

# 信统第二次大作业

2018011787 核 81 李灵

2022.01

## 目录

<b>1 实验目的</b>	<b>2</b>
<b>2 算法原理</b>	<b>2</b>
2.1 滤波器原理 . . . . .	2
2.2 实际技术指标 . . . . .	2
<b>3 算法实现</b>	<b>2</b>
3.1 窗函数法 . . . . .	2
3.1.1 整体思路 . . . . .	3
3.1.2 选择标准 . . . . .	3
3.2 频率取样 . . . . .	3
<b>4 实验结果</b>	<b>3</b>
4.1 原始语音信号的时域波形和频谱图 . . . . .	3
4.2 滤波器的频域响应 . . . . .	4
4.2.1 45kHz . . . . .	4
4.2.2 65kHz . . . . .	4
4.2.3 整体效果 . . . . .	5
4.3 滤波后信号的时域波形和频谱 . . . . .	5
4.3.1 45kHz . . . . .	5
4.3.2 65kHz . . . . .	6
4.3.3 整体效果 . . . . .	6
<b>5 实验分析</b>	<b>6</b>
<b>6 问题讨论</b>	<b>6</b>
6.1 滤波 . . . . .	6
6.2 噪声 . . . . .	6

# 1 实验目的

设计基于 Butterworth 或 Chebyshev 带通滤波器的数字滤波器，把声音文件 “modulatedSong noisy.wav” 中的两首歌曲分离后单独进行播放。

说明：实验声音文件 “modulatedSong noisy.wav” 包含了两首歌曲的片段，这两首歌曲分别经过 45kHz 和 65kHz 余弦信号的调制（调幅）后混合在一起，采样频率为 176.4kHz；此外，该文件在上述基础上含均匀分布噪声。需要对此文件的声音增加去噪功能以改善恢复歌曲质量。（注意：不能使用 Matlab 自带 Butterworth 和 Chebyshev 相关函数，可以使用 Matlab 的 FFT 函数）。

# 2 算法原理

考虑到 FIR 滤波器  $z$  变换后所有极点均在单位圆内，较稳定，此处使用 FIR 滤波器进行计算。相应的频率响应特点如下：

$$H(e^{j\omega}) = H_r(\omega)e^{j(\beta-\alpha\omega)} \quad (1)$$

其中， $H_r(\omega)$  为振幅响应。

## 2.1 滤波器原理

滤波器允许通过的频率范围被定义为通带。 $\omega_p$  和  $\omega_s$  分别为通带上限频率和阻带下限频率。 $\delta_1$  和  $\delta_2$  分别定义了通带纹波和阻带纹波。定义过渡带宽度为  $B_t = |\omega_s - \omega_p|$ ，通带内允许的最大衰减为  $\alpha_p$ ，阻带内允许的最小衰减为  $\alpha_s$ 。

根据定义有：

$$\alpha_p = 20\lg \frac{A_{(max)}}{A_{(min)}} = 20\lg \frac{1 + \delta_1}{1 - \delta_1} dB \quad (2)$$

$$\alpha_s = 20\lg \frac{A_{(max)}}{A_s} = 20\lg \frac{1 + \delta_2}{\delta_2} dB \quad (3)$$

## 2.2 实际技术指标

定义 45kHz 和 65kHz 滤波器的通带上限频率  $\omega_p$  分别为 44kHz 和 64kHz，阻带下限频率  $\omega_s$  分别为 46kHz 和 66kHz。

# 3 算法实现

## 3.1 窗函数法

为了减少频谱能量泄漏，采取不同的截取函数对信号进行截短，该函数即为窗函数。由于截短后的信号产生能量泄漏几乎是必然的，因此需要根据技术指标选择合适的阶数  $N$  和窗函数  $w(n)$ 。

### 3.1.1 整体思路

先用傅立叶变换求出理想滤波器单位抽样响应  $h_d(n)$ ，然后对其加窗函数  $w(n)$  进行截短，最后得到 FIR 数字滤波器的单位抽样响应  $h(n)$ 。

思路如图1。

$$H_d(e^{j\omega}) \xrightarrow{IDTFT} h_d(n) \xrightarrow{\times w(n)} h(n) \xrightarrow{DTFT} H(e^{j\Omega})$$

图 1: 窗函数法设计过程

### 3.1.2 选择标准

1. 较低的旁瓣幅度
2. 旁瓣幅度下降快，阻带衰减高
3. 主瓣宽度窄，滤波器过渡带窄

## 3.2 频率取样

在脉冲响应  $h(n)$  长度有限的情况下，通过频域抽样定理对频率响应进行抽样，从样点中能够恢复原先的频率特性，得到  $H_d(k)$ 。

设理想频率响应  $H_d(e^{j\omega})$  的采样为  $H(k), k=0,1,\dots,N-1$ 。其 IDFT 为：

$$h(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} H(k) W_N^{-nk} \quad (4)$$

则 FIR 滤波器的系统函数为：

$$H(z) = \frac{1 - z^{-N}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{H(k)}{1 - W_N^{-k} Z^{-1}} \quad (5)$$

确定采样点  $N$  后即可确定采样值  $H(k)$  和系统函数  $H(z)$ ，进而得到 FIR 滤波器。[2]

## 4 实验结果

### 4.1 原始语音信号的时域波形和频谱图

使用 `fft` 函数对信号进行傅立叶变换。[1] 结果如下图2。

可以看到，音频信号集中在 45kHz 和 65kHz 这两段。此外， $f=0$  处有较大的起始信号，应予以筛去。

一般而言，对于  $N$  点的  $x(n)$  序列的 FFT 是  $N$  点的复数序列，其点  $n=N/2+1$  对应 Nyquist 频率，作频谱分析时仅取序列  $X(k)$  的前一半（即前  $N/2$  点）即可。[3]

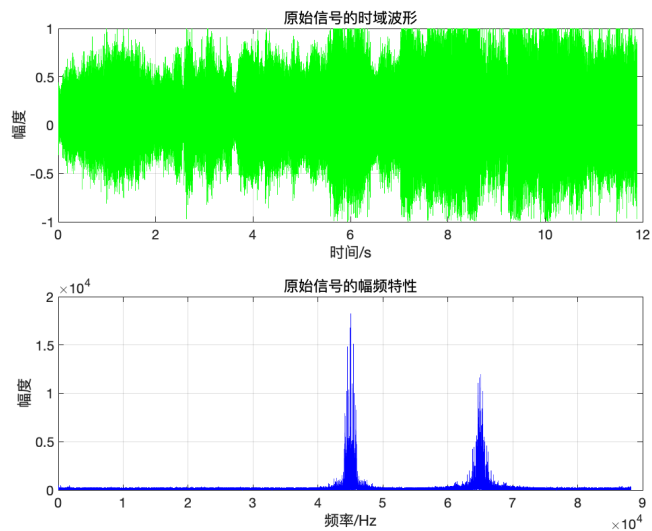


图 2: 原始语音信号的时域波形和频谱图

## 4.2 滤波器的频域响应

### 4.2.1 45kHz

滤波器频响特性如下图3。

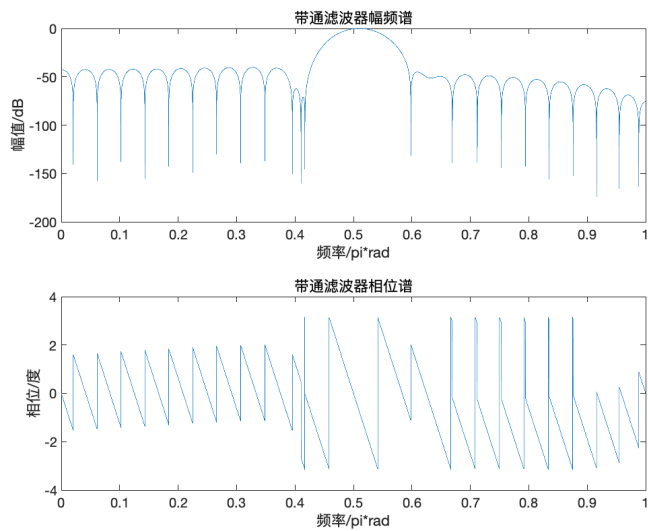


图 3: 45kHz 滤波器的频响特性

### 4.2.2 65kHz

滤波器频响特性如下图4。

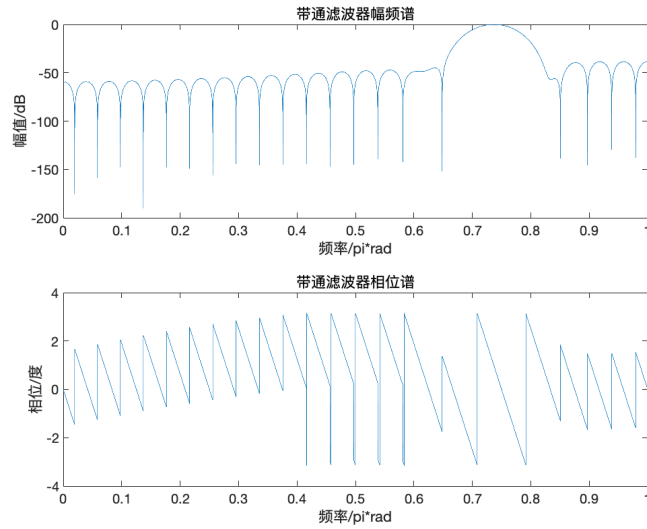


图 4: 65kHz 滤波器的频响特性

#### 4.2.3 整体效果

可以看到，整体加窗的效果较好，窗顶集中在需要采样的频域附近。

### 4.3 滤波后信号的时域波形和频谱

#### 4.3.1 45kHz

滤波器频响特性如下图5。

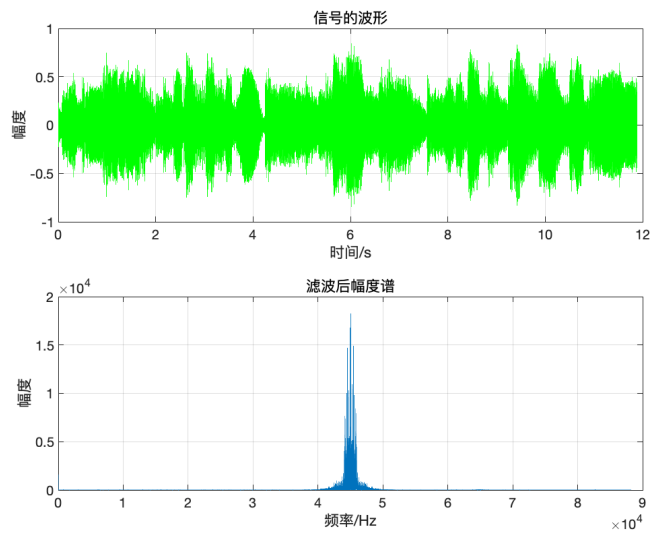


图 5: 45kHz 滤波后信号的时域波形和频谱

### 4.3.2 65kHz

滤波器频响特性如下图6。

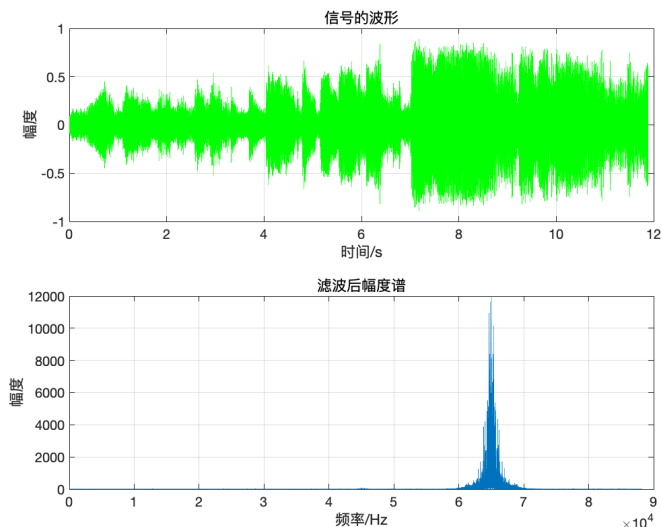


图 6: 65kHz 滤波后信号的时域波形和频谱

### 4.3.3 整体效果

可以看到，滤波后的两个音频均仅在各自的 45kHz 和 65KHz 处有明显峰值，可以认为滤波效果较好。

## 5 实验分析

本实验采用了 FIR 数字滤波器实现带通滤波效果，可以通过调节窗函数的上下限进一步增强滤波效果。

## 6 问题讨论

### 6.1 滤波

可以考虑结合其他滤波器（如 Butterworth 滤波器和 Chebyshev 滤波器）进行加窗。

### 6.2 噪声

可以考虑进一步采用添加其他窗（例如凯瑟窗等）滤去分离后音频中的噪声。不过本次实验得到的音频效果较好，本次不作进一步去噪。

## 参考文献

- [1] Matlab 绘制音频波形及频谱. [https://blog.csdn.net/weixin\\_43455581/article/details/110958737](https://blog.csdn.net/weixin_43455581/article/details/110958737).
- [2] 使用 matlab 实现 fir 滤波, 产生波形, 并进行过滤. <https://www.cnblogs.com/-zimuqi/p/15020342.html>.
- [3] 基于 matlab 的语音去噪处理. <https://blog.csdn.net/yl624624/article/details/119966158>.