

1. 实验名称及目的

高精度垂直起降飞机 DLL 生成及 SIL/HIL 实验：在 Matlab 将 Simulink 文件编译生成垂直起降飞机的 DLL 模型文件；并对生成的垂直起降飞机模型进行软硬件在环仿真测试，通过本例程熟悉垂直起降飞机的建模与使用。

2. 实验原理

VtolHighModel.slx 是基于系统模版构建的一个四旋翼型垂直起降飞机（VTOL, Vertical Take-Off and Landing）模型。这是一种可以像直升机那样垂直起降，同时又具有像垂直起降飞机飞机那样的水平飞行能力的飞机，它需要在垂直起降模式和水平飞行模式之间平稳过渡。

VTOL 系统通常会使用一个多旋翼混控器来控制多旋翼输出，并使用求和混控器 (summing mixers) 来控制垂直起降飞机作动器。

单一混控器与分离混控器：VTOL 飞机的混控系统可以整合到一个单一混控器中，这时所有作动器都连接到 IO 端口或 FMU 端口。另一种方法是将混控器文件分开，分别为 IO 和 AUX。如果分开，通常建议将所有多旋翼电机连接到一个端口，而所有伺服和垂直起降飞机电机连接到另一个端口。

FMU 输出的使用：从 PX4 v1.11 开始，FMU 输出仅可用于多旋翼电机。要使用 FMU 输出，需设置 VT_MC_ON_FMU=1。这样设置后，当飞机处于垂直起降飞机飞行模式时，多旋翼电机不会被切换关闭

2.1. 模型参数介绍（参考 [API.pdf 中 DLL/SO 模型与通信接口的重 要参数部分](#)）

1) 重要参数

VtolHighModel_Init.m 中定义了垂直起降飞机模型仿真所需的常规参数，关键数据如下。

飞机的三维显示样式

```
ModelParam_uavType = int16(602); %这里是垂起飞机，这个参数决定了飞机的三维显示样式，需要和 RflySim3D  
的 XML 文件中的 ClassID 相匹配
```

飞机的初始位姿参数

```
ModelInit_PosE=[0,0,0]; %用于设置飞机的初始位置，对应了 CopterSim 上的 X 和 Y 初始值。Z 值利用 TerrainZ  
实现了从 CopterSim 中读取当前地形高度数据，使得飞机可以初始化在复杂地形的地表面（例如 Grassland 地图）。
```

```
ModelInit_AngEuler=[0,0,0]; %用于设定飞机的初始姿态。飞机姿态角的前两位（俯仰和滚转角）可以通过  
ModelInit_AngEuler 参数来配置，但是偏航角需要在 CopterSim 中配置。针对导弹等竖直升空的飞行器，需要设定合适  
的俯仰和滚转值。
```

QGC 中显示的地图坐标和高度原点（在 RflySim3D 的 Cesium 大场景中能任意指定飞机在地球三维场景中的坐标）

```
ModelParam_envLongitude = 116.259368300000; %经度，初始大地经度  
ModelParam_envLatitude = 40.1540302; %纬度，初始大地纬度  
ModelParam_GPSLatLong = [ModelParam_envLatitude ModelParam_envLongitude]; %初始大地经度和纬度
```

`ModelParam_envAltitude = -50;`%原点的海拔高度，竖直向下为正，高于海平面填负值，单位米。

执行器的初始参数

`ModelInit_Inputs = [0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];`% 十六维输入向量，定义电机 PWM 初始值，默认全 0，对垂直起降飞机和小车需要修改，因为它们的油门在初始状态处于最小值（-1），见“Motor Model”模块

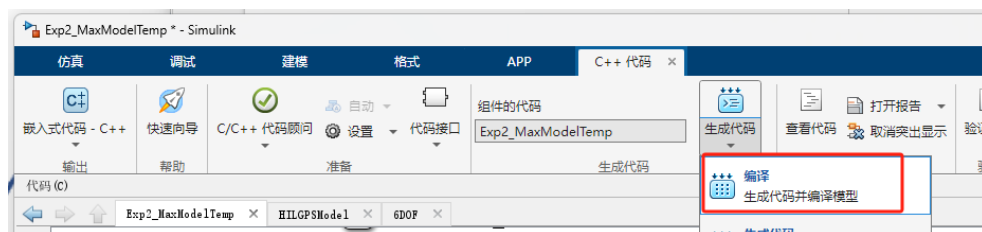
还需其余各传感器噪声参数和电机参数

2) 参数调用过程

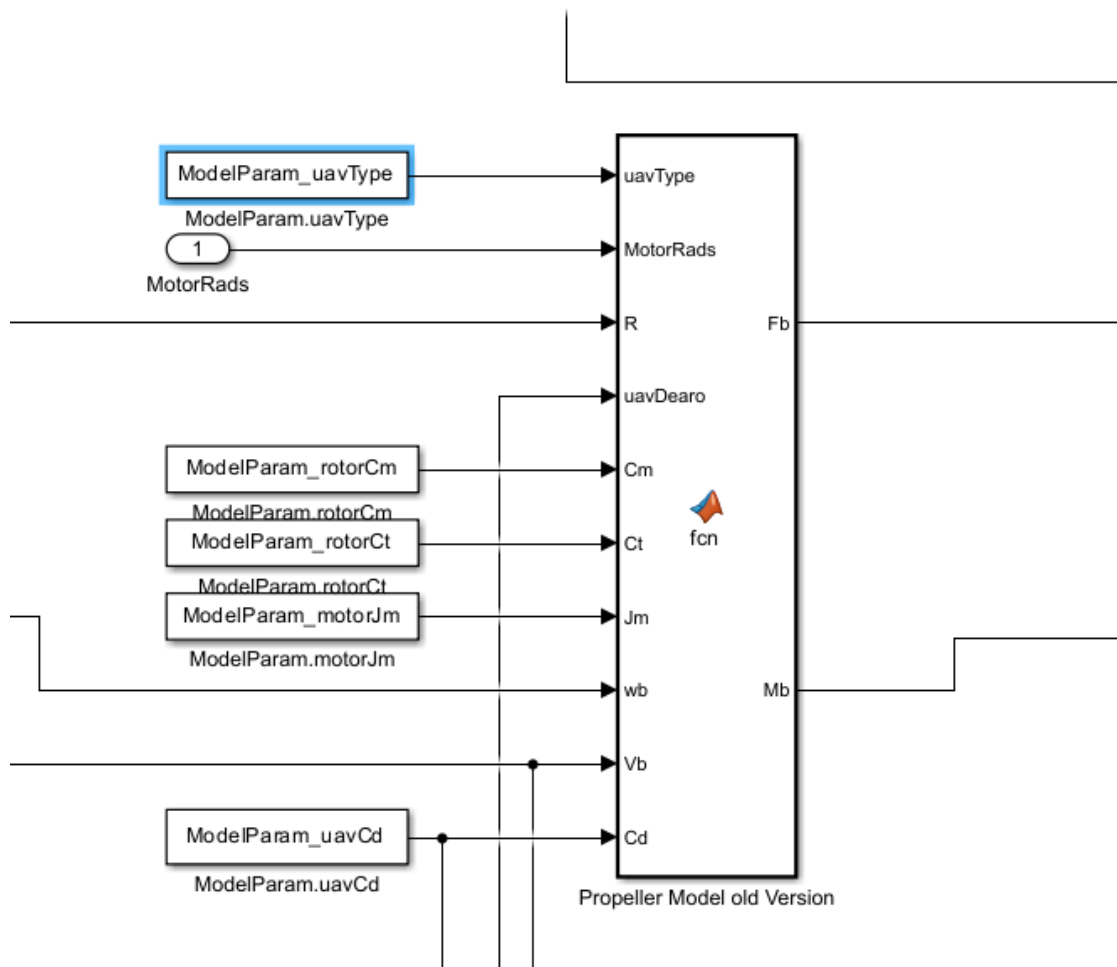
VtolHighModel.slx 是用于生成 DLL 模型的 simulink 动态建模模板，simulink 模型启动运行（编译）时会调用 VtolHighModel_init.m



VtolHighModel_init.m 中包含了模型参数信息，本脚本会在 VtolHighModel.slx 编译（simulink 模型编译所需环境配置参考 [API.pdf 中的环境配置](#)）时被调用将参数载入 MATLAB 工作空间，也可以直接运行 VtolHighModel_init.m 将参数载入工作空间。Simulink 模型会通过参数名称读取工作空间中的参数，故需要保证 simulink 模型中设置的参数名称与 ***_init.m 中的参数名称相同。



工作区		
名称 ▲	值	
ap	1x1 struct	
env	1x1 struct	
ext	'slx'	
filepath	'F:\d2\4.RflySimModel\2.Adv...	
HILGPS	1x1 Bus	
InitFileName	'VtolHighModel_init.m'	
MavLinkGPS	1x1 Bus	
MavLinkSensor	1x1 Bus	
MavLinkStateQuat	1x1 Bus	
MavVehicleInfo	1x1 Bus	
ModelInit_AngEuler	[0;0;0]	
ModelInit_Inputs	1x16 double	
ModelInit_PosE	[0;0;0]	
ModelInit_RateB	[0;0;0]	
ModelInit_RPM	0	
ModelInit_VelB	[1.0000e-03;0;0]	
ModelParam_BusSampleRate	1.0000e-03	
ModelParam_CopterType	3	
ModelParam_envAirDensity	1.2250	
ModelParam_envAltitude	-50	
ModelParam_envDiffPressure	0	
ModelParam_envLatitude	40.1540	
ModelParam_envLongitude	116.2594	
ModelParam_GlobalNoiseGainSwitch	0.4000	
ModelParam_GPSEphFinal	0.3000	
ModelParam_GPSEpvFinal	0.4000	
ModelParam_GPSFix3DFix	1x1 double	
ModelParam_GPSLatLong	[40.1540,116.2594]	
ModelParam_GPSSatsVisible	10	
ModelParam_motorCr	3.3684e+03	
ModelParam_motorJm	5.0000e-04	
ModelParam_motorMinThr	0	
ModelParam_motorT	0.0100	
ModelParam_motorWb	0	
ModelParam_noiseBaroCoupleWithSpeed	0	
ModelParam_noiseBaroSampTime	0.5000	
ModelParam_noiseGPSsSampTime	0.2000	
ModelParam_noisePowerAccel	[1.0000e-03,1.0000e-03,0.00...	
ModelParam_noisePowerGyro	[1.0000e-05,1.0000e-05,1.00...	
ModelParam_noisePowerIMU	0	
ModelParam_noisePowerMag	[1.0000e-05,1.0000e-05,1.00...	
ModelParam_noisePowerOffGainAccel	0.0400	
ModelParam_noisePowerOffGainAccelZ	0.0300	
ModelParam_noisePowerOffGainGyro	0.0200	
ModelParam_noisePowerOffGainGyroZ	0.0250	
ModelParam_noisePowerOffGainMag	0.0200	
ModelParam_noisePowerOffGainMagZ	0.0350	
ModelParam_noisePowerOnGainAccel	0.8000	
ModelParam_noisePowerOnGainAccelZ	4.5000	
ModelParam_noisePowerOnGainGyro	2	
ModelParam_noisePowerOnGainGyroZ	1	
ModelParam_noisePowerOnGainMag	0.0250	
ModelParam_noisePowerOnGainMagZ	0.0500	
ModelParam_noiseSampleTimeAccel	1.0000e-03	
ModelParam_noiseSampleTimeGyro	1.0000e-03	
ModelParam_noiseSampleTimeMag	0.0100	
ModelParam_noiseTs	1.0000e-03	
ModelParam_noiseUpperBaro	0	
ModelParam_noiseUpperGPS	0.5000	
ModelParam_noiseUpperWindBodyRatio	0	
ModelParam_noiseWindSampTime	1.0000e-03	
ModelParam_rotorCm	8.7830e-07	
ModelParam_rotorCt	3.6810e-05	
ModelParam_timeSampBaro	0.0100	
ModelParam_timeSampTurbWind	0.0100	
ModelParam_uavCCm	[0.0200,0.0200,0.0100]	
ModelParam_uavCd	0.1000	



GenerateModelDLLFile.p 是将 slx 模型转化为 DLL 模型文件的脚本，使用 RflySim 平台进行载具软硬件在环仿真时，需要将 DLL(windows 下)/SO (Linux 下) 模型导入到 CopterSim，形成运动仿真模型，因此，在 Simulink 模型编译完成后，需要将模型对应的 C++文件打包成 DLL/SO 模型。

2.2. 输入信号（参考 [API.pdf 中 DLL/SO 模型与通信接口的数据协议部分](#)）

最大模板的 12 个输入数据包括电机控制量、地形数据、

1) 电机数据 inPwms

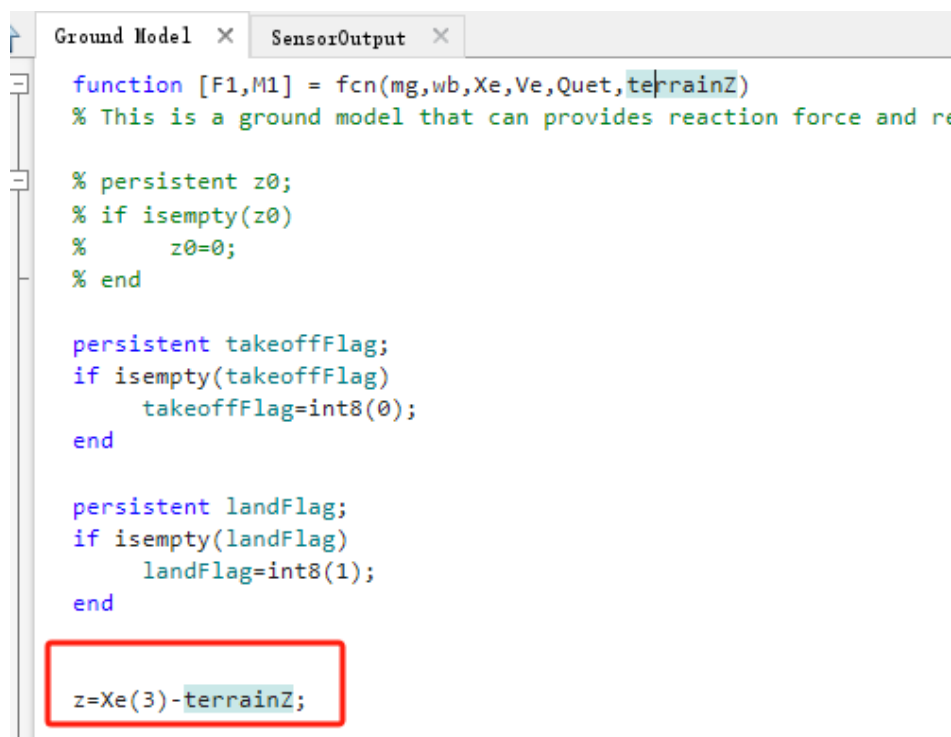
输入接口 inPWMs，16 维执行器控制量输入，已归一化到-1 到 1 尺度(通常电机是 0-1，舵机是-1~1)，它的数据来自飞控回传的电机控制 MAVLink 消息 mavlink_hil_actuator_controls_t 的 controls，具体定义如下：

```
typedef struct __mavlink_hil_actuator_controls_t {
    uint64_t time_usec; //时间戳，从开机后的时间，单位 ms
    uint64_t flags; //标志位，用于显示当前的飞行状态
    float controls[16]; //控制量，16 维电机的控制量，发送到模型中，驱动飞机飞行
    uint8_t mode; // 模型，用于显示飞机当前的飞行模式和是否上锁等信息 }
mavlink_hil_actuator_controls_t;
```

软件在环仿真时，电机控制指令从 PX4 SITL 控制器通过 TCP 4561 系列端口以 MAVLink 协议发送到运动仿真模型的 inPWMs 接口，而硬件在环仿真时，该指令是从飞控通过串口以 MAVLink 协议发送到运动仿真模型的 inPWMs 接口。

2) 地形高度 terrainZ

最大模板可以利用 TerrainZ 实现从 CopterSim 中读取当前地形高度数据，使得飞机初始化在复杂地形的地表面（例如 RflySim3D 中的 Grassland 地图）。这个值是由 CopterSim 读取 DLL 模型初始位置参数 ModelInit_PosE 中的 xy 坐标，根据地形校准文件及高程信息解算出地形高度 TerrainZ，通过 Mavlink 消息传输给 DLL 模型的 TerrainZ 接口，在 DLL 模型中通过 PhysicalCollisionModel/ GroundSupportModel/ Ground Model 函数中重新定义模型初始位置的高度，最后会通过 MavVehile3DInfo 接口传给 RflySim3D 中的三维显示模型。



```
function [F1,M1] = fcn(mg,wb,Xe,Ve,Quet,terrainZ)
% This is a ground model that can provides reaction force and re

% persistent z0;
% if isempty(z0)
%     z0=0;
% end

persistent takeoffFlag;
if isempty(takeoffFlag)
    takeoffFlag=int8(0);
end

persistent landFlag;
if isempty(landFlag)
    landFlag=int8(1);
end

z=Xe(3)-terrainZ;
```

3) 飞控状态量输入 inCopterData

inCopterData 是 32 维 double 型数据，前 8 维存储 PX4 的状态，目前 1-6 维数据，依次为：

inCopterData(1): PX4 的解锁标志位

inCopterData(2): 接收到的 RC 频道总数。当没有可用的 RC 通道时，该值应为 0。

inCopterData(3): 仿真模式标志位，0: HITL，1: SITL，2: SimNoPX4。

inCopterData(4): CoperSim 中的 3D fixed 标志位。

inCopterData(5): 来自 PX4 的 VTOL_STATE 标志位。

inCopterData(6): 来自 PX4 的 LANDED_STATE 标志位。

9-24 维接收 ch1-ch16 RC 通道信号（遥控器输入），25-32 维监听 rfly_px4 uORB 消息。

4) 碰撞数据接收接口 inFloatsCollision

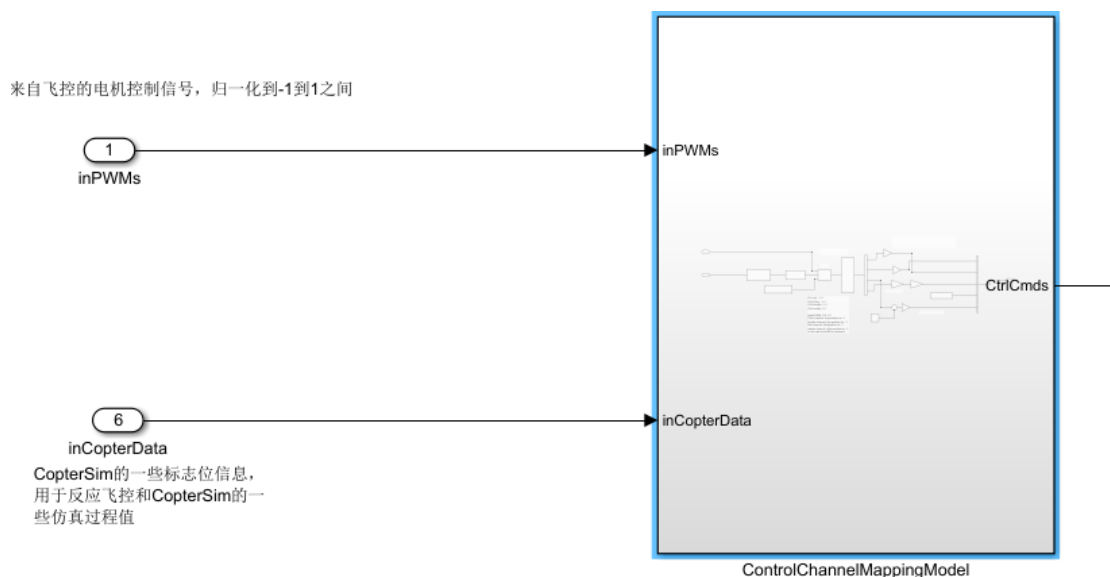
利用 inFloatsCollision 实现了一个简单地物理引擎，可以根据 RflySim3D 回传的四周距离数据，实现碰到障碍物的回弹、碰到其他飞机便坠毁等功能

2.3. 模型模块（参考 [API.pdf](#) 中的 [Simulink 建模模板介绍](#)）

这里为适配垂直起降飞机模型，虽然模型总的输入和输出与建模模板相同，但相对于最大模型模版，修改了模型参数（执行器初始参数等），并用其它动力学模块替换了电机模块（转速动态响应）、力和力矩模块（驱动力、气动力、地面支撑和阻力等）以及运动学模块。

1) 电机模块

ControlChannelMappingModel 控制通道映射



针对 inPWMs 接口

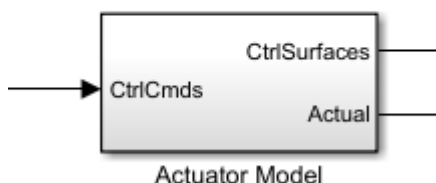
模块会提取前 4 维通道，并将-1 到 1 的 pwm 控制信号，映射为合适的范围。例如，将方向舵从-1 到 1 映射为-30 到 30 度。其他的通道也进行同样操作

针对 inCopterData 接口

会提取第 1 位数据，决定飞机是否解锁，只有飞机解锁，才让飞控的控制量传入模型

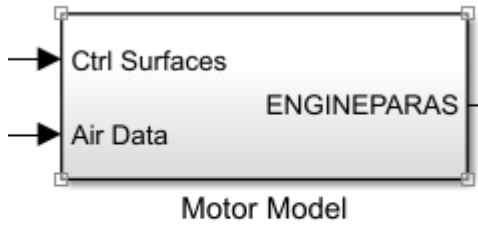
Actuator Model 执行器模型

执行器的动态模型，用于模拟螺旋桨、舵机的动态响应过程，这里用二阶环节来模拟



在该模块中输入为 CtrlCmds（通过 ControlChannelMappingModel 模块获取），经过各舵面的二阶线性动力学模型后得到各电机转速，该模块的输出分别为输入给力矩模型的电机转速 CtrlSurfaces（弧度每秒）；输入给 UE 的电机转速 Actual（转每分）

Motor Model 发动机模型

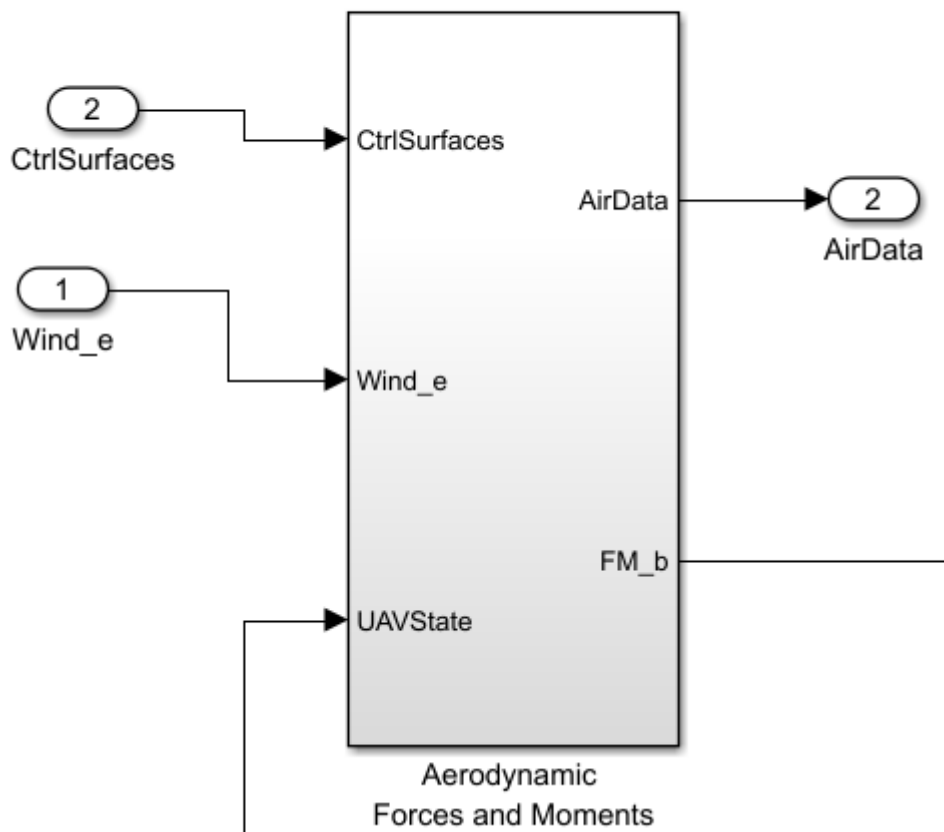


飞机发动机模型，这里加入了引擎的一些特性。包括在来流情况下，推力效率降低。

2) Force and Moment Model 力和力矩模块

该模块输入为电机转速 CtrlSurfaces、飞机运动学姿态 6DOF 和 wind_e，输出为气动力和力矩。

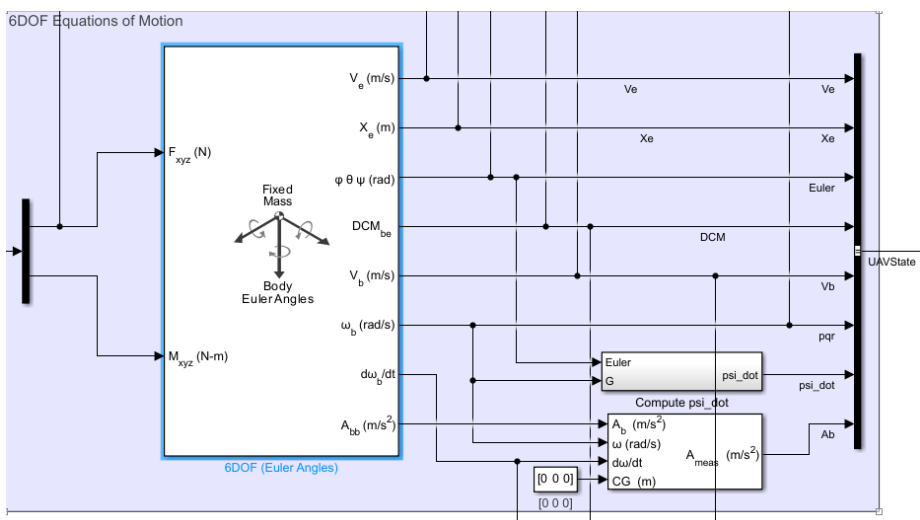
固定翼动力学模型，主要计算了气动力和力矩



3) 6DOF 六自由度刚体运动学模块

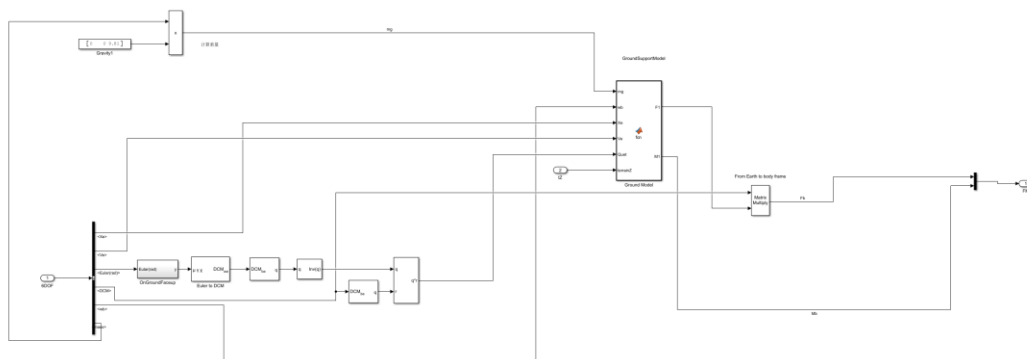
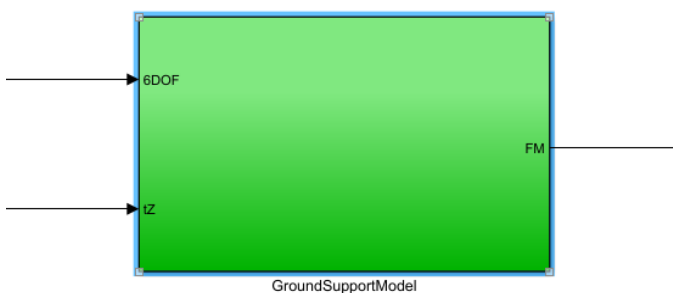
用于描述无人机在空中运动时的姿态和位置变化。考虑了无人机在三个坐标轴上的旋转运动（俯仰、横滚和偏航）以及机体与地球坐标系上的平移运动（前后、左右和上下）。

还可以根据实际需求对模型进行扩展，考虑更多的因素，如飞行器的非线性特性、气动力和惯性矩等。



4) GroundSupportModel 地面支撑模块

GroundSupportModel 地面支撑模块在这里是的一个子模块，这里将所有物体简化为较为简单的基本几何体（例如圆柱体或者长方体）来计算其与地面之间的物理接触受力。

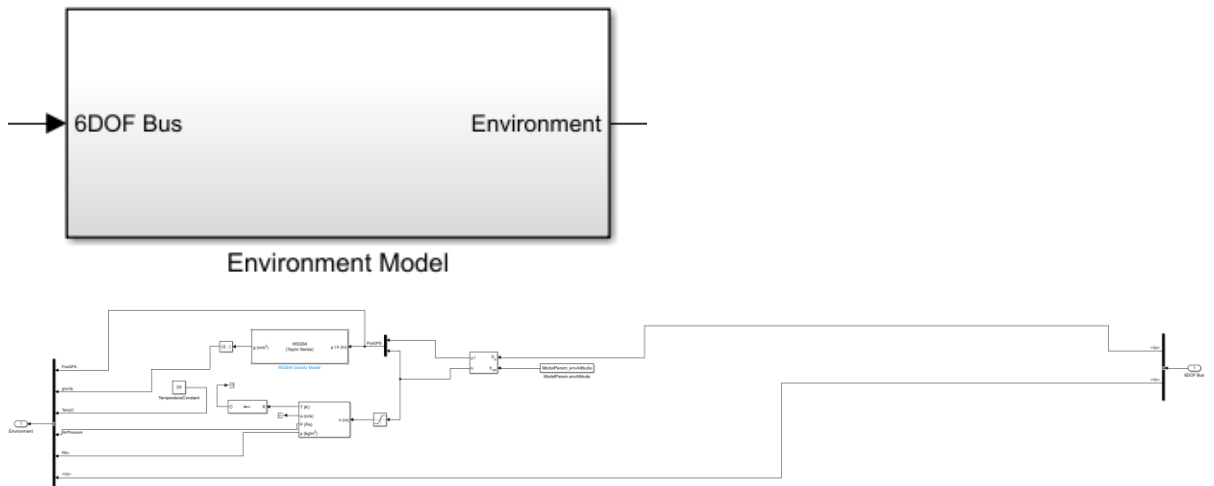


5) SensorOutput 传感器输出模块

该模块中包括了环境模型、传感器模型和 GPS 模型

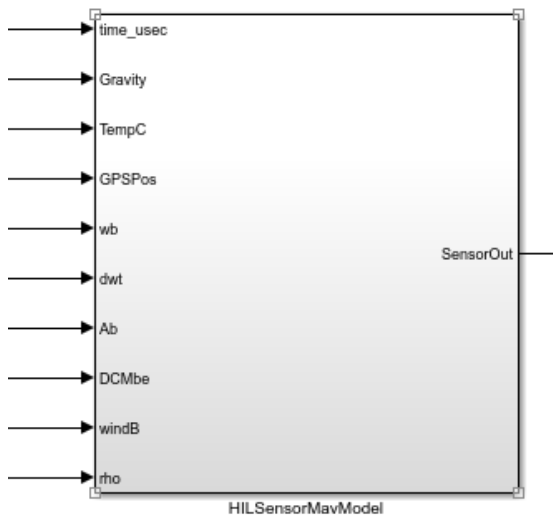
环境模型

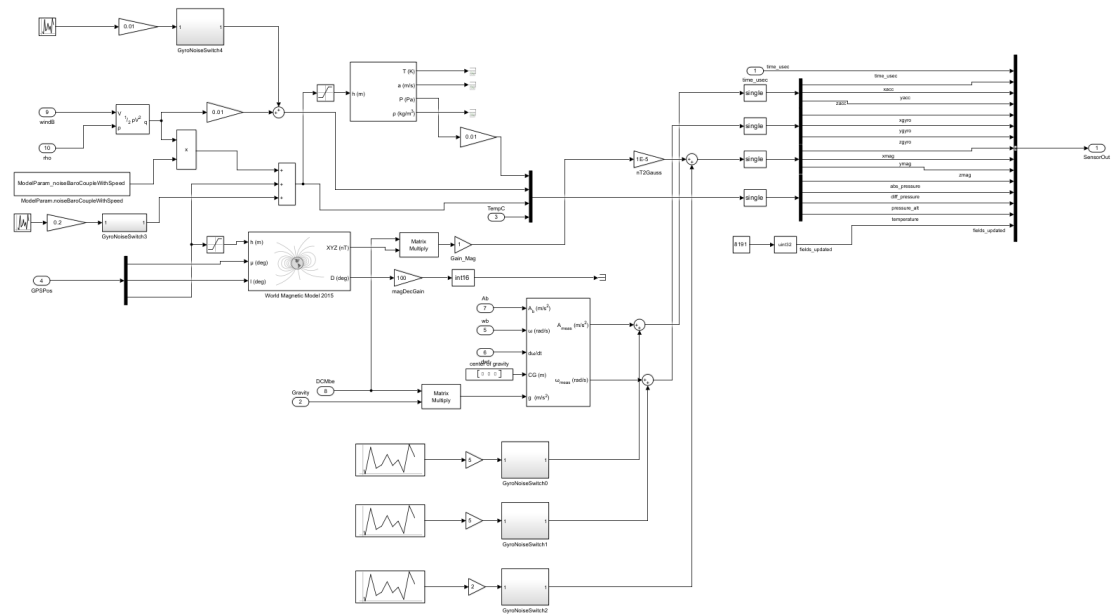
环境模型对重力和大气压强对无人系统飞行产生的影响进行了模拟



传感器模型

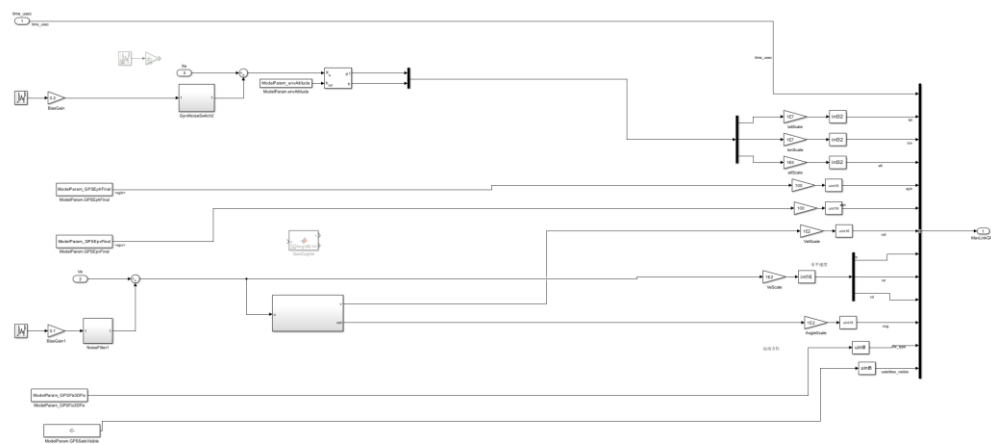
传感器模型中不仅对磁力计、惯性导航进行了建模，同时加入了噪声模拟





GPS 模型

GPS 模型用于计算 GPS 数据，在仿真时反馈回 PX4 控制器



6) 3DOutput 三维显示模块

该模块会将***_init.m 中的 ModelParam_uavType（三维显示 ID）、来自电机模型的 ActuatorToUE 以及来自 6DOF 模型的 6DOF Bus 的位置、速度、姿态和加速度等输出为 MavVehile3DInfo，并按协议对输入信息进行数据打包后通过该接口将数据发送至三维引擎

2.4. 输出信号（参考 [API.pdf](#) 中 [DLL/SO 模型与通信接口的数据协议部分](#)）

***_init.m 会调用 MavLinkStruct.mat 导入四个输出结构体 bus（MavLinkGPS、MavLinkSensor、MavLinkStateQuat 以及 MavVehileInfo）的定义到工作空间。

```
load MavLinkStruct;
```

最大模型模版包含了 6 个输出信号，分别是 MavHILSensor、MavHILGPS、MavVehile3Dinfo、outCopterData、ExtToUE4、ExtToPX4。

1) MavHILSensor（传感器接口集合）

模型发送给 RflySim3D 的真实仿真数据，是平滑的理想值，这些数据可用于 Simulink 下的飞控与模型进行软件仿真测试。对应了 MAVLink 的 mavlink_hil_sensor_t 消息，本结构体包含了，加速度传感器的加速度值、陀螺仪传感器的角速度值、磁罗盘传感器的磁场值，气压和空速传感器的气压值等。这些传感器的值在仿真时由我们的模型提供，在真机飞行时由真实传感器芯片提供。

```
typedef struct __mavlink_hil_sensor_t {
    uint64_t time_usec; /*时间戳，单位毫秒 ms*/
    float xacc; /*机体坐标系 x 方向加速度，单位 m/s^2 */
    float yacc; /*机体坐标系 y 方向加速度，单位 m/s^2 */
    float zacc; /*机体坐标系 z 方向加速度，单位 m/s^2 */
    float xgyro; /*机体坐标系 x 方向角加速度，单位 rad/s */
    float ygyro; /*机体坐标系 y 方向角加速度，单位 rad/s */
    float zgyro; /*机体坐标系 z 方向角加速度，单位 rad/s */
    float xmag; /*机体坐标系 x 方向磁通量，单位 Gauss =T/10000*/
    float ymag; /*机体坐标系 y 方向磁通量，单位 Gauss =T/10000*/
    float zmag; /*机体坐标系 z 方向磁通量，单位 Gauss =T/10000*/
    float abs_pressure; /*绝对气压值，单位 millibar=100Pa*/
    float diff_pressure; /*相对气压值，单位 millibar=100Pa*/
    float pressure_alt; /*气压解算高度值，单位 m*/
    float temperature; /*温度，单位摄氏度*/
    uint32_t fields_updated; /*传感器参数初始化标志位， bit 0 = xacc, bit 12: temperature, bit 31:
全部重新初始化 */
} mavlink_hil_sensor_t;
```

2) MavHILGPS（GPS 接口）

模型发送给飞控的 GPS 数据值，它对应了 MAVLink 消息的 mavlink_hil_gps_t 结构体。输出信号中包含了经纬高、水平竖直精度、地速、北东地的速度、偏航角、定位状态和卫星数量等数据。这些传感器的值在仿真时由我们的模型提供，在真机飞行时由真实 GPS 模块提供。

```
typedef struct __mavlink_hil_gps_t {
    uint64_t time_usec; /*时间戳，单位毫秒 ms*/
    int32_t lat; /*纬度(WGS84 地球模型)，单位度，再乘以 1E7*/
    int32_t lon; /*经度(WGS84 地球模型)，单位度，再乘以 1E7*/
    int32_t alt; /*高度 (AMSL 地球模型，而不是 WGS84)，单位 m，再乘以 1000 (向上为正)*/
    uint16_t eph; /*GPS 水平方向定位精度，单位 cm，如果不知道设为 65535*/
    uint16_t epv; /*GPS 竖直方向定位精度，单位 cm，如果不知道设为 65535*/
}
```

```

uint16_t vel; /*GPS 地速, 单位 cm/s, 如果不知道设为 65535*/
int16_t vn; /*GPS 地速朝北方向分量, 单位 cm/s */
int16_t ve; /*GPS 地速朝东方向分量, 单位 cm/s */
int16_t vd; /*GPS 地速朝下方向分量, 单位 cm/s */
uint16_t cog; /*运动方向, 单位和范围 0~359.99 度, 再乘以 100 degrees * 100, 如果不知道设为 65535*/
uint8_t fix_type; /*定位类型 0-1: no fix, 2: 2D fix, 3: 3D fix. */
uint8_t satellites_visible; /*可见卫星数, 如果不知道设为 255*/
}) mavlink_hil_gps_t;

```

注：GPS 数据的发送频率与真实传感器硬件基本相同为 10Hz，因此飞控的实时位置并不能靠 GPS 直接提供，需要与 IMU 等传感器进行融合滤波估计得到。

3) MavVehile3Dinfo（真实仿真数据输出）

模型发送给飞控的各种传感器数据的集合，对应了 MAVLink 的 mavlink_hil_sensor_t 消息。输出信号中包括了加速度传感器的加速度值、陀螺仪传感器的角速度值、磁罗盘传感器的磁场值，气压和空速传感器的气压值等。

```

struct SOut2Simulator {
    int copterID; //飞机 ID, 用于区分局域网内不同飞机
    int vehicleType; //飞机样式, 区分同种飞机（如四旋翼）下的不同样式（例如, 大疆、AR.Drone）
    double runnedTime; //时间戳, 当前时刻的时间, 单位毫秒
    float VelE[3]; //速度向量, 地球坐标系的 xyz 速度（z 向下为正）, 单位 m/s
    float PosE[3]; //位置向量, 地球坐标系下的 xyz 方向（z 向下为正, 单位 m, 以起飞点为坐标原点
    float AngEuler[3]; //姿态角, 飞机的欧拉角, 定义于机体坐标系, 单位弧度
    float AngQuatern[4]; //四元数, 飞机姿态的四元数, 定义于机体坐标系
    float MotorRPMS[8]; //电机转速, 飞机的各个旋翼转速, 单位转每分
    float AccB[3]; //加速度, 飞机的运动加速度, 单位 m/s^2
    float RateB[3]; //角速度, 飞机的转动角速度, 单位 rad/s
    double PosGPS[3]; //GPS 坐标, 飞机的经纬高坐标, 单位度、度、米
};

```

3. 实验效果

实现垂直起降飞机 DLL 模型文件生成，以及完成垂起垂直起降飞机软硬件在环仿真。

4. 文件目录

文件夹/文件名称		说明
VtolHighModel.slx		垂直起降飞机模型文件。
VtolHighModel_HITL.bat		硬件在环仿真批处理文件。
VtolHighModel_SITL.bat		软件在环仿真批处理文件。
GenerateModelDLLFile.p		DLL 格式转化文件。
VtolHighModel_init.m		垂直起降飞机动力模型相关参数。
MavLinkStruct.mat		MavLink 数据结构体 mat 文件
mixFile	standard_vtol_hitl.main.mix	修改后的硬件在环混控文件
	standard_vtol_sitl.main.mix	修改后的软件在环混控文件

5. 运行环境

序号	软件要求	硬件要求
----	------	------

		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 ^①	1
2	RflySim 平台免费版	PX4 6c 飞控（固件版本为 1.13.3）	1
3	MATLAB 2017B 及以上 ^③	数据线	1

推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com>

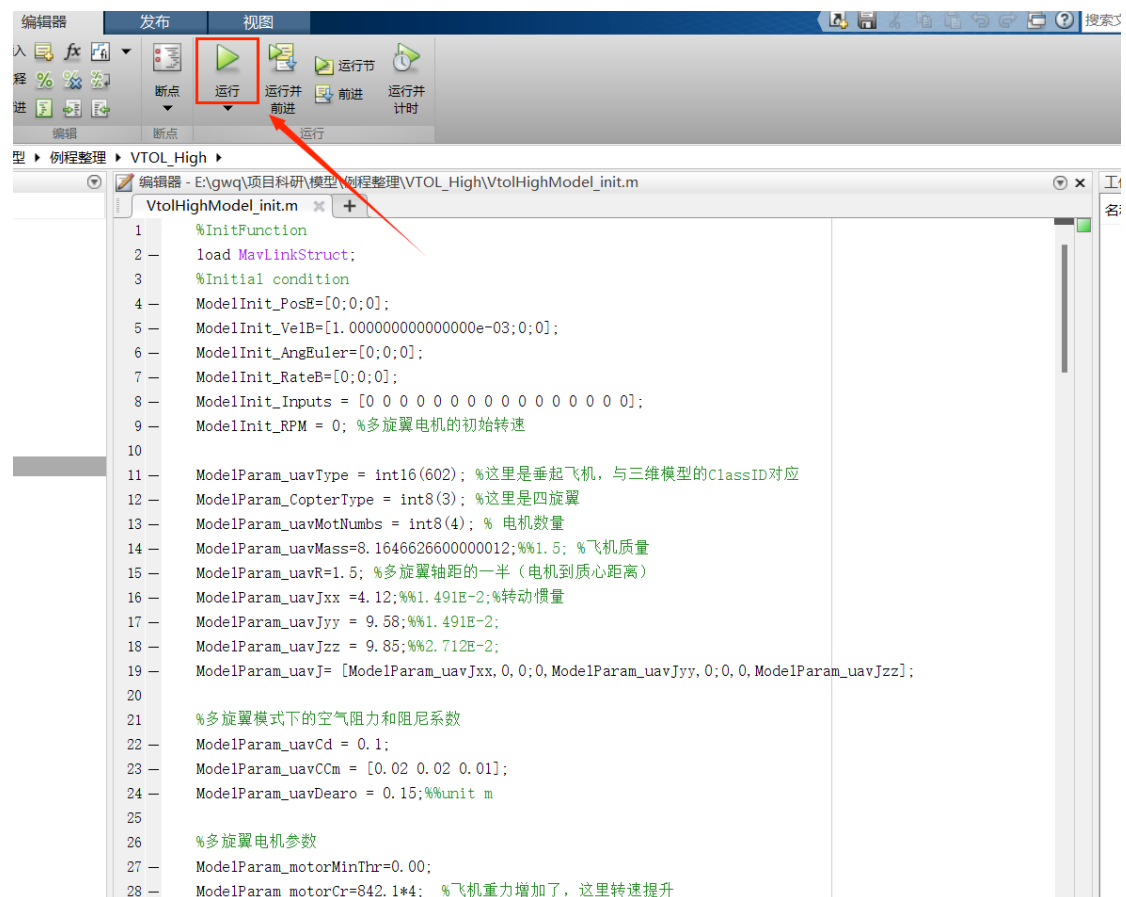
6. 实验步骤

6.1. DLL 模型生成

Step 1:

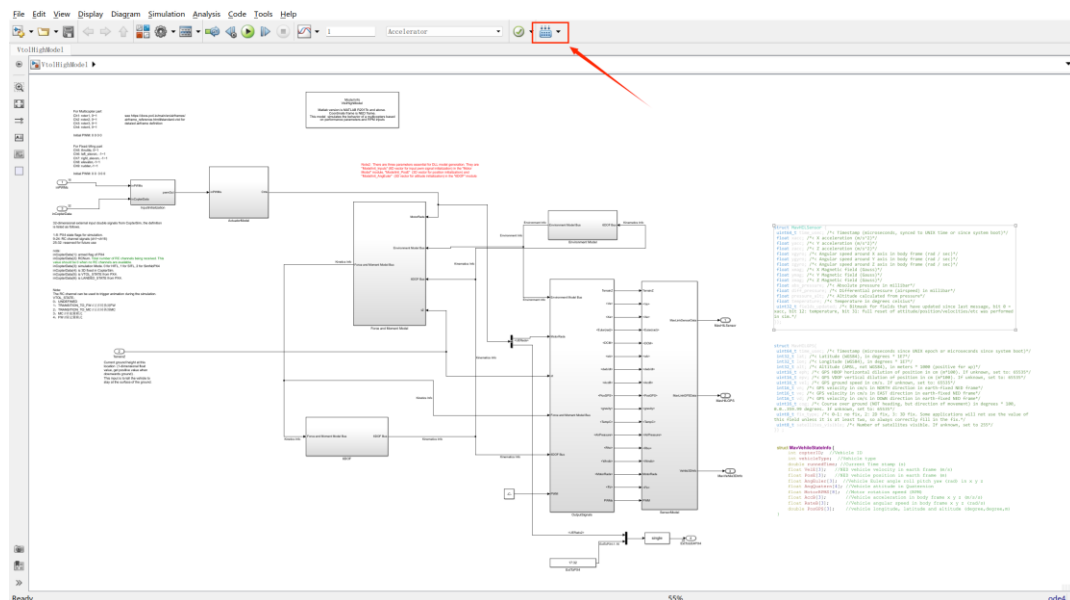
打开“VTOL_High”文件夹，在 matlab 软件中打开文件夹里的“VtolHighModel_init.m”文件，并运行。

名称	修改日期	类型	大小
mixFile	2023/6/25 10:10	文件夹	
slprj	2023/6/25 10:11	文件夹	
VtolHighModel_ert_rtw	2023/6/25 10:11	文件夹	
GenerateModelDLLFile.p	2022/7/27 22:06	MATLAB P-code	5 KB
MavLinkStruct.mat	2019/6/27 16:28	MATLAB Data	5 KB
MulticopterModel.zip	2022/10/23 12:46	压缩(zipped)文件...	114 KB
Readme - 高精度垂起.docx	2023/6/19 9:49	Microsoft Word ...	12,347 KB
VtolHighModel.dll	2022/10/23 12:46	应用程序扩展	242 KB
VtolHighModel.slx	2022/10/23 12:45	Simulink Model	119 KB
VtolHighModel.slxc	2022/11/16 16:19	Simulink Cache	348 KB
VtolHighModel_HITL.bat	2022/8/29 17:22	Windows 批处理...	6 KB
VtolHighModel_init.m	2022/8/24 12:02	MATLAB Code	8 KB
VtolHighModel_SITL.bat	2022/8/24 10:06	Windows 批处理...	6 KB



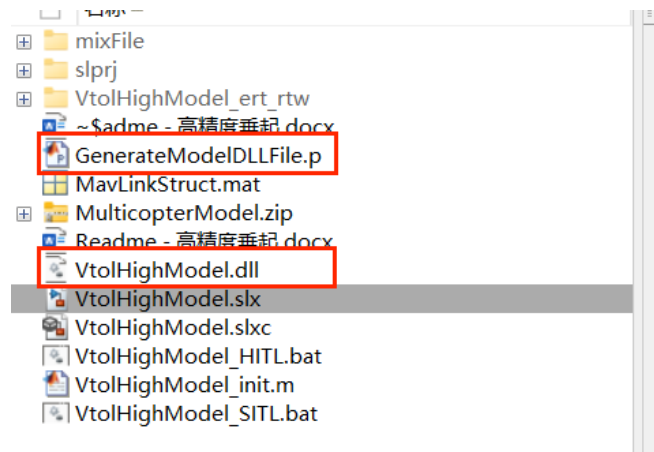
Step 3:

打开“VtolHighModel.slx” Simulink 文件，点击“Build Model”按钮。



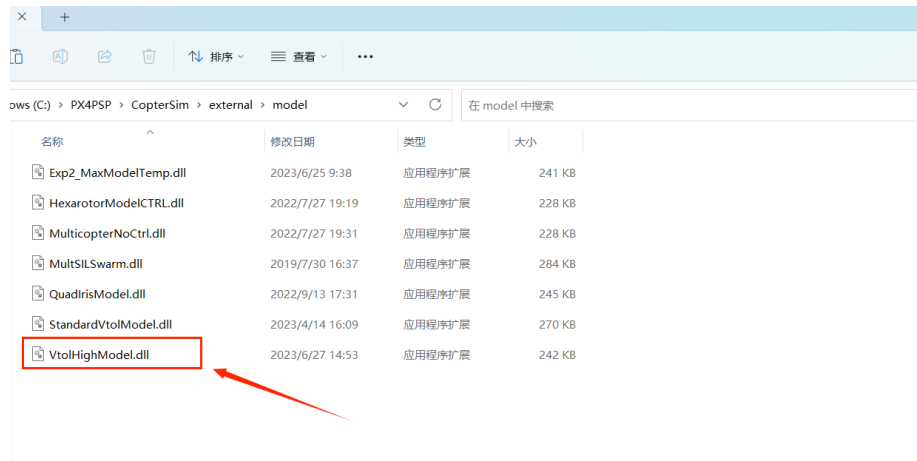
Step 4:

代码生成完毕后，在 Matlab 中右键“GenerateModelDLLFile.p”文件，点击运行，生成 DLL 文件。



Step 5:

将上一步生成的 DLL 文件复制到 C:\PX4PSP\CopterSim\external\model 文件夹中。



6.2. 软件在环仿真

Step 1:

将 mixfile 文件夹下 standard_vtol_sitl.main.mix 文件复制到 C:\PX4PSP\Firmware\ROMFS\px4fmu_common\mixers-sitl 路径下。

Step 2:

删除 C:\PX4PSP\Firmware 下面的 build 文件夹（主要是 C:\PX4PSP\Firmware\build\px4_sitl_default 目录），来清空旧的编译信息（重要！不删除会报错）

Step 3:

确认 SITL 启动脚本 VtolHighModel_SITL.bat 的 DLLModel 和 PX4SITLFrame 项目设置正确，如下图所示

```

19
20 REM Set use DLL model name or not, use number index or
21 REM This option is useful for simulation with other typ
22 set DLLModel=VtolHighModel DLL模型名字
23
24 REM Check if DLLModel is a name string, if yes, copy th
25 SET /A DLLModelVal=DLLModel
26 if %DLLModelVal% NEQ %DLLModel% (
27     REM Copy the latest dll file to CopterSim folder
28     copy /Y "%~dp0"%DLLModel%.dll %PSP_PATH%\CopterSim
29 )
30
31 REM Set the simulation mode on CopterSim, use number in
32 REM e.g., SimMode=2 equals to SimMode=PX4_SITL_RFLY
33 set SimMode=2
34
35 REM Set the vehicle-model (airframe) of PX4 SITL simula
36 REM Check folder Firmware\ROMFS\px4fmu_common\init.d-po
37 REM E.g., fixed-wing aircraft: PX4SITLFrame=plane; smal
38 set PX4SITLFrame=standard_vtol PX4机架名字
39

```

Step 4:

双击 VTOL_High 文件夹中“VtolHighModel_SITL.bat”批处理文件，在弹出的终端窗口中输入 1，启动一架垂直起降飞机的软件在环仿真。等待编译完成，不报错，且 CopterSim 能正确 3D Fixed 说明配置正确。

名称	修改日期	类型	大小
mixFile	2023/6/25 10:10	文件夹	
slprj	2023/6/27 14:51	文件夹	
VtolHighModel_ert_rtw	2023/6/27 14:51	文件夹	
GenerateModelDLLFile.p	2022/7/27 22:06	MATLAB P-code	5 KB
MavLinkStruct.mat	2019/6/27 16:28	MATLAB Data	5 KB
MulticopterModel.zip	2023/6/27 14:51	压缩(zipped)文件...	114 KB
Readme - 高精度垂起.docx	2023/6/27 14:57	Microsoft Word ...	11,984 KB
VtolHighModel.dll	2023/6/27 14:53	应用程序扩展	242 KB
VtolHighModel.slx	2022/10/23 12:45	Simulink Model	119 KB
VtolHighModel.slxc	2022/11/16 16:19	Simulink Cache	348 KB
VtolHighModel_HITL.bat	2022/8/29 17:22	Windows 批处理...	6 KB
VtolHighModel_init.m	2022/8/24 12:02	MATLAB Code	8 KB
VtolHighModel_SITL.bat	2022/8/24 10:06	Windows 批处理...	6 KB

Step 5:

等待 CopterSim 中显示连接上 UE4。



机架类型

四旋翼

整机质量

1.5 kg

机架轴距

450 mm

飞行海拔

50 m

品牌型号

自定义设计





电机品牌:

DJI (大疆)

型号:

2312 KV960



螺旋桨品牌:

APC

型号:

10x4.5MR



电调品牌:

Hobbywing (好盈)

型号:

XRotor 20A



电池品牌:

ACE (裕氏电池)

型号:

LiPo 3S-11.1V-25C-550mAh

机型数据库:

计算

模型参数

加入模型库

删除当前机型

本机ID:

1

UDP 端口:

20100

使用DLL模型文件:

VtolHighModel

仿真模式:

FX4_SITL_RFLY

三维显示场景:

OldFactory

联机

飞机起点位置:

x: -250

y: -119

yaw: 0

飞控选择:

UDP Mode

Mavlink_Full

开始仿真

停止仿真

重新仿真

```

FX4: Estimating GPS fix for position correction...
FX4: EKF2 Estimator start initializing...
FX4: Found firmware version: 1.12.3dev
FX4: Command ID: 512 ACCEPTED
FX4: Command ID: 512 ACCEPTED
FX4: Command ID: 512 ACCEPTED
FX4: GPS 3D fixed & EKF initialization finished.
FX4: Enter Auto Loiter Mode!

```

X -249.996

Y -119

Z -0.07

Vx 0

Vy 0

Vz 0

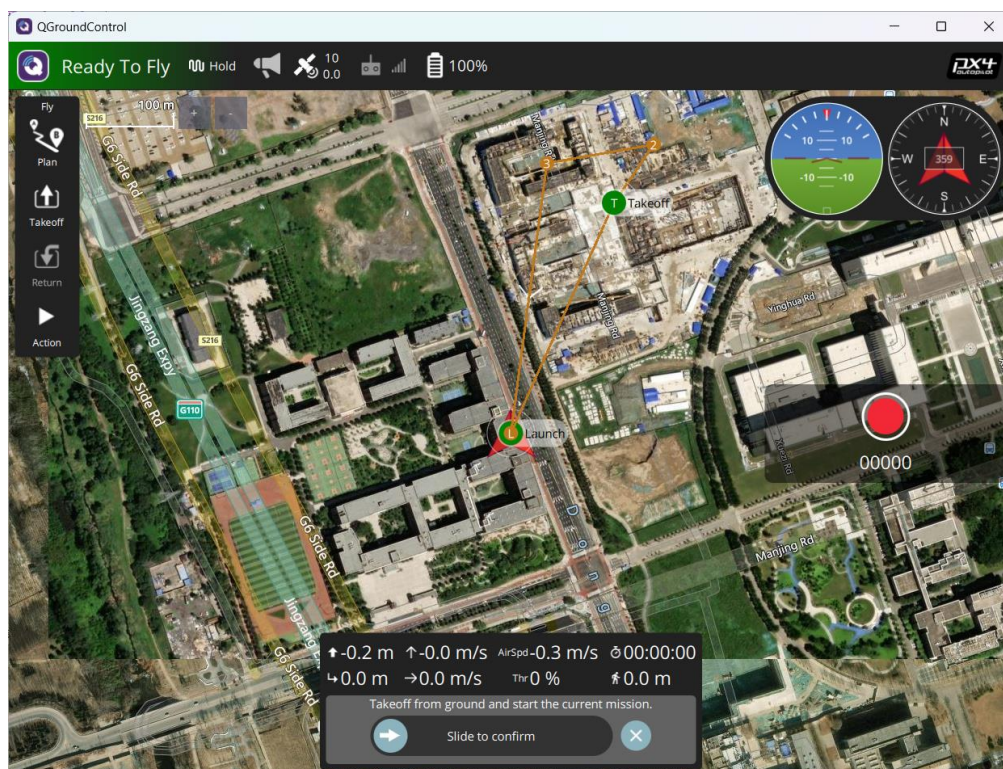
φ 0

θ 0

ψ 0

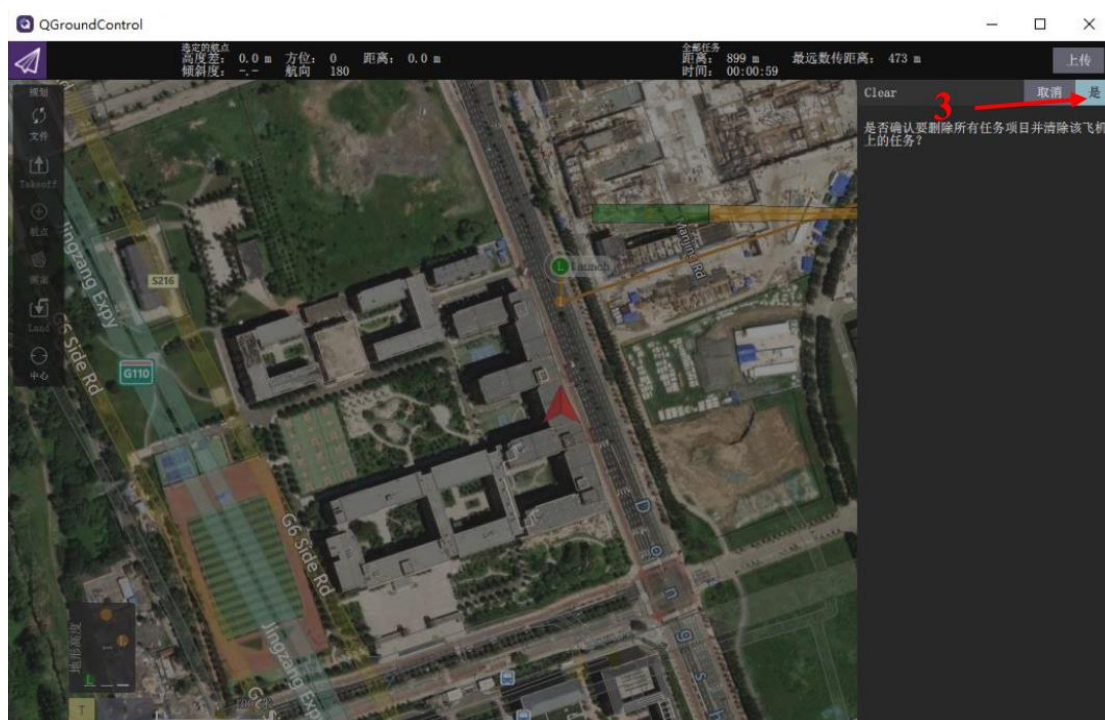
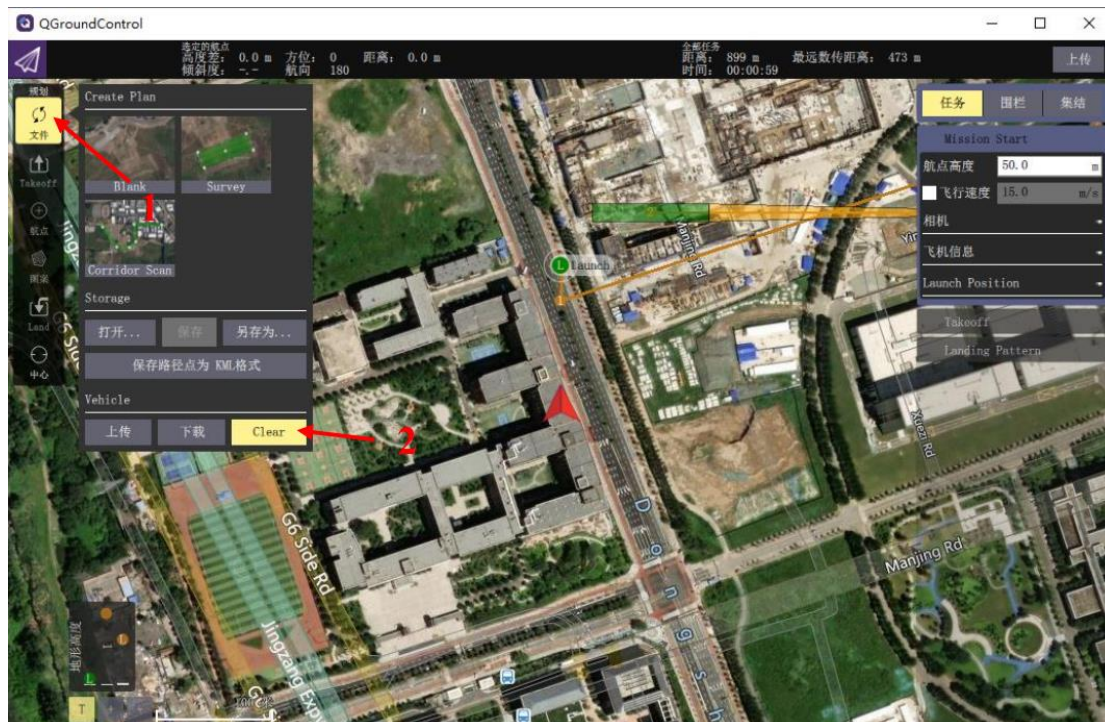
Step 6:

在 QGC 中进入航路设置页面。



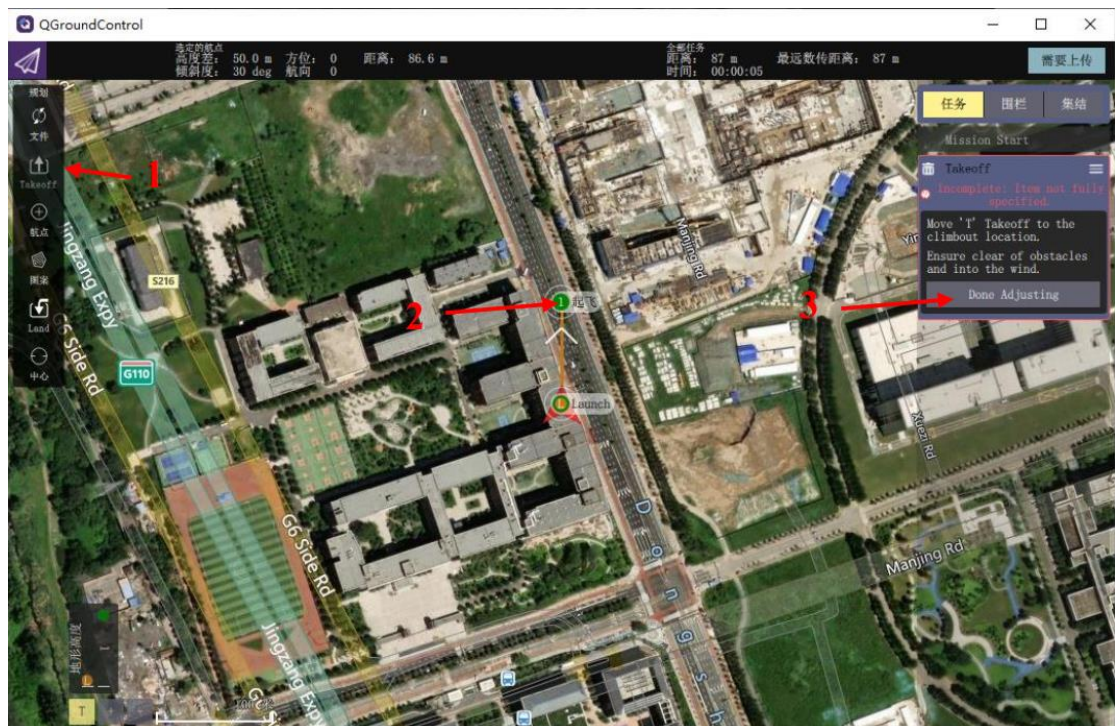
Step 7:

若已存在航路，则先点击文件按钮，之后点击 **clear** 按钮清除航路，在弹出界面选择“是”。



Step 8:

点击“takeoff”按钮，可拖动绿色“起飞”点来设置起飞位置，之后点击右侧“Done Adjusting”按钮。



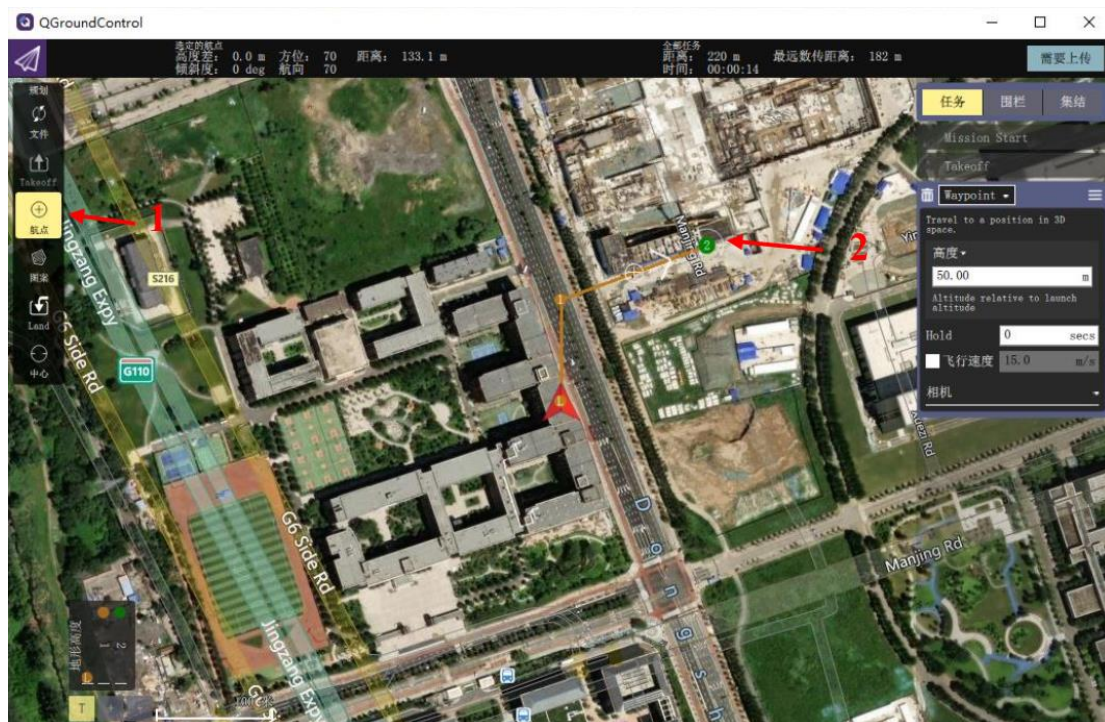
Step 9:

可设置起飞高度和速度，本例中采用默认值。



Step 10:

点击“航点”按钮，之后在地图上点击任意位置可设置航点，同上一步可设置高度和速度（航点可设置多个，本例中只设置一个）。



Step 11:

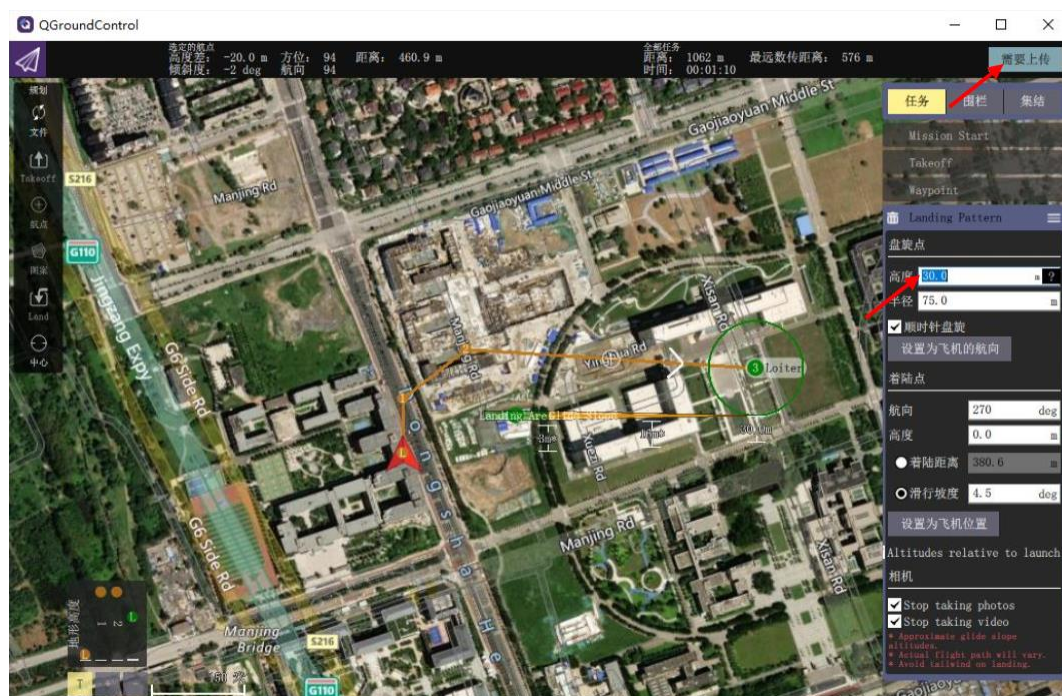
点击“land”按钮，并在地图上点击位置设置降落点，拖动绿色“Loiter”图标可更改盘旋位置，之后点击右侧“Done Adjusting”。



Step 12:

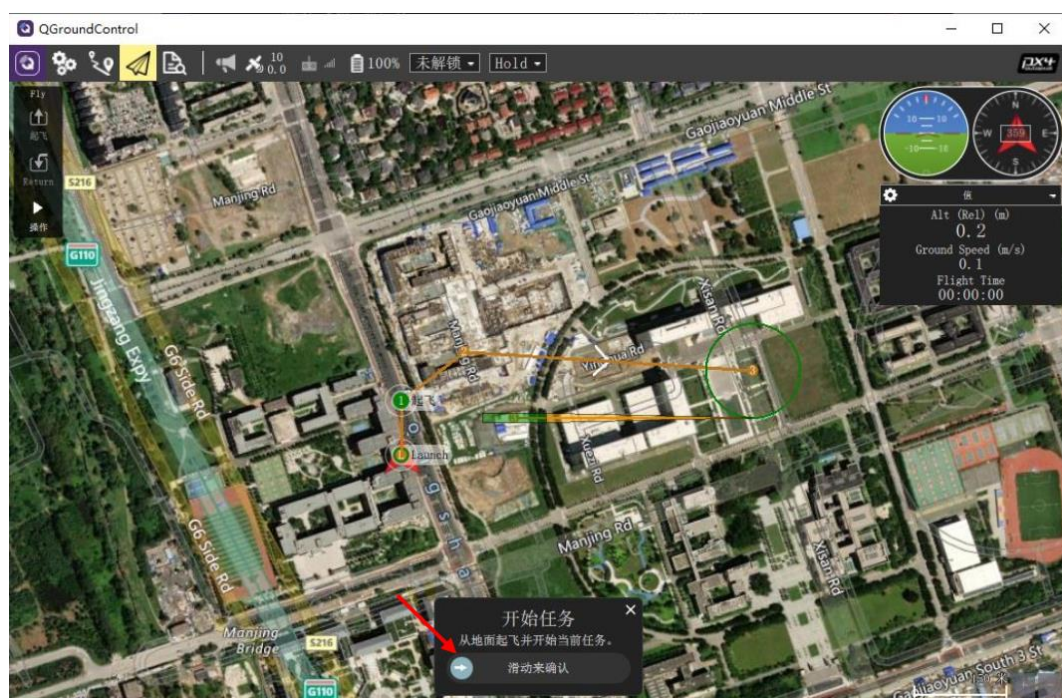
之后可设置降落高度等其他参数，本例中设置降落高度为 30m，之后点击“需要上传”

按钮上传航路。



Step 13:

返回初始界面后，滑动下方滑块开始执行任务。



Step 14:

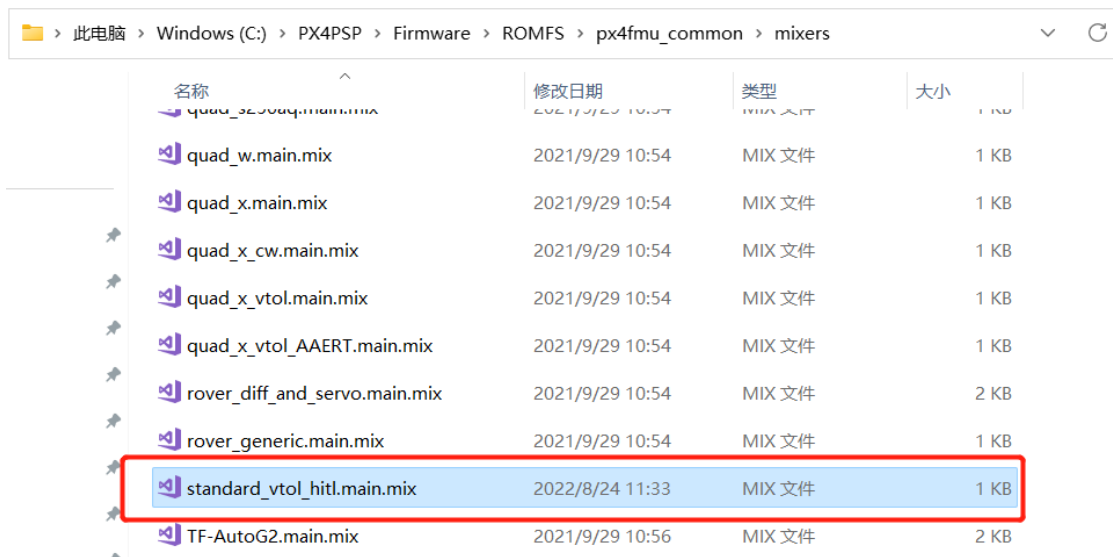
在 UE4 中观察是否正常飞行。



6.3. 硬件在环仿真

Step 1:

将 mixfile 文件夹下 standard_vtol_hitl.main.mix 文件复制到 C:\PX4PSP\Firmware\ROMFS\S\px4fmu_common\mixers 路径下。



Step 2:

需要将本修改后的源码编译成固件，并上传到期望的飞控板中。设使用的 Pixhawk 4 飞控，对应的是 px4_fmu-v5_default。（v6c 同理）首先，删除 C:\PX4PSP\Firmware 下面的 build 文件夹，来清空旧的编译信息（重要，不删除会导致编译失败）。然后，点击桌面 RflyTools 文件夹中，Win10WSL 快捷方式，来打开编译环境。

桌面 > RflyTools					在 RflyTo
	名称	修改日期	类型	大小	
	3DDisplay	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	CopterSim	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	FlightGear-F450	2023/6/29 10:59	快捷方式	2 KB	
	HITLRun	2023/6/29 10:59	快捷方式	2 KB	
	PPTs	2023/6/29 10:44	快捷方式	1 KB	
	Python38Env	2023/6/29 10:59	快捷方式	2 KB	
	QGroundControl	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	RflySim3D	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	RflySimAPIs	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	RflySimUE5	2023/6/29 10:59	快捷方式	1 KB	
	SITLRun	2023/6/29 10:59	快捷方式	2 KB	
	Win10WSL	2023/6/29 10:59	快捷方式	2 KB	

Step 3:

将所有飞控拔出电脑，并输入如下指令

```
./BkFile/EnvOri.sh
```

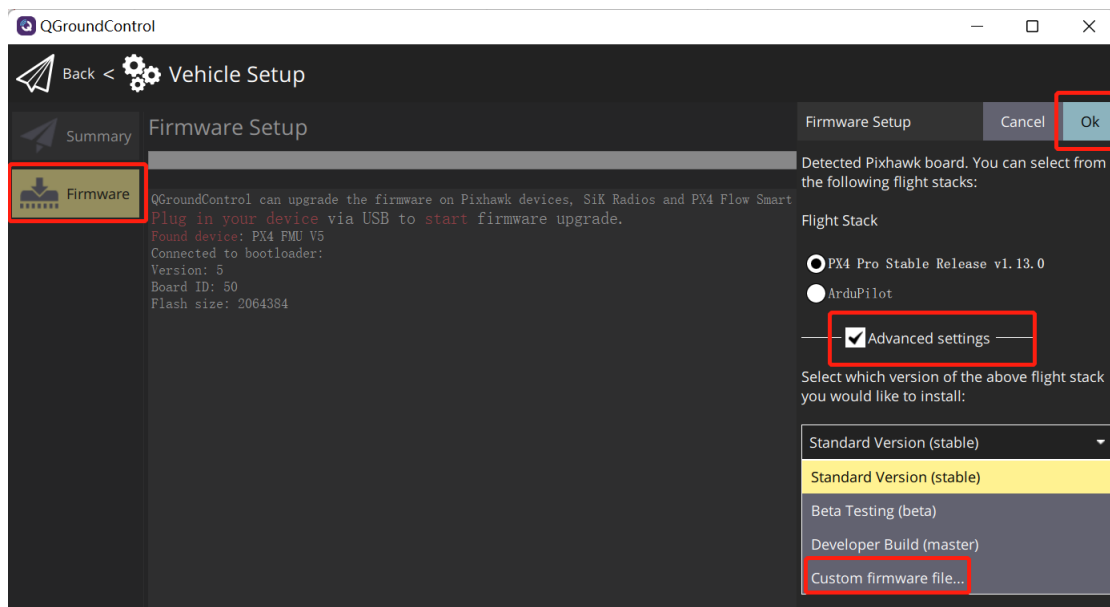
```
make px4_fmu-v5_default
```

得到的固件位置为 C:\PX4PSP\Firmware\build\px4_fmu-v5_default\ px4_fmu-v5_default.px4。

```
root@叶颖鑫: /mnt/c/PX4PSP × + v
root@叶颖鑫:/mnt/c/PX4PSP/Firmware# ./BkFile/EnvOri.sh
root@叶颖鑫:/mnt/c/PX4PSP/Firmware# make px4_fmu-v5_default|
```

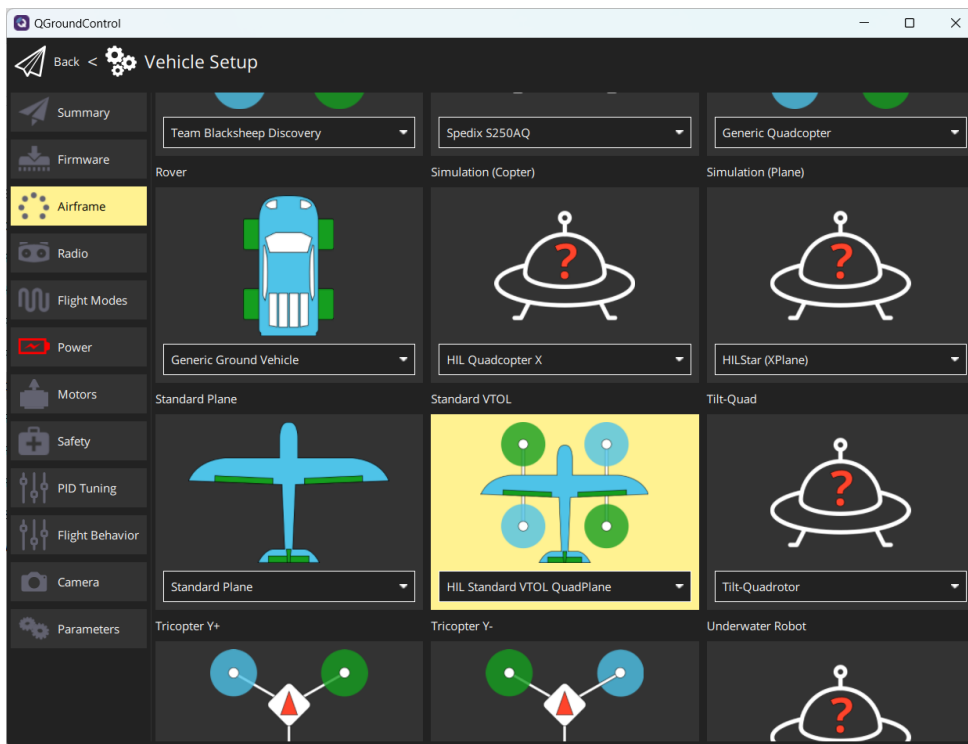
Step 4:

按下图所示将飞控与计算机链接，使用 QGC 手动烧录固件模式，选择固件文件，烧入飞控

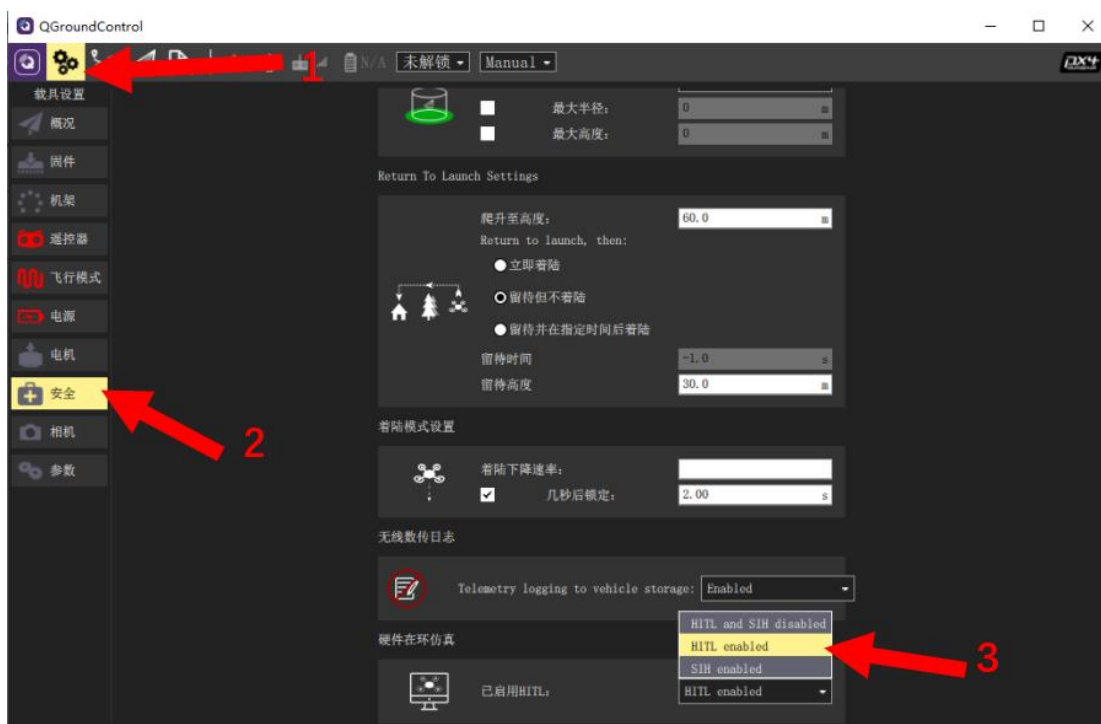


Step 5:

进入 Vehicle Setup 页面，在机架界面设置机架型号为 “HILStandard VTOL QuadPlane”，设置完毕后点击右侧“应用并重启”。



在“安全”界面，选择“HITL enabled”启动硬件在环仿真，之后重新插拔飞控完成设置。



Step 6:

打开 VTOL_High 文件夹，双击“VtolHighModel_HITL.bat”批处理文件，在弹出的终端窗口中输入串口号，启动一架飞机的硬件在环仿真。

名称	修改日期	类型	大小
mixFile	2023/6/25 10:10	文件夹	
slprj	2023/6/27 14:51	文件夹	
VtolHighModel_ert_rtw	2023/6/27 14:51	文件夹	
GenerateModelDLLFile.p	2022/7/27 22:06	MATLAB P-code	5 KB
MavLinkStruct.mat	2019/6/27 16:28	MATLAB Data	5 KB
MulticopterModel.zip	2023/6/27 14:51	压缩(zipped)文件...	114 KB
Readme - 高精度垂起.docx	2023/6/27 15:19	Microsoft Word ...	12,966 KB
VtolHighModel.dll	2023/6/27 14:53	应用程序扩展	242 KB
VtolHighModel.slx	2022/10/23 12:45	Simulink Model	119 KB
VtolHighModel.slxc	2022/11/16 16:19	Simulink Cache	348 KB
VtolHighModel_HITL.bat	2022/8/29 17:22	Windows 批处理...	6 KB
VtolHighModel_init.m	2022/8/24 12:02	MATLAB Code	8 KB
VtolHighModel_SITL.bat	2022/8/24 10:06	Windows 批处理...	6 KB

```
C:\Windows\system32\cmd.e  X  +  v
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

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

Recommended COM list input is: 3,4,5

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

Step 7:

之后测试步骤与软件在环的 Step5 到 Step14 相同。

注意事项：高精度垂起飞机有如下特点：

- 1) 在 VtolHighModel.slx 中力和力矩模块中同时有着旋翼与垂直起降飞机的气动模型，在起飞阶段以旋翼方式起飞飞行，后续在 QGC 中切换至垂直起降飞机模型前飞。
- 2) 在 VtolHighModel.slx 中用 inCopterData 端口发送切换飞行状态的指令。

7. 参考文献

[1]. 无。

[2].

8. 常见问题

Q1: ****

A1: ****
