南开大学

语音信号处理

信息隐藏技术

学号:

姓名：

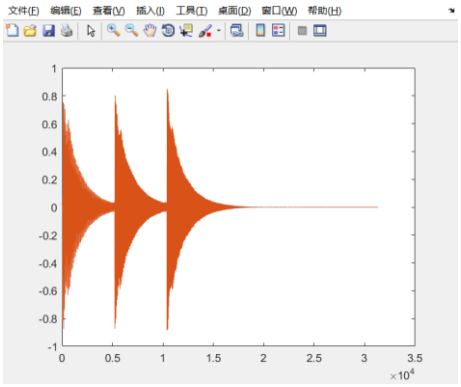
2018-3-10

目录

1、语音信号

语音信号为：dida.wav，波形图如图，代码处理：

```
wav_name = 'dida.wav';
wav = audioread(wav_name);
plot(wav);
```



2、语音信号的傅氏变换

2.1 FFT Matlab 介绍

```
%FFT Discrete Fourier transform.
%   FFT(X) is the discrete Fourier transform (DFT) of vector X.  For
%   matrices, the FFT operation is applied to each column. For N-D
%   arrays, the FFT operation operates on the first non-singleton
%   dimension.
%
%   FFT(X,N) is the N-point FFT, padded with zeros if X has less
%   than N points and truncated if it has more.
%
%   FFT(X,[],DIM) or FFT(X,N,DIM) applies the FFT operation across the
%   dimension DIM.
%
%   For length N input vector x, the DFT is a length N vector X,
%   with elements
%                    N
%       X(k) =       sum  x(n)*exp(-j*2*pi*(k-1)*(n-1)/N), 1 <= k <= N.
%                   n=1
```

```
%   The inverse DFT (computed by IFFT) is given by
%                    N
%      x(n) = (1/N) sum  X(k)*exp( j*2*pi*(k-1)*(n-1)/N), 1 <= n <= N.
%                   k=1
%
%   See also FFT2, FFTN, FFTSHIFT, FFTW, IFFT, IFFT2, IFFTN.

%   Copyright 1984-2005 The MathWorks, Inc.

%   Built-in function.
```

The 'i' in the 'Nth root of unity' 是虚数单位

调用：

1. Y = fft（y）；
2. Y = fft（y，N）；

式中，y 是序列，Y 是序列的快速傅里叶变换。y 可以是一向量或矩阵，若 y 为向量，则 Y 是 y 的 FFT，并且与 y 具有相同的长度。若 y 为一矩阵，则 Y 是对矩阵的每一列向量进行 FFT。

说明：

1. 函数 fft 返回值的数据结构具有对称性

根据采样定理，fft 能分辨的最高频率为采样频率的一半（即 Nyquist 频率），函数 fft 返回值是以 Nyqusit 频率为轴对称的，Y 的前一半与后一半是复数共轭关系。

2. 幅值

作 FFT 分析时，幅值大小与输入点数有关，要得到真实的幅值大小，只要将变换后的结果乘以 2 除以 N 即可（但此时零频—直流分量—的幅值为实际值的 2 倍）。对此的解释是：Y 除以 N 得到双边谱，再乘以 2 得到单边谱（零频在双边谱中本没有被一分为二，而转化为单边谱过程中所有幅值均乘以 2，所以零频被放大了）。

3. 基频

若分析数据时长为 T，则分析结果的基频就是 f0=1/T，分析结果的频率序列为[0:N-1]*f0

4. 执行 N 点 FFT

在调用格式 2 中，函数执行 N 点 FFT。若 y 为向量且长度小于 N，则函数将 y 补零至长度 N，若向量 y 的长度大于 N，则函数截断 y 使之长度为 N。

注意：

使用 N 点 FFT 时，若 N 大于向量 y 的长度，将给频谱分析结果带来变化，应该特别注意。

傅立叶原理表明 :任何连续测量的时序或信号, 都可以表示为不同频率的余弦 (或正弦) 波信号的无限叠加。FFT 是离散傅立叶变换的快速算法，可以将一个信号变换到频域。

1.有些信号在时域上是很难看出什么特征的，但是如果变换到频域之后，就很容易看出特征（频率，幅值，初相位）；

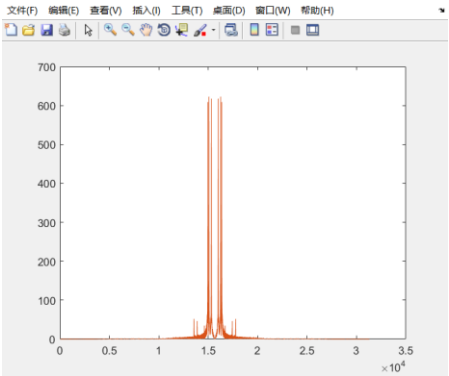
2.FFT 可以将一个信号的频谱提取出来，进行频谱分析，为后续滤波准备；

3.通过对一个系统的输入信号和输出信号进行快速傅里叶变换后，两者进行对比，对系统可以有一个初步认识。

2.2 FFT 处理示例

代码处理，效果如图，原始语音信号的采样频率为 44.1kHz，从图中可以看到，语音信号的频谱集中在 0~3kHz 之内，并且大部分能量集中在 1~2kHz 之间。

```
f_wav = fft(wav);
plot(abs(fftshift(f_wav)));
```



3、语言信号的小波变换

3.1 DWT Matlab 介绍

```
function [a,d] = dwt(x,varargin)  a:信号的近似 d:信号的分解
%DWT Single-level discrete 1-D wavelet transform.
%   DWT performs a single-level 1-D wavelet decomposition 信号的
%   with respect to either a particular wavelet ('wname',
%   see WFILTERS for more information) or particular wavelet filters
%   (Lo_D and Hi_D) that you specify.
%
%   [CA,CD] = DWT(X,'wname') computes the approximation
%   coefficients vector CA and detail coefficients vector CD,
%   obtained by a wavelet decomposition of the vector X.
%   'wname' is a character vector containing the wavelet name.
%
%   [CA,CD] = DWT(X,Lo_D,Hi_D) computes the wavelet decomposition
%   as above given these filters as input:
%   Lo_D is the decomposition low-pass filter.
%   Hi_D is the decomposition high-pass filter.
%   Lo_D and Hi_D must be the same length.
%
%   Let LX = length(X) and LF = the length of filters; then
```

```
%   length(CA) = length(CD) = LA where LA = CEIL(LX/2),
%   if the DWT extension mode is set to periodization.
%   LA = FLOOR((LX+LF-1)/2) for the other extension modes.
%   For the different signal extension modes, see DWTMODE.
%
%   [CA,CD] = DWT(...,'mode',MODE) computes the wavelet
%   decomposition with the extension mode MODE you specify.
%   MODE is a character vector containing the extension mode.
%
%   Example:
%     x = 1:8;
%     [ca,cd] = dwt(x,'db1','mode','sym')
%
%   See also DWTMODE, IDWT, WAVEDEC, WAVEINFO.

%   M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, J.M. Poggi 12-Mar-96.
%   Last Revision: 06-Feb-2011.
%   Copyright 1995-2015 The MathWorks, Inc.
```

小波变换时 20 世纪 80 年代中后期逐渐发展起来的一种数学分析方法，他一出现就受到数学界和工程界的广泛重视。1984 年法国科学家 J.Molet 在分析地震波的局部特性时，首先用小波变换对信号进行分析，并提出小波这一术语。

小波，小的波形，小是指其具有衰减性，波是指其具有波动性，即小波的振幅具有振幅正负相间的震荡形式。小波理论采用多分辨率思想，非均匀的划分时频空间，它使信号仍能在一组正交基上进行分解，为非平稳信号的分析提供了新途径。

小波就是在函数空间的一个满足条件的函数或者信号。小波分析能够对函数和信号进行任意指定点处的任意精细结构的分析，同时，这也决定了小波分析在对非平稳信号进行时频分析时，具有对时频同时局部化的能力。

连续小波的时频窗时时频平面上一个可变的矩形，他的时频窗的面积与小波的母函数有关，这一点决定了小波变换在信号的时频分析中的特殊作用。

小波分析特点；

小波变换的时频关系受到不确定性原理的制约。还有恒 Q 性质，Q 为母小波的品质因数。Q=带宽/中心频率。

恒 Q 性质是小波变换的一个重要性质，也是小波变换区别于其他类型的变换，且被广泛应用的一个重要原因。当用较小的 a 对信号做高频分析时，实际上使用高频小波对信号做细致观察；而用较大的 a 对信号做低频分析时，实际上使用低频小波对信号做概貌观察。

小波分析师傅里叶分析的发展和拓展，区别是

1.傅里叶变换用到的基本函数具有唯一性，小波分析用到的函数具有不唯一性，同样一个问题用不同的小波函数进行分析，有事结果相差甚远。

2.在频域中，傅里叶变换具有较好的局部化能力，特别是对于那些频率成分比较简单的确定信号，傅里叶变换可以很容易的把信号表示成各种频率成分叠加和的形式；但在时域中，傅里叶变换没有局部化能力，无法从信号的傅里叶变换中看出原信号在任一时间点附近的形态。

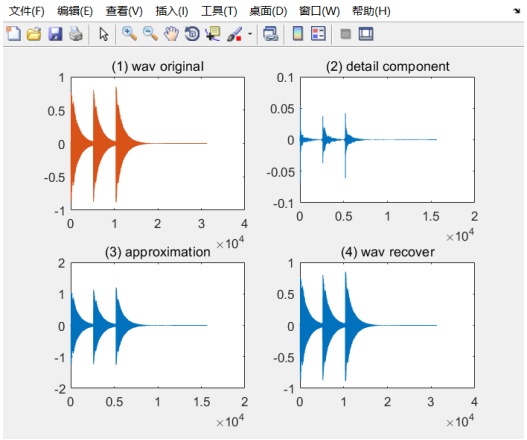
3.若用信号通过滤波器来解释，小波变换与短时傅里叶变换的不同之处在于，对短时傅

里叶变换来说，带通滤波器的带宽与中心频率无关；相反，小波变换带通滤波器的带宽则正比于中心频率，即小波变换对应的滤波器有一个恒定的相对带宽。

3.2 DWT 处理示例

3.2.1 一级小波分解(DWT)

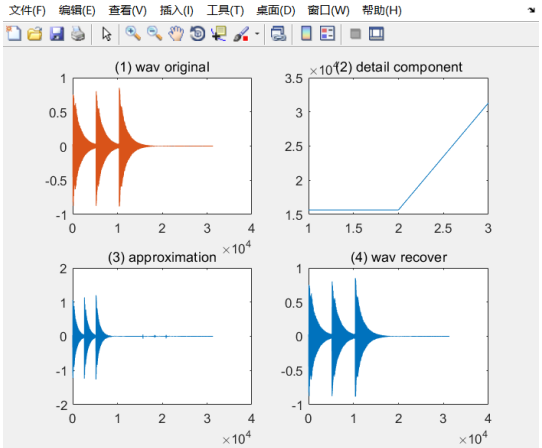
小波基采用 Daubechies-4 小波，(1)是原始语音信号，(2)是一级分解的细节分量，(3)是一级分解的近似分量，分解后数据长度缩减一半。(4)是一级分解重构的结果。




```
wav_name = 'dida.wav';
[wav,fs] = audioread(wav_name); % 获得语音信号
len = length(wav);              % 语音信号大小
wav_vec = zeros(len,1);         % 预分配内存
for i = 1 : len                 % 语音信号转向量
    wav_vec(i) = wav(i);
end
[ca1,cd1] = dwt(wav_vec,'db4'); % 小波基选用 Daubechies-4 小波
wav0 = idwt(ca1,cd1,'db4',len); % 逆 dwt
figure
subplot(2,2,1),plot(wav);
subplot(2,2,2),plot(cd1);       % 细节分量
subplot(2,2,3),plot(ca1);       % 近似分量
subplot(2,2,4),plot(wav0);
axes_handle = get(gcf, 'children');
axes(axes_handle(4)); title('(1) wav original');
axes(axes_handle(3)); title('(2) detail component');
axes(axes_handle(2)); title('(3) approximation');
axes(axes_handle(1)); title('(4) wav recover');
```

3.2.2 一级小波分解(WAVEDEC)

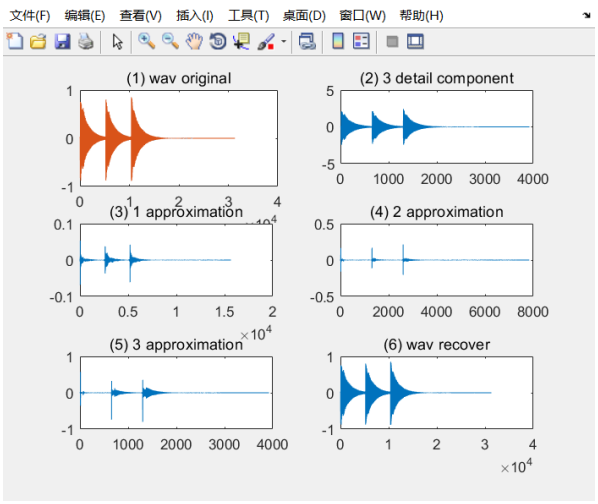
小波基采用 Daubechies-4 小波，(1)是原始语音信号，(2)是一级分解的细节分量，(3)是一级分解的近似分量， (4)是一级分解重构的结果。




```
wav_name = 'dida.wav';
[wav,fs] = audioread(wav_name);     % 获得语音信号
len = length(wav);                  % 语音信号大小
wav_vec = zeros(len,1);             % 预分配内存
for i = 1 : len                     % 语音信号转向量
    wav_vec(i) = wav(i);
end
[ca1,cd1] = wavedec(wav_vec,1,'db4'); % 小波基选用 Daubechies-4 小波
wav0 = waverec(ca1,cd1,'db4');        % 逆 wavedec
figure
subplot(2,2,1),plot(wav);
subplot(2,2,2),plot(cd1);             % 细节分量
subplot(2,2,3),plot(ca1);             % 近似分量
subplot(2,2,4),plot(wav0);
axes_handle = get(gcf, 'children');
axes(axes_handle(4)); title('(1) wav original');
axes(axes_handle(3)); title('(2) detail component');
axes(axes_handle(2)); title('(3) approximation');
axes(axes_handle(1)); title('(4) wav recover');
```

3.3.3 三级小波分解(WAVEDEC)

小波基采用 Daubechies-4 小波，(1)是原始语音信号，(2)是三级分解的细节分量，(3)是一级分解的近似分量，(4)是二级分解的近似分量，(5)是三级分解的近似分量，(4)是三级分解重构的结果。可以发现：经过




```
wav_name = 'dida.wav';
[wav,fs] = audioread(wav_name);     % 获得语音信号
len = length(wav);                  % 语音信号大小
wav_vec = zeros(len,1);             % 预分配内存
for i = 1 : len                     % 语音信号转向量
    wav_vec(i) = wav(i);
end
[c,l] = wavedec(wav_vec,3,'db4');   % 小波基选用 Daubechies-4 小波
ca3 = appcoef(c,l,'db4',3);         % 三级分解近似分量
cd3 = detcoef(c,l,3);               % 三级分解细节分量
cd2 = detcoef(c,l,2);               % 三级分解细节分量
cd1 = detcoef(c,l,1);               % 三级分解细节分量
wav0 = waverec(c,l,'db4');          % 逆 dwt
figure
subplot(3,2,1),plot(wav);
subplot(3,2,2),plot(ca3);           % 三级分解细节分量
subplot(3,2,3),plot(cd1);           % 一级分解近似分量
subplot(3,2,4),plot(cd2);           % 二级分解近似分量
subplot(3,2,5),plot(cd3);           % 三级分解近似分量
subplot(3,2,6),plot(wav0);          % 三级重构
axes_handle = get(gcf, 'children');
axes(axes_handle(6)); title('(1) wav original');
axes(axes_handle(5)); title('(2) 3 detail component');
axes(axes_handle(4)); title('(3) 1 approximation');
axes(axes_handle(3)); title('(4) 2 approximation');
axes(axes_handle(2)); title('(5) 3 approximation');
axes(axes_handle(1)); title('(6) wav recover');
```

4、语音信号的 DCT 变换

4.1 DCT Matlab 介绍

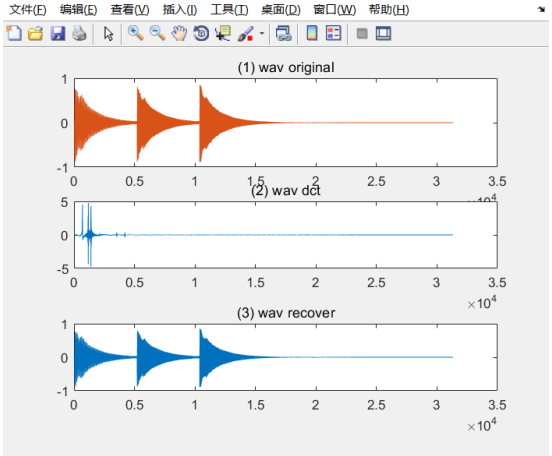
```
function b=dct(a,varargin)
%DCT  Discrete cosine transform.
%   Y = DCT(X) returns the discrete cosine transform of vector X.
%   If X is a matrix, the DCT operation is applied to each
%   column.  For N-D arrays, DCT operates on the first non-singleton
%   dimension.  This transform can be inverted using IDCT.
%
%   Y = DCT(X,N) pads or truncates the vector X to length N
%   before transforming.
%
%   Y = DCT(X,[],DIM) or Y = DCT(X,N,DIM) applies the DCT operation along
%   dimension DIM.
%
%   Y = DCT(...,'Type',K) specifies the type of discrete cosine transform
%   to compute.  K can be one of 1, 2, 3, or 4, to represent the DCT-I,
%   DCT-II, DCT-III, and DCT-IV transforms, respectively.  The default
%   value for K is 2 (the DCT-II transform).
%
%   % Example:
%   %   Find how many DCT coefficients represent 99% of the energy
%   %   in a sequence.
%
%   x = (1:100) + 50*cos((1:100)*2*pi/40);  % Input Signal
%   X = dct(x);                             % Discrete cosine transform
%   [XX,ind] = sort(abs(X)); ind = fliplr(ind);
%   num_coeff = 1;
%   while (norm([X(ind(1:num_coeff)) zeros(1,100-num_coeff)])/norm(X)<.99)
%       num_coeff = num_coeff + 1;
%   end;
%   num_coeff
%
%   See also FFT, IFFT, IDCT.

%   Author(s): C. Thompson, 2-12-93
%              S. Eddins, 10-26-94, revised
%   Copyright 1988-2016 The MathWorks, Inc.

%   References:
```

```
%   1) A. K. Jain, "Fundamentals of Digital Image
%      Processing", pp. 150-153.
%   2) Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard",
%      Communications of the ACM, April 1991.
```

4.2 DCT 处理示例




```
wav_name = 'dida.wav';
[wav,fs] = audioread(wav_name);     % 获得语音信号
len = length(wav);                  % 语音信号大小
wav_vec = zeros(len,1);             % 预分配内存
for i = 1 : len                     % 语音信号转向量
    wav_vec(i) = wav(i);
end
da = dct(wav_vec);                  % dct
wav0 = idct(da);                    % 逆 dct
figure
subplot(3,1,1),plot(wav);
subplot(3,1,2),plot(da);            % dct
subplot(3,1,3),plot(wav0);          % 重构
axes_handle = get(gcf, 'children');
axes(axes_handle(3)); title('(1) wav original');
axes(axes_handle(2)); title('(2) wav dct');
axes(axes_handle(1)); title('(3) wav recover');
```

参考文献：
《信息隐藏与数字水印》 钮心忻 北京邮电大学出版社