

[文章编号] 1007-7405(2016)02-0125-05

综合船桥系统航海仪器数据干扰值处理方法

冯爱国, 吴 炜

(南通航运职业技术学院航海技术系, 江苏 南通 226010)

[摘要] 为保障综合船桥系统中航海仪器数据输入的正确性,降低船桥中ECDIS平面态势及虚拟仪表显控错误带来的航行风险。介绍了一种一阶差分与 $\alpha-\beta$ 滤波相结合的组合滤波方法,首先运用一阶差分法对干扰值进行判别,若测量值与预估值偏离超过设定阈,则判定为干扰值,并以预估值替代测量组参与 $\alpha-\beta$ 组合滤波,在综合船桥系统中对多种仪器输出的干扰值进行处理。将该组合滤波方法与传统的一阶差分法、线性回归法单一处理结果相比较,以舵角数据为例。仿真结果表明,一阶差分与 $\alpha-\beta$ 组合滤波方案对排除或修正数据中的干扰值效果较好,对数据跳变处理精度高,实时性好。

[关键词] 船舶导航;干扰值;数据处理; $\alpha-\beta$ 滤波;组合滤波

[中图分类号] TP 274

Methods of Processing Interference Value of Navigation AIDS Data in the Integrated Bridge System

FENG Ai-guo, WU Wei

(Navigation Department, Nantong Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: In order to ensure the accuracy of data input for navigational equipment in the integrated bridge system, and to reduce the navigational risks resulting from errors of ECDIS plane situation and virtual instrument display and control therein. A method combining $\alpha-\beta$ filter with first difference is proposed. The first step is to make distinguish on the interference value using first difference. If the difference between the measured value and the estimated value exceeds the set threshold, it can be seen as interference value, which can then be taken into $\alpha-\beta$ filtering together with the estimated value in order to process the interference value from multi-instruments in the IBS. Compared with severai traditional methods, the experimental analysis results show that the proposed method has a better effect on eliminating and modifying data interference value, and it has higher accuracy and better real-time for data processing.

Keywords: data processing; interference value; first iffERENCE; $\alpha-\beta$ filte; integrated bridge system

0 引言

20世纪60年代初, Kalman提出了一种不依赖过去的观测数据,只要根据新的测量数据和前一时刻的估计量,借助于信号过程本身的状态转移规律,即可算出新的估计量的递推方法。这种方法已经

[收稿日期] 2015-09-08

[修回日期] 2015-12-08

[基金项目] 南通市科技计划研究项目(BK2014031);江苏交通科研课题(2011C04-11);江苏省“333工程”(第三层次)科研基金资助项目(BRA2014312)

[作者简介] 冯爱国(1970—),男,硕士,副教授,远洋船长,从事航海与导航技术研究, E-mail: fengag@ntsc.edu.cn.

成功地应用于航海、航空、航天的导航和定位领域，国内外很多专家学者对此作出了成功的研究。Ristic 等尝试从船舶 AIS 历史数据中挖掘运动轨迹，通过滤波判断异常^[1]；栾厚斌等选择采用自适应卡尔曼滤波技术设计联邦滤波器对综合船桥的仪器数据进行处理，提高了系统的精度与容错性能^[2]。很多船舶自动化产品如古野 Voyager 型综合舰桥、Atlas 推出的 NACOS-25/35-2 型 IBS (Integrated Bridge System) 等，其仪器与传感器集成都运用了卡尔曼滤波。 $\alpha-\beta$ 滤波是一种简洁的卡尔曼外推滤波方法，已被成功地应用于雷达目标跟踪。本文通过预估值算法判别和处理干扰值，经过比较和分析，最终给出了运用一阶差分与 $\alpha-\beta$ 组合滤波干扰值处理方法^[1-3]。

1 时变数据干扰值常用处理方法

1.1 一阶差分法干扰数据判别

设以测量数据序列 $(x_0, x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, \dots, x_n)$ ，对应时刻 $(t_0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_n)$ 为实验数据。一阶差分法对第 k 次仪器输出预测值可用式 (1) 计算

$$\hat{x}_k = x_{k-1} + (x_{k-1} - x_{k-2})。 \tag{1}$$

一般的工程经验做法为：数据的采样频率应保持输出变化最高频率的 10 倍以上，才能将预测误差控制在较小范围以内。

干扰值判别：假设对第 k 次测量值 x_k 的预测值为 \hat{x}_k ，若考虑测量数据与预估值偏离的合理渐变 (如：船舶转向时实际船位与估计船位的偏差大于匀速直线运动时实际船位与估计船位的偏差)，则可采用方差原理来进行评判，并防止对有效值进行误判^[4]，准则如式 (2)。式 (2) 既确定了设定阈，也包含了对前期偏差的记忆。

$$\left| (k-1)(x_k - \hat{x}_k)^2 / \sum_{i=1}^{k-1} (x_i - \hat{x}_i)^2 \right| > \varepsilon。 \tag{2}$$

1.2 线性回归法

采用最小二乘 (加权) 法拟合测量数据输出曲线。具体步骤为：设已知前三点采样数据 $x(t_i)$ ， $i = k-3, k-2, k-1$ ，设拟合曲线为 $x = at + b$ ，构建目标函数并求解设定系数 a, b ，

$$M = \sum_{i=k-3}^{k-1} [x(t_i) - x_i]^2 = \sum_{i=k-3}^{k-1} [at_i + b - x_i]。 \tag{3}$$

以拟合曲线函数 $\hat{x}_k = at_k + b$ 对后续测量值作预估，当某周期测量值与预估值偏差超过设定阈，则判定为干扰并以预估值替代测量值。线性回归法受限于采样频率及采样点数，以及前面样点的测量精度，该方法在一定程度上考虑了阶段性的时序记忆，可降低奇点值超过正常值的幅度，但无法彻底解决特大测量误差，拟合结果在局部域上未必最好^[5]。

1.3 $\alpha-\beta$ 滤波处理方法

$\alpha-\beta$ 滤波为 Kalman 滤波的简易方式，符合 Kalman 滤波的“预测-修正-预测-修正……”的特点，通过对一系列含误差的实测数据滤波处理，找出所期望的估计值，其实质为最小均方差估计^[6-7]。同样， $(t_0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k, \dots, t_n)$ 时刻所对应的测量数据序列为 $(x_0, x_1, \dots, x_{k-1}, x_k, \dots, x_n)$ ，设第 k 次外推预测值为 $\hat{x}_{p(k)}$ ，第 k 次修正 (平滑) 值为 $\bar{x}_{(k)}$ ，第 k 次平滑值变化率为 $\bar{\dot{x}}_{(k)}$ ， $t_s = t_k - t_{k-1}$ 为采样周期， (α, β) 为滤波增益。由于船舶在车舵作用下的运动符合惯性环节的控制系統特征，所以， $\alpha-\beta$ 滤波的平滑滤波结果适合对船舶导航仪器输出进行处理，滤波器可由式 (4) 一式 (6) 表示。

$$\bar{x}_{(k)} = \hat{x}_{p(k)} + \alpha(x_{(k)} - \hat{x}_{p(k)}), \tag{4}$$

$$\bar{\dot{x}}_{(k)} = \bar{\dot{x}}_{(k-1)} + \beta(x_{(k)} - \hat{x}_{p(k)})/t_s, \tag{5}$$

$$\hat{x}_{p(k+1)} = \bar{x}_{(k)} + \bar{\dot{x}}_{(k)} \times t_s。 \tag{6}$$

滤波过程描述为, 第 k 次外推预测值 $\hat{x}_{p(k)}$ 由第 $k-1$ 次平滑值 $\bar{x}_{(k-1)}$ 以第 $k-1$ 次平滑值变化率 $\bar{\dot{x}}_{(k-1)}$ 外推而得到; 第 k 次平滑值 $\bar{x}_{(k)}$ 由 $\hat{x}_{p(k)}$ 和第 k 次实测值 $x_{(k)}$ 经滤波增益系数 α 修正而得到, 修正量为 $\alpha(x_{(k)} - \hat{x}_{p(k)})$; 第 k 次平滑值变化率 $\bar{\dot{x}}_{(k)}$ 是指第 $k-1$ 次平滑值变化率 $\bar{\dot{x}}_{(k-1)}$ 经变化率修正系数 β 修正而得, 修正量为 $\beta(x_{(k)} - \hat{x}_{p(k)})/t_s$, 余后依次类推。

2 一阶差分与 $\alpha - \beta$ 组合滤波流程与方法

仪器输出数据一般分为非时变数据和时变数据^[8]。航海仪器及传感器输出属时变数据, 因此为保障输出数据的正确性, 在数据采集时, 不仅要检测出干扰值, 而且须寻找一个合理的替换数值。目前时变数据干扰值处理, 工程上常用一阶差分法和线性回归法得出预估结果, 并对干扰值进行识别与替换, 这两种方法工程上均易于实现, 但亦均有较大的局限性。

一阶差分与 $\alpha - \beta$ 组合滤波方法为: 设第 k 次测量值为 x_k , 由式 (1) 得第 k 次一阶差分预测值为 \hat{x}_k , 设定筛选阈为 ε , 由式 (2) 判定测量值 x_k 相对预测值 \hat{x}_k 偏离度是否大于设定阈, 若满足式 (2), 即判断 x_k 为干扰值, 该次测量值予以剔除并由一阶差分预测值 \hat{x}_k 替代。剔除了的干扰值由第 k 次一阶差分预测值替换为实测值, 参与 $\alpha - \beta$ 滤波第 k 次外推预测值的平滑处理^[9]。鉴于主要滤波环节为 $\alpha - \beta$ 滤波, 一阶差分干扰值剔除过程用于处理强干扰值, 考虑允许数据有一定的波动范围, 防止对有效数据误删, 必须设定足够大的评判阈 ε , 即必须具备足够大滤波窗口^[4]。

判得干扰值周期中以一阶差分估计值替换测量值参与 $\alpha - \beta$ 滤波的组合滤波方法为: 参照 $\alpha - \beta$ 滤波过程, 若第 k 次一阶差分测量值 x_k 判断为强干扰后, 当第 k 次 $\alpha - \beta$ 滤波平滑值 $\bar{x}_{(k)}$ 需由 $\hat{x}_{p(k)}$ 经 $\alpha(x_{(k)} - \hat{x}_{p(k)})$ 修正时, 测量值 $x_{(k)}$ 已判断失效, 由一阶差分预测值 \hat{x}_k 替换, 即该次修正量为 $\alpha(\hat{x}_k - \hat{x}_{p(k)})$, 同理, 第 k 次平滑值变化率 $\bar{\dot{x}}_{(k)}$ 修正量亦调整为 $\beta(\hat{x}_k - \hat{x}_{p(k)})/t_s$ 。组合滤波流程如图 1 所示。

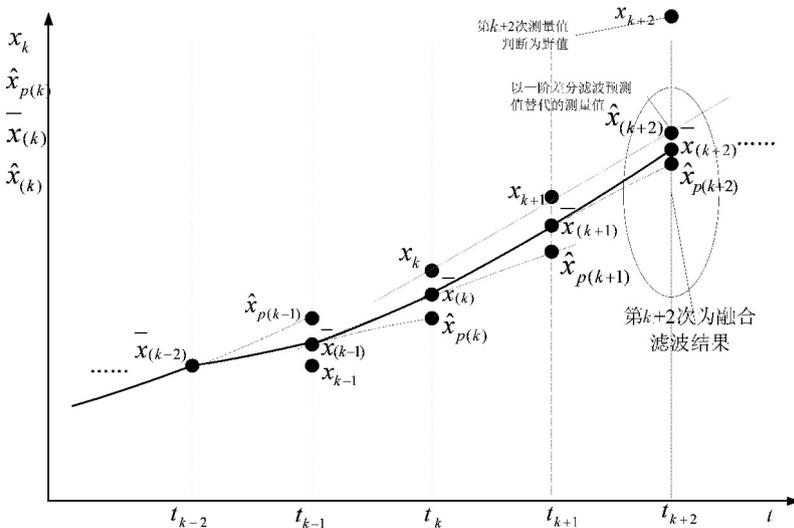


图 1 一阶差分与 $\alpha - \beta$ 组合滤波

Fig.1 The first difference and $\alpha - \beta$ combination filter method

3 仿真验证

对某轮变阻式舵角传感器在右舵 $10^\circ \sim 20^\circ$ 进行缓慢顺、逆旋转检测, 发现传感器在部分检测点存在数据毛刺, 如图 2 所示。对舵角反馈数据进行处理。

1) 线性回归法干扰值仿真处理。设采样周期为 0.5 s , 取任一采样时刻前 3 点采集数据, 将 3 点

采样数据代入式 (7), 解得待定系数 a, b , 再由式 (1) 进行该采样周期线性回归法预测, 若该预测值经式 (2) 判定为干扰值, 则实测值由预测值替代, 滤波结果如图 3 所示。由图 3 可见, 第 28 s 测量值为 19.5° , 经判定为干扰值, 因此由预测值 14.9° 替代。

$$\begin{cases} a \sum t_i^2 + b \sum t_i = \sum x_i t_i \\ a \sum t_i + 3b = \sum x_i \end{cases} \quad (7)$$

2) 组合滤波仿真处理。同样设采样周期为 0.5 s , 取增益系数 ($\alpha = 0.5, \beta = 0.2$), 以第 27 s、27.5 s、28 s 测量值 $12.2^\circ, 12.25^\circ, 19.5^\circ$ 为例, 先进行一阶差分预估, 第 28 s 预估值为 12.5° , 由式 (3) 判定为测量值为干扰值, 由预估值 12.5° 参加本周期 $\alpha - \beta$ 滤波, 由式 (4) 可知第 27 s、27.5 s 平滑值 $\bar{x}_{(k)}$ 已包含了对前期偏差的估计与处理, 分别为 $12.18^\circ, 12.22^\circ$, 以此类推, 第 28 s 平滑速度由式 (5) 调整为: $(12.22 - 12.18)/0.5 + 0.2(12.5 - 12.26)/0.5$, 即为: 0.176° , 由式 (5) 得第 28 s 时的 $\alpha - \beta$ 预估值为 12.308° , 由式 (4) 得第 28 s 平滑值为 $12.308 + 0.5 \times (12.5 - 12.308)$, 即为: 12.404° 。一阶差分与 $\alpha - \beta$ 组合滤波仿真结果如图 4 所示。

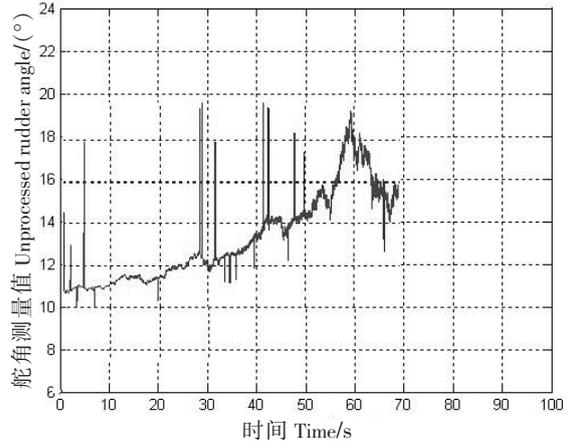


图 2 变阻式舵角传感器未处理测量数据
Fig.2 Unprocessed measured data of rudder angle sensor

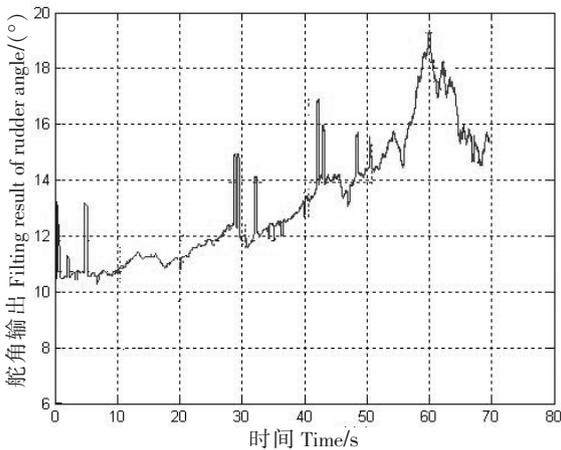


图 3 线性回归法滤波结果

Fig.3 Filtering result of linear regression method

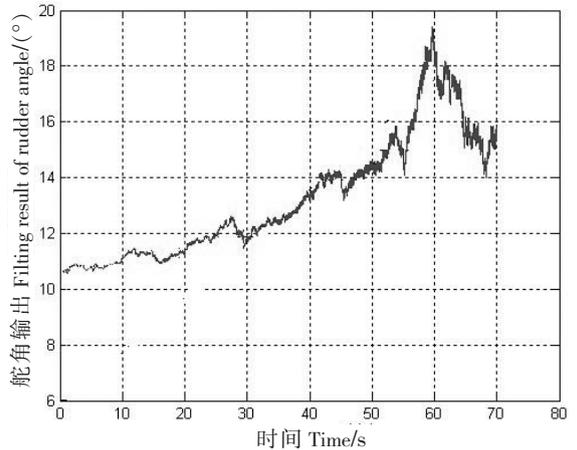


图 4 一阶差分与 $\alpha - \beta$ 组合滤波结果

Fig.4 Results of first difference and $\alpha - \beta$ combination filter method

结果表明: 线性回归法仅对误差值作了有限的修正, 较大的干扰仍然存在; $\alpha - \beta$ 与一阶差分组合滤波方法既反映了一定的测量值变化趋势, 又具有 $\alpha - \beta$ 滤波平滑特征, 对测量数据的跟踪结果更合理。通过图 4 与图 3 的比较可以看出: 组合滤波持续 70 s 过程中约 19 个明显干扰值被剔除, 组合滤波结果与原始数据的真值逼近度高, 平滑段偏差小于 0.05° , 拐点 (如 60 s 采样点) 偏差小于 0.5° , 顺、逆旋测量的动作变化未引起数据跟踪丢失, 数值跟踪延时小于 0.3 s , 因此, 组合滤波优点可归纳为: 对偶然出现的脉冲性干扰有平滑作用, 对于采样过程中的突变干扰处理效果好, 符合船舶工程应用实践, 组合滤波的数据处理过程应为一阶差分与 $\alpha - \beta$ 滤波并行进行^[10-11]。该滤波方案对电磁罗经航向、电磁与多普勒计程仪航速、电子定位系统船位的输出处理均适用, 滤波结果贴近航海实际。

4 结论

一阶差分干扰值识别, 并以一阶差分预估结果参与 $\alpha - \beta$ 滤波的组合滤波方法既能有效剔除干扰值, 又能反应测量值合理变化趋势, 可提高数据测量的精度, 拟合效果好, 通过对比, 组合滤波结果明显优于线性回归法。在测量数据精度高且无大幅波动时, 滤波结果与测量数据高度一致; 在测量数据精度高但具有一定波动幅度时, 组合滤波有一定延迟, 但结果能反映数据的正确变化; 而在测量数据精度较低且有较大波动幅度时, 组合滤波结果既能过滤掉无效的突变数据, 通过平滑, 滤波结果更接近实际。对于综合船桥系统中航海仪器及操纵传感器的大多数低频率采样值, 如: GPS、陀螺罗经、计程仪、AIS 目标船位置以及舵令、舵角等, 组合滤波方法有效且易于实现, 模块容易嵌入到 ECDIS 及 CONNING 平台。当然, 设计中, 一阶差分干扰识别环节, 必须充分考虑阈值的宽容度, 能容纳测量值的合理波动, 防止有效值误判为干扰值, 造成数据丢失, 设计连续多次干扰值丢弃需要触发报警机制。

[参 考 文 献]

- [1] RISTIC, LASCALA, MORELANDE, et al. Statistical analysis of motion Patterns in AIS data anomaly detection and motion prediction [C]. Cologne, Gemany: In Proceedings of the 11thIEEE International Conference on Information Fusion, 2008: 1-7.
- [2] 栾厚斌. 综合舰桥系统信息集成处理技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
- [3] 周杏利, 张寿桂, 彭国均. 船基靠泊辅助系统的可靠性分析 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2014(5): 196-200.
- [4] 黄苏雨, 熊建强, 陈红, 等. 改进混合高斯模型的运动目标检测与跟踪算法 [J]. 计算机测量与控制, 2015(3): 241-245.
- [5] 郭志宏, 罗锋, 安战锋. 航空重力数据窗函数法 FIR 低通数字滤波试验 [J]. 物探与化探, 2007, 31(6): 26-43.
- [6] 姚晓波, 刘泉. 小波变换与中值滤波耦合的雷达信号去噪法 [J]. 武汉理工大学学报, 2005(2): 58-61.
- [7] 王延暴, 郝小宁, 强勇. 五种恒虚警方法性能分析 [J]. 火控雷达技术, 2006(1): 13-16.
- [8] 韩晓健, 王睿. 应变测量中干扰数据的分析及处理 [J]. 航天器环境工程, 2008, 25(5): 459-462.
- [9] 余静, 游志胜. 自动目标识别与跟踪技术研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2005(1): 12-15.
- [10] 熊先巍, 韦灼彬. 潜艇适航性监测的卡尔曼滤波器异常数据修正方法 [J]. 海军工程大学学报, 2011(4): 90-94.
- [11] 林祎珣. 数据挖掘技术在海上交通特征分析中的应用研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2011.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)