

控制系统数字仿真第三次上机作业要求

一、系统描述模型练习

1. 掌握基本的描述系统的命令

创建模型 $G1=tf([1\ 1],[1\ 2\ 1])$,

运行 $G2=minreal(G1)$

$G3=zpk(G1)$

$G4=feedback(G1,G2,)$

$G5=feedback(G1,G2,+1)$

$G6=tf([1\ 1],[1\ 2\ 1],0.01)$

观察以上运行结果，了解 tf 、 zpk 、 $feedback$ 、 $minreal$ 命令作用。

注意： $G=tf(num,den)$ 获取的是复域 s 的传递函数，而 $G=tf(num,den,ts)$ 获取的是离散域(z 域)的传递函数，而且该传递函数并不等于 $G=c2d(tf(num,den),'method')$ 的结果。

2. 掌握各种模型之间的转换方法：

①传递函数到状态空间 $[A,B,C,D]=tf2ss(num,den)$;

②状态空间到传递函数 $ss2tf$;

③离散系统和连续系统的转换， $c2d$ 、 $d2c$

利用上述命令，将前面创建的 $G1$ 转化成状态空间模型和离散模型，离散化方法分别采用 'ZOH'、'Tustin'，采样时间分别为 0.1 和 0.01，观察离散化后模型的区别。

3. 掌握频域分析命令：bode、nyquist、nichols、margin、rlocus

利用上述命令，对前面创建的 $G4$ 、 $G5$ 模型进行频率域分析。

注意利用 $[Gm,Pm,wcg,wc]=margin(sys)$ 命令求取 sys 系统的稳定裕度时的单位，幅值裕度是 Gm 是十进制的幅值，不是 dB ，相位裕度单位是 deg ，对应的频率单位是 rad/sec 。而 $margin(sys)$ 画图后，在界面上显示的幅值裕度单位是 dB ，相位裕度单位是 deg 。

4. 带纯滞后环节的传递函数输入

输入 $G7=tf([1\ 1],[1\ 2\ 1], 'iodelay', 1)$

将 $G1$ 和 $G7$ 的阶跃响应曲线、幅相曲线分别画在同一幅图上，比较二者的

不同。

带纯滞后环节的传递函数 $\frac{b_ms^m + b_{m-1}s^{m-1} + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0} e^{-\tau s}$ 的设置，可以用如下

方式进行：`tf([b_m b_{m-1} b_1 b_0],[a_n a_{n-1} a_1 a_0], 'iodelay', τ)`

综合练习

某飞机的纵向状态方程如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{V} \\ \Delta \dot{\alpha} \\ \Delta \dot{q} \\ \Delta \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0313 & 4.4879 & 0 & -9.8 \\ -0.0058 & -0.7458 & 0.9480 & 0 \\ -0.0002 & -0.4479 & -0.4609 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \alpha \\ \Delta q \\ \Delta \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2063 & 3.4847 \\ -0.0516 & -0.0561 \\ -0.6532 & 0.0193 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_e \\ \Delta \delta_T \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \alpha \\ \Delta \theta \\ \Delta q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \alpha \\ \Delta \theta \\ \Delta q \end{bmatrix}$$

其中 ΔV 为速度增量(m/s)， $\Delta \alpha$ 为迎角增量(rad)， $\Delta \theta$ 为俯仰角增量(rad)， Δq 为俯仰角速率增量(rad/s)。 $\Delta \delta_e$ 为升降舵偏度(rad)、 $\Delta \delta_T$ 为油门开度，要求：

- (1) 求出该系统 $\frac{\Delta \alpha(s)}{\Delta \delta_e(s)}$ 、 $\frac{\Delta q(s)}{\Delta \delta_e(s)}$ 、 $\frac{\Delta \theta(s)}{\Delta \delta_T(s)}$ 、 $\frac{\Delta V(s)}{\Delta \delta_T(s)}$ 的传递函数，
- (2) 并求出其零极点、用 `damp` 求该飞机短周期和长周期模态自然频率和阻尼比；
- (3) 利用 `step`、`impulse` 等命令对该飞机的时域特性进行分析
- (4) 利用 `bode`、`margin` 等频域分析命令对 $\frac{\Delta \alpha(s)}{\Delta \delta_e(s)}$ 、 $\frac{\Delta q(s)}{\Delta \delta_e(s)}$ 、 $\frac{\Delta \theta(s)}{\Delta \delta_T(s)}$ 进行分析。

二、 Simulink 练习

1. 将上面的飞机模型用 Simulink 搭建出来，如图 1 所示，然后分别给升降舵和油门输入一个方波信号(幅值为 5/57.3，宽度为 1 秒，该方波信号可以用 `step` 模块组合获得)，观察飞机状态输出。

掌握基本.mdl 文件的创建方式(找模块、拖模块、设参数、连模块、定步长、选方法、作仿真)，知道常用模块所在的模块库名，知道如何设置仿真的 solve 页。

注意：在 simulink 仿真中，要注意：信号的维数前后是否一致、仿真步长是否合适、模块参数设置是否正确。

小知识

Matlab 从 2013 以后，Simulink 模型有两种格式，一种是.mdl；另一种是新格式.slx。二者从建模过程来说没有区别。.mdl 模型是兼容之前版本的模型，其后台实际为脚本文件；而.slx 模型是 2014a 以后版本开发的新格式，对应二进制文件，不能在之前的版本中使用，slx 格式的文件的存储空间更小，能够附加的信息更多，但在实际使用中，和 mdl 文件没有太大差别。。需要注意，如果要想让搭建的 Simulink 模型能够在 2013 版的环境下运行，必须将 Simulink 模型保存为.mdl 格式。

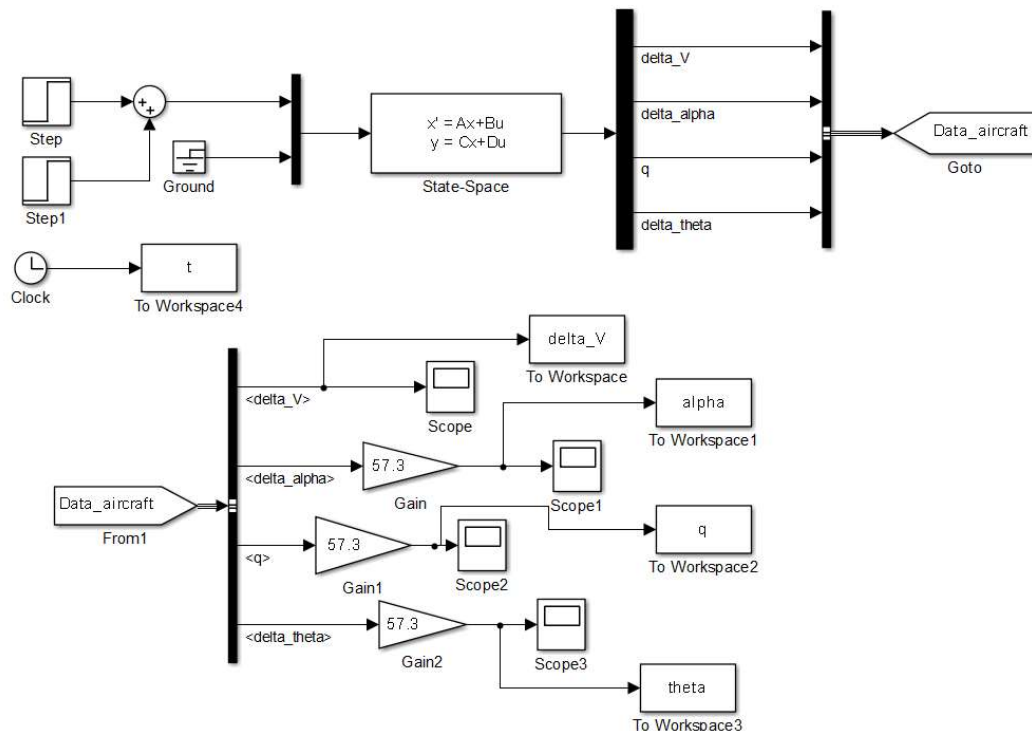


图 1 状态方程模型

在 Signal Routing 库中找到 Goto 和 From 模块，拖放到模型中构成如图 1 中的信号传输，用 Sink 库中 To Workspace 模块将状态变量数据输出到工作空间，并画图(横轴为时间 t)。

2. Simulink 中仿真参数页设置练习。

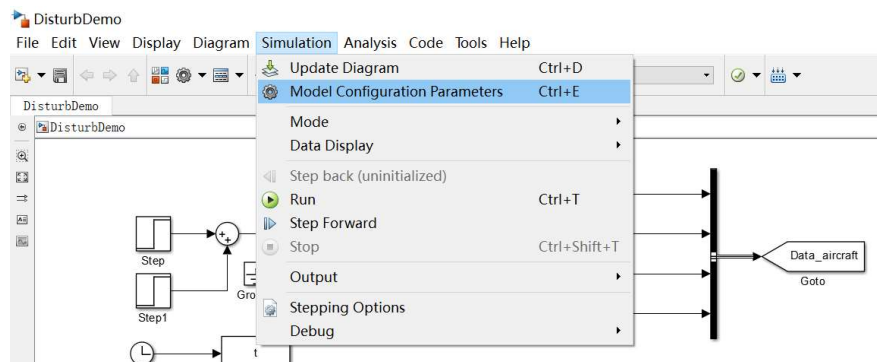


图 2 Simulink 中仿真参数页设置

打开 simulation->model configuration parameter，如图 2 所示，

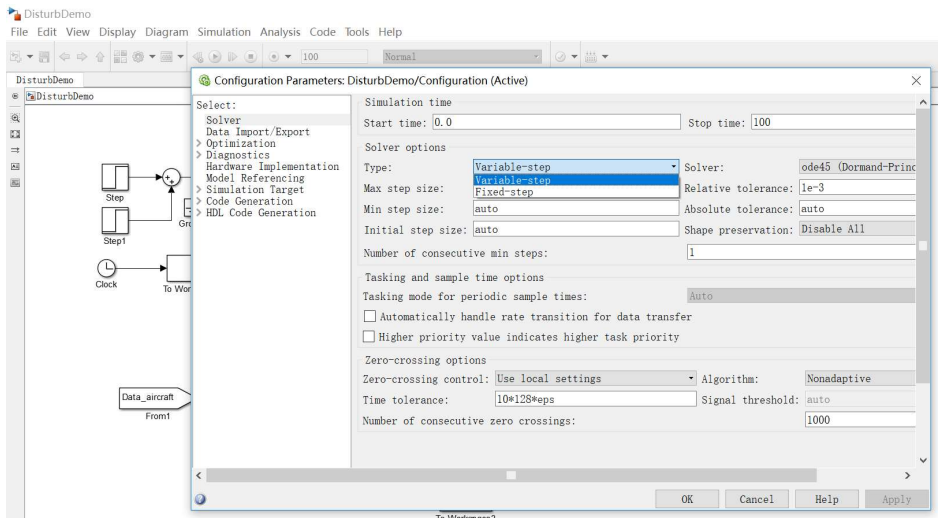



图 3 仿真设置

在弹出的对话框中，分别设置变步长仿真、定步长仿真(采样时间 0.01、1 秒)，观察结果。

3. 扰动设置练习

对一个飞机状态方程，常见的扰动有两种，一是输入扰动，即如图 1 所示，在输入口设置扰动值，观察飞机状态变化；二是输入设置接地  (接地一般在输入口没有输入信号时接入，如果我们不接 ground，让输入悬空，会产生一些警告信息)；在状态初值中设置状态扰动(双击 state space 模块，在弹出的对话框中的“Initial Conditions”中以行向量的形式输入状态初值，如图 4 所示。

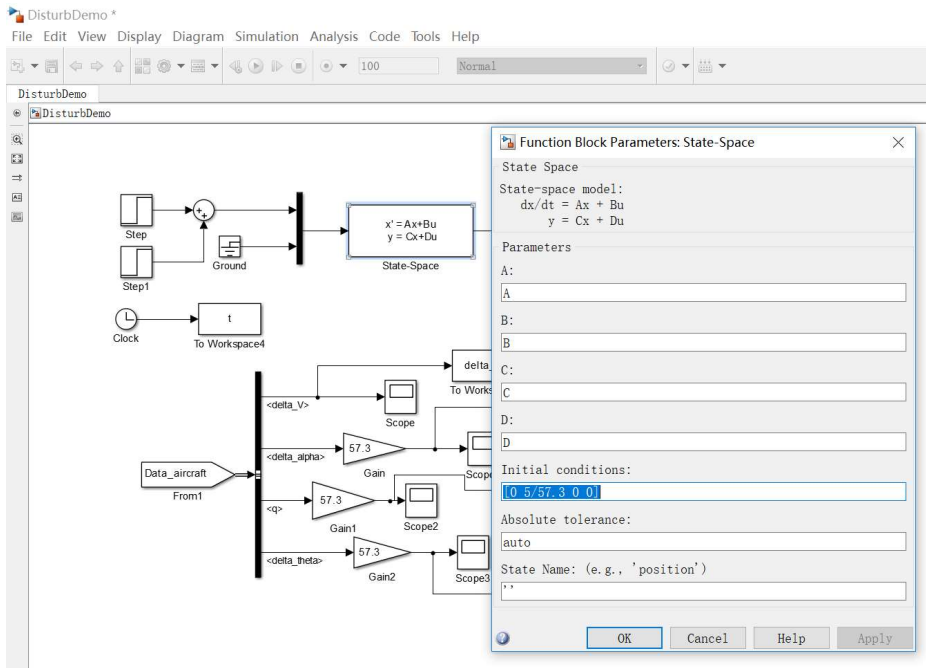
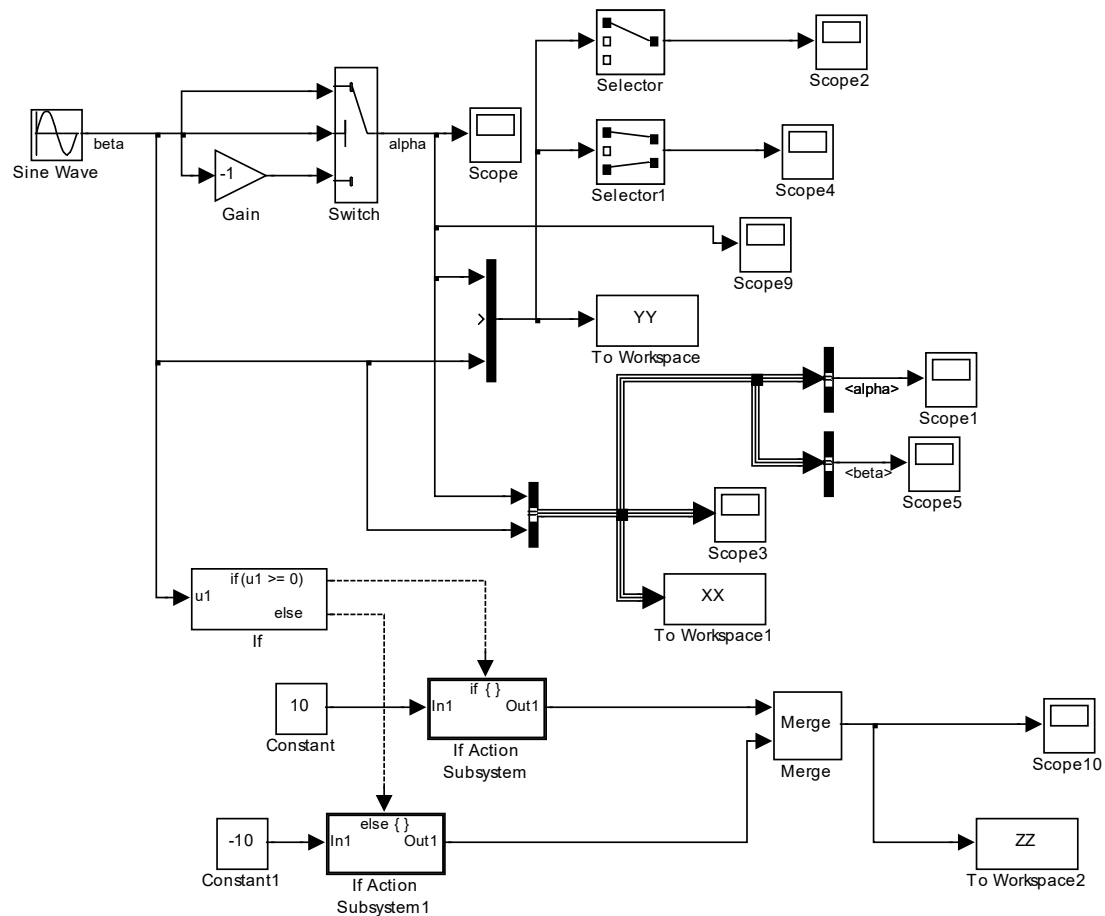


图 4 状态初值设置

将输入扰动和状态初始扰动情况下的状态变化曲线画在同一幅图(用 2 行 2 列的子图绘图，同一状态的画在数据在同一子图中)加以对比中，不同设置的仿真曲线用线型和颜色区分，并添加标注。

4. Simulink 中信号的合并和拆分练习

创建如下图的 simulink 模型，Switch 的 input 设置为 $u_2 > \text{threshold}$ ，“threshold”设置为 0,运行该模型，观察 XX、YY，ZZ 的数据结构。



(1) Simulink 中信号的合并，可以采用 Mux，Bus Creator 和 Merge 三种方式，但 Bus Creator 通常要采用数据名的方式，需要在创建时是 signal property 设定数据信号的名字(选定一条信号线，点右键，在弹出的菜单中选择“property”，在弹出的对话框“signal name”中填入信号名字)。Merge 是将条件执行子系统模块输出的信号组合成一系列信号。

(2)Simulink 中信号的拆分,可以采用 demux、Bus selector 和 Selector 三种方式,通过该实例,体会 demux、Bus selector 和 Selector 的不同。