

哈尔滨工业大学（深圳）

# 《系统建模与仿真》课程实 验报告

（2023-2024 秋季学期）

课程名称：系统建模与仿真

题目：利用相关分析法辨识脉冲响应

班级学号：

学生姓名：tchh

2023年 9月 28日

## 一、实验目的

通过仿真实验掌握利用相关分析法辨识脉冲响应的原理和方法。

## 二、实验内容

图 1 为本实验的原理框图。系统的传递函数为  $G(s)$ ,

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

其中  $K = 120, T_1 = 8.3\text{Sec}, T_2 = 6.2\text{Sec}$ ;  $u(k)$ 和 $z(k)$ 分别为过程的输入和输出变量;  
 $v(k)$ 为测量白噪声过程,服从标准正态分布,均值为零,方差为 $\sigma_v^2$ ,记作  
 $v(k) \sim N(0, \sigma_v^2)$ ;  $g_0(k)$ 为系统脉冲响应的理论值,  $\hat{g}(k)$ 为系统脉冲响应的估计  
 值,  $\tilde{g}(k)$ 为系统脉冲响应的估计误差。

过程的输入驱动采用 M 序列,输出受到白噪声  $v(k)$  的污染。根据过程的输入  
 和输出数据  $\{u(k), z(k)\}$ , 利用相关分析算法辨识系统脉冲相应。

根据输出过程的脉冲响应值  $\hat{g}(k)$ , 并与过程脉冲响应理论值  $g_0(k)$  比较, 得  
 到过程脉冲响应估计误差值  $\tilde{g}(k)$ , 当  $k \rightarrow \infty$  时, 应该有  $\tilde{g}(k) \rightarrow 0$ 。

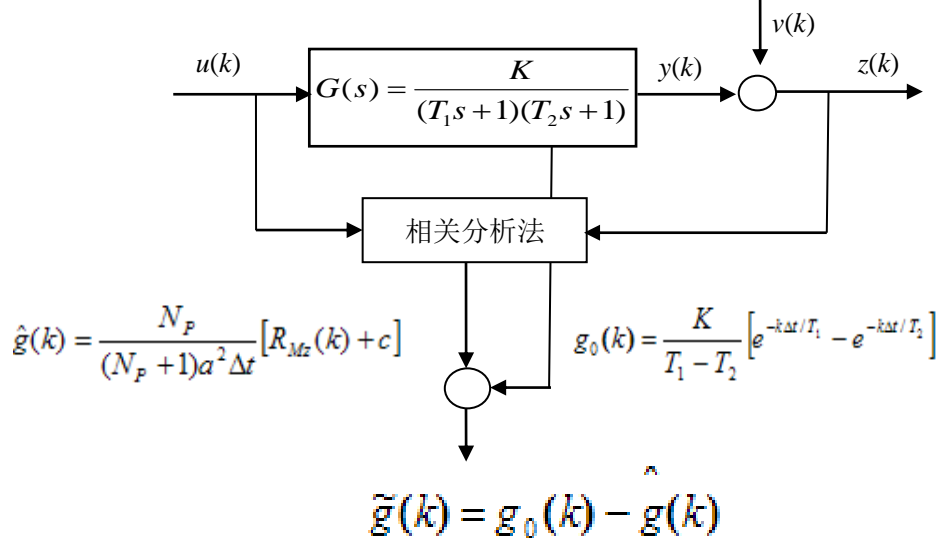


图 1 相关分析法辨识脉冲响应原理框图

## 三、实验要求

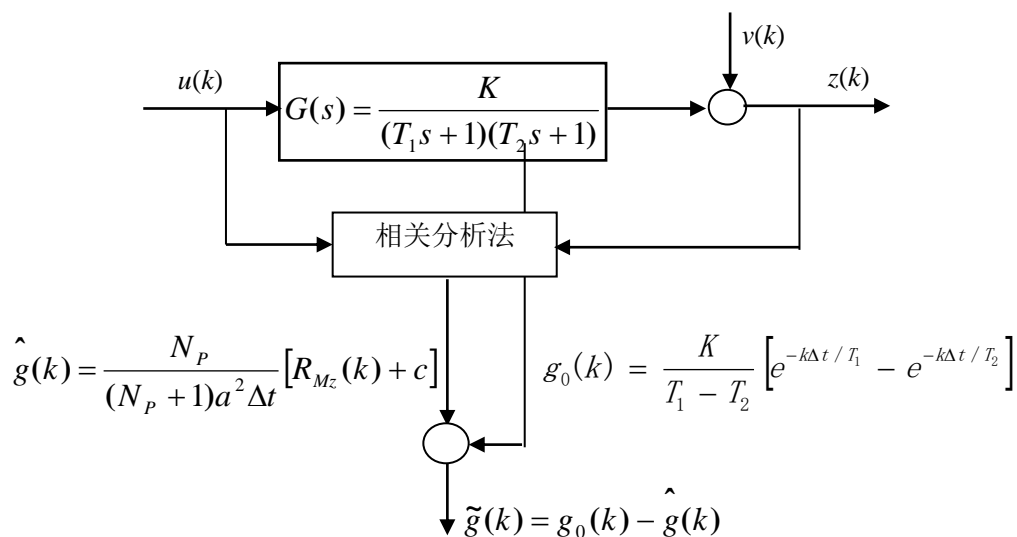
进行方案设计, 模拟过程传递函数, 获得输出数据, 用 M 序列作为辨识的输

入信号，噪声采用标准正态分布的白噪声，计算互相关函数，脉冲响应估计值、脉冲响应理论值和脉冲响应估计误差，计算信噪比，画出实验流程图，用MATLAB编程实现。

#### 四、实验原理

下图为本实验的原理框图。系统的传递函数为  $G(s)$ ，其中  $K=120, T_1=8.3\text{Sec}, T_2=6.2\text{Sec}$ ； $u(k)$ 和 $z(k)$ 分别为系统的输入和输出变量； $v(k)$ 为测量白噪声，服从正态分布，均值为零，方差为 $\sigma_v^2$ ，记作 $v(k) \sim N(0, \sigma_v^2)$ ； $g_0(k)$ 为系统的脉冲响应理论值， $\hat{g}(k)$ 为系统脉冲响应估计值， $\tilde{g}(k)$ 为系统脉冲响应估计误差。

系统的输入采用 M 序列（采用实验 1 中的 M 序列即可），输出受到白噪声  $v(k)$  的污染。根据过程的输入和输出数据  $\{u(k), z(k)\}$ ，利用相关分析法计算出系统的脉冲响应值  $\hat{g}(k)$ ，并与系统的脉冲响应理论值  $g_0(k)$  比较，得到系统脉冲响应估计误差值  $\tilde{g}(k)$ ，当  $k \rightarrow \infty$  时，应该有  $\tilde{g}(k) \rightarrow 0$ 。



- 1、利用 `lsim()` 函数获得传递函数  $G(s)$  的输入和输出数据  $\{u(k), z(k)\}$ （采样时间取 1 秒）。
- 2、互相关函数的计算

$$R_{Mz}(k) = \frac{1}{rN_p} \sum_{i=N_p+1}^{(r+1)N_p} u(i-k)z(i)$$

其中， $r$  为周期数， $i = N_p + 1$  表示计算互相关函数所用的数据是从第二个周期开始的，目的是等过程仿真数据进入平稳状态。（可分别令  $r=1、3$ ，对比仿真结果）

### 3、补偿量 $c$

补偿量  $c$  应取  $-R_{M_z}(N_p - 1)$ ，不能取  $-R_{M_z}(N_p)$ 。因为  $R_{M_z}(k)$  是周期函数，则有  $R_{M_z}(N_p) = R_{M_z}(0)$ ，故不能取  $-R_{M_z}(N_p)$ 。

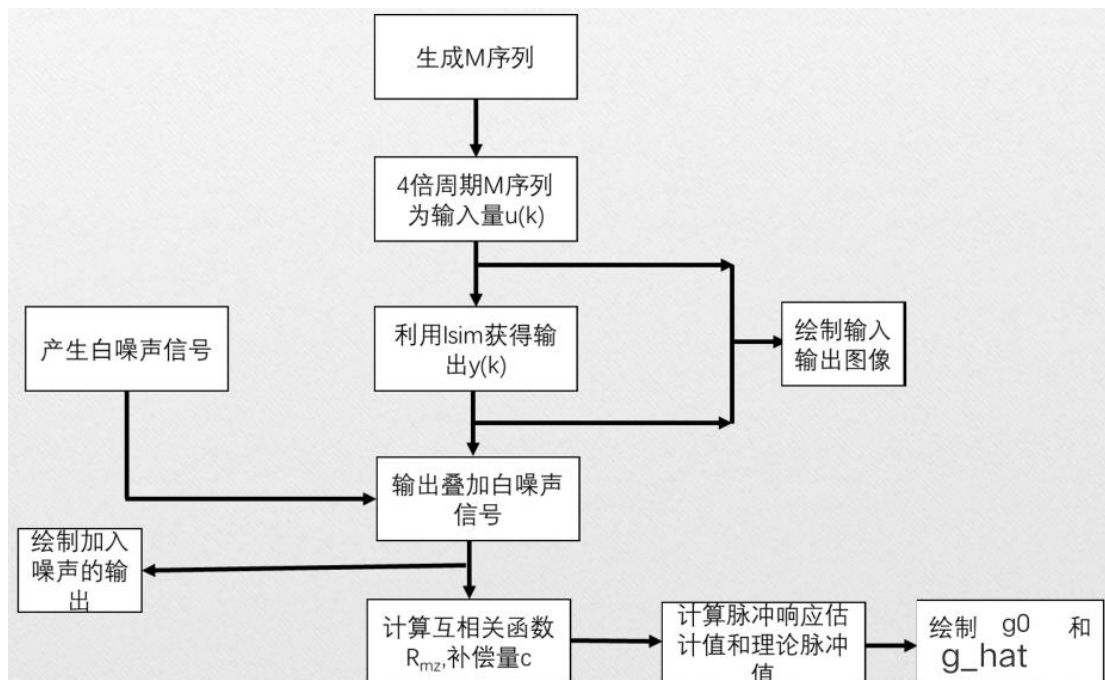
### 4、计算脉冲响应估计值

- 理论脉冲响应值  $g_0(k) = \frac{K}{T_1 - T_2} [e^{-k\Delta t / T_1} - e^{-k\Delta t / T_2}]$

- 脉冲响应估计值  $\hat{g}(k) = \frac{N_p}{(N_p + 1)a^2\Delta t} [R_{M_z}(k) + c]$

- 脉冲响应估计误差  $\delta_g = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_p} (g_0(k) - \hat{g}(k))^2}{\sum_{k=1}^{N_p} (g_0(k))^2}}$

## 五、实验框图



## 六、实验程序代码

### 主程序

```
clear;
```

```

close all;
clc;
%生成 m 序列
r = 3;
a = 1;
delta_t = 1;
M = [1, 1, 0, 0, 0, 1];%设置 6 位寄存器
Np = 2^length(M)-1;%M 序列周期
u = zeros(1,(r+1)*Np);
for i = 1 : (r+1)*Np
    u(i) = M(6);
    m = xor(M(6),M(5));
    M(2:6) = M(1:5);
    M(1) = m;
end
u = (1-2*u)*a;
figure,hold on
plot(u);
title("4 倍长度 M 序列作为输入");
xlim([0, (r+1)*Np+1]);
hold off
%白噪声
A=27;x0=41;M=2^16;Num=(r+1)*Np;N=Num*30;
v=zeros(1,N);
for k = 1:N
    x2 = A*x0;
    x1 = mod(x2,M);
    v1 = x1/M;
    v(k) = v1;
    x0 = x1;
    v0 = v1;
end
B=reshape(v,Num,30);
noise=zeros(1,Num);
for i=1:Num
    noise(i)=(sum(B(i,:))-30/2)/(sqrt(30/12));
end
% estimate g
T1=8.3;T2=6.2;
den = [T1*T2, T1+T2, 1];
K = 120;
G = tf(K, den);
tt=0:length(u)-1;
Y = lsim(G, u, tt);

```

```

Y=Y';
Y_noise = Y + noise;
figure, hold on;
plot(1:length(noise),noise,'g');
plot(1:length(Y), Y,'r');
plot(1:length(Y_noise), Y_noise,'b');
legend(['Gaussian Noise', "System response", "System response with noise"]);
xlim([0, length(Y)+1]);
hold off
time = 0:delta_t:(Np-1)*delta_t;
g0 = (120 / (T1-T2)) * (exp(-time./T1)-exp(-time./T2));%理论
Rmz=zeros(1,Np);
for tch=1:Np
    SUM=0;
    for tcl=Np+1:(r+1)*Np
        SUM=SUM+u(tcl-tch)*Y_noise(tcl);
    end
    Rmz(tch)=SUM/(r*Np);
end
g_hat=Np*(Rmz-Rmz(Np-1))/((a^2)*(Np+1)*delta_t);%估计
g2=g0-g_hat;%误差
figure, hold on
plot(1:Np, g0, 'r');
plot(1:Np, g_hat, 'b');
plot(1:Np, g2);
title("Result");
legend(["理论值", "估计值", "误差"]);
xlim([0, Np]);
hold off
figure,hold on
title("Rmz");
plot(1:Np, Rmz, 'r');
xlim([0, Np]);
hold off;
error_sum=0;square_sum=0;
for count=1:Np
    error_sum=error_sum+(g0(count)-g_hat(count))^2;
    square_sum=square_sum+g0(count)^2;
end
sigma_g=sqrt(error_sum/square_sum);
disp(['脉冲响应估计误差为: ',num2str(sigma_g)]);

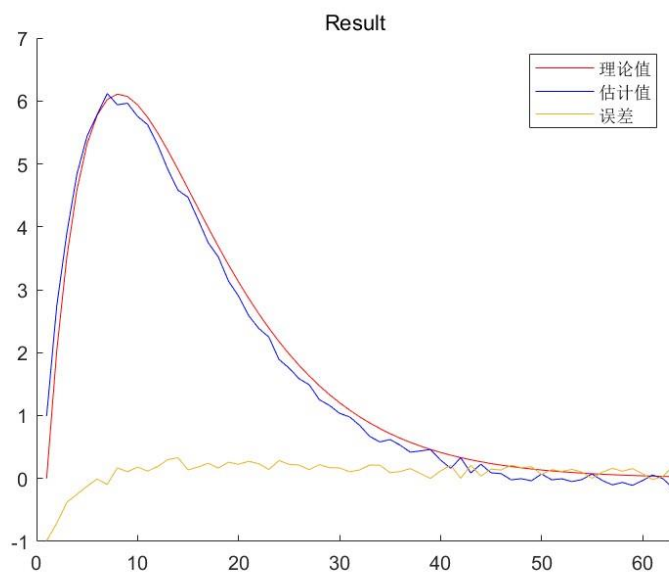
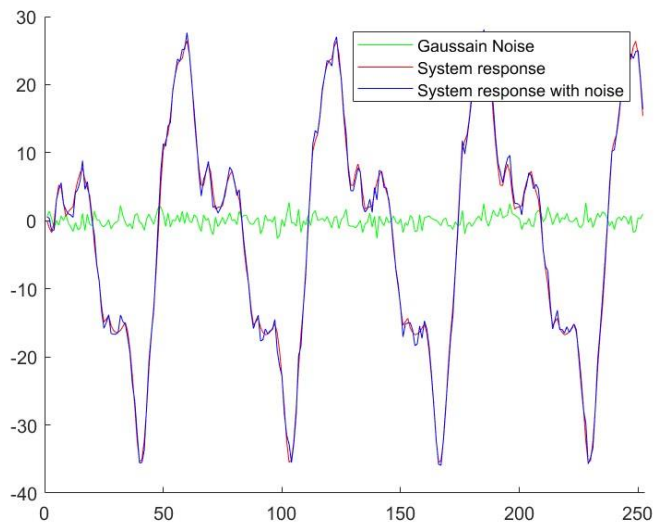
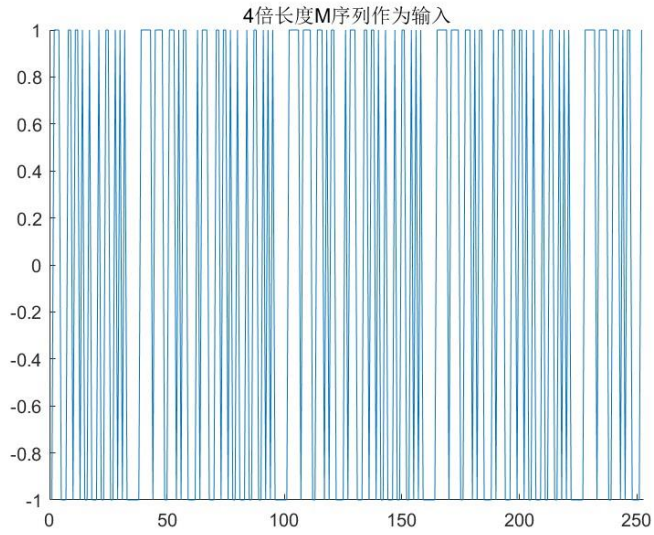
```

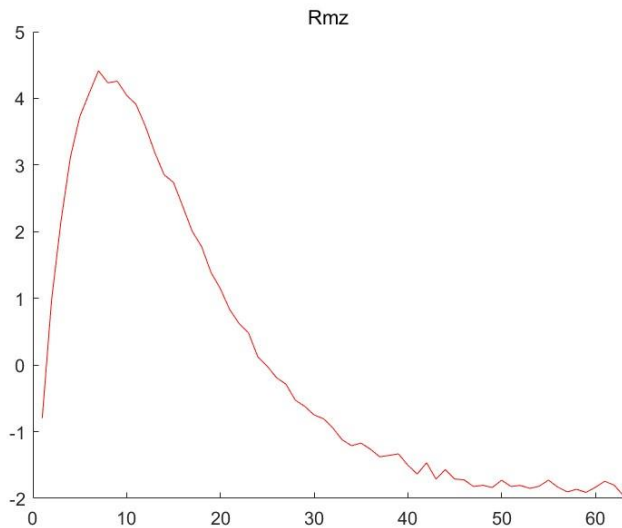
序号

另一个人的报告g\_hat是课程的公式，我这里相当于手动算g\_hat

增加误差计算

## 七、实验结果及分析





```
86         square_sum=square_sum+g0(count)^2;  
87     end  
88     sigma_g=sqrt(error_sum/square_sum);  
89     disp(['脉冲响应估计误差为: ',num2str(sigma_
```

命令行窗口

脉冲响应估计误差为: 0.082236

*fx* >>

## 八、实验结论

实验生成了  $M$  序列以及满足标准正态分布的白噪声，并将  $M$  序列作为输入使用相关分析法辨识系统的脉冲响应，利用维纳霍夫方程辨识得到脉冲响应的估计值，同时直接通过公式算术得到并且用 MATLAB 画出脉冲响应的理论值，将两者对比，计算得到脉冲估计误差为 0.082236。可以看到脉冲响应的理论值和估计值的图像比较接近，辨识效果较好。本次实验达到预期目标。