

【文章编号】 1004-1540(2007)03-0241-04

火灾预测的改进 GM(1,1)模型

谢正文^{1,2}

- (1. 中国计量学院 计量测试工程学院, 浙江 杭州 310018;
2. 中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083)

【摘要】 火灾的发生受很多因素的影响,有的因素已知、有的未知,符合灰色系统的特征,从而可以利用灰色理论进行预测. 现从传统 GM(1,1)预测模型构造原理出发分析其存在的理论缺陷,通过采用平均斜率法、等维替换和变换灰色预测公式的方法建立改进的 GM(1,1)模型,以适应火灾频数序列的波动特性,从而达到精确预测的目的. 我国 1997—2006 年火灾数据预测计算表明,新方法有满意的拟合和预测效果,从而为火灾预测精度提高提供了新的途径.

【关键词】 火灾预测;灰色理论;平均斜率

【中图分类号】 TU998;X913

【文献标识码】 A

Application of improved GM (1, 1) models in fire forecasts

XIE Zheng-wen^{1,2}

- (1. College of Metrology and Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;
2. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: There are many factors for fire's occurrence. These factors accord with the characteristics of a grey system and thus the fire could be predicted by the grey theory. An improved GM(1,1) model is put forward according to the principle of the traditional GM (1, 1) model and its defect. It is fit for the characteristic of the fire frequency list. Fire data of the years 1997—2006 in our country were used. It shows that the new model has satisfactory fitting effects and thus creates a novel direction to higher modeling procedures for fire forecasts.

Key words: fire; grey theory; average slope; forecast

火灾的发生与经济发展水平、气象条件、消防管理水平等许多时变因素有关,火灾频数序列的波动正是系统内外各动态因素综合作用的结果. 随着社会的发展,火灾给人类带来的损失越来越

大,人们都期望能对火灾进行预测,从而防患于未然. 如果我们能对火灾的发生做出准确的预测,并根据预测结果,帮助消防部门对该地区今后消防警力和设施的投入,作为具体的部署和控制的依

【收稿日期】 2007-04-06

【作者简介】 谢正文(1981—),男,湖南湘潭人,博士研究生. 主要研究方向为安全工程.

据,这无疑是有益的探索.引发火灾的因素很复杂,有的因素已知、有的未知,这正符合灰色系统的定义:信息部分明确、部分不明确的系统^[1-4].本文在传统灰色预测模型的基础上,提出改进的GM(1,1)模型实现对火灾起数的精确预测.

1 传统 GM(1,1)模型

GM(1,1)模型是GM(1, n)模型中,当 $N=1$ 时的特例^[5],建立GM(1,1)模型只需一个数列 $x^{(0)}$

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

做一次累加生成

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

对 $x^{(1)}$ 可建立下述白化形式的方程

$$\begin{aligned} x^{(0)}(k) &= x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \\ \frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} &= u \end{aligned} \quad (3)$$

这是一个变量的一阶微分方程,故记为GM(1,1).记参数列为 \hat{a}

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (4)$$

则按最小二乘法解 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$

$$B = \begin{bmatrix} Z^{(1)}(2) & 1 \\ Z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中

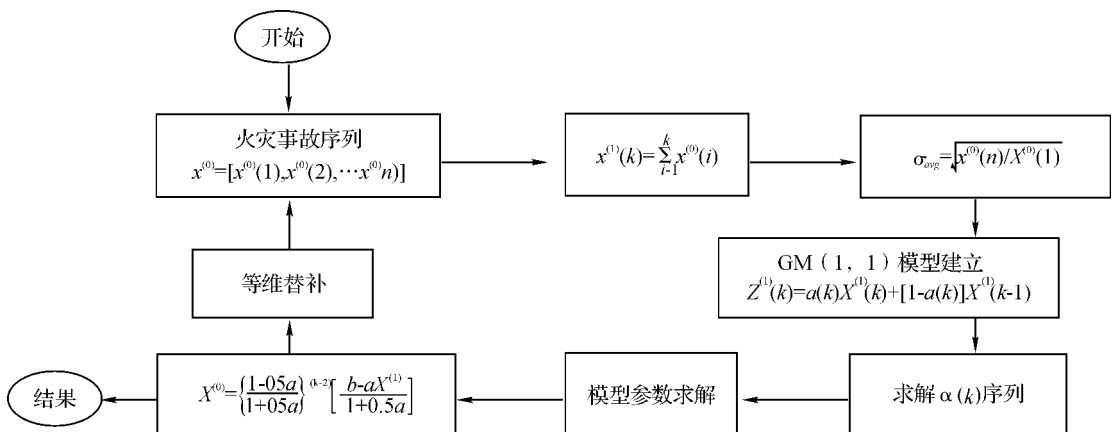


图1 改进GM(1,1)模型计算过程

$$Z^{(1)}(k) = \alpha x^{(1)}(k) + [1 - \alpha]x^{(1)}(k-1) \quad (6)$$

$$Y_N = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$$

白化形式方程的解为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

对上式进行如下还原生成

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad (8)$$

便可以原始数据序列进行拟合和预测.

2 火灾预测改进 GM(1,1) 模型

传统的GM(1,1)模型在预测当中只能适应严格单调的数据序列,并且当预测数据序列中出现相邻两个数据相等时会使 a 值为0,其结果致使模型在预测当中拟合效果差、预测精度低甚至完全失效.为了解决这一缺陷,有人采用变换模型预测公式、引入平均斜率的方法^[6].新的预测程序如图1.

2.1 新息模型

一般建模领域必须以最新的数据作为参考点,按照数据的取舍不同,常用的GM(1,1)模型有新息模型和等维新息模型,新息模型是每增加一个最新的信息,便将新信息加入原始数列中,按补充新息后的领域建模(全数列建模)而得到的模型.等维新息模型是采取增加新信息与去掉旧信息同时进行的方式建模,亦称为新陈代谢模型,其机理与一般建模理论中的遗忘因子适应建模思路接近^[7].

2.2 灰色理论公式的变换

传统 GM(1,1) 模型中式(7)可以发现当 a 趋近于 0 时 $\hat{x}(k+1)$ 计算结果发散. 这种情况在数据序列重连续两个数据相等的情况下将出现, 也就是说在两个连续相等的数据使得 a 等于 0, 这样使得预测值明显的偏离实际值^[8]. 为了避免此情况发生, 通过变换模型公式来提高预测精度, 计算公式如(9).

$$\hat{X}^{(0)}(k) = \left\{ \frac{1-0.5a}{1+0.5a} \right\}^{(k-2)} \left[\frac{b-aX^{(1)}}{1+0.5a} \right] \quad (9)$$

2.3 适应性 $\alpha(k)$ 序列

GM(1,1) 模型适用于具有较强指数规律的序列, 只能描述单调变化过程. 而火灾频数序列的波动性注定其数据序列并不严格单调, 式(6)中 α 通常取值 0.5, 因此传统的 GM(1,1) 模型不适合用来进行火灾预测. 于是, 有人通过引入适应性的 $\alpha(k)$ ^[6,9] 来重新计算 $Z^{(1)}k$, 因此式(3)和式(6)可以写成如下形式:

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = u \quad (10)$$

$$Z^{(1)}(k) = \alpha(k)X^{(1)}(k) + [1 - \alpha(k)]X^{(1)}(k-1) \quad (11)$$

由式(11)知我们必须得到一个适应性的 $\alpha(k)$ 序列, 来减少预测错误, 我们使用平均斜率的概念来计算. 其公式如下:

$$\sigma_{avg} = \sqrt{X^{(0)}(n)/X^{(0)}(1)} \quad (12)$$

式(12)中 n 是原始数据个数. 本文选取的为 4 维模型 $n = 4$.

由式(12)可以容易地计算得到模型的理论值, 表 1 列举了模型理论值和系统实际值. 然而, 这一理论模型很少用于实际预测. 为了提高预测精度, 必须先找出所需预测值的位置. 首先使第一

个理想值和最后一个理想值和原始数据序列值相等, 处于中间的数据位置可以通过平均斜率来计算, 计算方法如表 2. 首先计算 $X^{(0)}(2)$ 和 $X^{(0)}(3)$ 的位置, 通过使用下面规则分别来计算 $\alpha(2)$ 和 $\alpha(3)$. k_2 和 $\alpha(2)$ 对应, k_3 和 $\alpha(3)$ 对应, 且 $\alpha(k) \in (0, 1)$, $\alpha(k)$ 按如下方法计算:

- ① 如果 $k_2 \in (0, 1)$, 那么 $\alpha(2) = k_2$; 如果 $k_2 \geq 1$, 那么 $\alpha(2) = 1$; 如果 $k_2 \leq 0$, 那么 $\alpha(2) = 0$;
- ② 如果 $k_3 \in (1, 2)$, 那么 $\alpha(3) = k_3 - 1$; 如果 $k_3 \geq 2$, 那么 $\alpha(3) = 1$; 如果 $k \leq 1$, 那么 $\alpha(3) = 0$;
- ③ $\alpha(4) = 1$.

表 1 理论模型 vs. 实际系统模型

k	理论模型	实际系统模型
1	$X^{(0)}(1)$	$X^{(0)}(1)$
2	$X^{(0)}(1)\sigma_{avg}$	$X^{(0)}(2)$
3	$X^{(0)}(1)\sigma_{avg}^2$	$X^{(0)}(3)$
4	$X^{(0)}(1)\sigma_{avg}^3$	$X^{(0)}(4)$

表 2 计算相对位置

k	系统值和理想值	k_j
1	$X^{(0)}(1)$	origin
2	$X^{(0)}\sigma_{avg}^{k_2} = X^{(0)}(2)$	$k_2 = \lg(X^{(0)}(2)/X^{(0)}(1))/\lg\sigma_{avg}$
3	$X^{(0)}\sigma_{avg}^{k_3} = X^{(0)}(3)$	$k_3 = \lg(X^{(0)}(3)/X^{(0)}(1))/\lg\sigma_{avg}$
4	$X^{(0)}(1)\sigma_{avg}^3 = X^{(0)}(4)$	

注: 表 1 和表 2 中 σ_{avg} 由式 $\sigma_{avg} = \sqrt{X^{(0)}(4)/X^{(0)}(1)}$ 计算.

3 实例分析

以我国 1997—2005 年火灾数据为例^[10](表 3), 利用改进 GM(1,1)模型进行火灾预测.

由于传统灰色预测模型只适应单调变化序列

表 3 传统 GM(1,1)与改进 GM(1,1)模型预测值对比

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
实际值	140 280	142 326	175 955	189 185	216 784	258 315	254 811	252 704	239 425	222 702
传统模型预测值	140 280	147 350	167 711	190 885	217 262	258 315	258 849	247 544	236 733	226 395
改进模型预测值	142 326	143 300	170 000	192 239	214 693	256 197	259 600	252 501	241 368	223 418

的预测, 因此对 1997—2006 年火灾数据为例分成两部分 1997—2001 年、2002 年—2006 年分别建

立传统 GM(1,1)预测模型, 同时对全序列建立改进的 GM(1,1)模型, 其预测值如表 3, 预测效果

对比如图 2。

采用改进的 GM(1,1)模型对我国 2006 年火灾事故起数进行预测,得到我国 2006 年可能发生 223 418 起火灾事故,根据统计资料^[11]表明我国 2006 年实际火灾事故起数为 222 702 起,预测值与实际值的相对误差为 $(223\ 481 - 222\ 702) \div 222\ 702 = 0.003\ 5$,表明模型具有相当高的预测精度。将 2006 年火灾统计数据代入模型,经过重新计算,预测我国 2007 年火灾事故为 209 822 起。

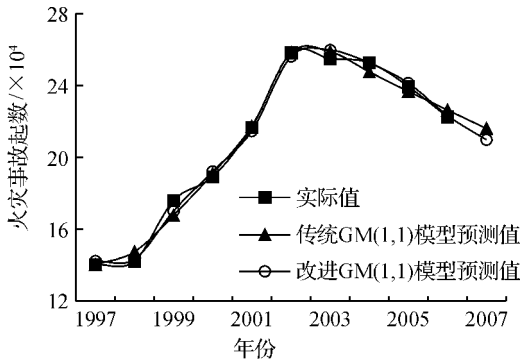


图 2 预测模型效果对比图

4 结 语

传统 GM(1,1)模型形成预测公式时规定 $\hat{x}^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$, $\alpha = 0.5$ 为已知条件是不合理的,导致预测效果差,在实际运用中应当根据实际情况选用原始数据序列当中最佳 $\hat{x}^{(1)}(1)$ 和 α 值。计算表明,采用改进灰色预测模型,样本需求量小,计算简单,精度可靠;能动态地反映数据的内

在规律,并使预测的准确度获得了有效的提高,从而为提高建模精度提供了新的途径。因此,灰色控制理论应用在消防领域中可以为决策者作出决策提供依据,它与其他安全评价手段结合能健全应急救援体制从而促进城市规划优化,并有利于城市综合防灾减灾系统的科学管理。

【参 考 文 献】

- [1] 杨 攀,张 宇. 灰色控制系统理论在火灾预测中的应用[J]. 安防科技,2006(3):22-24.
- [2] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987:1-4.
- [3] 袁昌明,崔晓君. 事故预测模型的建立与应用[J]. 中国计量学院学报,2004,15(4):314-316.
- [4] 谢正文,孔凡玉. 城市环境噪声污染预测模型及应用[J]. 中国计量学院学报,2006,17(4):314-344.
- [5] 何 海,陈绵云. GM(1,1)模型预测公式的缺陷及改进[J]. 武汉理工大学学报,2004,26(7):81-83.
- [6] 谢正文,胡汉华,胡毅夫. 改进 GM(1,1)模型在路基沉降预测中的应用[J]. 岩土力学,2005,26(2):227-230.
- [7] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,1999:105-112.
- [8] WU J, LAUH C R. A study to improve GM(1,1) Via Heuristic Method[J]. Grey System, 1998, 10(3):183-192.
- [9] 谢正文,孔凡玉,胡毅夫. 指数平滑技术改进灰色沉降预测模型及应用[J]. 中外公路,2007,17(3):26-29.
- [10] 姜学鹏,徐志胜,冷 彬. 火灾预测的模糊马尔柯夫模型[J]. 灾害学,2006,21(3):27-32.
- [11] 公安部. 2006 年全国火灾明显下降[EB/OL]. [2007-01-04] (2007-03-15). http://www.ga.net.cn/news/news_detail.asp?id=4363.