**大连理工大学**

**本科实验报告二**

课程名称： 随机信号分析实验

学院（系）： 信息与通信工程学院

专 业： 电子信息工程（英语强化）

班 级： 电英1801班

学 号： 201883032

学生姓名： 童博涵

2020年 11月 11日

**大连理工大学实验预习报告**

学院（系）：信息与通信工程学院 专业：电子信息工程（英语强化）班级： 电英1801

姓 名： 童博涵 学号： 201883032 组： \_\_\_

实验时间： 2020.11.11 实验室： C221 实验台：

指导教师： 李小兵

**实验II：系统对随机信号响应的统计特性分析、功率谱分析及应用实验**

1. 实验目的和要求

掌握直接法估计随机信号功率谱的原理和实现方法；掌握间接法估计随机信号功率谱的原理和实现方法；掌握系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真实现方法。熟悉MATLAB信号处理软件包的使用。

1. 实验原理和内容

（一）实验原理：

1. 直接法估计随机信号功率谱原理

直接图法又称周期图法，其原理是将获得随机信号中N点数据构成的有限长序列直接求傅里叶变换，得到其频谱，之后取频谱幅度的平方，并除以N，以此作为对真实功率谱的估计。以表示用周期图法估计的功率谱，则。在工程上常使用快速傅里叶变换进行计算。

1. 间接法估计随机信号功率谱

间接法的理论基础是维纳-辛钦定理。其原理为由估计出自相关函数，然后对求傅里叶变换得到的功率谱，记为

。

因为这种方法求出的功率谱是通过自相关函数简介得到的，因此称为间接法。当M较小时，上式计算量不是很大，因此，该方法是在FFT问世之前常用的谱分析方法。

1. 时域中系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

根据系统卷积性质，可按下式计算系统输出信号的统计特性：

1. 频域中系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

根据卷积定理，输入输出信号功率谱的关系为：

在计算系统输出信号功率谱时，如果在时域计算困难，可以按照上式在频域计算。

（二）实验内容：

1. 直接法估计随机信号功率谱

(1) 生成1024点数据的随机信号

其中，，为在内的均匀分布的随机变量，是数学期望为0，方差为1 的高斯白噪声。

(2) 用周期图法计算的功率谱，并绘图。

(3) 用MATLAB函数periodogram重新计算的功率谱，并与(2)做比较。

2．间接法估计随机信号功率谱

(1) 计算以上的自相关函数。

(2) 通过计算自相关函数的Fourier变换，求的功率谱并绘图。

(3) 利用MATLAB函数psd、pwelch重新计算的功率谱，并与(2)做比较。

3．系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

(1) 生成含500点数据的高斯分布白噪声随机信号。

(2) 设计一个带通系统，其上、下截止频率分别为4KHz和3KHz.

(3) 计算通过以上带通滤波器的自相关函数和功率谱密度。

4．探究式实验内容

DTMF电话号码识别

【研究内容和要求】

研究随机信号分析的相关分析方法/谱分析方法在实际中的应用。

教师设计一路语音信号，根据DTMF标准生成11位电话号码拨号音信，加上加性标准的随机分布噪声数据；或者采集一组实际拨号语音信号。要求学生根据信号数据自行找出所携带的电话号码。

学生需要研究DTMF信号构成规则，掌握信号分割方法，利用相关法或谱分析方法来找到电话号码。

如果采用其他处理方法，需要详细说明原理和操作过程。

【数据设计】

提供一路声音信号文件：学号-实验二案例2\_无噪DTMF.wav。

实际数据的生成，可以采用Matlab编写的代码生成，或者用Cooledit等软件生成，再叠加高斯/均匀/指数等分布律的数据作为噪声。

电话拨号音的号码要与学生的学号相关，并且不容易看出之间的关系。

DTMF信号构成基本原理：

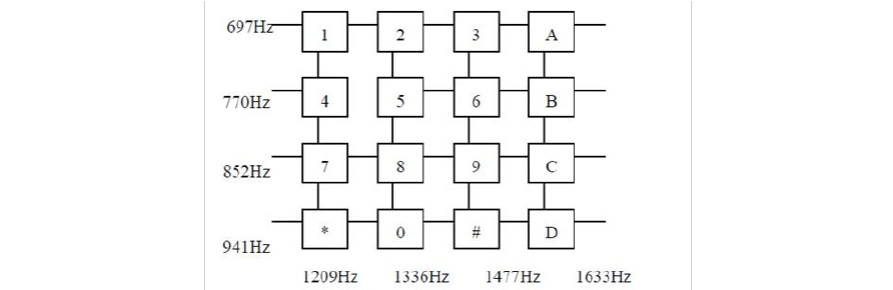


图1 DTMF信号构成基本原理：

图1中每个按键音包含两个信号频率，通过按键拨号发出的音频可以推断出是按了哪个拨号键。

【实验布置】

在实验一（相关法）、二（谱分析）的内容中加入，可以在实验二中或者另外安排时间验收。

只提供一路信号文件：学号-实验二案例2\_无噪DTMF.wav；或者给学生p代码，要求学生输入自己的学号生成自己的数据。可以提示学生用audioread函数取得采样率和数据，或者用其他工具取得数据信息。

提示学生可以用相关/谱分析的方法。

提醒学生数据具有特异性，不能抄袭答案。

【验收内容】

每个学生均需要经过验收，验收时，教师根据学号，运行验收代码，生成每个学生的正确结果以供核对。学生需要：

下载与个人学号相关联的实验数据，分析、实验。

根据名单确认学号，提供根据数据解码得到的电话号码。

解释实验原理和过程，回答教师提问。

上交自行撰写的实验/研究报告（此部分不需要预习报告，可单独另行成文）。

1. 实验步骤
2. 生成1024点随机信号X(n)和高斯白噪声N(n)
3. 使用周期图法绘制其功率谱
4. 使用periodogram函数计算功率谱，并与(2)作比较
5. 计算信号的自相关函数和功率谱
6. 使用psd和pwelch方法重新计算功率谱，并与(2)作比较
7. 生成500点的高斯分布白噪声信号
8. 设计一个带通系统，其上、下截止频率分别为4KHz和3KHz
9. 计算通过以上带通系统输出信号的自相关函数功率谱密度
10. 根据随机生成的11位DTMF电话拨号信号，添加随机白噪声，设计系统进行去噪处理并识别11位电话号码

四、实验数据记录表格

**大连理工大学实验报告**

学院（系）：信息与通信工程学院 专业：电子信息工程（英语强化）班级： 电英1801

姓 名： 童博涵 学号： 201883032 组： \_\_\_

实验时间： 2020.11.11 实验室： C221 实验台：

指导教师： 李小兵

**实验II：系统对随机信号响应的统计特性分析、功率谱分析及应用实验**

1. 实验目的和要求

掌握直接法估计随机信号功率谱的原理和实现方法；掌握间接法估计随机信号功率谱的原理和实现方法；掌握系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真实现方法。熟悉MATLAB信号处理软件包的使用。

1. 实验原理和内容

（一）实验原理：

1. 直接法估计随机信号功率谱原理

直接图法又称周期图法，其原理是将获得随机信号中N点数据构成的有限长序列直接求傅里叶变换，得到其频谱，之后取频谱幅度的平方，并除以N，以此作为对真实功率谱的估计。以表示用周期图法估计的功率谱，则。在工程上常使用快速傅里叶变换进行计算。

1. 间接法估计随机信号功率谱

间接法的理论基础是维纳-辛钦定理。其原理为由估计出自相关函数，然后对求傅里叶变换得到的功率谱，记为

。

因为这种方法求出的功率谱是通过自相关函数简介得到的，因此称为间接法。当M较小时，上式计算量不是很大，因此，该方法是在FFT问世之前常用的谱分析方法。

1. 时域中系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

根据系统卷积性质，可按下式计算系统输出信号的统计特性：

1. 频域中系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

根据卷积定理，输入输出信号功率谱的关系为：

在计算系统输出信号功率谱时，如果在时域计算困难，可以按照上式在频域计算。

（二）实验内容：

1. 直接法估计随机信号功率谱

(1) 生成1024点数据的随机信号

其中，，为在内的均匀分布的随机变量，是数学期望为0，方差为1 的高斯白噪声。

(2) 用周期图法计算的功率谱，并绘图。

(3) 用MATLAB函数periodogram重新计算的功率谱，并与(2)做比较。

2．间接法估计随机信号功率谱

(1) 计算以上的自相关函数。

(2) 通过计算自相关函数的Fourier变换，求的功率谱并绘图。

(3) 利用MATLAB函数psd、pwelch重新计算的功率谱，并与(2)做比较。

3．系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

(1) 生成含500点数据的高斯分布白噪声随机信号。

(2) 设计一个带通系统，其上、下截止频率分别为4KHz和3KHz.

(3) 计算通过以上带通滤波器的自相关函数和功率谱密度。

4．探究式实验内容

三、主要仪器设备

微型计算机（CPU: Intel i7-8750H, GPU: AMD Radeon Pro 560X, 16GB RAM, Windows 10），LabVIEW 2019（32-bit），MATLAB 2017b。

四、实验步骤与操作方法

1. 直接法估计随机信号功率谱

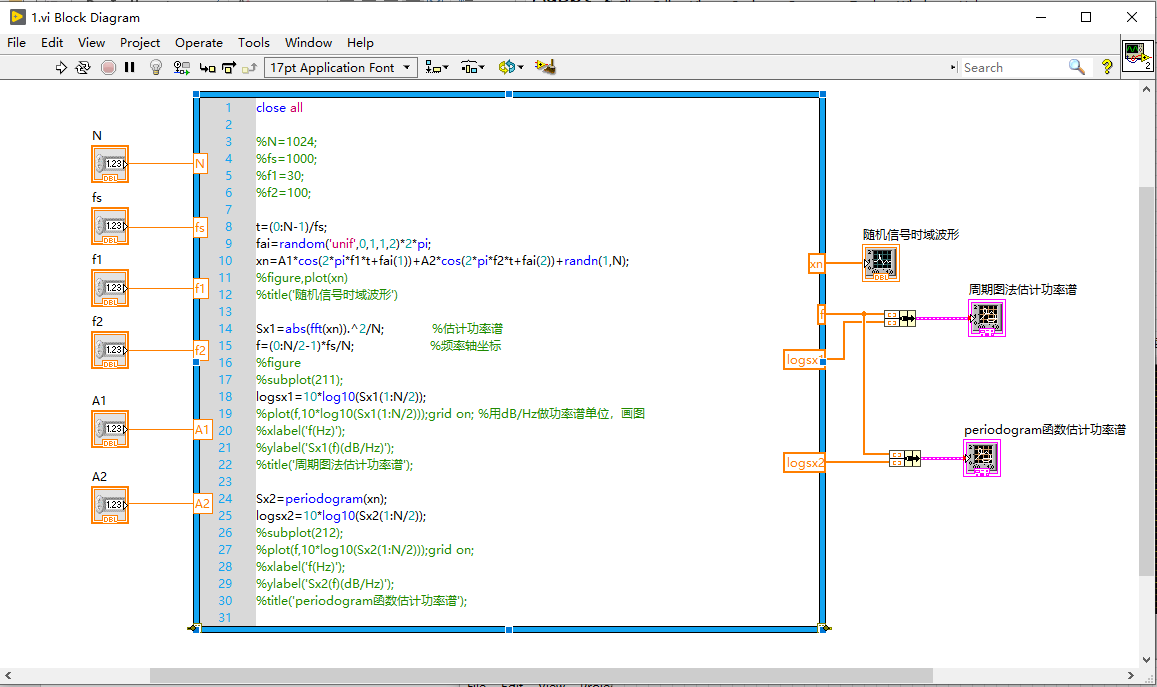


图4.1 直接法估计随机信号功率谱前面板及程序

1. 间接法估计随机信号功率谱

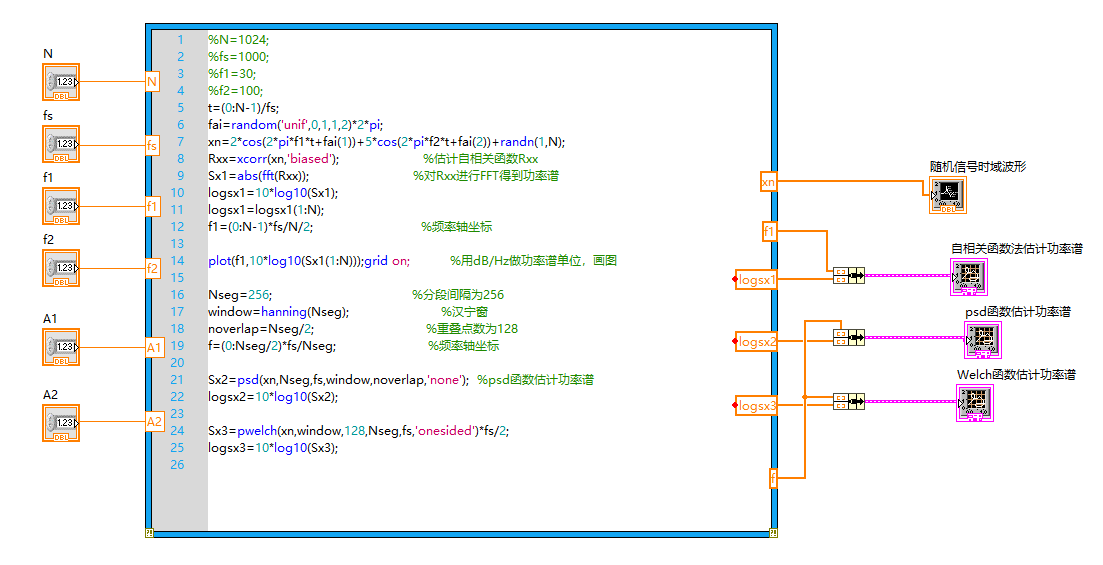


图4.2 间接法估计随机信号功率谱前面板及程序

1. 系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

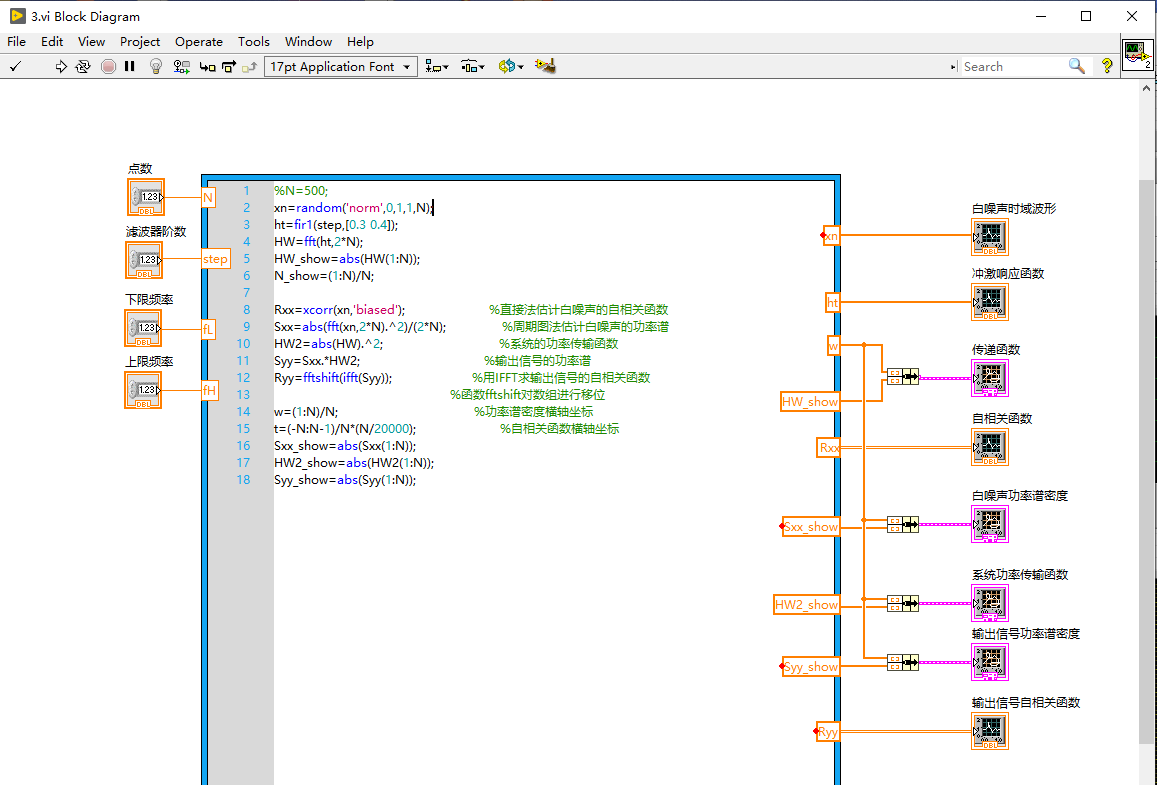


图4.3 系统对随机信号响应的统计特性分析前面板及程序

1. 探究式实验内容

子函数number\_sig：

function [x]=number\_sig(number, Fs)%生成特定DTMF信号

t1 = [1:Fs/20]; %410个采样点

% t1 = linspace(0,1,410);

switch(number)

case '1'

x = sin(2\*pi\*697\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1209\*t1/Fs);

case '2'

x = sin(2\*pi\*697\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1336\*t1/Fs);

case '3'

x = sin(2\*pi\*697\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1477\*t1/Fs);

case 'A'

x = sin(2\*pi\*697\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1633\*t1/Fs);

case '4'

x = sin(2\*pi\*770\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1209\*t1/Fs);

case '5'

x = sin(2\*pi\*770\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1336\*t1/Fs);

case '6'

x = sin(2\*pi\*770\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1477\*t1/Fs);

case 'B'

x = sin(2\*pi\*770\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1633\*t1/Fs);

case '7'

x = sin(2\*pi\*852\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1209\*t1/Fs);

case '8'

x = sin(2\*pi\*852\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1336\*t1/Fs);

case '9'

x = sin(2\*pi\*852\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1477\*t1/Fs);

case 'C'

x = sin(2\*pi\*852\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1633\*t1/Fs);

case '\*'

x = sin(2\*pi\*941\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1209\*t1/Fs);

case '0'

x = sin(2\*pi\*941\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1336\*t1/Fs);

case '#'

x = sin(2\*pi\*941\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1477\*t1/Fs);

case 'D'

x = sin(2\*pi\*941\*t1/Fs)+sin(2\*pi\*1633\*t1/Fs);

end

end

子函数sigfilter：

function [sig\_edge] = sigfilter(yt, Fs) %对信号进行滤波操作，返回DTMF信号的开始和结束时间边沿

dt=1/Fs; %采样时间

N=length(yt); %采样点数

y=fft(yt); %fft变换

f1=695; %带通滤波器频率

f2=1480;

yy=zeros(1,length(y));

for m=0:N-1 %将频率落在该频率范围及其大于Nyquist频率的波滤去

if(m/(N\*dt)<f1||m/(N\*dt)>f2)... %小于Nyquist频率的滤波范围

||(m/(N\*dt)<(1/dt-f2)&&m/(N\*dt)>(1/dt-f1)) %大于Nyquist频率的滤波范围

%1/dt为一个频率周期

yy(m+1)=0.0; %置在此频率范围内的振动振幅为零

else

yy(m+1)=y(m+1); %其余频率范围的振动振幅不变

end

end

ifft\_yy = real(ifft(yy)); %ifft变换还原时域信号

maxy = max(ifft\_yy); %信号最大幅值

for i=1:length(ifft\_yy)

if(ifft\_yy(i)>0 && ifft\_yy(i) <= maxy\*0.20) || (ifft\_yy(i)<0 && ifft\_yy(i) >= -maxy\*0.20) %将幅值低于0.2倍maxy的信号置0

ifft\_yy(i) = 0.0;

end

end

es = ifft\_yy.^2; %信号能量

% plot(handles.sig\_show,es)

% set(handles.text7,'String','energy');

threshold = 10^-6; %信号能量阈值

flag = zeros(1,length(ifft\_yy));

flag(find(es>threshold)) = 1; %将大于阈值信号置1

flag(find(es<=threshold)) = 0; %反之置0

sig = find(flag==1); %得到为1的信号的位置

left = [sig(1)];

right = [];

for i=1:length(sig)-1

if(sig(i+1)-sig(i) >= 2000) %滤去两点之间间隔小于2000点的信号

right = [right sig(i)];

left = [left sig(i+1)];

end

end

right = [right sig(end)];

sig\_edge = [left;right];

if(size(sig\_edge,2) > 1)

tmp\_edge = [];

for j=1:length(sig\_edge)

if (sig\_edge(2,j)-sig\_edge(1,j)) > 2000 %再次滤去两点之间间隔小于2000点的信号

tmp\_edge = [tmp\_edge sig\_edge(:,j)];

end

end

sig\_edge = tmp\_edge;

end

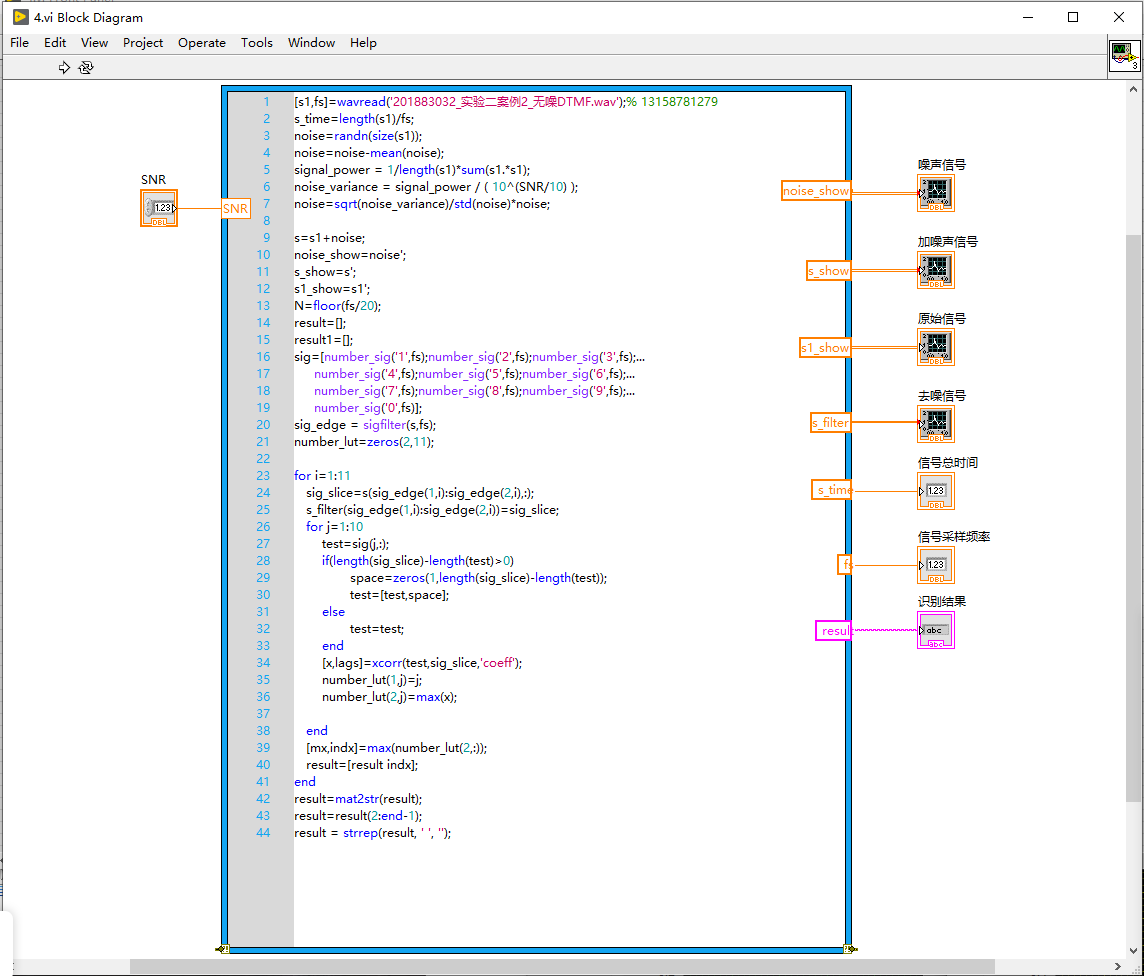


图4.4 探究式实验内容前面板及主程序

五、实验数据记录和处理

1. 直接法估计随机信号功率谱

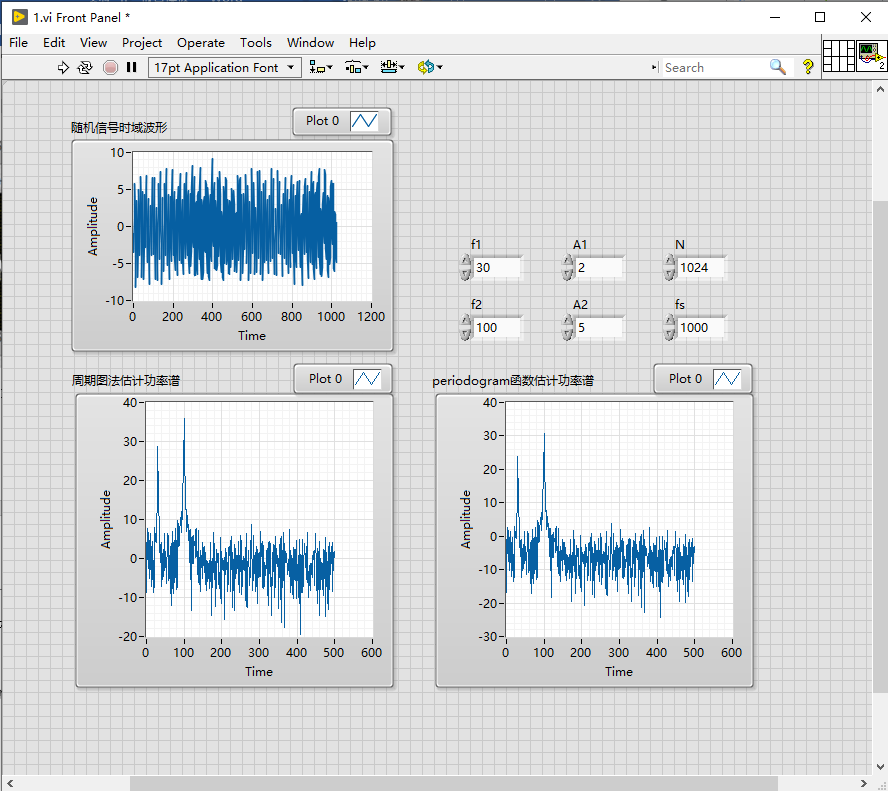


图5.1 直接法估计功率谱

1. 间接法估计随机信号功率谱

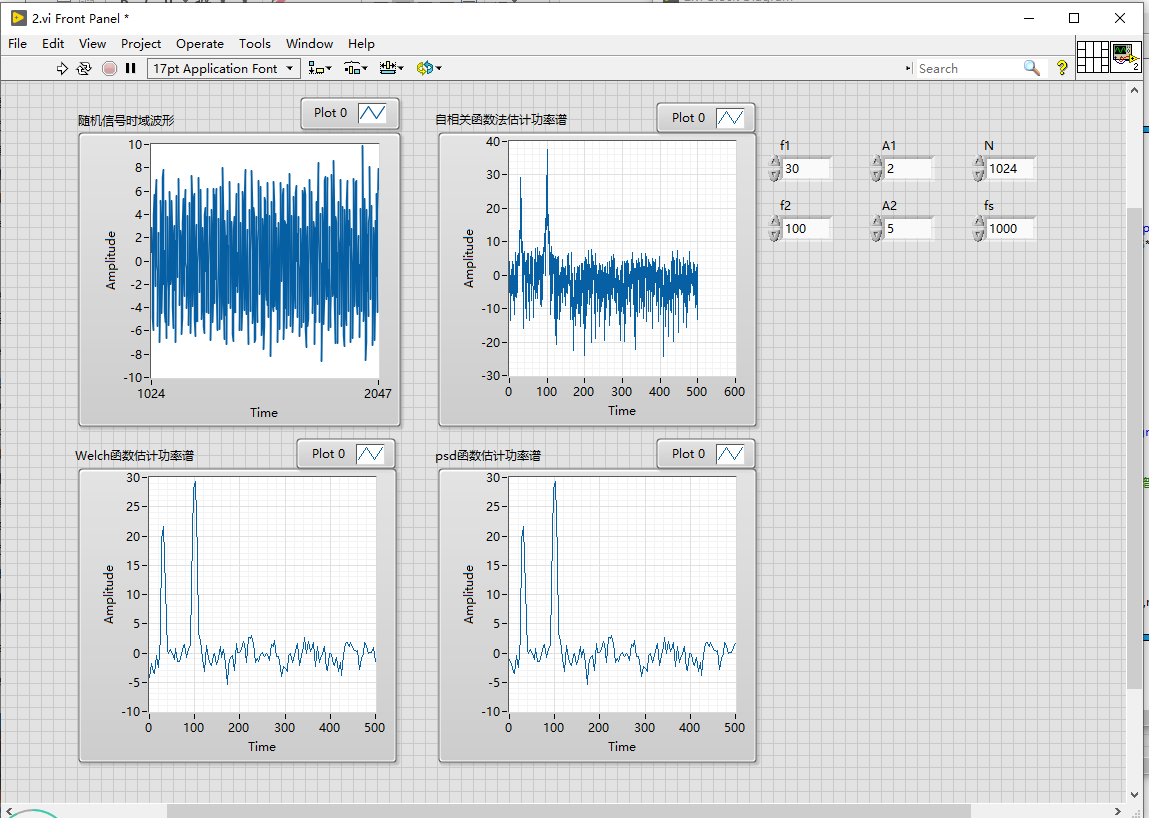


图5.2 间接法估计功率谱

1. 系统对随机信号响应的统计特性分析及仿真

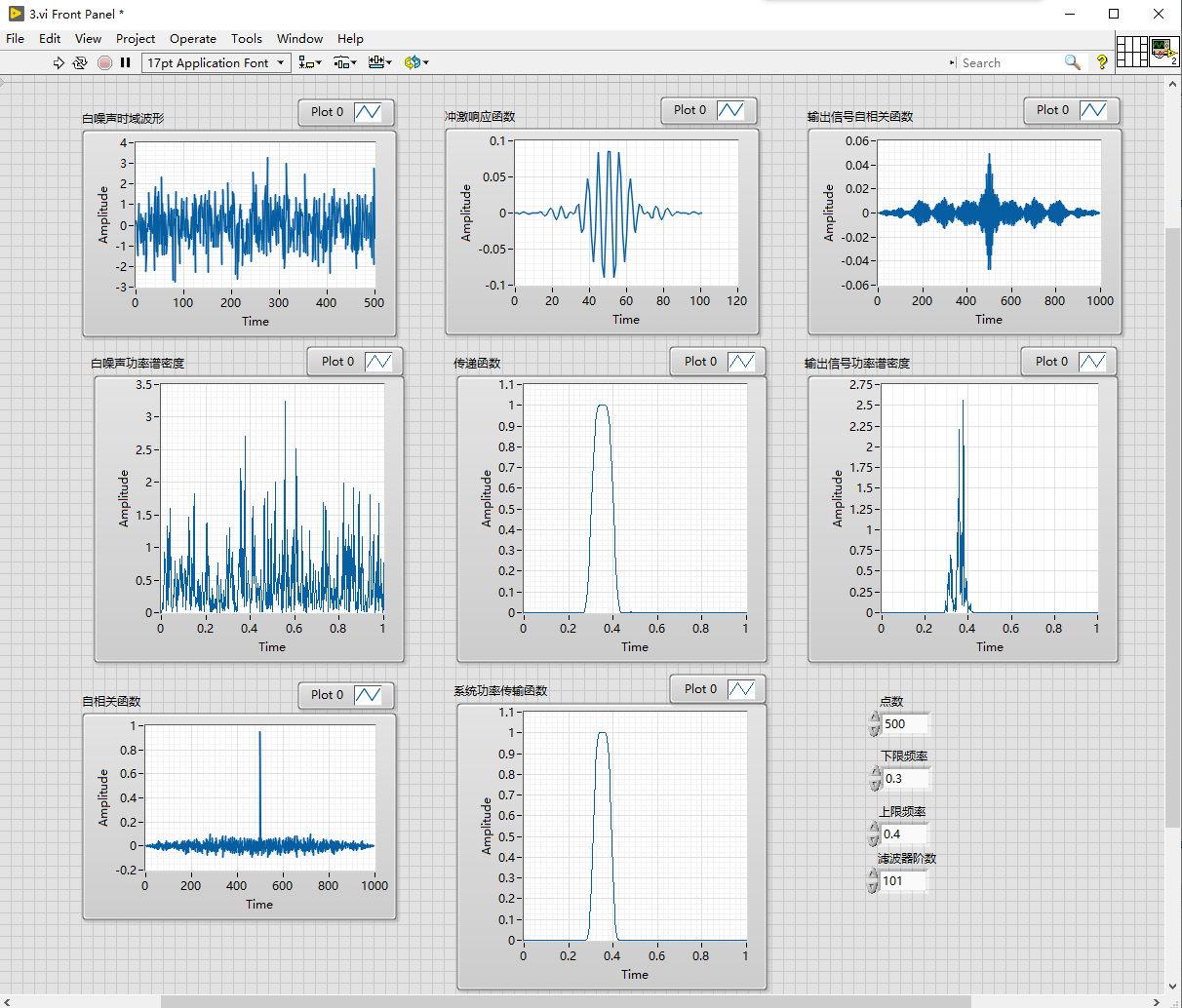


图5.3系统对随机信号的响应

1. 探究式实验

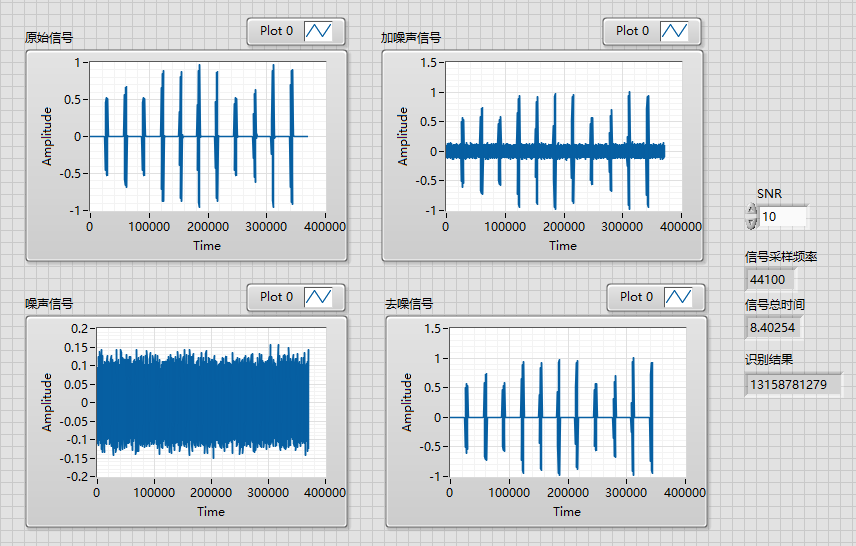


图5.4 信噪比为10dB时的识别结果

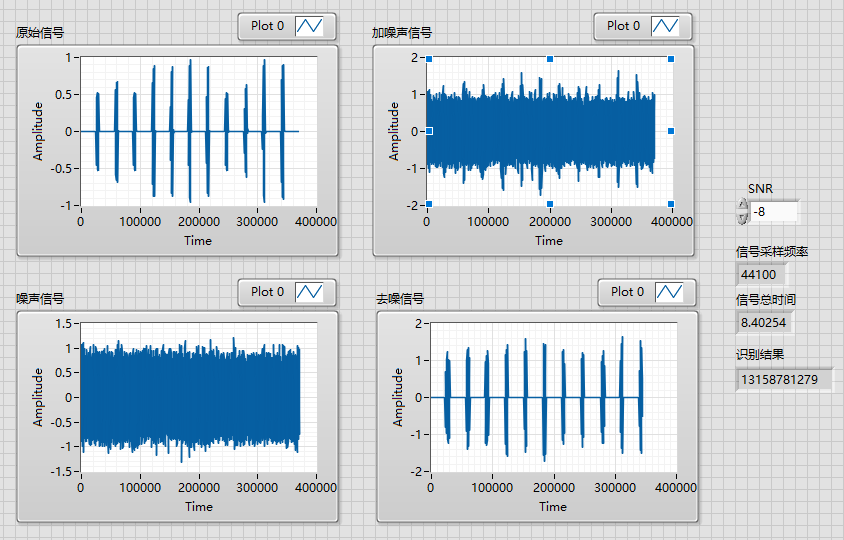


图5.5 信噪比为-8dB时的识别结果

六、实验结果与分析

1. 直接法估计随机信号功率谱

图5.1中给出了通过周期图法和调用periodogram得出的功率谱，可看出其波形较为相似，幅值相差较小，图中有两个位置在30Hz和100Hz附近的主峰，和实际输入函数情况符合。

1. 间接法估计随机信号功率谱

图5.2给出了使用自相关函数估计随机信号功率谱、调用psd函数和pwelch函数计算随机信号功率谱的结果。可观察到使用自相关函数估计得到的功率谱在30Hz和100Hz附近有两处主峰，且波形与调用函数计算得到的波形变化较为相似，但使用自相关函数得到的波形在主峰处的幅度较高，在其余部分变化起伏较大。

1. 系统对随机信号响应的统计特性分析与仿真

图5.3为带通系统对随机白噪声信号的响应，其中左侧三张图像为输入500点白噪声的时域波形、功率谱密度及自相关函数；中间三张图像为系统的冲激响应函数、传递函数及功率传输函数，其归一化数字截止频率为0.3，0.4，阶数为101阶；右侧两张图像为输出信号的自相关函数及功率谱密度，可得带通系统将3KHz-4KHz频段的输入信号取出，其自相关函数与输入信号的自相关函数有不同，经分析可以得到由于系统频带较窄，将系统频带展宽后，自相关函数近似于冲激函数。

1. 探究式实验

如图5.4、5.5所示，得到输入信号的采样频率为44100Hz，总时间约为8.4秒，识别结果为13158781279。所设计的系统对信噪比较高的输入信号进行滤波的效果较好，但在信噪比为负值时滤波效果较差，经多次测试，其稳定工作下限信噪比为-8dB左右，还有进一步改进空间。

七、讨论、建议、质疑

本次实验中的实验四部分，使用的信号判断方法为相关法，可以继续编写使用谱分析方法判断信号的方式，比较其在信噪比较低情况下的准确度。

使用LabVIEW绘制波形图时，可使用Silver类型的Graph控件，展示较Modern类型的控件更为清晰。