

基于经验贝叶斯的信控交叉口黑点判别研究*

□ 谢 琨, 王雪松, 陈小鸿

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘 要: 正确的判别信控交叉口黑点, 可以显著提高安全管理效率, 改善交通安全状况。传统黑点判别方法(如事故数法、事故率法)忽略了事故随机波动性的影响, 没有考虑相似对象的事故均值, 容易导致判别结果不准确。提出了经验贝叶斯方法, 并考虑了安全可提高空间, 克服了传统黑点判别方法的不足。研究选取上海市 195 个信控交叉口进行分析, 利用广义估计方程建立交叉口事故预测模型, 结合经验贝叶斯法估计事故发生的期望数, 并计算交叉口可以降低的事故数。在此基础上, 引入交叉口安全指数, 作为安全排序的依据, 并与传统的事故数法和事故率法判定结果进行比较。结果表明, 以安全指数排序的结果与传统方法相比有较大的区别, 传统方法会造成黑点判别结果的偏差。

关键词: 信控交叉口; 黑点判别方法; 经验贝叶斯法; 安全可提高空间; 广义估计方程
中图分类号: U492 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3400(2011)12-0173-03

Hotspot Identification of Signalized Intersection Using Empirical Bayes Method

XIE Kun, WANG Xue-song, CHEN Xiao-hong

(Key Laboratory of Road & Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Appropriate hotspot identification methods can improve the effectiveness of safety management and safety level. Traditional hotspot identification methods (crash frequency method, crash rate method) ignore the influence of traffic characteristic and fluctuation of crash frequencies, which may bring forth biased results. In this study, empirical Bayes method considering potential accident reduction which could resolve the problems of traditional methods was proposed. Based on the dataset of 195 signalized intersections in Shanghai, crash prediction model was developed, using generalized estimating equation (GEE). Safety index of intersections was calculated combined with empirical Bayes and potential accident reduction methods. It was found that, the result of ranking by safety index was significantly different from classical crash frequency method and crash rate method and classical method would result in biased estimations of hotspot.

Keyword: Signalized intersection; Hotspot identification; Empirical bayes method; Potential accident reduction; Generalized estimating equation

0 背景

事故黑点指的是在较长的一段时间内, 发生交通事故数目或者严重程度与具有相同特征对象相比明显突出

的位置^[1-2]。在国内研究中事故黑点也被称为事故多发点或者事故多发位置。事故黑点可以是交叉口, 可以是路段, 也可以是区域, 根据安全评价的对象可以指代不同的内容。黑点集中了较大比例的事故, 研究表明, 占路网总长 0.25% 的路段上发生的事故甚至占了总事故数的 25%^[3]。在有限资源约束的情况下, 正确的判别事故黑点, 合理分配资源可以显著提高安全管理效率, 改善交通安全状况。事故黑点判别方法是交通安全管理的研究重点。美国 1991 年的 ISTE^[4] 及 1998 年的 TEA-21^[5] 都将黑点判别方法的研究列入了交通规划研究目录中。

信控交叉口是道路网络的重要节点, 大量人流车流在信控交叉口汇集、通过、转向, 存在大量的冲突点。

收稿日期: 2011-11-02

基金项目: 自然科学基金(51008230); 教育部新教师(20090072120016)

作者简介: 谢琨(1987-), 男, 江西人, 硕士研究生, 主要研究方向: 交通安全、交通统计分析、交通规划。

* 本文获得“2011 年上海市交通运输工程学科研究生学术论坛”三等奖。

因此,信控交叉口往往是事故多发点,正确判别信控交叉口黑点并进行有针对性的改善能以较少的投入大幅减少路网事故率,具有重要的意义。本文首先回顾了传统的黑点判别方法,针对传统黑点判别方法的不足,提出了信控交叉口基于安全可提高空间的经验贝叶斯方法,并与传统黑点判别方法进行比较分析。

1 黑点判别的主要方法

黑点判别的方法主要包括两部分内容,第一部分是评价指标的确定,评价指标既可以是一个也可以是多个,例如常用的指标有事故数、事故率等;第二部分是黑点的判定标准,根据选定的评价指标,划定正常的范围,超出该范围的即为黑点,例如选取 1km 事故率超过 5 起的公路为黑点,受资金约束选取年事故数排名前三的交叉口为黑点。传统的黑点判别方法主要有事故数法(Crash Frequency Method)、事故率法(Crash Rate Method)、质量控制法(Quality Control Method)、等效物损法(Equivalent Property Damage Only Method)及综合指标法(Combined Criteria Method)等。

2 基于安全可提高空间的经验贝叶斯法

2.1 经验贝叶斯法

针对传统黑点判别方法存在的问题,近年来有学者开始利用经验贝叶斯方法(Empirical Bayes Methods)进行事故多发点判别(1988 年 Hauer^[6], 1999 年 Persaud^[7], 2007 年 Elvik^[2]等)。经验贝叶斯法是贝叶斯方法的简化,可以得到事故的无偏估计^[8]。经验贝叶斯法充分考虑了同类型对象事故信息,能够克服事故随机波动性造成的影响。2010 年 Montella 利用地点一致性检验对比了几种事故多发点判别的常见方法,发现经验贝叶斯法要优于其他传统事故多发点判别方法,是事故多发点判别最可靠最有效的方法^[9]。本文利用经验贝叶斯法进行交叉口黑点的判别。经验贝叶斯法通过设定权重值,综合考虑交叉口发生的事故数和与该交叉口同类型的交叉口的平均事故数,得到该交叉口的期望事故数。计算方法如下:

$$E[r|x] = E[r] \times \text{weight} + x \times (1 - \text{weight})$$

$$\text{weight} = \left(1 + \frac{E[r]}{k}\right)^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

式中: $E[r|x]$ 为在已知观测事故数情况下的交叉口事故期望值; $E[r]$ 为同类型交叉口的事故期望值,通过事故预测模型得出; x 为观测事故数; k 为过度离散参数(over dispersion parameter); weight 为权重。

同类型交叉口的事故期望值 $E[r]$ 是通过事故预测模型得出的。事故预测模型能够关联交叉口特征与事故发生,常用的交叉口事故预测模型有泊松模型 Poisson Regression

Models^[10]、负二项模型(Negative Binomial Models)^[11]、广义估计方程(Generalized Estimating Equations)^[12]等。

2.2 安全可提高空间

安全可提高空间 Potential for Safety Improvement, PSI) 指某地点的事故期望值超出具有类似地点平均事故期望值的部分,也可以称作事故降低空间(Potential Accident Reduction, PAR)^[13]。如果某地点的事故超出了类似地点,那么肯定由该地点相关的特征所引起,可以采取一定的改善措施可以将这部分超出的事故降低到平均值。安全可提高空间考虑了相似对象的事故均值,比起事故绝对数,更适合作为判定黑点的指标(1999 年 Persaud^[7], 2002 年 Hauer^[8]等)。同样以交叉口为例,可以用经验贝叶斯估计的事故期望值与同类型交叉口平均事故值之差表示该交叉口的安全可提高空间,计算方法如下:

$$\text{Promise} = E[r|x] - E[r] \dots\dots\dots (2)$$

式中: Promise 为安全可提高空间; $E[r|x]$ 为在已知观测事故数情况下的交叉口事故期望值; $E[r]$ 为同类型交叉口的事故期望值。

为克服估计事故时的不确定性,将某交叉口的事故期望值与同类型交叉口的事故期望值之差的标准偏差(standard deviation)作为权重,建立事故多发点的判别指标。这样可以计算出交叉口安全指数(Safety Index, SI):

$$\text{Safety Index(SI)} = \frac{\text{Promise}}{\sqrt{\sigma_{rx}^2 + \sigma_r^2}}$$

$$\sigma_{rx}^2 = (1 - \text{weight}) \times E[r|x]$$

$$\sigma_r^2 = \frac{E[r]^2}{kn_0}$$

式中: σ_{rx}^2 为 $E[r|x]$ 的方差; σ_r^2 为 $E[r]$ 的方差; n_0 为预测模型中观测样本量。

本文利用 SI 值作为黑点判别的指标,如果 SI 为负,说明交叉口的事故期望值小于同类型交叉口的事故平均值,可以认为交叉口相对安全;如果 SI 为正,说明交叉口的事故期望值高于同类型交叉口的事故平均值,该交叉口相对危险。SI 值越大,交叉口的危险程度越高,安全问题越严重。

2.3 黑点判别方法特征分析

综上,各类黑点判别方法的特征汇总如表 1 所示。基于安全可提高空间的经验贝叶斯法克服了传统黑点判别方法存在的两个问题。经验贝叶斯法可以克服事故随机特性的影响,以 SI 值作为选取黑点的指标,考虑了相似对象的事故均值,反映了真正可以改善空间的大小。

3 信控交叉口黑点判别

3.1 事故预测模型建立及安全指数计算

本文黑点判别分析对象为上海市区 22 条主干道上的 195 个信控交叉口。搜集整理交叉口事故数据、位置属性

表 1 黑点判别方法特征分析

判别方法	是否考虑了事故严重程度	是否考虑了事故发生的随机波动性	是否考虑了相似对象的事故均值
事故数法	*	*	*
事故率法	*	*	**
等效物损法	***	*	*
质量控制法	*	**	**
综合指标法	***	*	*
经验贝叶斯法	*	***	***

注：*表示没有考虑，**表示没有充分考虑，***表示充分考虑了。数据（所在区、是否位于高架下等）、几何属性数据（如车道数、车道划分等）、控制属性数据（如周期时长、相位数等）及运行属性数据（如交通流量、饱和度）等信息，为建立信控交叉口事故预测模型提供数据支持。

广义估计方程(Generalized Estimating Equations, GEE)适用于分析相互关联的离散数据^[14]，具有良好的鲁棒性，可以用与标定空间相关联的数据^[15]。广义估计方程近年来逐步应用于建立事故预测模型以及安全影响因素分析中来^[12-16]。考虑到同一条主干道上的交叉口有着类似的几何设计及交通环境，并且在运行上相互影响，本文利用广义估计方程处理交叉口间的空间相关性。选用负二项(Negative Binomial)作为广义方程的连接函数，以事故总数为因变量，检验位置属性、几何属性、控制属性、运行属性四类中共 22 个解释变量的显著性。选用自回归型(Autoregressive (AR-1))作为广义估计方程的连接矩阵，假设交叉口间的相关性由它们的间距决定，随着交叉口间距的增加，关联度降低。结果显示日均流量、平均车道流量、交叉口类型、是否在高架下、相位属性、转向车道比例，以及交叉口间距是影响交叉口安全的显著因素。标定结果如表 2 所示。

建立事故预测模型后，可以计算出同类型交叉口事故期望值 $E[r]$ ，然后利用经验贝叶斯方法 [式 (1)] 计算出交叉口的事故期望 $E[r|x]$ ，最后基于安全可提高空间方法 [式 (2) 和式 (3)]，计算黑点判别指标 SI，表征该交叉口减少事故的难易程度。SI 值越大表明该交叉口能够改善的空间越大，更加值得去治理。

3.2 排序结果分析

分别利用事故数、事故率、SI 对 195 个信控交叉口进行排序，计算每个交叉口每种方法的排名。以 SI 排名为横坐标，事故数、事故率排名分别为纵坐标作散点图，用于比较排序结果，偏离直线越远的点表明两种方法排序结果差异越大。如图 1、图 2 所示，总体而言 SI

排序结果与事故数和事故率排序结果有较大的差别。对于排名 150 位以后相对较安全的交叉口，3 种方法排序结果差异不大；但黑点判别方法的重心是准确判别排名靠前相对危险的交叉口，对于排名 150 位前的交叉口，SI 排序结果与事故数和事故率排序结果相差较大。

4 结论

本文建立基于安全可提高空间的经验贝叶斯方法，判定交叉口黑点时考虑了事故随机

表 2 事故预测模型标定结果

解释变量		广义估计方程	
		系数	P 值
常数项		4.065	<0.001
是否在高架下:	否	-0.4	<0.001
	是	0	
交叉口间距 /km		-0.651	0.064
交叉口类型:			
T 型交叉口		-0.244	0.001
十字交叉口		0	
转向车道比例		0.747	0.001
相位属性:	2~3 相位	-0.239	<0.001
	4~6 相位	0	
日均流量 (10^4 辆)		0.098	0.068
平均车道流量 (10^4 辆)		-0.879	0.024
离散系数		1.056	

特性以及相似对象的事故均值，克服了传统黑点判别方法的不足。引入交叉口安全指数作为黑点判定的指标，并比较安全指数排序和事故数及事故率排序结果。结果表明，传统的事故数法和事故

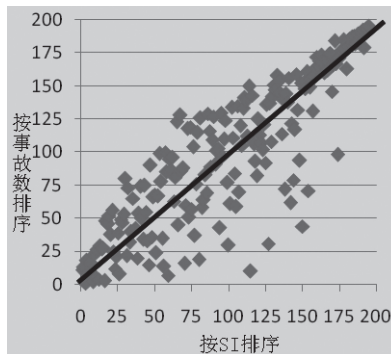


图 1 SI 和事故数排序结果比较

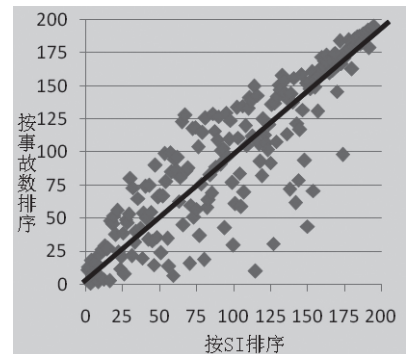


图 2 SI 和事故率排序结果比较

率法与经验贝叶斯法判定结果有较大的差别，利用传统黑点判别方法会造成结果的偏差。本文的研究结论可以对交通安全管理者提供依据和指导；准确地判定交叉口黑点对事故发生规律性分析，对管理效率的提高，对路网整体安全水平的提升都有重要的意义。

参考文献:

[1] 方守恩, 郭忠印, 杨轸. 公路交通事故多发位置鉴别新方法

- 法 [J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(1): 91-98.
- [2] Sørensen M, Elvik R. Black spot management and safety analysis of road networks. Institute of Transport Economics, Oslo, 2007.
- [3] 陈文杰. 浅析道路交通事故多发路段 [J]. 中国人民公安大学学报 (自然科学版), 2004, 2(2): 83-88.
- [4] U.S. Department of Transportation. Intermodal surface transportation efficiency act of 1991 (ISTEA). Washington D C, 1991.
- [5] U.S. Department of Transportation. Transportation equity act for the 21st century (TEA-21). Washington D C, 1998.
- [6] Hauer E, Ng J C N, Lovell J. Estimation of safety at signalized intersections. Transport Research Record, 1988, 1185: 48-61.
- [7] Persaud B, Lyon C, Nguyen T. Empirical Bayes procedure for ranking sit for safety investigation by potential for improvement. Transportation Research Record, 1999, 1665: 7-12.
- [8] Hauer E, Allery B K, Kononov J. Screening the road network for sites with promise. Transportation Research Record, 2002, 1784: 27-32.
- [9] Montella A. A comparative analysis of hotspot identification methods. Accident Analysis and Prevention, 2010, 42(1): 571-581.
- [10] Miaou S P, Lum H. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. Accident Analysis and Prevention, 1993, 25(6): 689-709.
- [11] Poch M, Mannering F. Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. Journal of Transportation Engineering, 1996, 122(2): 105-113.
- [12] Wang X, Abdel-Aty M. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. Accident Analysis & Prevention, 2006, 38(6): 1137-1150.
- [13] McGuigan, D.R.D. The use of relationships between road accidents and traffic flow in "black-spot" identification. Traffic Engineering and Control, 1981: 448-453.
- [14] Liang K Y, Zeger S L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. Biometrika, 1986, 73(1): 13-22.
- [15] Wu C T. Generalized estimating equations for spatially correlated data. Raleigh: Department of Statistics, North Carolina State University, 1998.
- [16] Abdel-Aty M, Wang X. Crash estimation at signalized intersections along corridors: analyzing spatial effect and identifying significant factors. Transportation Research Record, 2006, 1953: 98-111.

0 引言

改革开放以来,我国交通事业进入了一个高速发展期,同时随着我国经济的迅猛发展,车辆总数和手机用户的增长可谓节节攀升。据国际电信联盟 (ITU: International Telecommunication Union) 统计,截至2008年底,我国手机用户已突破6亿,18岁以上人口普及率接近90%,手机用户总数排名世界第一。与此同时,开车打手机的人群也在迅速增加,驾驶人打手机已经成为一种普遍行为,引发的道路交通事故也成逐步上升趋势。美国国家公路交通安全管理局 (NHTSA) 统计显示,25%~50%的车祸是由驾驶员精神分散注意力不集中引起^[1]。我国道路事故分析表明因驾驶人观察不足、判断失误、操作不当等因素造成的交通事故占到事故总量的90%以上^[2]。观察不足会造成驾驶人不能够及时获取必要信息,进而会影响到后续的决策及车辆操控行为,增加事故风险。驾驶期间接听、拨打手机会导致驾驶人注意力不同程度的下降,对驾驶安全造成隐患。

国外对使用手机对驾驶行为的影响开展了大量研究。他们通过对反应时间、车道位置和速度的变化、行驶的距离、情况变化的意识等研究,发现使用手机损害了模仿能力或车辆驾驶任务的执行^[3-11]。国内在使用手机对驾驶行为的影响研究尚处于起步阶段,一些必要的分析设备、方法相对缺乏。本文基于驾驶模拟器实验平台,对驾驶人在正常驾驶、不同通话方式 (手持或免提)、不同通话内容 (一般性通话或干扰性通话) 以及拨号、编辑短信等驾驶情况下的速度保持、车辆横向偏移、踏板力与位移等驾驶行为指标进行了全程监测和对比分析,通过建立不同驾驶条件下手机使用的可靠度模型,综合分析各种因素对安全驾驶的影响。

1 实验方法

1.1 被试

实验参与者为40人 (男性24名,女性16名),年龄为23~25岁 (平均年龄为23.7岁),驾龄为0.5~6年 (平均驾龄为1.7年),驾照类型均为C1 (手动挡),其中2人有过违章记录。

1.2 实验设备

本实验应用SCANeRDT软件开发设计高速公路和城

收稿日期: 2011-11-02

作者简介: 吴佳华, (1987-), 女, 上海人, 硕士研究生, 主要研究方向: 道路安全。

* 本文获得“2011年上海市交通运输工程学科研究生学术论坛”二等奖。