



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

数字信号处理大作业
Digital Signal Processing

姓名：李厚霖

学号：520020910007

班级：F2003202

2022年1月13日

目录

- 1、背景分析.....3
 - 1.1数据背景分析.....3
 - 1.2实际数据分析.....3
- 2、信号选取.....3
 - 2.1导入数据.....3
 - 2.2数据切片.....4
 - 2.3数据清洗和处理.....4
- 3、信号的时域与频域分析.....5
 - 3.1时域分析.....5
 - 3.2频域分析.....5
 - 3.3时频分析（STFT）.....6
- 4、数字滤波器设计与分析.....7
 - 4.1巴特沃斯滤波器.....7
 - 4.2椭圆滤波器.....8
- 5、总结.....9

1、背景分析

1.1数据背景分析

使用工具敲击不同松紧度的铁轨，铁轨会因为松紧度不同而产生不同的信号。松紧度由三个螺栓决定，每个螺栓有三个松紧程度（全紧、半松、全松）。针对每种状态，均用工具敲击铁轨中点，使用传感器测得每次敲击时铁轨的振动信号。压缩包里每个数据文件对应了敲击一种松紧度若干次的采样数据。其对应表如下：

DS0005	2022/11/26 17:44	Microsoft Excel ...	599 KB	数据文件名	螺栓松紧状态
DS0006	2022/11/26 17:45	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0001	000
DS0007	2022/11/26 17:45	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0002	100
DS0008	2022/11/26 17:57	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0003	200
DS0009	2022/11/26 17:59	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0004	210
DS0010	2022/11/26 18:00	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0005	220
DS0011	2022/11/26 18:03	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0006	221
DS0011	2022/11/26 18:03	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0007	222
DS0011	2022/11/26 18:03	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0008	010
DS0011	2022/11/26 18:03	Microsoft Excel ...	599 KB	DS0009	011

图1 信号数据

1.2实际数据分析

在进行数据处理之前，我们需要先对数据进行简要的分析。仔细观察每个信号数据，我们都会发现，每个槽楔产生的信号都是由一段幅值较高的震荡区间和到下一次敲击之前的幅值接近于 0 的区间组成的。每一次敲击会使槽楔产生一段幅值较高的信号，在下次敲击到来之前，信号会随着时间消退。其信号图如下所示：

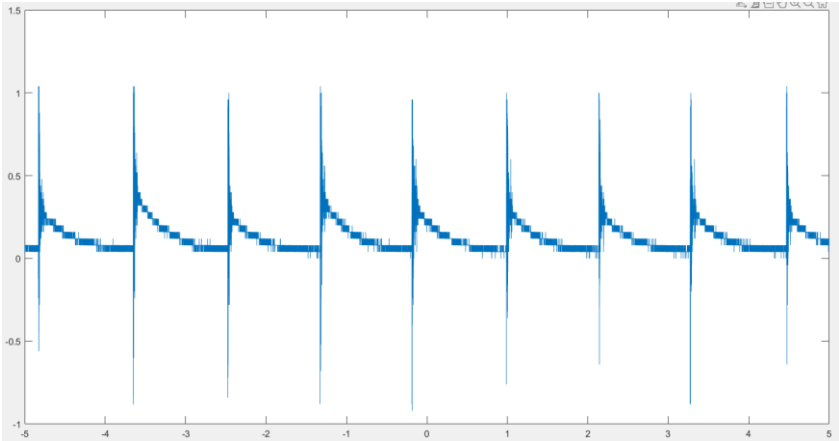


图2 DS0001信号

2、信号选取

2.1导入数据

采用matlab循环导入数据。观察csv数据文件可以发现，从第17行开始为有效的信号数据，故从第17行开始导入，并选取前两行分别作为X和Y，导入的数据与图2大致相同，代码如下：

```
a=num2str(k, '%04d');
path = strcat('DS', a, '.csv');
signal = csvread(path, 16);
signalX = signal(:, 1);
signalY = signal(:, 2);
```

图3 数据导入代码

2.2数据切片

由于初始的数据是由每个松紧度不同的铁轨得出来的信号是由若干次敲击得出来的，一定程度上可以看作 是每个敲击信号的周期重复。因此，只需要提取每个敲击信号的信号区间，即可代表这一轮该铁轨敲击信号的作用。为了便于分析，我将这些信号数据进行切片处理，提取一次敲击（即一个周期的信号），代码和一个周期内的信号如下：

```
chosen_signal=[];
j = 1;
k = 1;
Fs = 51200;
for i = 1500:length(signal)
    if(abs(signalY(i)) > 0.8)
        for j = 1:2048
            chosen_signal(j,:) = signal((i-200+j),:);
        end
        break
    end
end
chosen_signalX = chosen_signal(:,1);
chosen_signalY = chosen_signal(:,2);
```

图4：数据切片代码

通过检测到幅度大于 0.8 的点，经过实际试值，可以直接向前取 200个点，往后延伸 2048（选取2的n次方的值，便于后续分析）个点，通过提取，最终得到的信号区间如下图所示：

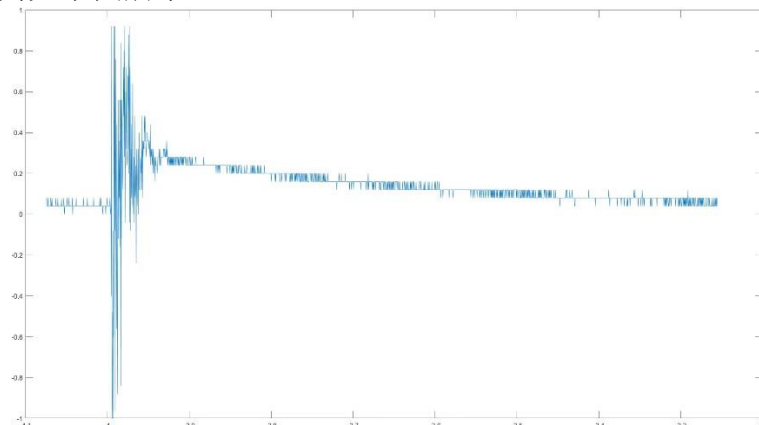


图5：DS0001一个周期的信号

2.3数据清洗和处理

由于在采集这些信号时可能存在一定的系统误差。从初始值可以看出即使在未敲击时也会有一些信号值，因此可以将这些初始的信号值看作直流分量，在实际的分析过程中，这些直流分量可能会对最终的结果造成一些干扰，故将这些直流分量减去：

```
chosen_signalX = chosen_signal(:,1);
chosen_signalY = chosen_signal(:,2);
ave = mean(chosen_signalY);
chosen_signalY = chosen_signalY - ave;
```

图6：减去直流分量代码

最终得到的信号图如下：

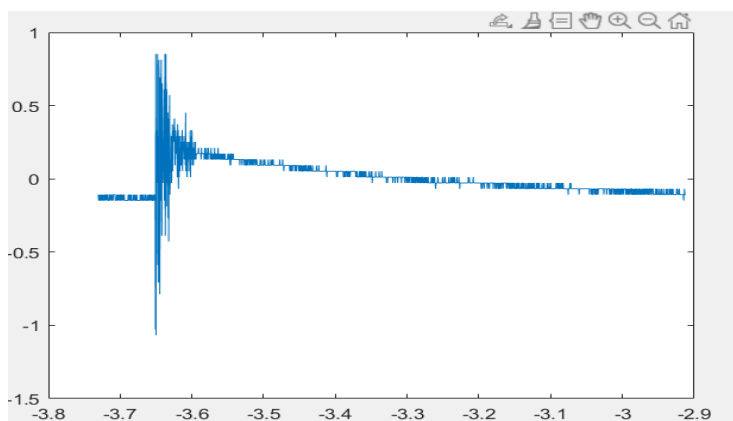


图6: 减去直流分量后的信号

3、信号的时域与频域分析

3.1时域分析

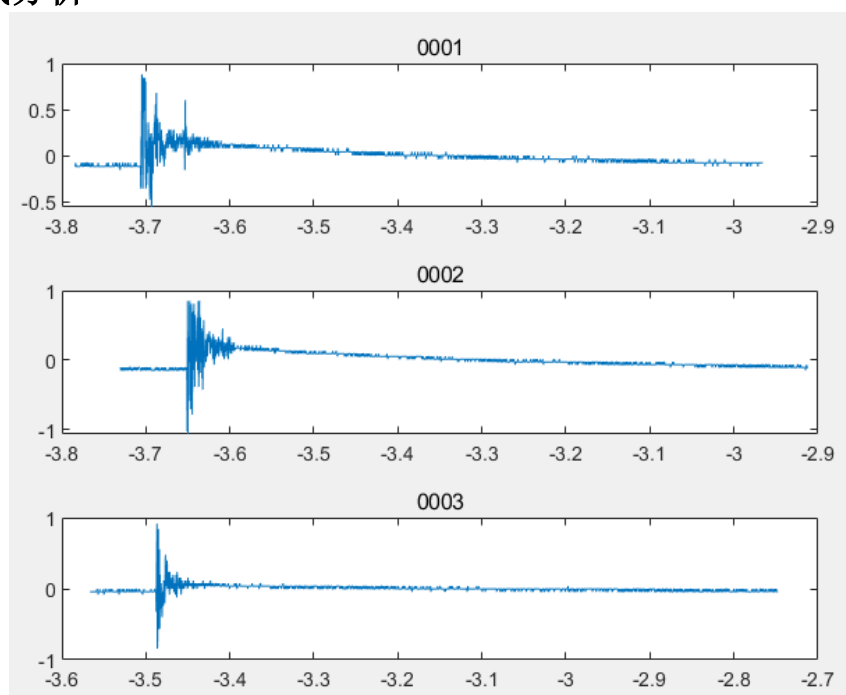
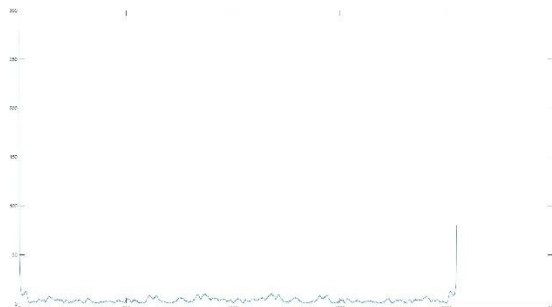


图6: 松紧度为000、100、200的时域图

定性分析时域特性，可以发现当松紧度越紧时，其震动的幅值和时间越大；当松紧度越松时，其震动的赋值和时间越小。

3.2频域分析

我们对选定的信号进行 FFT 变换，得出选定信号的频域图，对得出的频域图进行分析。首先我直接对某个信号（以DS0001）为例进行FFT变换，得到的频域图如下：



可以发现，低频部分的数值很高（不懂是什么原因），而且每种信号都是如此，询问助教后，得知我们关心的是高频部分的特征，故可以去掉一些低频部分的点，从而得到下图：

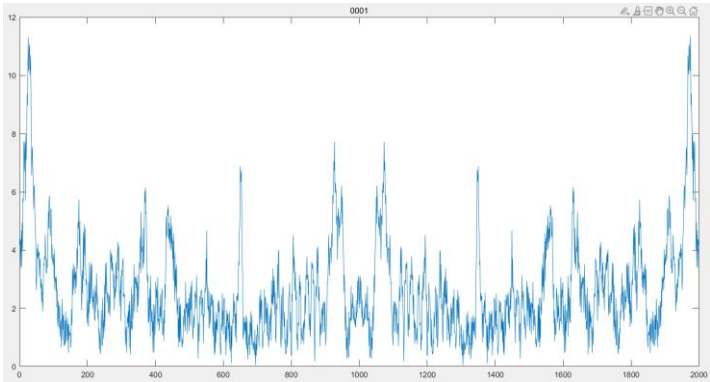


图7：去掉低频后DS0001的频域图

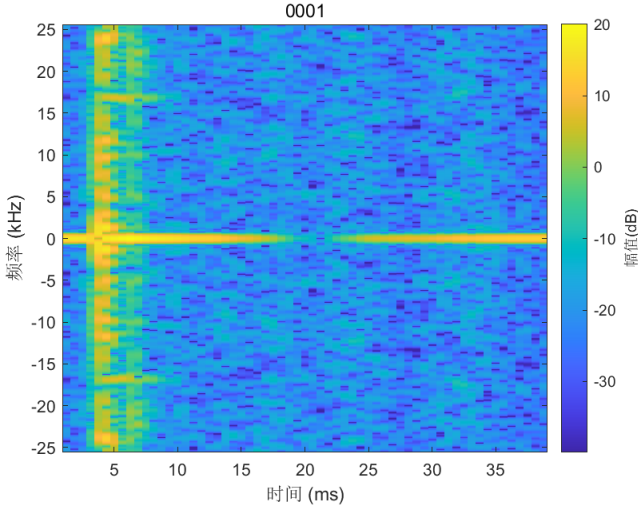
从而得到27种松紧度的频域图如下：



图7：27种信号频域图

3. 3时频分析（STFT）

在matlab中调用stft函数，得到的图像如下：



实际上这是将fft函数变换后的右半部分（负频率部分）移动到左侧，从而得到 $(-w/2, w/2)$ 的频谱图。

综上两种分析，我们可以得到如下结论：

1. 信号的低频段始终存在。在不同松紧度的铁轨，在不同时间，信号的低频段都始终存在，因此，我们可以认为低频段的信号特征与松紧度之间没有关系。事实上，我们认为 这是由于敲击信号的噪声引起的。
2. 在高频段的两个峰值在不同松紧的铁轨都存在。我们发现，大部分铁轨在高频段的这两个峰值几乎都存在。因此我记录下了这两个高频段峰值对应的频率（强行并且认真找的哈哈）：

松紧程度	000	100	200
高频段波峰对应频率1	97	72	21
高频段波峰对应频率2	372	401	405

松紧程度	000	010	020
高频段波峰对应频率1	97	182	216
高频段波峰对应频率2	372	440	491

松紧程度	000	001	002
高频段波峰对应频率1	97	143	212
高频段波峰对应频率2	372	431	510

000为最紧状态，200、020、002为最松状态，可以定性的发现随着紧度的增加，对于螺栓1高频段波峰对应频率1逐渐降低、高频段波峰对应频率2逐渐升高；对于螺栓2高频段波峰对应频率1逐渐增加、高频段波峰对应频率2逐渐升高；对于螺栓3高频段波峰对应频率1逐渐降低、高频段波峰对应频率2逐渐升高；

4、数字滤波器设计与分析

4.1巴特沃斯滤波器

从上述 FFT 的分析我们发现，其实低频段的信号峰值与铁轨的松紧度的关系不大，因此，我们想要设计一个高通滤波器来实现滤去低频段信号的功能。令高通滤波器的参数如下：

$$w_p = 0.78\pi$$

$$w_s = 0.49\pi$$

$$R_p = 1dB$$

$$A_s = 20dB$$

具体代码实现为：

```

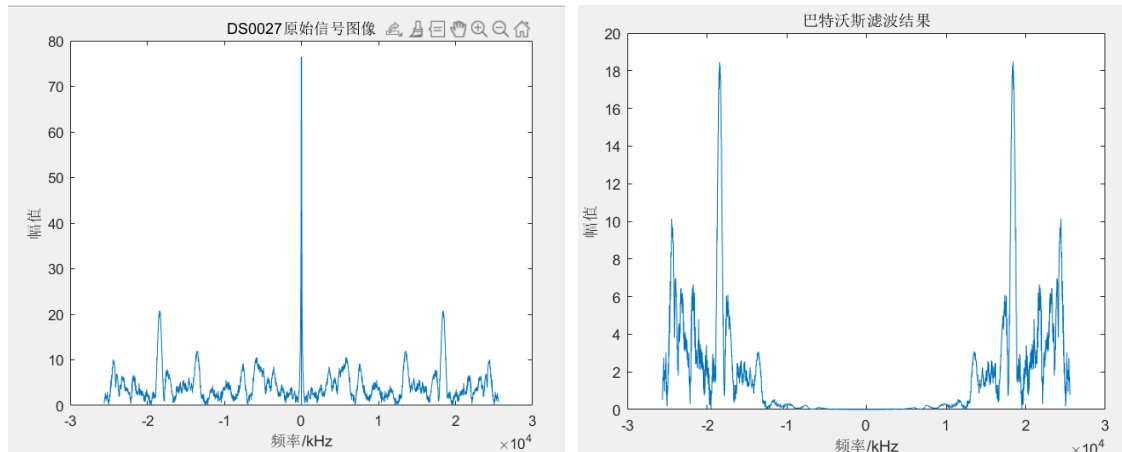
%巴特沃斯滤波器
wp = 20000*2*pi/Fs;           %设置通带数字角频率
wst = 12500*2*pi/Fs;          %设置阻带数字角频率
Omega_p = 2*Fs*tan(wp/2);
Omega_s = 2*Fs*tan(wst/2);
Rp = 1; %通带最大衰减
As = 15; %阻带最小衰减

[N, OmegaC] = buttord(Omega_p, Omega_s, Rp, As, 's');
fprintf(' 巴特沃斯滤波器 N= %4d\n', N);
[z, p, k] = buttap(N);         %创建巴特沃斯低通滤波器原型
[Bap, Aap] = zp2tf(z, p, k);    %由零极点转换为传递函数的形式
[Bbs, Abs] = lp2hp(Bap, Aap, OmegaC); %低通原型变高通
[Bbz, Abz] = bilinear(Bbs, Abs, Fs); %用双线性变换法设计数字滤波器

figure
final_signal=filter(Bbz, Abz, choosen_signalY);
m = [0:1:2047];
%plot((m-1024)/2048*51200, abs(fft(choosen_signalY, 2048))); %原始信号图像
xlabel(' 频率/kHz');
ylabel(' 幅值');
title(' DS0027原始信号图像');
figure
%plot((m-1024)/2048*51200, fftshift(abs(fft(final_signal, 2048)))); %滤波后的信号图像
xlabel(' 频率/kHz');
ylabel(' 幅值');
title(' 巴特沃斯滤波结果')

```

经巴特沃斯滤波器滤波后，前后对比结果如下（以DS00027）为例：



4.2椭圆滤波器

经过搜索文献后，我采用的先进滤波器为椭圆滤波器。同样，设计一个高通滤波器来实现滤去低频段信号的功能。令高通滤波器的参数如下：

$$\begin{aligned}
 w_p &= 0.59\pi \\
 w_s &= 0.29\pi \\
 R_p &= 1dB \\
 A_s &= 30dB
 \end{aligned}$$

具体代码实现为：


```

%椭圆滤波器
wp2 = 30000/Fs;           %设置通带数字角频率
wst2 = 15000/Fs;          %设置阻带数字角频率

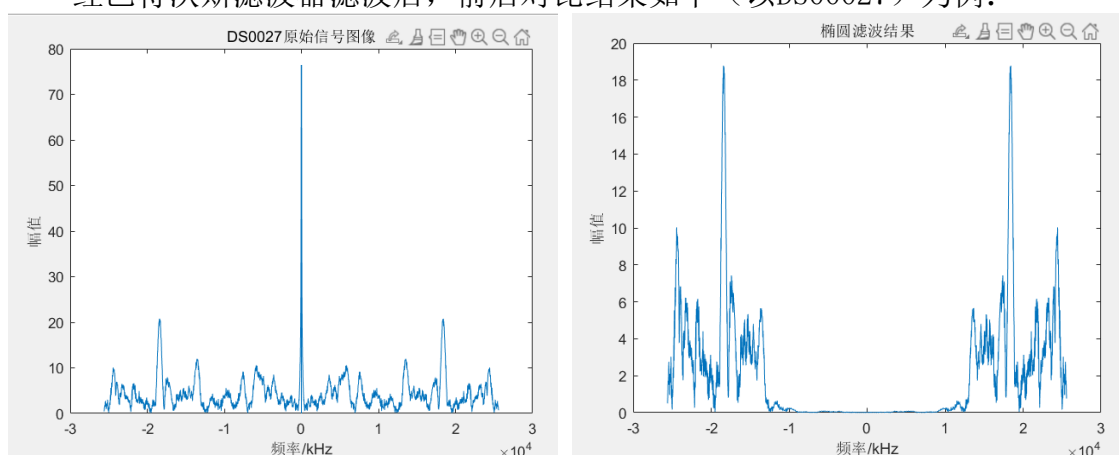
Rp2 = 1; %通带最大衰减
As2 = 40; %阻带最小衰减

[N2, OmegaC2] = ellipord(wp2, wst2, Rp2, As2); %创建椭圆滤波器原型
fprintf(' 椭圆滤波器 N= %4d\n', N2);
[b, a] = ellip(N2, Rp2, As2, OmegaC2, 'high'); %得到高通滤波器

filter_hp_s = filter(b, a, chosen_signalY); %对原始信号进行滤波
figure
plot((m-1024)/2048*51200, fftshift(abs(fft(filter_hp_s, 2048)))); %滤波后的信号图像
xlabel(' 频率/kHz');
ylabel(' 幅值');
title(' 椭圆滤波结果')

```

经巴特沃斯滤波器滤波后，前后对比结果如下（以DS00027）为例：



5、总结

总的来说，对于不同松紧度的铁轨而言，信号的幅值与松紧度并无明显关系，在时域图中，可以略微看出震动的幅值和时间与松紧度呈正比。在频域图中，低频段的信号特征与松紧度之间没有关系。高频段峰值对应的两个频率，对于螺栓1与螺栓3，随着紧度的增加，高频段波峰对应频率1逐渐降低、高频段波峰对应频率2逐渐升高；螺栓2，随着紧度的增加，高频段波峰对应频率1逐渐升高、高频段波峰对应频率2逐渐升高。这些结论在经过滤波器滤波之后也能够得到印证。