

# 导引头在线野值剔除与平滑方法研究

臧月进, 曾亮, 李仁俊

(上海机电工程研究所, 上海 201109)

**摘要:**针对导引头信号野值频发的问题,提出了一种基于可变阈值方差的信号野值识别和基于牛顿插值法的野值剔除与缺失数据补偿的方法。测试对比结果表明,该方法可以同时克服孤点野值和连续野值的不利影响,保证了数据处理后的导引头信号的完整性和平滑性,满足应用需求。

**关键词:**拦截器;导引头;在线;野值剔除;数据平滑与补偿

**本文引用格式:**臧月进,曾亮,李仁俊.导引头在线野值剔除与平滑方法研究[J].兵器装备工程学报,2017(9):108-111.

**Citation format:**ZANG Yuejin, ZENG Liang, LI Renjun. Studied on On-Line Outliers Elimination and Smoothing Method of Seeker[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2017(9):108-111.

**中图分类号:**TJ012.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-2304(2017)09-0108-04

## Studied on On-Line Outliers Elimination and Smoothing Method of Seeker

ZANG Yuejin, ZENG Liang, LI Renjun

(Shanghai Electronic-Mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of outliers of a seeker for KKV, a variance of seeker signals outlier identification based on variable threshold was proposed, and an outlier compensation algorithm based on Newton interpolation was adopted for outlier elimination and missing data compensation. The test result shows that the method can overcome the detrimental effect of isolated outliers and continuity outliers, ensure the signal of seeker is complete and smooth when data was preprocessed, and meets the requirement of engineering application.

**Key words:** kinetic kill vehicle; seeker; on-line; outliers elimination; smoothing and compensate

应用于大气层外拦截目标的拦截器采用捷联光学导引头,由于探测元件等级、硬件板卡稳定性不同和通讯传输衰减、杂波干扰等诸多因素的存在<sup>[1]</sup>,使测量数据存在大量的野值,这些异常信号的出现使得目标测量信号存在很大误差,如果不及时检测并剔除,会使得导引头对目标的跟踪带来很大的影响,导致目标丢失,引发拦截器脱靶。

由于导引头测量数据量大、输出频率快,采用高阶多项式拟合法进行剔除和补偿不具备在线实时的效能<sup>[2]</sup>。本文提出了一种基于可变阈值方差的导引头信号在线野值识别

和基于牛顿插值法的野值补偿方法,能克服野值的不利影响,并最大程度恢复导引头信号的本来面目。

### 1 牛顿插值法概述

牛顿插值法用一个高次的多项式将试验数据进行拟合。它有中心插值法、前推插值法和后推插值法。为避免后面野值的影响递传,只能采用前推插值法。前推插值法利用的数据是经处理过的,已剔除了野值,这些数据是可靠的。因此,

**收稿日期:**2017-05-11; **修回日期:**2017-05-30

**基金项目:**上海市自然科学基金项目(16ZR1415900)

**作者简介:**臧月进(1987—),男,硕士,工程师,主要从事导弹制导控制系统研究。

使用这些数据拟合后续点的数据,能保证后续点数据的准确性。

牛顿插值法的一般形式为<sup>[3]</sup>

$$f_n(x) = c_0 + c_1(x - x_0) + c_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + c_n(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1}) = \sum_{p=0}^n c_p \prod_{q=0}^{p-1} (x - x_q) \quad (1)$$

由  $y_i = f_n(x_i)$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ , 其中因变量  $x_i$  均匀变化, 可简记为  $x_i = i$ , 则系数为

$$c_p = \frac{\sum_{i=0}^p (-1)^{p-i} C_p^i y_i}{p!}, \quad p = 0, 1, \dots, n \quad (2)$$

从而

$$f_n(x) = \sum_{p=0}^n \frac{\sum_{r=0}^p (-1)^{p-r} C_p^r y_r}{p!} \prod_{q=0}^{p-1} (x - q) \quad (3)$$

对于  $x = n + 1$ , 有其前推插值:

$$y^{n+1} = f_n(n + 1) = \sum_{p=0}^n \frac{\sum_{r=0}^p (-1)^{p-r} C_p^r y_r}{p!} \prod_{q=0}^{p-1} (n + 1 - q) = \sum_{p=0}^n \frac{\sum_{r=0}^p (-1)^{p-r} C_p^r y_r}{p!} A_{n+1}^p = \sum_{p=0}^n (-1)^{n-p} C_{n+1}^p y_p \quad (4)$$

即当  $0 \sim n$  点的数值  $y_0 \sim y_n$  已判断为正常数据, 则第  $n + 1$  点的插值数据  $y^{n+1}$  可以由它们线性表出。例如,  $n = 3$ ,  $y^4 = -y_0 + 4y_1 - 6y_2 + 4y_3$ ; 或  $n = 4$ , 则  $y^5 = y_0 - 5y_1 + 10y_2 - 10y_3 + 5y_4$ 。

## 2 导引头信号特征分析

### 2.1 野值的概念

野值, 也称为跳点、毛刺, 指非被测对象本身正常跳变的记录, 往往由测量设备或传输等造成<sup>[4]</sup>。通常情况下, 它们或者量级上与正常观测值相差很大, 或者误差量超越了系统所要求的正常测量值误差范围。

一般将野值分为以下 3 类<sup>[4,5]</sup>: 一是孤点野值, 由偶然性干扰造成, 在数据中个别出现; 二是连续野值, 在测量数据序列中连续出现并持续一段时间; 三是随机性野值, 它们的出现时间、取值都是随机变化的。

野值, 尤其是连续、随机性的野值一旦发生, 有效信息将产生严重的偏差, 使系统运行在错误的信息下, 轻则降低系统精度, 重则淹没正常信号影响系统运行, 甚至造成系统崩溃, 所以野值对系统的稳定性危害极大<sup>[6]</sup>。

### 2.2 导引头信号分析

通过对这款拦截器导引头信号的多次观测显示, 存在两

类噪声干扰: 随机干扰, 导引头在抓捕目标成像时, 会有 8 ~ 10 个像素的闪烁 (6° 视场对应 256 像素), 这类噪声通常表现为白噪声, 由于其呈现出的高斯统计特性, 可以通过常规方法直接滤波, 在此不作展开。

孤点、连续野值, 间歇性的信号状态异常和数据错误, 其表现为:

1) 信号停止更新: 当捕获目标时, 由于通信故障, 偶尔会出现连续 1 ~ 5 帧频的信号停滞或者数据不更新;

2) 捕获状态异常: 信号保持正常更新时, 即使目标在导引头视场内时, 给出的导引头捕获状态为未捕获, 导致目标像素异常;

3) 像素信号跃变: 捕获状态位正常时, 目标像素信号会断断续续出现单帧突变, 或连续 3 ~ 5 帧频跃变, 此时变化值较接近。

导引头目标测量信号中出现的野值将对拦截器的作战使用带来严峻的影响: 一方面, 拦截器通过姿控系统摆动拦截器消除与目标视线之间的角偏差, 从而使目标成像于导引头视场中央, 测量目标信号的精度影响了最终姿控跟踪精度; 另一方面, 改变拦截器位移的轨控依赖于弹、目视线角速率形成过载指令, 而视线角速率直接依赖于视线角的变化, 当视线角存在高频次的异常时, 其视线转率严重失真, 从而导致错误的位置跟踪, 丢失目标使拦截失败。

从上述两点可见, 目标像素信号中频繁出现的野值不论对拦截器姿态还是位置都有严重的破坏作用, 是影响作战拦截的重要因素, 必须实时剔除数据中的野值, 提高数据可信度和信号品质。

## 3 信号野值判定、剔除与平滑

在数据处理中常用的野值剔除方法有均方值法, 肖维涅法, 一阶差分或二阶差分和时域微分法<sup>[7-8]</sup>。这几种方法均是在时间域对信号进行判断和处理。在以往的实际应用中, 一般都是使用某种单一的剔除方法对各种形式的信号进行判别处理, 从对信号的处理结果分析中会发现有些信号的剔除效果很好, 但有些信号的野值虽被剔除但是一定量的有用数据也被随之剔除, 大大破坏了数据的有效性和完整性。本文主要考虑一种计算量小, 实时性高且漏警率和误警率较低的时域判定剔除与平滑方法。

首先给出前  $n$  个测量值的均值与方差:

$$\bar{y}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \bar{y}_n)^2}$$

若  $y_n$  的残差大于  $K$  倍标准差, 即

$$\Delta y_n = |y_n - \bar{y}_n| > K\sigma \quad (6)$$

则所对应的数据被认为是野值, 应予以剔除。式(6)中,  $\Delta y_n$  为  $y_n$  的残差, 式(6)即肖维涅法<sup>[6]</sup>; 当  $K = 3$  时即均方值法,

也即  $3\sigma$  门限野值判断公式<sup>[9-10]</sup>。

式(6)对于判定孤点野值效果比较显著,但当测量数据存在成片野值时,该过程可能会对判断的准确性存在一定的干扰,因此需要考虑出现连续野值时的判定方法。

如果  $y_n$  满足  $y_n$  与其牛顿插值  $y^n$  的残差大于  $K$  倍标准差的,即

$$\delta y_n = |y_n - y^n| > K\sigma \quad (7)$$

则  $y_n$  也为野值。式中  $\delta y_n$  为  $y_n$  与  $y^n$  的残差,  $0.5 \leq K \leq 4$ ,  $K\sigma$  为阈值。

因此,合并式(6)和式(7)后即:

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_n &= |y_n - \bar{y}_n| > K\sigma \\ \delta y_n &= |y_n - y^n| > K\sigma \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

称为修正的  $3\sigma$  门限野值判断公式。

在导引头信号中,连续野值一般都比较接近,可用下式判断连续型野值。当  $y_n$  为野值时,满足下式的点也是野值:

$$\left. \begin{aligned} |y_{n+i} - y_n| < K\sigma \\ |y_{n+i} - \bar{y}_n| < K\sigma \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

一般连续野值不超过 6 个,当  $i > 6$  时,则认为  $y_n$  及其后续点为阶跃数据,不必当野值处理。

识别出野值,需对野值进行修正,以保证数据的准确性。本文采用牛顿插值法求出修正值,用来替换野值,即  $y_n = y^n$ 。

## 4 仿真示例与分析

对于上述方法,采用 Matlab 仿真,其中  $K$  值根据参数类型做了相应的调整。如“高低角像素位”参数,  $K$  取值 2.1。

某次导引头试验测试记录的某一时间段目标捕获状态及像素位置的数据曲线如图 1 所示。

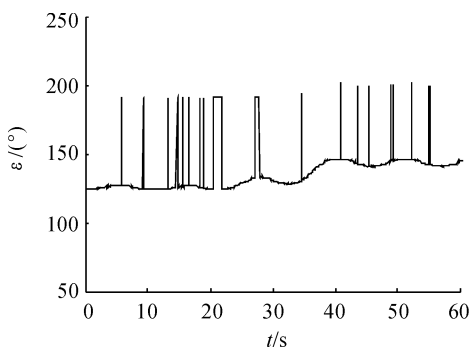


图 1 平滑前导引头信号

从图 1 可见,该导引头测试的连续 60 s 的数据中含有很多孤点野值和多处的连续野值。

下面分别采用均方值法、肖维涅法和本文提出的改进的  $3\sigma$  门限野值判定法对该信号进行野值检测和剔除,然后以牛顿插值法平滑。从图 2 可见,当采用均方值法进行野值判定时,除了对连续野值不起作用外,孤点野值尤其是端部野值也出现了漏检测。

这是因为均方值法进行野值判定时,总是假设前面的数

据非野值时才能进行准确判断,但端部数据又不依赖于前面的数据,因此造成端部孤点野值的漏检;而连续野值也存在类似的问题,依赖对前面野值检测的准确性。

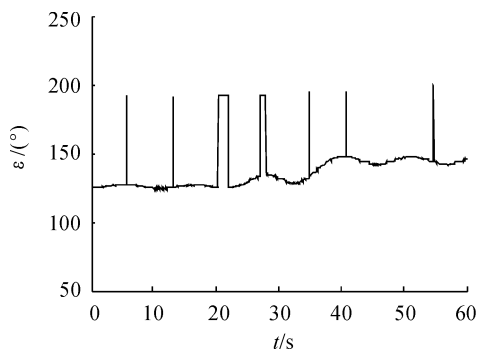


图 2 均方值法剔野牛顿插值平滑后信号

从图 3 可见,当肖维涅法进行野值判定时,从处理结果上看与采用均方值法处理的结果基本相同,该方法能有效剔除孤点野值,并且对端部野值也能有效剔除,但对连续野值的剔除作用不明显。

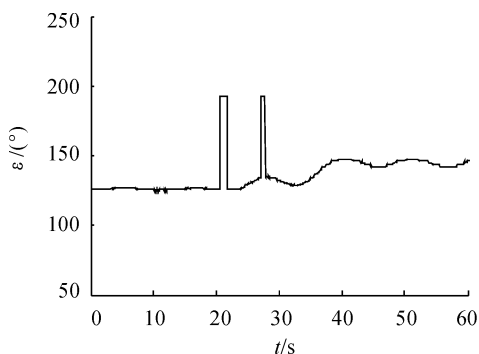


图 3 肖维涅法剔野牛顿插值平滑后信号

这是因为肖维涅法中  $K$  值的选择具备一定的自适应性,对数据中的孤点野值可以避免误判。但是同样该方法过度依赖于测量数据的准确性,当出现成片的野值时,不能有效识别出连续野值。

以本文提出的修正的  $3\sigma$  门限野值判断,在测量值判断的基础上,以牛顿插值估计值辅助野值判定,结果如图 4 所示。

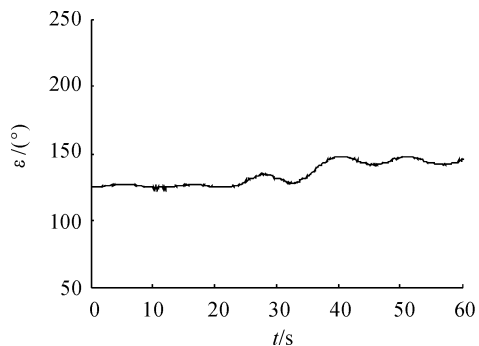


图 4 改进的  $3\sigma$  门限剔野牛顿插值平滑后信号

从图4可见,当采用本文提出的改进的 $3\sigma$ 门限剔野牛顿插值平滑后,能有效剔除孤点野值(含端部野值)和连续野值。

根据统计在导引头60 s的信号输出的各个时段,采用该方法的漏警率6%左右,误警率2.3%左右,满足工程上对导引头信号的处理要求。可以看出:野值处理得较为干净,修正后的数据准确,曲线较为平滑,达到了预期目的,且牛顿插值法野值检测计算中只有线性运算,不存在高阶多项式乘法,运算量小,适合在线处理。

因此采用经过修正的 $3\sigma$ 门限野值检测方法,根据参数值大小和变化情况调整门限值,能够检测出非平稳过渡的连续野值,保证数据处理后导引头信号的完整性和平滑性。

## 5 结论

本文提出了基于方差的野值识别方法和基于牛顿插值法的野值修正方法,不仅能处理孤点野值,还能处理连续野值以及锯齿形野值,在仿真中的应用证明了这一方法的有效性。

## 参考文献:

[1] 孙书鹰,段修生,王志强.目标跟踪系统中野值的判别与剔除方法[J].火力与指挥控制,2004,29(6):85-87.

- [2] 刘爱东,倪永强,王建国.一种实时剔除雷达测量数据中野值的方法分析[J].火力与指挥控制,2004(S1):17-19.
- [3] 安利,叶雪梅.一种飞参数据的野值剔除和平滑方法研究[J].现代电子技术,2012,35(18):102-104.
- [4] 张婷,汪渤.连续型野值判别的新方法[J].东南大学学报(自然科学版),2005,35(2):225-227.
- [5] 谷阳阳,赵圣占.遥测数据野值剔除方法的对比与分析[J].战术导弹技术,2012(2):60-63.
- [6] 代晓巍,李振兴,赵丽莉.飞行器外测数据连续型野值的抽取剔除方法[J].电子设计工程,2015(12):68-70.
- [7] 金学军.基于最小二乘拟合的外弹道测量数据野值剔除方法[J].四川兵工学报,2011,32(1):20-23.
- [8] 赵圣占,高成文,吴晓琳.遥测数据处理的野值剔除方法研究[J].强度与环境,2005,32(1):59-63.
- [9] 朱新岩,史忠科.一种改进的野值在线预处理 $3\sigma$ 方法[J].弹箭与制导学报,2008(6):63-65.
- [10] 朱新岩,史忠科.基于残差特性分析的野值检测与剔除方法[J].飞行力学,2008,26(6):79-83.

(责任编辑 杨继森)