

基于 MATLAB 的语音 滤波实验设计

雷学堂, 徐火希

(黄冈师范学院 物电系, 湖北 黄州 438000)

摘要: 利用 MATLAB 的声音处理函数作为数据接口, 并利用多媒体播放器作为交互界面, 设计了一组语音信号滤波实验, 目的在于通过对比滤波前后的语音效果来加深对数字信号处理的认识。

关键词: MATLAB; 数字信号处理; 语音滤波

中图分类号: TP391 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-4956(2007)04-0038-04

A design for audio filter experiment based on MATLAB

LEI Xue-tang, XU Huo-xi

(Dept. of Physics, Huanggang Normal University, Hubei Huangzhou 438000, China)

Abstract: Designed a group of experiment in audio filter by using the MATLAB sound processing function as the data conversion interface and using the multimedia player as interactive interface to deepen the understanding of the digital signal processing by comparing the pronunciation effect before and after filtering.

Key words: MATLAB; digital signal processing; audio filter

数字信号处理是电子信息类和自动控制类专业极其重要的一门专业基础课程, 这门课程是将信号和系统抽象成离散的数学模型, 并从数学分析的角度分别讨论信号、系统、信号经过系统、系统设计(主要是滤波器)等问题^[1]。这门课程的深刻物理意义都隐含在数学运算之中, 学生很难通过形象思维方式将一大堆数学运算跟现实中的信号分析和信号处理挂起钩来, 而掌握数学运算的物理意义和数学运算的算法是这门课程的目的所在, 所以如何深刻理解数学运算的物理意义是学好这门课程的关键, 也是入门的必经之路。

采用仿真可帮助学生加强理解, MATLAB 里面有很多应用接口函数^[2-4], 利用这些接口函数可以很容易地实现数学运算和实际效果的交互。本文利用 MATLAB 的声音处理函数作为接口, 设计了一个简单的语音滤波实验, 配合 Windows 操作系统支持的语音媒体播放器可以很方便地将经过数字处理后的语音效果直观地体现出来, 这对于学生深刻

理解数字信号处理中抽象数学运算的现实物理意义很有帮助。

1 语音信号时域滤波实验的设计

由于 MATLAB 是以矩阵的形式组织数据的, 对于单声道的语音数据在 MATLAB 中是一维数组。MATLAB 中有 2 个处理 .wav 格式语音的函数, 一个是将 .wav 语音流文件转换为数组格式数据的函数 wavread (), 另一个是将数组格式数据转换为 .wav 语音流文件的函数 wavwrite ()^[2-4], 本实验利用这 2 个函数实现 .wav 语音流文件跟数组格式数据的转换, 利用 Windows 附件中的录音机可将其它格式的语音流文件转换为 .wav 语音流文件。本实验中录制的语音为 leil.wav, 利用 Windows Media Player 等支持 .wav 格式的流媒体播放器播放处理前后的 .wav 文件, 通过对比处理前后的语音效果, 并结合 MATLAB 作图函数显示处理前后的语音频谱来帮助理解数学运算的物理意义。

1.1 语音的时域低通滤波

对于采样率 f_s 为 22050 Hz 的语音信号, 取 $h(n) = 1$ (其中 $1 \leq n \leq 22$), 其 m 文件如下:

收稿日期: 2006-05-17

作者简介: 雷学堂 (1968—), 男, 湖北省罗田市人, 硕士, 副教授, 主要从事信号处理和数据通信的教学及研究。

时域低通滤波

```

x = wavread('lei1.wav');
h = ones(1, 220);
y = conv(x, h);
wavwrite(y, 22050, 'lei2.wav');
Hw = fft(h, length(y));
Xw = fft(x);
Yw = fft(y);
nx = length(Xw); ny = length(Yw);
nh = length(Hw);
wh = 0: 2 * pi / nh; 2 * pi * (nh - 1) / nh;
wx = 0: 2 * pi / nx; 2 * pi * (nx - 1) / nx;
wy = 0: 2 * pi / ny; 2 * pi * (ny - 1) / ny;
subplot(3, 1, 1); plot(wh, abs(Hw));
subplot(3, 1, 2); plot(wx, Xw);
subplot(3, 1, 3); plot(wh, Yw);

```

程序运行后生成如图 1 的 $h(n)$ 、 $x(n)$ 、 $y(n)$ 频谱图, 并在 MATLAB 的 work 文件夹中产生一个名为 lei2 的 .wav 语音文件, 分别播放处理前后的 lei1 和 lei2 两段语音。明显感觉到处理后的语音变得低沉, 原因是高频分量被低通滤波器滤除或衰减, 这从运行显示的频谱图中也可以直观地看到。

1.2 时域高通滤波

为使高通滤波的语音效果明显, 取 $h(n) = [1, -2, 1]$, 其 m 文件如下:

时域高通滤波

```

x = wavread('lei1.wav');
h = [1, -2, 1];
y = conv(x, h);
wavwrite(y, 22050, 'lei3.wav');

```

采用跟时域低通滤波中一样的作图语句, 可生成如图 2 的 $h(n)$ 、 $x(n)$ 、 $y(n)$ 的频谱图, 分别播放处理前后的 lei1 和 lei3 两段语音, 会明显感觉到处理后的语音变得尖锐, 原因是低频分量被低通滤波器滤除或衰减, 这从运行显示的频谱图中也可直观地看到。

1.3 时域带通和带阻滤波

时域带通滤波的单位冲激响应 $h_B(n)$ 可通过低通滤波器的 $h_L(n)$ 和高通滤波器的 $h_H(n)$ 级联 (时域卷积 $h_B(n) = h_L(n) * h_H(n)$) 来实现, 带阻滤波的单位冲激响应 $h_S(n)$ 可通过低通滤波器的 $h_L(n)$ 和高通滤波器的 $h_H(n)$ 并联 (时域相加 $h_S(n) = h_L(n) + h_H(n)$) 来实现, 具体方法: 将 $x(n)$ 先经高通得 $x_H(n)$, 再将 $x_H(n)$ 经低通即得到带阻滤波

x 为读取原语音文件的数据, 一维数组

h 为低通滤波器的单位冲激响应

时域卷积, 低通滤波

将滤波后的数据保存为 .wav 文件

求系统函数 (频谱) Hw , 对 $h(n)$ 作 FFT 变换

求原输入信号 (激励) 的频谱 Xw

求经低通滤波后的频谱 Yw

求 Xw 和 $Yw1$ 的长度

求 $Yw2$ 和 Hw 的长度

设置系统函数频谱 Hw 的横坐标为 $0 \sim 2\pi$

设置原始信号的频谱 Xw 的横坐标为 $0 \sim 2\pi$

设置滤波后信号的频谱 Yw 的横坐标为 $0 \sim 2\pi$

ylabel ('Hw');

ylabel ('Xw');

ylabel ('Yw');

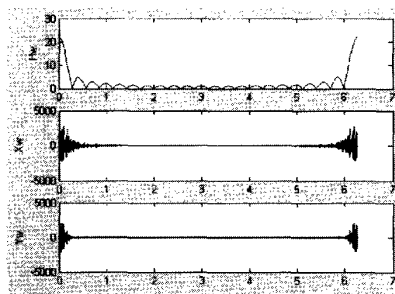


图 1 语音的时域低通滤波频谱

读取原语音文件的数据, 变为一维数组 x

h 为高通滤波器的单位冲激响应

时域卷积, 高通滤波

将滤波后的数据保存为 .wav 文件

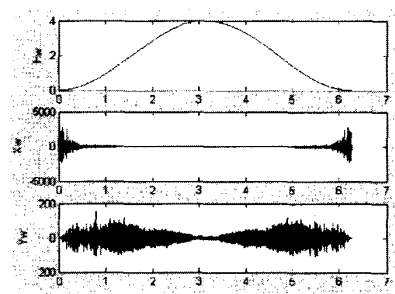


图 2 语音的时域高通滤波频谱

结果 $y_B(n)$; 将 $x(n)$ 经高通得 $x_H(n)$, 再将 $x(n)$ 经低通得 $x_L(n)$, 最后将 $x_H(n)$ 和 $x_L(n)$ 相加得到带阻滤波结果 $y_S(n)$ 。

2 语音信号频域滤波实验的设计

信号经过系统后的响应 $Y(e^{j\omega})$, 在频域上体现为激励的频谱 $X(e^{j\omega})$ 和系统频率响应 $H(e^{j\omega})$ 的乘积, 即 $Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega})X(e^{j\omega})$, $H(e^{j\omega})$ 反映了系统的特性^[1]。这种关系, 可理解为系统的频谱函数对激励的频谱加权, 系统的频谱特性不同则实现的滤波效果也就不同。

为简单和直观起见, 以理想滤波器为例进行说明。滤波器的频率特性直接给出, 语音信号的频谱用 FFT 来求得, 然后将乘积的频谱作 IFFT, 得到时域信号 $y(n)$ 。由于是以数字方式处理, 故激励的频谱 $X(e^{j\omega})$ 跟系统频率响应 $H(e^{j\omega})$ 将分别变成 $X(k)$ 和 $H(k)$, 模拟频率 f 跟 FFT 变换得到的数频率 k 的关系为 $f = \frac{f_s}{N}k$, 其中 f_s 为 A/D 变换的采样率, N 为数据长度, 由此关系确定滤波器的截止频率。

2.1 频域低通滤波

若设计一截止频率为 f_L 的理想低通滤波器,

$$H_L(f) = \begin{cases} 1 & 0 \leq f \leq f_L \\ 0 & f_L < f \leq \infty \end{cases},$$

而对应数字频率域 (FFT) 的系统函数的频率特性 $H_L(k)$ 为:

$$H_L(k) = \begin{cases} 1 & 0 \leq k \leq \frac{N}{f_s}f_L \\ 0 & \frac{N}{f_s}f_L < k \leq N - \frac{N}{f_s}f_L \\ 1 & N - \frac{N}{f_s}f_L < k \leq N - 1 \end{cases}$$

截止频率为 1000 Hz 的理想低通滤波器对语音信号滤波的 m 文件如下:

频域理想低通滤波

```
x = wavread('lei1.wav');
```

读取原语音文件的数据, 变成一维数组

```
Xw = fft(x);
```

求原输入信号 (激励) 的频谱 Yw

```
N = length(Xw);
```

求原音频信号频谱的长度 (点数)

```
fs = 22050;
```

原信号采样时的抽样频率 22050Hz, 在录音时设置的 (不能改)

```
fL = 1000;
```

理想低通滤波器的截止频率为 1000Hz, (可更改)

```
H_Lw = [ones(1, fix(N * fL / fs)), zeros(1, N - 2 * fix(N * fL / fs)), ones(1, fix(N * fL / fs))];
```

万方数据

理想低通的频率特性设置

```
Yw = Xw * H_Lw';
```

频域作乘积 (即对信号进行处理)

```
y = ifft(Yw);
```

反变换到时域波形

```
wavwrite(y, fs, 'lei4.wav');
```

```
nx = length(Xw); nh = length(Hw);
```

```
ny = length(Yw);
```

```
wx = 0: 2 * pi / nx: 2 * pi * (nx - 1) / nx;
```

```
wh = 0: 2 * pi / nh: 2 * pi * (nh - 1) / nh;
```

```
wy = 0: 2 * pi / ny: 2 * pi * (ny - 1) / ny;
```

```
subplot(3, 1, 1); plot(wx, Xw);
```

```
ylabel('Xw');
```

```
subplot(3, 1, 2); plot(wh, Hw);
```

```
ylabel('Hw');
```

```
axis([0, 7, -0.2, 1.2]);
```

```
subplot(3, 1, 3); plot(wy, Yw);
```

```
ylabel('Yw');
```

其频谱如图 3, 图 3 中, X_w 的高频被 H_w 截掉后成为 Y_w , 所以音调变得低沉, 通过对比 lei1 和 lei4 两段语音, 会明显感觉到。

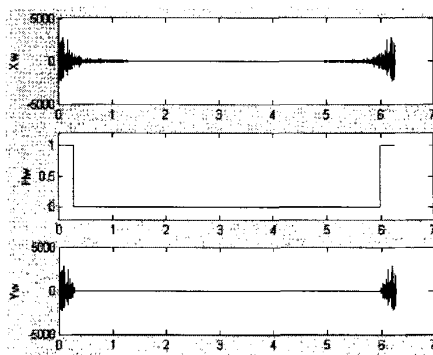


图 3 语音的频域低通滤波频谱

2.2 频域高通滤波

若设计一截止频率为 f_H 的理想高通滤波器,

$$H_H(f) = \begin{cases} 0 & 0 \leq f \leq f_H \\ 1 & f_H < f \leq \infty \end{cases},$$

对应数字频率域 (FFT) 的系统函数的频率特性 $H_H(k)$ 为

$$H_H(k) = \begin{cases} 0 & 0 \leq k \leq \frac{N}{f_s}f_H \\ 1 & \frac{N}{f_s}f_H < k \leq N - \frac{N}{f_s}f_H \\ 0 & N - \frac{N}{f_s}f_H < k \leq N - 1 \end{cases}$$

截止频率为 2000 Hz 的理想高通滤波器对语音

信号滤波的 m 文件如下:

```

频域理想高通滤波
x = wavread('lei1.wav');      读取原语音文件的数据, 变成一维数组
Xw = fft(x);                 求原输入信号(激励)的频谱 Yw
N = length(Xw);              求原音频信号频谱的长度(点数)
fs = 22050;                   原信号采样时的抽样频率 22050Hz, 在录音时设置的(不能改)
fH = 2000;                     理想高通滤波器的截止频率为 2000Hz, (可更改)
HHw = [zeros(1, fix(N*f0/fs)), ones(1, N-2*fix(N*f0/fs)), zeros(1, fix(N*f0/fs))];
                                     理想高通的频率特性设置

Yw = Xw.*HHw';
y = ifft(Yw);
wavwrite(y, fs, 'lei5.wav');

```

其频谱如图 4, 图 4 中, X_w 的低频被 H_w 截掉后成为 Y_w , 所以音调变得尖锐, 通过对比 lei1 和 lei5 两段语音, 会明显感觉到。

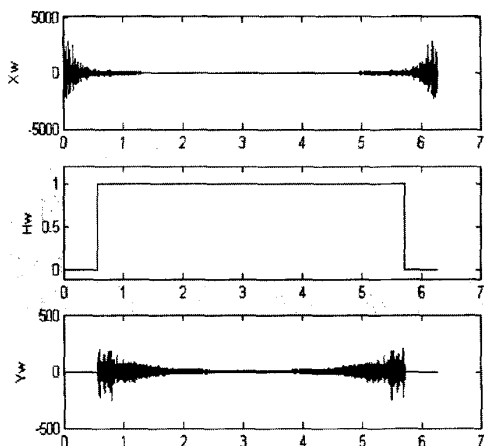


图 4 语音的频域高通滤波频谱

2.3 频域带通和带阻滤波

频域带通滤波的频率特性 $H_B(\omega)$, 可通过低通滤波器的 $H_L(\omega)$ 和高通滤波器的 $H_H(\omega)$ 级联相乘得到, 用式子表示为 $H_B(\omega) = H_L(\omega) \cdot H_H(\omega)$; 频域带阻滤波的频率特性 $H_S(\omega)$, 可通过低通滤波器的 $H_L(\omega)$ 和高通滤波器的 $H_H(\omega)$ 并联相加得到, 用式子表示为 $H_S(\omega) = H_L(\omega) + H_H(\omega)$ 。

3 结论

本文设计的实验是利用 MATLAB 的声音处理函数和媒体播放器, 将复杂抽象的处理算法变换成简单直观的实际效果, 有利于学生理解算法的物理意义, 有利于激发学生的学习兴趣, 从而引发学生对数字信号处理算法的进一步思考, 对于数字信号处理的教学和学习具有一定的参考价值。

本文虽然只以语音滤波进行说明, 其实很容易扩展到语音的其它处理方面, 如语音的抽取和插值等。

参考文献 (References):

- [1] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [2] 陈怀琛, 吴大正, 高西全. MATLAB 及在电子信息课程中的应用 [M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 姚东, 王爱民, 冯峰, 等. MATLAB 命令大全 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [4] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [5] 李强, 明艳, 陈前斌, 等. 基于 Matlab 的数字信号处理实验仿真系统的实现 [J]. 实验技术与管理, 2006, 23 (5): 81-83.
- [6] 王艳芬, 史良, 王刚. 基于 Matlab 软件环境的 < 数字信号处理 > 课程新实验开发 [J]. 实验技术与管理, 2002, 19 (3): 61-62.
- [7] 陈鹤, 常敏慧. Matlab 在信号处理系列课程实验中的应用 [J]. 实验技术与管理, 2006, 23 (11): 77-80.

坚持通过实践教育全面育人, 将实践教育贯穿和落实于教育教学工作的全过程, 是清华大学多年来形成的优良办学传统。在近一个世纪的办学历程中, 清华始终坚持以学生的全面成长为目标, 根据不同时代的特点及国家建设的需要, 创立和发展了丰富多样的实践教育形式。

摘自 清华大学党委书记陈希为《春风化雨践行路》所撰写的“前言”
清华大学出版社 2006