

doi: 10.7690/bgzdh.2014.05.005

基于新息灰预测的导弹遥测参数预测算法研究

潘昶, 梅玉航

(中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 为了在导弹飞行中判决导弹故障, 建立基于新息的灰预测算法。利用 GM(1,1)模型的每一个预测值替换掉最老的一个信息, 以实现新陈代谢, 然后再以补充了新信息但序列长度不变的预测序列对反映导弹工作状态的遥测关键参数进行实时预测。通过 Matlab 仿真软件对原有 GM(1,1)模型和改进的 GM(1,1)模型进行分析比较, 验证了改进后 GM(1,1)模型预测精度比较高, 易于实现, 适合导弹故障的实时预测。

关键词: 灰色模型; 新陈代谢; 故障预测

中图分类号: TJ760.6⁺2 **文献标志码:** A

Research of Missile Telemetry Parameter Grey Forecast Algorithm Based on Metabolism

Pan Chang, Mei Yuhang

(No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125001, China)

Abstract: In order to judging the missile fault in missile flight, establish grey forecast method based on innovation. Use every forecasting value of GM(1,1) model to replace the oldest information, and realize metabolism. Then use forecasting sequence which including new information but keeping same length to carry out real time forecasting for telemetry key parameter of missile work status. Analyze and compare old GM(1,1) model with improved GM(1,1) model through Matlab simulation software. The results show that the improved GM(1,1) model forecasting has high precision which is easy to implement and is suitable for the real-time forecast missile fault.

Keywords: grey model; metabolism; fault forecast

0 引言

在导弹飞行试验中, 导弹故障预测的及时性和准确性直接关系到航区周围重要设施和人民生命财产安全。导弹的遥测关键参数帮助了解其内部工作状态和外部工作环境, 是判断导弹飞行是否正常和对导弹进行故障预测的重要依据, 为指挥与控制中心提供决策支持。目前对导弹遥测参数的实时分析, 是在指控中心屏显关键参数各自曲线以及相应的阈值, 由专家监视并判断。而指控中心实际屏显数据量比较大, 并且随着对导弹试验的可靠性和安全性要求进一步增加, 希望能在导弹异常显现之前就预先得知故障的有关信息^[1]; 因此, 在导弹试验任务中, 如何利用已知的遥测数据预测导弹的状态变化, 是试验任务中亟待解决的问题。

导弹遥测参数是判断导弹飞行故障的依据, 对遥测关键参数进行趋势预测在任务过程中具有非常重要的意义, 是判断故障的前提。遥测数据形式多样、特性复杂, 加上导弹飞行的实时性的特点, 采用传统的从概率分布的角度上的系列预测方法不再适用; 目前的神经网络法、小波分析法也无法保证

其导弹实时性; 因此, 笔者提出了一种基于新息的遥测参数灰预测算法, 利用GM(1,1)模型的每一个预测值替换掉最老的一个信息, 以实现新陈代谢; 然后再以补充了新信息但序列长度不变的预测序列继续进行预测, 以实现反映导弹工作状态的遥测关键参数进行实时预测, 可以有效地对导弹飞行故障实行预警。

1 基于新息的遥测参数灰预测算法

1.1 算法的提出

预测算法的种类有很多, 按时间轴分类, 有以下几种^[2]:

第一种称为大样本预测: 用尽可能多的存在数据构成模型预测未来, 比如概率与数理统计方法;

第二种称为经验预测: 通过存在数据总结出经验算式预测未来, 如预测的模糊算式;

第三种称为现实外推预测: 用现实数据构造模型预测未来, 由于现实时区是时轴上非常小的子区, 故现实外推预测为少数据预测, 即灰色预测。

按基于的样本数分类, 有 2 种:

收稿日期: 2014-01-26; 修回日期: 2014-02-24

作者简介: 潘昶(1974—), 女, 辽宁人, 工学硕士, 工程师, 从事指挥控制研究。

第一种是一般预测：基于概率外推、函数外推、经验外推等，比如：指数平滑、统计趋势预测、最小方差预测、回归分析预测、马尔可夫模型预测。

第二种是基于少数数据模型 GM(1,1)的预测，称为灰色预测，简称灰预测。

各种方法都有自己的适用范围，导弹遥测数据具有一定的特殊性，很多遥测参数尤其是连续缓变型遥测参数，例如供电电压参数、压力参数、过载参数等。由于数据变化的连续性，前后时刻的数据间存在一定的相关性，无法单纯从概率分布的角度来预测。另外，由于试验任务要求的实时性，对算法的运算速度要求高，加上受计算机存储容量的限制，预测时不能采用太多的历史数据，因此，必须采用一种使用较少的数据，但预测精度又很高的预测跟踪算法对目标的运动进行预测^[3]。

1.2 灰色预测理论方法

灰色预测是近年来得到广泛研究的预测方法，其理论实质是将无规律的原始数据进行累加生成，得到规律性较强的生成数列后再重新建模。由生成模型得到的数据再通过累减生成得到预测数据^[4]。由于灰预测具有所需样本需求小、预测精度高和无需先验信息的特点，比较适合对遥测参数状态的实时监视和预测。因此笔者提出基于新陈代谢 GM(1,1)模型的预测算法来预测导弹遥测关键参数，通过与理论真值比对及早预测导弹故障。

灰色预测思想是直接将时间序列转化为微分方程，从而建立抽象系统的发展变化动态模型，它通过累加作用抵消和减弱随机因素影响，从生成数序列寻找系统变化规律来建立相应的预测模型。灰色预测具有不需要大量的样本、样本不需要有规律性分布、计算工作量小等特点。使用该方法建模只要 4 个以上的数据即可，且无需知道原始数据分布的先验特征。

灰色预测 GM(1,1)模型

令 $x^{(0)}$ 为 GM(1,1) 序列，

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)),$$

令 $x^{(1)}$ 为 $x^{(0)}$ 的一次累加序列 AGO，

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)),$$

$$x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1); \quad x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m) \quad (1)$$

令 $z^{(1)}$ 为 $x^{(1)}$ 的紧邻均值序列 MEAN，

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (2)$$

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)),$$

则 GM(1,1) 的定义型，即 GM(1,1) 的灰微分方程模型为：

$$x^{(0)}(1) + az^{(1)}(k) = b \quad (3)$$

灰色模型的参数序列的最小二乘估计为

$$\hat{a} = [ab]^T = (BB^T)^{-1} B^T \hat{Y} \quad (4)$$

其中，

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

将计算求得的参数 a 、 b 代入白化方程并求解所得的微分方程，可得到灰色 GM(1,1) 预测模型为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (5)$$

对此式作一阶累减还原计算(1-IAGO)，得原始序列 $x^{(0)}$ 的灰色 GM(1,1) 预测模型为：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (6)$$

下面通过 GM(1,1) 的方框图(如图 1)来说明 GM(1,1) 定义的机理

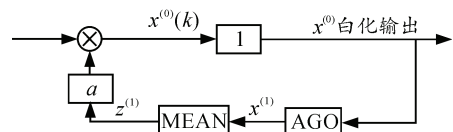


图 1 GM(1,1) 定义型方框图

灰色预测通过累加过程形成一次累加序列 AGO，能够看出原本毫无规律的数据序列中存在的某些特性，通过白化过程生成紧邻均值序列^[5]。

1.3 改进的 GM(1,1)模型

事实上，在任何一个灰色系统的发展过程中，随着时间的推移，将会不断地有一些随机扰动或驱动因素进入系统，使系统的发展相继受其影响；因此，用 GM(1,1) 模型进行预测，精度较高的仅仅是紧接着原点数据 $x^{(0)}(n)$ 以后 1 到 2 个数据。一般说来，随着时间的推移，目标越机动，数据就越远离时间原点，GM(1,1) 的预测意义就越弱。在实际应用中，必须不断考虑那些随着时间推移相继进入系统的扰动或驱动因素，随时将每一个新得到的数据置入 $x^{(0)}$ 中，建立新息模型。新陈代谢模型属于新息模型，从预测角度看，新陈代谢模型是最理想的预测模型^[6]。随着系统的发展，老数据的信息意义将逐步降低，在不断补充新信息的同时，及时地去掉

老信息，建模序列更能反映系统在目前的特征。尤其是系统随着量变的积累，发生质的飞跃或突变时，与过去的系统相比，已是面目全非。去掉已根本不可能反映系统目前特征的老数据，显然是合理的。此外，随着模型不断的新陈代谢，还可以避免随着信息的增加，占用计算机内存不断扩大、建模运算量不断增大的困难。对于导弹试验任务来说，算法的实时性是衡量算法优劣的一项重要指标，用新陈代谢的预测算法，实时性得到了保证^[7]。新陈代谢 GM(1,1)模型是利用 GM(1,1)模型的每一个预测值替换掉最老的一个信息，然后再补充新信息，以实现新陈代谢，使序列长度不变，继续进行预测。如图 2 所示。

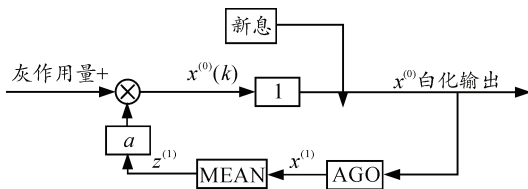


图 2 新陈代谢 GM(1,1)定义型方框图

设原始数据序列 $x^{(0)}=(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ ，置入最新信息 $x^{(0)}(n+1)$ ，去掉最老信息 $x^{(0)}(1)$ ，称用 $x^{(0)}=(x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n), x^{(0)}(n+1))$ 建立的模型为新陈代谢 GM(1, 1)。

1.4 预测步骤

- 1) 对遥测关键参数进行提取并分类，笔者主要针对那些连续缓变型遥测参数，例如供电电压参数、压力参数、过载参数等；
- 2) 实时读取一定长度的遥测参数并暂时存放在缓冲区，建立原始数据序列；
- 3) 利用公式 (1) 计算原始序列的一次累加序列，利用公式 (2) 计算紧邻均值生成序列；
- 4) 利用公式 (4) 的最小二乘公式分别算出最小二乘估计参数；
- 5) 通过公式 (5)、式 (6)，计算序列的时间响应，进而得到 $K+1$ 时刻的预测值，实现对原始数据序列的预测；
- 6) 用预测到的当前帧数据更新原始数据序列，去掉最早时刻的历史数据，仍保持原始数据序列长度，即新陈代谢的过程；
- 7) 重复步骤 1)~6)，实现对后续遥测参数的预测，直至整个预测过程结束。

2 新息的 GM(1,1)模型与传统模型实例对比

以某型号导弹的某个遥测参数为例，随机取 50 个数据样本，采样间隔 0.05 s，预测之后 2~3 s 的参数变化趋势。用 Matlab 编程实现，分别采用 GM(1,1)模型与新陈代谢 GM(1,1)模型进行预测，进行对比。

首先，用 GM(1,1)模型预测，用前 50 个数预测后面的 50 个即 2.5 s 的数据，将预测的数据与原始的数据做对比，得到数据及曲线如表 1 和图 3。

表 1 GM(1,1)模型预测结果

序号	原始数列	预测数列
1	6.105 15	6.105 45
2	6.105 75	6.106 05
3	6.106 36	6.106 66
4	6.106 96	6.107 26
5	6.107 57	6.107 87
6	6.108 17	6.108 47
7	6.108 78	6.109 08
8	6.109 38	6.109 69
9	6.109 99	6.110 29
10	6.110 59	6.110 90
...
55	6.121 51	6.121 81
平均相对误差		1.11%

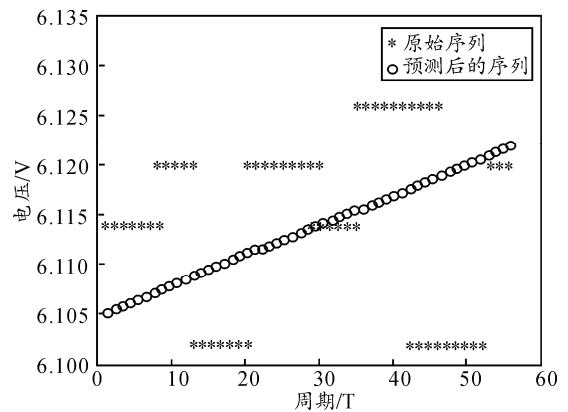


图 3 GM(1,1)模型预测值与原始值曲线

从表 1 和图 3 可以看出，GM(1,1)预测算法用 50 个数据作为信息，预测后 50 个数据，原始的数列是时而增加时而减少的，而预测的数列呈现出一种简单的线性的上升趋势，虽然最后计算的平均相对误差不是很大，但也并不能正常地预测。可见，对于波动范围较小的，GM(1,1)效果会较好，而这种数据时而增加时而减少，波动范围较大的，并不适合用 GM(1,1)方法进行预测。原因在于用固定的原始数据去预测，随着时间推移，最早的数据对 GM(1,1)预测意义会逐渐减弱。而新陈代谢的 GM(1,1)算法始终用最新的数据作为“未知”比较数据和模型有效性检验数据，这样建立的预测模型会更准确。

改用新陈代谢的 GM(1,1)算法, 在不断补充新信息的同时, 及时地去掉老信息, 始终用最新的维度为 50 的数列进行预测, 得到的数据及曲线如表 2 和图 4。

表 2 新陈代谢的 GM(1,1)模型预测结果

序号	原始数列	预测数列
1	6.114	6.108 9
2	6.114	6.110 3
3	6.114	6.110 8
4	6.114	6.111 3
5	6.114	6.111 6
6	6.114	6.111 9
7	6.120	6.112 0
8	6.120	6.112 9
9	6.120	6.114 1
10	6.120	6.115 3
...
55	6.120	6.113 5
平均相对误差		1.13%

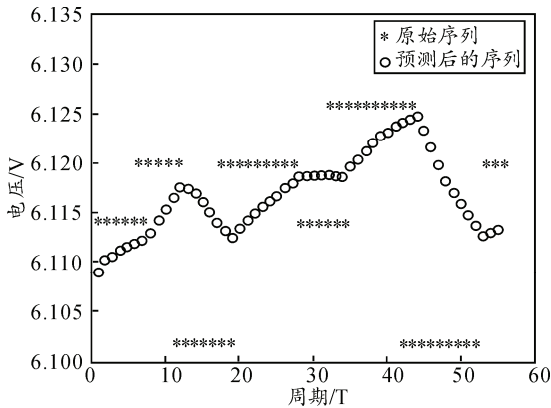


图 4 新陈代谢 GM(1,1)模型预测值与原始值曲线

表 3 调整长度后的新陈代谢的 GM(1,1)模型预测结果

序号	原始数列	预测数列
1	6.084	6.096 1
2	6.090	6.096 2
3	6.096	6.095 3
4	6.096	6.095 6
5	6.096	6.095 4
6	6.096	6.094 7
7	6.096	6.093 5
8	6.097	6.092 8
9	6.098	6.093 7
10	6.099	6.094 5
...
34	6.114 2	6.112 6
平均相对误差		2.524 6e-004

从表 2 和图 4 可以看出, 与传统的 GM(1,1)预测算法相比, 新陈代谢的 GM(1,1)预测算法虽然误差仍然很大, 预测效果并不理想, 但是已经大致能反映出序列的增减规律, 考虑到对用于预测的数列长度进行调整, 从 50 减小到 16, 始终保持数列的维度为 16, 使系统中加入新数据, 去除最早的数据的速度提高, 重新预测, 得到的数据及曲线如表 3

和图 5。

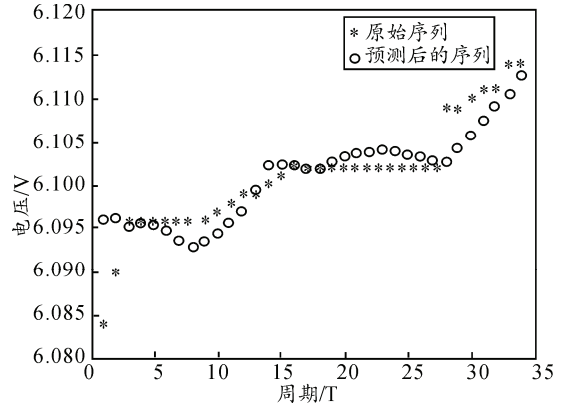


图 5 调整序列维度后的新陈代谢 GM(1,1)模型预测值与原始值曲线

从表 3 和图 5 可以看出, 将用于预测序列的维度减小后, 新陈代谢的 GM(1,1)预测算法的精度提高很多, 并且原始序列与预测的序列的相似度很高, 可见, 用新陈代谢的 GM(1,1)预测算法动态预测遥测参数在实际应用中是比较理想的。

3 结论

笔者对 GM(1,1)预测方法进行了改进, 提出用新陈代谢的 GM(1,1)预测算法对遥测参数进行实时预测, 并根据工程实际调整信息的更新速度。历史数据验证结果表明: 该算法预报精度高, 能够较准确地预测出遥测关键参数的变化趋势, 从而及早发现导弹飞行异常, 为指挥与控制提供决策支持。

参考文献:

- [1] 潘昶. 导弹内弹道典型故障安控判决系统设计[J]. 战术导弹技术, 2012(1): 80-84.
- [2] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 111-118.
- [3] 张萍萍, 孙永侃, 李雪飞. 视景仿真环境下基于卡尔曼滤波的运动目标航迹预测方法[J]. 兵工自动化, 2013, 32(5): 40-42.
- [4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 12-16.
- [5] 邹小星, 郝矿荣. 基于块匹配的 H.264/AVC 帧内预测算法[J]. 机电工程, 2013, 30(10): 1264-1267.
- [6] 郭小红, 徐小辉, 赵树强, 等. 基于新息灰预测的卫星遥测参数状态预测及应用[J]. 宇航学报, 2010, 31(8): 1941-1945.
- [7] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 147-160.