

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.009

# MATLAB 消除腾冲台数字地震记录中干扰波的应用

曾庆堂<sup>1</sup>, 起卫罗<sup>2</sup>, 马志刚<sup>1</sup>, 余庆坤<sup>3</sup>, 王恩康<sup>1</sup>, 杨铭昌<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局腾冲地震台, 云南 腾冲 679100; 2. 云南地震局元谋地震台, 云南 元谋 651399;  
3. 云南省地震局应急保障中心, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 数字化地震记录资料中包含了大量的干扰信号, 影响资料分析处理, 有时还造成波形不完整或严重变形, 很难进行深入的分析。利用 MATLAB 设计数字滤波器对不同记录中的干扰波进行滤波, 达到消除干扰的目的。实例表明, 此方法具有良好的效果。

**关键词:** 数字地震记录; MATLAB; 消除干扰; 应用

**中图分类号:** P315.62      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0058-05

## Application of MATLAB Software to the Elimination of the Disturbance Signals in the Digital Seismic Records at Tengchong Earthquake Station

ZENG Qingtan<sup>1</sup>, QI Weiluo<sup>2</sup>, MA Zhigang<sup>1</sup>, YU Qingkun<sup>3</sup>,  
WANG Enkang<sup>1</sup>, YANG Mingchang<sup>1</sup>

(1. *Tengchong Earthquake Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Tengchong 679100, China;*  
2. *Yuanmou Earthquake Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Yuanmou 651399, China;*  
3. *Earthquake Emergency and Logistics Center, Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China*)

**Abstract:** Lots of disturbance signals such as low-frequency components and high-frequency ones contained in the digital seismic records often lead to the distorted or incomplete seismic waveforms, which are difficult for the seismologists to analyze. On the basis of MATLAB software, the authors developed digital filters to eliminate the disturbance signals in the digital seismic data recorded by Tengchong earthquake station. The filters is proved to be practical.

**Keywords:** Digital seismic records; MATLAB software; Disturbance elimination; Application

收稿日期: 2013-03-08

作者简介: 曾庆堂, 男, 1968年生, 工程师, 主要从事地震监测和火山监测工作.

E-mail: zqingt@163.com.

## 0 引言

“十五”以来,地震监测发展了数字化观测技术和网络通信技术,极大地丰富了观测的信息量,同时人们又面临如何去处理分析使用这样庞大的数字化资料的问题<sup>[1,2]</sup>。仪器在进行地震数据采集的时候,也会采集到很多干扰信号,这些干扰严重影响了观测资料的质量,需要加以排除。排除干扰的方法有很多,数字滤波器就是其中使用最广泛的一种。MATLAB 是一套用于科学计算的可视化高性能的语言和软件环境,它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体,工具箱中包含各种经典和现代的数字信号处理技术,能实现各种数字滤波器的设计<sup>[5-7]</sup>。文中给出了 IIR 数字滤波器的 MATLAB 设计方法,并给出了用这种方法滤除数字地震记录中干扰波的应用实例。

## 1 滤波器设计原理

滤波器是一个选频装置,能传输有用信号,而又能抑制无用信号。有用信号和无用信号往往占有不同的频带,信号能通过滤波器的频带称为通带(Passband),信号被抑制的频带称为阻带(Stopband)。理想滤波器频率特性可写为:

$$H(j\omega) = \begin{cases} Ke^{j\omega d}, & \text{在通带内} \\ 0, & \text{在阻带内} \end{cases} \quad (1)$$

数字滤波器是数字信号处理技术的重要内容。和模拟滤波器一样,数字滤波器的主要功能是对数字信号进行处理,最常见的处理是保留数字信号中有用的频率成分,去除信号中无用的频率成分<sup>[4,5]</sup>。

IIR 滤波器的传递函数为:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-n} = \frac{\sum_{r=0}^M b_r z^{-r}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}} \quad (2)$$

$h(n)$ 为滤波器的脉冲响应,从 $n=0 \sim \infty$  均有值。 $M$ 和 $N$ 为分解的分子和分母多项式的系数个数<sup>[3-5]</sup>。

数字滤波器的设计目的是使滤波器的频率特性达到所给定的性能指标。其性能指标包括通带波纹 $R_p(\text{dB})$ 、阻带衰减 $R_s(\text{dB})$ 、通带边界频率(Hz)、阻带边界频率等。

IIR 数字滤波器的设计方法:

IIR 滤波器的设计就是根据滤波器的性能指标要求,设计滤波器的分子和分母多项式系数。它和 FIR 滤波器相比优点是在满足相同性能指标要求的前提下,IIR 滤波器的阶数要明显低于 FIR 滤波器,但 IIR 滤波器的相位是非线性的。

IIR 经典设计就是将已设计好的模拟滤波器按一定变换原理转换为数字滤波器。该方法先根据滤波器的技术指标设计出相应的模拟滤波器,然后再将设计好的模拟滤波器变换成数字滤波器。在 MATLAB 中,经典法设计 IIR 数字滤波器主要采用以下步骤:

由图 1 可见,IIR 滤波器设计利用了模拟滤波器的设计成果。第一步和第二步完成后,一个达到期望性能指标的模拟滤波器(低通、高通、带通、带阻等)已经设计出来。第三步模拟离散化的主要任务就是把模拟滤波器变换成数字滤波器,即把模拟滤波器的系统函数 $H(s)$ 映射为数字滤波器的系统函数 $H(z)$ 。这样,数字滤波器的设计工作全部完成。

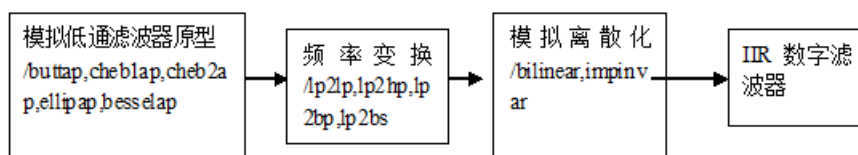


图 1 IIR 滤波器的设计步骤

Fig.1 The design procedures of IIR filter

## 2 IIR 数字滤波器的 MATLAB 设计

MATLAB 中提供了大量设计 IIR 数字滤波器的函数,下面以设计 Butterworth 滤波器为例,介绍具体的设计步骤和方法。

(1) 确定滤波器的技术指标,主要有:采样频率 $F_s$ ,通带临界频率 $F_{cp}$ ,阻带临界频率 $F_{cs}$ ,通

带衰减 $R_p$ 和阻带衰减 $R_s$ 。

(2) 用函数 $[N, W_n] = \text{buttord}(W_p, W_s, R_p, R_s, 'low')$ 求出滤波器的最小阶数 $N$ 和标准化临界频率 $W_n$ ;用函数 $[b, a] = \text{lp2lp}(Bap, Aap, W_n)$ 求出滤波器传递函数多项式系数向量 $a$ 和 $b$ 。

(3) 用函数 $\text{freqz}(bz, az, N_n, 1/T)$ 分析出所设计滤波器的幅频特性和相频特性,并用函数 $y_t =$

`filtfilt (bz, az, xt)` 完成对原始信号  $xt$  的滤波得到输出信号  $yt$ 。

(4) 用 `subplot (2,1,1),plot (t,x),title ('Input signal')` 绘出滤波器的性能图。用 `subplot(2,1,2),plot (t,y),title('OutputSignal'),xlabel('Time/min')` 绘出信号滤波后的效果图。

实现滤波功能的详细 MATLAB 代码如下:

$W_p=0.02*\pi$ ,  $W_s=0.03*\pi$ ,  $R_p=1$ ,  $R_s=15$ , %数字滤波器截止频率、通带波纹和阻带衰减

$T=0.01$ ,  $N_n=128$ , %采样间隔

$W_p= F_{cp} *2/F_s$ , %通带边界频率

$W_s= F_{cs} *2/F_s$ , %阻带边界频率

$[N, W_n]=\text{buttord}(W_p, W_s, R_p, R_s, \text{'hour'})$ , %计算模拟滤波器的最小阶数

$[z, p, k]=\text{buttap}(N)$ , %设计低通原型数字滤波器

$[Bap, Aap]=\text{zp2tf}(z, p, k)$ , %零点极点增益形式转换为传递函数形式

$[b, a]=\text{lp2lp}(Bap, Aap, W_n)$ , %低通滤波器频率转换

$[bz, az]=\text{impinvar}(b, a, 1/T)$ , %脉冲响应不变法设计数字滤波器传递函数

`figure (1)`

`freqz (bz, az,  $N_n$ ,  $1/T$ )`, %输出幅频响应和相频响应

`figure (2)`

`load tct.txt;`

`x=tct;`

`t=0:2999;`

`subplot(2,1,1),plot(t,x),title('Input signal')`

`y=filtfilt (bz, az, x)`, %对信号进行滤波

`subplot (2,1,2),plot (t,y),title('OutputSignal'),xlabel('Time/min')`

以上代码中, `tct.txt` 为信号数据文件。

### 3 数字地震记录中干扰波的排除应用实例

数字地震记录中记录到的大部分是近震,由于干扰波或仪器本身问题,经常记录到的波形叠加了低频或高频成分,波形产生较大变形,很难分析,为把其中的干扰排除,针对干扰的不同频率成分情况,设计不同带通的滤波器进行排除。

腾冲台民振子台记录到的地震经常叠加了低频干扰,波形严重变形,图 2 是所设计的滤波器 (`chebyshevI`),通带为 1~5 Hz,过渡带宽为 0.9 Hz、2 Hz,通带波纹小于 1dB,阻带衰减大于 30 dB,采样频率为 50 Hz。

令上述代码中  $F_{cp} = [15]$ ,  $F_{cs} = [0.17]$ ,运行上述程序,可得原始曲线图和滤波后的曲线(图 3),可以看到较好地滤除了小于 1 Hz 和大于 5 Hz

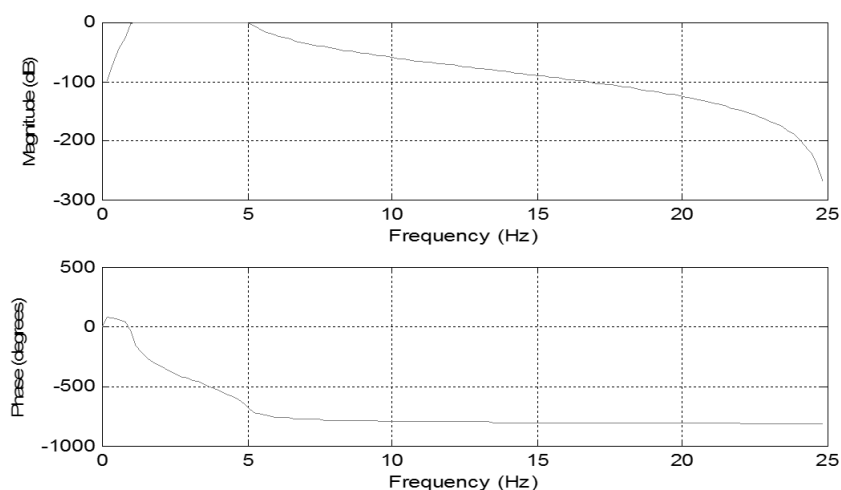


图 2 所设计滤波器

Fig.2 The developed filter

的干扰。

腾冲沙坝台由于摆的问题,记录到的地震 P 波和 S 波震相不明显。下面设计了一个带通 `chebyshevI` 型数字滤波器,通带为 2~5 Hz,通带波纹小于 1 DB,阻带内频率小于 1.3 HZ 和大于 6

HZ 的波不能通过,采样频率为 50 HZ。用此滤波器滤掉地震中背景噪声,清晰的反映出 P 波、S 波的震相特征。图 4 为所设计的滤波器,令  $F_{cp} = [25]$ ,  $F_{cs} = [1.36]$ ;图 5 为输入的波形和滤波后的输出波形。

还可对其它数字化前兆仪器记录数据中的干扰进行排除, 以下为一段腾冲台重力分钟值原始资料曲线及其滤波后的图象。原始资料曲线中, 由于仪器故障, 使得记录曲线中在固体潮的低频成分上叠加了一些高频成分。为了得到固体潮成分的本来面目, 设计了一低通滤波器, 其幅频特性和相频特性见图 6, 图 7 是滤波前和滤波后的波形图, 经运行该滤波器程序后, 取得良好效果。

以上实例都是运行文中所给的 MATLAB 代码, 只是对不同记录中, 根据干扰频率特性对通带临界频率  $F_{cp}$  和阻带临界频率  $F_{cs}$  作相应改变, 即可

达到消除干扰的目的, 方法极具灵活性和实用性。

从图 3、图 5 和图 7 中可以看出, 所设计的滤波器均很好地排除了数据资料记录中的干扰波, 信号经重构后, 得到较为理想的曲线, 这样既提高了观测资料质量, 更易于进一步提高地震波的分析及其前兆信息的分析处理的准确性, 对台站的资料处理很实用。

## 4 结语

数字地震记录中的干扰波有很多, 要针对台站的实际情况对各种干扰波进行分析, 找出其干

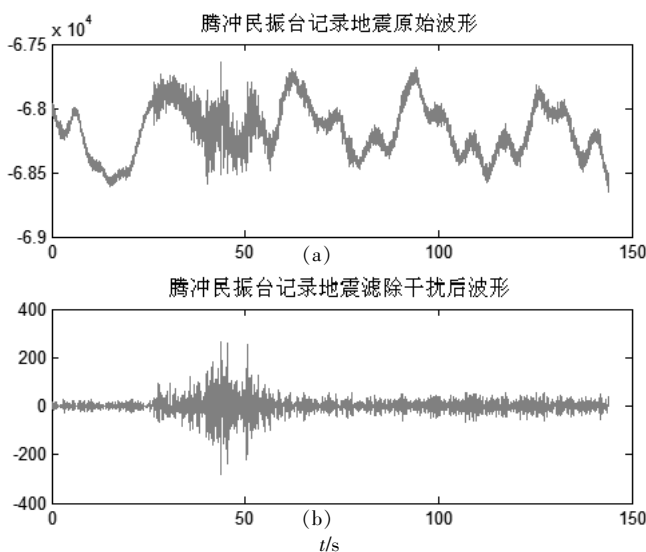


图 3 原始曲线图和滤波后的曲线

Fig.3 The original earthquake waveforms (a) and the filtered ones (b)

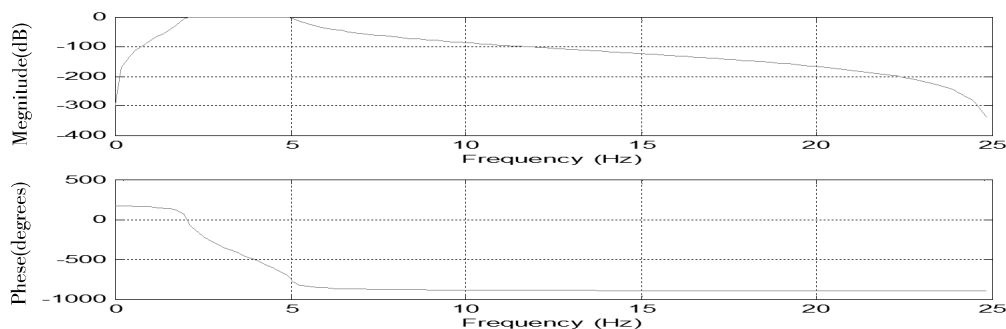


图 4 所设计的滤波器

Fig.4 The developed filter

扰频率和特点, 做为台站的干扰背景资料, 为精确地进行数字化分析研究提供依据。

数字滤波器的应用十分广泛, 运用 MATLAB 语言能方便快捷地设计出满足要求的滤波器。在排除数字地震记录中的干扰波时, 只要通过对台站的正常背景信号和干扰背景信号做分析, 准确选取通带临界频率  $F_{cp}$  和阻带临界频率  $F_{cs}$ , 就能

将原始资料去其糟粕, 取其精华, 便于进行深入和准确的分析处理。

此方法不但适用于地震波的消噪处理, 还适用于所有数字化资料的消噪处理, 且简单易行, 实例表明, 此方法具有良好的效果。

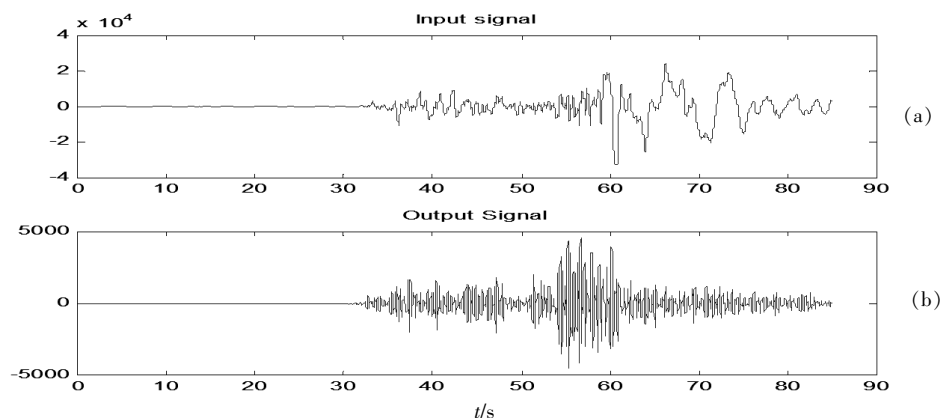


图5 输入波形和滤波后的输出波形

Fig.5 The waveforms before filtering (a) and after filtering (b)

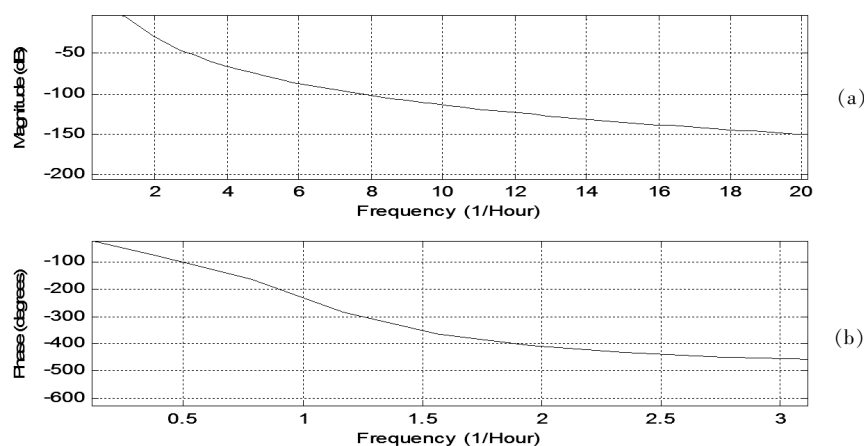


图6 滤波器的幅频和相频特性

Fig.6 The amplitude-frequency characteristic (a) and the phase-frequency characteristic of the filter (b)

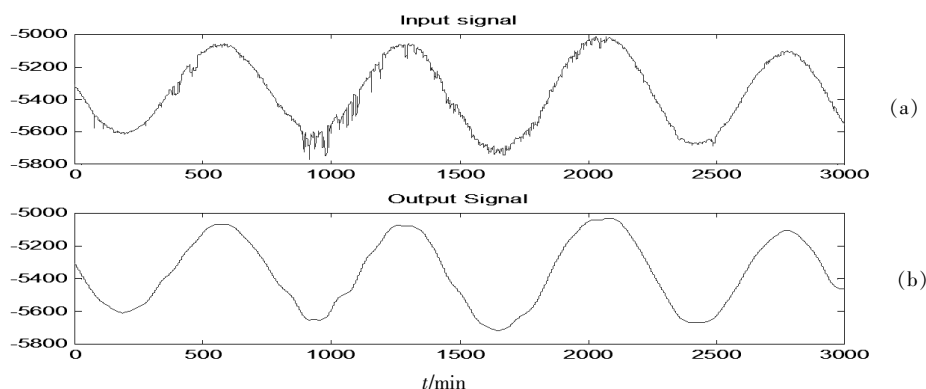


图7 腾冲台重力资料滤波前与滤波后的图象

Fig.7 The gravity records by Tengchong earthquake station before filtering (a) and after filtering (b)

## 参考文献:

- [1] 张少泉. 地震波分析与应用 [M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [2] 张平, 山秀明, 毛玉平, 等. 数字地磁信号的小波消噪处理[J]. 地震研究, 2004, 27 (2): 198-202.
- [3] 徐东艳, 孟晓刚编著. MATLAB 函数库查询词典[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [4] 董维国著. 深入浅出 MATLAB 混合编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] 万永革. MATLAB 数字信号处理实例教程[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 张志涌, 杨祖樱, 徐彦琴, 等. 精通 MATLAB 编程 6.5 版[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2003.
- [7] 李敬, 甘延锋, 黄友明, 等. 数字地震记录中干扰波的排除[J]. 防灾技术高等专科学校学报, 2004, 6 (3): 20-25.