

一种干涉仪数据斑点型野值修正方法^{*}

王佳,王敏,徐晓辉

(宇航动力学国家重点实验室,西安 710043)

摘要:为满足干涉仪数据预处理的精度要求,提出了斑点型野值修正方法。深入分析了干涉仪数据特性,在其二阶差分平稳特性基础上提出了恒加速度运动规律修正方法,提高了数据处理精度,缩短了质量分析的时间。最后,通过仿真验证表明了该方法的有效性。

关键词:靶场试验;干涉仪;孤立型野值;斑点型野值;弹道测量

中图分类号:TJ06 文献标志码:A

A Method for Interferometer Patch-type Outliers Correction

WANG Jia, WANG Min, XU Xiaohui

(State Key Laboratory of Astronautic Dynamics, Xi'an 710043, China)

Abstract: A method for correcting interferometer patch-type outliers was proposed to meet precision requirement in interferometer data pre-processing. The characteristic of interferometer data was analyzed and kinematic law of invariable acceleration correction method was advanced on the basis of windless characteristics in interferometer data second rank difference. The method advances processing precision and shortens analysis time. Finally, the validity of method was shown by simulative results.

Keywords: range test; interferometer; isolated outliers; patch-type outliers; trajectory measurement

0 引言

运载火箭外弹道测量中,测量设备记录的测量数据往往包含有较大的随机误差,在某些采样时刻违反了数据的整体变化规律,就称为野值^[1-3],主要包括孤立型野值和斑点型野值。如何有效辨识和剔除动态测量数据中的野值即成为工程应用中急需解决的问题之一。目前,针对孤立型野值,广泛采用的剔野方法主要有最小二乘估计、时间多项式外推法以及差分检测法等^[4],剔除效果明显;针对斑点型野值,剔除方法主要有 Kalman 滤波法、多传感器融合法、稳健滤波 M 估计法以及最小二乘 B 样条逼近法等,适用于不同条件下的野值剔除。

干涉仪系统作为导弹试验靶场实现高精度外弹道测量的主要设备,其误差分析与诊断处理技术是高精度弹道/轨道确定的前提。文中主要面向航天测控工程实际需要,以干涉仪系统跟踪测量数据的典型的数据质量问题为研究对象,进行探索性研究,提出了干涉仪数据的斑点型野值修正新方法。由于在工程实践中,对于野值点的准确起始点和结束点的求解还

有大量工作要做^[5],对于观测设备因长时间丢失目标或其它原因造成的长弧段散乱数据的修正问题,还需要进一步的探讨和进行方法研究。文中通过分析干涉仪数据差分特性^[6],针对大片长弧段的斑点型野值,根据恒加速度运动规律,提出了一种新的斑点型野值修正方法。

1 干涉仪数据特性分析

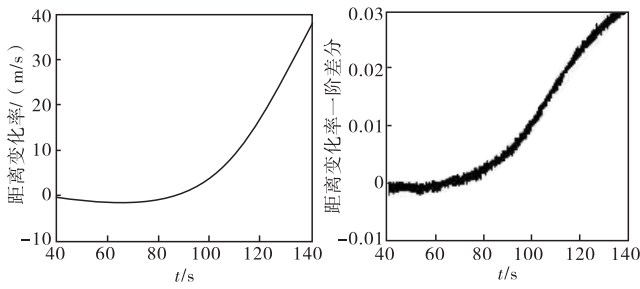
干涉仪作为导弹试验靶场实现高精度外弹道测量的主要设备,跟踪精度高,数据量大,处理过程复杂。在数据测量中,有时丢失的数据比较多,坏点连续 60 多个,用一般的野值修正、合理性检验等方法根本修正不了,而且很容易使数据偏离,为此,对该数据的特性、一阶差分、二阶差分、丢失数据前后的变化趋势及其相关性等进行了详细分析与研究。

如图 1 所示,干涉仪测量数据的变化比较规律,其一阶差分具有一定趋势,其变化异常处可以反映野值点,而二阶差分变化趋势比较平稳,可近似看作恒加速度运动,以恒加速度运动规律可以近似模拟正常运动。

* 收稿日期:2012-06-28

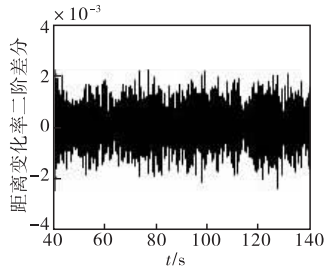
基金项目:国家自然科学基金(61074077)资助

作者简介:王佳(1981-),女,陕西高陵人,工程师,博士,研究方向:数据处理。



(a)原始测量数据

(b)原始测量数据一阶差分



(c)原始测量数据二阶差分

图1 干涉仪原始测量数据及其差分

2 斑点型野值修正方法

设干涉仪数据序列为 $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_n$, 其中 a_i, \dots, a_j 为异常数据, 根据干涉仪数据特性分析, 可以将这段测量数据的变化近似看作恒加速度运动, 或者参考前后加速度变化趋势来构建异常处加速度的变化趋势。在上节分析基础之上, 可以得出:

1) 数据本身的变化趋势在 a_i, \dots, a_j 前后未发生明显变化, 大致判断方式为: \bar{d} 介于 c_1 与 c_2 之间。其中 $c_1 = a_{i-1} - a_{i-2}; c_2 = a_{j+2} - a_{j+1}$ 。

2) 数据在 a_i, \dots, a_j 前后的二阶差分平稳, 不存在明显趋势。

设:

$$\bar{d} = \frac{a_{j+1} - a_{i-1}}{(j+1) - (i-1)} = \frac{a_{j+1} - a_{i-1}}{j-i+2} \quad (1)$$

则由恒加速度运动规律得:

① 若 $j-i = 2n$ (n 为自然数), 则:

$$\begin{cases} b_k = b_{k+1} - d_2 = b_{k+2} - d_2 - d_2 = b_{\frac{i+j}{2}} - \left(\frac{i+j}{2} - k\right)d_2 & k < \frac{i+j}{2} \\ b_k = b_{k-1} + d_2 = b_{k-2} + d_2 + d_2 = b_{\frac{i+j}{2}} + \left(k - \frac{i+j}{2}\right)d_2 & k \geq \frac{i+j}{2} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $b_{\frac{i+j}{2}} = \bar{d} + 0.5d_2$ 。

② 若 $j-i = 2n+1$ (n 为自然数), 则:

$$\begin{cases} b_k = b_{k+1} - d_2 = b_{k+2} - d_2 - d_2 = b_{\frac{i+j-1}{2}} - \left(\frac{i+j-1}{2} - k\right)d_2 & k < \frac{i+j-1}{2} \\ b_k = b_{k-1} + d_2 = b_{k-2} + d_2 + d_2 = b_{\frac{i+j-1}{2}} + \left(k - \frac{i+j-1}{2}\right)d_2 & k \geq \frac{i+j-1}{2} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $b_{\frac{i+j-1}{2}} = \bar{d}$ 。

综合 ①、②, 可以得到:

$$b_k = \bar{d} + \left(k - \frac{i+j-1}{2}\right)d_2 \quad (k = i, i+1, \dots, j) \quad (4)$$

其中, d_2 为恒定加速度, 即恒定的二阶差分预估值, 故

$$\begin{aligned} a_k &= a_{k-1} + b_{k-1} = a_{k-2} + b_{k-2} + b_{k-1} = \\ & a_{i-1} + b_{k-1} + \dots + b_{i-1} = a_{i-1} + \\ & \sum_{h=i-1}^{k-1} \left[\bar{d} + \left(h - \frac{i+j-1}{2}\right)d_2 \right] \end{aligned} \quad (5)$$

或者:

$$\begin{aligned} a_k &= a_{k+1} - b_k = a_{k+2} - b_{k+1} - b_k = \\ & a_{j+1} - b_j - \dots - b_k = a_{j+1} - \\ & \sum_{h=k}^j \left[\bar{d} + \left(h - \frac{i+j-1}{2}\right)d_2 \right] \end{aligned} \quad (6)$$

整理后得到斑点型野值修正公式为:

$$a_k = a_{i-1} + (k-i+1)\bar{d} - \frac{(k-i+1)(j-k+1)}{2}d_2 \quad (k = i, i+1, \dots, j) \quad (7)$$

$$a_k = a_{j+1} - (j-k+1)\bar{d} - \frac{(j-k+1)(k-i+1)}{2}d_2 \quad (k = i, i+1, \dots, j) \quad (8)$$

其中, 式(7)、式(8)分别为利用正常数据后推、前推得到的干涉仪数据斑点型野值修正公式。

3 数据验证与分析

3.1 算法设计

图2给出上述方法的程序设计流程图, 主要包括坏点查找和野值修正两部分, 对应野值的识别与处理。其中详细给出了坏点查找部分的程序流程, 野值修正部分第1节已给出详细步骤, 在此不再赘述。

3.2 算例分析

根据修正公式(7)、(8), 结合任务仿真数据, 进行了效果分析。如图3, 其中图3(a)为修正前测量数据, 图3(b)为该数据的一阶差分, 图3(c)为该数据的二阶差分。

从图3可以明显看出, 数据坏点前后的变化趋势平稳, 二阶差分平稳, 不存在明显趋势, 可以将这段测量数据的变化近似看作恒加速度运动, 以恒加速度运动规律近似模拟正常运动。

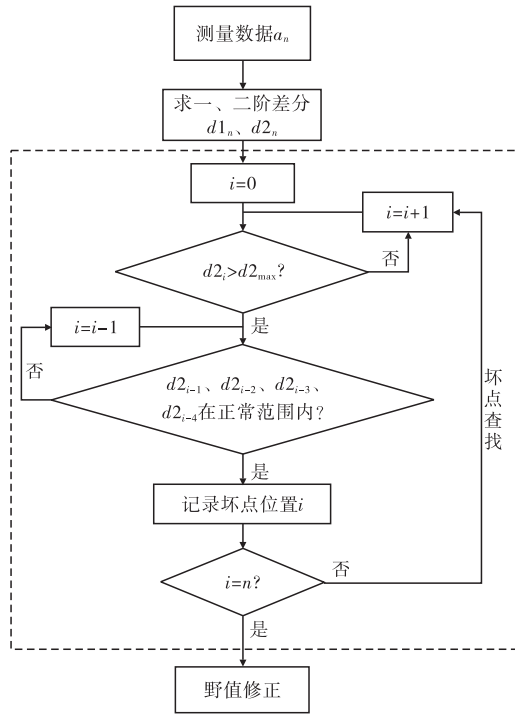
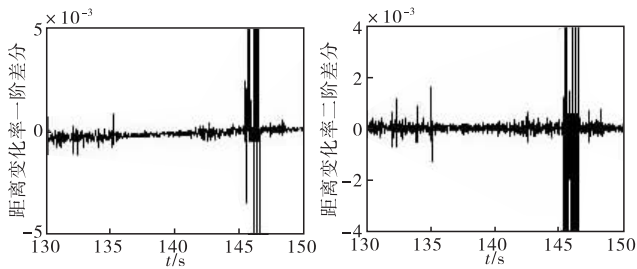


图 2 野值修正程序流程图

利用式(7)或式(8)对图 3(a)中的数据进行修正,

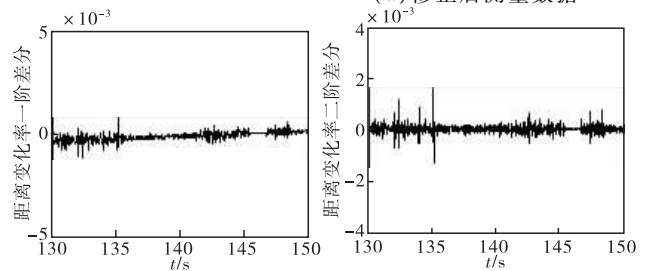
得到修正后干涉仪数据及其差分曲线图,见图 4。从图 4 可以明显看出,数据修正后,坏点全部修掉,没有遗漏,而且修正的数据接头平滑光滑,没有台阶,进一步验证了该方法的可行性。



(b)修正前测量数据一阶差分 (c)修正前测量数据二阶差分
图 3 修正前干涉仪数据及一、二阶差分图

4 结论

文中给出了一种针对干涉仪斑点型野值的数据处理方法,利用恒加速度运动规律构建数据趋势,进行野值识别和修正。经任务应用,方便快捷,有效可靠,且可以推广应用于其它设备测量数据的斑点型野值修正。不仅提高了数据分析的速度,而且提高了数据质量,进一步完善了外测数据质量分析方法,收到了很好的使用效果,具有良好的工程应用价值。



(a)修正后测量数据 (b)修正后测量数据一阶差分 (c)修正后测量数据二阶差分
图 4 修正后干涉仪数据及一、二阶差分图

参考文献:

- [1] 胡绍林,孙国基. 靶场外测数据野值的统计诊断技术 [J]. 宇航学报,1999,20(2):68-73.
- [2] 祝转民,秋宏兴,李济生,等. 动态测量数据野值的辨识与剔除 [J]. 系统工程与电子技术,2004,26(2):147-149.
- [3] 胡峰,孙国基. Kalman 滤波的抗野值修正 [J]. 自动化学报,1999,25(5):694-695.
- [4] 卓宁. 靶场外弹道数据处理中野值点剔除方法 [J]. 测试技术学报,2008,22(4):313-317.
- [5] 朱新岩,史忠科. 一种改进的野值在线预处理 3σ 方法 [J]. 弹箭与制导学报,2008,28(6):63-65.
- [6] 王敏,胡绍林,安振军. 跟踪测量数据系统误差残差的影响分析 [J]. 飞行力学,2004,22(1):74-78.