



哈爾濱工業大學 (深圳)
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

实验报告

开课学期: 2021 年秋季学期
课程名称: 系统建模与仿真
实验时间: 2021.11.22 地点: K325
实验台号: _____
学生专业: 自动化类
学生学号: 190410102
学生姓名: 方尧
评阅教师: _____
报告成绩: _____

直流伺服系统实验报告

一、 实验目的

- 1. 了解直流伺服系统的建模方法；
- 2. 掌握 Matlab 系统辨识工具箱的使用方法；
- 3. 实现直流伺服系统的最小二乘辨识

二、 实验设备

- 1. GSMT2014 型直流伺服系统平台；
- 2. PC（Matlab 平台）

三、 实验原理

- 1. 直流伺服电机的机理模型

通过机理建模法，我们可以得到直流伺服电机的机理模型为：

$$\frac{\omega(s)}{I_d} = \frac{20}{0.09s+1}$$
（参数已带入）

- 2. 直流伺服电机的系统辨识工具箱建模
- 3. 直流伺服电机的递推最小二乘方法建模

四、 实验步骤或操作要点

- ① 设置 step 信号输入；
- ② 设置 to workspace 输出到工作空间；
- ③ 在工作空间借用工具箱得到一阶、二阶、多项式辨识结果；
- ④ 保存结果；
- ⑤ 分别设置 M 序列，扫频信号输入，重新实验。

五、 实验结果分析

模型	阶跃信号	扫频信号	M 序列
一阶开环传递函数	$\frac{139.7}{s + 7.346}$	$\frac{185.5}{s + 9.75}$	$\frac{164.7}{s + 8.293}$
二阶开环传递函数	$\frac{8461}{s^2 + 64.64s + 444.8}$	$\frac{1.352e05}{s^2 + 728.6s + 7107}$	$\frac{8134}{s^2 + 46.86s + 450.6}$

差分方程 (ARX221)	$A(z) = 1 - 0.9525z^{-1} - 0.4396z^{-2} - 0.01647z^{-3} + 0.4103z^{-4}$ $B(z) = 0.02766z^{-1}$	$A(z) = 1 - 1.109z^{-1} - 0.9835z^{-2} - 0.01969z^{-3} + 0.4382z^{-4}$ $B(z) = -1.176e04z^{-1} + 3.514e04z^{-2} - 3.5e04z^{-3} + 1.162e04z^{-4}$	$A(z) = 1 - 1.109z^{-1} - 0.3391z^{-2} + 0.1026z^{-3} + 0.346z^{-4}$ $B(z) = 0.09457z^{-1} - 0.09517z^{-2} - 0.06655z^{-3} + 0.08448z^{-4}$
最小二乘辨识	$\theta_9 = [-0.953242 \ -0.449689 \ -0.002994 \ 0.407380 \ 0.005535 \ 0.005535 \ 0.005535 \ 0.005535]$	$\theta_9 = [-0.957434 \ -0.484949 \ 0.024822 \ 0.417854 \ 0.533253 \ 0.233963 \ -0.032089 \ -0.264857 \ -0.464296]$	$\theta_9 = [-1.109923 \ -0.332256 \ 0.092862 \ 0.350285 \ 0.106081 \ -0.118816 \ 0.008270 \ -0.055954 \ 0.077795]$

最小二乘辨识代码：

```

clc,close all
% 产生 M 序列
% 导入数据
u=info.signals.values(:,1);
y=info.signals.values(:,2);
u=u';y=y';
len=length(u);
so=[0 0 0 0 0 0 0 0 0]';
p=10^6*eye(9);
for i=5:len
    s=so(:,i-4);
    ptemp=p;
    f=[-y(i-1) -y(i-2) -y(i-3) -y(i-4) u(i) u(i-1) u(i-2) u(i-3) u(i-4)]';
    p=ptemp-ptemp*f*inv(1+f'*ptemp*f)*f'*ptemp;
    stemp=s+ptemp*f*inv(1+f'*ptemp*f)*(y(i)-f'*s);
    so=[so,stemp];
end
figure;hold on;grid on
for i=1:9
    plot(so(i,:));
end
title('递推最小二乘参数辨识');
legend('-a1',' -a2',' -a3',' -a4','b0','b1','b2','b3','b4','Location','best');
% xlim([0,0.8e4])
result=[];
for i=1:9
    %选取稳定阶段计算参数值
    result=[result mean(so(i,0.3e4:0.75e4))];
end
disp(result)
%输出结果
fid=fopen('最小二乘辨识结果_with_u(n).txt','a');
% M_list_output_1
% step_output
% swap_output_2
fprintf(fid,'%s\r\n','swap_output_2');
fprintf(fid,'%s %s %s %s %s %s %s %s %s\r\n','a1','a2','a3','a4','b0','b1','b2','b3','b4');
fprintf(fid,'%f %f %f %f %f %f %f %f %f\r\n',result);
fclose(fid);

```

下面给出仿真结果：（多次同输入同类型仿真仅展示一次）

```

1 M_list_output_1
2 a1 a2 a3 a4 b0 b1 b2 b3 b4
3 -1.109923 -0.332256 0.092862 0.350285 0.106081 -0.118816 0.008270 -0.055954 0.077795
4 M_list_output_2
5 a1 a2 a3 a4 b0 b1 b2 b3 b4
6 -1.107506 -0.347493 0.117955 0.338016 0.102735 -0.126680 0.035184 -0.083296 0.089852
7 step_output
8 a1 a2 a3 a4 b0 b1 b2 b3 b4
9 -0.953242 -0.449689 -0.002994 0.407380 0.005535 0.005535 0.005535 0.005535 0.005535
10 swap_output_1
11 a1 a2 a3 a4 b0 b1 b2 b3 b4
12 -0.957434 -0.484949 0.024822 0.417854 0.533253 0.233963 -0.032089 -0.264857 -0.464296
13 swap_output_2
14 a1 a2 a3 a4 b0 b1 b2 b3 b4
15 -0.991637 -0.391106 -0.019051 0.402044 0.776017 0.350614 -0.036888 -0.386497 -0.698220

```

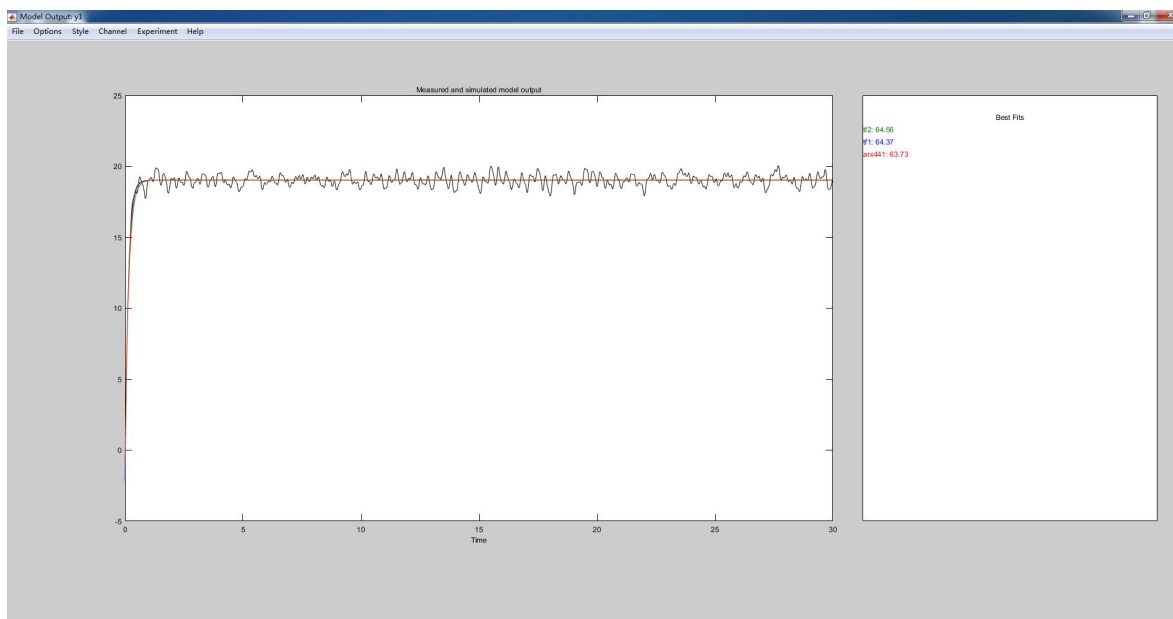


Figure 1: step-一阶、二阶、多项式辨识

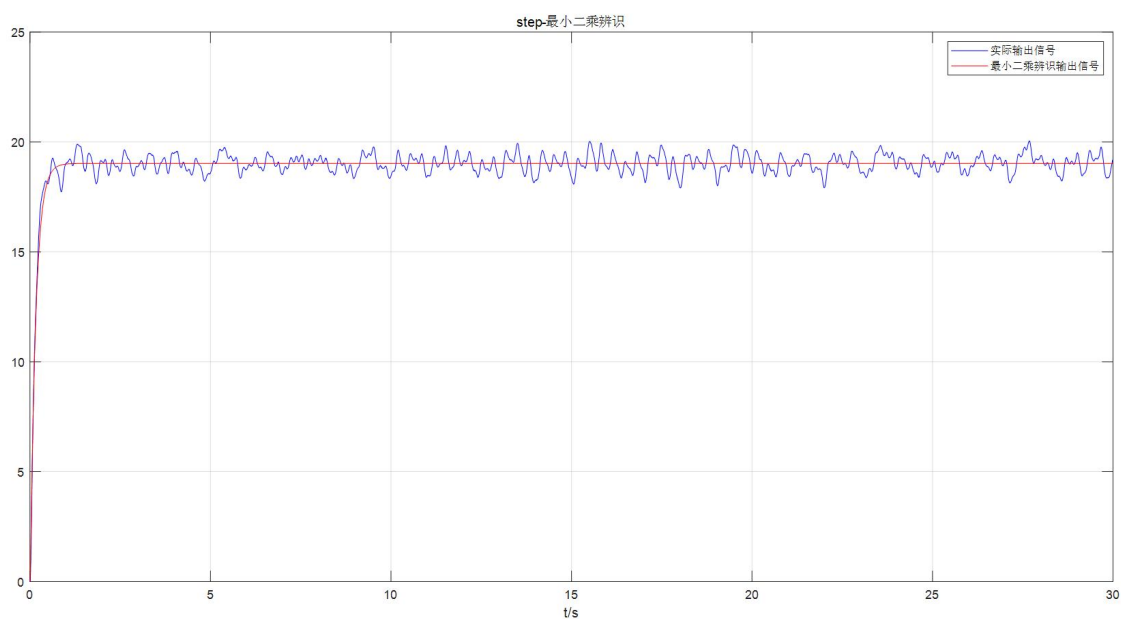


Figure 2: step-最小二乘辨识

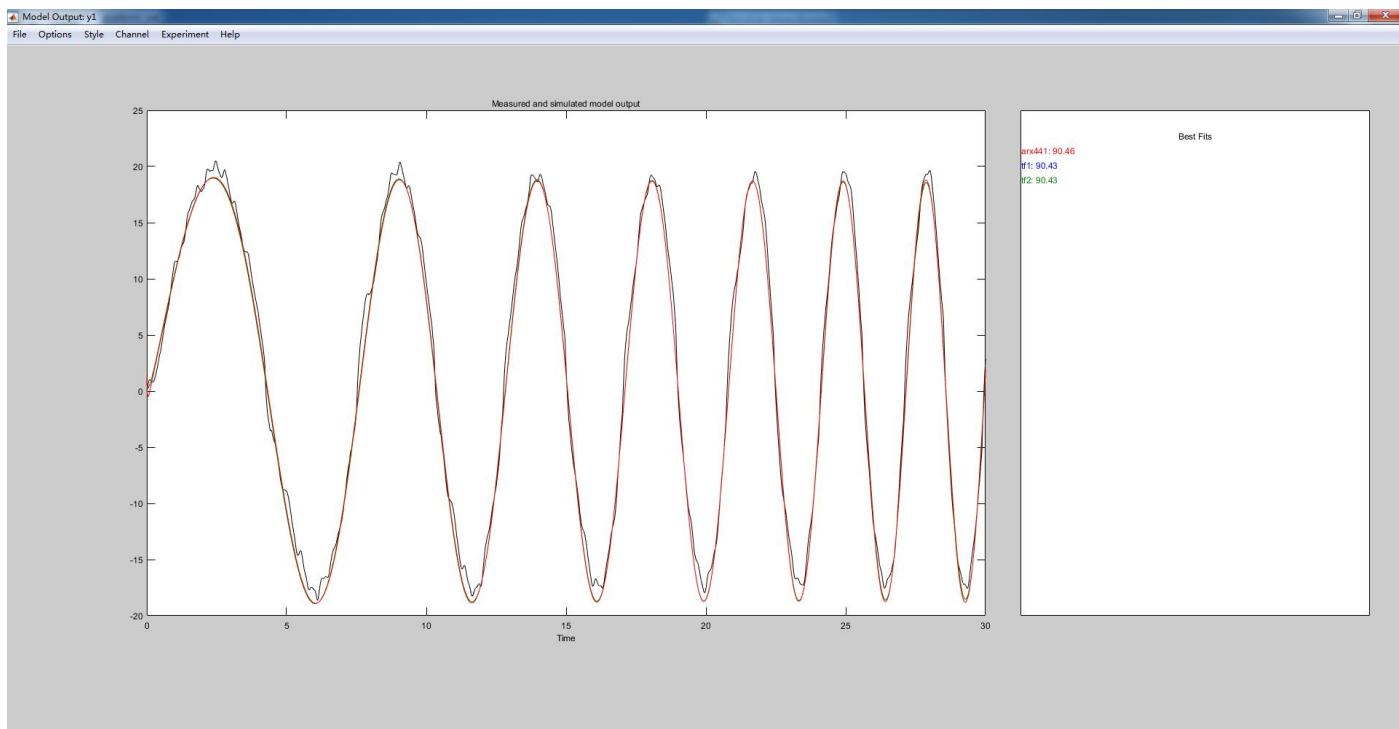


Figure 3:扫频信号 一一阶、二阶、多项式辨识

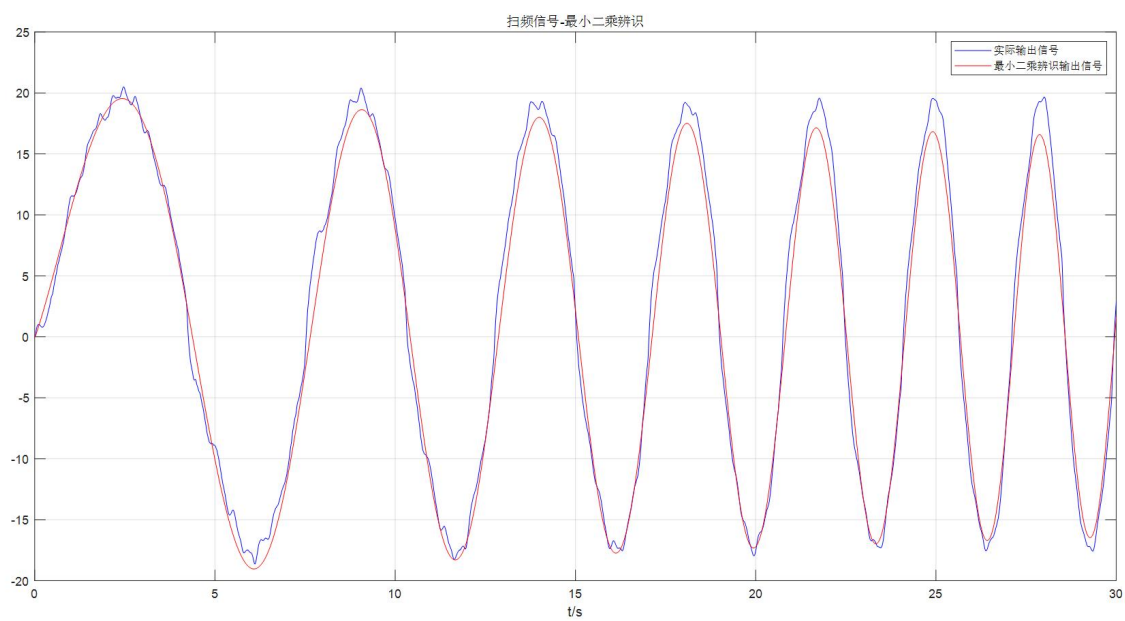


Figure 4:扫频信号-最小二乘辨识

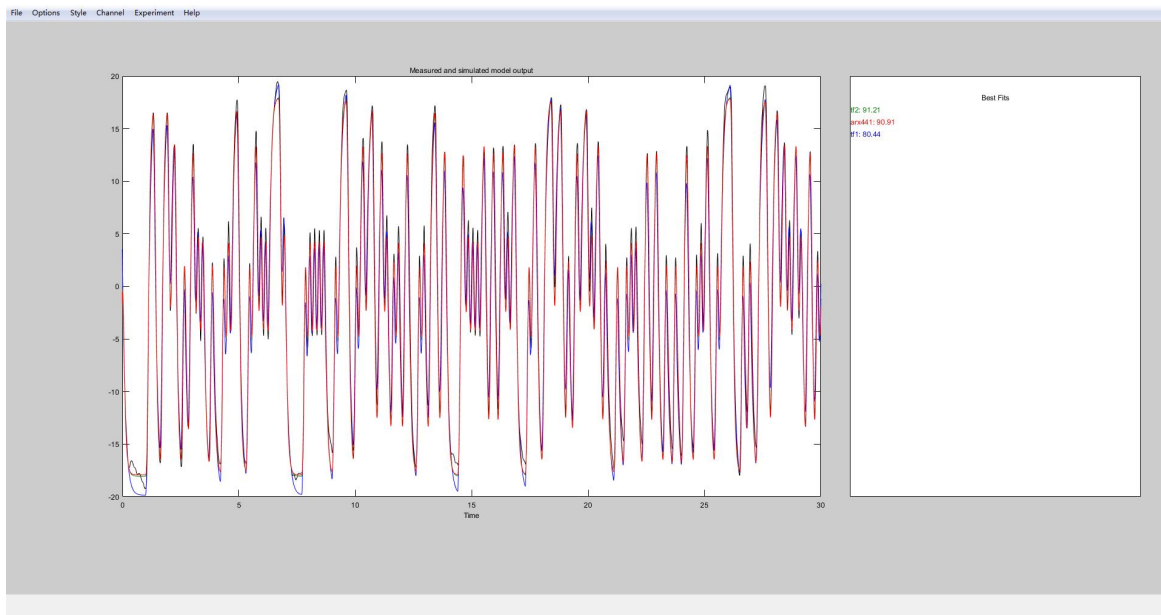


Figure 5:M 序列-一阶、二阶、多项式辨识

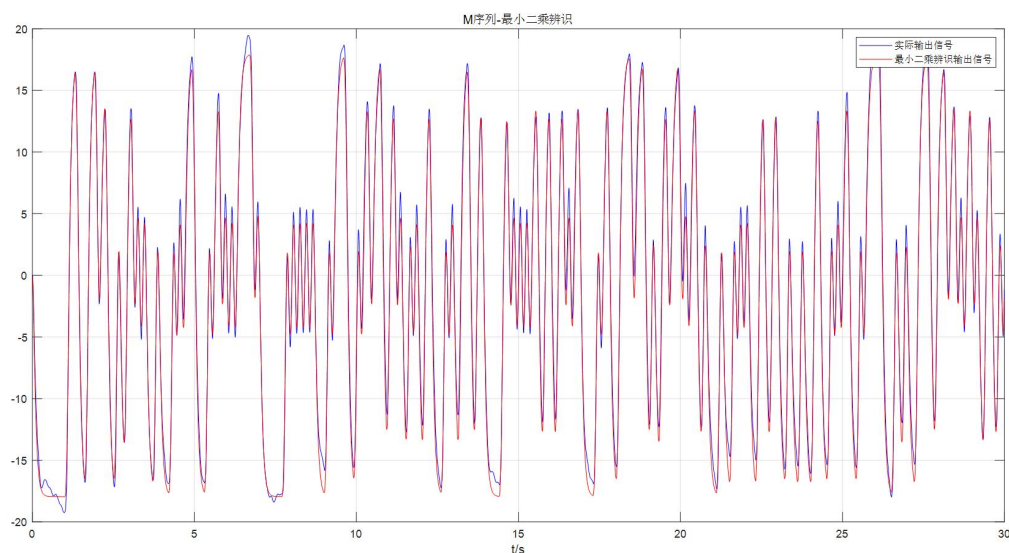


Figure 6:M 序列-最小二乘辨识

六、 思考题

影响系统稳定的因素是系统的极点位置，如果极点位于 s 右半平面，则系统不稳定。测量系统稳定性的方法之一是加入适量大小的阶跃信号，根据其输出的阶跃响应分析系统的稳定性和其他性能指标

1. 根据直流伺服电机的建模过程，总结实验法建模的基本步骤。

实验法建模步骤：

- ① 物理或者机理建模推导出系统的数学模型。
- ② 输入已知信号，如阶跃信号、M 序列，记录输出数据。
- ③ 将输入输出数据带入 MATLAB 软件，利用最小二乘辨识或者工具箱辨识系统模型。

2. 改变阻尼系统，系统模型会有怎样改变？

改变阻尼系统，使得系统原理建模即发生改变，在之后的实验法利用输入输出辨识得到的结果也会有所不同，在系统响应：如系统的超调、上升时间、调节时间等会发生变化。

直线一级倒立摆系统 LQR 控制实验

一、 实验目的

1. 掌握一级倒立摆的机理建模方法；
2. 搭建基于 Simulink 的 LQR 控制；
3. 分析扰动，起摆角度对控制性能的影响。

二、 实验设备

1. 直线一级倒立摆；
2. 倒立摆电控箱；
3. PC 机 (MATLAB 平台；运动控制卡)

三、 实验原理

1. 建立直线一级倒立摆模型；

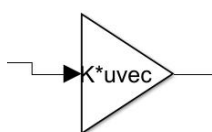
系统建模可分为两种，机理建模和实验建模。对于倒立摆系统，经过小心的假设忽略掉一些次要的因素后，它就是一个典型的运动的刚体系统，可以在惯性坐标系内应用经典力学理论建立系统的动力学方程。

2. 搭建基于 Simulink 的 LQR 控制；

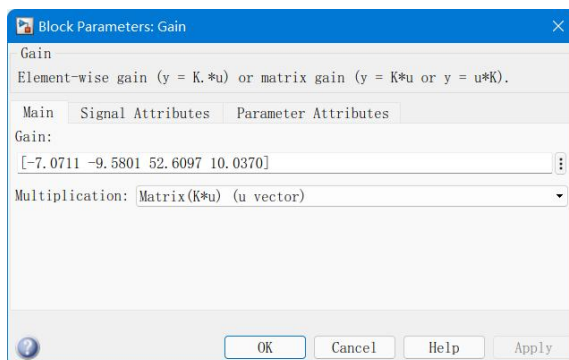
线性二次型 (LQ——Linear Quadratic) 是指系统的状态方程是线性的，指标函数是状态变量和控制变量的二次型。线性二次型控制理论已成为反馈系统设计的一种重要工具，广泛适用于 MIMO 系统。其特点是为多变量反馈系统的设计提供了一种有效的分析方法，可适用于时变系统，可处理扰动信号和测量噪声问题，可处理有限和无限的时间区间，设计的闭环系统具有良好的稳定裕度。

四、 实验步骤或操作要点

- ① 设置控制器



参数设置为：



- ② 调整其他模块的参数；
- ③ 运行 matlab 程序；
- ④ 扶正倒立摆；

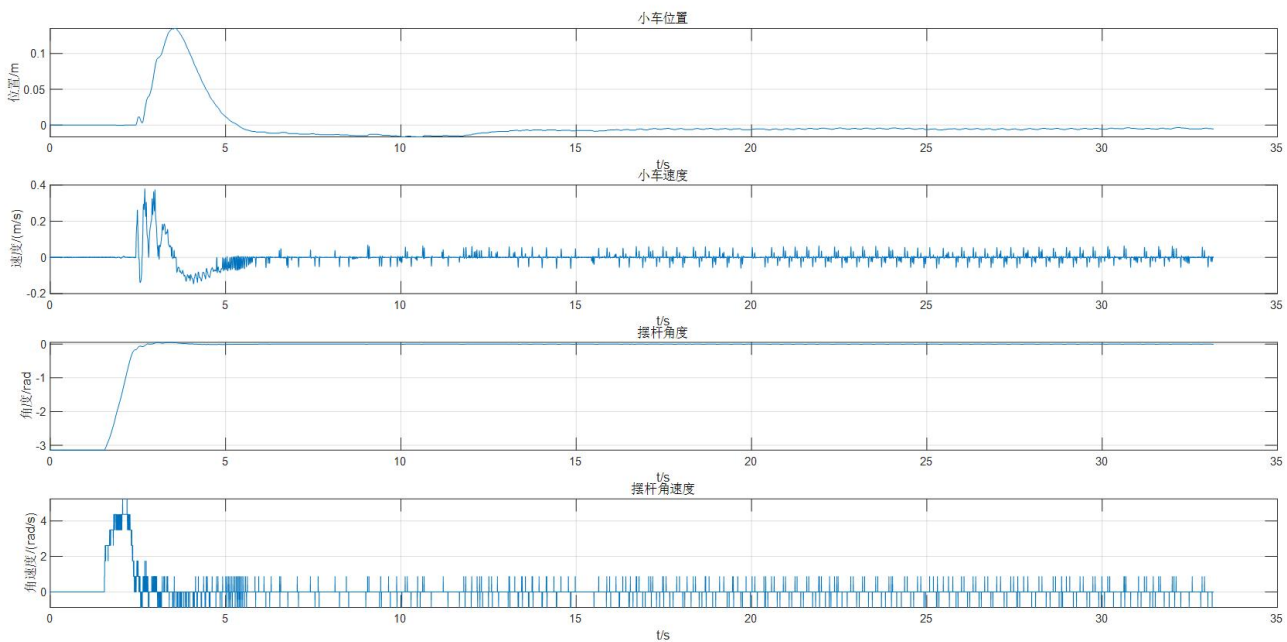
- ⑤ 双击“Manual Switch”将输入信号打到 0.1m/s2 端，观察摆杆的运动现象；
- ⑥ 停止程序，打开示波器“Pos”和“Angle”，观察系统输出的响应；
- ⑦ 保存输出响应的图像。
- ⑧ 删去“-pi~pi”模块，再次实验。

五、 实验结果分析

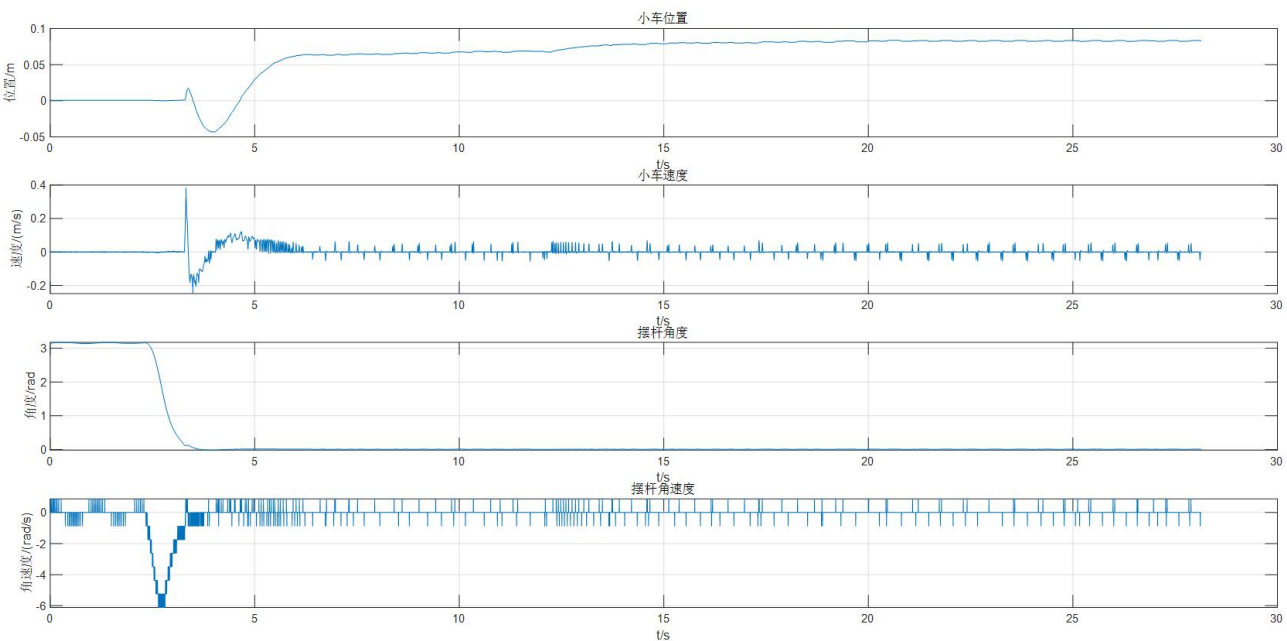
1. 记录施加扰动后小车的位移、速度及摆杆角度的响应图和数据：（大约十秒给出扰动）

	小车位移	小车速度	摆杆角度	摆杆角速度
稳态时方差	4. 3192e-07	2. 3036e-04	3. 2528e-06	0. 0260
阶跃响应振幅	0. 0094m	0. 0033m/s	0	0
调节时间	6. 18s	1. 85s	0	0

有-pi~pi 模块



无-pi~pi 模块



2. 分析扰动，起摆角度对控制性能的影响

扰动：只要扰动在可以系统的接受范围内，系统都能控制住；系统控制性能越好，可以承受的干扰越大。

起摆角度：从有无“-pi~pi”模块两组实验来看，起摆角度对控制性能有影响，可能还是关键性，这主要取决于我们建立的控制系统模型；起摆角度应当是法线夹角越小控制性能越好。

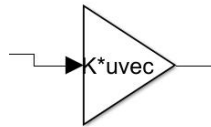
六、 思考题

1. 如何设计鲁棒性更强的系统？

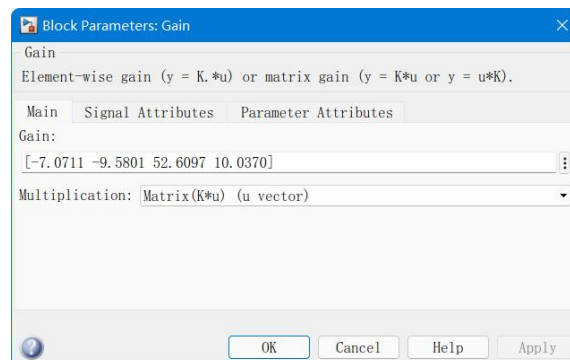
我们可以在系统设计之初考虑各部分有噪声输入，并估计实际能产生的最大噪声，借此训练并修正我们设计的模型，进而提高系统的鲁棒性。

2. 若在 LQR 实时控制程序中不采用“-pi~pi”模块，该如何搭建控制程序？对提起摆杆方向是否有要求？如果有要求，该如何提起摆杆才会稳定？

控制程序仍然像先前所述那样搭建。



参数设置为：



但对于摆杆提起的方向有要求；需要顺时针提起才能使得系统稳定。