

三旋翼垂起无人机动力学模型 SITL/HITL实验

1. 实验目的

本例程使用预编译的 `TriRotorVTOL.dll` 动力学模型，完成三旋翼垂起无人机的软件在环（SITL）和硬件在环（HITL）验证。通过实验可掌握 DLL 模型加载、PX4 参数配置、QGroundControl 航线规划以及三旋翼垂起构型的闭环飞行检查方法。

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10 及以上版本；RflySim 工具链5.00以上版本，**安装时PX4固件版本必须为1.13.2**，PX4固件编译器：1-WinWSL；已配置的 `RflySim-20.04` WSL 环境 [\[1\]](#)。
- SITL 硬件要求：笔记本或台式电脑 1 台。
- HITL 硬件要求：笔记本或台式电脑 1 台、Pixhawk 6X mini 飞控 1 台、USB 数据线 1 根。

HITL 涉及飞控固件烧录。开始前应确认飞控型号与固件目标一致，烧录和参数加载期间不得断开 USB 连接。

3. 实验地址与文件说明

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\2.AdvExps\e4_VTOLModelCtrl\4.TriRotorVTOL](#)

文件	作用
TriRotorVTOL.dll	三旋翼垂起无人机动力学模型，供 CopterSim 加载。

文件	作用
TriRotorVTOL_SITL.bat	启动 PX4 软件在环、QGroundControl、CopterSim 和 RflySim3D。
SITL.params	SITL 使用的 PX4 参数文件。
TriRotorVTOL_HITL.bat	检测飞控串口并启动硬件在环仿真。
HITL.params	HITL 使用的 PX4 参数文件。
px4_fmu-v6x_default.px4	Pixhawk 6X mini 使用的实验固件。

4. 实验内容或步骤

4.1 软件在环实验（BAT_SITL）

步骤 1：启动 SITL

1. 确认 RflySim 工具链安装完成，且实验目录中的 DLL、BAT 和参数文件齐全。
2. 双击 `TriRotorVTOL_SITL.bat`。脚本需要时会请求管理员权限，用于启动和清理相关仿真进程。
3. 在终端出现 `Please input UAV swarm number:` 后输入 `1` 并按回车键。
4. 等待 QGroundControl、CopterSim、RflySim3D 和 PX4 SITL 完成启动。CopterSim 应加载名为 `TriRotorVTOL` 的 DLL 模型，PX4 机架为 `convergence_sitl_rfly`。

名称	修改日期	类型	大小
 SITL.params	2025/12/25 10:22	PARAMS 文件	38 KB
 TriRotorVTOL.dll	2025/12/25 13:14	应用程序扩展	245 KB
 TriRotorVTOL_SITL.bat	2025/12/25 13:15	Windows 批处理...	6 KB
 软件在环实验.docx	2025/12/24 16:29	Microsoft Word ...	877 KB

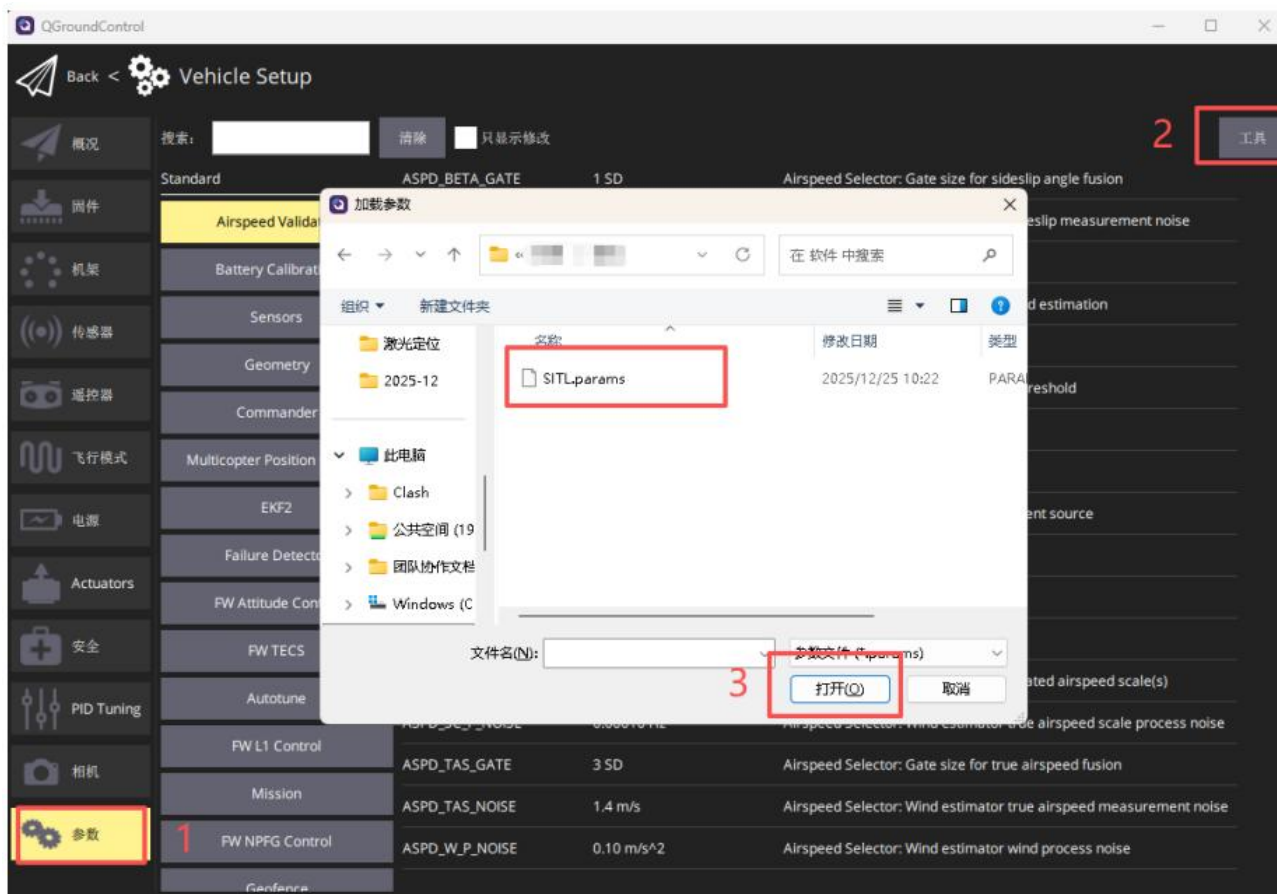
```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
已复制 1 个文件。

-----
Please input UAV swarm number:1
Start QGroundControl
Kill all CopterSims
Starting PX4 Build
[0/861] git submodule src/drivers/gps/devices
[7/861] git submodule src/modules/mavlink/mavlink
[14/861] Generating Mavlink development: src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/development.xml
Validating /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/development.xml
Parsing /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/development.xml
Validating /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/standard.xml
Parsing /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/standard.xml
Validating /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/common.xml
Parsing /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/common.xml
Validating /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/minimal.xml
Parsing /mnt/d/PX4PSP/Firmware/src/modules/mavlink/mavlink/message_definitions/v1.0/minimal.xml
Merged enum MAV_CMD
Merged enum MAV_CMD
Found 229 MAVLink message types in 4 XML files
Generating C implementation in directory /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/mavlink/development
Generating C implementation in directory /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/mavlink/standard
Generating C implementation in directory /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/mavlink/common
Generating C implementation in directory /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/mavlink/minimal
Copying fixed headers for protocol 2.0 to /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/mavlink
[861/861] Linking CXX shared library src/examples/dyn_hello/examples_dyn_hello.px4mod
Using Airframe File: 1111_convergence_sitl
starting instance 1 in /mnt/d/PX4PSP/Firmware/build/px4_sitl_default/instance_1
Copying rcS files
PX4 instances start finished
Press any key to exit
```

完成判据：QGroundControl、CopterSim 和 RflySim3D 均已打开；CopterSim 未报告 DLL 加载失败；QGroundControl 中载具进入可用状态。

步骤 2：加载 SITL 参数

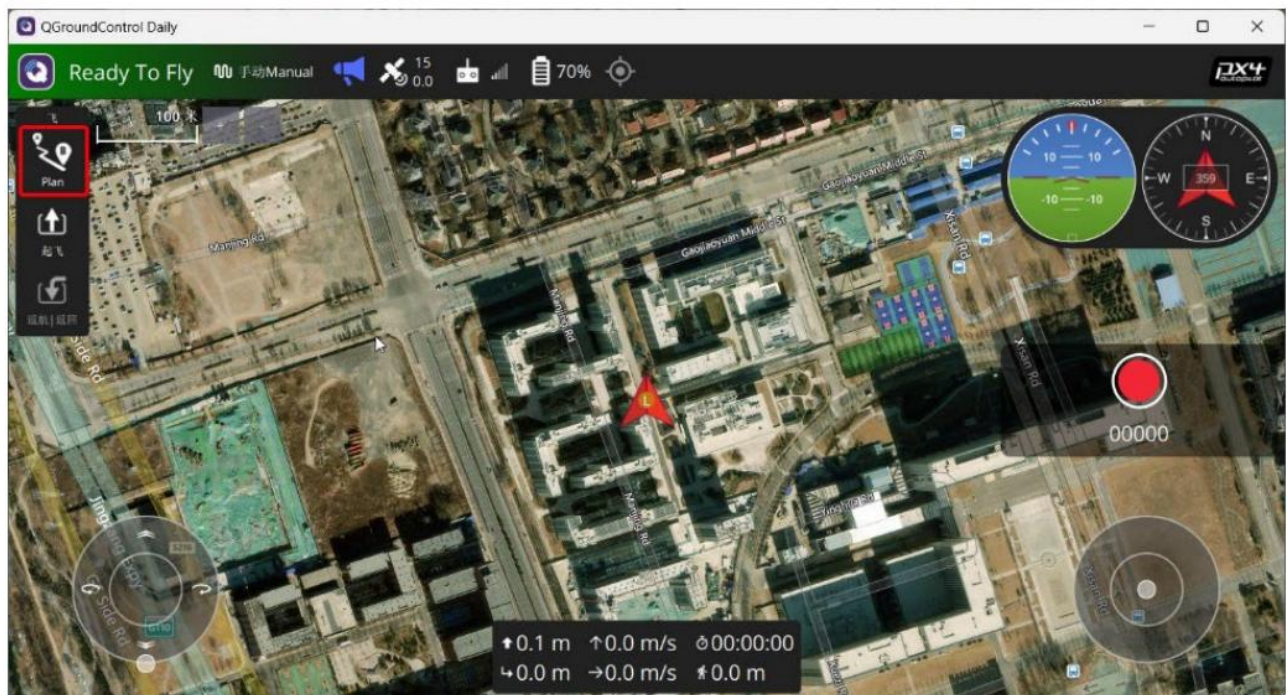
1. 在 QGroundControl 左上角菜单中选择 **Vehicle Setup**。
2. 打开参数页面，在右上角工具菜单中选择加载参数。
3. 选择本目录下的 **SITL.params**，确认导入后重新启动 QGroundControl。
4. 检查机架、模式切换和动态混控相关参数已按文件写入。

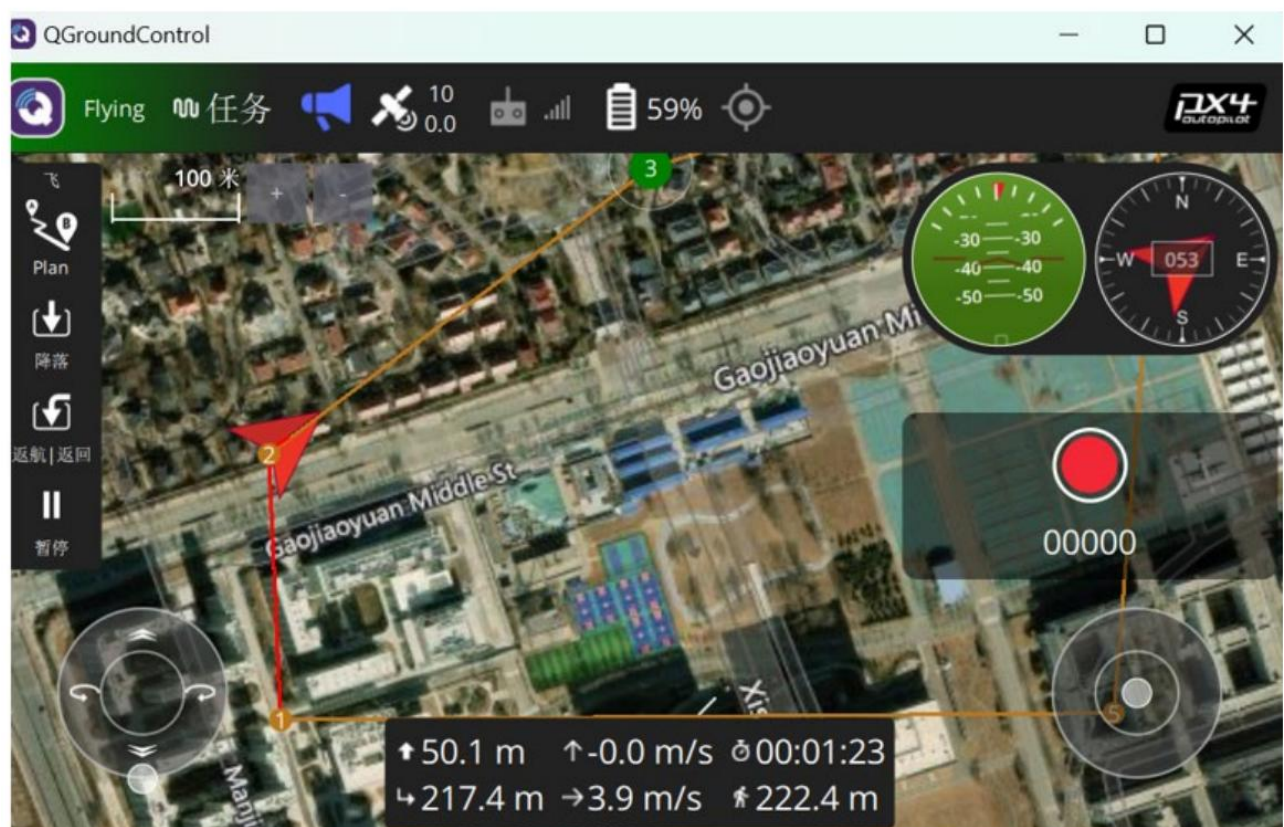
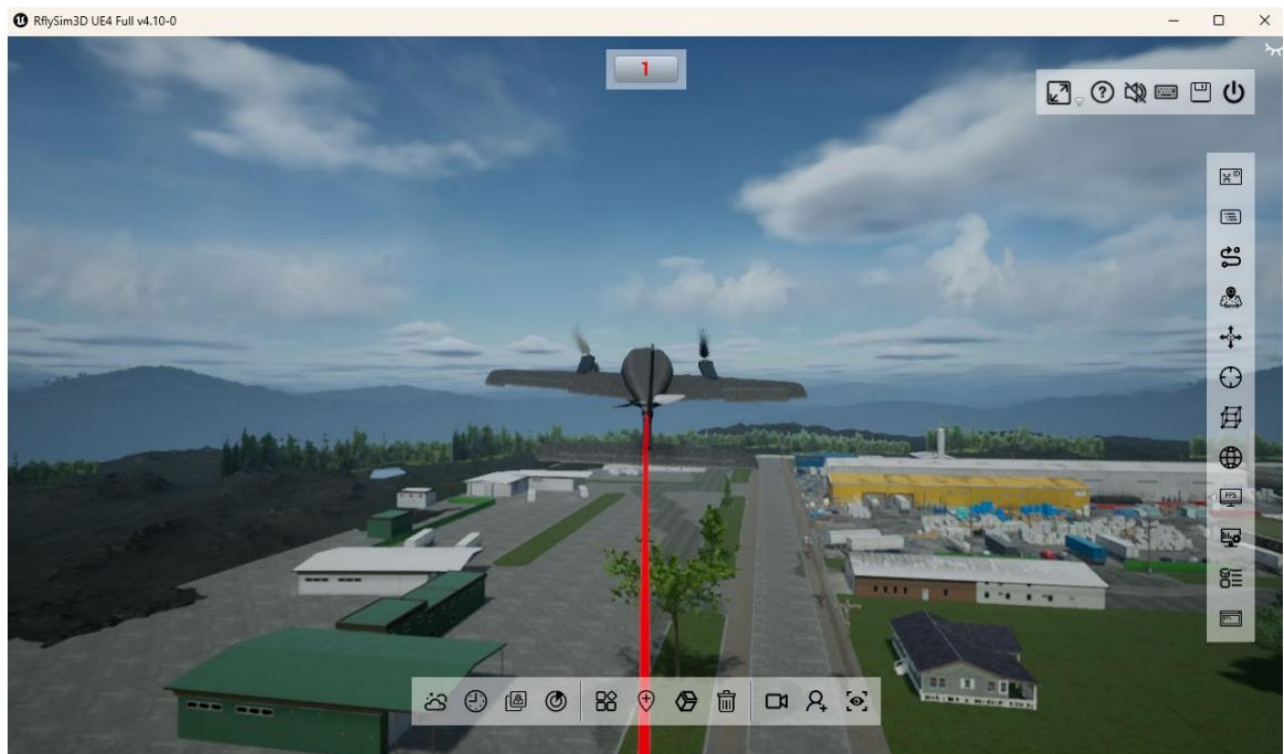


完成判据：参数导入过程无错误提示，重启后飞行模式和机架配置保持有效。

步骤 3：规划并执行航线

1. 在 QGroundControl 中进入 **Plan** 页面，新建空任务。
2. 添加起飞点，建议起飞高度设置为 **50 m**。
3. 添加多个航点，将任务飞行速度设置为约 **15 m/s**，避免固定翼段因速度过低失速。
4. 添加返航指令并上传任务。
5. 返回 **Fly** 页面，点击执行并完成解锁操作。
6. 在 QGroundControl 和 RflySim3D 中观察垂直起飞、航线飞行与返航过程。



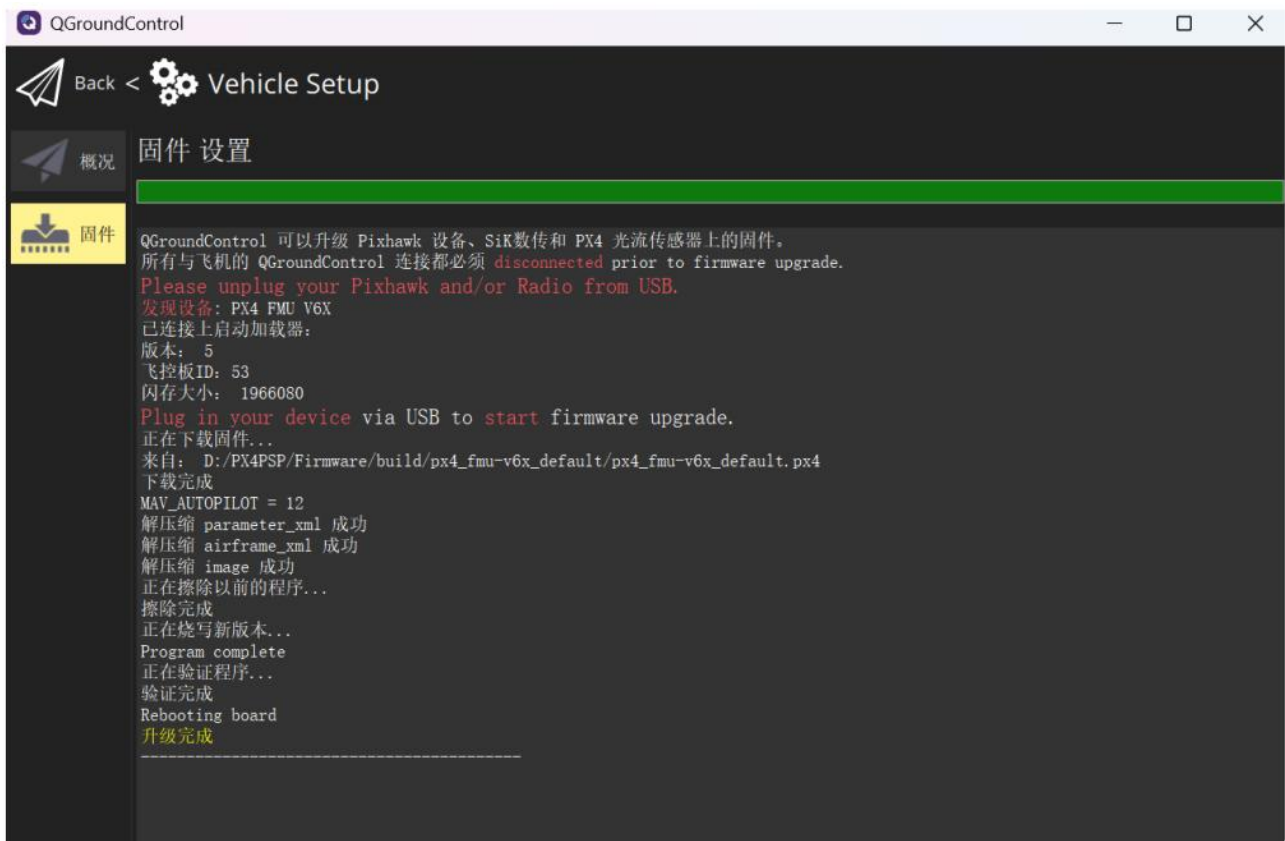


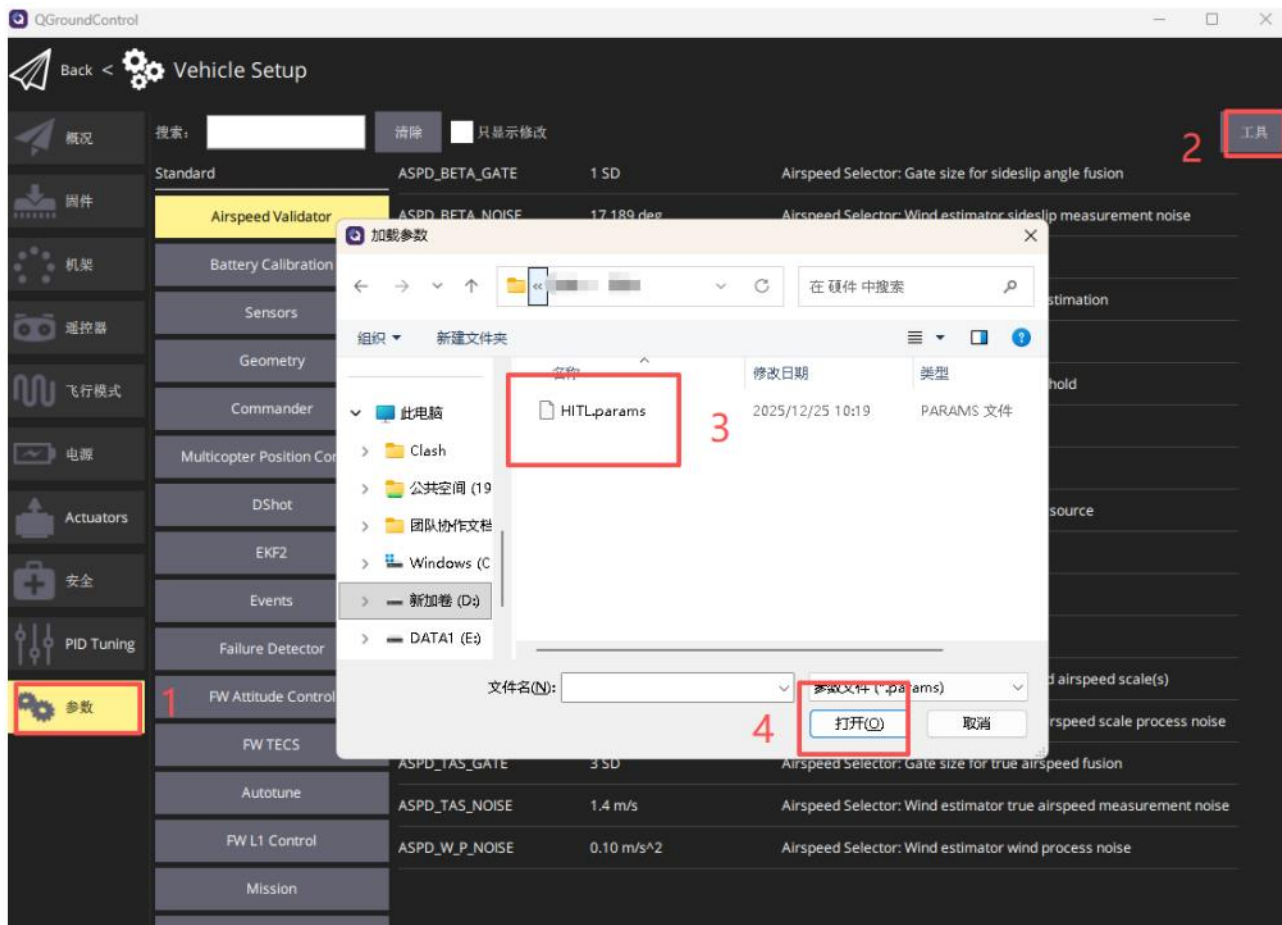
完成判据：载具正常解锁、起飞并按上传航线飞行，CopterSim 和 PX4 终端无持续错误输出。

4.2 硬件在环实验 (HITL_HIL_REAL)

步骤 1：烧录固件并加载 HITL 参数

1. 使用 USB 数据线连接 Pixhawk 6X mini 与电脑。
2. 打开 QGroundControl，在 **Vehicle Setup** 中进入固件页面。
3. 重新插拔飞控，勾选高级设置并选择自定义固件文件。
4. 选择本目录下的 **px4_fmu-v6x_default.px4**，等待烧录完成。
5. 进入参数页面，加载 **HITL.params**，确认后重新启动 QGroundControl。





完成判据：固件烧录无中断，参数加载成功，飞控重新连接后 QGroundControl 能正常识别设备。

步骤 2：启动 HITL

1. 保持飞控通过 USB 连接，关闭可能占用其串口的其他程序。
2. 双击 `TriRotorVT0L_HITL.bat`，同意需要的管理员权限。
3. 脚本会列出可用串口。在 `My COM list for HITL simulation is:` 提示后输入 Pixhawk 对应的端口号，例如 `3` 表示 `COM3`。
4. 等待 RflySim3D、CopterSim 和 QGroundControl 进入就绪状态。脚本使用 `921600` 波特率和 `SimMode=0`。

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
已复制 1 个文件。

-----
Please input the Pixhawk COM port list for HITL
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
-----
All COM ports on this computer are:

COM3: USB 串行设备 * (Pixhawk with SysID=1)

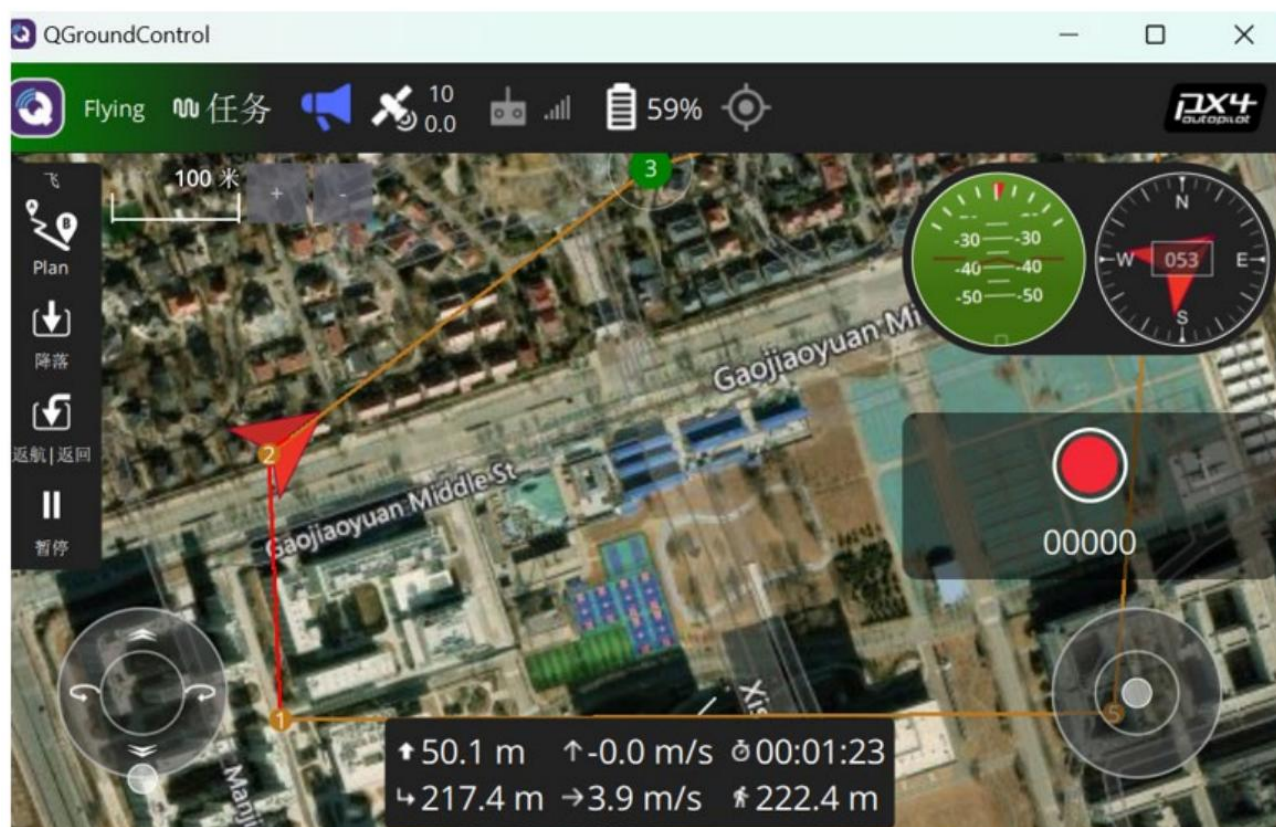
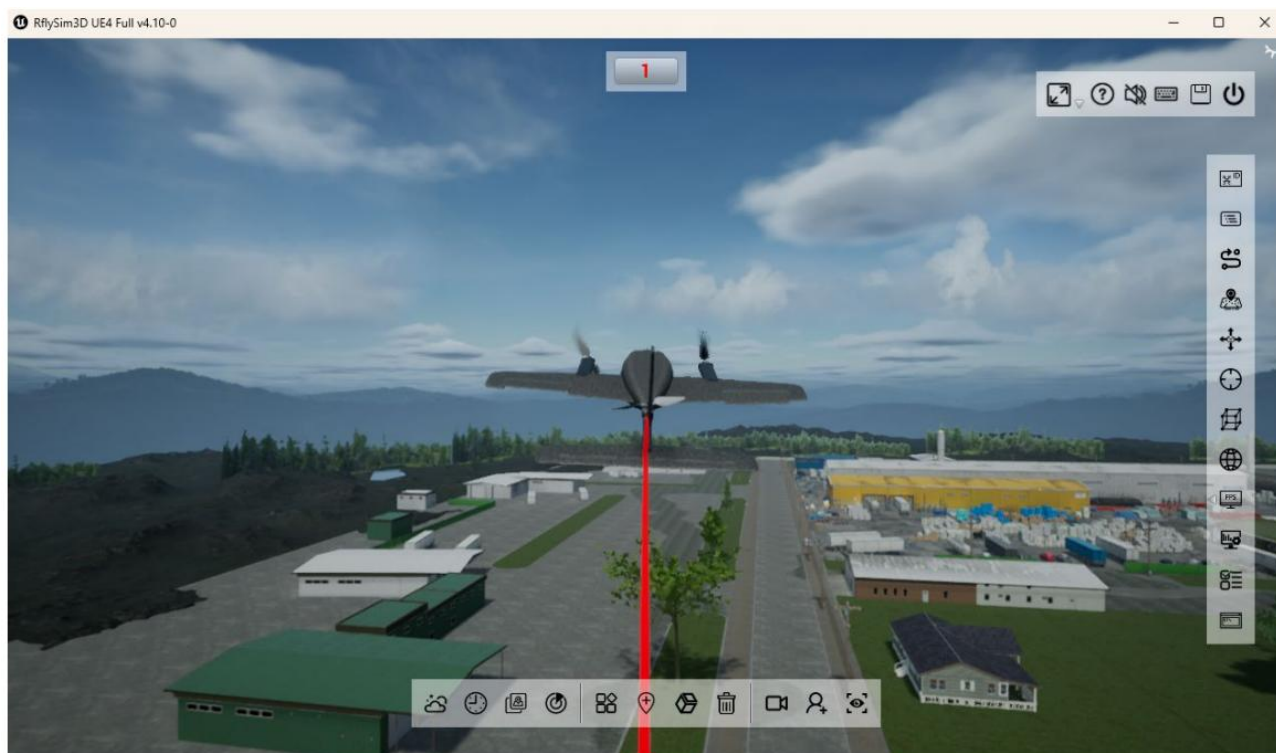
-----
Recommended COM list input is: 3

-----
My COM list for HITL simulation is:3_
```

完成判据：CopterSim 成功打开指定串口并加载 `TriRotorVT0L.dll`，QGroundControl 持续收到飞控遥测数据。

步骤 3：执行 HITL 航线

按 4.1 节的软件在环航线流程创建并上传任务。确认 RflySim3D 中的载具运动、QGroundControl 中的位置姿态和飞控状态保持一致后再执行任务。



完成判据：真实飞控参与闭环计算，仿真载具能够正常起飞并执行航线，遥测连接不中断。

4.3 结束实验

在 BAT 终端中按提示结束实验。确认由本实验启动的 CopterSim、QGroundControl、RflySim3D 和 PX4 SITL 进程已经退出；HITL 结束后再断开飞控 USB 连接。

5. 关键知识点

- 两种流程加载同一个 `TriRotorVT0L.dll`，差别在于飞控程序运行位置：SITL 在 WSL/PX4 仿真进程中运行，HITL 在真实 Pixhawk 上运行。
- `TriRotorVT0L_SITL.bat` 使用 `SimMode=2`，并通过 `convergence_sitl_rfly` 机架启动 PX4 SITL。
- `TriRotorVT0L_HITL.bat` 使用 `SimMode=0`，通过指定 COM 口和 `921600` 波特率连接真实飞控。
- 三旋翼垂起构型包含多旋翼悬停、固定翼前飞和过渡阶段。参数文件、动态混控和航线速度必须与该构型匹配。
- DLL 负责计算载具受力、力矩和六自由度状态；QGroundControl 负责参数、任务和飞行状态交互。

6. 参考资料

1. [RflySim 官方文档](#)
2. [RflySim 安装说明](#)
3. [垂直起降飞机闭环验证实验](#)
4. 本目录中的 [SITL 参数](#) 与 [HITL 参数](#)

7. 常见问题

Q1: CopterSim 提示模型加载失败怎么办？

确认 `TriRotorVT0L.dll` 与 BAT 位于同一目录，`PSP_PATH` 指向实际 RflySim 安装目录，然后关闭本实验启动的所有程序并重新运行 BAT。

Q2: SITL 可以启动，但载具无法解锁或起飞怎么办？

重新加载 `SITL.params`，检查 PX4 机架为 `convergence_sitl_rfly`，并确认任务速度、模式切换和动态混控参数没有被其他实验覆盖。

Q3: HITL 脚本没有列出 Pixhawk 串口怎么办?

检查 USB 数据线、设备管理器中的 COM 口和飞控驱动；关闭占用串口的程序后重新插拔飞控。输入端口号时只输入数字，多飞控时使用英文逗号分隔。

Q4: 加载参数后仍使用旧配置怎么办?

确认加载的是当前目录对应的 `SITL.params` 或 `HITL.params`，导入完成后重新启动 QGroundControl 和仿真流程。不要在 SITL 与 HITL 间混用参数文件。

Q5: 在哪里修改 Simulink 动力学模型?

免费版例程不提供模型源码和构建工具。需要查看或重新生成 DLL 时，请使用完整版目录 `3.CustExps\VTOLModelCtrl\5.TriRotorVTOL`。

-
1. 安装与环境配置见 <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf>。↩