

梯度均值预测滤波算法及其应用

盛明兰¹ 蓝章礼¹ 周建庭²

(重庆交通大学信息科学与工程学院¹ 土木工程学院² 重庆 400074)

摘要 测量误差不可避免的存在于各种测量系统之中。针对缓慢变化的测量数据中存在的随机误差,结合传统滤波方法的优点,提出了梯度均值预测滤波算法,阐述了算法的基本思想和流程,并结合桥梁挠度连续测量系统的测量数据进行了滤波实验,结果表明,该算法能够有效去除缓慢变化的测量数据中的干扰信号,滤波效果明显。

关键词 测量误差,滤波,梯度均值预测,算法

中图分类号 TP202+.2 **文献标识码** A

Gradient Mean Prediction Filtering Algorithm and its Application

SHENG Ming-lan¹ LAN Zhang-li¹ ZHOU Jian-ting²

(School of Information Science and Engineering¹, School of Civil Engineering², Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract The existence of measurement error is inevitable in a variety of measurement systems. Combining with the advantages of the traditional filter methods, the gradient mean prediction filtering algorithm was proposed in view of the random errors existence in slowly changing measurement data. The basic idea of the algorithm and flow were described. A filtering experiment was done using the measurement data of bridge continuous deflection measurement system. The result indicated that the algorithm can effectively remove the interference signal in slowly changing data, and the filter effect is obvious.

Keywords Measurement error, Gradient mean prediction, Filtering, Algorithm

1 引言

测量值的误差通常可分为粗差、系统误差和随机误差^[1]。由于智能化的测量仪器对观测不当的避免措施以及仪器稳定性的提高,粗差能够得到较好的克服;系统误差规律性强,易于纠正和克服。而随机误差作为一个单独的误差出现,没有规律性,误差数值的大小和符号的正负不固定,因此是现代自动测量中最需要克服的误差。

卡尔曼滤波是当前应用最广的一种动态数据处理方法,具有最小无偏方差性。它通过建立状态方程和量测方程来描述系统的动态过程,依据滤波增益矩阵的变化,从测量数据中定量识别和提取有效信息,修正状态参量^[2]。但应用该方法需要掌握状态向量系数阵、控制向量系数阵、动态噪声向量系数阵等相关系数矩阵,这些矩阵的获取往往并不容易,而且不便于处理单测试点流水式数据。

文献[3,4]从现代误差理论出发,提出用未确知有理数理论来滤除数据采样中的不真实数据,构造采样数据的可信度分布密度函数,然后在数据滤波时根据数据的可信程度,用未确知期望表示采集量的真实值。在这种方法中,需要人为设定的值只有可信度距离 d 。该方法能较好地对比稳定的测量数据中的异常情况进行探测,判断测量数据不可信。但该方法

对变化中的测量数据未作研究,对变化数据的可信度距离上表达不方便。

经典的滤波算法还有算术平均值滤波、加权平均值滤波、滑动平均值滤波、中值滤波、限幅滤波以及中位值平均滤波等,这些算法对于一维的测量数据进行分析和滤波往往既简单又有效。

本文在常用滤波算法的基础上,针对连续变化的测量数据,如桥梁连续挠度线形、路面的连续沉降等的测量数据,根据这些数据连续变化的规律,提出了梯度均值预测滤波法,采用可信区间判断测量数据是否为随机干扰信号,并用预测的期望值对干扰数据进行更正。通过具体数据的验证性实验表明,该算法能够有效去除干扰,平滑测试曲线。

2 滤波法算法的设计思想与流程

在桥梁挠度、路面坡度等的测量中,由于沿桥面、路面纵向高度是缓慢上升或者缓慢下降的,且短距离内变化趋势一致性较好,因此沿桥梁、路面纵向各点的挠度和沉降数据间的梯度变化一致性较好,梯度和坡度在短距离内基本不会发生变化,如果知道了一个挠度或坡度数值序列的梯度均值,可以预测到下一个点的挠度和坡度变化范围,只要下一个点的挠度和坡度的变化(梯度)接近于该序列的梯度值,那么就可以

到稿日期:2008-12-02 返修日期:2009-02-30 本文受国家自然科学基金(50878219),重庆市科技攻关项目(CSTC,2008AC6099),重庆市杰出青年基金(CSTC,2008BA6038),重庆市教委科技基金和重庆交通大学青年骨干教师基金资助。

盛明兰(1962-),女,副教授,CCF会员,主要研究方向为数据库应用等,E-mail:shengxia@cqtc.edu.cn;蓝章礼(1973-),男,副教授,主要研究方向为桥梁健康监测、图像处理等;周建庭(1972-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为桥梁健康监测及加固等。

说明该测量值基本正确,或者说在误差范围内,可能不是干扰数据,否则即可能是干扰数据,存在随机误差,应以预测值代替。

由于该算法采用了以上思想,因而叫做梯度均值预测滤波算法。

2.1 算法的基本流程

以预测序列长度 $N=6$ 为例,阐述算法的具体过程如下:

1)对输入的一组数列 $a[i]$ 的前 $N(N=6)$ 个数据 $a[0], a[1], a[2], a[3], a[4], a[5]$ 两两依次进行求差值,即:

$$d_i = a[i] - a[i-1] \quad (1)$$

得到 5 个差值分别记为 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 。

2)对 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 进行排序,去掉最大值和最小值,将剩余的 3 个差值求算术平均值,并将其平均值记为 Δ_k 。

$$\Delta_k = \frac{\sum_{i=1}^k d_i - (\min d_i + \max d_i)}{k-2} \quad (2)$$

此处 $k=5$ 。

3)根据经验值以及实验的调试,设定两个实参数值 α_1 和 $\alpha_2, 0 < \alpha_1 < \alpha_2$, 并设可信区间为 $[\alpha_1 \Delta_k, \alpha_2 \Delta_k]$ 。

4)取下一个数据 $a[6]$, 并得到 $d_6 = a[6] - a[5]$, 如果 d_6 与 Δ_k 同为正,且 $d_6 \in [\alpha_1 \Delta_k, \alpha_2 \Delta_k]$, 则对数据不做任何处理。否则,判断 $a[6]$ 为一个干扰噪声数据,将其更换为: $\tilde{a}[6] = a[5] + \Delta_k$ 。

5)如果 d_6 与 Δ_k 同为负,且 $d_6 \in [\alpha_2 \Delta_k, \alpha_1 \Delta_k]$, 则对数据不做任何处理。否则,判断 $a[6]$ 为一个干扰噪声数据,将其更换为: $\tilde{a}[6] = a[5] + \Delta_k$ 。

6)如果 d_6 与 Δ_k 异号,则需要判断该点是否为拐点,那么取下几个点进行判断。如果是拐点,则从当前点开始另一序列的滤波,否则,当前点为干扰信号,更换为: $\tilde{a}[6] = a[5] + \Delta_k$ 。

7)数列前移,重复上述过程,直到处理完所有的数据。

根据上述流程和思想,可得该算法的流程图如图 1 所示。

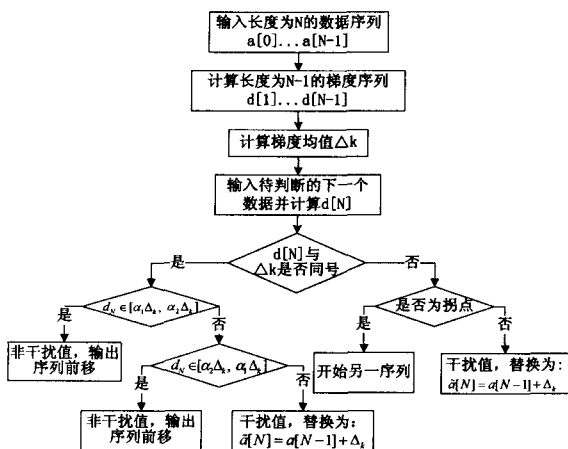


图 1 算法流程

2.2 可信区间的设定

算法中涉及到一个可信区间的概念,即在判断输入数据是否为干扰信号时,需要将其放入一个可信的区间范围进行判断,该区间需要设定两个参数 α_1 和 α_2 。根据此算法的思想,以桥梁挠度线形测量为基础进行了一定的实验,经过分析桥梁挠度变化缓慢的特点和实验验证,当 α_1 和 α_2 的值分别为 $\alpha_1=0.9$ 和 $\alpha_2=1.1$ 时,滤波的效果比较合理。

对于缓慢变化的数据,如桥梁挠度线形数据、路面坡度变化数据等,可将 α_1 和 α_2 的值设定在比较接近于“1”的值附近,这种情况下滤波的结果是数据曲线平滑。越接近于“1”,滤除干扰信号的能力越强,但可能会将少量正常数据更改,因此对于特定的应用,可能需要一定的实验进行估计。

3 算法在桥梁挠度线形测量系统数据滤波中的应用

3.1 桥梁挠度线形测量系统的测量流程及工作原理

桥梁挠度是衡量桥梁健康状况的重要数据,目前已有一系列测量系统^[5-10],这些系统都能较好地测量桥梁挠度的缓慢变化。桥梁挠度线形测量系统是以倾角传感器和位移传感器为主要器件的桥梁挠度线形测量仪器。在测量装置从桥梁的一端运动到另一端的过程中,倾角传感器根据位移的大小以较高的频率测量桥梁上各点的倾角值,不同大小的倾角对应不同高低的输出电压,将这些电压值放大之后通过 A/D 转换器将其转换为数字信号,单片机提取测量信号后将其传送给计算机,计算机通过与单片机之间所协商的通信协议,提取出由单片机发出的数据,将其转换为固定水平间隔的竖直位移数据。

根据测量原理及流程的描述,可得到硬件系统的工作流程图如图 2 所示。

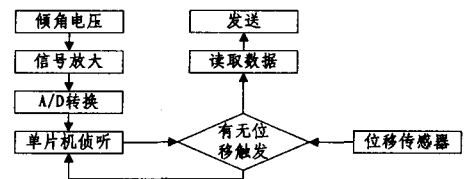


图 2 测量系统流程

根据系统的结构示意图与硬件系统的测量流程可知,系统读取的是固定位移间隔的倾角数据,计算机根据每小段位移在大小和倾角计算竖直挠度并记录,进而绘制桥梁连续挠度图。但在测量过程中,由于路面、桥面的不平整,必然存在一些干扰信号,为此需要进行数据滤波处理。

因为沿桥面纵向,故其竖直高度基本处于同一水平面缓慢上升或者缓慢下降。而现代桥梁柔性更为明显,因此沿桥梁纵向一般是缓慢上升或缓慢下降的,那么,沿桥梁纵向各点的挠度数据间的梯度变化一致性较好,梯度在短距离内基本不会发生变化,所以可用本文所述的数据滤波算法进行处理。

3.2 使用常用滤波算法滤波

首先应用常见的算术平均值滤波、加权平均值滤波、滑动平均值滤波、中值滤波、限幅滤波以及中位值平均滤波对桥梁挠度线形测量系统测得的数据进行滤波。图 3 显示了各种滤波算法对挠度数据的处理效果。

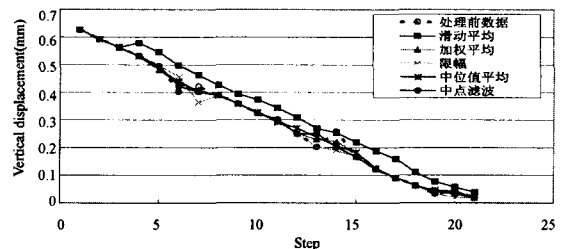


图 3 滤波算法比较

从各种算法的实验结果可以看出,以上的各种滤波算法,除限幅滤波外,其它的基本思想都是试图以一个“更为合理”的值去代替实测值,而不去判断这些值是否本身就是合理的。其中,限幅滤波、中位值滤波与算术平均值滤波效果较好,但对于桥梁挠度数据的处理仍不能很好的满足要求。

3.3 本文算法实验及分析

为验证本文算法对于处理挠度数据的性能,输入同一组测量数据,得到原始数据图像与经本文滤波算法滤波后的图像如图4所示。

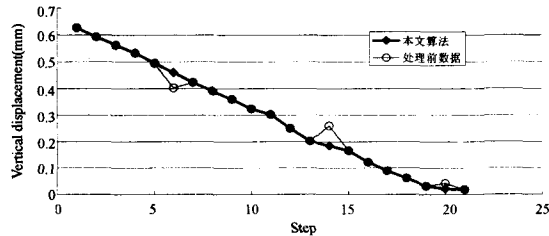


图4 限幅均值预测滤波算法效果

从图形中可以看出,本文算法在对数据进行处理时,对原始数据中比较合理的数据能够进行保留,对干扰噪声能够进行较好的判断,并用一个较为恰当的预测数据进行替换和填充,很好地去除了其中的噪声干扰,滤波效果明显。

结束语 本文设计的梯度均值预测滤波算法综合了限幅滤波、中位值滤波与算术平均值滤波的优点,复杂度低,对于缓慢变化的测量信号滤波效果明显,既能很好地保留正确的原始测量数据,又能对干扰信号进行有效滤除,在桥梁挠度线形测量系统的应用实验中得到了比较满意的效果。

参考文献

[1] 沙定国.实用误差理论与数据处理[M].北京:北京理工大学出

版社,1993

- [2] 华媛媛,胡润生,刘海清.卡尔曼滤波法用于变形监测数据处理[J].技术与创新管理,2008,29(6):658-670
- [3] 赵虎.数据采集中的未确知有理数滤波方法[J].自动化仪表,2008,8(29):12-14
- [4] 赵志峰,杨帆.未确知滤波法在监测数据误差处理中的应用[J].路基工程,2008,4(139):54-55
- [5] Li Z X, Chan T H T, Ko J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data — Part I: methodology and strategy[J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23: 45-53
- [6] Robertson I N. Prediction of vertical deflections for a long-span prestressed concrete bridge structure [J]. Engineering Structures, 2005, 27(12): 1820-1827
- [7] Li H-N, Li D-S, Song G-B. Recent applications of fiber optic sensors to health monitoring in civil engineering [J]. Engineering Structures, 2004, 26: 1647-1657
- [8] Lan Zhangli, Yang Xiaofan, Chen Weimin, et al. Study on non-contact weighted-stretched-wire system for measuring bridge deflections and its effect factors [J]. Engineering Structures, 2008, 30: 2413-2419
- [9] Chan T H T, Li Z X, Ko J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data — Part II: application [J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23: 55-64
- [10] Shen Bichun, Zheng Jian-hohg, Shen Min. Maximum likelihood channel estimation based on nonlinear filter [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 2008, 20(4): 410-412

(上接第299页)

索实时性下降。即使检索准确率有了明显提高,实用性也不强,尤其是在互联网上。如表1所列,本文算法对模型的平均处理时间有所减少(CPU: PD 3.0GHz,内存:1024M,处理时间包括打开文件读取模型的时间)。

表1 不同算法的处理时间

| 检索方法 | 平均处理时间 | 平均检索时间 |
|---------|--------|--------|
| Ours | 1.53s | 0.042s |
| Osada | 5.39s | 0.057s |
| Ohbuchi | 2.48s | 0.11s |

表1中平均处理时间是对100个模型进行批处理提取所有模型特征平均所花费的时间,在检索系统中可以预先处理。由实验结果看出,本文所用的方法检索性能有所提高。主要是因为计算模型重心与模型表面任意两个特征点所构成的三角形的面积,计算量相比D3算法减少很多,同时并没有降低对模型的内容描述,提高了检索的准确性。

结束语 本文介绍了一种对D3形状分布算法的改进算法。相对于D3算法,本算法具有计算量较小、处理时间短、检索准确的特点。

基于内容的三维模型检索技术是近年来随着三维模型获取技术的增强以及互联网的发展而兴起的计算机图形学领域内的一个重要研究课题。现在对这一领域的研究还处于初级

阶段,还有许多问题需要进一步探讨和研究。

参考文献

- [1] 杨育彬,林晖,朱庆.基于内容的三维模型检索综述[J].计算机学报,2004,10(27):1297-1310
- [2] Osada R, Funchouser T, Chazelle B, et al. Shape Distribution [J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(4): 807-832
- [3] Ohbuchi R, Minamitani T, Takei T. Shape-similarity search of 3D Models by using enhanced shape functions [J]. International Journal of Computer Applications-in-Technology (IJCAT), 2005, 23(2/3/4): 70-85
- [4] Monteverde I C, Ruizjr C R, Huang Zhiyong. A Shape Distribution for Comparing 3D Models [C]//MMM LNCS 4351. 2007, Part 1: 54-63
- [5] Shilane P, Min P, Kazhdan M, et al. The Princeton Shape Benchmark. Shape Modeling International. Genova, Italy, June 2004
- [6] Josuttis N M. C++标准程序库[M].侯捷,孟岩,译.武汉:华中科技大学出版社,2002:397-398
- [7] Vranic D V, Saupe D, Richer J. Tools for 3D-object retrieval; Karhunen-Loeve transform and spherical harmonics [C]//Proceedings of the IEEE 2001 Workshop Multimedia Signal Processing. Canners, France, 2001: 293-298