

基于灰色等维新息模型的能耗预测研究及应用

李光明¹, 蔡福俊¹, 张慧琳²

(1. 陕西科技大学, 陕西 西安 710021; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710129)

摘要: 灰色系统理论将随机过程看成灰色过程, 利用数据表面杂乱但整体有序的特点, 挖掘潜在的本质规律。根据灰色系统理论的思想, 在分析了传统 GM(1,1) 模型的基础上提出了改进的等维新息预测模型, 利用 Matlab 强大的算法功能, 实现了改进的等维新息灰色预测模型算法。通过对能耗预测的实例分析, 并采用残差和后验差方法对预测的精度进行检验, 验证了程序的准确性和可靠性, 使得预测的精度得到有效的提高。

关键词: GM(1,1)模型; 灰色理论; 等维新息模型; 精度评价; 残差分析
中图分类号: TP31 文献标识码: A

Research and application of the energy consumption forecast based on gray model of equal dimensional innovation

LI Guang Ming¹, CAI Fu Jun¹, ZHANG Hui Lin²

(1. Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;
2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: The grey theory regards the stochastic process as the gray process, uses the data character of extrinsic randomness and holistic regularity to find out the intrinsic rules of the system. According to grey system theory, the equal dimensional innovation model is introduced based on the analysis of the traditional GM(1,1) model, and realizes the improvement forecast model algorithms by using Matlab algorithm powerful features. Through the examples of forecasts of energy consumption analysis and the use of residuals and latter examines in predicting test procedures to verify the accuracy and reliability, making the precision of forecasts improved effectively.

Key words: GM(1,1) model; grey theory; equal dimensional innovation model; precision evaluation; residual analysis

能耗预测是科学管理能源和节约能源的有效手段和方法^[1], 对加强企业能源量化管理有着很大的作用。能耗预测通常是指利用历史能源消耗情况统计数据, 通过不同的预测方法推求待预测能耗指标本身随时间的变化规律。以往通常使用灰色系统^[2]GM(1,1)模型对水、电、煤、汽、气等能耗情况进行预测。其基本原理是: 摒弃直接在历史数据中寻求统计规律和概率分布的传统方法, 将无规律的原始数据通过一定的处理方式(比如一次或多次累加), 使其成为较有规律的时间序列^[3], 建立预测模型。但由于能耗受各种环境变量的影响, 在数据波动性比较大的情况下, 该算法的精度有待提高。

为克服以上缺陷, 在考虑研究能耗和时间关系的基础上, 本文在传统 GM(1,1)灰色预测模型的基础上^[4], 加入等维约束条件, 提出了改进的等维新息预测模型。通过在 Matlab

平台上对该预测模型算法的实现, 并将其应用于某卷烟厂水、电等能耗量的拟合和预测分析。结果表明, 改进的预测模型能很好地减小数据波动的影响, 能耗量预测的精度达到 1 级, 较 GM(1,1)模型有很大提高, 是一种更加可行的预测方法。

1 灰色理论模型

1.1 GM(1,1)模型的建立

设原始数列为: $x^{(0)}=(x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$

对 $x^{(0)}$ 作一次累加 1-AGO (Accumulated Generating Operation) 生成, 即令:

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

从而得到新的数列:

《微型机与应用》2009 年第 22 期

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

令 $z^{(1)}$ 为由数列 $x^{(1)}$ 的邻值在生成系数 a 下的邻值生成数： $z^{(1)}(k)=ax^{(1)}(k)+(1-a)x^{(1)}(k-1)(k=2,3,\dots,n)$

($a \in [0, 1]$ 为生成系数)

其中,GM(1,1)模型的微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt}+ax^{(1)}=u \quad (3)$$

这是一个变量的一阶的微分方程,记其参数数列为:

$$\hat{a}=(a,u)^T=(B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (4)$$

其中 B 为起始数据经灰化后得到的累加生成的矩阵, Y_n 为能耗原始数据矩阵。

$$B=\begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, Y_n=[x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\dots,x^{(0)}(n)]^T \quad (5)$$

利用最小二乘法求出 \hat{a} 后,通过求解 GM(1,1)的白化形式方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt}+ax^{(1)}=u \quad (6)$$

得到预测函数为:

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

进行上式的还原生成:

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

便可以对原始数据序列进行拟合和预测。

1.2 改进的 GM(1,1)等维新息模型

GM(1,1)模型预测的有效性和精度既受到时间序列长短的影响,又与数据变化情况有着密切的关系,如果建模选用的数据列太短,则难以建立起准确的长期的预测模型;反之若数据列过长,受干扰的因素积累和不稳定因素增多,从而引起数据的波动性增大,这样模型的精度就无法控制^[9]。考虑在动态预测时,加入等维约束条件,就是及时自动去掉系统中的一个最旧的信息,同时相应增加一个最新的信息,通过数据序列本身的更新,体现等维的思想,从而纠正由时间变化所引起的偏差,使模型更能真实地代表实际情况。

其建模思想是:在初始 GM(1,1)模型的基础上,通过预测得到 $n+1$ 时刻的值为 $x^{(0)}(n+1)$ 以后,将灰数 $x^{(0)}(n+1)$ 加入预测数列,同时去掉最旧的数据 $x^{(0)}(1)$,构成新的等维新息序列如下: $x^{(0)}=(x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\dots,x^{(0)}(n+1))$,此时建立起新的 GM(1,1)模型,用此模型预测 $n+2$ 时刻的值 $x^{(0)}(n+2)$,再将灰数 $x^{(0)}(n+2)$ 更新进预测数列,并去掉此时较旧的数据 $x^{(0)}(2)$,重新构成新的等维新息序列。如此循环下去,逐次建立新模型进行预测,这就是等维新息模型,由预测过程可知 GM(1,1)等维新息模型其实是一个动态预测的过程。

采用 10 维新息模型,即取 $n=10$,使用最新的 10 个统计数据来预测第 $n+1$ 个数据,每次预测完毕就相应的更新方

程参数,如图 1 所示。

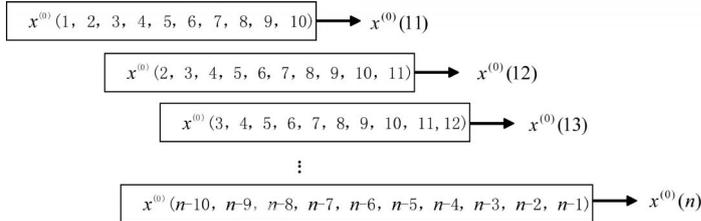


图 1 等维新息模型等维递补运算示意图

2 实现改进的 GM(1,1)等维新息算法

GM(1,1)等维新息模型算法的实现步骤为:

- (1)输入原始数据构成的矩阵;
- (2)对原始序列进行新陈代谢等维处理;
- (3)对处理后得到的新序列进行一次指数平滑;
- (4)对平滑后得到的序列应用优化模型进行预测,得到预测序列;
- (5)还原预测序列,得到原始序列的预测值 $x^{(0)}(n+1)$;
- (6)将灰数 $x^{(0)}(n+1)$ 加入预测数列,同时去掉最旧的数据 $x^{(0)}(1)$;
- (7)重复步骤(1)~(6),进行滚动预测。

根据上述数学模型,利用高级矩阵/阵列语言 Matlab 强大的数学运算的特点,实现了基于灰色等维新息模型算法的 Matlab 程序,操作简便灵活,运行稳定可靠,流程如图 2 所示。

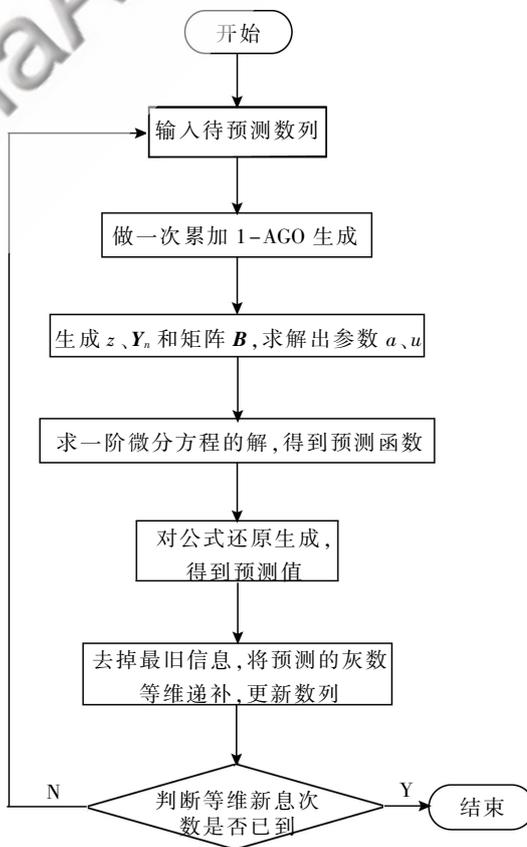


图 2 改进的 GM(1,1)等维新息算法流程图

软件天地 Software Technology

实现灰色等维新息算法的部分 Matlab 代码:

```
function X2=ImprovedGM(X1)
n=length(X1);           %计算原始数列 X1 长度 n
X1=zeros(1,n);
X1(1,1)=X1(1,1);       %对 x(0) 作一次累加 1-AGO
for i=2:n
    X1(i)=X1(i-1)+X1(i);
end
B=ones(n-1,2);
for i=1:n-1             %生成起始数据经灰化后累加的矩阵 B
    B(i)=-0.5*(X1(i)+X1(i+1));
end
Y=zeros(n-1,1);
for i=2:n
    Y(i-1)=X1(i);
end
alph=inv(B*B'*B)*B'*Y; %计算系数 a,u
a=alph(1);
b=alph(2);
X11=[X1,0];
for i=1:n
    X11(i+1)=(X1(1)-b/a)*exp(-a*i)+b/a;
end
X2=X11;
for i=2:n+1
    X2(i)=X11(i)-X11(i-1); %输出带预测值的结果矩阵
end
```

3 改进的 GM (1,1) 等维新息模型在能耗预测中的应用实例

本文结合从底层后关系型 Cache 数据库调取的某卷烟厂 2008 年一车间水、电能耗统计数据, $x^{(0)}(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)=(933.0\ 941.0\ 934.0\ 926.0\ 908.0\ 917.5\ 930.5\ 933.5\ 965.5\ 957.5)$, $x^{(0)}(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)=(7566.0\ 7784.0\ 8022.0\ 5296.0\ 5268.0\ 6071.0\ 7272.0\ 8797.0\ 8093.0\ 8212.0)$, 用上文实现的基于灰色等维新息模型算法程序对该车间 2009 年前 3 个月的水电消耗状况指标进行了预测。预测结果表 1 所示。

必须通过一定的检验手段和评价标准进行验证, 以保证预测值的精确性^[6]。灰色理论建模的检验一般都采用残差检验、后验差检验。

表 1 2009 年前 3 个月水、电预测值及分析

项目 年月	实际值		预测值		预测残差百分比/%	
	水	电	水	电	水	电
2009-01	948.0	8235.0	951.6	8 238.7	-0.38	-0.044
2009-02	950.5	8470.0	955.0	8 467.8	-0.48	0.025 8
2009-03	960.0	8710.0	958.5	8 703.3	0.16	0.076 6

3.1 残差检验

在回归分析中, 残差就是测定值与按回归方程预测的值之差, 即:

$$e(i)=x^{(0)}(i)-\hat{x}^{(0)}(i) \quad (i=1,2,\dots,n)$$

显然有多少对数据就有多少个残差。残差分析就是通过残差所提供的信息, 分析出数据的可靠性、周期性或其他干扰。对预测结果残差百分比的分析如表 1 所示, 可知对于水消耗预测的最大残差百分比仅为 -0.48%, 对于电消耗预测的最大残差百分比仅为 0.077%。

3.2 后验差检验

通常采用后验差方法对预测的精度进行检验, 预测的精度由 C 和 P 共同决定。一般可按表 2 所示标准划分精度等级, 精度等级越小越好, 1 级表示预测具有较高的精度, 4 级为不通过。

表 2 灰色理论预测精度评判标准

精度等级		1 级	2 级	3 级	4 级
精度要求	P	>0.95	>0.80	>0.70	≤0.70
	C	<0.35	<0.50	<0.65	≥0.65

表 2 中的 C 和 P 分别为后验差比、小误差概率。计算公式分别为:

$$C=S_2/S_1 \quad (9)$$

$$P=P(|e(k)-\bar{e}|<0.6745*\sqrt{S_1^2}), (k=1,2,\dots,n) \quad (10)$$

其中 S_1 、 S_2 分别为原始序列 $x^{(0)}$ 及残差序列 \bar{e} 的标准方差, $e(k)$ 为残差。其计算公式分别为:

$$e(k)=x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k) \quad (11)$$

$$S_1^2=\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x^{(0)}(k)-\bar{x}^{(0)})^2 \quad (12)$$

$$S_2^2=\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (e^{(k)}-\bar{e})^2 \quad (13)$$

其中 \bar{e} 为残差序列均值, $\bar{x}^{(0)}$ 为原始序列均值。

通过上面公式计算分析, 预测结果均方差比值精度 C (水) =0.097 4, C (电) =0.002 7, 小误差概率精度 P (水) =1.0, P (电) =1.0, 对比表 2 可知预测精度等级为 1 级。经残差检验、后验差检验都能通过, 表明预测结果完全满足误差精度的要求^[7], 该改进算法在预测能耗量问题是可行的。至此可将等维新息模型得到的并加以还原后的结果作为今后该卷烟厂每月下达的能耗指标, 并作为部门考核的依据, 该应用可以推广到其他问题上。

该算法实际上是把传统灰色拓扑预测中的灰色 GM(1,1) 模型改为了 GM(1,1) 等维新息模型, 对原始数据进行新陈代谢, 减小了初始数据对预测结果的影响, 体现了等维思想。通过上文对卷烟厂

(下转第 9 页)

《微型机与应用》2009 年第 22 期

(上接第 6 页)

能耗的预测应用,可知此算法完全满足误差精度的要求,针对有上升或下降的趋势、波动性比较大的数据,拟合误差小,预测效果极佳。

在 Matlab 平台上实现了改进的等维新息灰色预测模型算法,计算方便、精度可靠,能动态反映实测数据的内在规律,说明了算法的科学合理性,具有实际应用价值。

灰色预测模型是利用历史数据进行预测,没有考虑系统状态方程模型^[8],为了进一步优化算法,有必要进行进一步的探索研究:参与运算的原始数据个数的确定以及对运动模型的参照分析。

参考文献

- [1] 尹慧琳,王磊,农静.一种基于灰色等维新息模型的目标跟踪算法[J].计算机工程与应用,2008,44(27):24-25.
- [2] 邓聚龙.灰色理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [3] 王桂娟,邹洁.利用等维新息模型进行人数预测[J].河北科技大学学报,2008(01):69-71.

《微型机与应用》2009年第22期

《电子技术应用》 www.ChinaAET.com

- [4] 高明,李芳竹,梁杰.基于灰色理论的中长期负荷预测[J].吉林电力,2008,36(4):22-24.
- [5] 陈学俊.能源工程的发展与展望[J].东南大学学报(自然科学版),2003,30(4):100-104.
- [6] 谢正文,胡毅夫,余巍伟.无偏等维新息模型在路基沉降预测中的应用[J].中南公路工程,2007,32(01):102-105.
- [7] 张立亭.时间序列的灰色建模试验[J].武汉大学学报(工学版),2005,38(1):117-120.
- [8] WANG Xian Min, CHEN Zai Kang, YANG Chang Zhi, et al. Gray pre-dicting theory and application of energy consumption of buildingheat-moisture system. Building and Environment, 1999, 34:417-420.

(收稿日期:2009-05-25)

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 9