哈尔滨工业大学（深圳）

《系统建模与仿真》课程实验报告

（2019-2020 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 ： 自动化二班 SZ170410221

学生姓名 ： 朱方程

2019 年 10 月 17 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$G(s)$，

$$G(s)=\frac{K}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$$

其中$K=120, T_1=8.3\text{Sec}, \text{T}_2=6.2\text{Sec}$；$u(k)$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$\sigma_v^2$，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$k\to\infty$时，应该有$\tilde{g}(k)\to 0$。

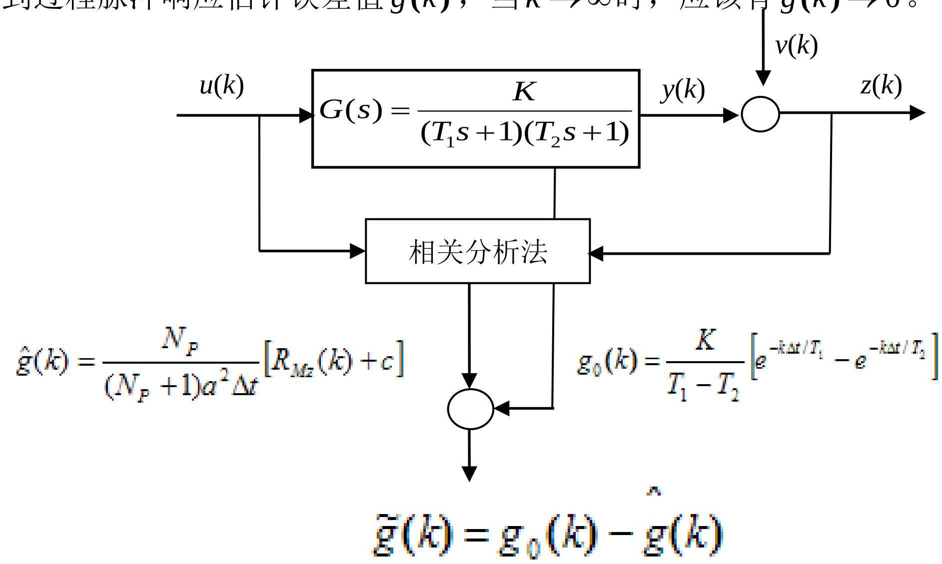


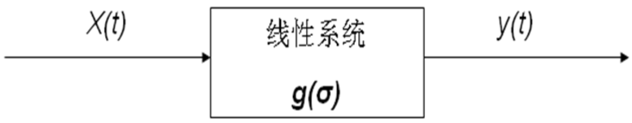
图 1 相关分析法辨识脉冲响应原理框图

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，不同λ值的脉冲响应估计值、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

一个单入单出线性定常系统的动态特性可用它的脉冲响应函数 *g(σ)*来描述。



则 $y(t)=\int_0^\infty g(\sigma)x(t-\sigma)d\sigma$

上式两端同乘$x(t-\tau)$，进而取时间均值，有

$$\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T y(t)x(t-\tau)dt=\int_0^\infty g(\sigma)\{\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T x(t-\sigma)x(t-\tau)dt\}d\sigma$$

则 $R_{xy}(\tau)=\int_0^\infty g(\sigma)R_x(\tau-\sigma)d\sigma$

这就是著名的维纳－霍夫积分方程。

如果输入是白噪声，这时$x(t)$的自相关函数为

$$R_x(\tau)=k\delta(\tau),\quad R_x(\tau-\sigma)=k\delta(\tau-\sigma)$$

则根据维纳－霍夫积分方程可得

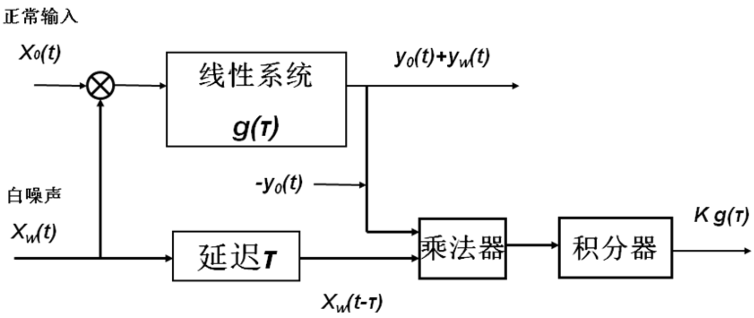
$$R_{xy}(\tau)=\int_0^\infty g(\sigma)R_x(\tau-\sigma)d\sigma=kg(\tau)$$

或者

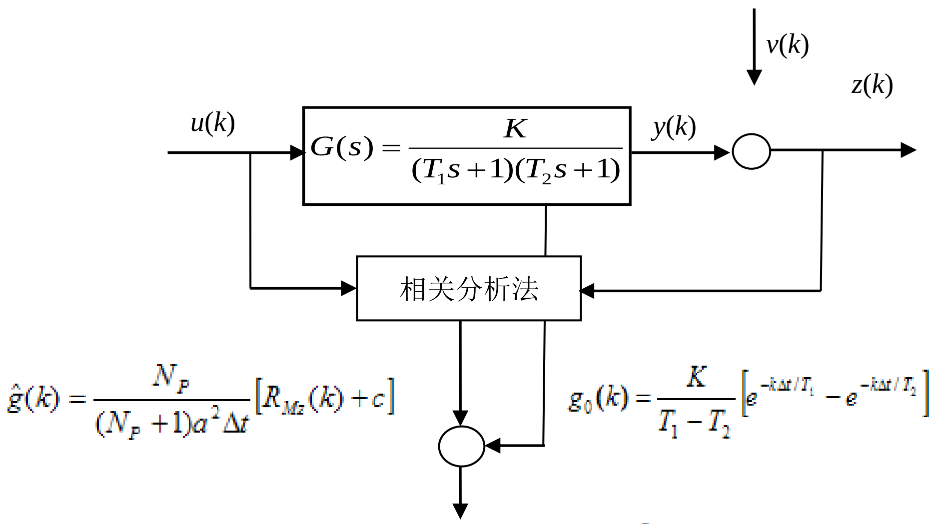
$$g(\tau)=\frac{R_{xy}(\tau)}{k}$$

这样，只要记录 x(t)、y(t)的值，并计算它们的互相关函数，即可求得脉冲响应函数 g(τ)。

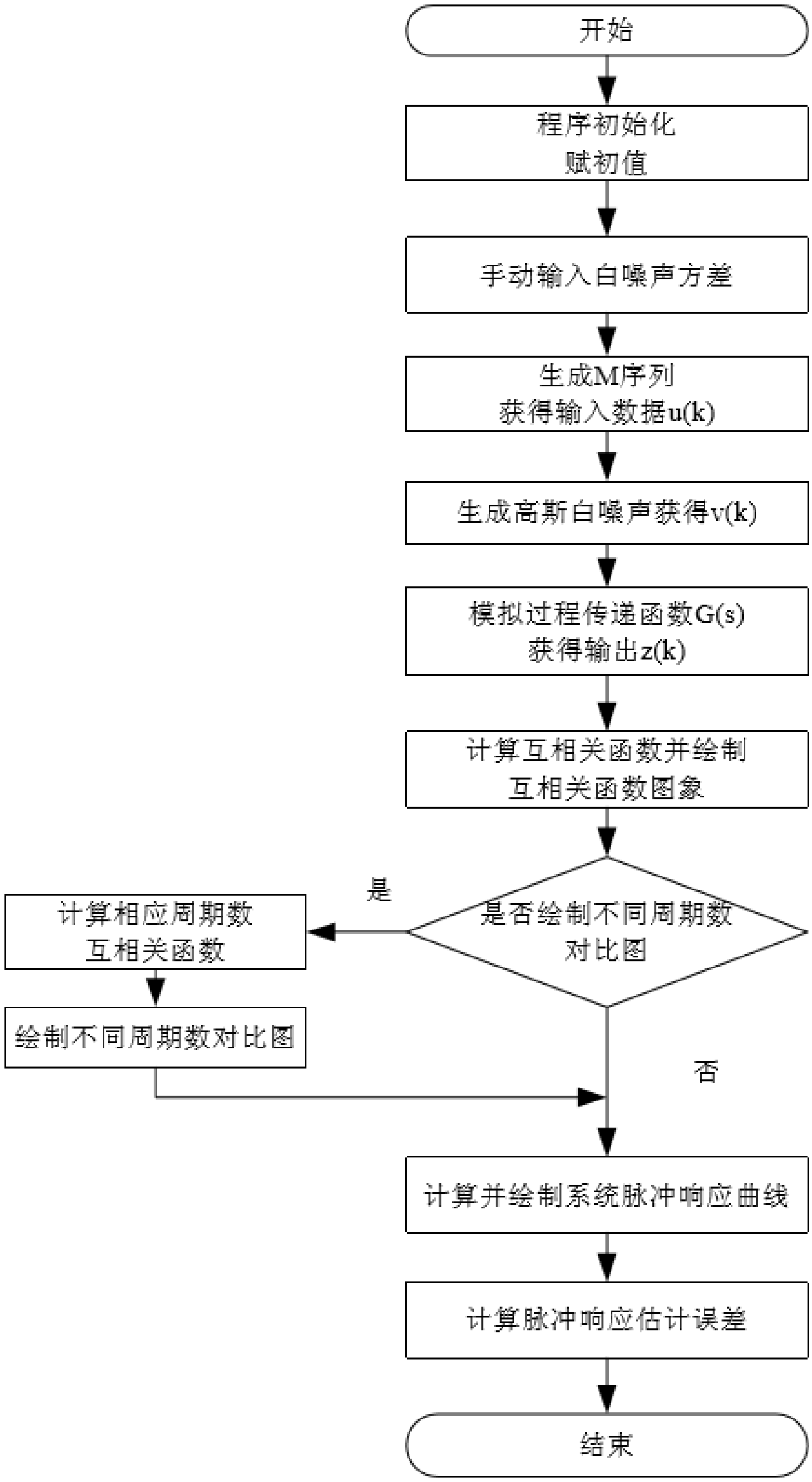
而在系统有正常输入的情形下，辨识脉冲响应的原理图如下图所示。



五、实验框图



$$\tilde{g}(k)=g_0(k)-\hat{g}(k)$$


开始
程序初始化
赋初值
手动输入白噪声方差
生成M序列
获得输入数据u(k)
生成高斯白噪声获得v(k)
模拟过程传递函数G(s)
获得输出z(k)
计算互相关函数并绘制
互相关函数图象
是否绘制不同周期数
对比图
是
计算相应周期数
互相关函数
绘制不同周期数对比图
否
计算并绘制系统脉冲响应曲线
计算脉冲响应估计误差
结束

六、实验程序代码

写一个产生 M 序列的函数，参数 Np 表示循环周期，a 为幅值

```
%产生 M 序列
function M_Sequence=M_seq(Np,a)
%周期为 Np，幅值为 a
M(1)=1;M(2)=0;M(3)=0;M(4)=1;M(5)=1;M(6)=0;
M_Sequence(Np)=0;
for i=1:Np
    temp=xor(M(5),M(6));
    for k=6:-1:2
        M(k)=M(k-1);
    end
    M(1)=temp;
    M_Sequence(i)=-2*temp*a+a;
end
```

再建立另外一个.m 文件，用 M 序列来进行系统辨识。

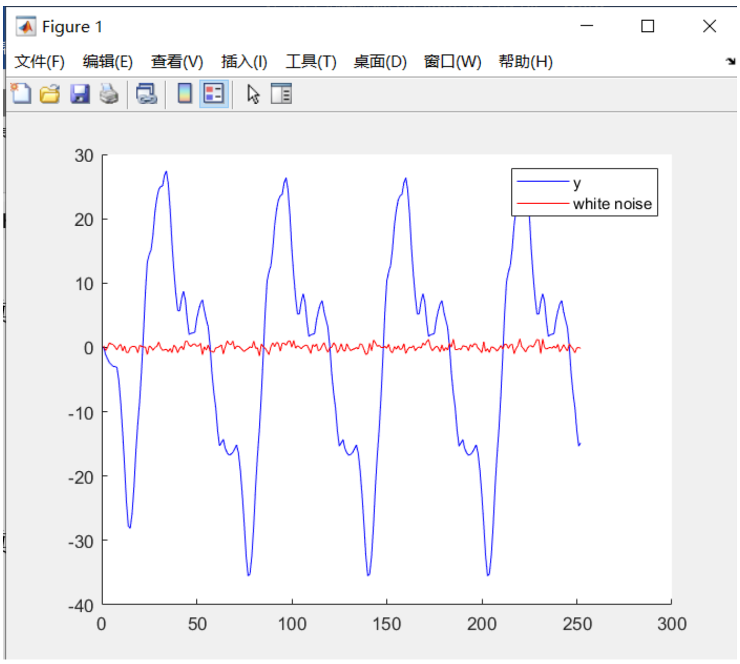
```
% 产生三个周期的输入序列 u
clear all
u=[M_seq(63,1),M_seq(63,1),M_seq(63,1),M_seq(63,1)];
K=120;T0=1;T1=8.3;T2=6.2;
t=[0:1:251];
G=tf([K],[T1*T2,T1+T2,1]);
%用 lsim 函数产生无白噪声污染的输出
y=lsim(G,u,t);
y=y';
%用 randn 函数产生白噪声
%指定方差 variance
variance=0.5;
wn=variance*randn(1,252);
figure(1);
hold on
plot(y,'-b');
plot(wn,'-r');
%legend 函数用于给图像添加名字
legend('y','white noise');
hold off
%将输出信号与白噪声叠加
z=y+wn;
%求脉冲响应理论值 g0
for k=1:63
```

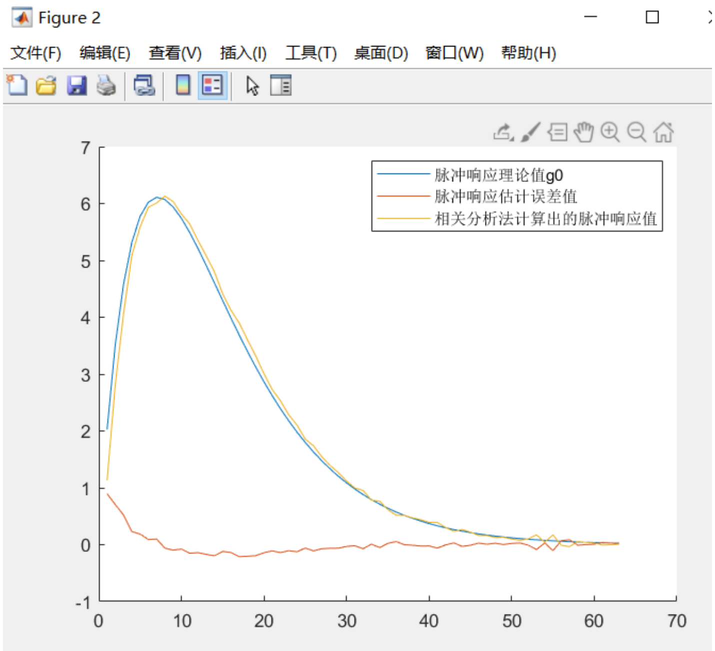
```
g0(k)=K/(T1-T2)*(exp(-k/T1)-exp(-k/T2));
end
%计算互相关函数 Rmz
for k=1:63
    Rmz(k)=0;
    for i=64:252
        Rmz(k)=Rmz(k)+1/(3*63)*u(i-k)*z(i);
    end
end
%利用相关分析法计算出系统的脉冲响应值 g1
for k=1:63
    g1(k)=63/64*(Rmz(k)-Rmz(62));
end
%计算系统脉冲响应估计误差值 delta_g
delta_g=g0-g1;
figure(2);
hold on
plot(g0);
plot(g0-g1);
plot(g1);
legend('脉冲响应理论值 g0','脉冲响应估计误差值','相关分析法计算出的脉冲响应值');
hold off
```

七、实验结果及分析

1. 周期 r=3, 白噪声方差 variance=0.5 的辨识结果

左图：蓝色表示未受白噪声污染的输出值，红色的为白噪声。





t	17	18	19	20	21	22	23	24
脉冲响应理论值	3.6870	3.3990	3.1243	2.8642	2.6196	2.3907	2.1776	1.9801
脉冲响应估计值	3.8258	3.4619	3.2744	2.9030	2.6536	2.3963	2.2353	2.0207

t	25	26	27	28	29	30	31	32
脉冲响应理论值	1.7975	1.6294	1.4750	1.3336	1.2044	1.0865	0.9792	0.8817
脉冲响应估计值	1.8992	1.6370	1.5331	1.2900	1.1994	1.0284	0.9780	0.9084

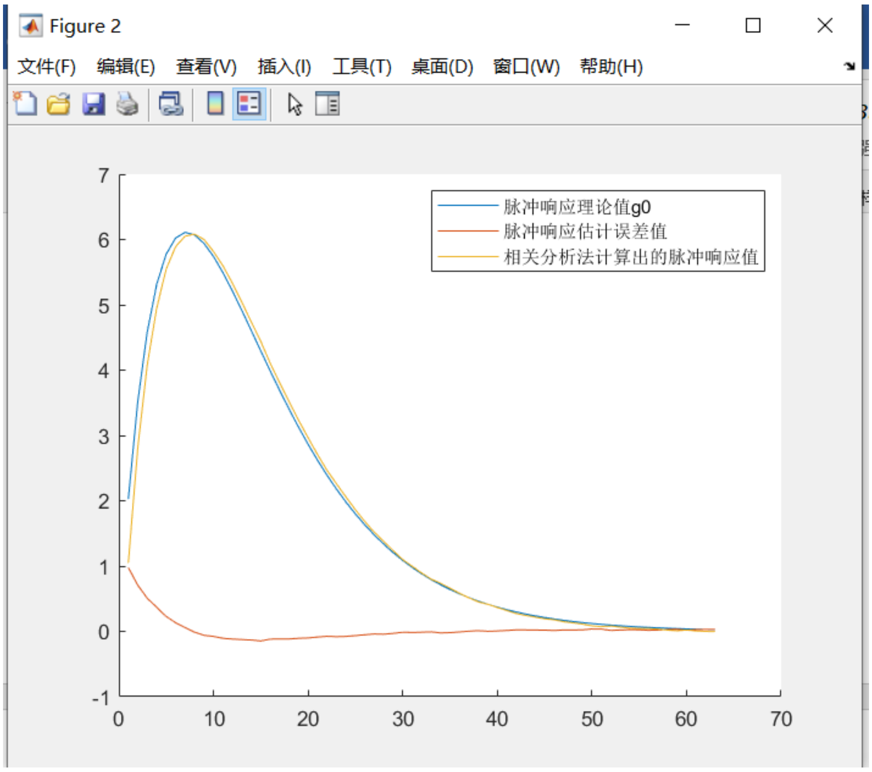
t	33	34	35	36	37	38	39	40
脉冲响应理论值	0.7933	0.7131	0.6406	0.5750	0.5159	0.4625	0.4144	0.3711
脉冲响应估计值	0.8401	0.7291	0.6192	0.5218	0.4858	0.4803	0.4439	0.3587

t	41	42	43	44	45	46	47	48
脉冲响应理论值	0.3322	0.2972	0.2658	0.2376	0.2123	0.1896	0.1693	0.1511
脉冲响应估计值	0.2811	0.2246	0.2729	0.2337	0.1916	0.1701	0.1525	0.1246

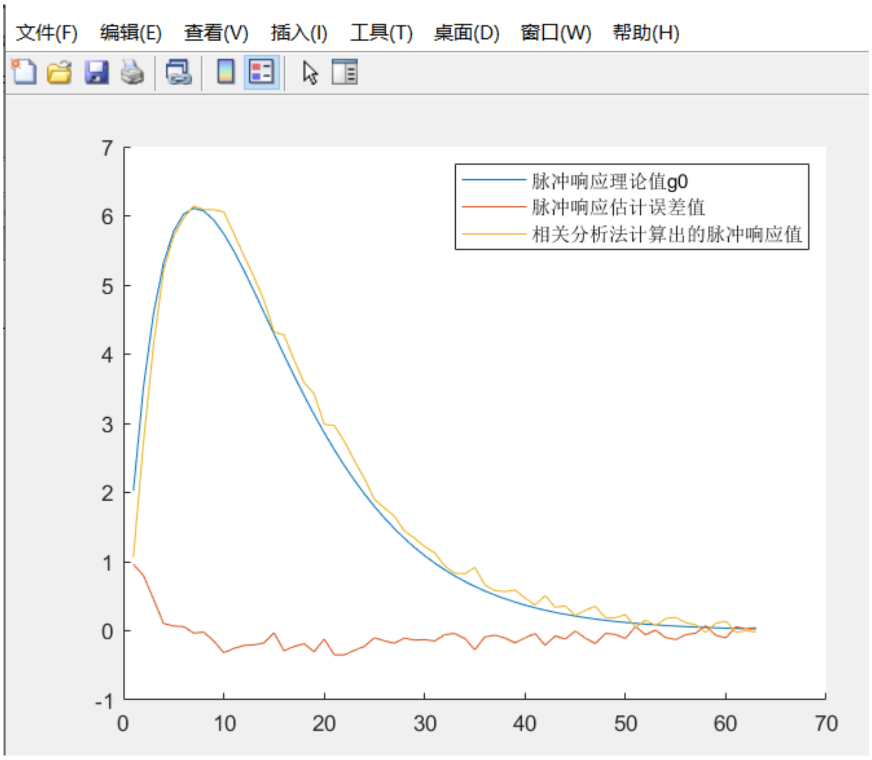
t	49	50	51	52	53	54	55	56
脉冲响应理论值	0.1349	0.1203	0.1073	0.0956	0.0853	0.0760	0.0677	0.0603
脉冲响应估计值	0.0835	0.0657	-0.0005	0.0862	0.0141	0.0110	0.0611	0.0922

t	57	58	59	60	61	62	63
脉冲响应理论值	0.0537	0.0478	0.0425	0.0379	0.0337	0.0300	0.0267
脉冲响应估计值	0.0175	-0.0323	-0.0468	-0.0283	-0.0210	0.0000	-0.0974

2.估计误差与白噪声方差 variance 的关系



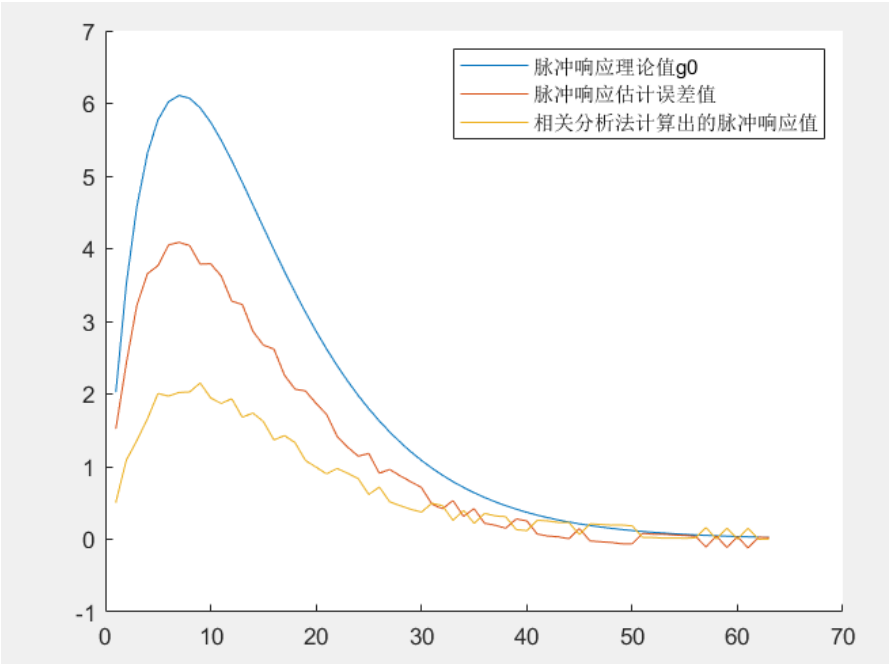
（方差为 0.1，周期数 r=3）



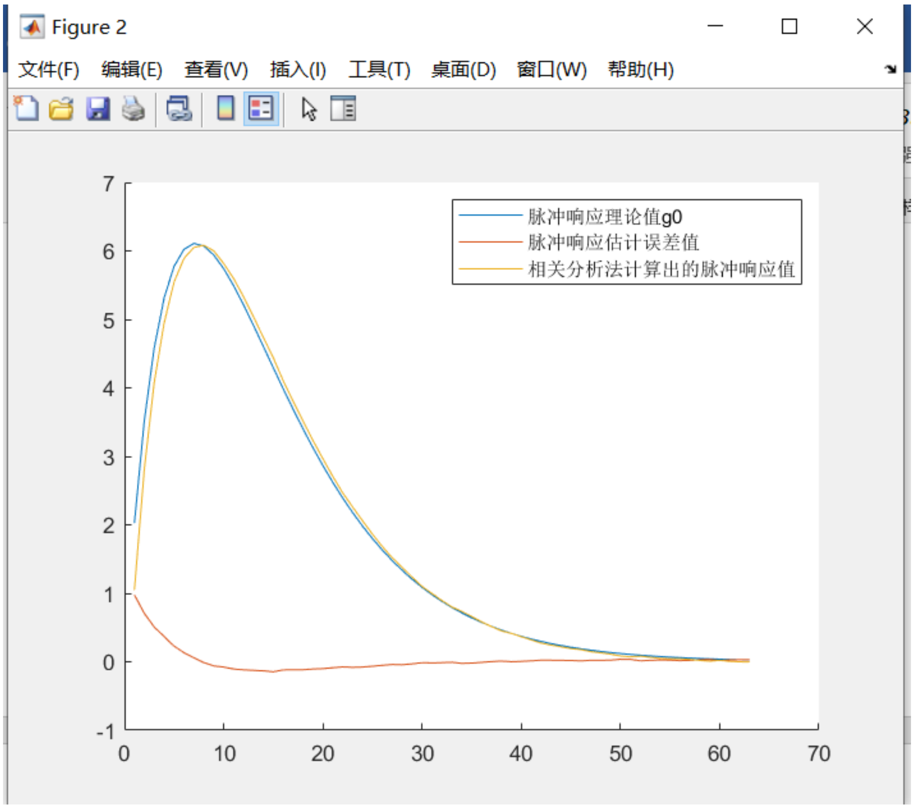
（方差为 1，周期数 r=3）

●可见方差越小，白噪声对辨识结果影响越小，辨识得越准确。

3. 估计误差与周期数 r 的关系



（方差 variance=0.1，周期 r=1）



（（方差 variance=0.1，周期 r=3）

●**可见周期越大，辨识结果越准确。**

由实验图像可知，当 k 趋于无穷大时，系统脉冲响应估计误差值趋于 0。

相关分析法计算出的脉冲响应值和系统的脉冲响应理论值 g0 拟合度很高，说明辨识实验较为成功，用相关分析法来辨识系统的脉冲响应可行性高。

八、实验结论

1. 由背景知识可得，根据维纳-霍夫积分方程，只要记录 x(t)、y(t)的值，并计算它 们的互相关函数，即可求得脉冲响应函数 g(τ)。

2. 本实验利用相关分析法分析脉冲响应，得到脉冲响应的估计误差是随着输入白噪声方差的增加而增大的，带有白噪声污染的输出 z,在白噪声方差为 0 时与理想输出 y 是重合的，即白噪声的方差越小对系统的输出干扰越小。

3. 对于系统采用相关分析法估计，选择周期数越大，估计效果越好。