西安交通大学实验报告

成绩	

课　　程：医学信号处理　　　　　　　　第 1 页共　页

系　　别：生物医学工程　　　　　　　实 验 日 期：　年　月　日

专业班级：医电 53　组别：null　　　交 报告日 期：　年　月　日

姓　　名：李竞捷　学号 2151500084　报 告 退 发：　（订正、重做）

同 组 者：null　　　　　　　　　　　教师审批签字：

实验名称：用 fft 对信号做频谱分析

一、实验目的

应用离散傅里叶变换 DFT 分析模拟信号 x(t) 的频谱，深刻理解利用 DFT 分析模拟信号频谱的原理、分析过程中出现的现象及解决方法。

二、实验结果与分析

1. 利用 FFT 计算连续周期信号 x(t) = A*sin(2πf1t) + B* sin(2πf2t) 的频谱。已知 A=2，B=2.5，f1=40Hz，f2=50Hz，fs=200Hz

   N 分别取 30、50 、70 对信号 x(t)进行抽样，得 x1(n) 、x2(n)、x3(n);对 x1(n)分别进行 30 点、50 点、150 点 DFT ，得 Z1_1(K)、Z1_2(K)、Z1_3(K) 数字频谱;(函数:fft)对 x2(n)、x3(n) 作 FFT 得 Z2(K)、Z3(K) 数字频谱;(函数:fft，DFT 长度取信号的长度;对信号作 FFT，没有特殊说明，DFT 长度取信号的长度。) 作图显示 x1(n)，使用 stem 语句显示 Z1_1(K)、Z1_2(K)、Z1_3(K)各个幅度谱，作图显示 x2(n)、x3(n) 以及 Z2(K)、Z3(K) 各个幅度谱，横坐标为 f(单位 Hz，下同);

   生成信号代码如下：

```
Fs=200;
t = 0:1/Fs:5;
A = 2;
B = 2.5;
f1 = 40;
f2 = 50;
x = A*sin(2*pi*f1*t)+B*sin(2*pi*f2*t);
x1 = x(1:30);
```

```
x2 = x(1:50);
x3 = x(1:70);
```

为了方便进行DFT，节省代码空间，我设计了一个函数[f,z_abs] = run_fft(s,Fs)

可以根据输入信号，直接结算频率对应的 x 轴，y 轴（幅度谱）进行画图。

函数内容如下：

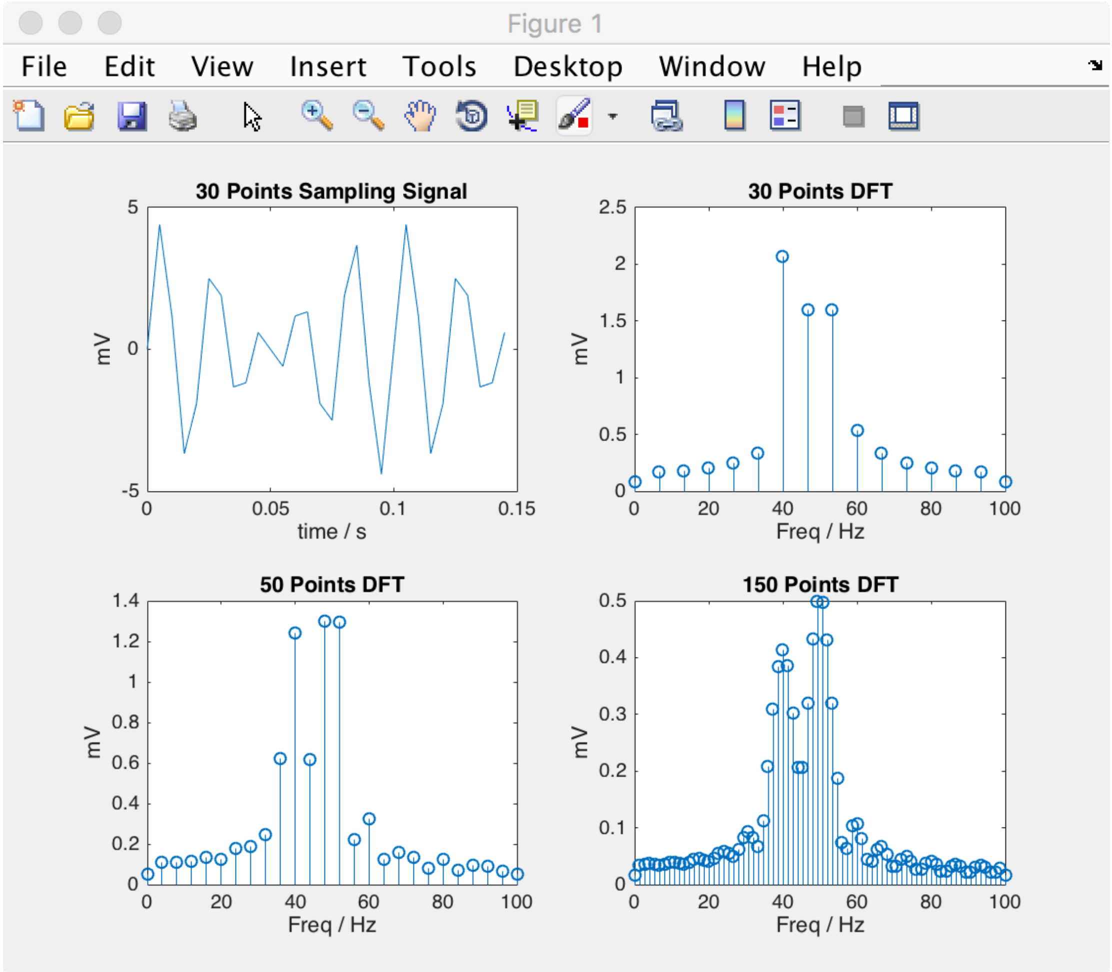
```
function [ f,z_abs ] = run_fft( s,Fs )
%run_fft Function is used for generating a x-freq axis and y-amp axis using
%the given signal and sampling rate
%   For example
%   [ f,z_abs ] = run_fft( sin(2*pi*20*t),1/200 )
%   you can then use f and z_abs to generate the freq-amp figure
%   developed by Jingjie Li
%   jingjie.li@nyu.edu
L = length(s);
f = Fs*(0:(L/2))/L;
z = fft(s);
z_abs = abs(z(1:L/2+1)/L);
z_abs(2:end-1)= z_abs(2:end-1)*2;
end
```

做 30，50，150 点 dft 代码如下：

```
[ f_z1_1,z1_1_abs ] = run_fft( x1,Fs );
[ f_z1_2,z1_2_abs ] = run_fft( [x1,zeros(1,20)],Fs );
[ f_z1_3,z1_3_abs ] = run_fft( [x1,zeros(1,120)],Fs );
subplot(2,2,1)
plot(t(1:30),x1)
title('30 Points Sampling Signal')
xlabel('time / s')
ylabel('mV')
subplot(2,2,2)
stem(f_z1_1,z1_1_abs)
ylabel('mV')
xlabel('Freq / Hz')
title('30 Points DFT')
subplot(2,2,3)
stem(f_z1_2,z1_2_abs)
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('50 Points DFT')
subplot(2,2,4)
stem(f_z1_3,z1_3_abs)
xlabel('Freq / Hz')
```

```
ylabel('mV')
title('150 Points DFT')
```

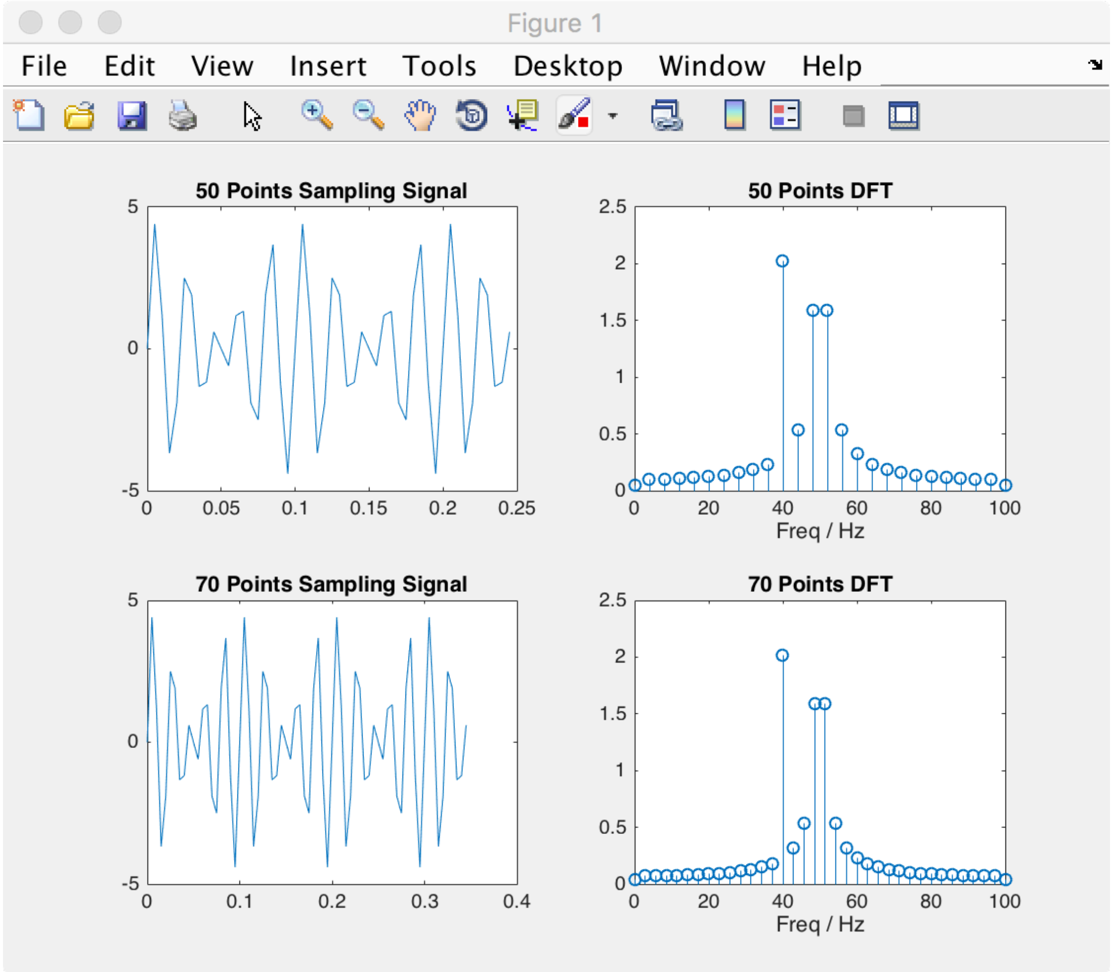
出图如下：



对 x2(n)、x3(n) 作 FFT 得 Z2(K)、Z3(K) 原始信号以及数字频谱代码如下：

```
[ f_z2,z2_abs ] = run_fft( x2,Fs );
[ f_z3,z3_abs ] = run_fft( x3,Fs );
subplot(2,2,1)
plot(t(1:50),x2)
title('50 Points Sampling Signal')
subplot(2,2,2)
stem(f_z2,z2_abs)
title('50 Points DFT')
xlabel('Freq / Hz')
subplot(2,2,3)
plot(t(1:70),x3)
title('70 Points Sampling Signal')
subplot(2,2,4)
stem(f_z3,z3_abs)
title('70 Points DFT')
```

```
xlabel('Freq / Hz')
```



在这里可以看到 50hz 左右峰值高度并不如 40hz 处，这是因为在栅栏效应，点数过低导致 50hz 处并没有频率取值

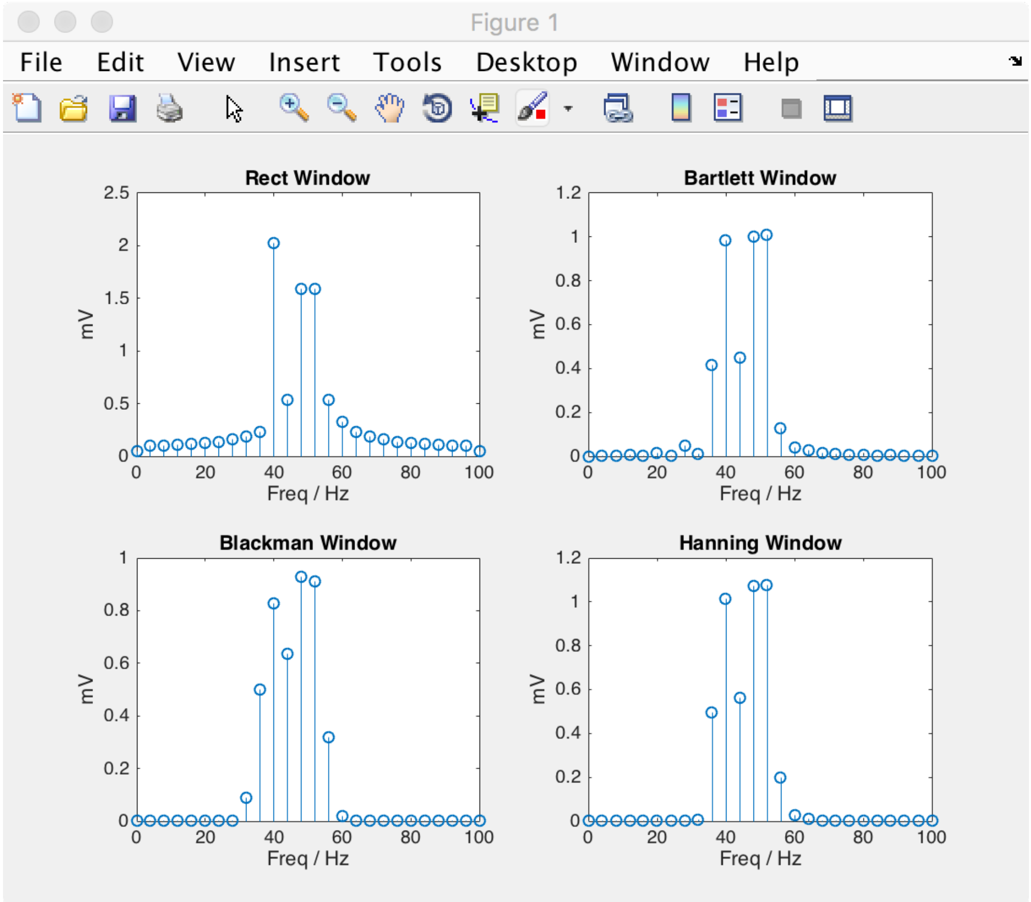
使用不同的窗函数乘以 x2(n)，对得到的信号作 FFT，使用 stem 语句显示其幅度谱，观察不同窗函数对频谱的影响。(选用以下至少三个窗函数:巴特利特 bartlett、布莱克曼窗 blackman、汉宁窗 hanning、矩形窗 boxcar、海明窗 hamming)

代码如下：

```
x2_bartlett_win = bartlett(length(x2));
x2_bartlett = x2 .* x2_bartlett_win';
[~,z2_bartlett] = run_fft(x2_bartlett,Fs);
x2_blackman_win = blackman(length(x2));
x2_blackman = x2 .* x2_blackman_win';
[~,z2_blackman] = run_fft(x2_blackman,Fs);
x2_hanning_win = hanning(length(x2));
x2_hanning = x2 .* x2_hanning_win';
[~,z2_hanning] = run_fft(x2_hanning,Fs);
```

```
subplot(2,2,1)
stem(f_z2,z2_abs)
title('Rect Window')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
subplot(2,2,2)
stem(f_z2,abs(z2_bartlett(1:L2/2+1)))
title('Bartlett Window')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
subplot(2,2,3)
stem(f_z2,abs(z2_blackman(1:L2/2+1)))
title('Blackman Window')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
subplot(2,2,4)
stem(f_z2,abs(z2_hanning(1:L2/2+1)))
title('Hanning Window')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
```

如下图可见，使用了其他窗函数，可以显著降低旁瓣高度，与此同时主板宽度有所增加。

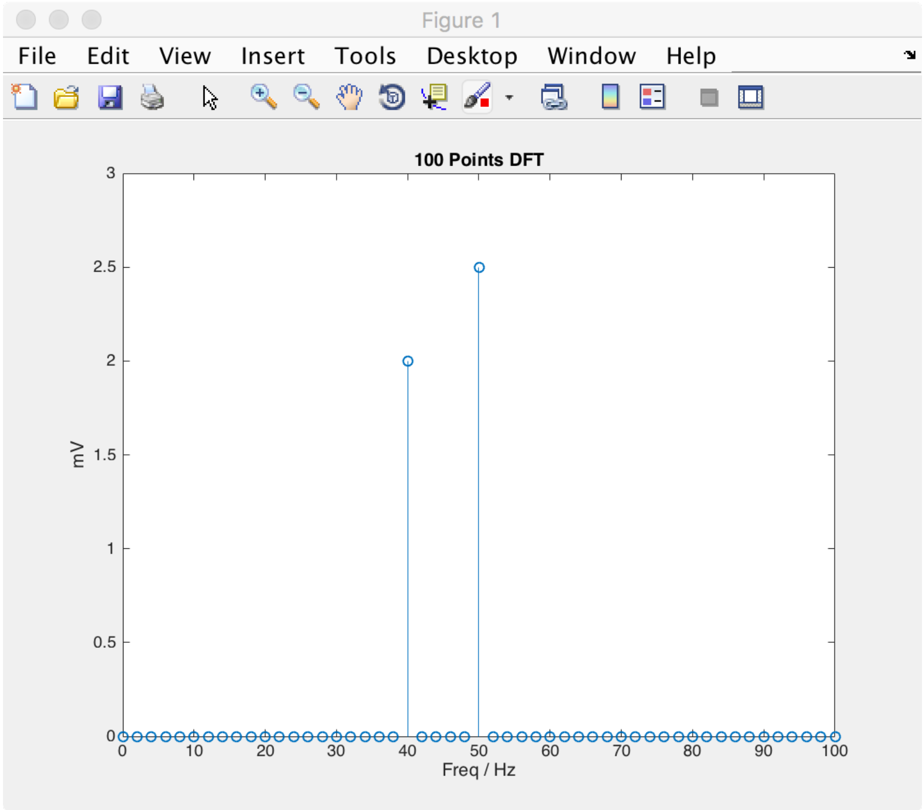


当 N 取 100 时对 x(t) 抽样，得 x4 (n)，对 x4(n) 作 FFT 得 Z4(K) 数字频谱，显示 x4 (n) 以及幅度谱。通过与 Z1_1(K)、Z2(K)、Z3(K)比较，哪个最接近真实的频谱?分析原因。

代码如下：

```
x4 = x(1:100);
[f_z4,z4_abs]=run_fft(x4,Fs);
stem(f_z4,z4_abs);
title('100 Points DFT')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
```

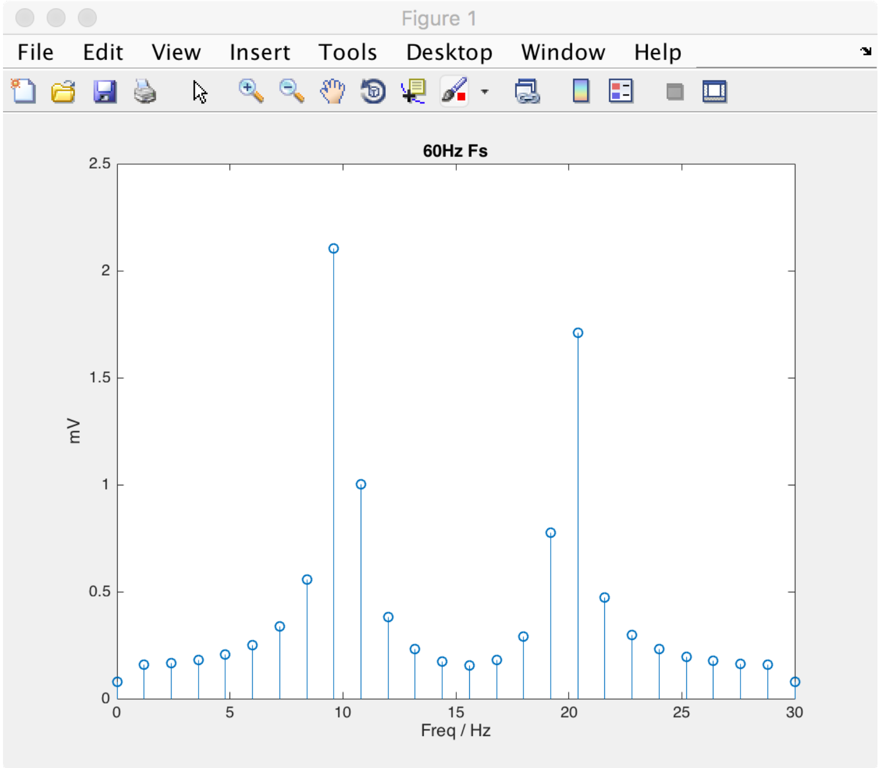
如下图，x4 更接近真实频谱，因为几乎没有旁瓣，而且主瓣高度基本与信号对应。



当 fs=60Hz 时，N 取 50 对 x(t) 抽样，得 x5(n) 。对 x5(n) 作 FFT 得 Z5(K) 数字频谱，显示 x5 (n) 以及幅度谱。信号 x5(n)与幅度谱与前面的信号有什么区别?说明原因。

主瓣位置不对，而且旁瓣很高因为采样频率过低，产生了混叠。

```
Fs = 60;
t = 0:1/Fs:5;
A = 2;
B = 2.5;
f1 = 40;
f2 = 50;
x = A*sin(2*pi*f1*t)+B*sin(2*pi*f2*t);
x5 = x(1:50);
[f_z5,z5_abs]=run_fft(x5,Fs);
stem(f_z5,z5_abs);
title('60Hz Fs')
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
```

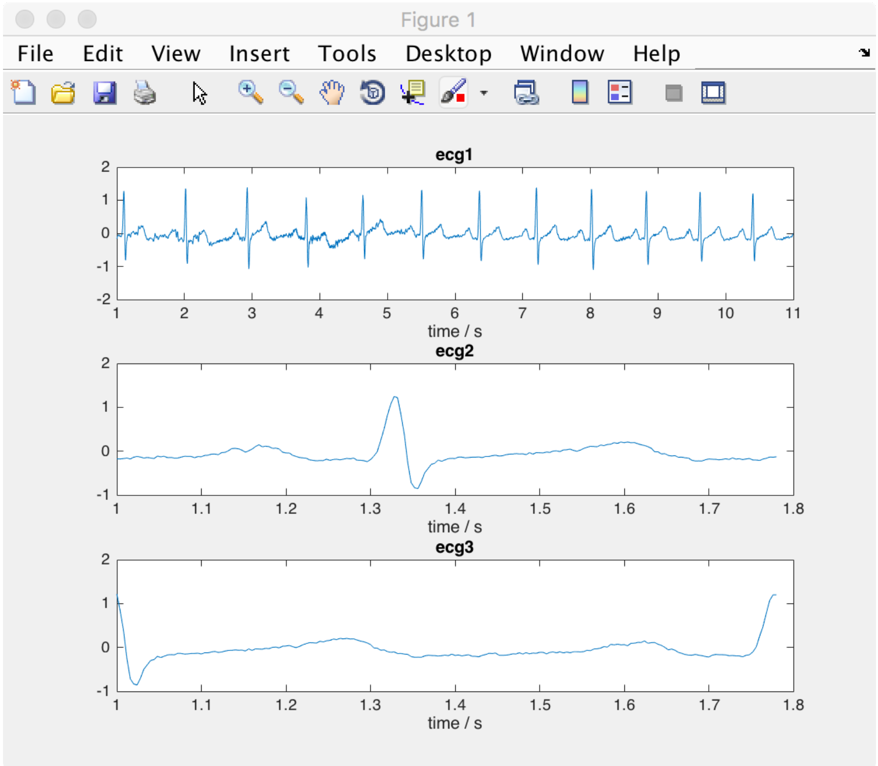


2. 利用 FFT 计算保存在数据文件 ecg.mat 中的信号的频谱。该数据抽样频率 fs=250Hz

使用 load 语句将数据文件 ecg 中的变量 ecg1，ecg2，ecg3 调入 matlab 内 存空间。其中 ecg2 与 ecg3 分别为从 ecg1 中截取的一段，作图显示 ecg1、 ecg2 和 ecg3。

```
%%
clear all
load('ecg.mat')
%%
Fs = 250;
t = 1:1/Fs:11;
t=t(1:2500);
subplot(3,1,1)
plot(t,ecg1)
xlabel('time / s')
ylabel('mV')
title('ecg1')
subplot(3,1,2)
plot(t(1:196),ecg2)
xlabel('time / s')
ylabel('mV')
title('ecg2')
subplot(3,1,3)
```

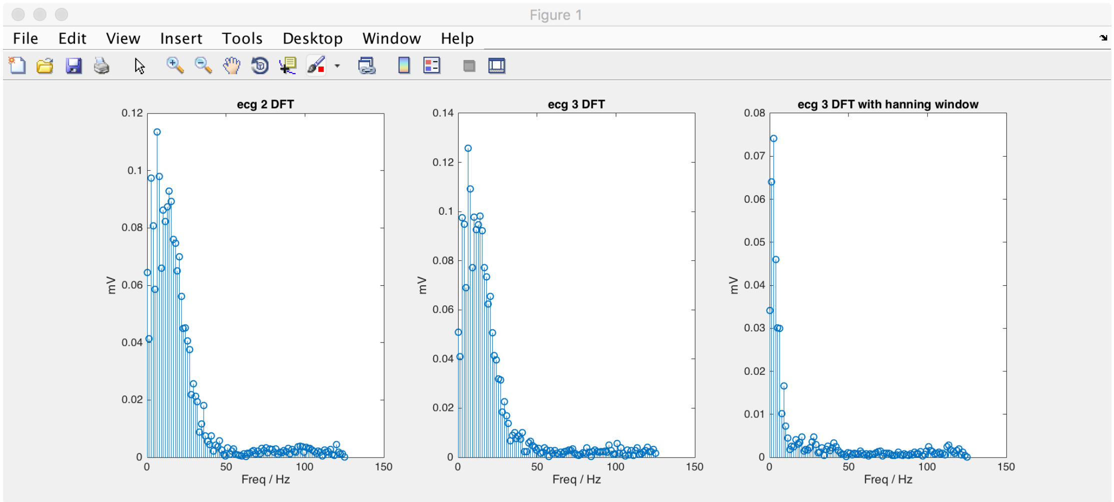
```
plot(t(1:196),ecg3)
xlabel('time / s')
ylabel('mV')
title('ecg3')
```



对 ecg2 作 FFT 得频谱 Z1;对 ecg3 作 FFT 得频谱 Z2;将 ecg3 乘以 hanning 窗，然后作 FFT 得 Z3;作图显示 Z1、Z2、Z3 的幅度谱，横坐标为 f。

```
%%
figure
[ f_Z1,Z1 ] = run_fft( ecg2,Fs );
[ f_Z2,Z2 ] = run_fft( ecg3,Fs );
[ f_Z3,Z3 ] = run_fft( ecg3.*hanning(length(ecg3))',Fs );
subplot(1,3,1)
stem(f_Z1,Z1)
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('ecg 2 DFT')
subplot(1,3,2)
stem(f_Z2,Z2)
xlabel('Freq / Hz')
title('ecg 3 DFT')
ylabel('mV')
subplot(1,3,3)
stem(f_Z3,Z3)
```

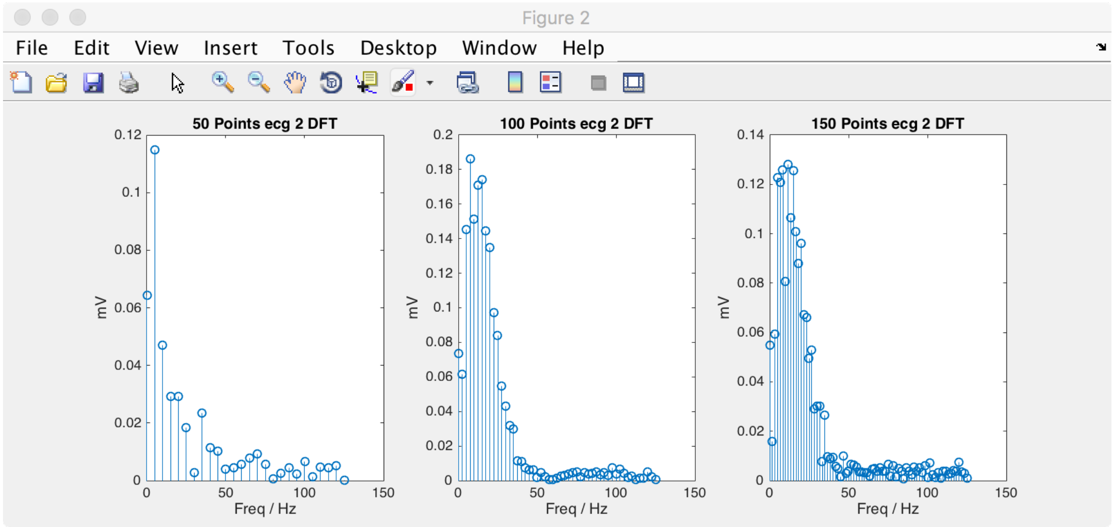
```
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('ecg 3 DFT with hanning window')
```



从 ecg2 中选取不同长度序列 ecgi （至少截取三段序列作 FFT，长度可选择:50、80、100、120、150 等)，对序列作 FFT 得到频谱 Zi;显示 ecg2 不同长度序列的图形，并作出它们的幅度谱，并进行对比，横坐标为 f。

```
%%
[ f_Z1,Z1 ] = run_fft( ecg2(1:50),Fs );
[ f_Z2,Z2 ] = run_fft( ecg2(1:100),Fs );
[ f_Z3,Z3 ] = run_fft( ecg2(1:150),Fs );
subplot(1,3,1)
stem(f_Z1,Z1)
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('50 Points ecg 2 DFT')
subplot(1,3,2)
stem(f_Z2,Z2)
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('100 Points ecg 2 DFT')
subplot(1,3,3)
stem(f_Z3,Z3)
xlabel('Freq / Hz')
ylabel('mV')
title('150 Points ecg 2 DFT')
```

如下图：随着点数增多，频率分辨率也在增加



分析讨论：

从 ecg2 中选取不同长度序列的频谱以及 Z1 形状有何区别?试分析原因。

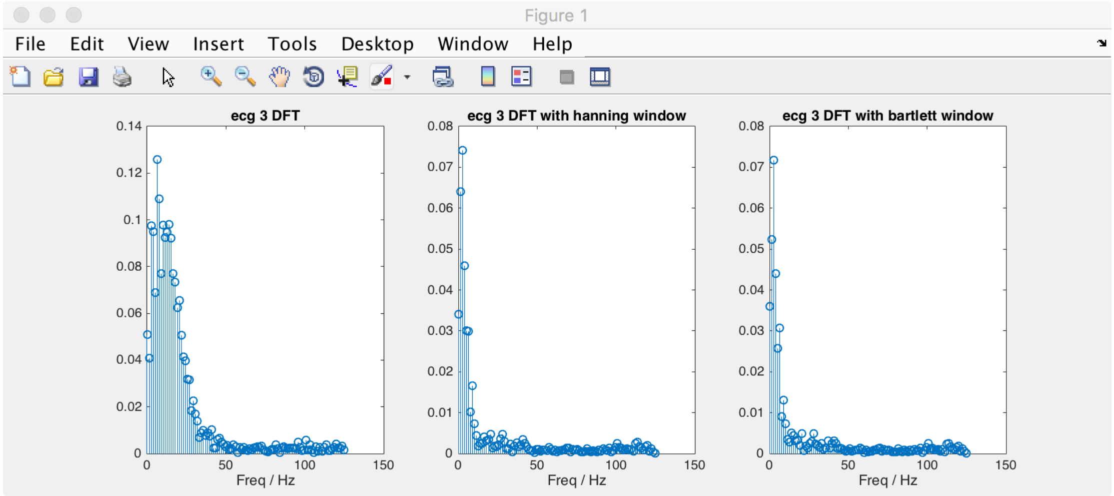
Ecg2 选取长度的增加导致了 Z1 频率分辨率更高，形状更连续，且更能看出 10hz 左右突出的峰值，这是因为点数增加，导致频率分辨率提高，因而能体现更多细节的缘故。

相对于频谱 Z2，Z3 有何变化?hanning 起到什么作用?如果将 ecg3 乘以 其他窗函数，然后作 FFT 得 Z4，Z4 和 Z3 个频谱泄漏更少?为什么?(选用 以下任一个窗函数:巴特利特 bartlett、布莱克曼窗 blackman、海明窗 hamming、 矩形窗 boxcar)

```
%%
figure
[ f_Z1,Z1 ] = run_fft( ecg3,Fs );
[ f_Z2,Z2 ] = run_fft( ecg3.*hanning(length(ecg3))',Fs );
[ f_Z3,Z3 ] = run_fft( ecg3.*bartlett(length(ecg3))',Fs );
subplot(1,3,1)
stem(f_Z1,Z1)
xlabel('Freq / Hz')
title('ecg 3 DFT')
subplot(1,3,2)
stem(f_Z2,Z2)
xlabel('Freq / Hz')
title('ecg 3 DFT with hanning window')
subplot(1,3,3)
stem(f_Z3,Z3)
```

```
xlabel('Freq / Hz')
title('ecg 3 DFT with bartlett window')
```

我们可以看出，hanning 窗泄漏更少，因为对比同一高度下的，旁瓣高度更低。



三、总结

经过了这次试验，我们熟悉了如何对信号做不同点数的 DFT,并学会了利用不同窗口等处理。而且观察了不同点数 DFT,不同加窗 DFT 的区别，观察了很多实际的效果，深刻理解利用 DFT 分析模拟信号频谱的原理、分析过程中出现的现象及解决方法。