

基于事件检测效益的 高速公路交通检测器布设方案研究

张萌萌, 杨 阳, 王世广

(山东交通学院交通与物流工程学院 济南市 250023)

摘 要: 高速公路交通检测器合理布设有利于准确、快速地检测和确认交通事件发生的时间、地点及性质, 进而提高高速公路管控效率。运用一种基于偏差阈值的交通事件检测算法, 选取了 200 m、400 m 和 600 m 等 3 种交通检测器布设间距, 利用 VISSIM 仿真软件, 以济青高速公路济德段为例进行验证性仿真; 通过分析有无事件情况下交通参数的变化趋势, 确定高速公路检测器最优布设间距, 为高速公路监测系统建设提供理论依据。

关键词: 高速公路; VISSIM; 偏差阈值; 检测器; 布设间距

近年来, 随着汽车保有量的迅速增加, 高速公路交通拥挤、交通安全和环境污染及能源消耗等问题逐渐凸显。交通事件是造成出行时间无法预测、运行成本增加、事故率提高、能源浪费和环境污染加剧等的主要原因之一。及时检测交通事件, 缩短救援的响应时间, 提高救援效率, 就能够降低事件造成的损失, 最大限度地保护旅客生命财产的安全。如何准确、快速地检测交通事件发生的时间、地点及性质, 是高速公路紧急救援系统能否成功运行的关键。而检测器的合理布设则是交通事件准确、快速检测的有力保障。

对于高速公路交通检测器布设方案的研究, 在理论方面, 文献[1, 2, 3]分别基于遗传算法、最短路径搜索算法以及有向环图建立了交通事件检测器优化布局模型, 对高速公路检测器布局进行了有益地讨论。但高速公路交通流时空变化情况复杂, 且检测器的类型组合决定了数据采集的效果, 因此, 很难将诸多因素纳入到同一个优化模型中去。文献[4]以 VISSIM 为研究平台, 选择人工神经网络作为事件检测算法, 研究了高速公路基本路段检测器布设间距。该研究克服了建模考虑因素不全的缺陷, 但其仅针对高速公路基本路段展开研究, 未考虑出入

口对交通流的影响。

在实践应用方面, 意大利的那不勒斯收费公路^[5]全线共安装 664 只环形检测器, 1 只/250 m (隧道内 1 只/125 m), 并由 3 种气象检测器分别给出下雨和路面结冰的信号。加拿大 401 国道车辆检测器 1 组/800 m, 对全线进行实时监测, 中心控制室在 2 min 内就可以感知到道路上任何异常情况^[5]。香港, 运输部曾做过一项为 Tuen Mun 路提供驾驶员信息服务的研究, 车速检测器的推荐密度为 1 组/500 m^[5]。同时, 为检测 Tsing Ma 区靠近新机场附近的交通事件, 检测点密度定为 200 m 间隔。澳大利亚连接 Tullamarine 机场和 Melbourne 城的 Tullamarine 高速公路共设有 14 个交通流检测站, 间距从 450 m 到 1 070 m 不等, 平均为 580 m^[6]。日本, Meishin 和 Tomei 高速公路速度检测器的密度为 2 km。而京都高速公路所有路段上的超声波检测器的间距都是 300 m, Hanshin 高速公路超声波检测器的间距为 500 m^[7]。

本文在分析高速公路交通事件对其交通流影响的基础上, 提出了一种基于偏差阈值的交通事件检测算法; 以 VISSIM4.3 为研究平台, 将此算法应用于检测器布设间距为 200 m 的高速公路, 通过对交

基金项目: 国家自然科学基金项目, 项目编号 61174175; 山东省科技发展计划项目, 项目编号 2011GGX10504; 山东省教育厅高校科研发展计划项目, 项目编号 J12LN75; 山东交通学院自然基金项目, 项目编号 Z201111, 201235; 交通运输部科技项目, 项目编号 2012-319-817-230; 山东省自然科学基金项目, 项目编号 ZR2012FL02

收稿日期: 2012-11-27

通检测参数变化情况的研究,寻找出具有代表性的检测参数及适用的交通流区域;以所遴选的检测参数的变化作为判定标准,分别选取 400 m 和 600 m 的布设间距方案,综合考虑信息检测质量(如行程时间、空间交通流状态、事件检测的精度和可靠性)与系统成本(检测器的密度),选取最优的检测器布局,并将该研究应用于济青高速济德段。

1 基于偏差阈值的交通事件检测算法原理

1.1 交通事件对交通流影响分析

当高速公路某一路段发生交通事件时,事件点通行能力迅速下降。当通行能力低于交通需求时,产生偶发性交通拥挤,在出事地点附近一定范围内将出现交通流异常现象,上游车辆因交通受阻而减速,下游车辆因流量剧减而加速;出事车道上的交通流量减少,相邻车道交通流因车流汇入而增多;上游道路的时间占有率增大,下游道路的时间占有率减小等。总之,当发生交通异常时,交通流参数将在一定范围内偏离正常值。

如图 1 所示,将交通事件发生点附近范围划分成 4 个区域。区域 1(上游)和区域 4(下游)交通流未受事件的影响;区域 2(上游)和区域 3(下游)交通流开始受到交通事件的影响。其中区域 2,车辆开始聚集,交通流变得拥挤,车辆的平均时间占有率增大,速度显著降低,流量减小;区域 3 紧靠事件下游,交通流量等于瓶颈处(事件点位置)的通行能力,而通行能力恢复至正常值,交通拥堵开始疏散,车辆平均时间占有率降低,车速增加,流量增加。随着交通事件时间的推移,区域 1 和区域 2 之间的分界线向上游移动,而区域 3 和区域 4 之间的分界线向下游移动,分别形成压缩波和扩展波。

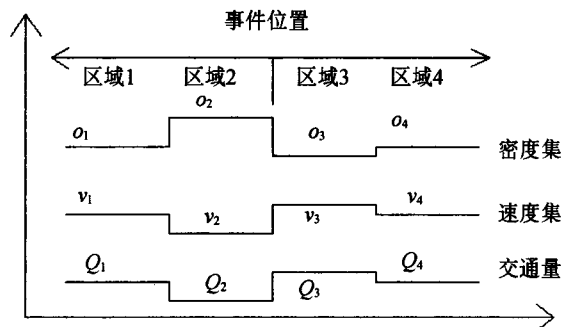


图 1 事件发生位置的交通流参数特性

图 1 中: o_i 为第 i 个区域平均时间占有率; v_i 为第 i 个区域平均车速; Q_i 为第 i 个区域平均流量。

1.2 算法原理

由上述分析可知,当发生交通事件时,交通流参数发生突变,与正常交通状态下的交通参数相比较存在一定偏差,根据偏差的变化可以进行交通事件检测。当交通参数的变化超过阈值范围,则判定事件发生,如式(1)所示。

$$\frac{|P_i - P_r|}{P_r} \leq \epsilon \quad (1)$$

式中: P_r 为无事件发生时交通检测器采集到的交通流参数; P_i 为事件发生时交通检测器采集到的交通流参数; ϵ 为偏差阈值,根据历史数据分析,此处取 15%;

1.3 事件识别步骤

鉴于交通事件参数数据采集存在困难,故选择 VISSIM 软件分别对有、无事件发生时交通运行状态进行仿真,并采集相关参数。具体步骤如下。

(1)模拟无事件发生时交通流运行状态,采集相关的交通流参数,包括流量、占有率、速度和行程时间,作为参照值。

(2)模拟有事件发生时交通流运行状态,采集事件发生位置上、下游检测断面的交通流参数,包括流量、占有率和速度;以及事件所在区间、事件上游和下游区间的行程时间,作为检测值。

(3)多次实验仿真,比较参照值与检测值的偏差,确定偏差阈值。

(4)利用式(1)判定交通事件是否发生。

2 高速公路交通事件检测参数选择

2.1 检测器设置

在 VISSIM 软件中,可以在任意位置布设检测器,获得流量、速度、占有率和行程时间等参数的基础数据。本仿真实验选择济青高速公路济德段约 10.5 km 的路段作为微观模拟的基本路网文件,主要针对检测器的布设间距分别为 200 m、400 m 和 600 m 的 3 个方案进行对比分析,检测器布设方案如图 2 所示。

2.2 检测参数选择

为了能够准确判定高速公路是否发生交通事件,需要对采集参数进行筛选,初步选取交通量、速度、占有率和区间行程时间作为反映交通流信息的主要参数,以间隔 200 m 布设检测器的路网为实验平台,在主线交通需求为 670、750、1 400 veh/(h·lane)交通流量条件下,模拟无事件发生以及有

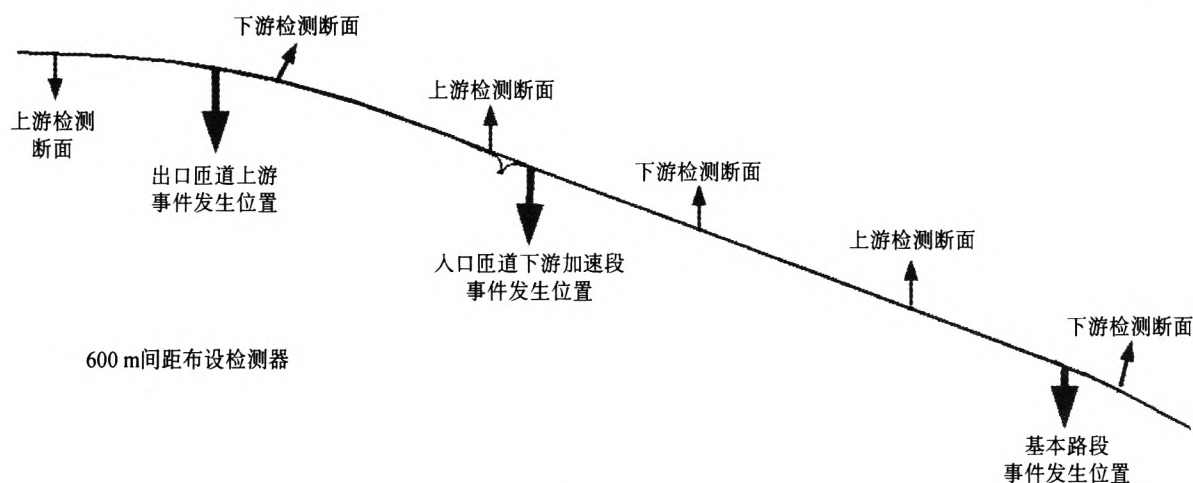


图2 检测器布设方案示意

事件发生在不同车道不同位置(出口匝道上游、入口匝道下游加速段和基本路段三个位置)的情况,对交通参数(包括流量、占有率、速度和行程时间)的时间变化情况进行分析与研究。通过比较各参数在有无交通事件时的变化幅度,选择变化幅度大的参数作为交通事件检测参数。部分(主线交通需求为750 veh/(h.lane))时,模拟事件发生在出口匝道上游位置,且分为事件发生在车道2,简称事件11;事件发生在车道1,简称事件12)交通参数(包括流量、占有率、速度及行程时间)分析图表如下所示。

(1)流量变化分析图。如图3。

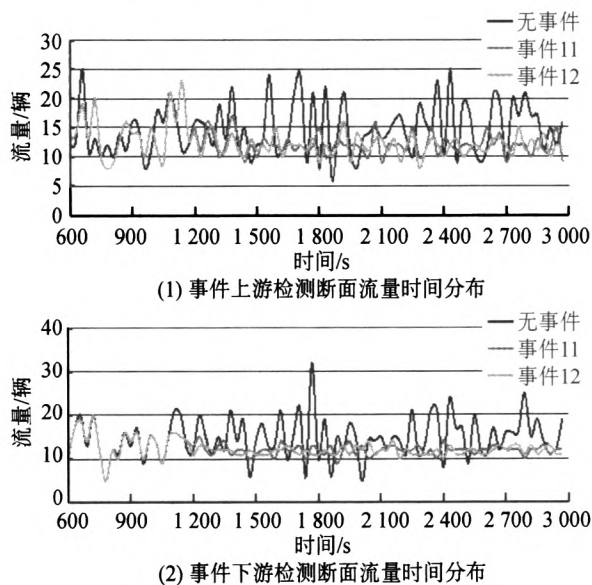


图3 路段流量变化

(2)占有率变化分析图。如图4。

(3)速度变化分析图。如图5。

(4)行程时间变化分析图。如图6。

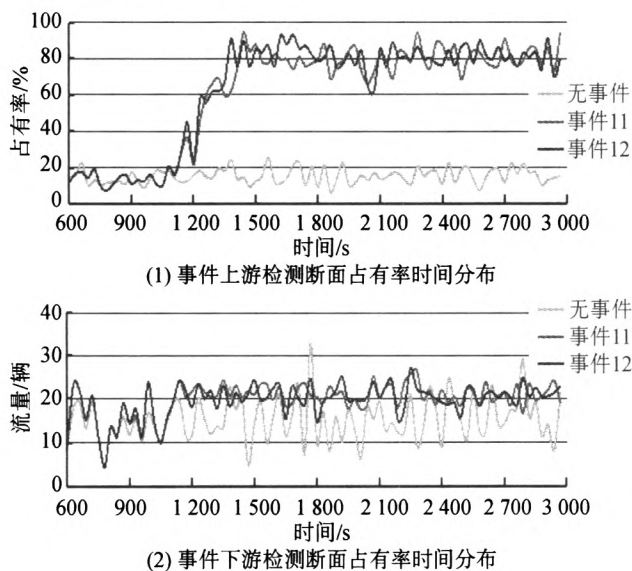


图4 路段占有率变化

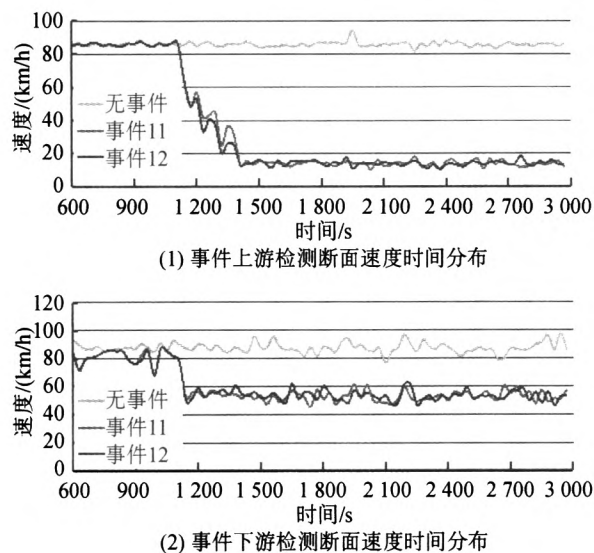


图5 路段速度变化

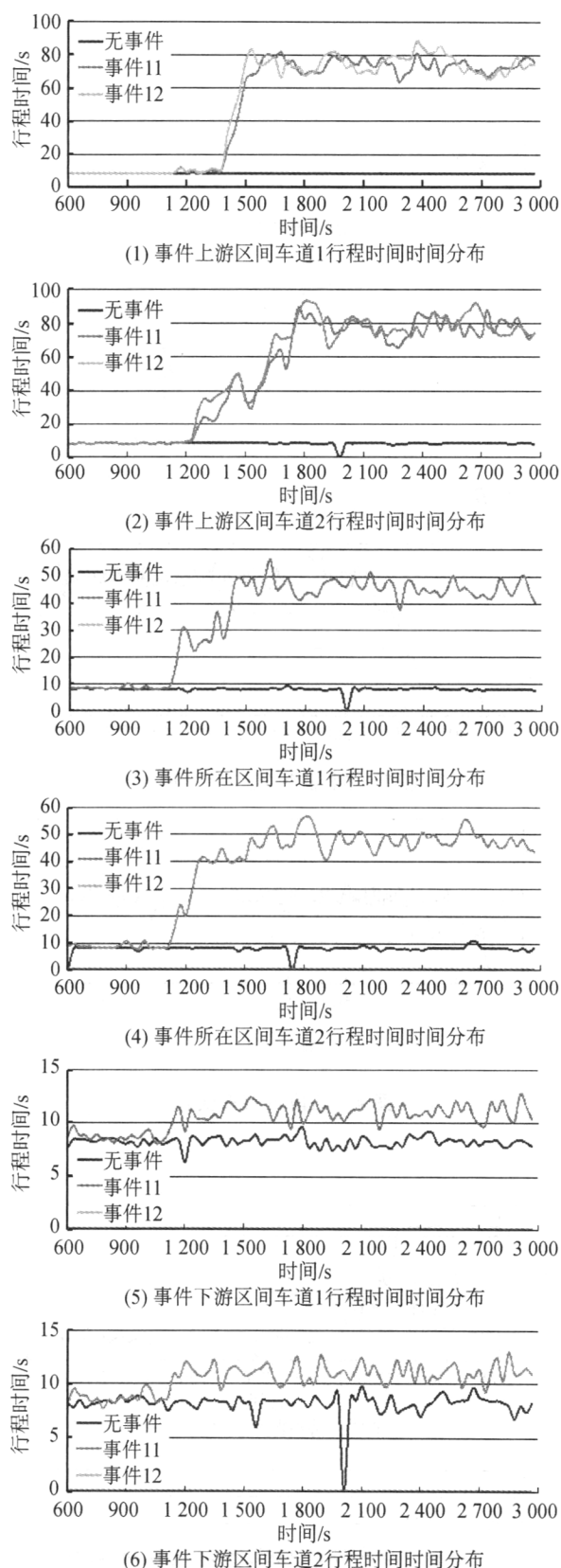


图 6 行程时间变化

综合各种情况下交通参数对事件的检测效果,占有率和速度两个参数较流量和行程时间而言对事件的检测效果反应更敏感,更容易判别事件发生的车道

位置。所以,结合检测参数的选取原则,选取占有率和速度来研究检测器布设间距在 400 m 和 600 m 的情况下是否能较好地检测反应事件发生,以进行检测器布设间距的优化。

3 检测器布设间距方案选择

3.1 400 m 布设间距下模拟结果分析

(1)模拟事件发生在匝道上游位置,占有率、速度检测出交通事件的时间如表 1 所示。

表 1 匝道上游位置交通参数变化情况

流量 veh/(h · lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	600 s	600 s	400 s	500 s
1 400	50 s	50 s	50 s	无明显变化

从表 1 中可以看出,当事件发生在出口匝道上游位置时,通过占有率和速度均可以识别到事件的发生,只是当主线交通需求为 1 400 veh/(h · lane) 时,从下游检测断面的速度参数来看,与无事件发生时无明显差异。

(2)模拟事件发生在匝道下游加速段位置,占有率、速度检测出交通事件的时间如表 2 所示。

表 2 匝道下游位置交通参数变化情况

流量 veh/(h · lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	50 s	1 000 s	50 s	无明显差异
1 400	50 s	1 000 s	50 s	无明显差异

从表 2 中可以看出,当事件发生在入口匝道下游加速段位置时,通过上游检测断面检测到的占有率和速度均可以识别到事件的发生,但从下游检测断面来看,其占有率参数在主线交通需求为 750 veh/(h · lane) 时,检测时间过长,其速度参数在两种主线交通需求下,与无事件时相比较,差异并不明显。

(3)模拟事件发生在基本路段位置,占有率和速度检测出交通事件的时间如表 3 所示。

表 3 基本路段交通参数变化情况

流量 veh/(h · lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	50 s	600 s	50 s	无明显差异
1 400	50 s	50 s	50 s	无明显差异

从表3中可以看出,当事件发生在基本路段位置时,通过速度和占有率可以识别到事件的发生,但从下游检测断面参数来看,这时与无事件时相比较,差异并不明显。

3.2 600 m 布设间距下模拟结果分析

(1)模拟事件发生在出口匝道上游位置,占有率和速度检测出交通事件的时间如表4所示。

表4 匝道上游位置交通参数变化情况

流量 veh/(h·lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	900 s	1 200 s	850 s	500 s
1 400	50 s	50 s	50 s	无明显差异

主线交通需求为750 veh/(h·lane)时,通过占有率和速度可识别出事件的发生,但是检测时间过长;而当主线交通需求为1 400 veh/(h·lane)时,通过占有率可以识别事件发生,但从速度来看,下游检测断面与无事件时相比较已无明显差异。

(2)模拟事件发生在匝道下游加速段位置,占有率和速度检测出交通事件的时间如表5所示。

表5 匝道下游位置交通参数变化情况

流量 veh/(h·lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	50 s	600 s	50 s	无明显差异
1 400	50 s	50 s	50 s	无明显差异

通过速度、占有率可以识别到事件的发生,但从下游检测断面参数来看,这时与无事件时相比较,差异并不明显。

(3)模拟事件发生在基本路段位置,占有率和速度检测出交通事件的时间如表6所示。

表6 基本路段位置交通参数变化情况

流量 veh/(h·lane)	占有率检测		速度检测	
	上游检测断面	下游检测断面	上游检测断面	下游检测断面
750	无明显差异	无明显差异	无明显差异	无明显差异
1 400	开始	开始	开始	开始

当主线交通需求为750 veh/(h·lane)及以下时,占有率和速度对事件的检测已经不起作用;而当主线交通需求为750 veh/(h·lane)以上或者1 400 veh/(h·lane)左右及以上时,通过占有率和速度仍能识别交通事

件的发生。

4 结语

本文针对国内高速公路交通拥挤事件进行研究,分析其特征、形成原因及度量参数等,并根据事件检测算法评价指标对比分析常用算法的性能及影响因素。利用交通流基本特性,在济青高速公路上进行仿真,模拟事件的发生,对布设的检测器采集到的流量、占有率和速度参数进行比较分析,并结合交通拥挤条件下车流的运行特征,达到识别事件发生的效果。针对事件检测系统中的检测器布设方案,根据经验布设间距选取了200 m、400 m和600 m等3种布设方案,分别进行验证性的仿真,选取具有代表性的交通检测参数,根据其变化情况,进行高速公路检测器布设间距的优化布置。

本文仅选取了3种经验布设方案,对于其他布设方案没有进行验证;在仿真过程中考虑了匝道交通流对主线交通流的影响,但仅输入了一种匝道交通流量,对于不同的匝道流量对主线的影响程度还有待进一步研究;事件发生的位置仅考虑位于出口匝道上游、入口匝道下游和基本路段,没有具体研究事件发生具体位置对其上下游检测器检测参数有何影响。

参考文献:

- [1] Joonhyo Kim, Byungkyu (Brian) Park, Jooyoung Lee, Jongsun Won. Engineering. Determining optimal sensor locations in freeway using genetic algorithm-based optimization[C]. Applications of Artificial Intelligence. 2011.
- [2] 陈雨人, 郑仕文, 童世鑫, 张翔. 区域高速公路网络交通事件传感器布设方法研究[J]. 公路交通科技, 2010, (11).
- [3] 王彦杰, 李文勇. 基于图论的交通检测器新型布设法[J]. 西部交通科技, 2010, (4).
- [4] 方青. 高速公路固定检测器布设方案分析[J]. 交通科技与经济, 2010, (6).
- [5] 方旭华, 方健红. 高速公路监控系统现状及发展趋势[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2003, (4).
- [6] Hussein Dia, Geoff Rose. Development and evaluation of neural network freeway incident detection models using field data[J]. Transpn Res, 1997, (5).
- [7] K S Chan, William H K Lam. Optimal speed detector density for the network with travel time information[J]. Transportation Research Part A, 2002, 36: 203-223.

文章编号: 0451-0712(2013)08-0218-05

中图分类号: U491.31

文献标识码: A

基于 FCM 聚类的山区高速公路 事故多发点成因分析

王 迎¹, 罗小强², 袁长伟²

(1. 天津城市建设学院 天津市 300384; 2. 长安大学经济与管理学院 西安市 710064)

摘 要: 归纳总结了现有事故成因分析方法的特点和适用条件, 提出了包括人、车、路 and 环境的山区高速公路交通事故影响因素, 分析了各因素间的交互作用。提出了基于 FCM 聚类的山区高速公路事故多发点成因分析方法, 并以京珠高速公路为例进行了验证。结果表明, 该方法目标函数的聚类方法设计简单、解决问题范围广、易于计算机实现; 山区高速公路最主要的事故因素是车辆追尾和刹车失灵。

关键词: 交通工程; 山区高速公路; FCM 聚类; 事故成因分析; 事故多发点

研究表明高速公路给人们带来现代交通高效、快捷的全新感受的同时, 也一直以它的高事故率、惊人的事故损害困扰其管理者和使用者。而山区高速公路因其特殊的地形条件, 事故率和死亡率明显高于普通高速公路事故率和死亡率的平均水平。事实上, 山区高速公路的交通安全问题一直以来都是交通建设发展中遇到的重要问题和交通科学研究关注的难题。多数研究都证实事故发生与人、车、路、环

境等因素的关系都极为密切。

目前的事成因分析方法主要有事故资料回归分析法、传统理论分析方法、经验模型法、系统论的方法、基于粗糙集的方法以及驾驶员行为概念模型等^[1-6]。具有典型代表性的 Cooper^[7] 在回归模型的基础上提出了两种不同的 Logistic 模型; Harker^[8] 提出了 CART(分类回归树) 分析方法; 李金龙^[9] 从系统科学的观点出发, 运用层次分析法对主

基金项目: 国家自然科学基金项目, 项目批准号 51278057

收稿日期: 2012-11-19

Layout of Traffic Detectors on Expressway Based on Efficiency of Detecting Incidents

ZHANG Meng-meng, YANG Yang, WANG Shi-guang

(School of Traffic and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, China)

Abstract: Reasonable layout of traffic detectors on expressway is beneficial to detect time, location and nature of traffic incidents accurately and rapidly to improve the efficiency of management and control system of expressway. In this paper, a simplified traffic incident detection algorithm based on prediction deviation is proposed and three kinds of layout schemes of the 200 m, 400 m and 600 m are put forward according to experience. And then simulation of Ji-De Section of Ji-Qing Expressway is executed by VISSIM to validate which layout is optimum scheme to detect traffic incidents according to variation tendency of typical traffic parameters.

Key words: expressway; VISSIM; prediction deviation; traffic detector; layout