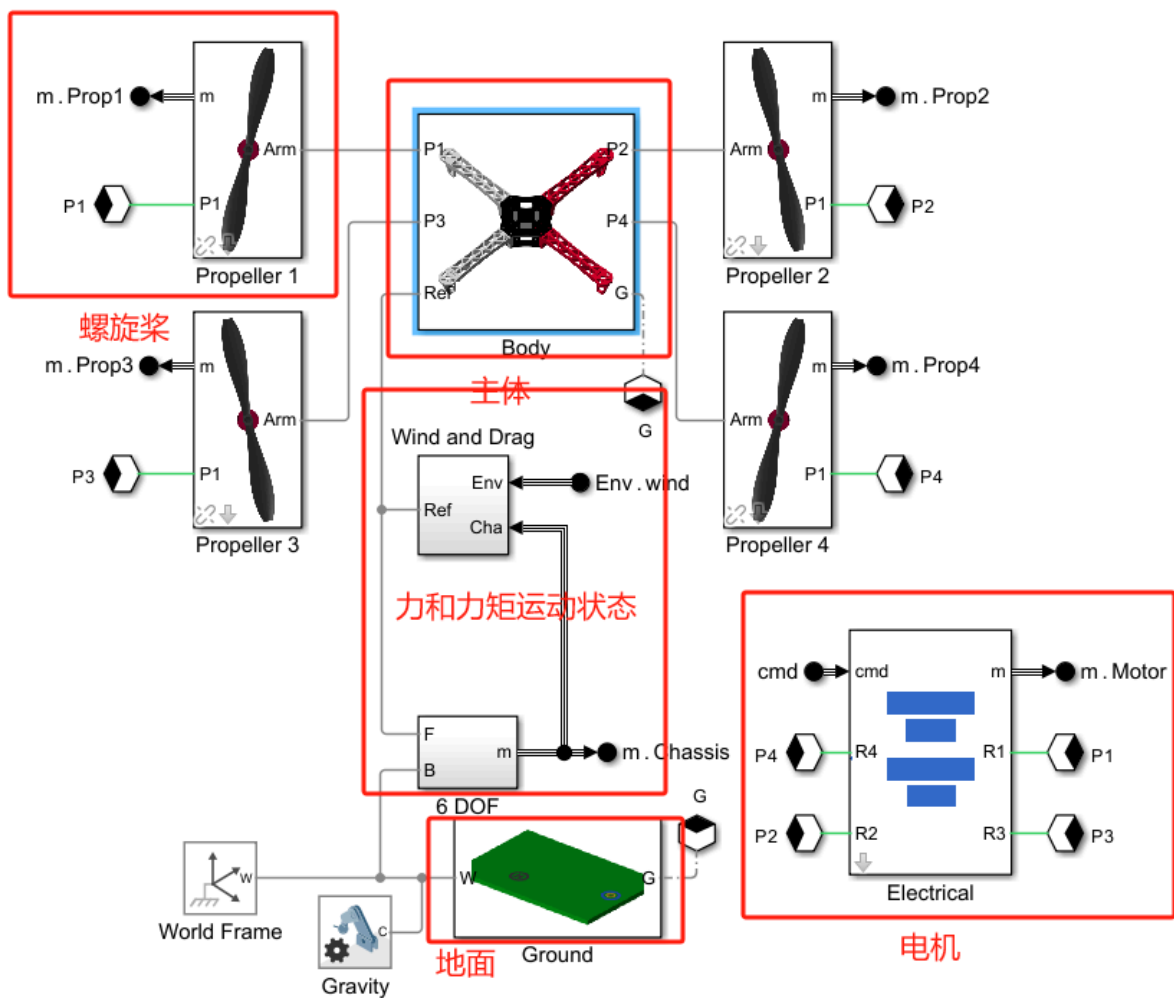
SimScape 图形化建模：基于物理网络直接搭建系统拓扑结构。

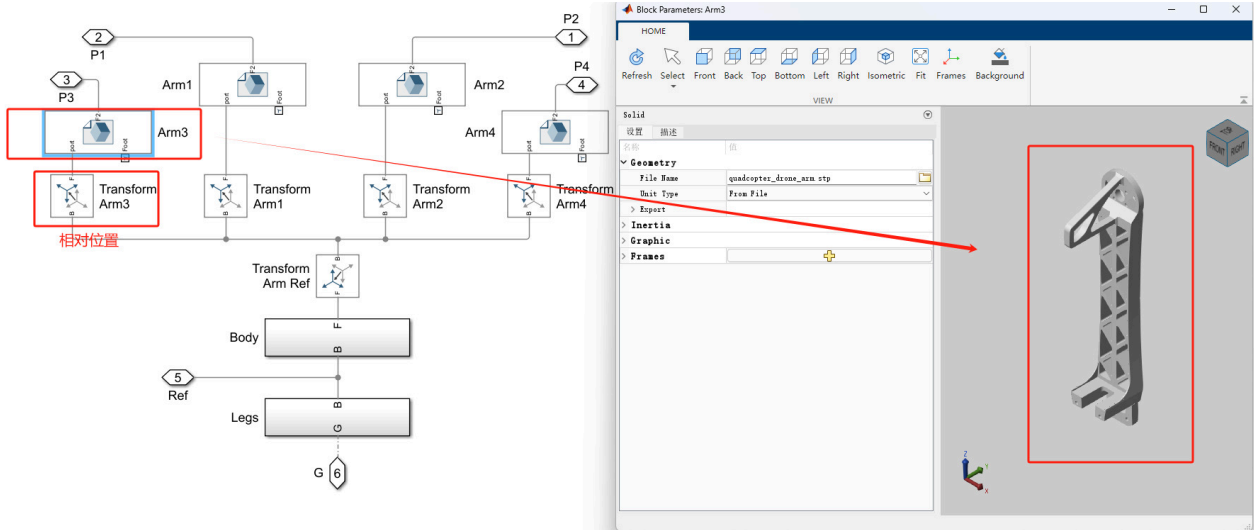
传统动力学模型对比：基于方程推导的数学建模方法。

多物理域耦合：机械、电气、液压等域的能量与信号传递。

四旋翼综合模型结构：包括 CAD 三维模型、模块库、参数配置与元数据管理。

关键知识点2: Simulink模型结构





电机进入BODY，以ARM3为例，该模块调用了机臂的三维模型.机臂与主体组装在一起，Transform模块能确定组装体之间的相对位置，其他部件的组装方式类似，如果要详细可以尽列。

可以查看链接中关于**模型结构**的介绍部分 <https://zhuanlan.zhihu.com/p/529961555> 补充想要添加的部分

关键知识点3：项目 workflow

Quadcopter_Drone.prj 项目启动时的 workflow 运行逻辑大致是这样的：

.png)

1. 项目启动时加载 Workflows

- `Quadcopter_Drone.prj` 启动时，MATLAB Project 会自动加载 **Workflows** 目录下的 workflow 定义（可能是 `.xml` 或 `.m` 文件），并在 MATLAB “Project” 工具条中显示为 “Workflow” 面板。
- 这些 workflow 并不是代码本身，而是**按步骤组织好的任务清单**，每个步骤会关联一个文件夹、脚本、App 或 HTML 说明页面。

2. 目录功能对应关系

- **IP_Protect**
可能是知识产权保护或代码打包步骤，启动时会提供导出加密或打包的选项。
- **Param_Sweep**
 - `Overview/html` 中一般是任务介绍文档（HTML说明页面）。
 - 运行此 workflow 时会调用参数扫描（Parameter Sweep）脚本，对飞行器控制参数或物理参数进行批量测试。
- **Testing / Thrust_Test**
对电机推力或飞行器动力进行测试，可能会打开相应的 Simulink 模型或实验脚本。
- **Tradeoff_Cost**
 - 有 `html` 文档做说明。
 - 一般用于多目标权衡（例如成本 vs 性能）的计算和可视化。
- **Weather**

- `Overview` 提供气象条件实验的说明。
- 可能会加载天气扰动仿真模块（风速、风向、气温等对飞行的影响）。

- **Workshop**

- 这是一个实验/培训型 workflow 集合。
- `Code` 存放公共函数或工具脚本。
- `Ex_01_Motor`、`Ex_02_Motor_Sweep`、`Ex_03_Weather_Python`、`Ex_04_Wind_Test`、`Ex_05_Profit_App` 是分步骤的实验例程，每个都会在工作流中以“点击执行”形式出现，方便学习者依次完成任务。

3. 启动运行时流程

1. 打开 `Quadcopter_Drone.prj`
2. MATLAB 识别 `Workflows` 下的结构并在 **Project** 界面显示为任务导航。
3. 用户选择一个工作流（如 `Param_Sweep`），MATLAB 会：
 - 显示 `Overview/html` 里的说明文档
 - 运行关联的脚本/Simulink 模型
4. 完成该步骤后，工作流会引导进入下一个实验或分析模块。

关键知识点4：模型控制接口

关于控制器和传感器部分与平台的其它四旋翼综合模型保持一致，这些部分可以参考 `[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\3.CustExps\5_CopterSimSILNoPX4\2.Quadrotor` 中的协议说明

2. 实验效果

完成实验后，可以得到可运行的四旋翼综合模型仿真：

- 使用 MATLAB/Simulink 编译生成模型 DLL 文件
- 在 RflySim 平台中启动综合模型，支持与控制器及传感器模块联动

3. 文件目录

例程路径：

`[安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\3.CustExps\5_CopterSimSILNoPX4\8.SimScapeQuadCopterModel`

文件/文件夹名称	说明
CAD	CAD模型文件（用于处理Simulink模型部件的物理计算）
Images	Simulink模型中各模块封面图片
Libraries	Simulink模型部件库
model	四旋翼Simulink模型文件
resources	Simulink模型部件基础信息元数据
Scripts_Data	模型参数配置
work	模型编译时的工作目录
Workflows	模型工程初始化加载项
Quadcopter_Drone.prj	Github上原有的模型工程文件
GenerateModelDLLFile.m	生成 DLL 文件的 MATLAB 脚本（针对本例程修改）
CopterSender.slx/CopterSender.py	综合模型控制接口
GenerateModelDLLFile.p	生成dll模型（本例程专用，不可复用到其余例程）
quadcopter_package_delivery.dll	综合模型dll文件
Start.bat	启动综合模型仿真脚本

[!NOTE]

运行环境要求

- **软件：** MATLAB R2024b（含 SimScape）、RflySim 工具链
- **硬件：** PC 主机（建议高性能显卡）
- **平台及固件版本：** RflySim v4.01

5. 实验步骤

4.1 环境配置

- 确保已完整安装 MATLAB R2024b
- 确保正确配置编译环境

首先将低于当前MATLAB版本的Visual Studio C++编译环境安装到VS默认安装目录，然后在MATLAB的命令行窗口中输入指令 `mex -setup`，一般来说会自动识别并安装上支持的编译器，命令行显示“MEX 配置使用 ‘Microsoft Visual C++ 2017’ 以进行编译”的字样说明安装正确。详细环境配置参考” [\[RflySim平台安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf](#) “中的环境配置

```
命令窗口
>> mex -setup
MEX 配置为使用 'Microsoft Visual C++ 2017 (C)' 以进行 C 语言编译。
警告: MATLAB C 和 Fortran API 已更改, 现可支持
包含 2^32-1 个以上元素的 MATLAB 变量。您需要
更新代码以利用新的 API。
您可以在以下网址找到更多的相关信息:
http://www.mathworks.com/help/matlab/matlab\_external/upgrading-mex-files-to-use-64-bit

要选择不同的 C 编译器, 请从以下选项中选择一种命令:
Microsoft Visual C++ 2013 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2013.xml C
Microsoft Visual C++ 2015 (C) mex -setup:D:\MATLAB\R2017b\bin\win64\mexopts\msvc2015.xml C
Microsoft Visual C++ 2017 (C) mex -setup:C:\Users\dream\AppData\Roaming\MathWorks\MATLAB\R2

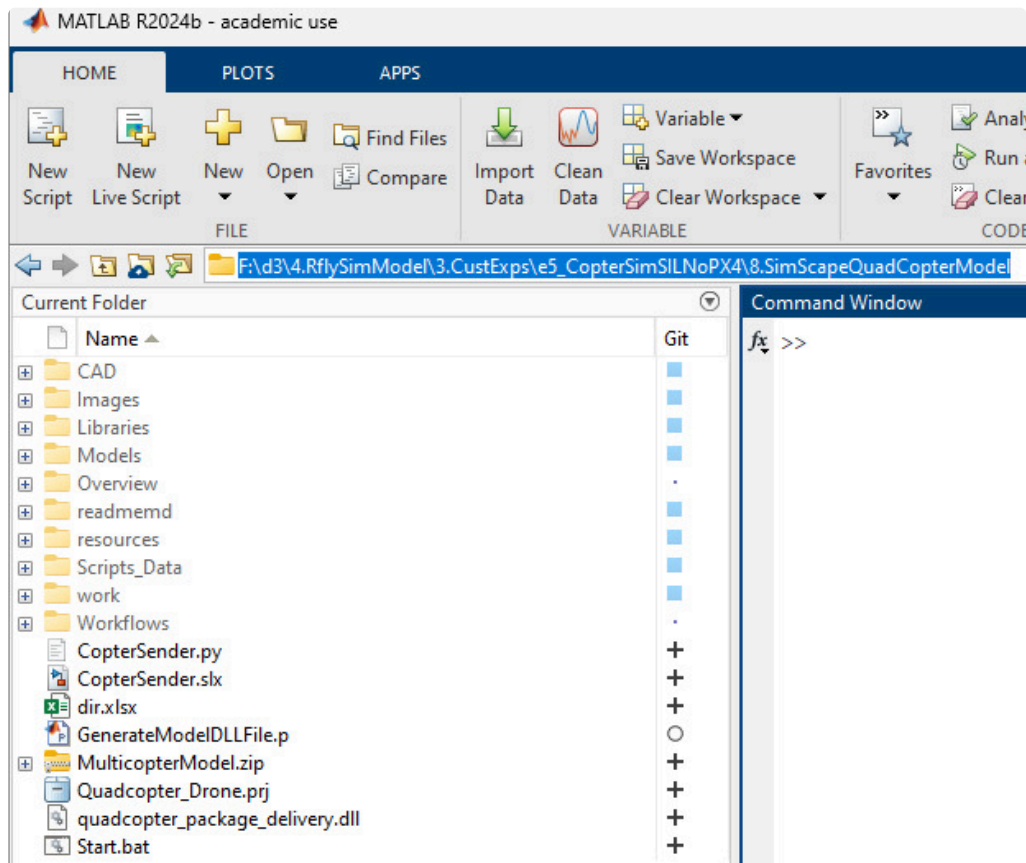
要选择不同的语言, 请从以下选项中选择一种命令:
mex -setup C++
mex -setup FORTRAN
fx >>
```

- 已正确安装 RflySim 平台, 并确认平台版本与例程匹配
- 关闭防火墙或开放必要端口, 确保仿真数据可通信

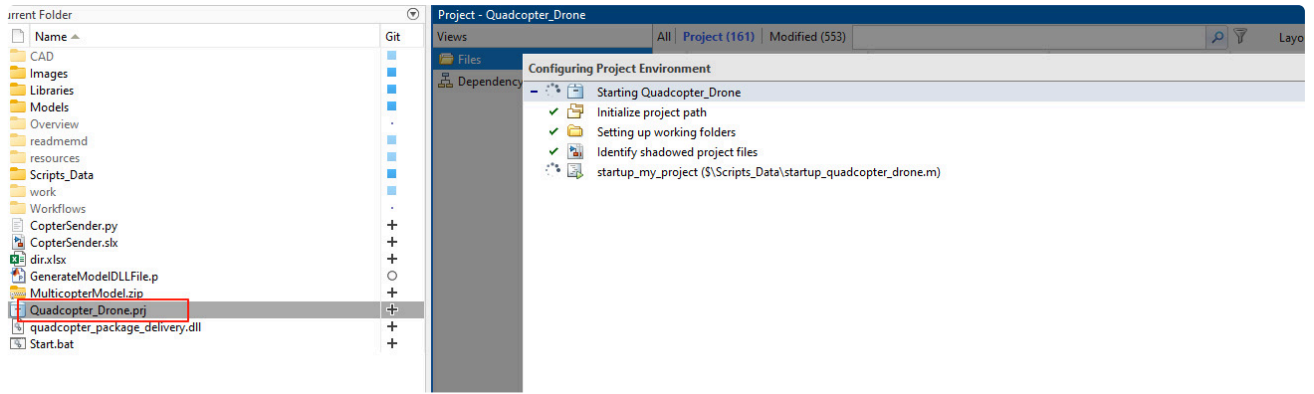
4.2 实际操作

Step 1: 打开工程文件并编译模型

首先通过MATLAB 2024b打开本实验目录

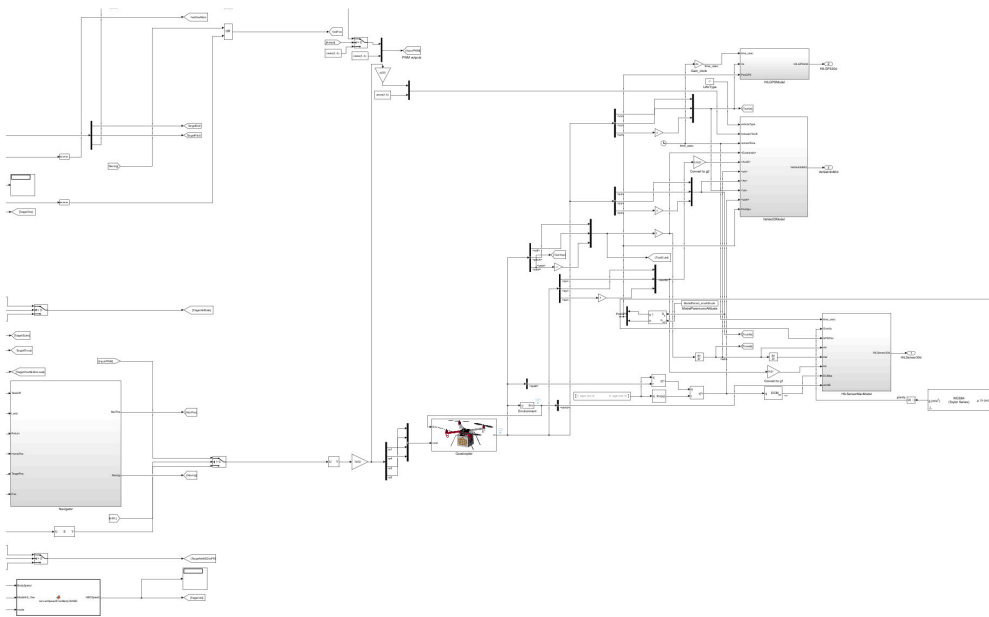


点击打开 `Quadcopter_Drone.prj` 工程文件

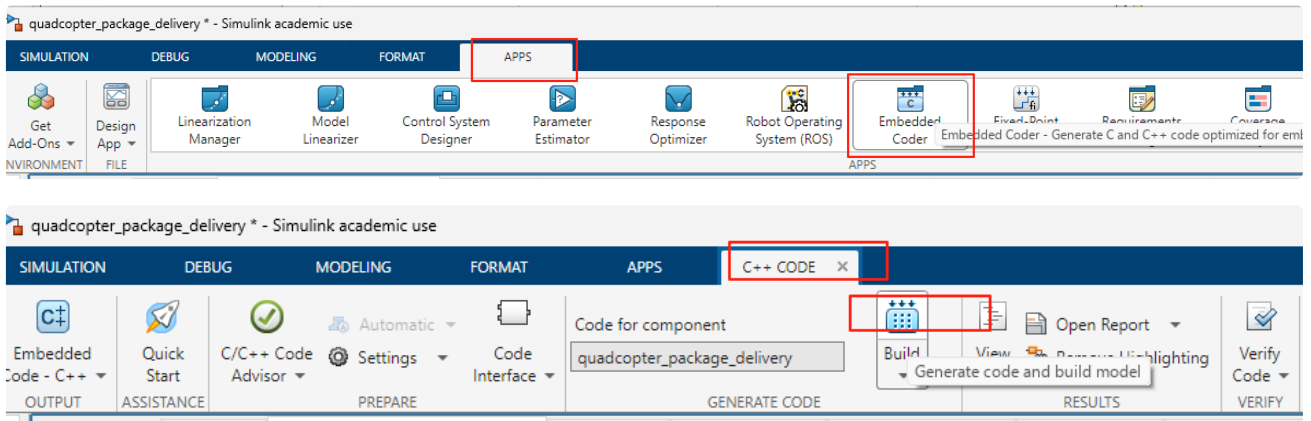


加载完成后会配置好基本的组件物理参数并打开simulink模型

Name	Value
air_rho	1.2250
air_temperature	298
battery_capacity	22.8000
configFile	'F:\d3\4.RflySimMod...
curr_proj	1x1 ProjectManager
drone_leg	1x1 struct
drone_mass	1.2726
essentialPaths	6x1 cell
filtD_altitude	10000
filtD_attitude	1000
filtD_motor	10000
filtD_position	100
filtD_yaw	100
filtM_altitude	0.0500
filtM_attitude	0.0100
filtM_position	0.0050
filtM_yaw	0.0100
filtSpd_motor	1.0000e-03
idx	6
info_pyenv	1x1 PythonEnvironme...

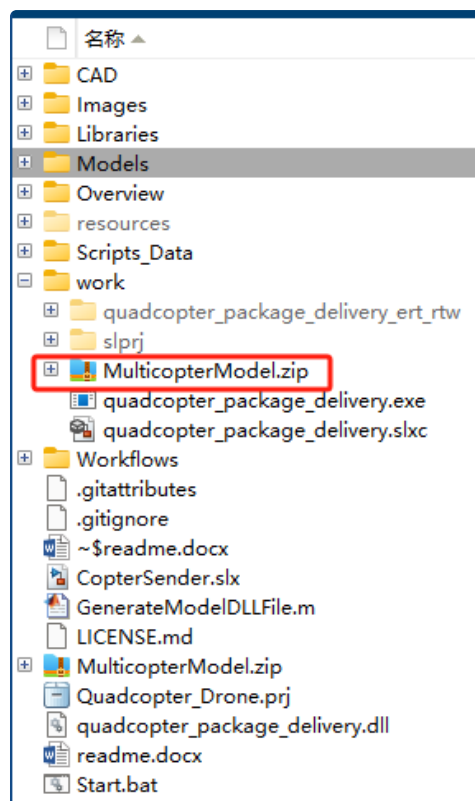


在 MATLAB 中通过编译模型。



Step 2: 确认生成压缩文件

编译完成后，会在 `work` 文件夹生成新的压缩包文件。



Step 3: 替换主目录文件并生成 DLL

将 `work` 文件夹中新生成的压缩文件复制到本实验主目录并替换同名文件，随后运行

`GenerateModelDLLFile.p` 生成新的 DLL 文件。

注意：本例程的 `GenerateModelDLLFile.p` 脚本为专用版本，不可直接替换其他例程中的脚本。

Step 4: 启动综合模型仿真

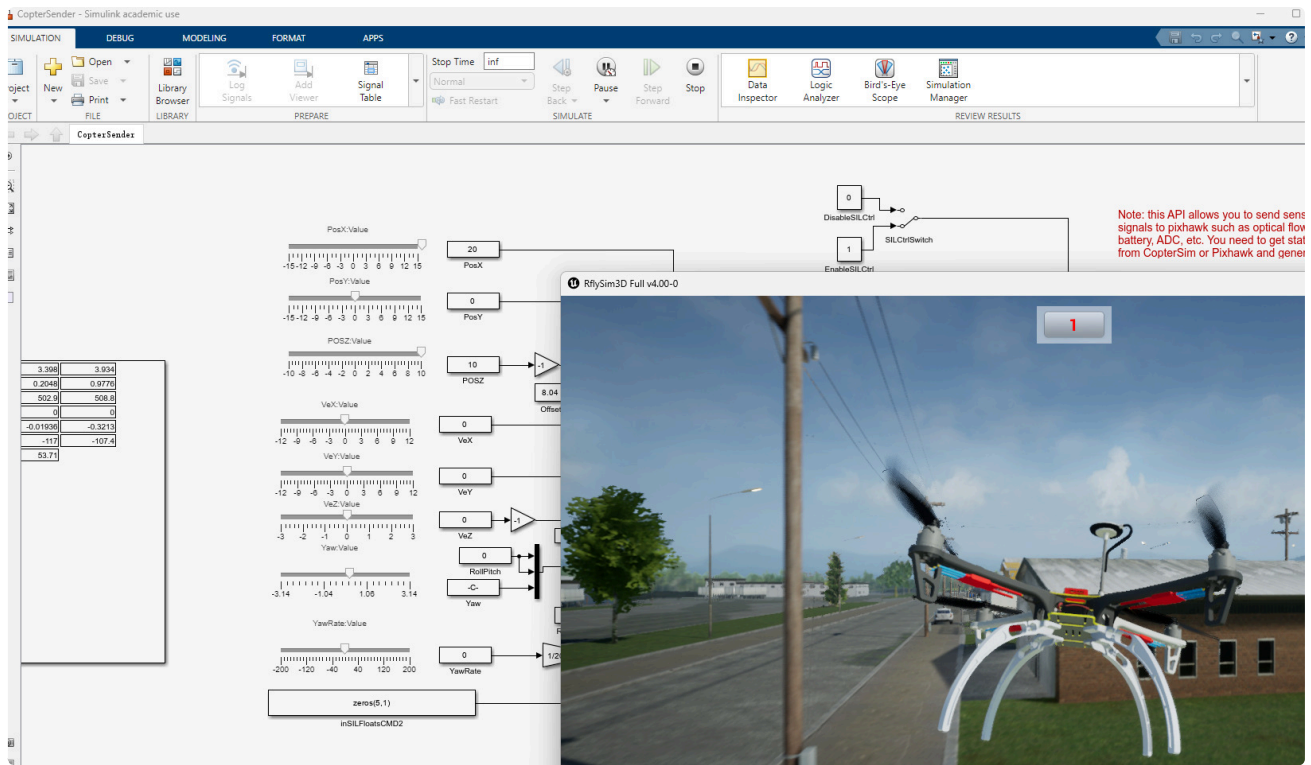
在matlab以外，双击运行 `Start.bat` 脚本，启动四旋翼综合模型仿真。

Scripts_Data	8/15/2025 3:39
work	8/15/2025 5:59
Workflows	8/15/2025 5:59
CopterSender.py	7/31/2025 10:11
CopterSender.slx	7/31/2025 10:11
dir.xlsx	8/15/2025 7:26
GenerateModelDLLFile.p	8/15/2025 8:21
MulticopterModel.zip	7/31/2025 10:11
Quadcopter_Drone.prj	7/31/2025 10:11
quadcopter_package_delivery.dll	8/15/2025 8:21
Start.bat	7/31/2025 10:11



Step 5: 控制无人机飞行

通过CopterSender.slx或CopterSender.py控制无人机飞行，具体用法参考四旋翼综合模型例程 4.RflySimModel\3.CustExps\e5_CopterSimSILNoPX4\2.Quadrotor



7. 常见问题

问题描述	原因分析	解决方法
编译报错缺少 SimScape 模块	MATLAB 未安装 SimScape 工具箱	安装或启用 SimScape 工具箱
生成的 DLL 文件无法加载	脚本版本不匹配	确认使用本例程专用的 <code>GenerateModelDLLFile.m</code>
仿真启动无反应	文件路径错误或 DLL 缺失	检查 DLL 文件是否正确生成并放置在主目录