

基于二次曲线指数平滑法的风电杆塔预警模型研究

邬春明, 林欢

(东北电力大学信息工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 二次曲线指数平滑法应用在预测中, 仅凭人工经验选取平滑系数所得的预测结果并不准确。针对风电场监测预警中的实际问题, 提出采用缩小平滑系数选取区间, 得出最优平滑系数的二次曲线指数平滑法, 建立杆塔沉降预警模型, 并通过该模型对风电机杆塔沉降度进行预测。改进平滑系数后的二次曲线指数平滑法在预测的平滑度和信度上, 都有非常明显的优化效果, 从而更准确地预知数据异常所构成的潜在危险。

关键词: 风电机杆塔; 无线位移传感器; 数据处理; 二次曲线指数平滑; 平滑系数改进

Research of wind power tower warning model based on quadratic curve exponential smoothing method

WU Chun-ming, LIN Huan

(College of Information Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: When the quadratic curve exponential smoothing method is used in the prediction, the predicted results are not accurate if the smoothing coefficient is selected just by artificial experience. Aiming at the practical problems in wind farm monitoring and early warning, this paper proposes to narrow the smoothing coefficient selection range and get quadratic curve exponential smoothing method of the optimal smoothing coefficient, establishes the tower settlement early-warning model, and forecasts the settlement degrees of wind turbine tower through this warning model. The quadratic curve exponential smoothing method after improving smooth coefficient has obvious optimization in the prediction of smoothness and reliability, so as to more accurately predict potential dangers caused by abnormal data.

Key words: wind turbine tower; wireless displacement sensor; data processing; quadratic curve exponential smoothing; improvement of smoothing coefficient

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)09-0081-05

0 引言

随着风力发电机组的单机容量越来越大, 装机量也逐年增加, 相关的第三产业即风电机组运行维护、监测、故障诊断等将成为行业新的增长点^[1-2]。

风场处在荒原等恶劣环境中, 人工巡检困难, 大批风机即将超过保修期。近年来, 因为维修不及时, 风机倒塌、着火事故频频发生^[3]。对风电机组状态的监测预警可为检修提供依据, 利于工程人员进行状态检修, 减小故障状态下的损失, 并为以后风电机组传感器数据的进一步研究和预测提供可靠的理论参考和价值性的经验。

1 监测预警系统原理结构

由于风电场的机组数量多且分布广泛, 非常适

合采用物联网技术对杆塔的倾斜沉降等状态进行远程监测预警。基于物联网的预警系统结构如图1所示。用于采集风电机杆塔工作状态数据的无线传感器节点通过无线通信方式形成为多跳的自组织网

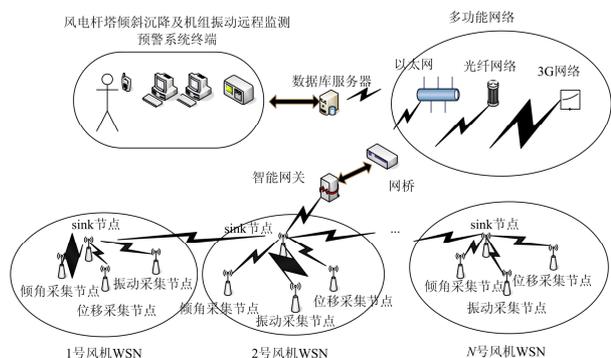


图1 风电机杆塔监测预警系统结构图

Fig. 1 Structure of wind turbine tower monitoring and warning system

络。数据采集传输过程是由作业现场的传感器节点协作感知,采集数据,并通过无线信道进行数据传输^[4-5]。传输过程中监测数据可能被多节点处理,经过多跳后汇总到汇聚节点,由汇聚节点经底层协议将数据传送到网关节点,再由网关将采集到的监测数据通过网桥和智能网络连接进行数据传输,最终发送到监测中心。用户的手持终端有 WSN(无线传感网络)和 RFID(射频)功能,用于人工巡检、调试时识别风机号,便于准确定位。

2 数据处理模型及其改进

2.1 传感器数据预处理

2.1.1 坏值预处理

因为风电机组工作环境恶劣,多处于海边、山地等偏远地区。由于外界振动、电磁干扰、仪器故障等引起了传感器的测量值异常,从而传感器的输出值带有粗大误差,所以采集并输出的数据带有一定坏值^[6-7]。

常用的克服随机误差的方法有限幅滤波、中值滤波和基于拉依达准则的奇异数据滤波法。风机所用传感器采集并传输的是大量的重复测量值,考虑到大量动态测量数据的事实,选取拉依达准则剔除坏值。

拉依达准则(3 σ 准则):

设对被测量进行等精度测量,得到独立测量值 x_i , 算出其算术平均值 \bar{x} 及剩余误差 v_i :

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

并按贝塞尔公式算出标准误差 σ , 若某个测量值 x_k 的剩余误差 v_k ($1 \leq k \leq n$) 满足

$$|v_k| = |x_k - \bar{x}| > 3\sigma \quad (2)$$

则认为 x_k 是含有粗大误差值的坏值, 应予剔除。

在对位移传感器的数据预处理问题上, 为了精确测量值, 在对总体数据运用拉依达准则剔除坏值后, 又对余下数据进行二次拉依达准则滤波, 重新计算了数据的平均值和标准误差, 进一步提高数据可信度。

2.1.2 缺省值预处理

原始数据在剔除坏值后, 若直接忽略掉缺省数据将影响数据量的大小, 且数据容易受到缺省值的影响, 影响其平滑度和预测准确度。针对缺省数据问题, 运用平均值填充法处理缺失数据。若第 K 个数据缺失, 则有

$$x_k^* = \frac{1}{2}x_{k-1} + \frac{1}{2}x_{k+1} \quad (3)$$

x_k^* 作为第 K 个数据的替代值。在缺失值不频发的条件下, 用平均值填补缺失值可以降低跳变处对数据的影响。

2.2 传感器数据分析与处理

传感器正常工作时由于自身器件和电路元件的振动等原因, 会产生一定的系统误差, 修正系统误差这种小幅度高频噪声可以选择算术平均滤波法、滑动平均滤波法和指数平滑法^[8]。

根据应用背景可知, 去噪后获得的多传感器数据为大量动态数据, 且整体数据为有下降趋势的时间序列。算术滤波法的效果主要取决于采样值个数 N , N 越大效果越好, 但是随着 N 的增加系统灵敏度将下降^[9]。针对应用数据的特点, 选取二次曲线指数平滑法处理数据。

2.2.1 二次曲线指数平滑滤波法

对于非线性增长的时间序列, 采用二次曲线指数平滑法比线性指数平滑法更为有效。它的特点是不但考虑了线性增长的因素, 而且也考虑了二次抛物线的增长因素。其公式为

$$s_t^1 = ax_t + (1-a)s_{t-1} \quad (4)$$

$$s_t^2 = as_t^1 + (1-a)s_{t-1}^2 \quad (5)$$

$$s_t^3 = as_t^2 + (1-a)s_{t-1}^3 \quad (6)$$

$$A_t = 3s_t^1 - 3s_t^2 + s_t^3 \quad (7)$$

$$B_t = \frac{a^2}{(1-a)^2} [(6-5a)s_t^1 - (10-8a)s_t^2 + (4-3a)s_t^3] \quad (8)$$

$$C_t = \frac{a^2}{(1-a)^2} (s_t^1 - 2s_t^2 + s_t^3) \quad (9)$$

式中: s_t^1 , s_t^2 , s_t^3 分别为 t 时刻 x_t 的一次、二次、三次指数平滑数值; A_t 为 t 时刻的水平值; B_t 为 t 时刻的线性增量; C_t 为 t 时刻的抛物线增量。

则可得到时间序列超前 m 步预测模型为

$$y_{t+m} = A_t + B_t m + \frac{1}{2} C_t m^2 \quad (10)$$

由于无线位移传感器数据值特点为: 递减时间序列, 历史数据平稳, 数值小。为确保预测精度, 使用预测误差的标准差, 即 SDE 来衡量预测精度高低。

$$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (11)$$

2.2.2 平滑参数 a 的改进

平滑系数 a 反映了模型对系统变化的反映速度, 又反映了预测模型对数据的平滑能力。由此模型可知, 平滑系数 a 的选择直接决定了未来时刻数据值预测的准确度^[10-11]。若历史数据相对平稳, a 的取值区间一般为 (0.1~0.3); 若历史数据波动较大, a 的取值区间一般为 (0.6~0.8)。但仅凭人工经验选取 a 值, 导致预测随机性过大, 预测结果不合理^[12-15]。

典型的一维非线性优选法为黄金分割优选法, 它的优点是提高了模型的收敛速度和逼近能力并减少了工作数量。但当时间序列呈递减趋势, 并且有凸函数性质时, 该方法对未来时刻的预测有偏差。

改进的 0.618 法为: 将 (0.1, 0.3] 平分为 5 个等距区间, 即 $a_1 \in (0.1, 0.14]$, $a_2 \in (0.14, 0.18]$, ..., $a_5 \in (0.26, 0.3]$, 并设定 a 的精度 $\eta = 0.001$ 。试点 $a_i \in (b_0, c_0]$, $i = 1, 2, \dots, 5$ 。

1) 令试点 1 为

$$a_i = 0.618b_0 + 0.382c_0$$

2) 令试点 2 为

$$a'_i = 0.382b_0 + 0.618c_0$$

3) 若 $|a_i - a'_i| > \eta$, 则分别求出 $SDE(a_i)$ 和 $SDE(a'_i)$ 。

a) 若 $SDE(a_i) < SDE(a'_i)$, 说明 a_i 较为精确, 令 b_0 不变, $c_0 = a'_i$, 可得 $a'_i = a_i$, 从而 $SDE(a_i) = SDE(a'_i)$, 转入步骤 1)。

b) 若 $SDE(a_i) > SDE(a'_i)$, 说明 a'_i 较为精确, 令 c_0 不变, $b_0 = a'_i$, 可得 $a'_i = a_i$, 从而 $SDE(a_i) = SDE(a'_i)$, 转入步骤 2)。

4) $|a_i - a'_i| \leq \eta$, 则取二者平均值, 即 $a_i^* = \frac{1}{2}(a_i + a'_i)$ 代入式 (4) ~ 式 (10) 和式 (11), 求出提前 m 步预测值 y_{t+m} 和误差值 $SDE(a_i^*)$, 并转入下一个子区间进行迭代。

5) 求出并选取对应 $SDE(a_i^*)$ 值最小的 a_i^* , 即为平滑系数的改进值。

3 仿真分析

采用某风电机场的 110 个无线位移传感器数据

样本, 对比改进前后预测数据的平滑度和准确性, 来验证改进参数选取范围后的二次曲线指数平滑法是否提高了该项目预测的精度。

由于位移传感器采集到的是大量实时动态数据, 取提前预测步长 $m=3$ 。在未改进的二次曲线指数平滑模型中, 基于最小拟合误差的经验性前提, 选取平滑系数 $a=0.15$, 通过 Matlab 仿真得到图 2。而改进平滑系数选取后, 得到最优平滑系数 $a=0.2996$, 通过二次曲线指数平滑模型的 Matlab 仿真, 得到图 3。

图 4 和图 5 分别为改进平滑系数前后的时间序列预测值的放大图, 可直观看出改进平滑系数后的二次曲线指数平滑在预测的信度和平滑度上有明显提高。

按照改进平滑系数后的算法得出原始数据预测数据如表 1 所示。

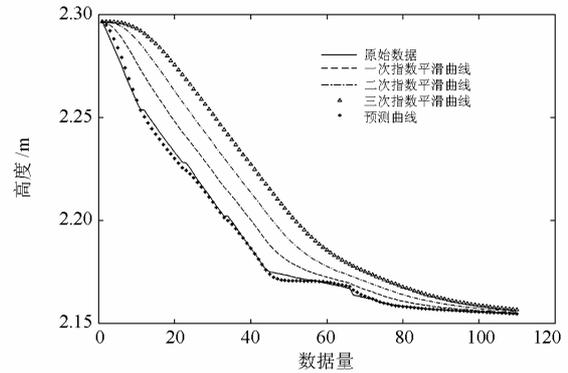


图 2 未改进平滑系数的指数平滑预测图

Fig. 2 Exponential smoothing forecast figure of unimproved smooth coefficient

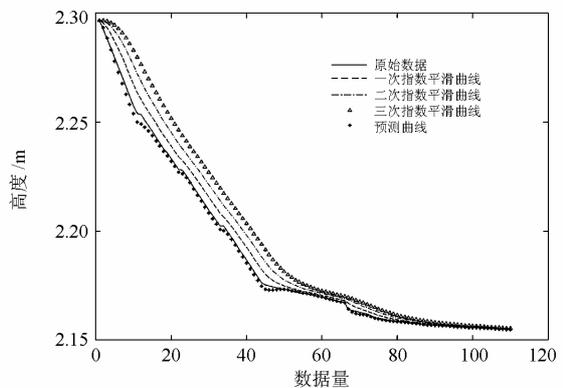


图 3 改进平滑系数后的指数平滑预测图

Fig. 3 Exponential smoothing forecast figure after improving smoothing coefficient

表 1 改进平滑系数后的指数平滑预测

Table 1 Exponential smoothing prediction after improving smoothing coefficient

原始数据	s_t^1	s_t^2	s_t^3	预测值
2.176 3	2.177 41	2.178 53	2.179 64	2.176 01
2.175 2	2.175 86	2.176 66	2.177 56	2.175 02
2.174 8	2.175 12	2.175 58	2.176 17	2.174 75
2.174 4	2.174 62	2.174 91	2.175 29	2.174 40
2.174 04	2.174 21	2.174 42	2.174 68	2.174 04
2.173 64	2.173 81	2.173 99	2.174 20	2.173 62
2.173 24	2.173 41	2.173 59	2.173 77	2.173 21
2.172 84	2.173 01	2.173 18	2.173 36	2.172 80
2.172 34	2.172 54	2.172 73	2.172 92	2.172 29
2.172 04	2.172 19	2.172 35	2.172 52	2.172 00
2.171 64	2.171 81	2.171 97	2.172 14	2.171 60
2.171 24	2.171 41	2.171 58	2.171 75	2.171 20
2.171 2	2.171 26	2.171 36	2.171 47	2.171 18
2.170 8	2.170 94	2.171 06	2.171 19	2.170 78
2.170 4	2.170 56	2.170 71	2.170 85	2.170 36
2.17	2.170 17	2.170 33	2.170 49	2.169 95
2.169 6	2.169 77	2.169 94	2.170 10	2.169 55
2.169 2	2.169 37	2.169 54	2.169 71	2.169 15
2.168 8	2.168 97	2.169 14	2.169 31	2.168 76
2.168 4	2.168 57	2.168 74	2.168 91	2.168 36

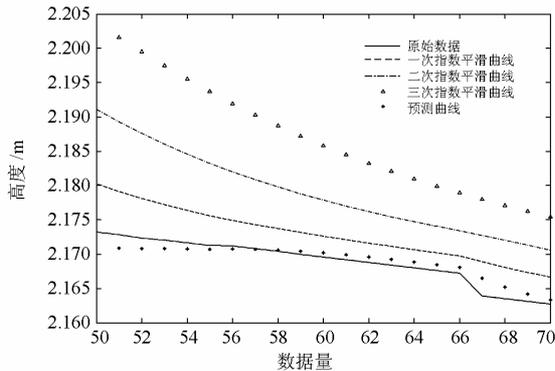


图 4 未改进平滑系数的指数平滑预测放大图

Fig. 4 Enlarged exponential smoothing forecast figure of unimproved smooth coefficient

4 结论

改进平滑系数选取值的二次曲线指数平滑法，避免了经验性选取平滑系数对数据预测造成的错误干扰，直接有效地减少了预测误差。

通过对风电机组无线位移传感器数据的 Matlab 仿真及改进平滑系数前后的曲线对比，可以看出：

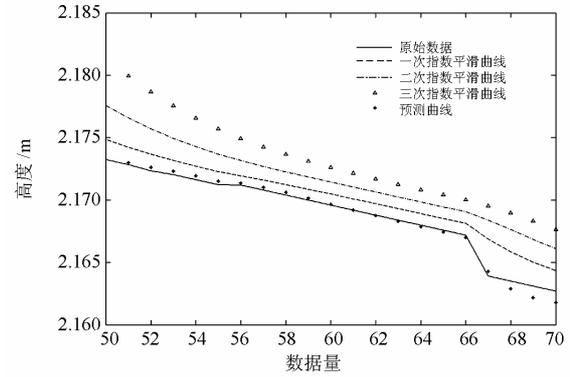


图 5 改进平滑系数后的指数平滑预测放大图

Fig. 5 Enlarged exponential smoothing forecast figure after improving smoothing coefficient

改进平滑系数后的二次曲线指数平滑法在预测的平滑度和信度上，都有非常明显的优化效果。

参考文献

- [1] 杭俊, 张建忠, 程明, 等. 风力发电系统状态监测和故障诊断技术综述(英文)[J]. 电工技术学报, 2013, 28(4): 261-271.
HANG Jun, ZHANG Jian-zhong, CHENG Ming, et al. An overview of condition monitoring and fault diagnostic for wind energy conversion system (English)[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(4): 261-271.
- [2] 米增强, 苏勋文, 杨奇逊, 等. 风电场动态等值模型的多机表征方法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(5): 162-169.
MI Zeng-qiang, SU Xun-wen, YANG Qi-xun, et al. Multi-machine representation method for dynamic equivalent model of wind farms[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(5): 162-169.
- [3] 陈哲. 配电系统中的风力发电(英文)[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 1-14.
CHEN Zhe. Wind power in electrical distribution systems (English)[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 1-14.
- [4] 刘立阳, 吴军基, 孟绍良. 短期风电功率预测误差分布研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 65-70.
LIU Li-yang, WU Jun-ji, MENG Shao-liang. Research on error distribution of short-term wind power prediction[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 65-70.
- [5] 邹荣贵, 蒋东翔, 黄乾, 等. 风力发电机组常见故障机

- 理分析[J]. 振动与冲击, 2008, 27(3): 120-122.
ZOU Rong-gui, JIANG Dong-xiang, HUANG Qian, et al. Fault analysis for wind turbine[J]. Journal of Vibration and Shock, 2008, 27(3): 120-122.
- [6] 齐雪雯, 谢开贵, 胡博. 风速分布预测的指数平滑模型及其在配电网可靠性中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(12): 1-7.
QI Xue-wen, XIE Kai-gui, HU Bo. Exponential smoothing model for wind speed distribution forecast and its application in electrical distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(12): 1-7.
- [7] 苏勋文, 米增强, 陈盈今, 等. 基于运行数据的风电机组建模方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 50-54.
SU Xun-wen, MI Zeng-qiang, CHEN Ying-jin, et al. Method for modeling wind turbines based on operating data[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 50-54.
- [8] 邝小磊. FCS 中的智能传感器的数据处理方法[J]. 传感器技术, 2002, 21(6): 30-32.
KUANG Xiao-lei. Method of processing data for intelligent sensors in FCS[J]. Journal of Sensor Technology, 2002, 21(6): 30-32.
- [9] 聂淑媛, 梁铁旺. 指数和滑动平均的历史发展探究[J]. 统计与决策, 2011, 12(24): 4-7.
- [10] 范金城, 吴可法. 统计推断导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [11] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.
- [12] 金旭星, 盛奎川. 指数平滑参数与初值的选取研究[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2005, 4(3): 317-318.
JIN Xu-xing, SHENG Kui-chuan. Study on choosing coefficient of exponential smoothing and initial value[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition, 2005, 4(3): 317-318.
- [13] 王长江. 指数平滑法中平滑系数的选择研究[J]. 中北大学学报, 2006, 27(6): 558-561.
WANG Chang-jiang. Selection of smoothing coefficient via exponential smoothing algorithm[J]. Journal of North University, 2006, 27(6): 558-561.
- [14] 熊国强. 确定指数平滑系数的最优化方法[J]. 西安理工大学学报, 2000, 16(3): 313-315.
XIONG Guo-jiang. A study of the optimal method for the exponential smooth method[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2000, 16(3): 313-315.
- [15] 吴德会. 动态指数平滑预测方法及其应用[J]. 系统管理学报, 2008, 17(2): 151-155.
WU De-hui. Dynamic exponential smoothing prediction method and its applications[J]. Journal of System & Management, 2008, 17(2): 151-155.

收稿日期: 2013-08-02; 修回日期: 2013-09-27

作者简介:

邬春明(1966-), 男, 硕士学位, 教授, 硕士生导师, 从事通信技术的科研与教学工作;

林欢(1989-), 女, 研究生, 研究方向为无线通信技术。E-mail: yimizangyue@163.com