

· 光电系统与 设计 ·

数据平滑技术在自动机运动规律测试中的应用

丁江霞, 赵冬娥, 章晓眉

(中北大学电子测试技术重点实验室, 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 基于自动机运动规律测试参数测试条件, 试验得出的数据存在高频随机噪声, 需要进行剔除. 论述了对大量数据应用滑动平均平滑法、局部加权散点修正平滑法及鲁棒的局部加权散点修正平滑法处理的原理, 选取不同的平滑点数进行仿真, 同时与实测数据直接微分比较, 将三者与更高精度的仪器所得的数据特征点值进行对比, 得出较为合理的平滑消噪的方法.

关键词: 自动机; 滑动平均; 局部加权散点修正

中图分类号: TP29

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 1255(2010)06 - 0014 - 04

Technology of Smoothing Data Applied to the Measurement of Automation Motion Law

DING Jiang-xia, ZHAO Dong-e, ZHANG Xiao-mei

(Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement (North University of China), Ministry of Education, Taiyuan 030051, China)

Abstract: On account of the test condition of measuring the automation motion law, the data of test included some high frequency noisy need to be eliminated. The principle of the methods of smoothing data, such as moving average smoothing, locally weighted scatter plot smoothing and locally weighted robust scatter plot smoothing were discussed. And the data was simulated using the methods with different points. At the same time, the simulated data were compared with the result of differentiation directly, contrasted to the velocity curve of the firearms' automation which calculating by the testing system with higher precision. Finally the reasonable smoothing method is concluded from the result of comparison.

Key words: automation; moving average smoothing; locally weighted scatter plot smoothing

通过测试自动机的运动曲线来了解自动机的工作特性, 判断自动机的运动是否平稳, 能量的分配是否恰当, 各机构之间的撞击所引起的速度变化是否合理, 自动机有无故障等^[1]. 自动机运动规律主要是自动机的运动位移、速度分别与时间的变化关系. 然而在自动机运动曲线测试时, 由于现场的测试环境恶劣和强烈的冲击, 会叠加很多高频的随机干扰信号, 这些干扰信号表现在运动曲线是一些“高频的毛刺”^[2], 在进行处理时, 需要有选择地滤除.

利用高速相机方法^[3-4]采集到的自动机运动的光斑图像, 运动的位移曲线的获得是由图像数据经提取光斑重心所得, 所得数据进行平滑后进行微分得到速度曲线, 在将位移曲线微分转换成速度曲线时, 高频的随机干扰信号, 就会造成很多的误差, 这是测试时非常不希望看到的. 因此在这个数据进行微分前, 需要将所得的位移数据进行平滑处理. 文中通过分析滑动平均法, 不同点数的局部加权散点修正平滑法及鲁棒的局部加权散点修正平滑法, 与

收稿日期: 2010 - 12 - 06

基金项目: 山西省科技基础条件平台建设项目(2010091013)

作者简介: 丁江霞(1985 -), 女, 山东东营人, 硕士, 研究方向为光电检测技术; 赵冬娥, 女, 教授, 硕士生导师, 研究方向为光电检测技术、光学工程、通信工程.

直接对数据微分法分别对同一组试验数据进行仿真分析,结果与测试精度更高的测试仪器数据结果的特征点对比,得出较为合理的平滑方法.

1 数据平滑方法

1.1 滑动平均法^[5]

动态测试数据 $y(t)$ 由确定性信号 $f(t)$ 和随机性信号 $x(t)$ 组成,且前者是所需的测量结果或有效信号,后者即是随机起伏的测试误差及噪声,即 $x(t) = e(t)$,经离散化采样后可相应的将测试数据写成

$$y_j = f_j + e_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

为更精确地表示测量结果,抑制随机误差的影响,常对动态测试数据做平滑和滤波处理.具体地说,就是对非平稳数据 $\{y_k\}$,视之在 m 个相邻数据的小区间上是为接近平稳的,即其均值接近常量,于是可取每 m 个相邻数据的平均值作为该 m 个数据中任一取值.这样沿 N 个数据逐一小区间(这里指 m 个数据)上进行不断的局部平均,即可得出较为平滑的测量结果 $\{f_k\}$,而滤掉频繁起伏的随机误差.计算的一般表达式为

$$f_k = y_k = \frac{1}{2n+1} \sum_{k=-n}^n y_{k+1} \quad (2)$$

$$k = n+1, n+2, \dots, N-n$$

式中, $2n+1 = m$,显然,这样得到的 $\{f_k = y_k\}$,其随机起伏因平均作用而比原来数据 $\{y_k\}$ 减少了,即更加平滑了.

1.2 局部加权散点修正平滑法及鲁棒的局部加权散点修正平滑法

局部加权散点修正法(简称 LOWESS)是加权回归中最精巧的形式,它的平滑值是由被划定范围内的相邻的数据点的值来确定的.回归的加权系数也是由划定范围内的点来确定的.实现方法如下:

设需要被平滑的数据由坐标轴 x, y 确定,为得到 (x, y) 的平滑值,取划定与 x 相邻的数据范围来进行加权线性回归.回归系数由式(1)~式(3)确定

$$w_i = \left(1 - \left|\frac{x - x_i}{dx}\right|^3\right)^3 \quad (3)$$

其中, x 指需要被平滑的数据点的 x 坐标; x_i 是指在划定范围内需要被加权的数据的 x 坐标; dx 是指在划定范围内坐标轴 x 到最远 x_i 之间的距离即

$\max(x - x_i)$.局部加权散点修正是对各线性方程等号两边同时乘以系数 $\sqrt{w_i}$,使得在划定范围内的该数据点在进行线性回归时对误差平方和的影响为原来的 w_i 倍,从而使得回归方程在确定平滑点时有更好的效果.依次类推,对每个数据点进行相同的操作,可得出平滑后的数据.

鲁棒的局部散点修正法是在局部散点修正法的基础上,根据平滑后的数据与原始数据差确定的加权系数进行线性回归得出平滑后的数据.这种方法的效果会更好.因此在进行方法比对时,采用鲁棒的局部散点修正平滑法.

2 测试直接对位移曲线进行微分处理

设自动机位移信号为 S_r ,叠加的高频随机干扰信号为 S_n ,则用式(4)数值微分处理得到速度为

$$v(t) = \frac{(\Delta S_r + \Delta S_n)}{\Delta t} = \frac{\Delta S_r}{\Delta t} + \frac{\Delta S_n}{\Delta t} \quad (4)$$

式(4)中因微分步长 Δt 很小, S_r 是连续变化的, ΔS_r 也很小.但因 S_n 频率高得多,纵然微分步长 Δt 很小, ΔS_n 并不一定减小,故 $\Delta S_n / \Delta t$ 可能很大,因而会产生很大的误差,经常表现为大的高频“毛刺”; Δt 越小,这种现象可能越严重.直接微分后的速度曲线如图1所示.

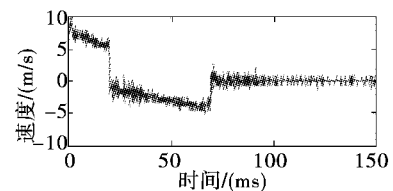


图1 位移数据直接微分后的速度曲线

3 对试验数据的平滑处理结果及比对

对自动机运动参数测试而言,实际中没有一条标准的没有外界噪声干扰的自动机运动参数曲线,这是数据进行处理的一个难点.在对数据处理效果评估时,选用精度更高的测试系统的测试数据作为参考对象,在相同的试验条件下,用2套系统同时进行自动机运动参数测试,将试验中得到的数据经不同平滑方法进行平滑,微分后的结果,与另一套系统结果进行比对,得出较为合理的平滑方法.图2为高精度测试系统所测试的自动机运动的速度曲线,提取速度曲线中6个特殊点.分别为A、B、C、D、E、F.

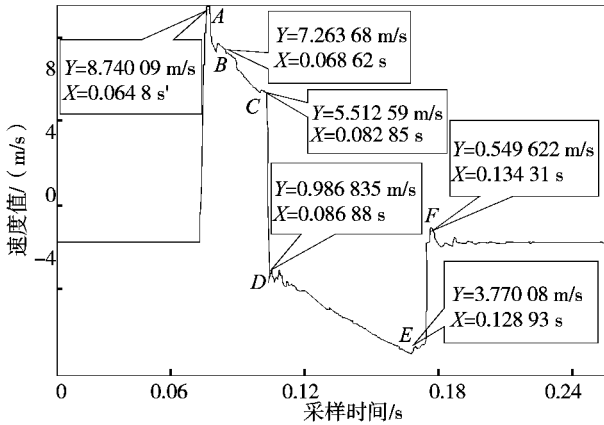


图2 高精度测试系统所测速度曲线
在图2中,取6个特征点, x 代表时间(s), y 代表

速度值(m/s). 各点的坐标为: A(0.0648, 8.74009)、B(0.06862, 7.26368)、C(0.08285, 5.51259)、D(0.08688, 0.986835)、E(0.12893, 3.77008)、F(0.13431, 0.549622).

用本系统在相同条件下,进行数据采集并处理. 对所得的数据点进行以下方式的处理.

由图1可知,直接对位移进行微分时,6个特征点被淹没在噪声中. 所得的速度曲线失真很严重.

对试验数据进行滑动平均法进行处理, m 值取5、9、11、13时,微分后的曲线如图3所示,参考曲线上6个特征点,在速度曲线上的对应值为 A' 、 B' 、 C' 、 D' 、 E' 、 F' . 速度在特征点的幅值与参考曲线中的对应点的相对误差如表1所示.

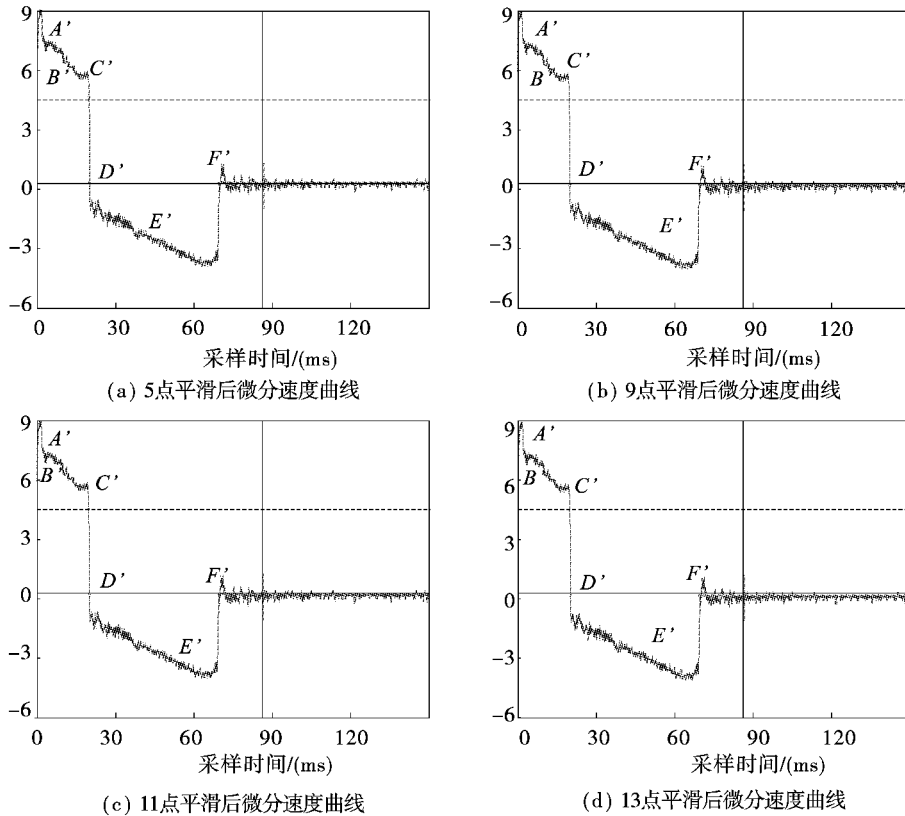


图3 采用滑动平均平滑法对数据平滑并进行微分后所得速度曲线

表1 滑动平均平滑后曲线中各点与参考曲线中特征点的相对误差(%)

| m | A | B | C | D | E | F |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 2.857 484 | 4.364 647 | 0.344 628 | 30.357 93 | 5.777 327 | 6.378 072 |
| 9 | 0.240 854 | 2.593 622 | 6.656 16 | 1.389 496 | 0.469 508 | 30.030 45 |
| 11 | 2.322 265 | 3.398 629 | 10.899 06 | 12.581 85 | 2.365 155 | 6.388 553 |
| 13 | 2.064 95 | 3.274 786 | 18.324 14 | 4.738 435 | 2.365 155 | 9.978 919 |

由表1中的相对误差可以看出, m 值越大,局部平均的数据就越多,尽管平滑作用大,但是这样不

仅将频繁的起伏滤除了,同时也将有效的高频信号给削减了,所以并不是 m 取值越大越好.

采用鲁棒的局部散点修正平滑法.对采集的试验数据来说,对应的 x 坐标值为采集的时间点, y 坐标的值为位移值.通过划定不同的平滑范围(这里指不同的平滑点数)来对数据进行处理.选取不同的

平滑点数进行平滑处理,如图 4 所示,图 4 中分别为 5、9、11、13 点平滑处理后,进行微分所得的速度曲线.相应的处理曲线的特征点与参考曲线上的特征点的相对误差如表 2 所示, m 代表划定的不同数据点数.

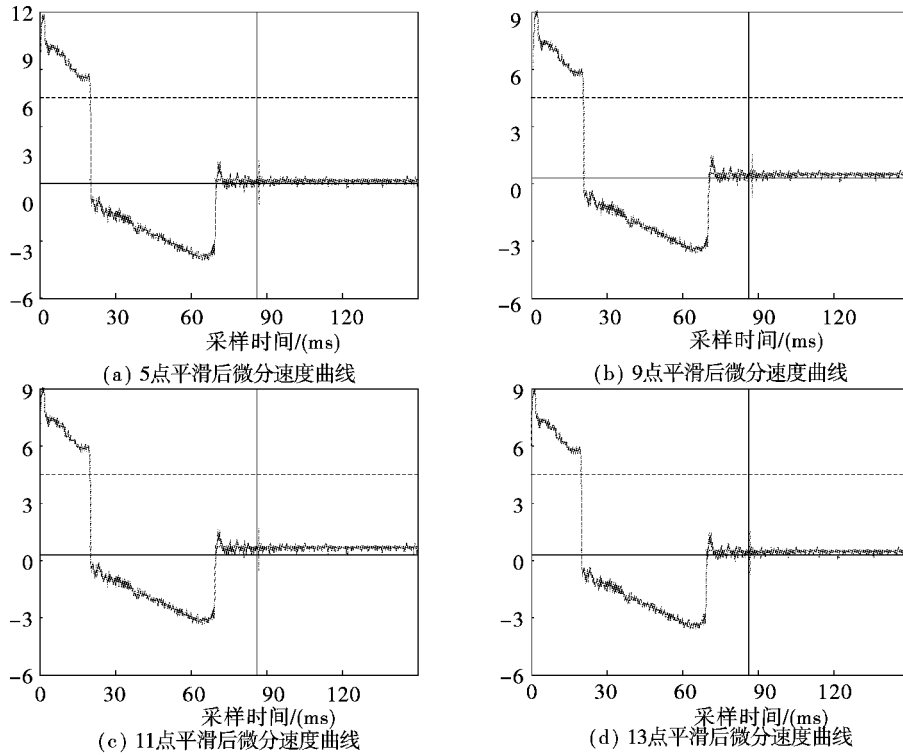


图 4 采用 5、9、11、13 点平滑处理后,微分的速度曲线

表 2 鲁棒的局部散点修正法处理曲线与参考曲线的特征点之间的相对误差(%)

| m | A | B | C | D | E | F |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 2.196 673 | 2.593 622 | 6.65 616 | 2.231 556 | 2.365 155 | 21.829 07 |
| 9 | 1.882 422 | 2.593 622 | 3.387 235 | 13.013 24 | 4.831 584 | 5.198 931 |
| 11 | 1.515 283 | 2.593 622 | 1.589 15 | 12.552 55 | 2.320 445 | 0.111 269 |
| 13 | 1.223 423 | 2.725 388 | 3.882 264 | 12.256 67 | 2.365 155 | 3.501 03 |

在上述 2 种平滑方法中,滑动平均的 9 点平滑法和 11 点鲁棒的局部加权散点修正平滑法较为理想.单就这两种方法比较:就相对误差而言,虽然前者在 F 点运动平滑法的误差较大,但其他点的误差较后者都较小;就速度最大值而言,滑动平均平滑法与参考曲线的最大值相对误差最小;就运算时间而言,滑动平均的 9 点平滑法比 11 点平滑消耗的时间短,综上所述,数据处理过程中采用 9 点运动平滑方法对数据点进行平滑得到位移曲线,进而进行微分得到自动机运动的速度曲线.

4 总 结

文中通过分析自动机运动规律参数测试系统中数据获得方式,阐述了几种数据平滑方法,并对试验数据进行仿真分析,得出在进行大批量数据处理时,要求保证实时性的前提下能更准确有效地反映运动曲线时,可以采取的数据平滑的方法,为进一步对自动机的运动曲线进行降噪处理提供了参考.

(下转第 52 页)

能可靠度为 $P = k/n$ 。

随机抽样按如下方法产生:由确定的抽样次数产生伪随机数,由伪随机数产生均匀分布伪随机数,由该均匀分布伪随机数产生网络元件参数分布的伪随机数,再由此产生电路元器件值的随机抽样值序列,计算电路性能参数.在进行电路抽样分析时,抽样次数应该满足统计分析的精度要求.蒙特卡罗分析法的流程如图 2 所示。

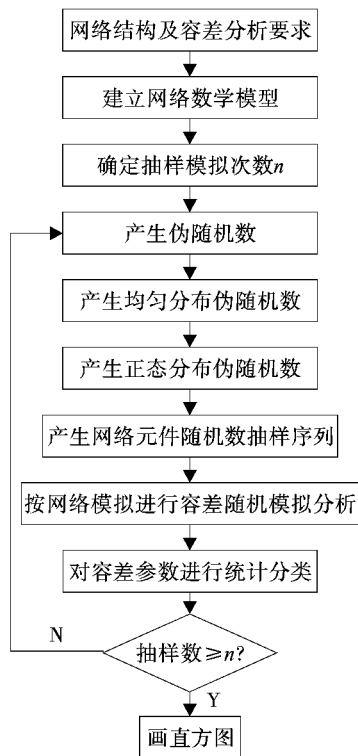


图 2 蒙特卡罗分析流程图

抽样次数 n 用下式求得

$$n = \frac{1-P}{P} \left[\Phi^{-1}(x) \left(\frac{1+\gamma}{2} \right) / \epsilon \right]^2 \quad (3)$$

式中, P 是性能可靠度; $\Phi^{-1}(x)$ 是正态分布函数, $\Phi(x)$ 的反函数; γ 是置信水平; ϵ 是 P 达到的相对精度。

由式(3)可得出,抽样次数 n 跟电路的性能可靠度及其置信度以及仿真所得出的性能可靠度与实际性能可靠度的误差有关.对于固定的性能可靠度,

n 越大,其仿真精度和可信度越高.一般要求是手工计算时 n 不小于 120,计算机仿真时 n 不小于 334。

蒙特卡罗分析法适用于可靠性较高的电路,由于该算法计算量大一般采用计算机仿真方式。

3.4 辅助分析工具

近年来,随着以 CAD(computer aided design)为基础的 EDA(electronic design automatic)技术的发展,出现了许多以 EDA 技术为内核的电子系统仿真软件.在这些仿真软件基础上进行电路容差分析,大大减轻了建立电路模型的工作量和避免了对复杂运算的处理,不但能实现以 EDA 技术为基础的通用电路容差分析技术和方法,而且能够实现电路性能和可靠性的并行设计分析。

4 结束语

元器件参数漂移在电子设备中普遍存在,电子设备在一定的环境条件下由于部分或众多元器件参数发生漂移,由此累积的参数偏差将对电路性能产生影响,并最终导致产品性能超差或出现故障.在设备研制过程中开展电路容差分析,能发现并解决设备电路设计中存在的容差容限偏小、设计参数不合理或元器件质量不满足要求等问题,可以有效提高设备质量.电路容差分析作为设备可靠性设计措施和可靠性分析方法之一,在设备研制过程中的有效运用可以较好地解决设备设计容差配合不合理导致的质量问题,对提高设备设计质量有很大的帮助,因此该项分析技术具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 罗廷孝,郑鹏洲.可靠性设计与分析[M].北京:国防工业出版社,1997.
- [2] 曾声奎.系统可靠性设计分析教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 黄进咏,莫郁薇.装备质量与可靠性问题的应对措施[J].电子产品可靠性与环境试验,2008(5):26-155.
- [3] 王斌.自动机运动规律测试技术研究[D].太原:中北大学,2009.
- [4] 黄成亮,郑宾,黄公亮. MATLAB 与 Labwindows/CVI 接口技术在自动机测试中的应用[J].自动化与仪器仪表,2010(5):58-59.
- [5] 裴益轩,郭民.滑动平均法的基本原理及应用[J].火炮发射与控制学报,2001,(1):21-23.

(上接第 17 页)

参考文献

- [1] 刘吉,周汉昌.自动机运动规律测试系统研制[J].光学与光电技术,2007,5(5).
- [2] 林渊,肖锋,郑宾,等.小波变换阈值降噪方法及在武器自动机数据处理中的应用[J].电子测量技术,2009,32(1):128-130.