

# 高速公路交通量预测的 GM(1,1)残差改进模型

林文新,王建伟,袁长伟

(长安大学 经济与管理学院,陕西 西安 710064)

**摘 要:**针对传统 GM(1,1)模型在预测高速公路交通量中存在误差过大、计算复杂的问题,通过定义残差序列,对预测序列与残差序列进行累加再处理,构造新的序列数据;并且对新序列数据构造 GM(1,1)残差改进模型,以进行预测。模型应用于某高速公路某收费站,对 9 期序列数据进行了模拟预测。结果表明,GM(1,1)残差改进模型的平均预测误差为 7.25%,优于传统 GM(1,1)模型预测的平均相对误差 12.7%。

**关键词:**交通工程;交通量预测;灰色系统;GM(1,1)残差改进模型

**中图分类号:**U491; F540.3 **文献标志码:**A

## Residuals improved GM (1,1) model of expressway traffic volume prediction

LIN Wen-xin, WANG Jian-wei, YUAN Chang-wei

(School of Economy and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Expressway traffic has typical characteristics of gray system. In order to minis the excessive error and computational complexity from traditional GM (1,1) model in expressway traffic volume prediction, this paper defines the residual series, formulates a new sequence by using the sum of predicting sequence and the absolute value of residual sequence so as to construct a residuals improved GM (1,1) model to predict expressway traffic volume. The model is applied to an expressway for predicting 9 series data. The results shows that the average error of residuals improved GM (1,1) model is 7.25%, which is significantly better than that 12.7% of traditional GM (1,1) model. 3 tabs, 9 refs.

**Key words:** traffic engineering; traffic volume prediction; gray system; residuals improved GM (1,1) mode

## 0 引言

交通量预测是交通管理领域中的核心问题之一。高速公路交通系统是一个多因素作用、多层次结构的复杂系统。由于高速公路交通量累计数据的不足,交通系统受多因素作用,作用机制模糊,在高

速公路网络逐渐形成过程中,系统的状态、结构与边界等难以精确描述,使得高速公路交通量具有显著的动态变化随机性与不确定性。高速公路交通属于典型的灰色系统,而交通量又是高速公路运营管理与设施投资维护等决策最为重要的依据之一。通过研究交通流在时间、空间上的变化规律,可以为高速

公路运营管理决策提供必要的依据。

由于交通量预测的复杂性,目前产生了诸多的预测模型,如时间序列模型、非参数回归模型和卡尔曼滤波模型等<sup>[1-4]</sup>。而由于交通系统的灰色系统特性,灰色预测方法在交通量预测方面得到了广泛的应用,陈淑燕等将灰色预测方法应用于道路交通量预测<sup>[5]</sup>;陈雷将灰色理论应用于高速公路交通预测<sup>[6]</sup>。由于灰色预测存在的一些缺点,有相关研究对灰色 GM(1,1)进行了改进研究<sup>[7-8]</sup>。但是,由于模型求解过程相当繁琐,影响了模型的进一步推广应用。为此,本文以传统 GM(1,1)模型的解法为基础,通过对预测序列与残差序列进行再处理,构造新序列,并且以新序列构建残差改进模型,实现传统 GM(1,1)模型的改进。

## 1 GM(1,1)模型

灰色系统理论具有所需样本数据少、原理简单、运算方便、短期预测精度高、可检验等优点。灰色系统建模实际上是对生产数列的建模,且只需原始数据列有 4 个以上数据,即可通过生产变换(累加生成或累减生成)来建立灰色模型。GM(1,1)模型是一种单变量、一阶微分方程,是进行灰色预测中常用的模型<sup>[9]</sup>。基本的建模过程为

设原始数据记为  $x^{(0)}(t) (t = 1, 2, \dots, n)$ , 通过对原始数据进行一次累加,生成新数列  $x^{(1)}(t)$  为

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

并且,  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ 。

假定  $x^{(1)}(t)$  具有近似指数变化规律,则通过构建白化方程,建立灰色预测模型,其形式为

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dx} - ax^{(1)}(t) = b \quad (2)$$

式中:  $a$  为发展系数,其大小反映了序列  $x^{(0)}(t)$  的增长速度;  $b$  为灰色作用量。

式(2)中的  $a, b$  两参数可由最小二乘法求得,将参数  $a, b$  代入式(2)中,可求得离散响应函数为

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (3)$$

由于数列  $x^{(1)}$  是由  $x^{(0)}$  累加生成,所以对  $\hat{x}^{(0)}$  进行逆累加,还原可得

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (4)$$

其中,  $t = 1, 2, \dots, n$ 。至此,即可得到一组预测序列。

## 2 GM(1,1)模型的残差修正模型

### 2.1 残差修正模型

在 GM(1,1) 模型中,用原始序列  $x^{(0)}(t)$  建立的 GM(1,1) 模型式(3),可获得生成序列  $x^{(0)}(t)$  的预测值。为修正模型预测值的偏差,在改进中,定义残差序列  $\epsilon^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t) (t = 1, 2, \dots, n)$ , 使用残差序列加上预测序列式(4),可得一组新序列公式为

$$y^{(0)}(t) = \hat{x}^{(0)}(t) + \min_t |\epsilon^{(0)}(t)| \quad (5)$$

类似于  $x^{(1)}(t)$ , 对序列  $y^{(0)}(t)$  作一次累加生成,得序列  $y^{(1)}(t)$ , 建立相应的 GM 预测模型为

$$\frac{dy^{(1)}(t)}{dy} - ay^{(1)}(t) = b \quad (6)$$

微分方程式(6)中的  $a, b$  两参数同样可由最小二乘法求得。将参数  $a, b$  代入微分方程式(6)中,可求得离散响应函数为

$$y(t+1) = (y^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (7)$$

类似于式(4),所以,再做逆累加生成还原可得

$$y^{(0)}(t+1) = y^{(1)}(t+1) - y^{(1)}(t) \quad (8)$$

至此,即可得到一组 GM(1,1) 残差修正模型的预测序列。

### 2.2 残差检验

模型在应用于具体预测前,需要对模型进行残差检验。残差序列计算公式为

$$e^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - y^{(0)}(t) \quad (9)$$

为考察残差的大小水平,需计算相对误差  $\gamma(t)$ , 公式为

$$\gamma(t) = \frac{e^{(0)}(t)}{x^{(0)}(t)} \times 100\% \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

在相对误差的基础上,计算平均相对误差  $\bar{\gamma}(t)$

$$\bar{\gamma}(t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \gamma(t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e^{(0)}(t)|}{x^{(0)}(t)} \quad (11)$$

模型合格性的判定是以  $\bar{\gamma}(t)$  为准,根据统计学的检验要求,一般要求  $\bar{\gamma}(t) \leq 20\%$ ,最好是  $\bar{\gamma}(t) \leq 10\%$ 。若超出上述范围,则需要进行残差修正。若当所得模型不合格时,需以式(8)再作残差修正模型,直至通过上述残差检验。

## 3 实例应用

本文以梅观(梅林—黎光村)高速公路某收费

站 9 年交通量的时间序列数据进行实例应用。原始数据见表 1。

表 1 梅观高速公路某收费站 2000 ~ 2009 年日均交通量数据

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
交通流量 /veh	19 948	22 709	27 837	36 529	43 243	51 161	56 479	52 285	54 779

由于高速公路收费站的灰色系统特性,故将本文提出的 GM(1,1) 残差改进模型用于该收费站的交通量预测。根据传统 GM(1,1) 模型和 GM(1,1) 残差改进模型编写程序时,使用 Matlab 软件进行建模、预测。

以传统 GM(1,1) 模型对 9 个交通流量数据进行建模,得出离散响应函数式(12),由此所进行的预测值和相对误差见表 2。

$$\hat{x}^{(1)}(t)=10\,244\mathrm{e}^{0.196(t-1)}+9\,603$$

(12)

表 2 交通流量数据序列预测值与相对误差

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
预测流量 /veh	22 065	24 763	28 046	32 040	36 898	42 808	49 997	58 744	69 384
相对误差 /%	10.61	9.04	0.75	-12.29	-14.67	-16.33	-11.48	12.35	26.66

$\bar{\gamma}(t)=12.7\%>10\%$ ,所以使用交通量前 9 个数据构建的 GM(1,1) 模型模拟效果并不好,预测结果不甚理想,需要对模型加以改进。

结合传统 GM(1,1) 模型的预测值与残差序列,

以 GM(1,1) 残差修正模型对收费站交通量数据进行建模,得出离散响应函数式(13);所得预测值和相对误差见表 3。

$$y^{(1)}(t)=17\,820\mathrm{e}^{0.158(t-1)}+105$$

(13)

表 3 交通流量数据序列预测值与相对误差

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
预测流量 /veh	20 870	24 442	28 626	33 526	39 265	45 985	53 856	55 367	59 818
相对误差 /%	5.1	8.1	3.2	7.9	9.0	9.9	4.5	5.9	9.2

在表 3 中,平均相对误差为  $\bar{\gamma}(t)=7.25\%<10\%$ ,较之残差修正前的传统 GM(1,1) 模型,已大大得以优化,模型预测结果已符合检验要求,可以用于短期预测。

由于模型残差的存在,使得传统 GM(1,1) 模型在实际预测中有时会出现较大误差。通过构建 GM(1,1) 残差改进模型,使用预测序列与残差序列绝对值之和来构造新序列,对新序列进行建模,并对传统的 GM(1,1) 模型进行改进,获得了较好的模拟效果。

## 4 结 语

(1)高速公路交通系统受多因素作用,作用机制模糊,同时由于高速公路交通量历史累计数据不足,高速公路交通量具有显著的动态变化随机性与不确定性,属于典型的灰色系统。

(2)传统的 GM(1,1)模型在预测中由于缺乏对残差的处理,有时会导致误差过大而影响模型的实际应用;本文通过对 GM(1,1)模型残差序列的再处理,使用预测序列与残差序列绝对值之和来构造新序列,对新序列构建 GM(1,1)残差改进模型;通过实例应用,GM(1,1)残差改进模型能显著改进传统

GM(1,1)的预测精度,提高模型的实际应用。

(3)为更加准确地预测高速公路交通量,为高速公路运营管理提供决策依据,需要在预测中加入定性的作用机制分析,以弥补单纯的数据分析带来的误差缺陷。

### 参考文献:

### References:

- [1] 刘 静,关 伟.交通流预测方法综述[J].公路交通科技,2004,21(3):82-85.  
LIU Jing, GUAN Wei. A summary of traffic flow forecasting methods[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(3):82-85.
- [2] 芮少权,匡安乐.高速公路月度交通量 ARIMA 预测模型[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(4):82-85,91.  
RUI Shao-quan, KUANG An-le. ARIMA model of expressway traffic volume monthly forecasting[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4):82-85, 91.

(下转第 96 页)

- YAN Xiu-xia, SUN Lin-yan, WANG Kan-chang. Research on performance evaluation and characteristics in logistics service supply chain[J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(11): 969-974.
  - [4] 姜方桃. 供应链管理绩效评价的模糊综合评价法[J]. 统计与决策, 2006(18): 160-162.  
JIANG Fang-tao. Fuzzy synthetic evaluation method on supply chain management performance[J]. Statistics and Decision, 2006(18): 160-162.
  - [5] 黄国青, 华凤燕. 绿色供应链绩效评价的模型研究[J]. 工业工程, 2007, 10(1): 116-121, 129.  
HUANG Guo-qing, HUA Feng-yan. Research model of performance evaluation of green supply chain[J]. Industrial Engineering Journal, 2007, 10(1): 116-121, 129.
  - [6] 林佳. 供应链复合绩效评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
  - [7] 席一凡, 王超, 聂兴信. 基于模糊神经网络的供应链绩效评价方法研究[J]. 情报杂志, 2007(9): 77-79.  
XI Yi-fan, WANG Chao, NIE Xing-xin. Research on evaluation of supply chain performance based on FNN[J]. Journal of Information, 2007(9): 77-79.
  - [8] 邓叶飞. 汽车工业供应链绩效评价体系研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2010.
  - [9] Kleijnen J P C, Smits M T. Performance metrics in supply chain management[J]. Journal of the Operational Research Society, 2003, 54(5): 507-514.
  - [10] 廖文辉. 供应链环境下的汽车零部件供应商综合评价体系的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
  - [11] Gunasakaran A C, Patel E T. Performance measures and metrics in a supply chain environment[J]. International Journal of Operations and Production Management, 2001(1): 71-87.
  - [12] 孟颖, 张强, 杨玉中, 等. 煤业集团供应商选择的可拓方法[J]. 运筹与管理, 2006, 15(6): 145-150.  
MENG Ying, ZHANG Qiang, YANG Yu-zhong, et al. Extensive method of supplier selection in coal group[J]. Operations Research and Management Science, 2006, 15(6): 145-150.
  - [13] 杨玉中, 吴立云, 黄卓敏, 等. 矿井通风系统评价的可拓方法[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1): 126-130.  
YANG Yu-zhong, WU Li-yun, HUANG Zhuo-min, et al. The extension method for the evaluation of mine ventilation system[J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(1): 126-130.

.....

(上接第 79 页)

  - [3] 王晓原, 杨新月. 驾驶行为非参数微观仿真模型[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(1): 76-80.  
WANG Xiao-yuan, YANG Xin-yue. Nonparametric microscopic simulation model of driving behavior[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 76-80.
  - [4] 王炎, 王华. 基于 BP-NN 和遗传算法的高速公路交通量预测[J]. 计算机工程与应用, 2006, 18(4): 226-228.  
WANG Yan, WANG Hua. Prediction of highway traffic based on BP-neural network and genetic algorithms[J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 18(4): 226-228.
  - [5] 陈淑燕, 陈家胜. 一种改进的灰色模型在交通量预测中的应用[J]. 公路交通科技, 2004, 21(2): 80-83.  
CHEN Shu-yan, CHEN Jia-sheng. Application of a novel grey model to traffic flow prediction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(2): 80-83.
  - [6] 陈雷. 灰色理论在高速公路交通量预测中的应用[J]. 辽宁交通科技, 2005, 12(10): 37-39.  
CHEN Lei. Application of gray theory in freeway traffic volume prediction[J]. Liaoning Communication Science and Technology, 2005, 12(10): 37-39.
  - [7] 彭辉, 魏金丽, 陈宽民. 运输通道公路旅客中长距离 OD 模型构造及分段客运量预测[J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 101-105.  
PENG Hui, WEI Jin-li, CHEN Kuan-min. Construction of OD model of middle and long distance highway trips and prediction of segment passenger volume of transport corridor[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 101-105.
  - [8] 许研. 长春—吉林高速公路交通量预测分析[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
  - [9] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 修订版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.