

- 1.实验名称及目的
 - 1.1 实验名称
 - 1.2 实验目的
 - 1.3 关键知识点
 - 关键知识点1: 固定翼无人机动力学建模
 - 关键知识点2: 气动参数识别与计算
 - 关键知识点3: 控制系统设计
 - 关键知识点4; 电机与螺旋桨模型
 - 关键知识点5: 滚转角和偏航角变化趋势
- 2.实验效果
- 3.文件目录
- 4.运行环境
 - 4.1 软件要求
 - 4.2 硬件要求
- 5.实验步骤
 - 5.1 步骤1: 观察并记录升降舵偏转对于俯仰姿态和高度的影响
 - 5.2 步骤2: 观测并记录滚转和偏航对于副翼偏转的响应
 - 5.3 步骤3: 观测并记录滚转和偏航对于方向舵偏转的响应
 - 5.4 步骤4: 观测高度和速度对于螺旋桨推力的响应
 - 5.5 步骤5:观测横向通道内相关气动系数变化
- 6.参考资料
- 7.常见问题
 - Q1: Simulink模型无法运行或报错
 - Q2: 仿真结果不稳定或发散
 - Q3: 电机模型输出推力与预期不符

1.实验名称及目的

1.1 实验名称

固定翼无人机飞控设计实验

1.2 实验目的

本实验旨在通过对固定翼无人机的动力学建模和控制系统设计，帮助用户理解固定翼无人机的飞行原理、控制方法和仿真技术。通过本实验，用户将掌握：

- 固定翼无人机六自由度动力学模型的建立方法

- 气动参数的识别与计算过程
- 飞行控制系统的结构与参数调节
- MATLAB/Simulink在飞行器仿真中的应用

1.3 关键知识点

关键知识点1：固定翼无人机动力学建模

固定翼无人机的动力学模型基于牛顿-欧拉方程建立，包括纵向运动（俯仰和速度变化）和横向运动（滚转、偏航和侧向运动）。模型考虑了重力、气动力、推力等多种力和力矩的作用。

关键知识点2：气动参数识别与计算

气动参数是建立精确飞行模型的关键，包括升力系数(C_L)、阻力系数(C_D)、俯仰力矩系数(C_m)等。这些参数通常通过风洞实验、CFD仿真或基于实际飞行数据的参数辨识方法获得。

关键知识点3：控制系统设计

固定翼无人机的控制系统通常包括姿态控制回路和导航控制回路。姿态控制回路负责控制无人机的姿态角（俯仰角、滚转角、偏航角），导航控制回路则实现位置和轨迹跟踪。

关键知识点4：电机与螺旋桨模型

电机和螺旋桨是无人机的动力来源，其性能直接影响无人机的飞行表现。通过实验数据拟合可以获得电机的推力特性，用于仿真和控制设计。

关键知识点5：滚转角和偏航角变化趋势

$$f_{ay} = \frac{1}{2}\rho V_a^2 S (C_{Y_0} + C_{Y_\beta}\beta + C_{Y_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{x_0} + C_{Y_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{z_0} + C_{Y_\delta}\delta_a + C_{Y_\delta}\delta_r)$$

$$m_{ax} = \frac{1}{2}\rho V_a^2 S b (C_{I_0} + C_{I_\beta}\beta + C_{I_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{x_0} + C_{I_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{z_0} + C_{I_\delta}\delta_a + C_{I_\delta}\delta_r)$$

$$m_{az} = \frac{1}{2}\rho V_a^2 S b (C_{I_0} + C_{I_\beta}\beta + C_{I_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{x_0} + C_{I_\gamma} \frac{b}{2V_a}\omega_{z_0} + C_{I_\delta}\delta_a + C_{I_\delta}\delta_r)$$

当副翼负向偏转时，对应式中 m_{ax} 的 $C_{I_{\delta a}}\delta_a$ 与 $C_{I_\beta}\beta$ 起显著作用，且 $C_{I_\beta}\beta$ 绝对值较大。

同时，对应式中 m_{ax} 的 $C_{I_{\delta a}}\delta_a$ 与 $C_{I_\beta}\beta$ 起显著作用，且 $C_{I_\beta}\beta$ 绝对值较大。其中 $C_{I_{\delta a}}\delta_a$ 和 $C_{I_{\delta a}}\delta_a$ 是由副翼的偏转引起的，而 $C_{I_\beta}\beta$ 和 $C_{I_\beta}\beta$ 是由侧滑角引起的。侧滑角对气动力矩的影响起到主导作用，并且副翼相关系数在气动力矩变化中起到的作用仅次于侧滑角的相关系数。

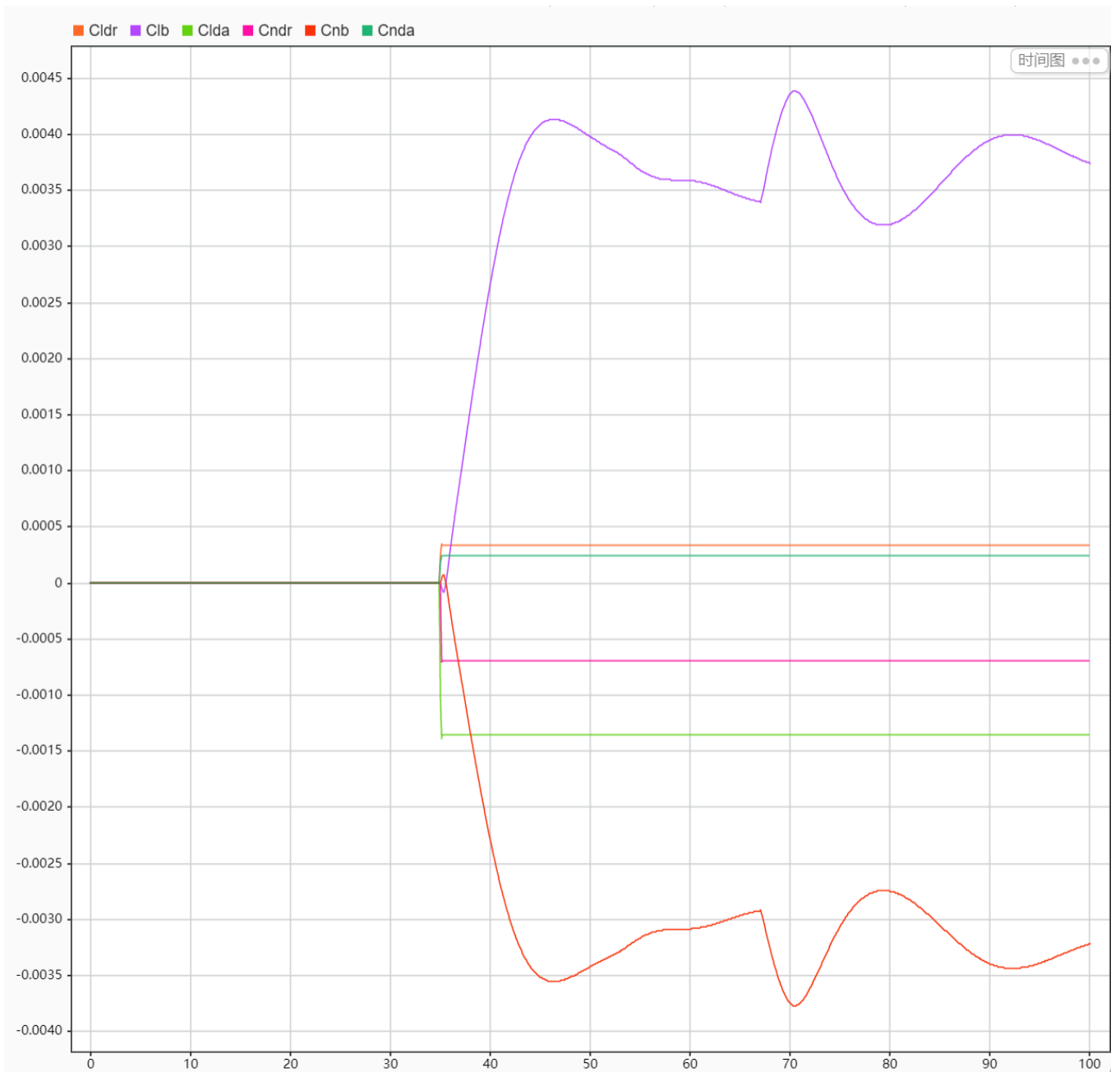
当方向舵正向偏转时，对应式中 m_{ax} 的 $C_{I_{\delta r}} \delta_r$ 与 $C_{I_{\beta}} \beta$ 起显著作用，且 $C_{I_{\beta}} \beta$ 绝对值较大。同时，对应式中 m_{ax} 的 $C_{I_{\beta}} \beta$ 与 $C_{I_{\delta r}} \delta_r$ 起显著作用，且 $C_{I_{\beta}} \beta$ 绝对值较大。其中 $C_{I_{\delta r}} \delta_r$ 和 $C_{I_{\delta r}} \delta_r$ 是由方向舵的偏转引起的，而 $C_{I_{\beta}} \beta$ 和 $C_{I_{\delta r}} \beta$ 是由侧滑角引起的，侧滑角对气动力矩的影响起到主导作用。

更多详细实验原理可见:全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦.微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践。北京, 2025

2. 实验效果

通过本实验，可以观察到固定翼无人机在不同控制输入下的响应特性：

1. 升降舵偏转对俯仰姿态和高度的影响
2. 副翼偏转对滚转和偏航角的影响
3. 方向舵偏转对偏航和滚转角的影响
4. 螺旋桨推力对速度和高度的影响
5. 横向通道内滚转角和偏航角变化趋势产生的原因



3.文件目录

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\10-FixedWingCtrl\code_4\2-1](#)

4.运行环境

4.1 软件要求

Windows 10及以上版本；RflySim工具链；MATLAB2022B以上版本。

4.2 硬件要求

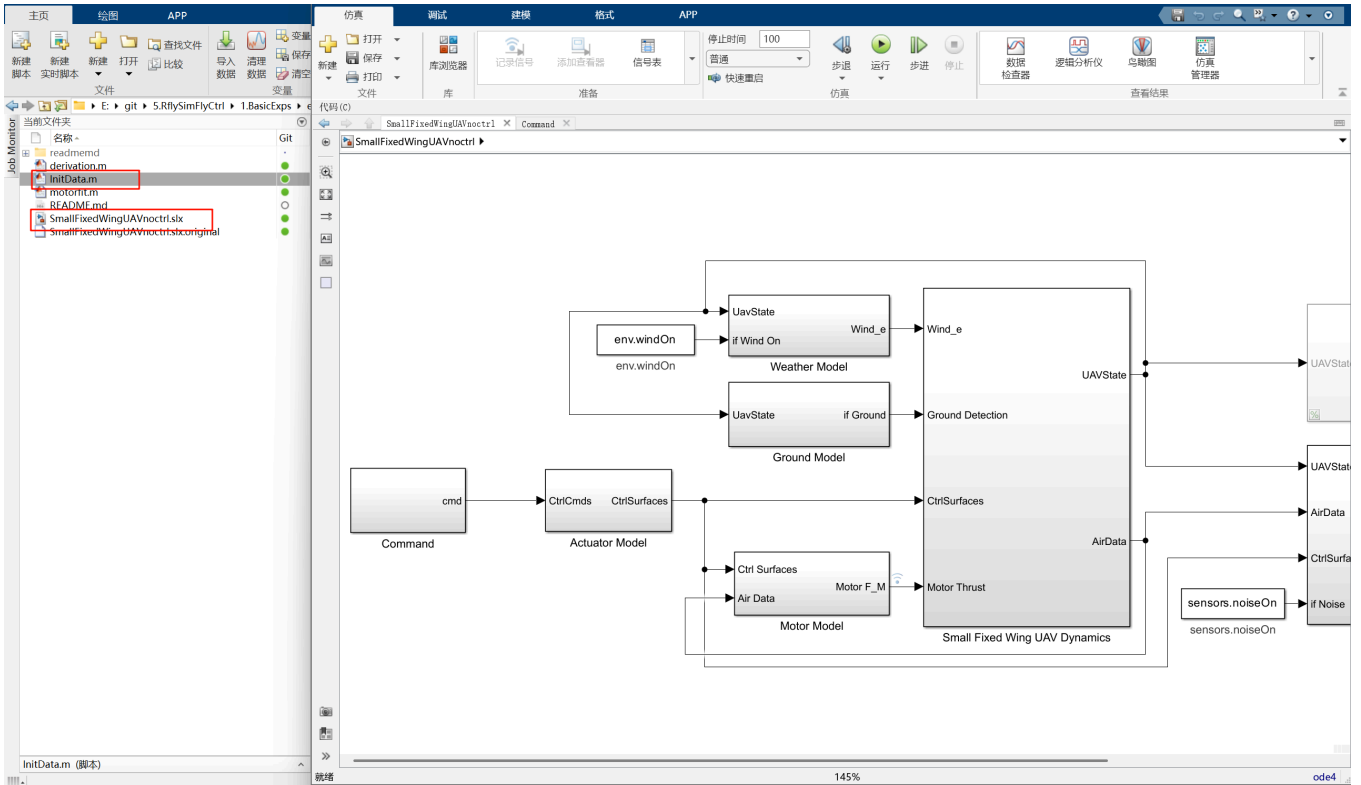
笔记本/台式电脑1台

①：推荐配置请见：<https://rflysim.com/>

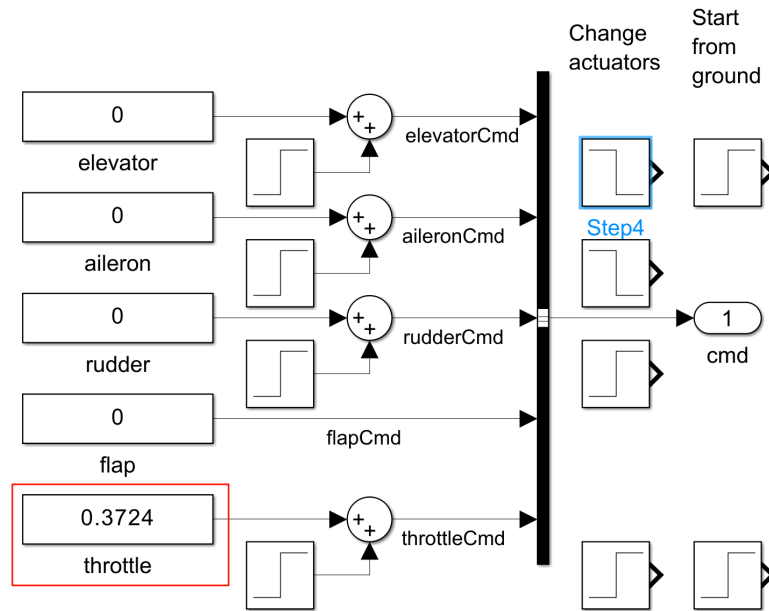
5. 实验步骤

5.1 步骤1：观察并记录升降舵偏转对于俯仰姿态和高度的影响

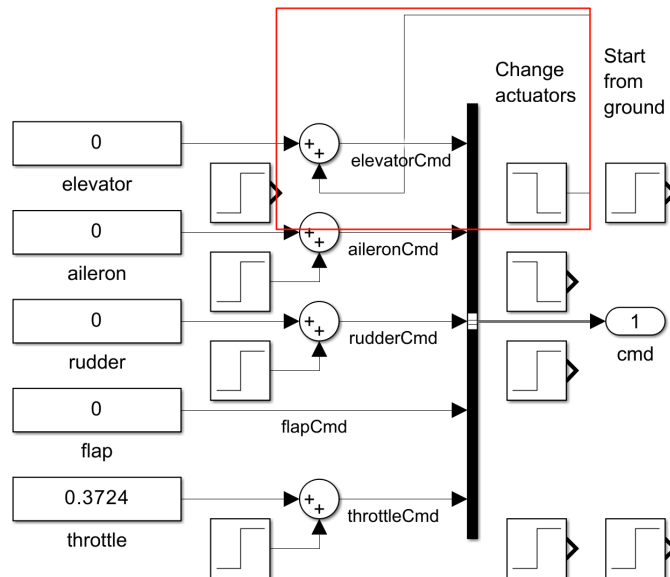
1. 打开InitData.m文件，运行该初始化文件。然后打开"SmallFixedWingUAVnoctrl.slx"仿真模型。



2. 双击打开模型最左侧"command"指令模块，除油门量之外操纵指令默认均为0，即处于中立平衡位置，其中油门量默认为37.24%。



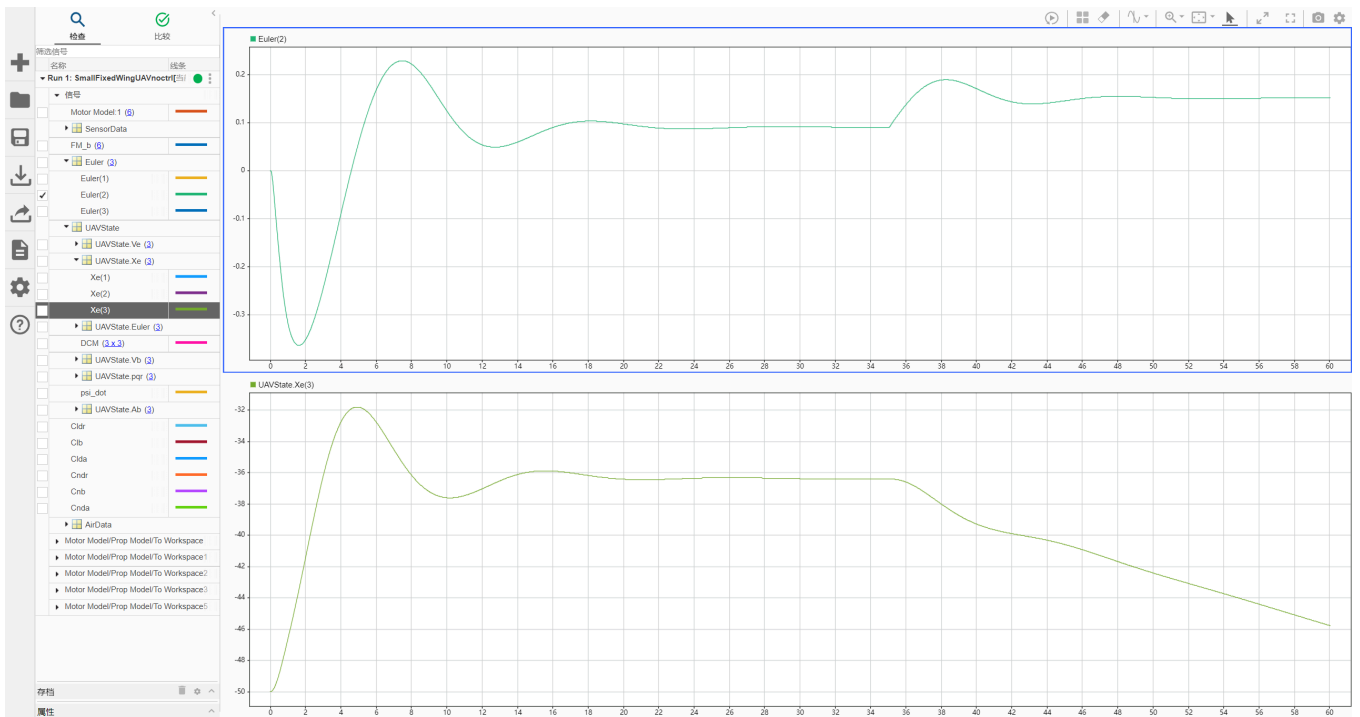
3. 每个操纵指令右侧对应的"change actuators"下的阶跃信号为控制指令。使用时将左侧阶跃信号输出与加法器断开，并将加法器与右侧"change actuators"下的对应阶跃信号连接。



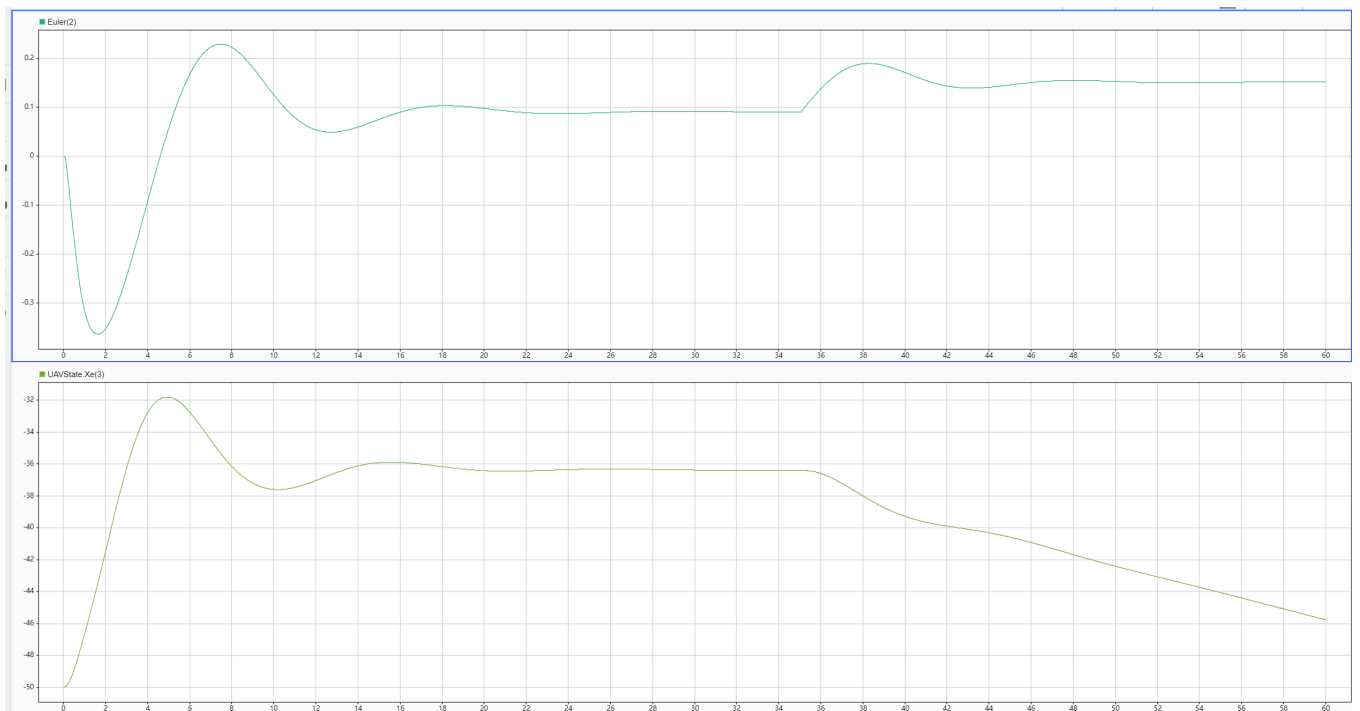
4. 运行"SmallFixedWingUAVnoctrl.slx"程序，点击Simulink上方工具栏中"Run"。



5. 运行结束后，点击工具栏中的"数据检查器"。在"数据检查器"界面左侧可以找到相关状态信号，其中点击展开"Eular"出现欧拉角（依次是滚转角、俯仰角和偏航角）；点击展开"SensorData"中"airspeed"为速度，"gps_h"为高度。

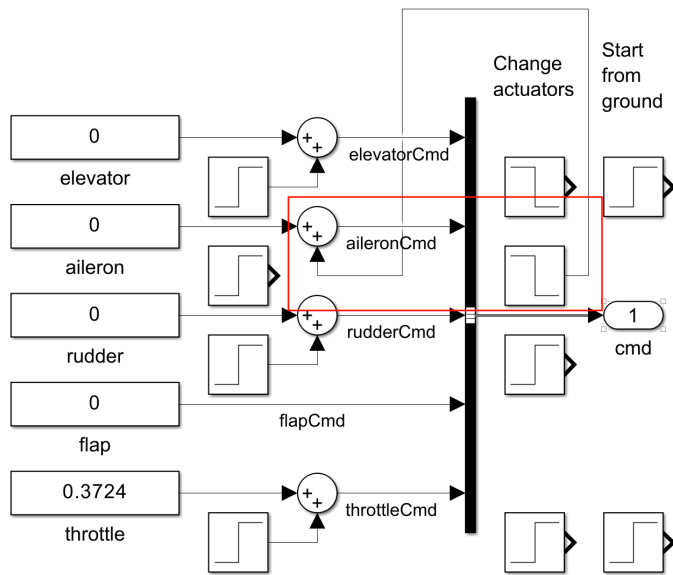


6. 观测仿真数据并输出响应曲线。无人机在开始仿真20秒后达到平飞状态，观察升降舵偏转响应。在35秒升降舵负向偏转0.04rad时，无人机俯仰角正向增大即抬头。随着俯仰角增大，无人机高度上升。



5.2 步骤2：观测并记录滚转和偏航对于副翼偏转的响应

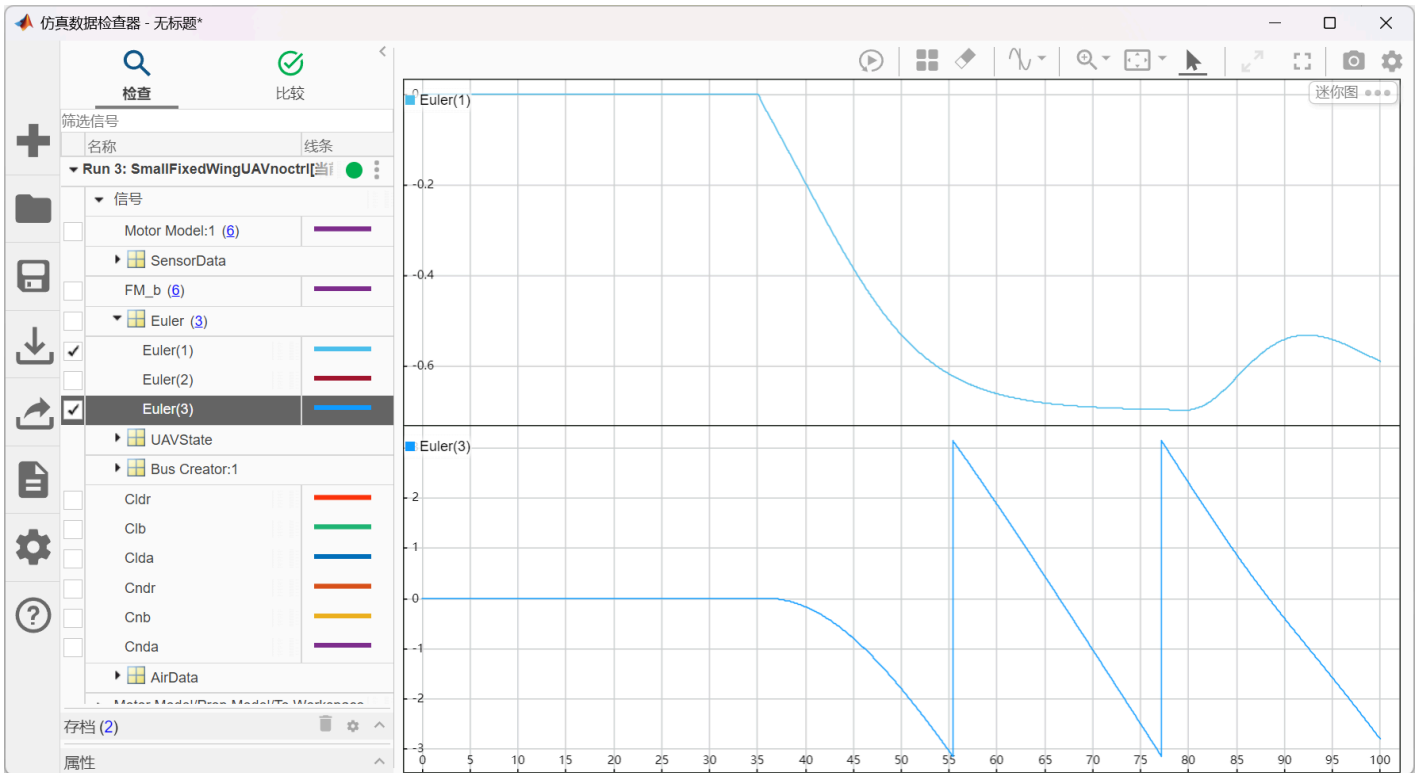
1. 重复5.1中的操作步骤1-2，将"command"指令模块中，副翼"aileron"右侧对应的阶跃信号发生器与加法器连接。



2. 运行仿真并观测数据输出响应曲线。

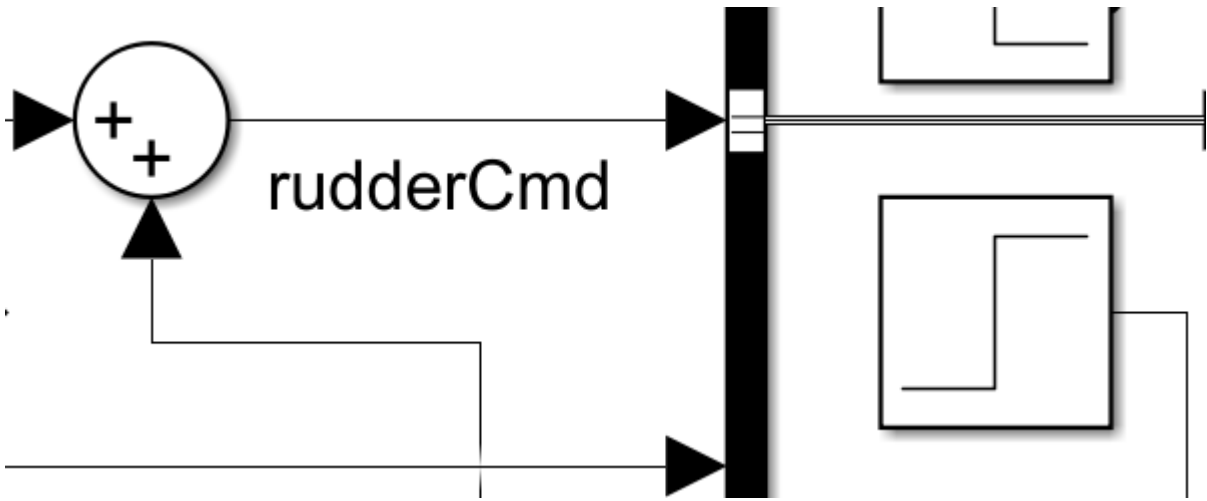


3. 当副翼负向偏转 0.02rad 时，无人机会负向滚转，同时副翼也对无人机的偏航角产生影响，使无人机负向偏航。



5.3 步骤3：观测并记录滚转和偏航对于方向舵偏转的响应

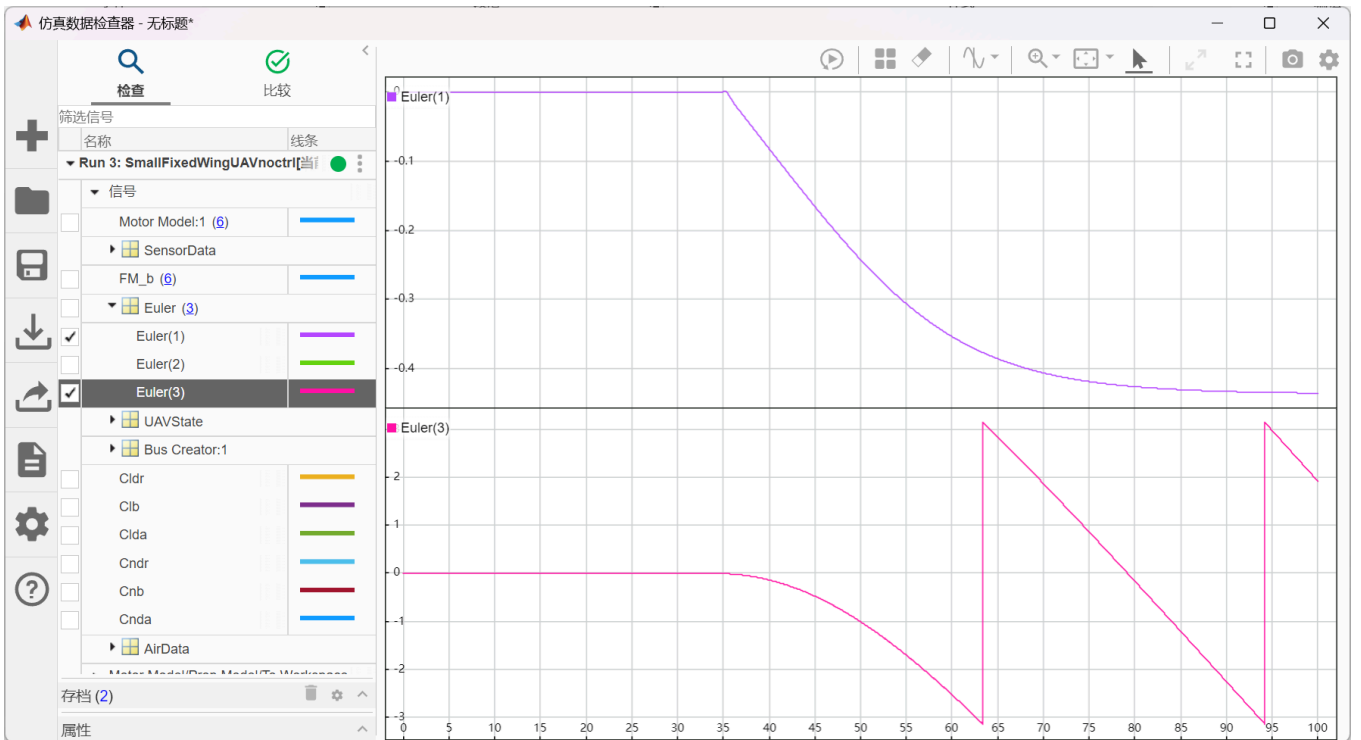
1. 重复5.1中的操作步骤1-2，将"command"指令模块中，方向舵"rudder"右侧对应的阶跃信号发生器与加法器连接。



2. 运行仿真并观测数据输出响应曲线。

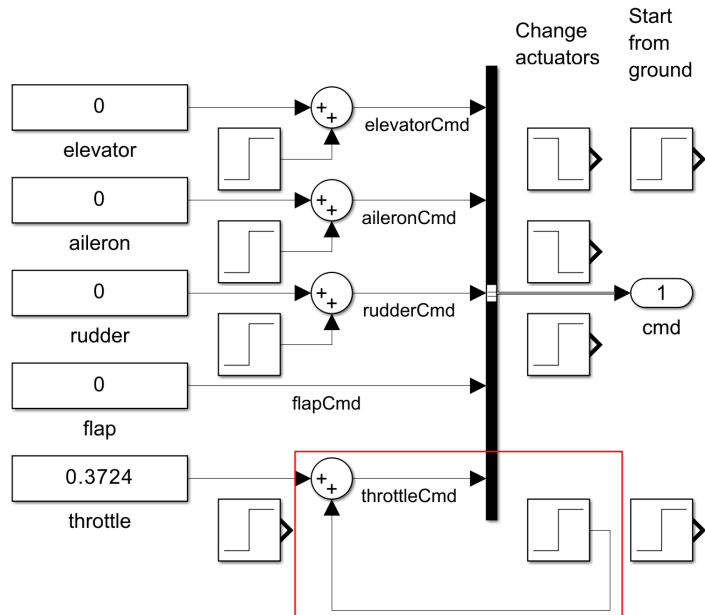


3. 当方向舵正向偏转 0.02rad 时，无人机会负向偏航，同时方向舵也对无人机的滚转角产生影响，使无人机负向滚转。

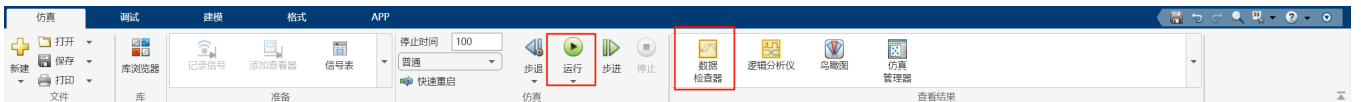


5.4 步骤4：观测高度和速度对于螺旋桨推力的响应

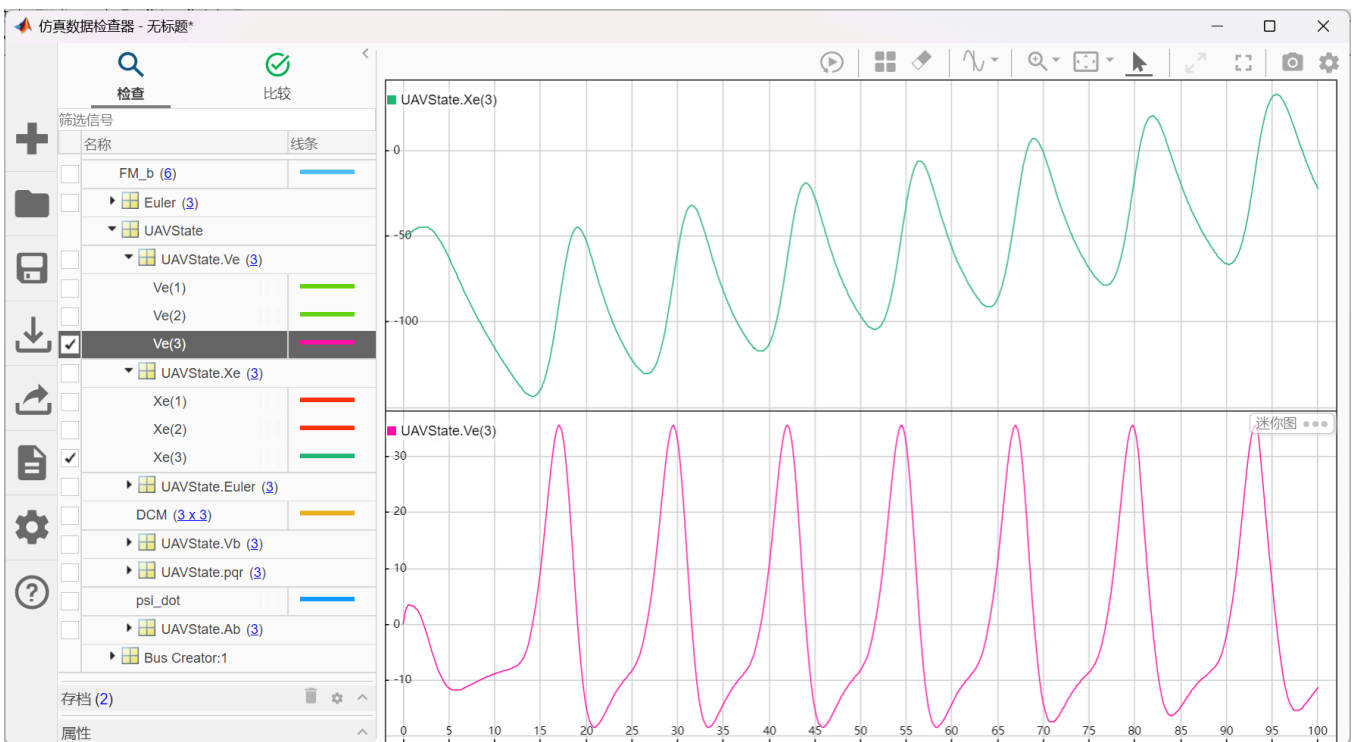
1. 重复5.1中的操作步骤1-2，将"command"指令模块中，螺旋桨推力油门量"throttle"右侧对应的阶跃信号发生器与加法器连接并且当油门增大至50%。



2. 运行仿真并观测数据输出响应曲线。



3. 当油门增大至50%时，无人机速度快速增大，但由于在没有控制情况下存在速度饱和，会出现速度下降情况。由于速度增大，当前产生升力大于重力，无人机高度上升。

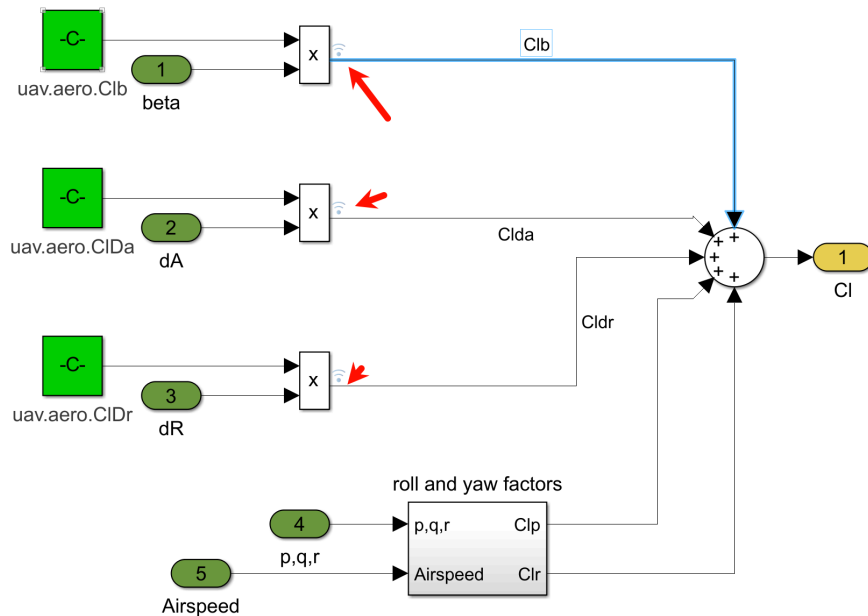


5.5 步骤5:观测横向通道内相关气动系数变化

1. 首先打开文件 `InitData.m`，运行该初始化文件。然后打开 `SmallFixedWingUAVnoctrl.slx`，依次双击进入如下模块："Small Fixed Wing UAV Dynamics"→"Aerodynamic Forces and Moments"→"ComputeBody Frame Forces and Moments"→"Wind frame F & M"→"Lateral Channel"。



2. "Lateral Channel"中包括"Cl"和"Cn"分别为滚转力矩气动参数模块和偏航力矩气动参数模块。以"Cl"模块为例，点击相关参数信号线，选择"记录所选信号"。



3. 将仿真时间增大至100s。



4. 对于副翼和方向舵分别设置阶跃信号输入，运行"SmallFixedWingUAVnoctrl.slx"，并在"数据检查器"中观察记录变化曲线。



6.参考资料

1. 全权,高文瀚,刘润潇,陈鑫泉,戴训华,吕书礼,徐琳,李悦. 微小型固定翼无人机飞行控制设计与实践. 北京, 2025.

7.常见问题

Q1: Simulink模型无法运行或报错

A1: 请检查MATLAB版本是否为2022b或以上, 确认RflySim工具链是否正确安装。如果问题仍然存在, 请检查模型中的模块是否完整, 必要时重新安装RflySim工具链。

Q2：仿真结果不稳定或发散

A2：检查InitData.m中的参数设置是否合理，特别是质量、惯性矩和气动参数。同时检查控制器参数是否适当，过大的控制增益可能导致系统不稳定。

Q3：电机模型输出推力与预期不符

A3：检查motorfit.m中的拟合数据和参数设置。确认输入的螺旋桨转速、电流等参数是否正确，必要时重新进行参数拟合。