
1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

系留无人机模型仿真测试

1.2 实验目的

在 RflySim/CopterSim 平台上验证将无人机通过绳索（或系绳）与地面锚点连接后的动力学影响与控制行为；演示如何使用带绳索模型DLL 在软件/硬件在环（SITL/HITL）中运行。

1.3 关键知识点

绳子建模：将绳子视为 N 段线性弹簧-阻尼单元，节点间仅承受张力（无压缩），使用有限元离散化思想。

实现要点：

- 用 N 段将绳索离散为 $N+1$ 个节点（节点 1 为地面锚点，节点 $N+1$ 为无人机挂点）。
- 每段采用线性弹簧-阻尼模型，仅受张力： $T = \max(k_{extension} + c_{vel_along}, 0)$ 。
- 使用 persistent 状态保存上一步节点位置/速度（适合集成到固定步长仿真循环或 Simulink S-Function）。
- 当前演示代码使用显式 Euler 步进（ $dt = 0.001$ s），对刚性系统需谨慎。

2. 实验效果



3. 文件目录

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e2_MultiModelCtrl\15.TetheredModelCtrl](#)

文件/目录	说明
<code>TetheredModelCtrl.dll</code>	已生成的 DLL，可直接由 CopterSim 加载（位于仓库根）
<code>TetheredModelCtrlSITL.bat</code>	启动软件在环（SITL）仿真的批处理脚本
<code>TetheredModelCtrlHITL.bat</code>	启动硬件在环（HITL）仿真的批处理脚本

4. 运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；MATLAB 2017B及以上③。

①：若使用Pixhawk 6X飞控，平台安装时的编译命令为：px4_fmu-v6x_default，推荐PX4固件版本为：1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见：

<https://rflysim.com/doc/zh/1/Hardware.html>

4.2 硬件要求

笔记本/台式电脑① 1台；Pixhawk 6X或其它飞控② 1台；数据线 1台。

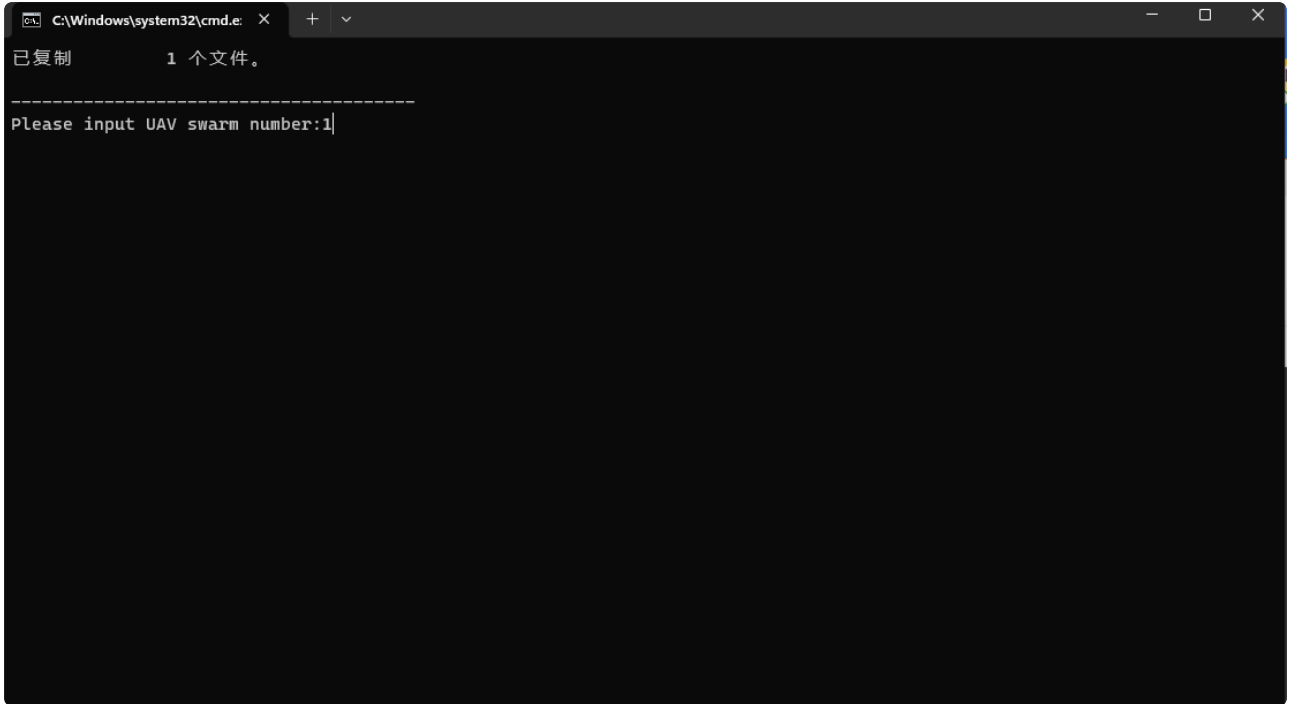
①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/>

5. 实验步骤

5.1. 必做实验：软件在环仿真

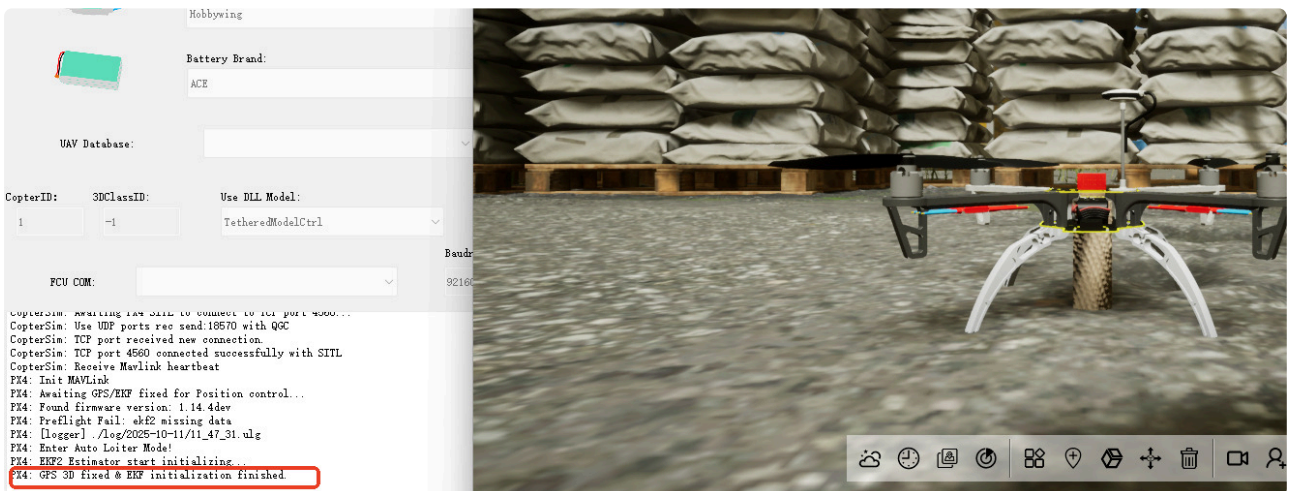
Step 1: 启动仿真

双击运行“[TetheredModelCtrlSITL.bat](#)”批处理文件，在弹出的终端窗口中输入1，启动一架飞机的软件在环仿真。



Step 2: 等待初始化完成

等待 CopterSim 中显示连接上 RflySim3D。



Step 3: 四旋翼起飞

通过QGC使四旋翼飞机起飞到空中：点击“起飞”，确认起飞高度后，滑动下方滑块解锁起飞。



5.2. 选做实验：硬件在环仿真












Step 1: 连接飞控

硬件在环需要准备一个飞控，如下图所示，将飞控通过USB线连接电脑，并确保完成硬件在环仿真配置。注意，本图使用Pixhawk6x飞控，其他飞控配置方法类似（推荐使用Pixhawk飞控）。



Step 2: 设置硬件在环机架

在 Rflytools 文件夹中打开 QGC 地面站。

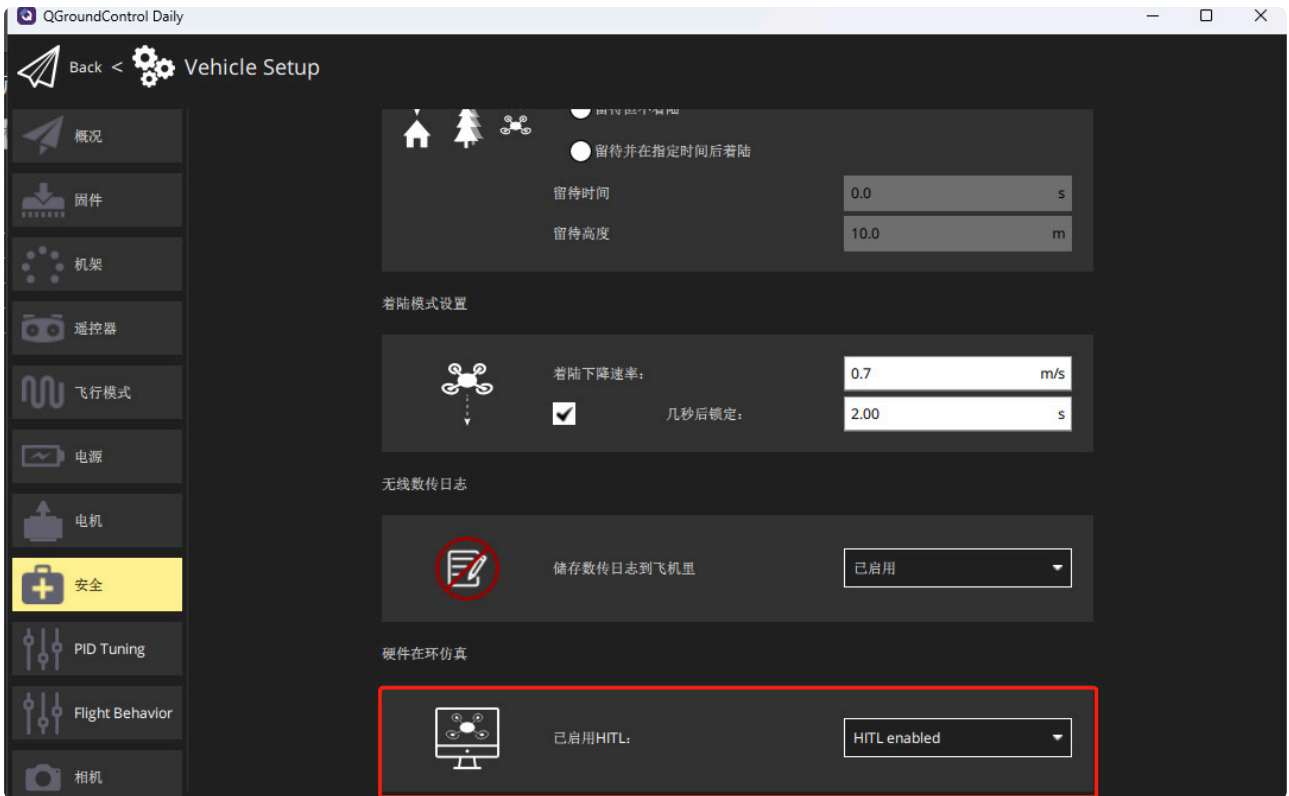
	3DDisplay	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	CopterSim	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	FlightGear-F450	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	HITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	Python38Env	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	QGroundControl	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	RflySim3D	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	RflySimAPIs	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	RflySimUE5	2023/7/27 15:02	快捷方式	1 KB
	SITLRun	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB
	Win10WSL	2023/7/27 15:02	快捷方式	2 KB

打开QGC地面站，机架设置为“Generic Quadcopter”，点击QGC右上角的“应用并重启”。



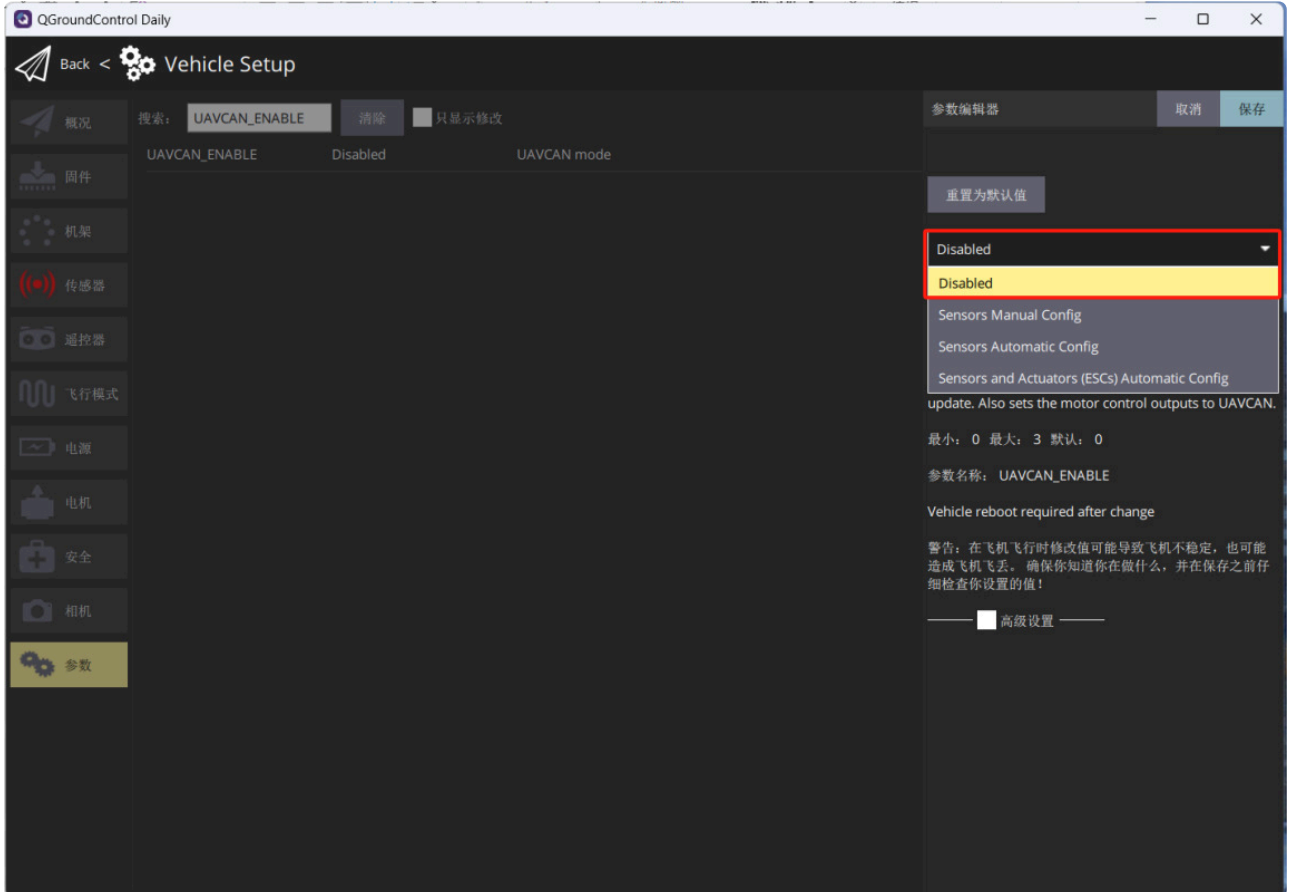
Step 3: 配置硬件在环参数

点击“安全”，设置硬件在环仿真为“HITL enabled”。



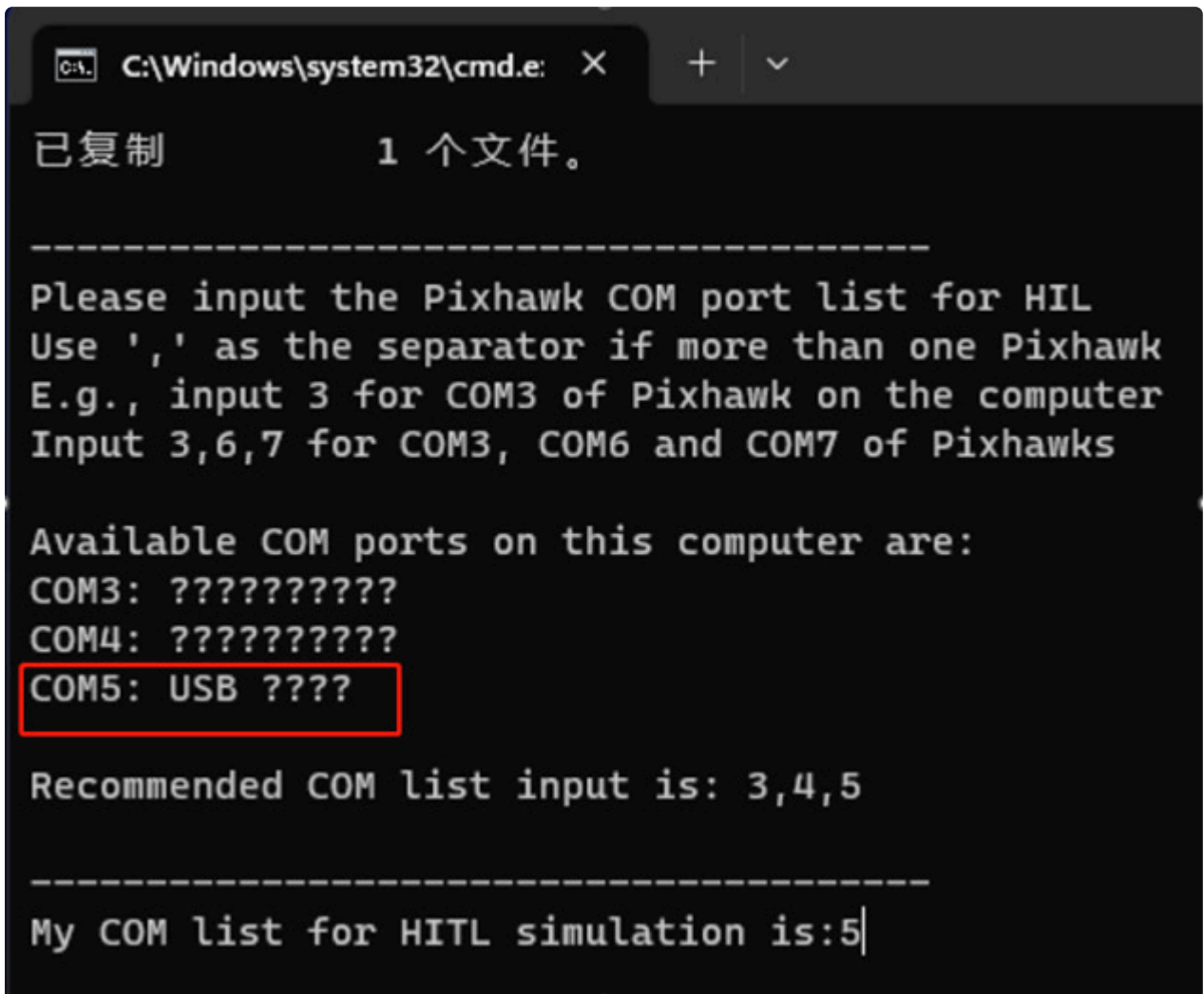
如果使用PX4

1.13版本固件，点击“参数”，在搜索栏中输入“UAVCAN_ENABLE”，在弹出框中设置为“Disabled”，保存后重新插拔飞控即可。



Step 4: 启动仿真

右键以管理员身份运行“TetheredModelCtrlHITL.bat”批处理文件，自动完成所有的配置，输入端口号启动一架飞机的硬件在环仿真。



```
C:\Windows\system32\cmd.e: X + v
已复制 1 个文件。
-----
Please input the Pixhawk COM port list for HIL
Use ',' as the separator if more than one Pixhawk
E.g., input 3 for COM3 of Pixhawk on the computer
Input 3,6,7 for COM3, COM6 and COM7 of Pixhawks

Available COM ports on this computer are:
COM3: ??????????
COM4: ??????????
COM5: USB ???
COM6: ??????????
COM7: ??????????

Recommended COM list input is: 3,4,5
-----
My COM list for HITL simulation is:5|
```

Step 5: 仿真过程

之后测试步骤与软件在环仿真的Step 2到Step3相同，运行之后观察四旋翼能否按照指令飞行