

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202004007



福州市城市交通违法行为的 空间分布规律分析

梁娟珠, 徐森

(福州大学 数字中国研究院(福建), 福建 福州 350003)

摘要: 为辅助治理城市交通违法行为,从源头减少交通事故,以福州市各县市区为研究区,对福州市交通违法数据按照交通违法扣分细则分类;然后,利用最邻近指数技术计算交通违法行为的聚集状态,并利用标准差椭圆、层次聚类和核密度 3 种算法进行空间热点识别.结果表明:福州市交通违法数据以点形式分布,主要聚集在三环内和福清市;各类交通违法行为均为聚集型分布状态,中心点主要分布于福州市东南方向,福州市交通违法行为未来的高发区可能呈从主城区向东南方向延伸的趋势;市中心被商场和景区包围的八一七北路、东三环快速路与机场高速互通枢纽、连江县 104 国道东边居民区和学校为 3 类交通违法高发区域.

关键词: 交通违法; 地理信息系统; 空间分布; 空间聚集性; 热点识别; 福州市

中图分类号: U 491.31; P 208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2021)01-0128-07

Analysis on Spatial Distribution Law of Urban Traffic Violations in Fuzhou City

LIANG Juanzhu, XU Sen

(Digital China Research Institute (Fujian), Fuzhou University, Fuzhou 350003, China)

Abstract: In order to assist in the control of urban traffic violations and reduce traffic accidents from the source, the districts and counties of Fuzhou City are used as the research area. The traffic violation data of Fuzhou City is classified according to the traffic violation deduction rules, and the nearest neighbor index technology is used to calculate the aggregation status of traffic violations. Using standard deviation ellipse, hierarchical clustering and kernel density three algorithms for spatial hot spot recognition. The results show that Fuzhou City traffic violation data distribute in the form of points, it is mainly concentrated in the Third Ring and Fuqing City. Traffic violations show an aggregated distribution pattern, and the central point is mainly located in the southeast of Fuzhou City. In the future, traffic violations may extend from the main urban area to the southeast of Fuzhou City. The Bayi North Road surrounded by shopping malls and scenic spots in the city center, the East Third Ring Expressway and the airport high-speed interchange hub, the residential area and schools east of 104 National Road in Lianjiang County are the three areas with high incidence of traffic violations.

Keywords: traffic violation; geographic information system; spatial distribution; spatial clustering; hotspot identification; Fuzhou City

进入 21 世纪,我国经济快速发展,汽车保有量逐年增加,交通问题日益凸显. 据统计,2018 年,我国

收稿日期: 2020-04-01

通信作者: 梁娟珠(1978-),女,副研究员,博士,主要从事地理信息工程的研究. E-mail: liangjuanzhu@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41771423)

因交通事故造成的死亡人数为 63 194 人,直接财产损失达 138 456 万元.研究表明,交通事故往往是由于驾驶员占用对方车道、操作不当和超速等交通违法行为引发的^[1-2].这些交通违法行为通常是在空间区域内发生,因此,通过地理信息系统(GIS)技术对交通违法行为进行空间分析,获取城市交通违法规律,可从源头上减少交通事故的发生.

近年来,许多学者对空间分析技术进行了大量的研究,研究数据也从最开始的面数据逐步延伸到点数据^[3],丰富了空间分析的研究内容.陈赵娣等^[4]对杭州市 2014 年 1 月至 2015 年 6 月的人室盗窃数据进行空间分布特征的相关性分析,探究杭州市入室盗窃的分布模式和热点位置.王增利等^[5]提出一种基于时空影响范围的网络构建方法,研究入室盗窃的空间分布特征和时间分布特征.王颖志等^[6]利用时空分析技术,对华东部分城市的交通事故数据(2013—2015 年)进行事故多发点鉴别.梁娟珠等^[7]采用 GIS 和遥感技术对长汀县的水土流失风险分布与影响因素进行分析.马静等^[8]通过河北省 2010 年人口数据和空气质量数据,采用空间分析技术对空气污染和死亡人数进行分析.纪小美等^[9]通过空间分析技术和社会记忆理论对南京主城区街巷地名变迁的时空格局和动因机制进行探讨.古恒宇等^[10]综合运用 GIS 空间分析方法和空间句法为深圳市相关规划部门的公共游艇码头选址提供参考方案.此外,空间分析技术还对疾病的防控具有重要意义,张永树等^[11]通过空间分析技术对艾滋病的扩散规律进行全方位分析,从而对疫情防控热点区域和高风险传播方向进行精准防控.目前,少有学者对交通违法行为进行空间分析^[12-13],更多是从驾驶员的心理^[14]、行为^[15]和驾车意识^[16]等方面进行分析.基于此,本文采用空间分析技术对福州市城市交通违法行为与空间分布规律进行研究.

1 研究区概况和数据

1.1 研究区概况

福州市位于福建省东部沿海地区,118°08′~120°31′E,25°15′~26°29′N,全市共管辖鼓楼、台江、仓山、晋安、马尾和长乐 6 个区,闽侯、连江、罗源、闽清、永泰、平潭 6 个县及县级市福清.福州市海拔为 600~1 000 m^[17],山地和丘陵占全市地貌的 72.68%,整体地形较复杂.天气呈季节性变化,春季阴雨绵绵,夏季台风频繁,秋季天高云淡,冬季基本无雪.

1.2 数据来源与预处理

数据来源包括:1) 2018 年 1 月 1 日至 2018 年 8 月 31 日福州市交通违法记录(福建省公安厅数据);2) 福州市 1:10 000 的区县行政区划图(研究区部分附属岛屿暂未修建道路,故数据不包括部分岛屿);3) 福州市 1:10 000 的道路网数据.随着交通违法行为执法力度的加大,交通违法数据包括机动车、行人和非机动车的违法记录,为了减少数据冗余,提高数据准确性,将行人和非机动车违法记录剔除,共选取 2 689 609 条机动车违法记录进行空间分析.

采用 GIS 技术对交通违法行为进行分析的基础是交通违法点的定位^[18].GIS 技术一般通过经纬度坐标确定交通违法点的位置,但交通违法数据只有对违法地点的描述,缺乏经纬度坐标,因此,需对交通违法地址进行地理编码,将文本地址转换为经纬度坐标.比较百度、高德、腾讯 3 家地图厂商提供的应用程序接口(API)可知,高德地理编码 API 的整体质量较高,故采用高德 API.

共解析出 246 394 条经纬度记录不属于福州市辖区,最终得到 2 443 215 条福州市交通违法记录.福州市机动车的交通违法空间分布和行政区划图,如图 1 所示.

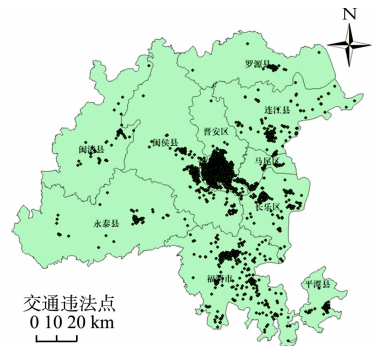


图 1 交通违法点分布和行政区划图
Fig. 1 Traffic violation points distribution and administrative zoning map

2 研究方法

2.1 最邻近指数法

通过地理编码得到交通违法点数据,利用 GIS 软件对点数据进行空间分析.采用最邻近指数法判断交通违法行为在空间分布类型上是否为聚集型分布状态^[19],即

$$R=\bar{r}/\bar{r}_E,$$
(1)

$$\bar{r}=\sum_{i=1}^n\frac{d_{\min}(s_i)}{n},$$
(2)

$$\bar{r}_E=\frac{1}{2\sqrt{n/A}}=\frac{1}{2\sqrt{D}}.$$
(3)

式(1)~(3)中: R 为最邻近指数; \bar{r} 为实际最邻近平均距离; \bar{r}_E 为理论最邻近平均距离; d_{\min} 为每一个事件到最邻近点的距离; s_i 为研究区域中的事件; n 为交通违法数量; D 为点的密度; A 为研究区面积.

当 $R<1$ 时,即 $\bar{r}<\bar{r}_E$,表示点聚集分布;当 $R=1$ 时,即 $\bar{r}=\bar{r}_E$,表示点随机分布;当 $R>1$ 时,即 $\bar{r}>\bar{r}_E$,表示点均匀分布.标准差 SE_r 为

$$SE_r=\frac{0.261\ 36}{\sqrt{n^2/A}}.$$
(4)

通过标准差 SE_r 得出最邻近指数显著性的检验指标 Z 为

$$Z=\frac{\bar{r}-\bar{r}_E}{SE_r}.$$
(5)

2.2 标准差椭圆法

采用标准差椭圆法分析福州市交通违法总体变化特征^[20].标准差椭圆由圆心、方位角、长/短半轴等重要因素组成.

1) 圆心是事物在空间分布相对位置的中心^[21],其横、纵坐标的计算公式为

$$x_{SDE}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{X})^2}{n}},$$
(6)

$$y_{SDE}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(y_i-\bar{Y})^2}{n}}.$$
(7)

式(6),(7)中: x_i,y_i 为点要素 i 的横、纵坐标; \bar{X},\bar{Y} 为点要素算术平均中心的横、纵坐标.

2) 方位角确定椭圆的方向,以 X 轴为准,顺时针方向旋转.

3) 椭圆的长半轴表示交通违法分布的方向,短半轴表示交通违法分布的范围.如果椭圆接近一个圆,表示交通违法行为在空间上没有任何方向分布特征.

2.3 层次聚类法

标准差椭圆只能从整体上把握交通违法行为的空间分布趋势,并不能反映交通违法行为聚集的区域,而层次聚类可将离事件点距离最近的点合并成一个簇.聚类过程有两种,一是自下向上,即凝聚;二是自上向下,即分类^[22].对交通违法行为而言,可利用层次聚类中的凝聚算法进行空间分析,即根据每个交通违法点之间的距离,设置极限距离,以及每个聚集单元包含的最小交通违法行为点数目,需同时满足这两个条件,才会生成第一级聚类(一阶聚类),然后,一阶聚类在空间阈值距离的限制下生成二阶聚类,依次生成高阶聚类,其基本原理如图2所示.

2.4 核密度估计法

采用核密度估计法分析福州市各县市区交通违法行为空间分布情况,核密度估计法是为了弥补参数模型取得不满意结果而提出的一种非参数估计方法^[23].由地理学第一定律可知:点之间的距离越近,其关联越紧密,表示事件发生的概率较高;反之,则事件发生的概率较低.根据概率理论,核密度估计法的定义如下:假设 x_1,x_2,x_3,\cdots,x_n 是从密度函数 f 中抽取的个体, f 在待估点 x 的值为 $f(x)$,其核密度估计值 $f_n(x)$ 为

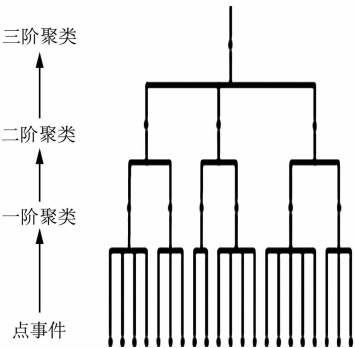


图2 层次聚类基本原理图
Fig.2 Basic principle diagram of hierarchical clustering

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right).$$

(8)

式(8)中: $x-x_i$ 为待估点 x 到交通违法点 x_i 的距离; h 为窗宽, $h>0$,窗宽的大小会影响核密度分析的结果,窗宽值越大,核密度分析值越小,热点区域越少,整体区域显示较平坦,而窗宽值越小,核密度分析值越大,热点区域较多,整体区域显示较陡峭^[24]; $K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$ 为核密度估计的核函数.

3 交通违法行为空间分析

3.1 聚集性分析

交通违法行为通过地理编码以点形式在空间分布,按照福建省交通管理部门 2014 年出台的《福建省道路交通安全违法行为处理对照表》,将 2018 年交通违法行为分成 7 类,并将这 7 类交通违法行为进行最邻近指数计算,结果如表 1 所示.由表 1 可知:7 类交通违法行为的最邻近指数 R 都明显小于 1,表明福州市各类交通违法行为在空间分布上为聚集型;显著性检验指标 $P<0.01, Z<-2.58$,说明福州市各类交通违法行为呈显著的聚集型空间分布.

表 1 7 类交通违法行为最邻近指数分析表

Tab. 1 Seven types of traffic violations nearest neighbor index analysis table

| 违法行为分类 | \bar{r}_E/m | \bar{r}/m | R | Z | P | 分布类型 |
|--------|----------------------|--------------------|-----------|------------|-----|------|
| 不扣分 | 630.185 1 | 30.776 3 | 0.048 837 | -213.441 0 | 0 | 聚集 |
| 扣 1 分 | 1 675.207 0 | 160.552 6 | 0.095 840 | -69.253 6 | 0 | 聚集 |
| 扣 2 分 | 1 262.596 2 | 115.471 8 | 0.091 456 | -100.419 0 | 0 | 聚集 |
| 扣 3 分 | 879.215 6 | 66.363 2 | 0.075 480 | -146.661 0 | 0 | 聚集 |
| 扣 6 分 | 4 619.700 2 | 1 514.016 2 | 0.327 730 | -18.725 8 | 0 | 聚集 |
| 扣 12 分 | 2 348.347 4 | 476.067 1 | 0.202 720 | -34.713 9 | 0 | 聚集 |
| 吊销驾驶证 | 3 511.950 5 | 2 041.950 5 | 0.296 728 | -22.713 0 | 0 | 聚集 |

3.2 方向分布特征分析

为了解福州市交通违法行为总体空间聚集和发展方向,将 7 类交通违法行为数据进行标准差椭圆分析,结果如图 3 所示.由图 3 可得以下 3 个结论.

1) 不扣分行为及扣 1,2,3,6 分交通违法行为的方位角均大于 90° ,长半轴都向西北—东南方向延伸,且平均中心点都在福州市东南方向,表明 2018 年福州市此类交通违法行为在西北—东南方向的发生率比东北—西南方向更高.

2) 扣 12 分行为和吊销驾驶证行为在现实中情节恶劣,属于较严重行为.这两种行为的方向性较为明显,方位角都小于 90° ,长半轴都向东北—西南方向延伸,分布范围较大.这两类交通违法行为主要是经交警巡逻发现或受害人报案登记,与前 5 类交通违法行为不同,多由道路上设置的电子眼进行监控,位置比较固定.总体上,这 7 类交通违法行为重叠区域明显,说明 7 类交通违法行为比较集中.

3) 福州市交通违法行为在空间分布上既有差异性,也有相似性.虽然方向有明显的偏差,但 7 类交通违法行为平均中心点都在福州市东南方向,未来福州市交通违法行为有逐渐向东南方向的福清市、平潭县延伸的趋势.

采用 CrimeStat-IV 分析工具对福州市交通违法行为进行聚类分析,分析结果通过 ArcGIS 10.2 软件进行可视化展示,结果如图 4 所示.

由图 4(a)可知:福州市交通违法行为为一阶聚类分布范围较广,聚类数量多,主要在晋安区、仓山区、鼓楼区、台江区,其次是长乐区、福清市、罗源县及连江县;不扣分交通违法行为一阶聚类数量达 132 个,最大的面积仅有 $0.504\ 43\ \text{km}^2$,说明驾驶员经常有开车时抽烟、不避让正在作业的道路养护车及工程作

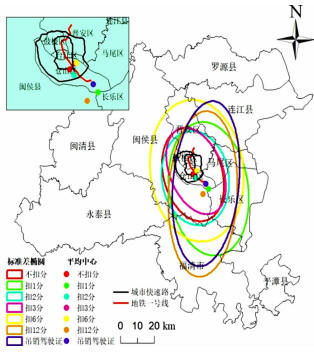


图 3 交通违法行为的标准差椭圆图

Fig. 3 Ellipse of standard deviation for traffic violations

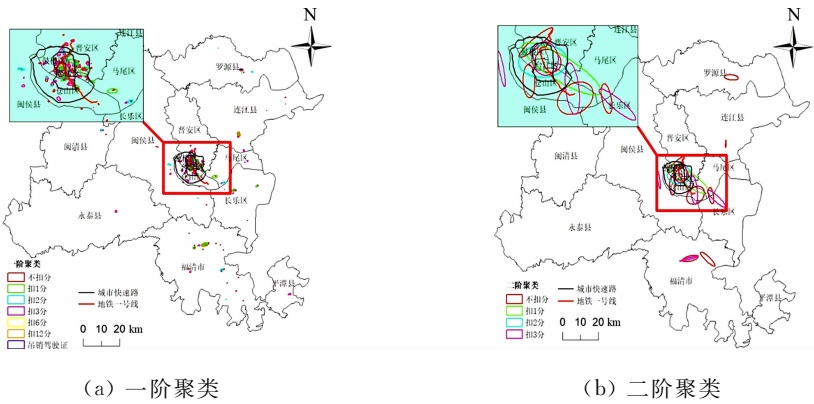


图 4 2018 年交通违法行为层次聚类图

Fig. 4 Hierarchical clustering diagram of traffic violations in 2018

业车等不良开车习惯;扣 6 分的交通违法行为聚类数量只有 1 个,根据扣分文件标准,扣 6 分的交通违法行为主要是闯红灯和超载等交通违法行为.随着国民素质的提升和国家严格的治超治限措施的出台,近年来,扣 6 分的交通违法行为急剧减少.

由图 4(b)可知:扣 6 分、扣 12 分和吊销驾驶证这 3 类交通违法行为的一阶聚类数量较少,不足以形成二阶聚类;二阶聚类中最大面积达 112.31 km².

综上所述,层次聚类对交通违法行为具有很好的量化功能,能为交通管理部门进行交通违法行为分级分类提供参考依据.

3.3 热点识别分析

为了更有效地分析福州市交通违法行为,结合实际情况,将福州市交通违法行为按照一般交通违法行为和严重交通违法行为进行分级,结果如表 2 所示.

利用 ArcGIS 10.2 软件中的 Density 工具对两类违法等级数据进行核密度分析,生成一般交通违法行为和严重交通违法行为的核密度热点分布图,如图 5 所示.图 5 中:编号 1~5 表示福州市的 5 个交通违法高发区域.

表 2 交通违法行为分级

Tab. 2 Classification of severity of traffic violations

| 等级 | 交通违法行为 |
|----------|-----------------------|
| 一般交通违法行为 | 不扣分、扣 1 分、扣 2 分、扣 3 分 |
| 严重交通违法行为 | 扣 6 分、扣 12 分 吊销驾驶证 |

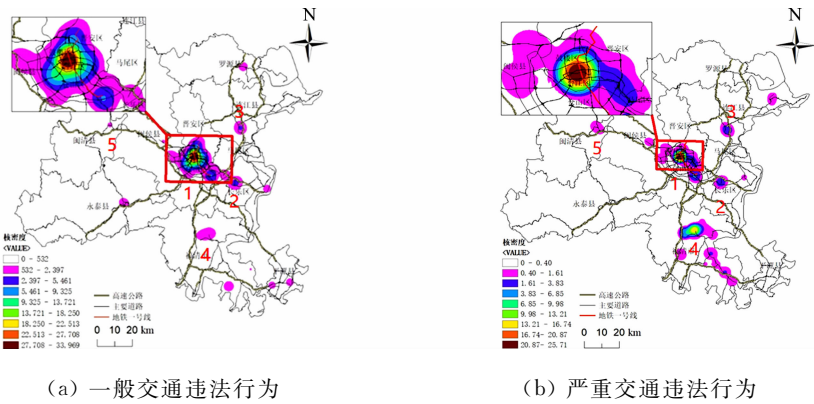


图 5 交通违法行为核密度热点分布图

Fig. 5 Distribution map of nuclear density hot spots of traffic violations

由图 5(a)可知:一般交通违法在全市各区县均有分布,在一定程度上说明了福州市交通违法行为的治理不仅仅围绕市中心,而是全市进行管控和治理.由图 5(b)可知:严重交通违法行为主要分布在福州市东部沿海连江县、福清市和平潭县.近年来,福州市东部沿海区域路网比西部地区更为密集,福州市将更多的招商引资项目落户东部地区,东部地区车流量逐渐增大,故交通违法行为也较多.

综上所述,福州市交通违法行为主要是在市中心和沿地铁一号线方向密集分布.市中心属于一个城市的中心,商场景区多,交通管治较为严格,电子警察布控完善.自然条件对福州市整体交通影响较大,山多水多,闽江穿城而过,《环境保护法》第 35 条规定政府在城乡建设中需结合当地环境特点,保护好植被

和水域^[25]. 福州市在道路规划和修建时按照法律、法规最大限度地避开植被和水域, 保护生态环境, 形成各地道路网完善程度不一的局面, 进而导致永泰县、闽清县和闽侯县比福州市中心、长乐区和福清市的交通违法数量少, 出现整体分布不均匀的现象.

基于层次聚类法和核密度估计法, 将交通违法行为可视化分析结果置于现实场景中, 将 5 个交通违法高发区域分为 3 类(Ⅰ~Ⅲ类). 福州市交通违法行为 3 类高发区域, 如表 3 所示.

表 3 福州市交通违法行为 3 类高发区域

Tab. 3 Three types of high incidence areas of traffic violations in Fuzhou City

| 编号 | 道路描述 | 分类 | 行政区 |
|----|-------------------------------|----|-----------------|
| 1 | 乌山路、古田路与二环中路交叉处、八一七北路与杨桥东路交叉处 | Ⅰ | 台江区、鼓楼区、晋安区、马尾区 |
| 2 | 东三环快速路与机场高速互通枢纽 | Ⅱ | 长乐区 |
| 3 | 连江县 104 国道与沈海高速沿线 | Ⅲ | 连江县 |
| 4 | 清荣大道、清昌大道 | Ⅰ | 福清市 |
| 5 | 316 国道与 202 省道交叉 | Ⅱ | 闽清县 |

1) Ⅰ类交通违法行为高发区域. 该类区域为道路网复杂, 车多人多的市中心, 包括乌山路、古田路、八一七北路等路段, 这些道路处于城市中心, 地理位置比较优越, 连接支路较多, 车流量大, 且该区域周围遍布商场和景区, 游客数量多, 使驾驶员在驾车过程中受到一定的干扰.

2) Ⅱ类交通违法行为高发区域. 该类区域为道路交叉口、立交枢纽, 包括东三环快速路与机场高速互通枢纽、316 国道与 202 省道交叉等路段. 这些道路比较复杂, 出入口较多, 需要驾驶员频繁地变道和减速, 车流量较大时, 出口处容易发生交通堵塞, 导致多种交通违法行为的发生.

3) Ⅲ类交通违法行为高发区域. 该类区域为居民区和学校路段, 包括连江县 104 国道和沈海高速沿线, 这些道路沿线学校和居民区较多, 交通管理部门设置的道路交通标识线和交通标志指示牌多而复杂. 此外, 该类区域道路两旁树木和商铺较多, 容易对驾驶员造成视觉干扰, 从而发生交通违法行为.

4 结论

采用最邻近指数法分析福州市各类交通违法数据的聚集性, 并利用标准差椭圆、层次聚类 and 核密度估计法对福州市各类交通违法行为进行热点识别, 基于文中实验结果, 得出以下 3 个结论.

1) 在空间分布上, 福州市各类交通违法行为主要聚集分布在三环内和沿海区县, 整体呈现为显著聚集状态. 其中, 各类交通违法中心点均在福州市东南方向, 表明福州市未来交通违法高发地有可能在东南方向长乐区、福清市和平潭县等地区, 政府部门和交通管理部门应提前对这些地区进行交通管理规划, 防止交通违法行为发生.

2) 福州市一般交通违法行为比严重交通违法行为更多, 同时也较为分散. 但严重交通违法行为有时会带来惨痛的伤亡, 交管部门应根据层次聚类 and 核密度实验结果, 对多个路段进行设卡拦车检查, 减少严重交通违法行为带来的伤亡和经济损失.

3) 福州市交通违法行为整体分布在市中心的八一七北路、古田路, 福清市的清荣大道、清昌大道, 连江县 104 国道东边的学校和居民区等路段, 建议交通管理部门针对这些地区合理安排交警指挥交通, 防止出现交通堵塞和追尾. 同时, 对福州市各学校和居民区周围道路进行交通环境治理, 合理设置交通标识线和交通标志指示牌, 引导驾驶员有序、安全驾驶.

参考文献:

[1] 高红丽, 邓昌俊, 王文迪, 等. 基于国家车辆事故深度调查体系的道路交通事故驾驶员人因分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(19): 342-348.

[2] 王乾, 蒋树屏, 刘海龙, 等. 城市道路隧道交通事故特征分析[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(增刊 1): 460-469.

[3] XUE Yifei, BROWN D E. Spatial analysis with preference specification of latent decision makers for criminal event prediction[J]. Decision Support Systems, 2006, 41(3): 560-573. DOI:10.1016/j.dss.2004.06.007.

[4] 陈赵娣, 蔡逸宸, 邵宇杰, 等. 杭州市入室盗窃犯罪空间集聚模式及时空相关性分析[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2019, 18(3): 329-336. DOI:10.3969/j.issn.1674-232X.2019.03.017.

- [5] 王增利,刘学军,陆娟,等. 犯罪网络构建及其时空分析:以入室盗窃为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(5):759-765. DOI:10.13203/j.whugis.20150666.
- [6] 王颖志,王立君. 基于网络时空核密度的交通事故多发点鉴别方法[J]. 地理科学,2019,39(8):1238-1245. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2019.08.005.
- [7] 梁娟珠,张青,傅水龙. 应用 RUSLE 模型的长汀县水土流失风险空间分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2017,38(6):836-841. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.201702036.
- [8] 马静,周创文,PRYCE G. 环境公正视角下空气污染和死亡人数的空间分析及关系研究:以河北省为例[J]. 人文地理,2019,34(6):45-52,98. DOI:10.13959/j.issn.1003-2398.2019.06.006.
- [9] 纪小美,崔会芳,陶卓民. 社会记忆视角下的南京城市街巷地名变迁[J]. 地理科学进展,2019,38(11):1692-1700. DOI:10.18306/dlkxjz.2019.11.005.
- [10] 古恒宇,吕迪,沈体雁,等. 基于陆海统筹思想的深圳市公共游艇码头选址研究[J]. 地理与地理信息科学,2018,34(5):74-79. DOI:10.3969/j.issn.1672-0504.2018.05.013.
- [11] 张永树,杨振凯,晔璐,等. 中国艾滋病空间格局和时空演化分析[J]. 地球信息科学学报,2020,22(2):198-206. DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190199.
- [12] 张光南,钟俏婷,杨清玄. 交通违法事故时空分布特征及其影响因素:以广州市为例[J]. 交通运输系统工程与信息,2019,19(3):208-214. DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2019.03.031.
- [13] 李亚军. 数据可视化技术在道路交通管理决策中的运用研究[J]. 云南警官学院学报,2018(3):43-48. DOI:10.3969/j.issn.1672-6057.2018.03.008.
- [14] 石建军,赵箐,陈静. 道路交通行为控制方法研究[J]. 交通标准化,2011(22):123-129. DOI:10.16503/j.cnki.2095-9931.2011.22.020.
- [15] 刘勇,吴金凯. 交通违章行为影响因素分析[J]. 中国集体经济,2018(3):70-71.
- [16] SATIENNAM W, SATIENNAM T, TRIYABUTRA T, *et al.* Red light running by young motorcyclists: Factors and beliefs influencing intentions and behavior[J]. Transportation Research, 2018, 55: 234-245. DOI:10.1016/j.trf.2018.03.007.
- [17] 李维娇,邱炳文,曾灿英. 福建省行政区划植被覆盖的动态变化多层次模型[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2014,35(5):513-518. DOI:10.11830/ISSN.1000-5013.2014.05.0513.
- [18] 陆化普,罗圣西,李瑞敏. 基于 GIS 分析的深圳市道路交通事故空间分布特征研究[J]. 中国公路学报,2019,32(8):156-164. DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2019.08.014.
- [19] 向雁,陈印军,侯艳林,等. 河北省休闲农业的空间分布及影响机制[J]. 地理科学,2019,39(11):1806-1813. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2019.11.015.
- [20] 熊俊楠,李进,朱吉龙,等. 重庆市山洪灾害时空格局及影响因素研究[J]. 地球信息科学学报,2019,21(10):1550-1564. DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180442.
- [21] 赵曦,陈静. 基于 ArcGIS 和熵值法的四川省各市州耕地利用集约度时空差异研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2018,55(3):625-631. DOI:10.3969/j.issn.0490-6756.2018.03.035.
- [22] 吴升,黄智函. 基于点模式的盗窃犯罪空间分布规律分析:以福州市主城区为例[J]. 福州大学学报(自然科学版),2015,43(5):631-635. DOI:10.7631/issn.1000-2243.2015.05.0631.
- [23] 熊俊楠,龚颖,程维明,等. 西藏自治区近 30 年山洪灾害时空分布特征[J]. 山地学报,2018,36(4):557-570. DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000352.
- [24] 禹文豪,艾廷华,刘鹏程,等. 设施 POI 分布热点分析的网络核密度估计方法[J]. 测绘学报,2015,44(12):1378-1383,1400. DOI:10.11947/j. AGCS.2015.20140538.
- [25] 钱程. 从新《环境保护法》看高架道路与城市景观[J]. 城市管理与科技,2015,17(2):56-58. DOI:10.16242/j.cnki.umst.2015.02.017.

(责任编辑:钱筠 英文审校:吴逢铁)