

底层飞控开发无人机动态建模和评估实验

1. 实验目的

1. 分析多旋翼总质量、转动惯量矩阵、螺旋桨推力系数、螺旋桨拉力系数对整个多旋翼飞行性能产生的影响；在MATLAB/Simulink上建立完整的多旋翼飞行器模型。在姿态模型方面，可以采用四元数模型、旋转矩阵模型，或者欧拉角模型；在RflySim3D中添加四旋翼的三维模型；
2. 分析多旋翼总质量、转动惯量矩阵、螺旋桨推力系数、螺旋桨拉力系数对整个多旋翼飞行性能产生的影响；
3. 在MATLAB/Simulink上建立完整的多旋翼飞行器模型。在姿态模型方面，可以采用四元数模型、旋转矩阵模型，或者欧拉角模型；在RflySim3D中添加四旋翼的三维模型；

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]，Unreal Engine 4.27.1及以上；3D MAX 2020及以上。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑1台^[2]。

3. 实验地址

例程目录：[\[安装目录\]\RflySimAPIs\5.RflySimFlyCtrl\1.BasicExps\e2-UavModeling](#)

- e2.1：课件基础实验资料
- e2.3：课件设计实验资料
- Init.m：模型初始化参数文件
- MavLinkStruct.mat：MavLink协议数据结构文件
- pixhawk.png：Pixhawk硬件图片
- SupportedVehicleTypes.pdf：机架类型修改说明文件

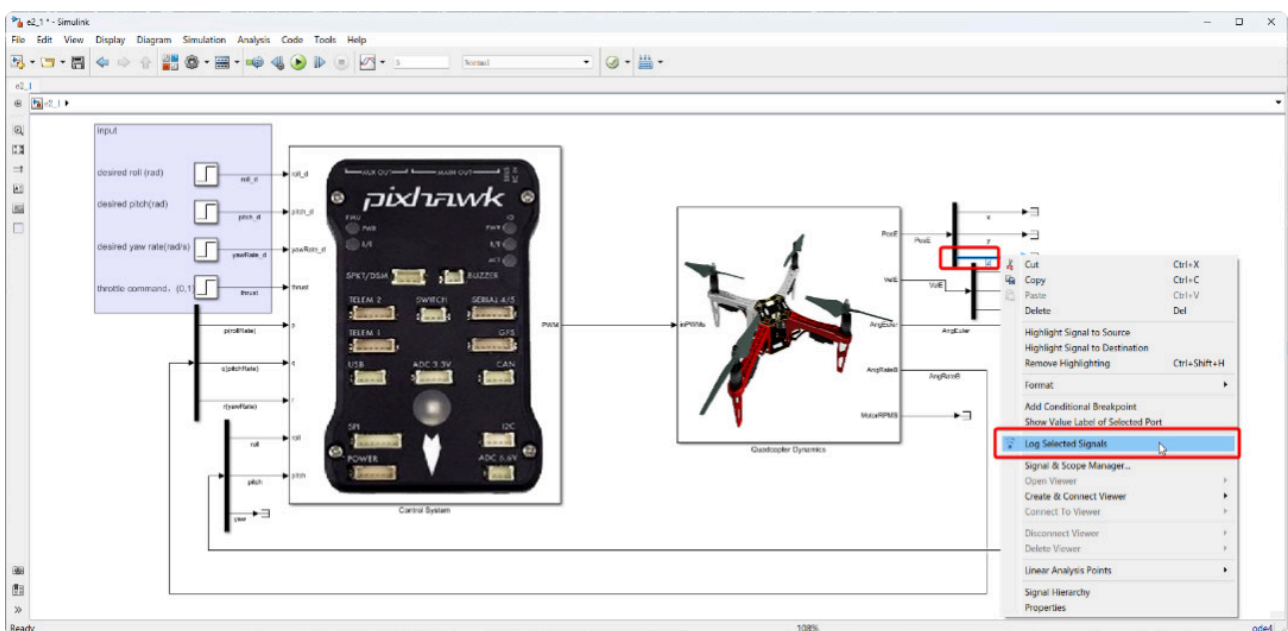
- F450.png: F450机架图片
- e2_1.slx: Simulink仿真模型文件
- Init_control.m: 控制器初始化参数文件
- DroneeyeeX680: UE生成的四旋翼模型文件
- DroneeyeeX680.max: 3D MAX完整四旋翼模型文
- DroneeyeeX680.xml: 完整四旋翼的xml建模文件
- DroneeyeeX680Body.FBX: 四旋翼机体模型通用格式文件
- DroneeyeeX680Body.max: 3D MAX四旋翼机体模型文件
- DroneeyeeX680Prop.FBX: 四旋翼螺旋桨模型通用格式文件
- DroneeyeeX680Prop.max: 3D MAX四旋翼螺旋桨模型文件
- dynamics.slx: Simulink动力学模型文件

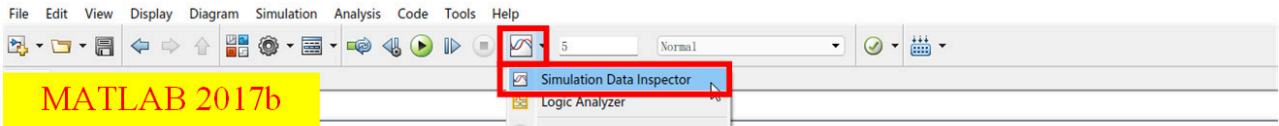
4. 实验内容或步骤

4.1 步骤1：动态建模实验-调参

打开MATLAB软件，在MATLAB中打开Init_control.m文件，点击运行。打开e2_1.slx文件。

在e2_1.slx文件右侧输出的Z方向位置鼠标右击，在弹出的对话框中选择“Log Selected Signals”，即可记录每次仿真结果。



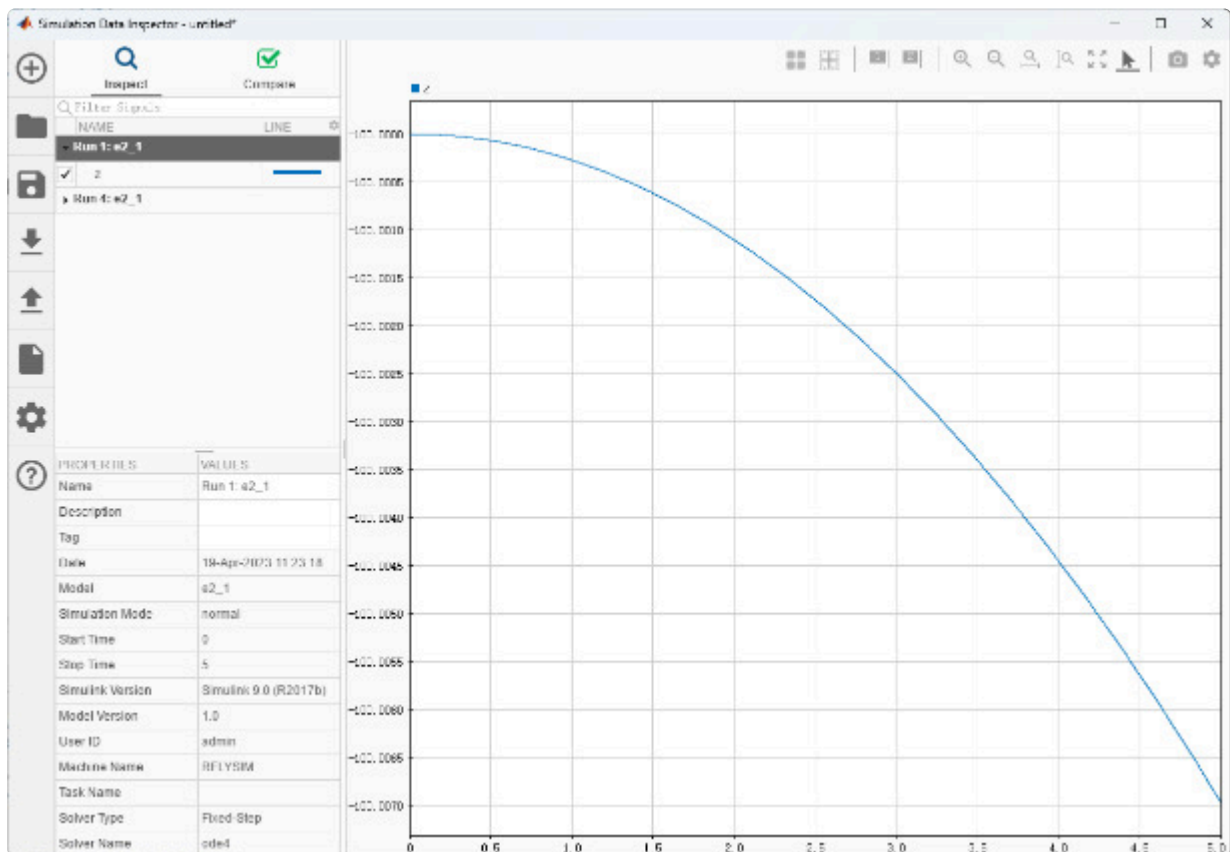
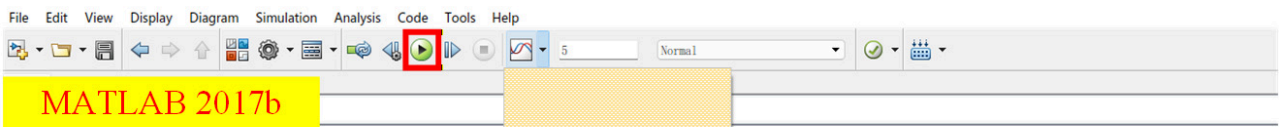


总质量对飞行影响：在Simulink中点击运行，等待运行完成后，点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择保存的数据，右侧即可看到记录的Z方向数据。可看到该数据在基本上稳定在-100的位置，多旋翼处于悬停状态。此时，多旋翼质量和油门比率：

```

1 | ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)
2 | Thrust=0.6085; % Thrust Percentage

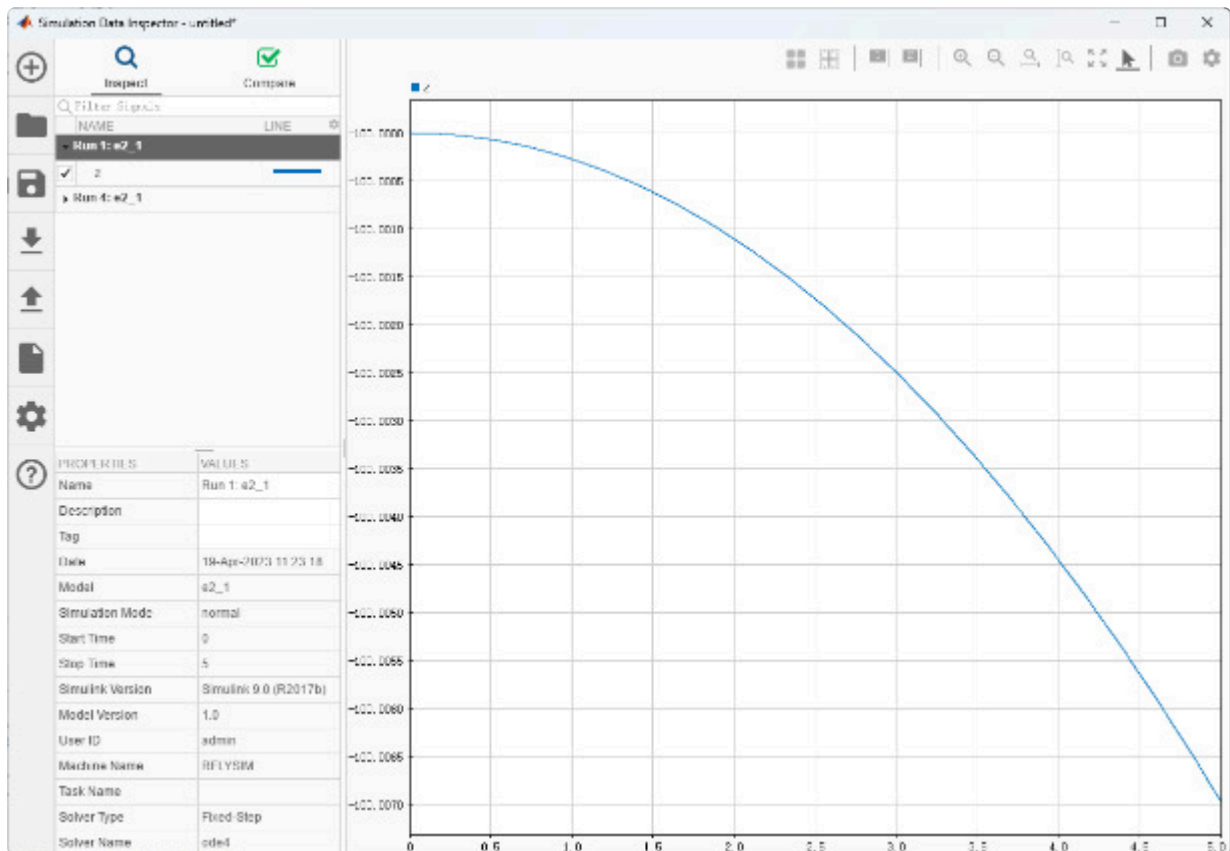
```



****总质量对飞行影响：****在Simulink中点击运行，等待运行完成后，点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择保存的数据，右侧即可看到记录的Z方向数据。可看到该数据在基本上稳定在-100的位置，多旋翼处于悬停状态。此时，多旋翼质量和油门比率：

ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)

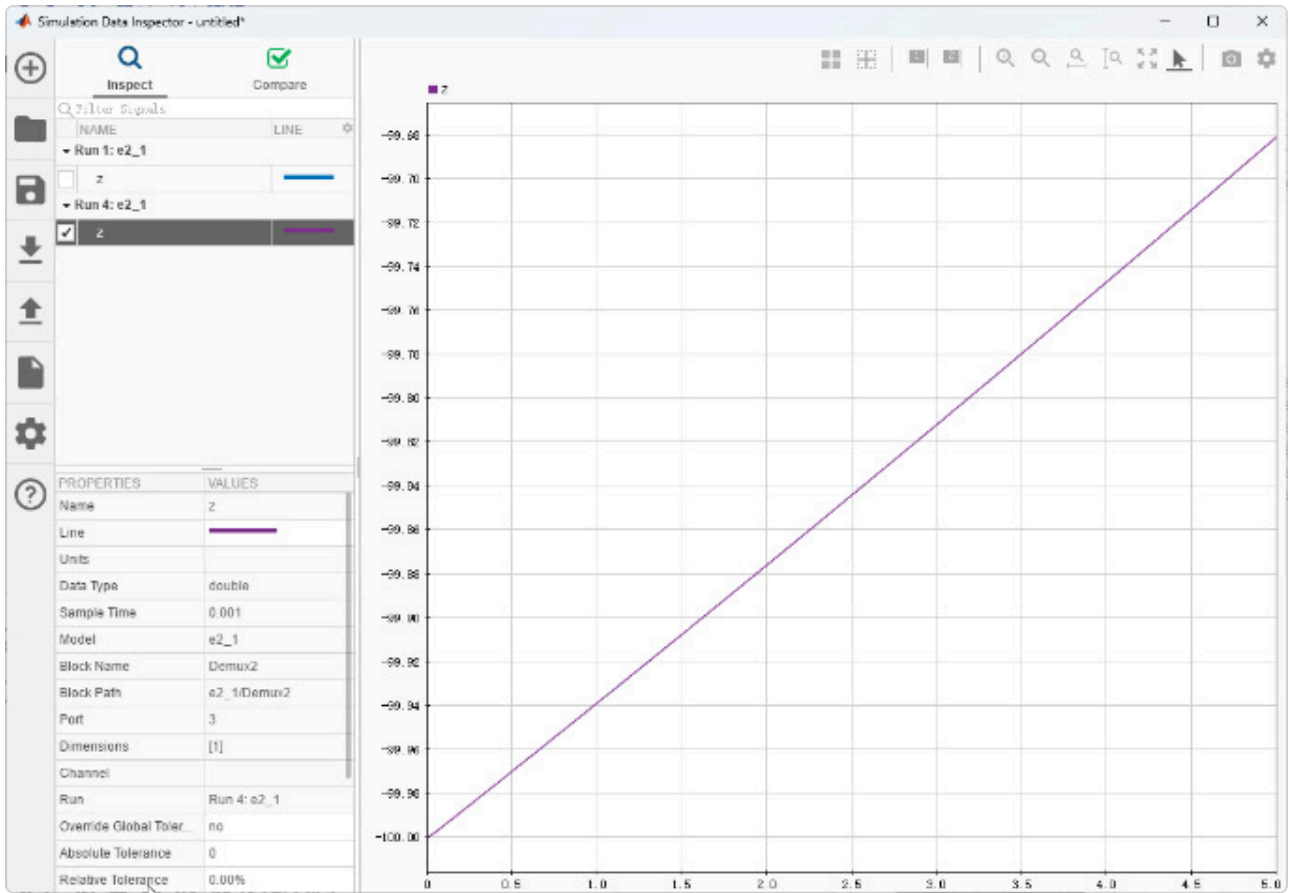
Thrust=0.6085; % Thrust Percentage



****总质量对飞行影响：****在Init_control.m文件中，修改多旋翼质量和油门比率为：

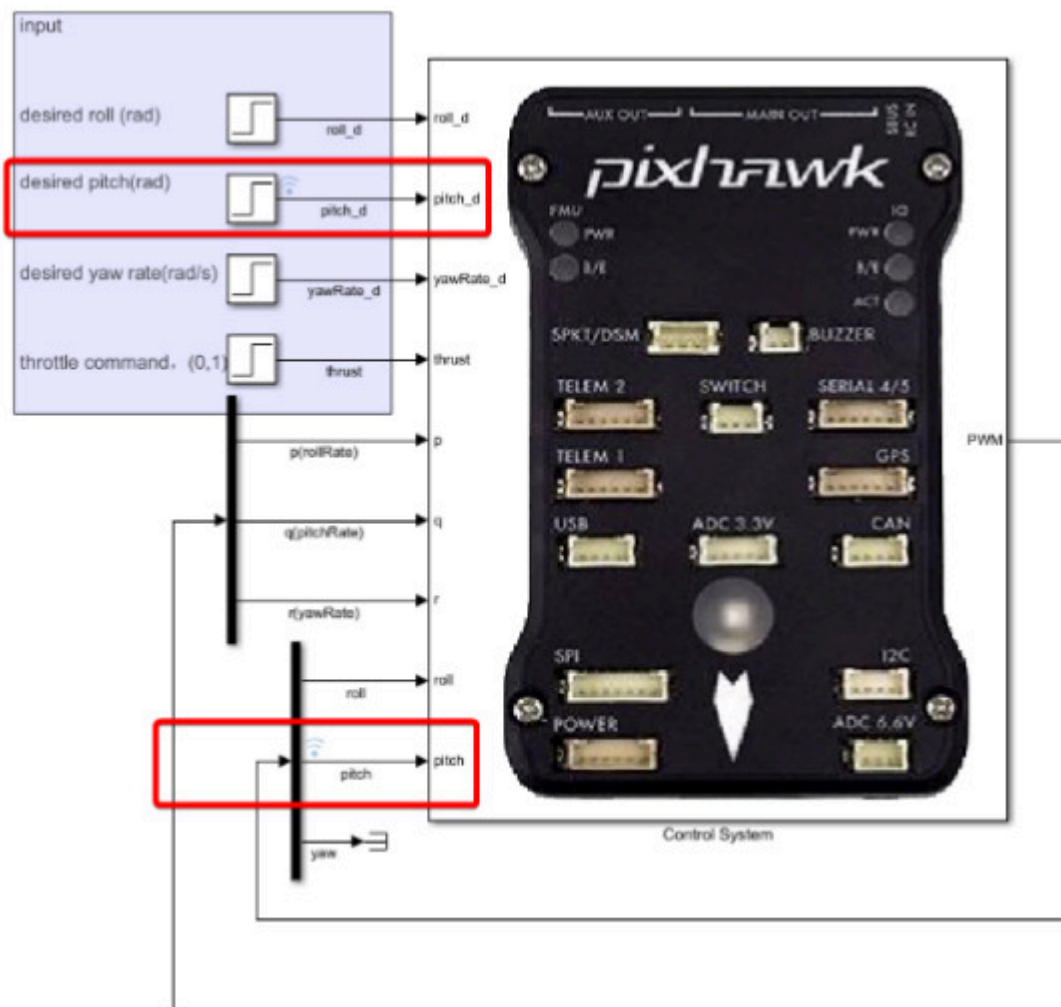
```
1 | ModelParam_uavMass = 2.0; %Mass of UAV(kg)
2 | Thrust=0.7032; % Thrust Percentage
```

保存Init_control.m文件并运行，在Simulink中点击运行，等待运行完成后，点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择保存的数据，右侧即可看到记录的Z方向数据。可看到该数据在基本上稳定在-100的位置，多旋翼处于悬停状态。



总质量对飞行影响：

分别在pitch_d和pitch通道添加“Log Selected Singals”，如下图。



转动惯量对偏航角变化率的影响：

分别在yawRate_d和r(yawRate)通道添加“Log Selected Singals”。在Init_control.m文件中，修改多旋翼偏航角速率为：

```
ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)
```

```
roll_d=0; % desired roll (rad)
```

```
pitch_d=0; % desired pitch(rad)
```

```
yawRate_d=0.2; % desired yaw rate(rad/s)
```

```
Thrust=0.6085; % Thrust Percentage
```

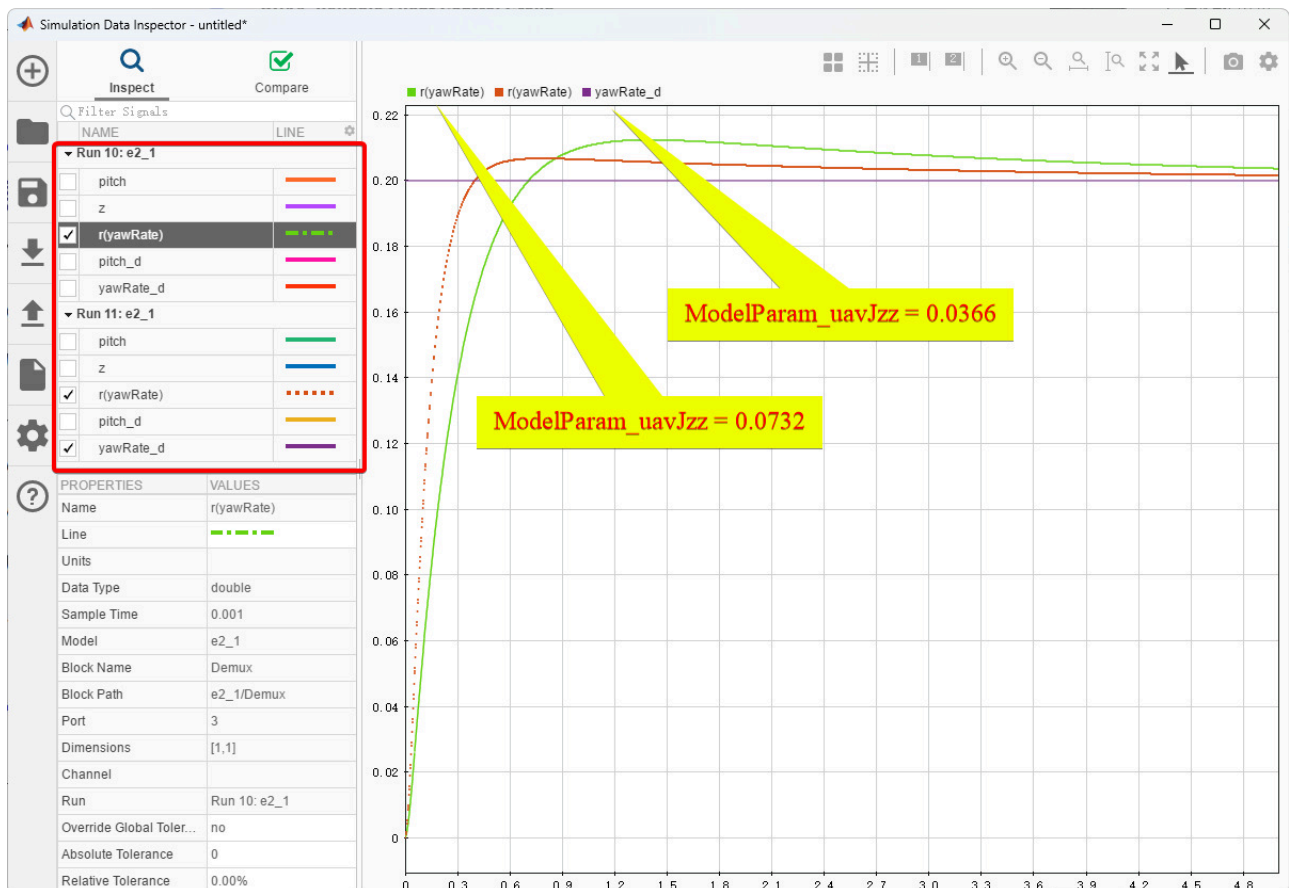
保存Init_control.m文件并运行，在Simulink中点击运行，等待运行完成；在Init_control.m文件中，修改Z轴的转动惯量为：

```

1 ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)
2 ModelParam_uavJzz = 0.0366\*2;
3 roll_d=0; % desired roll (rad)
4 pitch_d=0; % desired pitch(rad)
5 yawRate_d=0.2; % desired yaw rate(rad/s)
6 Thrust=0.6085; % Thrust Percentage

```

保存Init_control.m文件并运行，在Simulink中点击运行，等待运行完成；点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择yawRate_d和两次运行的r(yawRate)通道数据，右侧即可看到保存的数据。



螺旋桨拉力系数对多旋翼飞行姿态的影响：

分别在yawRate_d和r(yawRate)通道添加“Log Selected Signals”。在Init_control.m文件中，修改拉力系数为：

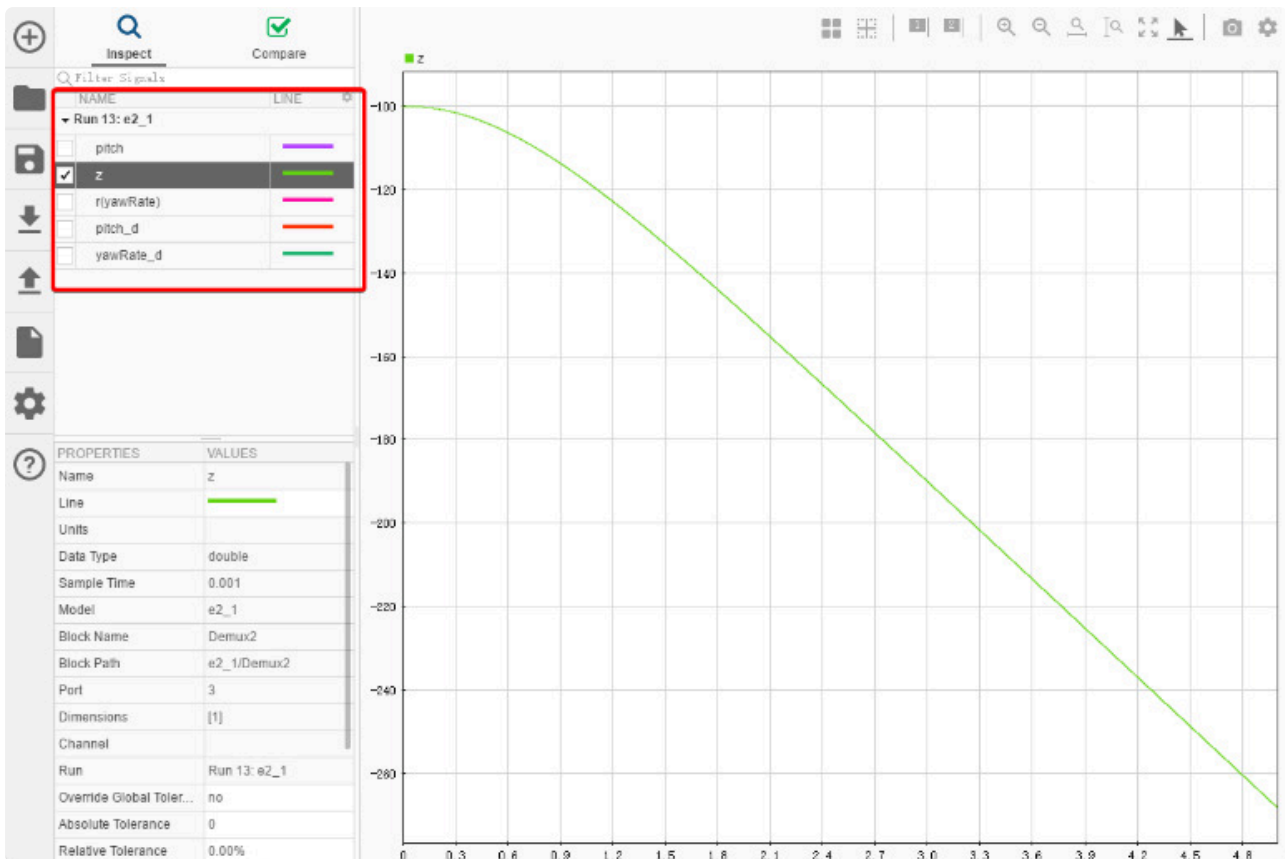
```

1 ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)
2 ModelParam_motorCr = 2296; %Motor throttle-speed curve slope(rad/s)
3 roll_d=0; % desired roll (rad)
4 pitch_d=0; % desired pitch(rad)
5 yawRate_d=0; % desired yaw rate(rad/s)
6 Thrust=0.6085; % Thrust Percentage

```

保存Init_control.m文件并运行，在Simulink中点击运行，等待运行完成；点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择yawRate_d和两次运行的

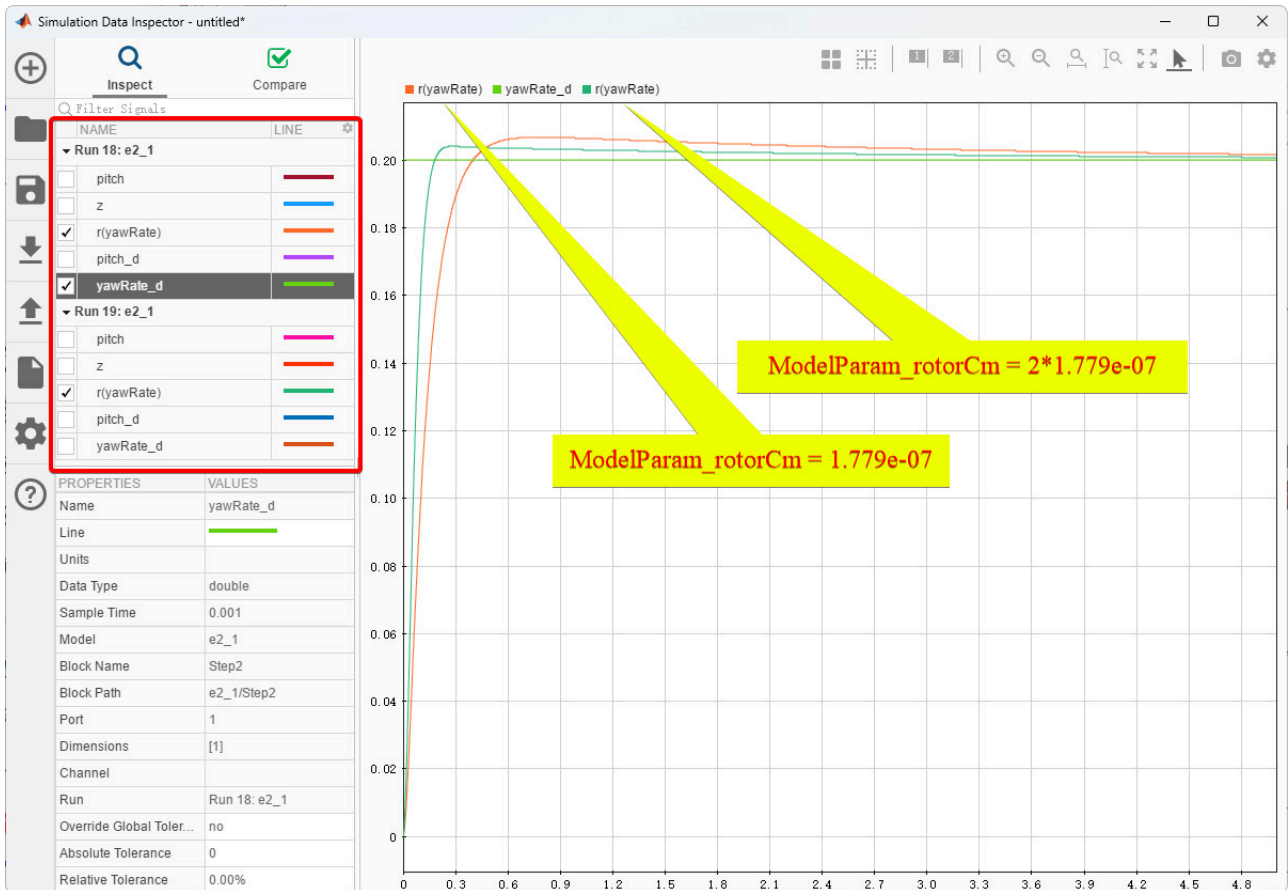
r(yawRate)通道数据，右侧即可看到保存的数据。注：此刻可将Thrust=0.6085修改为Thrust=0.3042，多旋翼将重新悬停。



螺旋桨力矩系数对偏航角变化率的影响：在Init_control.m文件中，修改力矩系数、偏航角速率为：

```
1 | ModelParam_uavMass = 1.4; %Mass of UAV(kg)
2 | ModelParam_motorCr = 1148; %Motor throttle-speed curve slope(rad/s)
3 | ModelParam_rotorCm = 1.779e-07\*2; %Rotor torque coefficient(kg.m\^2)
4 | roll_d=0; % desired roll (rad)
5 | pitch_d=0; % desired pitch(rad)
6 | yawRate_d=0.2; % desired yaw rate(rad/s)
7 | Thrust=0.6085; % Thrust Percentage
```

保存Init_control.m文件并运行，在Simulink中点击运行，等待运行完成；点击Simulation Data Inspector（或数据检查器），在弹出的对话框左侧选择yawRate_d和两次运行的r(yawRate)通道数据，右侧即可看到保存的数据。



注：本实验详细原理讲解请见课程其他配套资料。更多学习资料见：
<https://rflsim.com/>。

5. 关键知识点

- 熟悉多旋翼无人机刚体运动学模型、刚体动力学模型、控制效率模型和动力单元模型。
- 欧拉角、旋转矩阵以及四元数模型的优缺点和三者之间的相互转换。

6. 参考资料

1. Quan Quan. Introduction to Multicopter Design and Control. Springer, Singapore, 2017.
2. 全权,杜光勋,赵峙尧,戴训华,任锦瑞,邓恒译.多旋翼飞行器设计与控制[M],电子工业出版社,2018.
3. 全权,戴训华,王帅.多旋翼飞行器设计与控制实践[M],电子工业出版社,2020.
4. 第06讲_实验二_动态建模实验.pptx.
5. 第04讲_动力系统建模和估算V2.pptx.

7. 常见问题

Q1: 无。

A1: 无。

1. <https://rflysim.com/> ↩

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/doc/zh/HowToInstall.pdf> ↩