

哈尔滨工业大学（深圳）

《系统建模与仿真》课程 实验报告

（2020-2021 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：自动化 1 班 190410102

学生姓名：方尧

2020 年 10 月 25 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，服从正态分布，均值为零，方差为 σ_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 $\tilde{g}(k) \rightarrow 0$ 。

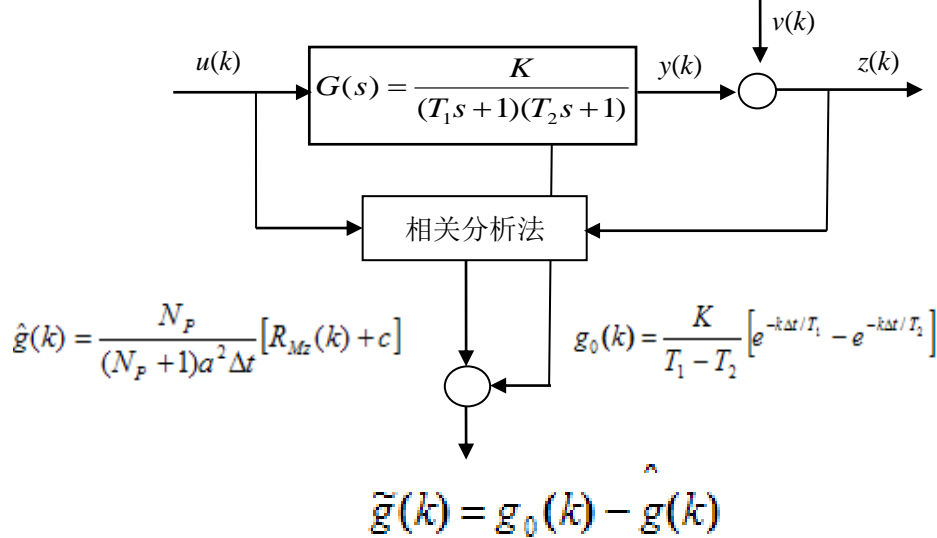


图 1 相关分析法辨识脉冲响应原理框图

三、实验要求

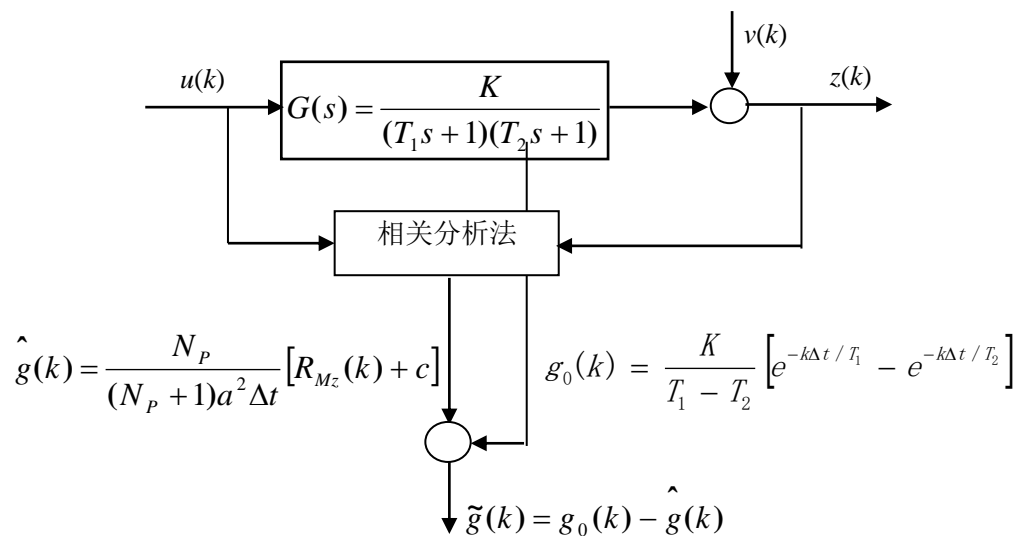
进行方案设计，模拟过程传递函数，获得输出数据，用M序列作为辨识的输

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 σ_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 $-R_{Mz}(N_p - 1)$ ，不能取 $-R_{Mz}(N_p)$ 。因为 $R_{Mz}(k)$ 是周期函数，则有 $R_{Mz}(N_p) = R_{Mz}(0)$ ，故不能取 $-R_{Mz}(N_p)$ 。

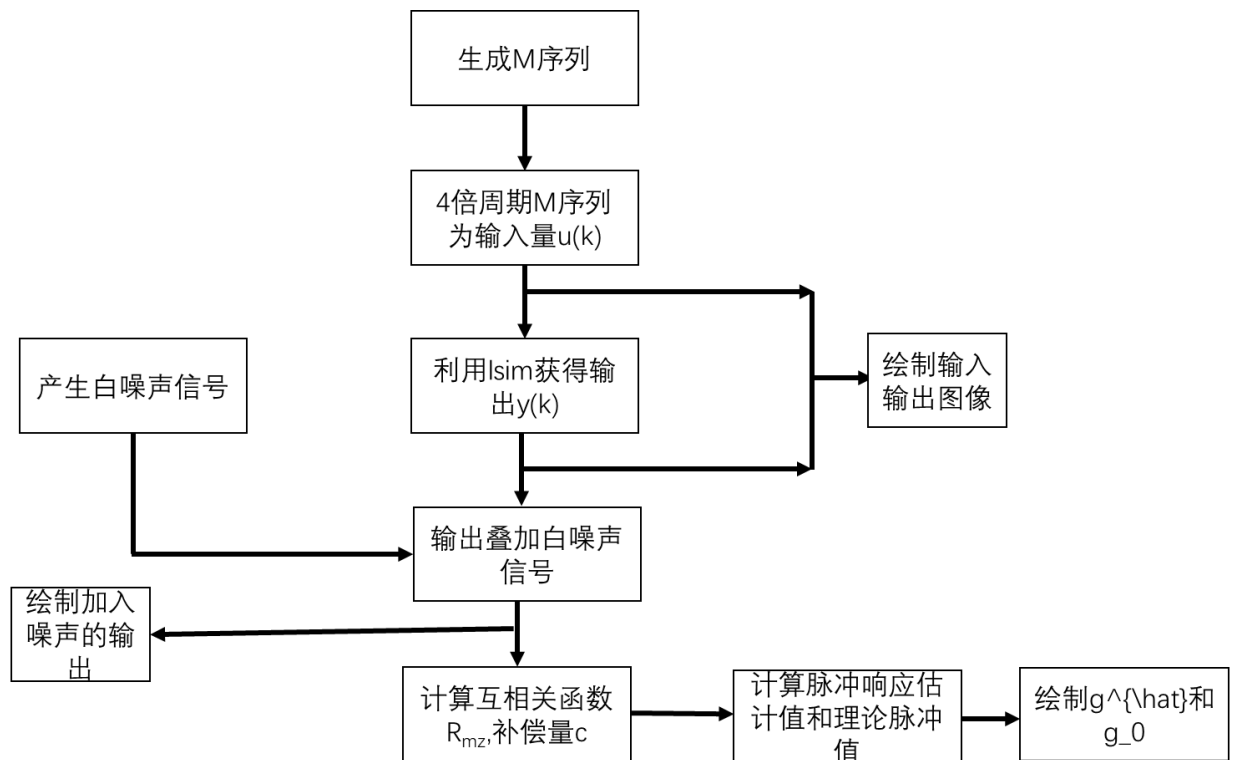
4、计算脉冲响应估计值

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

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

- 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

```

%相关分析法辨识脉冲响应
clc ,close all, clear
% 初始化
ds=1; %白噪声方差
%%
r=3;
a=1; %振幅
Np=2^6-1; %M序列长度
% 产生 M 序列
x=[0,1,0,1,1,0];
for i=1:Np*(r+1)
    y(i)=x(6);
    temp=xor(x(5),x(6));
    for j=5:-1:1
        x(j+1)=x(j);
    end
    x(1)=temp;
end
for i=1:Np*(r+1)
    if(y(i)==0)
        u(i)=a;
    else
        u(i)=-a;
    end
end
end
%%
%产生白噪声序列
v=whitenoise(ds,length(u));
  
```

```

%%
% 计算输入输出
den=[51.46 14.5 1];
num=120;
G=tf(num,den);
y=lsim(G,u,1:length(u));
y=y';
z=y+v;
figure;suptitle('输入输出');
subplot(2,2,1);plot(u);title('输入 M 序列 u(k)');
subplot(2,2,2);plot(v);title('白噪声 v(k)');
subplot(2,2,3);plot(y);title('输出 y(k)');
subplot(2,2,4);plot(z);title('输出 z(k)');
saveas(gcf,'1_输入输出.emf');
%%
% 计算互相关函数
Rmz=zeros(1,Np);
rmz=[];
for j=[1 3]
    for k=0:Np-1
        sum1=0;
        for i=(Np+1):(j+1)*Np
            sum1=sum1+u(i-k)*z(i);
        end
        Rmz(k+1)=sum1/j/Np;
    end
    rmz=[rmz;Rmz];
end
figure,hold on,grid on ,box on
plot(1:Np,rmz(1,:), 'r',1:Np,rmz(2,:), 'b');
title('互相关函数 Rmz(k)');legend('r=1','r=3');
saveas(gcf,'2_互相关函数 Rmz(k).emf');
%%
G0=[];G1=[];G2=[];
for i=[1 2]
    % 绘制脉冲响应估计图形及仿真图形
    Rmz=rmz(i,:);
    c=-Rmz(Np-1);
    K=120;T1=8.3;T2=6.2;T0=1;K1=K/(T1*T2);
    E1=exp(-T0/T1);E2=exp(-T0/T2);
    for k=0:Np-1
        g0(k+1)=K/(T1-T2)*(exp(-k*T0/T1)-exp(-k*T0/T2));
        g1(k+1)=Np/((Np+1)*a*a*T0)*(Rmz(k+1)+c);
        g2(k+1)=g0(k+1)-g1(k+1);
    end
    G0=[G0;g0];G1=[G1;g1];G2=[G2;g2];
    % 计算脉冲响应估计误差
    sum1=0;sum2=0;
    for k=1:Np
        sum1=sum1+g2(k)*g2(k);
        sum2=sum2+g0(k)*g0(k);
    end
    dg=sqrt(sum1/sum2);
    disp(['脉冲响应估计误差' '(r=' num2str(2*i-1) ')' ': ' num2str(dg)])
end
figure,hold on,grid on ,box on
plot(1:Np,G0(1,:),1:Np,G1(1,:),1:Np,G2(1,:),1:Np,G1(2,:),1:Np,G2(2,:));
title(['系统脉冲响应曲线'])

```

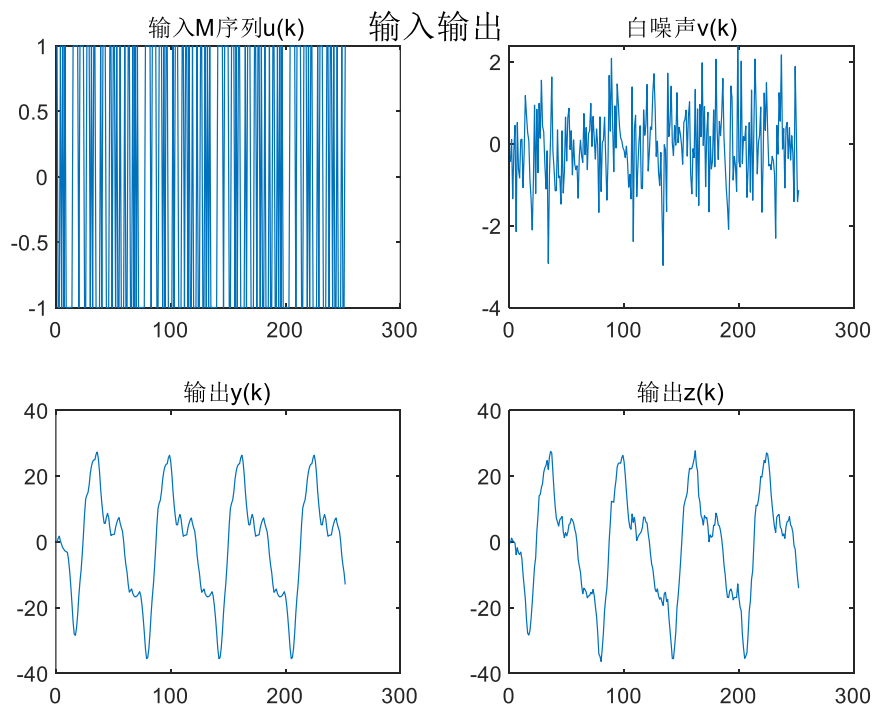
```

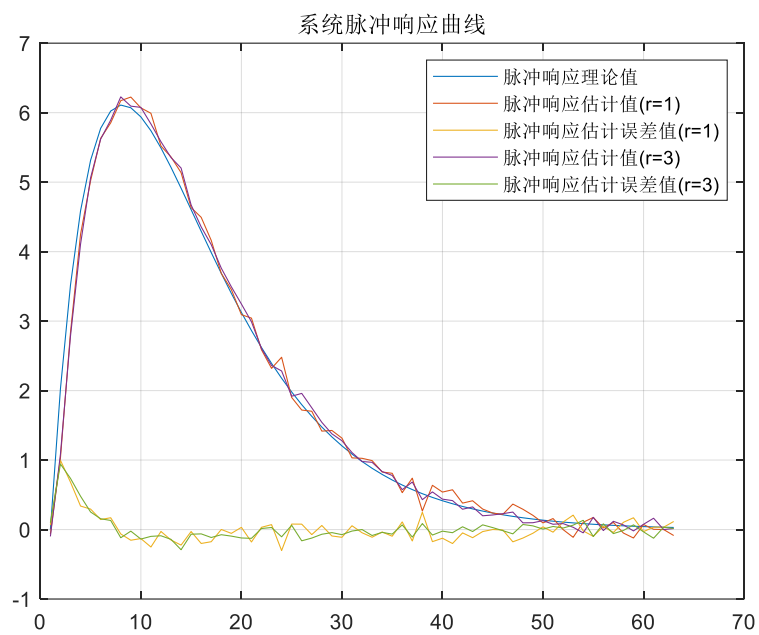
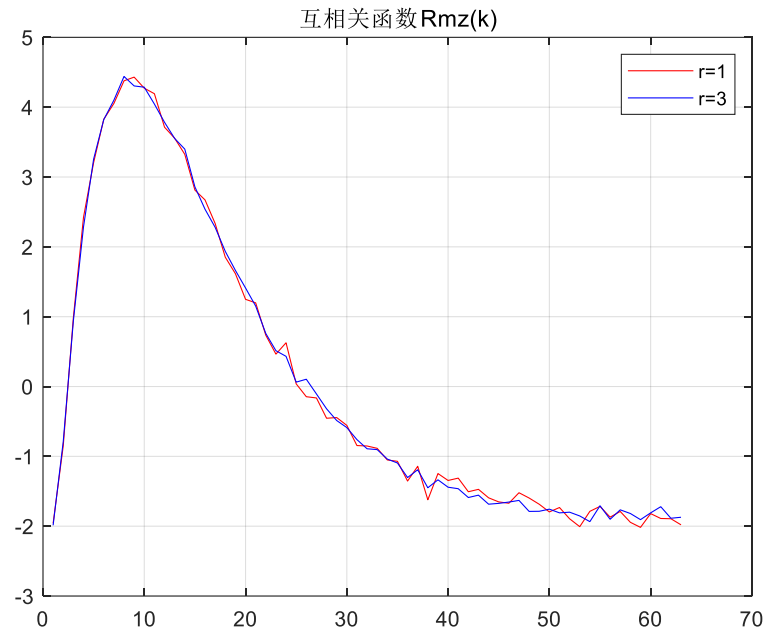
legend('脉冲响应理论值','脉冲响应估计值(r=1)','脉冲响应估计误差值(r=1)','脉冲响
应估计值(r=3)','脉冲响应估计误差值(r=3)')
saveas(gcf,'3_系统脉冲响应曲线.emf');

%%
%白噪声产生函数, sigma 为均方差, len 为白噪声序列数据长度
function [sig]=whitenoise(sigma,len)
a=65539;
M=2147483647;
b=100;
x(1)=12345;
r(1)=x(1)/M; % 第一部分为产生 0-1 的均匀分布随机数
for i=1:12*len
    x(i+1)=mod(a*x(i)+b,M);
    r(i+1)=x(i+1)/M;
end
%-----%
n = 12;
for i = 1 : len
    sig(i)=0;
    for j = 1 : n
        sig(i) = sig(i) + r(n * (i - 1) + j);%第二部分产生正态分布, 方差为 sigma
        的随机序列
    end
end
sig = (sig - 12*0.5)*sigma;
end

```

七、实验结果及分析





输出：

脉冲响应估计误差($r=1$): 0.071698

脉冲响应估计误差($r=3$): 0.066579

八、实验结论

本次系统辨识的实验上机中，利用相关分析法分析脉冲响应，成功辨识出系统的脉冲响应，并且得到结论： r 的值越大,得到的估计误差值越小。