

基于组合预测法的航空设备故障预测研究

Research on aviation equipment fault prediction based on composite prediction method

贾宝惠, 雷先锋

JIA Bao-hui, LEI Xian-duo

(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)

摘要: 本文针对飞行器健康管理系统的故障预测部分, 由于单一预测方法往往难于保证应用效果, 本文提出基于GM(1,1)和指数平滑法的组合预测方法, 采用拟合均方误差确定组合方法的加权系数, 取两种方法预测值的加权值作为最终结果。以某航空设备为例, 验证了该方法能提高预测系统的综合性能, 弥补了单一方法的不足, 具有良好的应用效果。

关键词: 航空设备; GM(1,1); 指数平滑; 组合预测

中图分类号: V264

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2012)1(下)-0093-02

Doi: 10.3969/j.issn.1009-0134.2012.1(下).28

0 引言

飞行器健康管理技术是现代航空器机载数字化技术发展的必然, 典型的飞行器健康管理系统包含了数据采集、数据预处理、状态监测、健康评估、故障预测、决策支持等环节。对即将发生的异常状态具有预测的能力是健康管理系统重要的特性, 预测技术的运用可提高地面维护人员的效率, 减少后勤保障延误时间, 并最终为设备的维护提供决策支持。

目前针对航空设备使用单一方法进行故障预测往往难于保证实际预测结果, 而采用组合预测方法不仅能充分吸收了单一方法的优点, 同时也能弥补其各自的不足, 是故障预测技术发展的一个必然趋势。综合飞行器健康管理计划是NASA航空安全项目重要计划之一, 本文针对健康管理系统故障预测部分提出了基于GM(1,1)和指数平滑法的组合预测方法。

1 GM(1,1)预测方法

灰色GM(1,1)预测模型将离散序列连续化, 用累加生成序列代替原始的序列, 弱化原始序列的随机性, 是建立微分方程形式的预测模型^[1,2]。对原始序列做累加生成, 建立 $X^{(1)}$ 的一阶线性微分方程:

$$\frac{dX(t)^{(1)}}{dt} + aX(t)^{(1)} = u, \quad t \in [0, \infty] \quad (1)$$

$$\text{令 } B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, z^{(1)}(k) \text{ 为相邻元}$$

素均值生成序列, 有估计值 $\hat{a} = (a, u)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ 。通过累减生成得到还原数列为:

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), \quad (k=1, 2, \dots, n) \\ &= (1-e^a)[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} \end{aligned} \quad (2)$$

其详细计算步骤可参考相关文献。

2 指数平滑预测方法

指数平滑预测方法给近期数据以较大的权数, 给远期数据以较小的权数, 从而使预测结果更符合实际^[3]。指数平滑法一般有一次、二次和三次指数平滑法^[1]。其选用可根据原数列散点图呈现的趋势来确定。如呈现直线趋势, 选用二次指数平滑法; 如呈抛物线趋势或当时间序列经二次指数平滑后仍有曲率, 应选用三次指数平滑法。其中三次指数平滑模型为:

$$\hat{y}_{t+T} = a_t + b_t T + c_t T^2 \quad (3)$$

其中

$$\begin{cases} a_t = 3S_t^{(1)} - 3S_t^{(2)} + S_t^{(3)} \\ b_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [(6-5\alpha)S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha)S_t^{(2)} + (4-3\alpha)S_t^{(3)}] \\ c_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}] \end{cases}, \quad \begin{cases} S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1-\alpha)S_{t-1}^{(1)} \\ S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1-\alpha)S_{t-1}^{(2)} \\ S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + (1-\alpha)S_{t-1}^{(3)} \end{cases}$$

收稿日期: 2011-10-08

基金项目: 中央高校基金项目 (ZXH2009A007)

作者简介: 贾宝惠 (1971-), 女, 山西运城人, 副教授, 硕士, 研究方向为航空机电技术及维修工程。

式中: $s_t^{(1)}$ 为第 t 期的一次指数平滑值; $s_t^{(2)}$ 为第 t 期的二次指数平滑值; $s_t^{(3)}$ 为第 t 期的三次指数平滑值; α 为权数; a_t 、 b_t 、 c_t 为平滑系数。

3 组合预测方法

针对某一问题进行预测通常采用不同的方法, 各方法在处理数据准则方面均有其独特之处, 从不同的角度来推导和演绎, 然而对航空设备来说, 采集的特征参数由于实际工况等影响, 其发展趋势很难用单一的方法来准确拟合预测。本文基于此考虑提出组合预测方法, 基本思想是先利用不同方法对同一对象进行预测, 然后对各预测结果做适当的加权平均, 取其加权平均值作为最终预测结果。本文采用拟合值均方误差 (MSE) 确定加权系数, 均方差越大, 波动越大, 表明该方法在使用时精度和稳定性低, 所占权系数就越小。GM (1,1) 与指数平滑法是故障预测较为适用的方法, 其组合预测法示意图如图 1 所示。

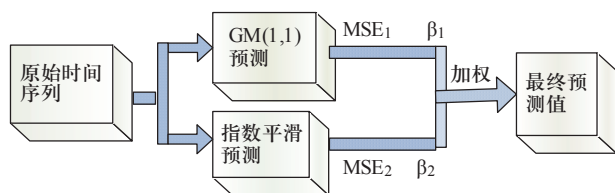


图1 GM (1,1) 与指数平滑组合预测法

其中, $MSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i' - y_i)^2}$, y_i' 为拟合值, y_i

为实测值; 权系数 $\beta_1 = \frac{MSE_2}{MSE_1 + MSE_2}$, $\beta_2 = \frac{MSE_1}{MSE_1 + MSE_2}$ 。

4 实例分析

某航空设备工作电压范围为 17 ~ 24V, 部分监测电压值^[4]如表 1 与表 2 中的第一列所示, 从 0 计时, 监测间隔为 25 小时。

1) 运用 GM(1,1) 对表 1 中 12 个实测数据建模预测未来三个时刻的值, 可求得模型参数 $a = -0.0049$, $u = 17.4273$ 。经后验差检验判断模型等级为好, 可用于预测, 拟合结果见表 1。

2) 原数据散点图呈曲线上升趋势, 所以选择三次指数平滑方法进行预测。本文采用对原数据拟合值均方误差最小的原则, 通过编程计算选择合理的 α 值为 0.46。初始值采用 $s_0^{(1)} = s_0^{(2)} = s_0^{(3)} = 1/3 * (X_1 + X_2 + X_3)$, 按公式 (3) 计算, 拟合结果见表 1。

表1 GM(1,1)与三次指数平滑法拟合结果

真实值	GM(1,1)		三次指数平滑	
	拟合值	误差	拟合值	误差
17.6	17.6	0	17.6145	-0.0145
17.7	17.5558	0.1442	17.6429	0.0571
17.7	17.6416	0.0584	17.7661	-0.0661
17.7	17.7277	-0.0277	17.7595	-0.0595
17.8	17.8143	-0.0143	17.7296	0.0704
17.8	17.9013	-0.1013	17.844	-0.0440
17.9	17.9887	-0.0887	17.8426	0.0574
18.0	18.0766	-0.0766	17.9571	0.0429
18.1	18.1649	-0.0649	18.0877	0.0123
18.2	18.2536	-0.0536	18.2087	-0.0087
18.4	18.3427	0.0573	18.3180	0.0820
18.6	18.4323	0.1677	18.5575	0.0425

3) 通过 GM(1, 1) 计算得 12 个拟合数据的均方差为 $MSE_1 = 0.2963$, 三次指数平滑的均方差 $MSE_2 = 0.0518$ 。GM(1,1) 和指数平滑法的的权系数分别用 β_1 和 β_2 表示, 经计算得 $\beta_1 = 0.15$, $\beta_2 = 0.85$ 。组合方法预测结果如 2 所示, 其趋势分析图如图 2 所示。

表2 预测结果

实测值	预测值		
	GM(1,1)	指数平滑	组合法
18.7	18.5223	18.8043	18.7620
18.9	18.6128	19.0372	18.9735
19.1	18.7037	19.2921	19.2038
MSE	0.3006	0.2495	0.0817

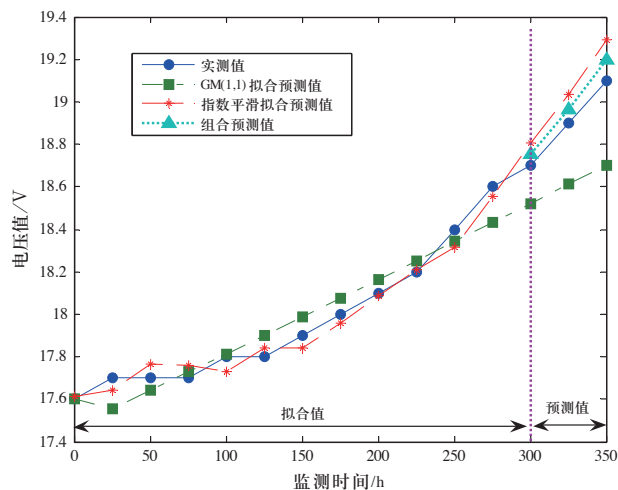


图2 故障预测趋势图

表1 系统通信性能测试结果

序号	时间	通信距离 (m)	发送总比特数	误码率
1	9: 00~10: 30	10	628000	0
2	12: 00~13: 30	10	628000	0
3	9: 00~10: 30	50	628000	$\leq 10^{-6}$
4	12: 00~13: 30	50	628000	$\leq 10^{-6}$
5	9: 00~10: 30	100	628000	4.78×10^{-5}
6	12: 00~13: 30	100	628000	1.59×10^{-5}
7	9: 00~10: 30	300	628000	7.968×10^{-5}
8	12: 00~13: 30	300	628000	4.78×10^{-5}

地面模拟实验。利用系统板在西南石油大学实验楼电力线环境下进行现场通信性能测试。实验分别在不同时间段和不同通信距离进行了测试，具体的测试结果如表 1 所示。

测试结果表明，在实验室范围内，通信距离为 10m 时具有良好的稳定性，由于收发模块较近，通信成功率达 100%。随着距离的增大，误码率随之增加。在相同通信距离条件下，不同时刻的通信误码率也不相同，原因是在某些时段实验室内连接在电力线上的电器大部分都在工作，插拔电器所产生的脉冲噪声和由此造成的多径传输造成

了误码率的急剧上升，而在午休或其他时段，误码率相对较低。在实验过程中，注意到通信出现失败并不是连续的，软件设计上采用自动请求重传可以解决通信失败的问题。

5 结束语

本文设计实现了一种基于电力线载波技术的智能钻柱信息通信系统，并对其进行了性能测试。该系统具有较高的接收灵敏度和较强的抗干扰能力，在实际应用中是可行的。但井下环境恶劣，干扰严重，低压电力线载波信道的可靠通信不但取决于通信模块的性能，还会随着电力系统的运行工况而发生波动。因而，为提高系统通信的综合可靠性，应采取增大发射功率、信道编码和纠错控制等措施。

参考文献：

[1] 李文江, 张文超. 基于扩频通信技术的煤矿井下综合自动化系统研究[J]. 仪表技术与传感器, 2010, 09.
[2] 肖仕红, 梁政. 智能钻井电缆信号传输的研究现状及难点[J]. 石油矿场机械, 2007, 02.
[3] 韦惠民, 殷晓虎, 暴宇. 扩频通信技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007: 48-127.



【上接第94页】

通过预测结果分析可知，组合法对未来三个时刻的预测值，与实测值最接近，比单一方法的均方误差都小，提高了预测性能。

5 结束语

本文提出基于 GM(1,1) 和指数平滑法的组合故障预测方法。该方法采用拟合值均方误差的分配原则确定加权系数，充分吸收单一方法的优点，提高了预测系统的综合性能。该方法主要针对具有耗损型的缓变故障进行的，本文以某航空设备为例验证其是可行的，适用于中短期预测，对维修决策的制定有一定的参考价值。

参考文献：

[1] 郭秀英. 预测决策的理论与方法[M]. 化学工业出版社, 2010.
[2] LI Junliang, Liao Ruiquan. [A]. 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering. IEEE[C]. 2010: 1088-1091.
[3] 孙博, 康锐, 张叔农. 基于特征参数趋势进化的故障诊断和预测方法[J]. 航空学报, 2008, 29(2): 393-398.
[4] 范爱锋, 张宏伟. 基于动态新息模型的雷达装备故障预测趋势预测[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(11): 1566-1568.