

灰色关联分析法在 公路交通事故黑点成因分析中的应用

潘昭宇^{1,2} 过秀成¹ 盛玉刚¹ 潘敏荣¹ 卢光明¹

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096

2. 北京交通发展研究中心, 北京 100055

摘要: 针对公路交通事故黑点原因的不确定性, 本文从人、车、路、环境4个子系统整体出发, 确定与事故相关的主因素。采用概率统计方法确定各主因素的主元素, 并运用灰色关联分析法, 对各主元素的事
故指标进行统计分析, 计算其关联系数及关联度, 最终通过各主元素关联度的大小来确定事故黑点成因。

关键词: 主因素; 关联度; 事故成因; 交通事故

中图分类号: U491.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2008)03-0096-06

Cause Analysis on the Formation of the Highway Traffic Black-spot with the Gray Association Degree Method

PAN Zhao-yu^{1,2} GUO Xiu-cheng¹ SHENG Yu-gang¹ PAN Min-rong¹ LU Guang-ming¹

1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China

2. Beijing Transportation Research Center, Beijing 100055, China

Abstract: Aiming at the uncertain factors forming highway traffic accident black-spots, this paper considered the four subsystems of people, vehicles, roads, surroundings as a whole, and determined the main accident factors. It also determined the primary elements of main factor based on the probability statistics method, made a statistical analysis on the accident indices of each main factor, and calculated the relational coefficients and

收稿日期: 2007-05-23.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(项目批准号: 50422283)。

作者简介: 潘昭宇(1981-), 男, 四川隆昌人, 东南大学硕士毕业, 现就职于北京交通发展研究中心, 主要研究方向为城市交通规划与管理、道路交通安全。

association degree with the gray association degree method. Finally, the causes forming the accident black-spots were determined through the association degree of the primary elements.

Key words: Main factor, primary element, association degree, cause of accident, traffic accidents

0 引言

对于道路上的交通事故多发点,预防发生事故的首要任务就是分析其成因,找出引发事故的主要影响因素,进而为制定相应对策提供依据^[1]。然而,交通事故往往是多种因素综合作用的结果,并且由于道路交通系统是由人一车一路一交通环境组成的动态系统,系统既有人们已知确定的信息(比如道路、交通设施构成等),也存在一些未知和不确定的信息(如驾驶人员心理状况以及道路交通系统内部各因素作用机理等)^[2]。因此,对于交通事故成因存在一定的确定性和极大的不确定性,采用经典数学模型很难得到准确合理的分析结果。根据灰色系统理论,知人们对客观事物的认识具有广泛的灰色性,即信息的不完全性和不确定性^[3],因而道路交通系统可以看成是一个动态的灰色系统,本文考虑运用灰色系统理论的灰色关联分析法来研究公路事故黑点成因。

1 问题描述

公路交通事故黑点成因分析可以描述为:针对某一黑点路段,选取能比较全面反映对事故具有影响的 n 个因素作为初始因素,通过对一段时期内的事故数据(在此不妨以四项基本指标 X_1, X_2, X_3, X_4 为例)的分析,采用一定的模型、算法来确定各初始因素对事故的影响程度,即综合指标 Y ,并最终根据 Y 的大小来确定事故成因,如表1所示。

2 灰色关联分析法的思路

对于交通事故黑点成因分析,一方面需要考虑交通事故的随机性与不确定性,另一方面应从道路交通

表1 事故黑点成因分析问题描述

Tab.1 Description of the traffic black-spot cause analysis

事故指标	初始因素				
	因素1	因素2	因素3	...	因素 n
事故次数 X_1					
死亡人数 X_2					
受伤人数 X_3					
经济损失 X_4					
综合指标 Y					

系统整体出发,确定事故黑点的主要影响因素。

应用灰色关联分析法确定事故黑点成因,首先是从道路交通系统的机动车及驾驶员、非机动车及行人、道路、环境四个子系统出发,选取对事故影响较为显著的因素作为主因素,对每类主因素选取主要元素进行事故指标的统计,并对每类主因素采用灰色关联分析法确定各类因素集中相应主元素的灰色关联度,以此来确定综合指标 Y ,从而达到界定事故成因的目的。

这其中主因素有三层含义:①由于不同的事故形态的事故形成机理不同,因而事故成因有所差异,确定主因素首先是选取主要事故形态的事故进行分类统计;②对于每类事故形态,选取机动车及驾驶员、非机动车及行人、道路、环境中的各主要因素进行分析;③对选取的每类主因素,再确定因素集中的主要元素,比如某路段发生事故中对环境的分析选取了天气这一因素,天气因素集中晴天占55%、雨天占25%、雾天占15%、阴天占2%、其他占3%,因而对于天气这个因素集的统计则为晴天、雨天、雾天,而阴天和其他则不予考虑。

需要说明的是,此处的主因素分析,一方面是从机动车及驾驶员、非机动车及行人、道路、环境整个

道路交通系统出发,可以做到对路段发生事故成因的系统把握,同时通过对四个子系统中主因素的选择,以及每类因素中主元素的提取,这实际上是剔除了偶发性的小概率事件,排除了交通事故的随机性、偶然性的影响,从而更有利于把握事故黑点的内在规律,以便确定事故成因。

3 建模步骤

3.1 主因素集的确

(1) 主因素的确定

从道路、机动车及驾驶员、行人及非机动车、交通环境四个子系统出发,通常可根据对事故的影响程度,并依据交通事故数据的具体情况来确定这四个子系统的主因素。一般主因素的选择如表2所示。

表2 事故主因素

Tab.2 Main factors of traffic accident

因素分类	主因素	主元素序号	主元素	
机动车及驾驶员	驾驶员状态	1	正常	
		2	驾驶疲劳	
		3	酗酒	
	机动车车况	1	正常	
		2	失常	
		3	违章运行	
非机动车及行人	状态	1	正常	
		2	违章	
道路	路面	1	平坦	
		2	潮湿	
		3	积水	
		<i>m</i>	...	
		横断面	1	正常
			2	中央分隔带不完善
	<i>m</i>		...	
	道路线形	1	平直	
		2	一般弯	
		3	一般坡	
		<i>m</i>	...	
		附属设施	1	标志标线完善
2			标志不完善	
3	标线不完善			

续表2

因素分类	主因素	主元素序号	主元素
环境	视距	1	满足
		2	不足
		<i>m</i>	...
	天气	1	晴
		2	雨
		3	阴
<i>m</i>		...	
发生时间及照明情况	1	白天	
	2	夜间有照明	
	3	夜间无照明	
	1	正常无干扰	
	2	路面侵占受到干扰	
	<i>m</i>	...	

(2) 主元素的确定

对主因素*i*中的元素*j*按式(1)计算元素*j*在主因素集中所占比例*p_{ij}*:

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^m a_{ij}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

p_{ij}——主因素*i*的第*j*个元素所占的百分比(%)

a_{ij}——主因素*i*的第*j*个元素发生的事故数(起)

m——主因素*i*的元素总数。

在此基础上,采用概率统计方法确定各主因素的主元素,将*p_{ij}*由大到小排列,并对元素按*p_{ij}*从大到小选取,直到所选出的元素累计*p_{ij}*达到80%~90%为止。

3.2 事故指标的统计及指标的无量纲化

对于每种事故形态,分别统计每个主因素确定的各主元素的事故数、死亡人数、受伤人数、直接经济损失四项指标,并按式(2)进行无量纲化计算:

$$x_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_i x'_{ij}} \quad (2)$$

式中:

x_{ij}——主元素*i*的第*j*个事故指标的无量纲化结果;

x'_{ij}——主元素*i*的第*j*个原始事故指标;

$\sum_i x'_{ij}$ —— 对应于该事故形态的原始事故指标 j 的总和。

这样无量纲化后的指标是有意义的,反映的是事故指标 j 在该事故形态中总的比例,即可以看做对事故的影响程度。

3.3 灰色关联分析 (GRA) 在事故成因分析中的应用

(1) 确定分析序列

在对所研究问题定性分析的基础上,确定一个因变量因素和多个自变量因素。设因变量数据构成参考序列 X'_0 ,各自变量数据构成比较序列 X'_i ($i = 1, 2, \dots, n$), $n + 1$ 个数据序列形成如下矩阵:

$$(X'_0, X'_1, \dots, X'_n) = \begin{bmatrix} x'_0(1) & x'_1(1) & \dots & x'_n(1) \\ x'_0(2) & x'_1(2) & \dots & x'_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x'_0(N) & x'_1(N) & \dots & x'_n(N) \end{bmatrix}_{N \times (n+1)} \quad (3)$$

式中, X'_i 表示主元素,由于统计指标为事故的四项基本指标,故 $N = 4$ 。即矩阵 (3) 的行代表事故指标,列代表主元素,矩阵本身表示一个主因素。

(2) 对变量序列进行无量纲化

一般情况下,原始变量序列具有不同的量纲或数量级,为了保证分析结果的可靠性,需要对变量序列进行无量纲化,具体采用式 (2) 计算。无量纲化后各因素序列形成如下矩阵:

$$(X_0, X_1, \dots, X_n) = \begin{bmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_0(N) & x_1(N) & \dots & x_n(N) \end{bmatrix}_{N \times (n+1)} \quad (4)$$

对于每个主因素,可选最优样本数据作为参考序列^[3],与其关联度越大表示与事故越相关。假设第 i 个主元素为 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(N))^T, i = 1, 2, \dots, n$,可构造最优样本:

$$X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(N))^T \quad (5)$$

式中:

$$x_0(j) = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_i(j)\} \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

(3) 求差序列、最大差和最小差

计算矩阵 (4) 中第一列 (参考序列) 与其余各列 (比较序列) 对应值的绝对差值,形成如下绝对差

值矩阵:

$$\begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{02}(1) & \dots & \Delta_{0n}(1) \\ \Delta_{01}(2) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{0n}(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Delta_{01}(N) & \Delta_{02}(N) & \dots & \Delta_{0n}(N) \end{bmatrix}_{N \times n} \quad (7)$$

式中:

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, N;$$

绝对差值矩阵中最大数和最小数即为最大差和最小差:

$$\Delta(\max) = \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} \{\Delta_{0i}(k)\} \quad (9)$$

$$\Delta(\min) = \min_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} \{\Delta_{0i}(k)\} \quad (10)$$

(4) 计算关联系数

对绝对差值矩阵中数据作如下变换:

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta(\max)} \quad (11)$$

得到关联系数矩阵:

$$\begin{bmatrix} \xi_{01}(1) & \xi_{02}(1) & \dots & \xi_{0n}(1) \\ \xi_{01}(2) & \xi_{02}(2) & \dots & \xi_{0n}(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \xi_{01}(N) & \xi_{02}(N) & \dots & \xi_{0n}(N) \end{bmatrix}_{N \times n} \quad (12)$$

式 (11) 中的分辨系数 ρ 的取值范围为 (0, 1), 一般情况下依据式 (12) 中的数据情况多在 0.1 至 0.5 取值, ρ 越小越能提高关联系数间的差异。式 (12) 中的关系系数 $\xi_{0i}(k)$ 是不超过 1 的正数, $\Delta_{0i}(k)$ 越小, $\xi_{0i}(k)$ 就越大,它反映第 i 个比较序列 X_i 与参考序列 X_0 在第 k 期的关联程度。

(5) 计算关联度

比较序列 X_i 与参考序列 X_0 的关联程度是通过 N 个关联系数来反映的。一般采用求平均得到 X_i 与 X_0 的关联度:

$$r_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{0i}(k) \quad (13)$$

但是,对于事故黑点成因分析而言,4项事故指标为事故次数、死亡人数、受伤人数、直接经济损失,若采用取平均值的做法难以反映对事故频数和事故严重程度的影响,因而,可以考虑采用加权平均来求关联度,各指标的权重采用德尔非法或层次分析法等

确定，计算公式如式(14)：

$$r_{0i} = \sum_{k=1}^N w_k \xi_{0i}(k) \quad (14)$$

式中， w_k 为指标 k 的权重。

3.4 综合指标 Y 的计算

根据灰色关联分析可确定相关主因素的主元素的灰色关联度 r_{0i} ，当然，对于不同的事故形态可以算得不同的灰色关联度 r_{0i} 。最后，对于主元素 i ，其综合指标可以根据各事故形态算得的灰色关联度加权计算得到，如式 (15)：

$$Y_i = \sum_{k=1}^m w_k r_{0i}(k) \quad (15)$$

式中：

Y_i —— 主元素 i 的综合指标；

k —— 事故形态， $k = 1, 2, \dots, m$ ；

w_k —— 事故形态 k 的权重，在此不妨取事故形态 k 占总事故数的比例。

3.5 事故成因的确定

根据以上计算得到的各主元素的综合指标 Y ，除去正常情况，按照初始确定的主因素可分别确定事故

主要影响因素。

4 应用实例

本文以江苏省 G104 一级公路的 K782~K784 黑点路段 2002—2004 年发生的交通事故进行实例分析。该路段 2002—2004 年共发生交通事故 18 起，死 4 人、伤 13 人，直接经济损失达 10.65 万元。18 次事故中，翻车 1 次、正面相撞 1 次、同向刮擦 1 次、尾随相撞 2 次、侧面相撞 12 次、其他形态 1 次。该路段属平原地形，道路线形包括平直、一般坡、陡坡，双向 6 车道分车分向式断面，沥青路面。

根据事故统计资料知该路段主要的事故形态为侧面相撞、尾随相撞。不妨以 12 次侧面相撞事故为例分析建模过程和计算步骤。由于事故记录方面的原因，在此着重从机动车车况 x_1 、机动车状态 x_2 、非机动车及行人状态 x_3 、路面状况 x_4 、道路线形 x_5 、天气 x_6 、发生时间及照明情况 x_7 共 7 项主因素进行分析，统计相关指标。

通过式 (2) 进行事故指标的无量纲化，如表 3 所示。按式 (6) 确定参考序列，根据式 (7)、(8)

表 3 事故指标无量纲化结果

Tab. 3 Results of the non-dimensional accident indices

主因素	主元素	X_1	X_2	X_3	X_4
$X^{(1)}$	$x_1^{(1)}$	0.917	1.000	0.889	0.966
	$x_2^{(1)}$	0.083	0.000	0.111	0.034
$X^{(2)}$	$x_1^{(2)}$	0.250	0.000	0.333	0.076
	$x_2^{(2)}$	0.333	1.000	0.222	0.432
$X^{(3)}$	$x_1^{(3)}$	0.417	0.000	0.444	0.492
	$x_2^{(3)}$	0.833	1.000	0.778	0.958
$X^{(4)}$	$x_1^{(4)}$	0.167	0.000	0.222	0.042
	$x_2^{(4)}$	0.667	1.000	0.667	0.661
$X^{(5)}$	$x_1^{(5)}$	0.250	0.000	0.222	0.136
	$x_2^{(5)}$	0.667	1.000	0.556	0.788
$X^{(6)}$	$x_1^{(6)}$	0.250	0.000	0.333	0.127
	$x_2^{(6)}$	0.083	0.000	0.111	0.085
$X^{(7)}$	$x_1^{(7)}$	0.250	0.000	0.333	0.288
	$x_2^{(7)}$	0.667	1.000	0.667	0.661
$X^{(8)}$	$x_1^{(8)}$	0.083	0.000	0.000	0.051
	$x_2^{(8)}$	0.417	0.000	0.444	0.415
$X^{(9)}$	$x_1^{(9)}$	0.250	0.000	0.222	0.169
	$x_2^{(9)}$	0.333	1.000	0.333	0.415

计算各主元素的差序列。其中各主因素均是 $\Delta(\max) = 1.00$, $\Delta(\min) = 0.00$ 。取分辨系数 $\rho = 0.3$, 按式 (11) 计算关联系数, 不妨取 $w_1 = 1$, $w_2 = 8$, $w_3 = 2$, $w_4 = 1^{[4]}$, 按式 (16) 计算关联度 (见表 4):

表 4 各主元素的关联度

Tab. 4 Association degree among each primary element

因素分类	主因素	主元素	关联度
机动车及 驾驶员	机动车车况	正常	1.000
		异常	0.304
	机动车状态	正常	0.333
		超速	0.885
非机动车 及行人	状态	违章运行	0.469
		正常	1.000
	路面状况	违章	0.316
		平坦	0.943
道路	道路线形	潮湿	0.335
		平直路段	1.000
	天气	一般坡	0.359
		陡坡	0.281
环境	发生时间及 照明情况	雨	0.298
		晴	1.000
	发生时间及 照明情况	阴	0.317
		白天	0.432
		夜晚有照明	0.379
		夜晚无照明	0.925

$$r_{0i} = \sum_{k=1}^4 \frac{w_k}{\sum_{k=1}^4 w_k} \xi_{0i}(k) \quad (16)$$

由此除去各主因素的正常情况, 可以得出江苏省 G104 一级公路 K782~K784 路段在 2002—2004 年发生交通事故的主要原因为: 机动车超速、机动车违章、非机动车及行人违章、道路线形为一般坡、夜间无照明。

5 结束语

本文从道路、机动车及驾驶员、非机动车及行人、环境四个子系统出发, 通过确定各子系统的主因素, 并采用概率统计的方法确定各主因素的主元素, 在此基础上运用灰色关联分析法确定事故黑点成因, 能较为准确、合理地实现对公路交通事故黑点成因的系统分析。合理地确定黑点主因素是问题的关键, 本文从系统的角度建立了表 2 的主因素, 但对于各黑点段的实际情况, 其事故数据有所不同, 道路等级、交通流特性等均存在差异, 因此, 如何采用科学合理的方法来确定黑点段的主因素将是进一步的研究内容。

参考文献

- [1] 姚智胜, 邵春福等. 基于粗糙集理论的路段交通事故多发点成因分析[J]. 中国安全科学学报, 2005, (12): 107-109.
- [2] 张殿业, 金 键. 驾驶员身心条件可靠性评价[J]. 中国公路学报, 2004, (4): 96-99.
- [3] 胡永宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 过秀成, 肖慎等. 安徽省交通事故分析[R]. 安徽省公路局, 东南大学交通学院, 2003.

(中文编辑: 刘娉婷)