

文章编号: 1002-0268 (2003) 04-0098-03

# 道路交通事故灰色马尔可夫预测模型

李相勇, 张 南, 蒋葛夫  
(西南交通大学交通运输学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 在道路交通事故灰色预测的基础上, 引入马尔可夫链预测理论, 建立道路交通事故灰色马尔可夫预测模型。道路交通事故灰色马尔可夫预测兼有灰色预测和马尔可夫链预测的优点, 模型克服了随机波动性数据对道路交通事故预测精度的影响, 拓宽了灰色预测的应用范围。实例计算证明: 道路交通事故灰色马尔可夫预测模型预测精度高于 GM (1, 1) 模型预测精度, 模型可以用于道路交通事故预测。

**关键词:** 道路交通事故; 灰色模型; 马尔可夫链; 预测

**中图分类号:** U491.3      **文献标识码:** A

## Grey-markov Model for Forecasting Road Accidents

Li Xiang-yong, ZHANG Nan, JIANG Ge-fu  
(School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Sichuan Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Based on grey method of roads accidents forecast, the Markov chains forecast method is presented in this paper and the grey-Markov model for forecasting road accidents is built in this paper. The model has the merits of both grey forecasting and Markov chains forecasting which reduces random fluctuation of accident data affecting forecasting precision and widens the application scope of grey forecasting. The example shows that the precision of grey-Markov model for forecasting road accidents is better than that of grey model and the model can be used for road accidents forecast.

**Key words:** Road accidents; Grey model; Markov chains; Forecast

### 0 引言

道路交通事故预测对于探究道路交通事故的发生规律, 分析现有道路交通条件下交通事故的未来发展趋势以及道路交通安全控制等具有重要意义。道路交通事故预测是道路交通安全评价、规划以及决策的基础。国内外对于道路交通事故预测进行了多方面研究, 提出了一些较实用的事故预测方法, 主要有以下几种:

(1) 回归模型法 回归模型法是运用概率统计的方法拟合道路交通事故记录和影响道路交通事故发生的因素, 建立道路交通事故预测模型。这种预测原理是利用道路交通事故时间序列的几何特征和统计规律, 对交通事故序列未来发展进行估计, 回归模型预测方法的缺点在于模型的建立需要大量的交通事故历史资料。

(2) 经验模型法 目前比较典型的经验模型法有斯密德模型和北京模型, 经验模型虽然具有一定的实用性, 但是模型运用受地域和具体道路交通条件限制, 模型的运用范围受到了限制。

(3) 时间序列法<sup>[1]</sup> 该法运用过去的交通事故资料中包含着未来的基本信息模式的原理, 将道路交通事故时间序列分解为: 趋势变动、循环变动、季节变动和随机变动, 构造交通事故时间序列预测模型。

(4) 灰色预测法 该法是将道路交通系统看成是一个灰色系统, 将道路交通事故作为道路交通系统行为特征量处理, 运用灰色理论和方法建立道路交通事故预测模型。

本文基于道路交通事故灰色预测方法, 引入马尔可夫链预测理论, 建立了道路交通事故灰色马尔可夫

预测模型。

## 1 道路交通事故灰色马尔可夫预测的思想

道路交通事故灰色预测具有所需信息较少, 计算简便, 精度较高等特点, 它克服回顾模型以及经验模型的缺点, 不必罗列影响道路交通事故的因素数据, 而是从道路交通事故自身时间数据序列中寻找有用信息, 探究其内在规律, 建立  $GM(1, 1)$  模型进行预测。道路交通事故灰色预测的实质是以指数型曲线去拟合原始数据, 其预测结果几何图形是一条较为平滑的曲线, 因而对于波动性较大的道路交通事故数据列拟合较差, 预测精度较低。虽然灰色预测模型本身也具有提高预测精度的方法, 如残差辨识法以及提高预测模型阶数等方法, 但是对于波动性较大的非平稳数列的预测, 预测结果精度较低, 甚至可能增大误差。基于马尔可夫随机过程的马氏链理论则为问题的解决提供了可能。马尔可夫随机过程理论指出: 系统将来所处的状态只与现在系统状态有关, 而与系统过去的状态无关。马尔可夫预测是根据系统状态之间的转移概率来预测系统未来发展, 转移概率反映了各种随机因素的影响程度, 反映了各状态之间的内在规律性。马尔可夫预测适用于随机波动性较大的问题的预测, 由于道路交通系统是一个动态的时变系统, 道路交通事故作为道路交通系统这一灰色系统的行为特征量, 它的发生呈现某种变化趋势的非平稳随机过程。所以可以利用灰色预测和马尔可夫预测各自特点建立道路交通事故的灰色马尔可夫预测模型, 用灰色预测来揭示道路交通事故时序变化的总体趋势, 用马尔可夫预测来确定状态的转移规律<sup>[2]</sup>。道路交通事故灰色马尔可夫预测模型能够有效地利用道路交通事故历史数据给予的信息, 可以大大提高随机波动性较大数据列的预测精度<sup>[2]</sup>。

## 2 道路交通事故灰色马尔可夫预测模型

### 2.1 建立道路交通事故 $GM(1, 1)$ 模型

设道路交通事故原始数据序列  $X^{(0)}(t) = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)\}$ , 运用灰色系统理论可以建立道路交通事故  $GM(1, 1)$  模型

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

$$\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (2)$$

$$\text{设} \quad Y(t) = \hat{x}^{(0)}(t+1) \quad (3)$$

式中,  $Y(t)$  为  $t$  时刻  $GM(1, 1)$  模型求得的道路交通事故预测值,  $\hat{x}^{(0)}(t+1)$  曲线较好地反映了道路交通事

故原始数据列的总体变化趋势。

### 2.2 状态划分

对于一个具有马尔可夫链特点的非平稳随机序列  $Y(t)$  ( $Y(t) = X^{(0)}(t+1)$ ), 将其划分为  $n$  个状态, 任一状态表示为

$$\odot_i = [\odot_{i1}, \odot_{i2}], \odot_i \in \odot, i = (1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$\odot_{i1} = Y(t) + A_i \quad (5)$$

$$\odot_{i2} = Y(t) + B_i \quad (6)$$

灰元  $\odot_{i1}$ ,  $\odot_{i2}$  随时间  $t$  变化而变化, 状态划分的数目  $n$  以及  $A_i$ ,  $B_i$  可以根据原始道路交通事故数据来确定。

### 2.3 状态转移概率计算

状态转移概率

$$P_{ij}(k) = \frac{M_{ij}(k)}{M_i}; i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

状态转移概率矩阵

$$P(k) = \begin{bmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & \dots & P_{1n}(k) \\ P_{21}(k) & P_{22}(k) & \dots & P_{2n}(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1}(k) & P_{n2}(k) & \dots & P_{nn}(k) \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中,  $M_{ij}(k)$  表示道路交通事故数由状态  $\odot_i$  经过  $k$  步转移到状态  $\odot_j$  的原始道路交通事故数据样本数;  $M_i$  表示处于  $\odot_i$  状态的原始道路交通事故数据样本数;  $P_{ij}(k)$  表示道路交通事故由  $\odot_i$  状态经  $k$  步转移到状态  $\odot_j$  的概率。

状态转移概率矩阵  $P(k)$  描述了系统各状态转移的全部统计规律<sup>[2]</sup>, 在实际运用中, 一般只要考察一步转移概率矩阵  $P^{(1)}$ , 设预测时刻道路交通事故处于  $\odot_k$  状态, 则考察状态转移概率矩阵  $P(k)$  中第  $k$  行, 若

$$\max(P_{kj}) = P_{kl} \quad (9)$$

则可认为下一时刻系统最有可能由  $\odot_k$  状态转向  $\odot_l$  状态<sup>[3]</sup>。若遇矩阵  $P^{(1)}$  中第  $k$  行有两个或者两个以上概率相同或相近时, 则状态的未来转向难以确定, 此时需要考察二步或  $n$  步转移概率矩阵  $P^{(2)}$  和  $P^{(n)}$  (其中  $n \geq 3$ )<sup>[3]</sup>。

### 2.4 道路交通事故灰色马尔可夫预测

当确定了道路交通事故未来状态转移概率矩阵后, 也就确定未来时刻道路交通事故的变动灰区间, 可以用区间中位数作为未来时刻道路交通事故的预测值  $G(t)$ , 即

$$G(t) = 2^{-1}(\odot_{i1} + \odot_{i2}) = Y(t) + 2^{-1}(A_i + B_i) \quad (10)$$

3 预测实例

以我国 1971~ 1997 年道路交通事故统计指标数

据之一的道路交通事故死亡人数为例, 检验道路交通事故灰色马尔可夫预测模型预测精度并进行未来道路交通事故预测, 原始道路交通事故数据见表 1。

1971~ 1997 年我国道路交通事故死亡人数统计 表 1

| 年 份         | 1971    | 1972    | 1973    | 1974   | 1975   | 1976    | 1977    | 1978   | 1979    |
|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| 事故死亡人数 (千人) | 11. 331 | 11. 849 | 13. 215 | 15 599 | 16 862 | 19. 441 | 20. 427 | 19 096 | 21. 856 |
| 年 份         | 1980    | 1981    | 1982    | 1983   | 1984   | 1985    | 1986    | 1987   | 1988    |
| 事故死亡人数 (千人) | 21. 818 | 22. 499 | 22. 164 | 23 944 | 25 251 | 40. 906 | 50. 063 | 53 439 | 54. 814 |
| 年 份         | 1989    | 1990    | 1991    | 1992   | 1993   | 1994    | 1995    | 1996   | 1997    |
| 事故死亡人数 (千人) | 50. 441 | 49. 271 | 53. 292 | 58 729 | 63 508 | 66. 362 | 71. 494 | 73 655 | 73. 861 |

注: 表中数据摘自 2001 年《中国交通年鉴》公安部交通管理局道路交通事故统计。

(1) 建立 GM (1, 1) 模型

由表 1 原始道路交通事故数据建立如下道路交通事故统计指标——死亡人数的 GM (1, 1) 模型。

$\hat{x}^{(1)} (t+1) = 209.55565e^{0.0696t} - 198.2256$   
 $\hat{x}^{(0)} (t+1) = 14.5851e^{0.0696t}$

设  $Y(t) = \hat{x}^{(0)} (t+1)$

模型精度检验计算如表 2。

GM (1, 1) 精度检验 表 2

| $x^{(0)}(t)$ 方差 $S_1$ | 残差 $q^{(0)}(t)$ 方差 $S_2$ | 后验差比值 $C$ | 小误差频率 $P$ |
|-----------------------|--------------------------|-----------|-----------|
| 448.0314              | 28.2686                  | 0.0631    | 1         |

根据文献[3]中灰色预测模型精度检验等级参照表, 上述建立的道路交通事故统计指标——死亡人数的 GM(1, 1) 模型预测精度为一级, 因此模型较好地反映了道路交通事故的变化趋势, 模型可以用于道路交通事故预测。

(2) 状态划分

根据表 1 道路交通事故死亡人数统计数据, 将道路交通事故作如下状态划分

$\odot_1: \odot_{11}= Y(t)-20$                        $\odot_{21}= Y(t)-5$

$\odot_2: \odot_{12}= Y(t)-5$                        $\odot_{22}= Y(t)$

$\odot_3: \odot_{13}= Y(t)$                        $\odot_{23}= Y(t)+5$

$\odot_4: \odot_{14}= Y(t)+5$                        $\odot_{24}= Y(t)+20$

式中,  $Y(t)$  为  $t$  时刻道路交通事故死亡人数的 GM (1, 1) 模型预测值。

(3) 计算状态转移概率及其事故预测

由表 1 以及上述状态划分, 可得道路交通事故一步状态转移概率矩阵

$$P(1) = \begin{bmatrix} \frac{6}{7} & 0 & \frac{1}{7} & 0 \\ \frac{2}{14} & \frac{12}{14} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix}$$

根据以上状态转移概率矩阵可以预测未来道路交通事故, 由表 1 知 1997 年道路交通事故处于状态  $\odot_1$ , 则根据状态转移概率确定方法, 考察状态转移概率矩阵  $P$  的第 1 行,  $\max P_{1j} = P_{11} (j=1 \dots 4)$ , 经过 1 年转移, 1998 年道路交通事故最有可能处于  $\odot_1$ , 根据式 (1)、(2) 和 (10), 1998 年道路交通事故死亡人数最有可能为

$G(28) = \frac{1}{2}(\odot_{11} + \odot_{21}) = Y(28) - \frac{1}{2}(20 + 5) = 79.759$

同理可以预测 1999~ 2002 年的道路交通事故死亡人数, 表 3 为 1997~ 2000 年道路交通事故灰色预测结果与灰色马尔可夫预测结果比较。

道路交通事故预测比较 表 3

| 年份   | 道路交通事故<br>实际死亡人数<br>(千人) | GM (1, 1) 模型 |             | 灰色马尔可夫模型    |             |
|------|--------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|      |                          | 预测值<br>(千人)  | 预测精度<br>(%) | 预测值<br>(千人) | 预测精度<br>(%) |
| 1997 | 73.861                   | 85.715       | 83.95       | 73.215      | 99.13       |
| 1998 | 78.067                   | 92.259       | 81.82       | 79.759      | 97.83       |
| 1999 | 83.529                   | 98.909       | 81.59       | 86.409      | 96.55       |
| 2000 | 93.853                   | 106.038      | 87.02       | 93.538      | 99.66       |

由表 3 道路交通事故 GM (1, 1) 模型和灰色马尔可夫模型预测精度比较可知: 灰色马尔可夫预测模型预测精度明显高于 GM 模型预测。运用建立的灰色马尔可夫模型预测 2001 年和 2002 年道路交通事故死亡人数分别为: 101.182 千人和 109.376 千人。同理道路交通事故灰色马尔可夫预测模型也可以用于道路交通事故的其它 3 项统计指标 (事故次数、事故损失以及事故受伤人数) 的预测。

4 结论

在道路交通事故灰色预测的基础上, 本文引入马尔可夫链预测方法, 建立了道路交通事故灰色马尔可夫预测模型。并通过实例验证了模型的预测精度。由于道交通事故的发生机理非常复杂, 是多致因因素联合效用下的产物, 交通事故的发生受(下转第 104 页)

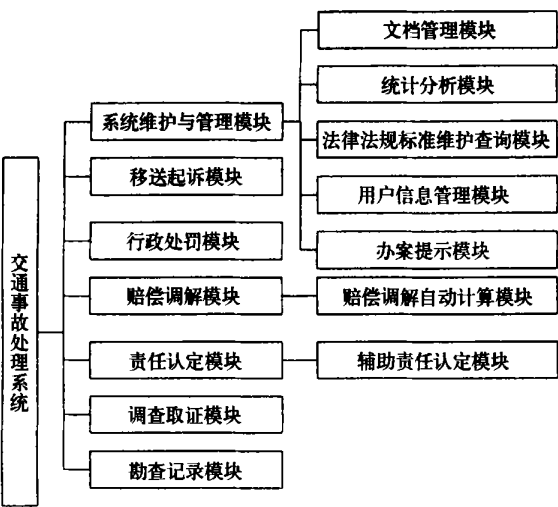


图 4 交警系统功能结构图

首先，云南省所有大队通过带宽为 2M 的公安专网联系，各个大队下属的中队能通过拨号上网进入系统。因此系统能实现计算机网络化处理交通事故，提高了办案效率，减少了开支。该案件由地处距昆明 200 多 km 的楚大大队一中队处理，立案审批权则归属位于大理的楚大大队，而更高一级的文档审批如《公安行政处罚案件呈批表》、《注销机动车驾驶证呈批表》等还必须报位于昆明的直属支队审批。以前类似的案子，花费在案件审批上的时间就达近四五天，严重影响案件处理的时效性，而且路费、油费等开销也增加了办公开支。现在依靠系统的电子签名、图片传输和办案提示功能，则能实现网络化处理、审批交通事故，减少了开支，节省了 time，提高了办案的效率。

其次，系统减轻了办案人员的负担，使交通事故的处理更加规范、高效。由于系统能够打印与国标相

一致的案件处理文档，避免了由于手写不清楚可能出现的对案件处理误会，使得案件处理更加规范；对同一案件的基本信息如案件的时间、地点、当事人及肇事车辆等，用户在计算机上输入一次后，其他相关文档可以直接调用，减少了手工多次填写，同时也避免了手工填写的错误，使得办案人员将更多时间花在实质性问题，提高了办案效率；根据云南省交警的具体情况，系统设计的九级权限保障了办案人员对案件访问的不同权限，杜绝了恶意的篡改；系统可以随时查询交通事故处理涉及到的相关法律法规，使得办案人员在处理过程中有法可依；系统允许办案人员自己决定案件处理过程可以公开的文档，当事人可以在公安专网上任意一台装有该系统的终端查询案件中已公开的文档，对案件的处理有监督作用，一定程度上保证了案件处理的公正性；全省案件的数据集中处理大大方便了对交通事故进行分析统计，并对交通事故的预防提供直接的依据。

6 结语

数据库技术和计算机网络的应用，使道路交通事故处理变得更加规范、高效。清华大学和云南省合作开发的云南省道路交通事故处理系统在交通事故处理中的应用表明了计算机在交通事故处理中有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 柴跃廷, 刘义. 应用软件系统开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

[2] 郭建华, 黄卫, 陆毅, 刘新旺. 高速公路工程质量管理数据库设计 [J]. 公路交通科技, 2001, 18 (4): 35- 39

(上接第 100 页) 政治、经济等若干敏感随机因素的影响，道路交通事故灰色马尔可夫预测模型兼有灰色预测和马尔可夫链预测两者的优点，灰色预测曲线反映道路交通事故历史发展趋势，马尔可夫链预测用来反映随机波动性对事故预测的影响，反映政治、经济等道路交通事故致因因素的影响。道路交通事故灰色马尔可夫预测扩展了灰色预测的应用范围，提高道路交通事故的预测精度，模型可以用于实际道路交通事故预测。

需要指出的是道路交通事故灰色马尔可夫预测正确与否受道路交通事故的状态划分的影响，目前对于

事故状态的划分尚缺乏统一的标准，有待进一步研究。由于道路交通事故的随机性、波动性以及不确定性，应进一步深入研究，综合运用各种预测方法，为交通安全控制提供有效的决策支持。

参考文献:

[1] 刘小明. 交通事故时间序列预测方法研究 [J]. 中国公路学报, 1995, 8 (增 1): 125- 126.

[2] 张启明. 灰色马尔可夫预测模型及在地震预报中的应用 [J]. 地震学刊, 1994, 7 (1): 27- 29.

[3] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 120 123