

基于 MATLAB 的振动信号平滑处理方法

孙苗钟

(天津科技大学机械工程学院 天津 300222)

摘 要: 测试采集到的信号因外界干扰往往呈现出非线性、非平稳性和非光滑性等,给后续分析带来了误差甚至错误。因此振动信号的预处理在信号分析中非常重要。本文介绍了对振动原始信号消除噪声信号的两种平滑处理方法,并在 MATLAB 操作平台上进行算法编程实现,给出了编程流程图。对实测的信号进行平滑处理计算,再用 FFT 方法分析前、后处理的数据。结果表明,处理后的信号得到了较好的改善,最后比较了这两种方法平滑速度的快慢。

关键词: MATLAB; 振动信号; 平滑处理; 编程; FFT

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

Smooth processing methods of vibration signal based on MATLAB

Sun Miaozhong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222)

Abstract A sampled vibration signal often shows nonlinear, non-balanced and unsmoothed because of outside noise, thus the errorless and wrong take place in the sequent analysis result. Therefore, the pre-processing of vibration signal is very important in the signal analysis. This paper introduces two smooth processing methods that are used to eliminate noise in the vibration original signal, an arithmetic program is realized based on MATLAB, and its programming flow chart is presented. Besides, a tested signal is analyzed by using the two smooth processing methods, and FFT is used to analyze unprocessed and processed data. The results show the processed signal has been improved. At last, the comparison of the smooth speed of the two methods is presented.

Keywords: MATLAB; vibration signal; smooth processing; programming; FFT

0 引 言

在振动测试过程中,由于各种干扰的存在,使得测试系统采集到的数据偏离其真实数值。因此,在信号分析前需要对所采的数据进行预处理,以提高数据的可靠性和真实性,并检查信号的随机性,以便正确地选择分析方法。预处理工作主要包括这几个方面:一是采样数据的标定变换;二是消除多项式均势项;三是对原始数据进行适当的平滑处理。

通过数据采集器采样得到的振动信号数据往往有噪声信号。噪声信号除了有 50 Hz 的工频及其倍频程等周期性的干扰信号外,还有不规则的随机干扰信号,由于随机干扰信号的频带较宽,有时高频成分所占的比例还很大,使得采集离散数据绘成的振动曲线上呈许多毛刺,很不光滑,为了消弱干扰信号的影响,提高振动曲线光滑度,常常需要对采样数据进行平滑处理。本文主要讨论的是直线滑动平均法和五点三次平滑法。

1 算法原理

1.1 直线滑动平均法

该方法主要根据某点邻近的采样点的波幅来对该点进行波幅修正,从而达到对波形进行去噪的目的。可以对邻近点作简单的平均,也可根据需要对邻近点进行加权平均。一般取 5 个邻近的数据点,平均法的基本计算公式为:

$$y_i = \sum_{n=-N}^N h_n x_{i-n} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中: x 为采样数据; y 为平滑处理后的数据; m 为数据点数; N 为平均点数; h 为加权平均因子。

加权平均因子必须满足下式:

$$\sum_{n=-N}^N h_n = 1 \quad (2)$$

对于简单平均法 $h_n = 1/(2N+1)$ ($n = 0, 1, 2, \dots, N$), 即:

$$y_i = \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x_{i-n} \quad (3)$$

对于加权平均法,若取五点加权平均($N = 2$),例如

可取:

$$\{h\} = (h_{-2}, h_{-1}, h_0, h_1, h_2) = 1/9(1, 2, 3, 2, 1) \quad (4)$$

直线滑动平均法就是利用最小二乘法原理对离散数据进行线性平滑的方法。五点滑动平均($N=2$)的计算公式为:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{1}{5}(3x_1 + 2x_2 + x_3 - x_4) \\ y_2 = \frac{1}{10}(4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + x_4) \\ y_i = \frac{1}{5}(x_{i-2} + x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2}) \\ y_{m-1} = \frac{1}{10}(x_{m-3} + 2x_{m-2} + 3x_{m-1} + 4x_m) \\ y_m = \frac{1}{5}(-x_{m-3} + x_{m-2} + 2x_{m-1} + 3x_m) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $i=3, 4, \dots, m-2$ 。

1.2 五点三次平滑法

五点三次平滑法是利用最小二乘法原理对离散数据进行三次最小二乘多项式平滑的方法。五点三次平滑法计算公式为:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{1}{70}[69x_1 + 4(x_2 + x_4) - 6x_3 - x_5] \\ y_2 = \frac{1}{35}[2(x_1 + x_5) + 27x_2 + 12x_3 - 8x_4] \\ y_i = \frac{1}{35}[-3(x_{i-2} + x_{i+2}) + 12(x_{i-1} + x_{i+1}) + 17x_i] \\ y_{m-1} = \frac{1}{35}[2(x_{m-4} + x_m) - 8x_{m-3} + 12x_{m-2} + 27x_{m-1}] \\ y_m = \frac{1}{70}[-x_{m-4} + 4(x_{m-3} + x_{m-1}) - 6x_{m-2} + 69x_m] \end{cases} \quad (6)$$

式中: $i=3, 4, \dots, m-2$ 。

2 编程实现

MATLAB 可以对通过编制的 M 文件直接进行运行和调试, 由于 M 文件是解释性的程序语言, 所以 M 文件无论从形式、结构、语法规则等方面都比一般计算机高级语言简单、易写、易读得多, 而且程序容易调试, 人机交互性强。MATLAB 的一系列工具箱所包含的全部函数都是 M 文件编写的。工具箱对振动测试中的信号处理具有强大的分析能力, 对各种的信号分析方法可调用相应的函数, 可以灵活编程实现所需的要求; 并且 MATLAB 语言提供了一套强大的图形程序, 为计算过程和结果的可视化提供了极佳的手段。

为了验证振动测试中得到的原始信号平滑处理的效果, 对原始信号数据和两种平滑处理方法处理后的数据经 FFT 分析的结果图形进行比较。如图 1 为振动信号平滑处理的程序流程框图。

3 算法验证

对一转速为 2 850 r/min S3SL-250 型砂轮机在正常运

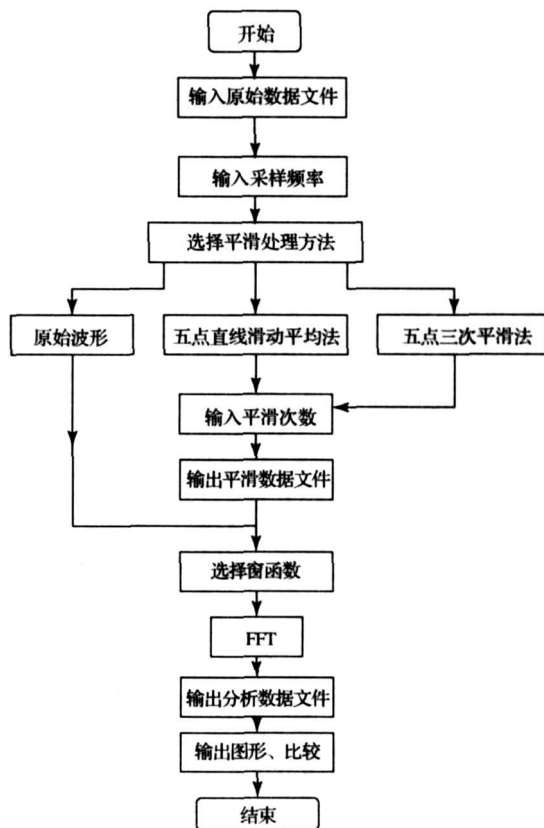


图 1 振动信号平滑处理程序流程框图

行状态下进行加速度振动信号的测试, 数据采集得到 data 数据文件, 在 MATLAB 运行上述所编的 M 文件, 以五点直线滑动平均法分析为例, 得到如下的人机交互对话:

输入原始数据文件: data

输入采样频率(Hz): 1 000

输入选择平滑处理方法: 1-原始波形; 2-五点直线滑动平均法; 3-五点三次平滑法: 2

输入平滑次数: 4

输出平滑数据文件: pout5.txt

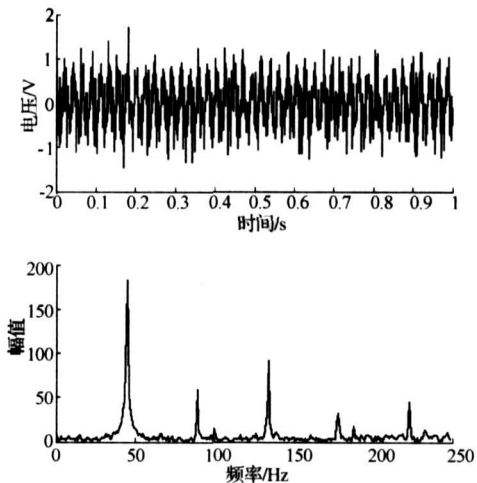
选择窗函数(1-矩形, 2-汉宁, 3-海明, 4-布莱克曼, 5-三角): 2 (选择同一窗函数)

输出分析数据文件: fout.txt

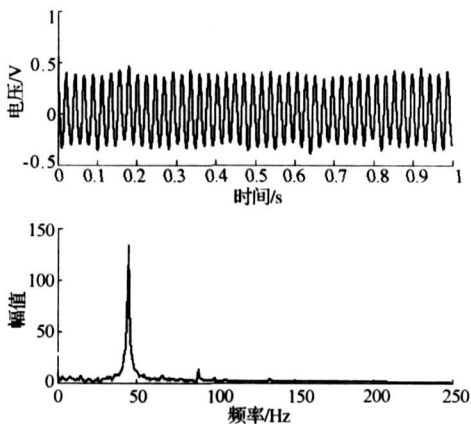
原始信号没有平滑处理和平滑处理后的图形及经 FFT 分析得到的图形如图 2 所示。

从图 2(a) 原始信号波形中可知, 砂轮机的振动信号波形明显具有毛刺; 从 FFT 分析图中表明信号存在工频(47.5 Hz)以外的其他高频成分, 即存在噪声干扰信号。

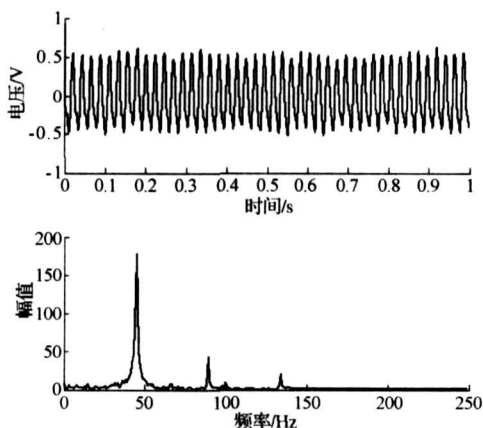
图 2(b)、(c) 经过平滑处理以后, 信号得到很好的改善, FFT 分析结果表明工频成分十分突出, 而去掉了高频成分。根据故障诊断理论, 可以诊断该砂轮机运行时存在严重的不平衡故障。



(a) 原始信号及 FFT 分析结果



(b) 五点直线滑动平均法与 FFT 分析结果 (平滑次数=4)



(c) 五点三次平滑法与 FFT 分析结果 (平滑次数=40)

图 2 振动信号平滑处理情况比较

4 结束语

从达到相同平滑的效果来看, 五点直线滑动平均法比五点三次平滑法所用的平滑次数要少得多。而五点三次平滑法不仅可以对时域信号而且可以对频域信号进行平滑处理。对频域数据的作用能使谱曲线变得光滑, 以便在模态参数识别中得到较好的拟合效果。对振动信号进行预处理剔除其高频噪声信号, 使信号尽可能地接近真实值, 采用的五点直线滑动平均法和五点三次平滑法是行之有效的方法; 并在 MATLAB 操作平台上编程实现简便易行。

参考文献

- [1] 王济, 胡晓. MATLAB 在振动信号处理中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [2] 刘哲, 宋文爱, 王俊峰. 基于虚拟仪器的信号预处理方法的研究[J]. 科技情报开发与经济, 2006(2): 234-235.
- [3] 郎锐. VC++ .NET 编程实现对信号的平滑去噪[J]. 程序员: CSDN 开发高手, 2003(4): 23-25.
- [4] 代广进, 侯正信. 小波域信号去噪算法[J]. 电子测量技术, 2005(6): 37-42.
- [5] 唐拥军, 潘罗平. 水电机组故障诊断系统信号预处理[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005(9): 173-178.
- [6] 杜敏, 王国伟, 徐有蕊. 水力机组振动监测中的信号预处理[J]. 青海电力, 2005(1): 51-54.
- [7] 邹鲲, 袁俊泉. MATLAB 6.x 信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [8] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 应用接口编程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

作者简介



孙苗钟, 男, 1964 年出生, 浙江诸暨人, 毕业于东北大学机械工程与自动化学院, 硕士, 副教授。现从事测试技术、汽车检测和安全的研

究。
地址: 天津科技大学泰达校区 169 信箱, 300457

E-mail: smzh@tust.edu.cn