

文章编号:1671-8879(2018)05-0131-08

基于动态分段和 DBSCAN 算法的交通事 故黑点路段鉴别方法

耿 超^{1,2}, 彭余华¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 安徽皖通高速公路股份有限公司, 安徽 合肥 230088)

摘 要:为提高交通事故黑点鉴别的精度,选择合适的路段长度作为分析路段的基本单元,结合移动步长法将路段划分为几种不同的组合,兼顾交通事故次数和伤亡人数对交通事故进行当量化处理;采用累计频率法进行事故分析,分别得到各种组合下的事故相对集中路段,按路段相邻原则对其进行合并作为初选黑点路段。针对初选黑点路段,选取合适的邻域和阈值,采用基于密度的聚类(DBSCAN)算法进行聚类分析,以寻求长度较短且事故集中的真正事故黑点。为验证该鉴别方法的可靠性,对麻昭(麻柳湾—昭通)高速公路部分路段进行事故黑点鉴别。结果表明:在动态路段划分的基础上,采用当量事故数-累计频率法,初步鉴别出的事故多发路段长度占全线总长 28.4%,发生当量事故次数占总事故次数的 56.4%;通过移动步长法动态划分路段单元能够最大程度鉴别事故多发路段;采用 DBSCAN 算法对初选黑点路段进行再次排查,得到的事故黑点路段长度仅占全线总长 10.8%,其发生当量事故次数占总事故次数的 52.5%;与初选路段相比,其总长度下降了 61%,总当量事故次数几乎不变。将动态分段和 DBSCAN 算法结合能够剔除初选路段中的非黑路段,识别出真正的黑点路段。该方法提高了公路交通事故黑点路段的鉴别精度,可为交通事故黑点的有效治理提供坚实的技术支撑。

关键词:交通工程;交通安全;事故黑点;累计频率法;当量事故数;DBSCAN 算法
中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Identification method of traffic accident black spots based on dynamic segmentation and DBSCAN algorithm

GENG Chao^{1,2}, PENG Yu-hua¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;
2. Anhui Expressway Company Limited, Hefei 230088, Anhui, China)

Abstract: To improve identification accuracy of black spots in traffic accidents, an appropriate length of a road segment was selected as the basic unit for analysis and divided into several section combinations by the mobile step method. The mobile step method considered the number of traffic accidents and resulting casualties for a quantitative measure of traffic accidents. The

收稿日期:2018-04-16

基金项目:云南省交通运输厅科技项目(云交科教(2016)56号)

作者简介:耿 超(1980-),男,安徽凤阳人,安徽皖通高速公路股份有限公司高级工程师,长安大学工学博士研究生,

E-mail:478382517@qq.com。

通讯作者:彭余华(1973-),男,安徽池州人,教授,工学博士,E-mail:332639358@qq.com。

accumulative frequency method was used to analyze the accidents, and obtain sections with relatively concentrated number of accidents under various combinations, then which were merged as the primary black spots according to the principle of adjacent sections. For primary black spots, appropriate neighborhood and threshold values were selected, and the density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) algorithm was used for cluster analysis to seek out the “real” black spots with short lengths and concentrated accident occurrences. To verify the reliability of the identification method, black spots were identified for various sections of the Mazhao Expressway. The results show that length of the accident-prone section identified by the accumulative frequency method accounts for 28.4% of the total length of the segment, and the number of equivalent accidents accounts for 56.4% of the total number of accidents, on the basis of dynamic segment division. Thus, dividing the road unit dynamically by the mobile step method can identify the black spots to a great extent. The lengths of the real black spots only account for 10.8% of the total length, and the number of equivalent accidents accounts for 52.5% of the total number of accidents, When the DBSCAN algorithm is used to re-examine the obtained primary black spots. Thus the length of black spot sections have decreased by 61%, while the number of accidents remained almost the same. The combination of dynamic segmentation and the DBSCAN algorithm can be used to eliminate “non-black” road sections in the primary road segment and identify the real black point segments. This method greatly improves the identification accuracy of black spots, and provides reliable technical support for effective elimination of traffic accident black spots. 3 tabs, 5 figs, 19 refs.

Key words: traffic engineering; traffic safety; black spot; accumulative frequency curve method; equivalent accident number; DBSCAN algorithm

0 引言

根据2015年世界卫生组织统计,全世界每年约有130万人死于道路交通事故,道路交通事故所造成的死亡数量列全球15~29岁人群各类死亡原因之首^[1]。道路交通事故黑点是指受道路条件、交通条件、气候环境等因素的影响,在一个较长的时间段内(通常为1~3年),发生交通事故的数量和特征与其他点相比明显突出或有潜在安全隐患的点。交通事故黑点路段一般仅占路网总长的0.25%,然而事故数却占总事故的25%^[2]。在资源有限的情况下,优先整治事故黑点路段,对提高道路安全水平具有重要意义。

目前,国内外在交通事故黑点鉴别方法方面取得许多成果。Wright等在事故率的基础上,综合考虑事故次数、伤死人数,建立相对危险度模型,并以此作为鉴别事故黑点的依据^[3]。Hirosh等假设路段上的事故次数服从泊松分布,提出质量控制法鉴别事故黑点,但其未考虑事故的严重程度^[4]。Rune等考虑事故的严重程度、交通量和路段长度,选取道路使用者能够忍受的最高事故率作为临界率,对于

不同的临界率,根据显著性水平,确定事故多发点最低的事故率,并以此作为鉴别事故黑点的阈值^[5]。方守恩等针对中国道路实际情况,提出了累计频率法鉴别道路交通事故黑点,将累计频率很小但事故数很大的路段确定为事故黑点路段,该方法因计算简便、适应性强、不受道路差异的影响等优点而受到广泛关注,但其没有考虑事故的损失程度,且采用固定单元划分路段时可能均分事故黑点,造成事故黑点的遗漏^[6]。阎莹等综合考虑各种交通安全评价因素,将累计频率法与当量事故次数法相结合,在考虑事故严重程度的同时,以累计频率法寻求事故突出的路段,但仍未克服累计频率法易遗漏事故黑点的缺陷^[7]。袁浩等在累计频率法的基础上,采用一定的移动步长重新划分路段单元,多次搜索事故黑点的位置并进行精简合并处理,以尽量避免事故黑点的遗漏,但未考虑事故的严重程度,且多次合并可能会将非事故黑点路段误判为黑点路段^[8]。冯少荣等将DBSCAN聚类算法应用于交通事故多发点的排查,能够较精确地发现路段上事故集中的黑点路段,但该方法计算量较大,一般只适用于对道路中的一小段或一个地点进行聚类分析^[9]。

本文在考虑事故次数和伤亡人数的前提下,将移动步长法与累计频率法相结合对事故路段进行分析,初步得到事故相对集中路段;再采用基于密度的DBSCAN算法对初选路段进行聚类分析,最终得到长度短且事故集中的真正事故黑点。本文方法对优化中国道路交通安全的治理方式具有重要意义。

1 黑点路段鉴别方法对比

目前国内外公路交通事故黑点的鉴别方法主要有^[10-16]:

(1) 事故频率法

选取某一临界事故次数作为阈值,若一定长度的路段事故发生次数大于该阈值,则认为该路段是事故多发路段。该方法的优点是计算简便,能快速鉴别出事故发生数量多的路段;缺点是阈值的选取主观性较强,未考虑交通量和道路条件的影响,且无法反映事故的严重程度,易遗漏一些真正的危险点,仅适用于小规模的道路系统黑点鉴别。

(2) 事故率法

以路段每年百万车公里事故次数作为评价标准,交叉口则以百万车事故次数作为评价标准,当路段或交叉口的事故率超过某一可接受的临界值时,即被认为是事故多发点。该方法考虑了交通量与路段长度的影响,但容易导致具有低交通量、低事故数的路段拥有高事故率,而具有高交通量、高事故数的路段拥有低事故率。因此,当以其作为唯一标准进行事故多发点鉴别时,同样也可能导致将非危险路段当作危险路段进行改善,或滤掉更为危险的路段。

(3) 当量事故次数法

考虑事故损失的严重程度,通过不同的权值将伤亡人数当量化为事故次数。此方法与事故频率法的缺点相似,虽然考虑了伤亡但其阈值的选取没有一定的理论基础,没有考虑交通量和道路条件的影响。

(4) 累计频率法

针对中国公路交通事故黑点鉴别尚无统一的鉴别指标,且不同地区、不同等级公路的养护、管理资金不一的状况而提出的。该方法是将单位长度路段按发生的事故数排序,计算其累计频率,将累计频率很小但事故数很大的路段确定为事故黑点路段,具有一定的理论依据。但是这种方法没有考虑事故的严重程度,采用单元等分路段时容易出现削峰的现象,造成事故黑点的遗漏。

(5) 事故频率-事故率法

将事故数法和事故率法相结合,先采用事故数法对事故黑点路段进行初步筛选,然后采用事故率法确定道路危险路段。这种方法能够综合2种方法的优点,但其仍忽略了事故的严重程度,临界黑点阈值的选取缺乏的理论依据。

(6) 数据挖掘方法

通过多元统计、聚类分析事故数据,从中发现隐含信息,揭示事故多发点分布的潜在规律。通常采用数据挖掘中的聚类算法,将空间中密度较大的一类相聚成簇,即事故黑点,如模糊聚类K均值算法、DBSCAN算法。这种方法鉴别结果较为真实可靠,但单独采用此方法分析全路段的计算量很大。

以上各鉴别方法都能从不同的角度来鉴别事故黑点,但在实际应用时存在一定的局限性。相比而言,累计频率法能够针对不同公路选取相对合适的临界阈值,适用范围更加广泛。本文将累计频率法与DBSCAN相结合,先在累计频率法的基础上,借鉴当量事故次数法的思想,兼顾事故次数和伤亡人数对交通事故进行当量化处理,结合移动步长法动态划分路段单元以尽可能提高累计频率法的精度;然后在累计频率法筛选出的初选黑点路段的基础上,用DBSCAN聚类算法对初选路段的事故进行复查,以寻求长度小且事故集中的真正事故黑点。

2 路段单元划分方法

2.1 基本单元确定

道路交通事故黑点的研究需划分一定长度的路段为分析单元。目前国内外尚未对路段基本单元长度有明确的规定。根据国外经验,道路单元长度可在0.2~16 km之间选择;而中国大多数研究考虑到计算的简便性,将该基本单元选取为1 km。郑润玉分别采用0.5、1 km为路段单元对某山区公路进行事故黑点鉴别,结果表明在山区公路路段单元采取0.5 km更为精确^[17]。王龙健等利用累计频率法对不同单位取样长度下的道路事故多发点进行鉴别,通过对比分析得到单位取样长度取值范围为0.05~1.4 km,取样长度越小鉴别效果越好^[18],但该研究没有考虑到累计频率法存在削峰的缺陷。

在路段单元选取上,一般应满足2个原则:满足鉴别精度的要求,路段单元不可过长;避免因路段划分太短使计算量大。因此,平原区等公路线形指标较高、视距良好、车速较高,应当选取较长的路段单元,建议取1~3 km;山区等公路地形复杂、线形指

标较低、车速较低,应当选取较短的路段单元,建议取0.5~1 km。路段单元取值可在满足以上2个原则的基础上,根据公路实际情况灵活选取。

2.2 动态分段的移动步长确定

在公路事故黑点鉴别时,不同事故的空间距离很小时应被划分为同一单元路段,仅采用固定单元进行路段划分,可能出现削峰现象。在图1中,事故黑点鉴别阈值为4, $K0+500 \sim K1+500$ 应当为1处事故黑点,但按图1中固定单元从起点处开始划分,黑点段的事故被分在不同的路段单元上,导致该黑点段被遗漏;若以500 m为步长移动路段单元,将 $K0+500 \sim K1+500$ 划分为一个单元,就能够有效避免事故路段被均分。

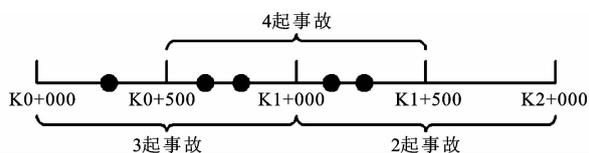


图1 路段单元划分示意

Fig. 1 Sketch of road sections division

因此,在路段单元划分时采用某一步长逐步移动路段单元,得到 m 组不同的路段划分形式(m 为路段单元长度与移动步长之比),能够尽可能将事故较集中的路段划分为同一单元,提高事故黑点鉴别的准确性。综合考虑路段线形状况和路段单元长度,建议在线形良好、路段单元长度较长时,移动步长取200~500 m;线形较差、路段单元长度较短时,移动步长取100~200 m。

3 基于当量事故数-累计频率法的事 故黑点路段初选

累计频率曲线法是基于统计学原理的一种方法,以单位长度内发生的交通事故数为纵坐标,以大于某一事故次数的累计频率为横坐标,绘制对应的累计频率曲线图,一般在累计频率为15%~20%的范围内会出现一个突变点,累计频率小于该突变点时,事故次数随着累计频率的减小而迅速增大,从而可确定出事故多发路段。图2为某公路的事故累计频率曲线。

累计频率法仅对事故次数进行了统计分析,并未考虑事故的伤亡情况。有些路段虽然事故数达不到事故黑点鉴别标准,但人员伤亡很大,造成的影响极其恶劣,因而这种路段也应当作为事故黑点的考虑范围。

当量事故数的计算如下

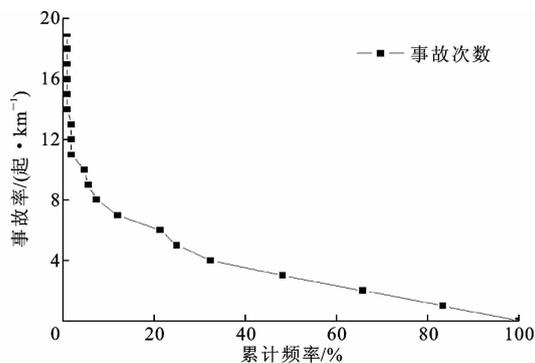


图2 某公路的事故累计频率曲线

Fig. 2 Accumulative frequency curve of an accident on a road

$$E_Q = Q + \alpha D + \beta J \quad (1)$$

式中: E_Q 为当量事故总数; Q 为原本发生的事故数; D 为事故中死亡人数; J 为事故中受伤人数; α 为事故死亡权重; β 为事故受伤权重,其中, α 、 β 的取值可根据事故严重程度对社会和个人的影响确定不同类型事故的相对值,在一场交通事故中,应该先考虑的是死亡情况,再考虑受伤情况,故 $\alpha > \beta$ 。借鉴国内外的相关研究成果,设定死亡事故权重为2.0,受伤事故权重为1.5^[19]。

在移动步长法动态划分路段单元的基础上,运用当量事故数-累计频率法初选事故黑点的步骤为:①按照路段单元划分方法进行路段的动态划分;②将事故数当量化处理,计算累计频率,绘制累计频率曲线图;③根据累计频率曲线上的突变点,得到 m 组事故相对多发路段;④将 m 组事故多发路段合并,当相邻量事故单元相距很近(如小于100 m)时,考虑到治理的方便性,将二者合并成潜在的事故黑点路段。

4 基于 DBSCAN 算法的事故黑点确定方法

前述方法虽能够较全面地找出初选的事故黑点,但若选取的路段单元长度较大(1~3 km)时,导致由不同分组合得到的事故初选黑点路段长度偏大,且容易将非黑点路段误判为黑点路段。动态分段示意如图3所示,路段基本单元为1 km,移动步长200 m,若事故黑点阈值为4时可能会将单元b、c、d、e都鉴别为事故黑点范围,最终合并得到的事故黑点长度为1.6 km;然而实际上只有其中小部分路段为真正的事 故黑点,仅0.4 km左右。采用步长移动路段单元虽然能有效避免事故黑点路段的遗漏,却可能导致黑点路段长度过大,给后期分析事故致因及提出治理对策时增加困难。

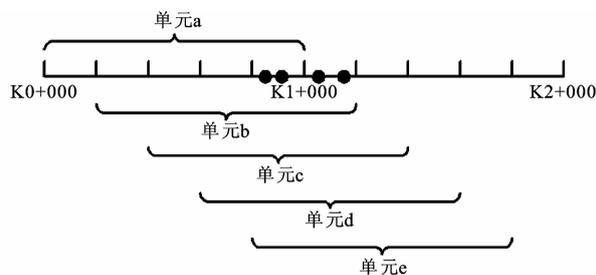


图 3 动态分段示意

Fig. 3 Sketch of dynamic segmentation

4.1 DBSCAN 算法原理

基于密度的 DBSCAN 算法的原理:数据集中每个点是待分析的对象,从中任意取点 P ,如果 P 点是核心点(P 的邻域半径 ϵ 内对象点的个数大于密度阈值 $\min P_{ts}$),则以 P 点为核心点搜索,找出 P 点密度可达的所有对象点,即找出一个密度互连的最大集合,把集合内的所有对象点都标示为同一簇;如果 P 点不是一个核心点,没有其他对象点从点 P 密度可达,那么点 P 被标示为噪声点。

令交通事故作为待分析的对象,如图 4 所示,则每个簇都为 1 个交通事故黑点(黑点 a、b), 2ϵ 为最小的黑点路段长度(黑点 b), $\min P_{ts}$ 为判别事故黑点的阈值。利用 DBSCAN 算法对初选得到的黑点路段进行复查,能够聚类出真正的黑点,排除初选路段中的非黑点路段。

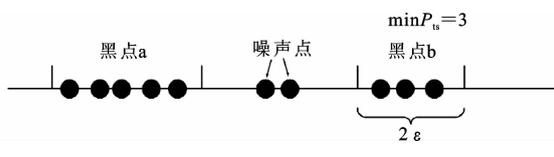


图 4 基于 DBSCAN 算法的事故黑点空间聚类示意

Fig. 4 Schematic of spatial clustering of accident black spots based on DBSCAN algorithm

4.2 参数确定

DBSCAN 算法中有 2 个关键参数:邻域半径 ϵ 和密度阈值 $\min P_{ts}$ 。在事故黑点鉴别中, ϵ 表征了黑点路段的最小长度,当 ϵ 过大时容易将所有事故都聚类成事故黑点,精度较低,同时也不利于交通部门治理;当 ϵ 过小时,每个事故都自成一个簇,起不到排查的效果。对于密度阈值 $\min P_{ts}$,如果 $\min P_{ts}$ 值太大,则会导致低事故率的聚类丢失,仅得到事故率较高黑点路段,当治理资金短缺时可以选择较大的 $\min P_{ts}$ 值;如果 $\min P_{ts}$ 值太小,事故率较小的路段也被划分为事故黑点,当治理资金较充裕时可以选择较小的 $\min P_{ts}$ 值。本文建议:平原区公路路线形较好的路段 ϵ 取 0.2 km,最小治理长度为

0.4 km;山岭区公路路线形较差的路段 ϵ 取 0.1 km,最小治理长度为 0.2 km,阈值 $\min P_{ts}$ 按式(2)确定。在实际排查过程中,可以根据每条道路的自然环境、道路线形、交通设施以及养护资金的情况,综合考虑选取鉴别参数。

$$\min P_{ts} = 2\epsilon \frac{K}{L} \quad (2)$$

式中: K 为初选路段当量事故总数; L 为初选路段总长度; ϵ 为邻域半径。

5 工程实例

选取云南省麻昭高速公路 K0+000~K50+000 段南行方向 2016~2017 年近 2 年的交通事故为对象。据统计,2016 年 1 月~2017 年 9 月,该段共发生交通事故 251 起,死亡 3 人,受伤 56 人。

5.1 项目概况

麻柳湾一昭通段高速公路(麻昭高速)是中国国家高速公路网 G85 重庆—昆明高速公路中的一段,是云南省通往四川及内地的交通主动脉。K0+000~K50+000 段南行方向,设计时速 80 km/h,为双向 4 车道高速公路,路基宽度 26.5 m,主要技术指标见表 1。

表 1 主要技术指标

Tab. 1 Main technical indicators

指标	
公路等级	高速公路
设计速度/(km·h ⁻¹)	80
路基宽度/m	24.5
平曲线最小半径/m	560
直线最大长度/m	3871.22
最大纵坡坡度/%	3.95
最短坡长/m	260
行车道宽度	2.2、3.75
竖曲线最小半径/m	凸形 400
	凹形 5000
最大纵坡坡度(°)/坡长限制	5/700
停车视距/m	110
汽车荷载等级	公路-I 级
沿线设施等级	A 级

5.2 事故黑点路段鉴别

(1) 事故数据预处理

将原始事故数据中驾驶人操作不当、有明显违规行为,变更车道时影响正常行驶的机动车,机动车存在安全隐患,行人进入高速公路等明显与路因素无关且所占比例较小的事故剔除,剩余交通事故 222 起,死亡 1 人,受伤 48 人。

(2)路段单元划分

本项目 K0+000~K50+000 段设计速度 80 km/h,平曲线最小半径为 560 m,最大纵坡坡变 3.95%,线形较差、地质条件复杂。取路段单元长度为 1 km,移动步长为 200 m,其作如下划分:

a 组, K0+000~K1+000、K1+000~K2+000、...K48+000~K49+000、K49+000~K50+000。

b 组, K0+000~K0+200、K0+200~K1+200、...K47+200~K48+200、K48+200~K50+000。

c 组, K0+000~K0+400、K0+400~K1+400、...K47+400~K48+400、K48+400~K50+000。

d 组, K0+000~K0+600、K0+600~K1+600、...K47+600~K48+600、K48+600~K50+000。

e 组, K0+000~K0+800、K0+280~K1+800、...K47+800~K48+800、K48+800~K50+000。

(3)事故黑点路段初选

将交通事故次数当量处理,计算累计频率,如图 5 所示。

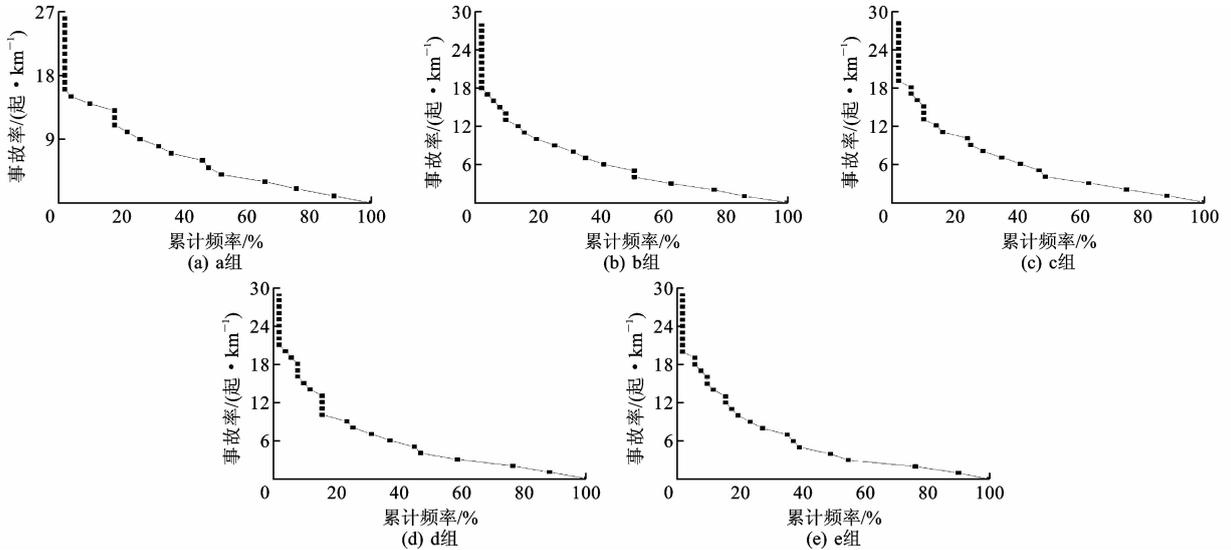


图 5 累计频率曲线

Fig. 5 Accumulative frequencies curves

根据累计频率曲线分别确定各组的突变事故次数为 12、12、12、13、12,由此可确定出每个分组情况下的事故黑点路段,将这 5 组结果合并选出 K0+000~K50+000 段的初步事故黑点,如表 2 所示。

表 2 初选事故黑点路段

Tab. 2 Primary black spots of accidents

起点桩号	终点桩号	路段长度/km	当量事故次数/起
K26+000	K27+800	1.8	20.5
K29+600	K31+200	1.6	17.0
K34+000	K35+800	1.8	17.5
K37+000	K38+800	1.8	24.0
K39+400	K42+000	2.6	20.5
K42+400	K43+800	1.4	13.5
K44+000	K47+200	3.2	54.0
合计		14.2	167.0

(4)初选路段复查

根据本项目线形状况,取邻域半径 ϵ 为 100 m,最小黑点治理长度为 200 m。将初选黑点路段长度、当量事故总数以及 ϵ 值带入式(2)得到 $\min P_{ts}$ 值为 2.4。用 DBSCAN 算法对初选黑点路段再次排

查,排查结果(相邻黑点路段长度小于 100 m 时予以合并)如表 3 所示。

表 3 最终事故黑点路段

Tab. 3 Final black spots of accidents

起点桩号	终点桩号	路段长度/m	当量事故次数/起
K26+655	K27+055	400	15.0
K27+455	K27+655	200	4.5
K30+155	K30+627	472	12.0
K34+055	K34+255	200	3.0
K34+755	K34+960	205	11.5
K37+655	K38+355	700	18.0
K39+755	K40+355	600	18.0
K41+055	K41+355	300	6.0
K41+655	K42+055	400	7.0
K42+755	K43+055	300	9.5
K44+000	K44+355	355	6.0
K44+655	K45+555	900	31.5
K46+055	K46+555	500	13.5
合计		5 532	155.5

5.3 结果分析

由当量事故次数-累计频率法初步选出的事故

黑点长度为 14.2 km,占全线总长 28.4%,当量事故次数为 167 起,占总事故次数的 56.4%。结合移动步长法动态划分路段单元,能够尽可能多的找出事故黑点;但由于多组结果相互重叠,导致得到的事故黑点路段较长,其中更可能隐藏非黑点路段,在资金有限的条件下,难以对初选黑点路段进行有效的治理。

采用 DBSCAN 算法对初选黑点路段进行再次排查,得到的事故黑点路段长度为 5.532 km,占全线总长 10.8%,当量事故次数为 155.5 起,占总事故次数的 52.5%。与其初选黑点路段相比,其总长度下降了 61%,而当量事故次数仅减少了 11.5 起。不难看出,在初选黑点路段中隐藏了较长的非黑点路段,通过 DBSCAN 算法进行复查,能够更准确地找到事故黑点的位置,既方便交通部门对事故黑点的治理,又能够有效节约资金。

6 结 语

(1)通过分析几种常用的事故黑点鉴别方法,累计频率法比其他方法的适用范围更广;将 DBSCAN 聚类算法与累计频率法相结合,具有鉴别结果精度高,计算量小的特点。

(2)将移动步长法与累计频率曲线法相结合,鉴别出的事故多发路段比基于平均分割法的累计频率曲线法更具有针对性、精度更高;对当量化后的事故采用累计频率曲线法进行事故黑点鉴别,得出的事故多发路段更能反映路段的事故严重性,更能符合评价工作实际意义。

(3)基于合并后的初选黑点路段,采用 DBSCAN 算法进行聚类分析,能够剔除初选路段中隐藏的非黑点路段,寻找到长度较短且事故集中的真正事故黑点,其更符合黑点在路段上的分布情况,利于后期黑点治理和事故致因分析。

(4)本文方法首先进行路段的动态划分,其次基于当量事故数-累计频率法进行事故黑点路段初选,最后利用 DBSCAN 算法对初选黑点路段进行复查得到真正的事故黑点。结合麻昭高速的交通事故数据进行验证,结果表明,本文方法精度较高,可靠性较好。

(5)通过对麻昭高速部分路段进行事故黑点鉴别,基于动态路段划分方法鉴别得到的初选事故集中路段长度占全线总长的 28.4%,事故数占总事故数的比例高达 56.4%;基于 DBSCAN 算法对初选路段复查得到的真正事故黑点路段仅占全线总长的

10.8%,事故数占总事故数的 52.5%。

(6)为反映事故的严重程度,将伤亡人数当量为事故次数,但未考虑事故所造成的财产损失,下一步将综合考虑事故次数、伤亡人数和财产损失,以期能更客观反映事故的严重程度。

参考文献:

References:

- [1] World Health Organization. Global status report on road safety 2015[R]. Geneva: World Health Organization, 2015.
- [2] 过秀成,盛玉刚. 公路交通事故黑点分析技术[M]. 南京:东南大学出版社,2009.
GUO Xiu-cheng, SHENG Yu-gang. Black spot analysis technology for highway traffic accidents[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2009.
- [3] WRIGHT C C, ABBESS C R, JARRETT D F. Estimating the regression-to-mean effect associated with road accident black spot treatment: Towards a more realistic approach[J]. Accident Analysis & Prevention, 1988, 20(3): 199-214.
- [4] HIROSHI K. Road accidents in Japan[J]. The International Association of Traffic and Safety Science Research, 1997, 21(2): 160-161.
- [5] RUNE E, VAA T. The handbook of road safety measures[M]. Amsterdam: Elsevier, 2009.
- [6] 方守恩,郭忠印,杨 轸. 公路交通事故多发位置鉴别新方法[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(1): 90-94, 98.
FANG Shou-en, GUO Zhong-yin, YANG Zhen. A new identification method for accident prone location on highway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1(1): 90-94, 98.
- [7] 阎 莹,刘浩学,游小青,等. 道路交通事故多发位置鉴别新方法的探讨[J]. 交通运输系统工程与信息, 2005, 5(3): 82-86.
YAN Ying, LIU Hao-xue, YOU Xiao-qing, et al. A new method of road accident black-spots identification[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2005, 5(3): 82-86.
- [8] 袁 浩,史桂芳,汤振农,等. 交通事故多发路段研究[J]. 交通信息与安全, 2009, 27(2): 100-103.
YUAN Hao, SHI Gui-fang, TANG Zhen-nong, et al. Traffic accident-prone locations[J]. Traffic Information and Security, 2009, 27(2): 100-103.
- [9] 冯少荣,肖文俊. 基于密度的 DBSCAN 聚类算法的研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20):

- 216-221.
- FENG Shao-rong, XIAO Wen-jun. Research and application of DBSCAN clustering algorithm based on density[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(20): 216-221.
- [10] 林 丽, 张永强, 高敏杰. 道路交通事故黑点成因鉴别与改善对策[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(6): 157-160.
- LIN Li, ZHANG Yong-qiang, GAO Min-jie. Formation cause identification and improvement of the road traffic accidents black spots[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2010, 34(6): 157-160.
- [11] VALENT F, SCHIAVA F, SAVONITTO C, et al. Risk factors for fatal road traffic accidents in Udine, Italy[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2002, 34(1): 71-84.
- [12] PRIETO F, GÓMEZ-DÉNIZ E, SARABIA J M. Modeling road accident blackspots data with the discrete generalized Pareto distribution[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2014, 71: 38-49.
- [13] 郭 麟, 周继彪, 董 升, 等. 基于改进 K-means 算法的城市道路交通事故分析[J]. *中国公路学报*, 2018, 31(4): 270-279.
- GUO Lin, ZHOU Ji-biao, DONG Shen, et al. Analysis of urban road traffic accidents based on improved K-means algorithm[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2018, 31(4): 270-279.
- [14] 袁 泉, 李一兵, 鲁光泉. 基于地理视角的交通事故多发点鉴别分析模型[J]. *交通运输工程学报*, 2010, 10(1): 101-105.
- YUAN Quan, LI Yi-bing, LU Guang-quan. Identification analysis model of traffic accident-prone locations based on geographical view angle[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2010, 10(1): 101-105.
- [15] ALLEN B L, SHIN B T, COOPER P. Analysis of traffic conflict and collisions[J]. *Transportation Research Record*, 1978(667): 67-74.
- [16] 过秀成, 盛玉刚, 潘昭宇, 等. 公路交通事故黑点总体特征分析[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2007, 37(5): 930-933.
- GUO Xiu-cheng, SHENG Yu-gang, PAN Zhao-yu, et al. Analysis of general characteristics for highway traffic accident black-spots[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2007, 37(5): 930-933.
- [17] 郑润玉. 山区高速公路交通事故多发段排查鉴别方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- ZHENG Run-yu. Research on the identification method of the mountain highway accident-prone section [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [18] 王龙健, 成嘉琪. 累计频率法鉴别道路事故多发点中单位取样长度的限定[J]. *公路与汽运*, 2015(5): 36-39.
- WANG Long-jian, CHENG Jia-qi. Identification of unit sampling length in road accident prone spots by cumulative frequency method[J]. *Highways and Automotive Applications*, 2015(5): 36-39.
- [19] 朱兴琳, 陆秉堃. 道路交通事故多发点(段)的鉴别方法[J]. *新疆农业大学学报*, 2002, 25(1): 63-66.
- ZHU Xing-lin, LU Bing-kun. Identification of accident prone location[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2002, 25(1): 63-66.