

基于车联网 OBD 数据的道路安全评价方法^{*}

雷财林^{1,2}, 钟添翼³, 蔡晓禹^{1,2}, 唐小勇²

(1.山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074; 2.重庆市城市交通大数据工程技术研究中心, 重庆 401147;
3.重庆市公安局交通巡逻警察总队, 重庆 400055)

摘要: 针对目前道路安全评价较少考虑驾驶行为及车辆运行状态, 评价指标及权重值大多通过主观方法确定的局限, 结合车联网 OBD 数据包含车辆行为及运行状态且数据丰富、精度高的优势, 基于人工智能领域粗糙集理论, 提出考虑道路条件、天气状况、交通状态、驾驶员特性、车辆运行状况的道路安全评价体系构建思路和流程及有待进一步研究的关键技术。

关键词: 交通安全; 道路运输; 车联网 OBD; 驾驶行为; 粗糙集

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0030-07

道路运输作为重要的地面运输方式, 在社会进步和经济发展中具有重要作用。随着汽车保有量的快速增长, 交通事故频发, 给人生安全造成极大威胁, 很大程度上制约了经济发展和社会进步。据统计, 截至 2017 年 6 月, 全国机动车数量突破 3.04 亿辆; 2011—2017 年, 全国每年约 6 万人死于交通事故, 其中由驾驶员认知及行为决策失误造成的交通事故约占 80%。道路安全评价对提高道路交通安全度尤为重要。近年来, 车联网 OBD 技术快速发展, 海量、精细、准确的交通数据为交通研究提供了新的契机。为揭示交通安全的内在影响因素, 安全评价需从早年的宏观层面逐渐向微观层面转变, 新数据环境下的道路安全评价方法有待进一步研究。

1 现有道路安全评价方法

目前对道路交通安全的评价主要从宏观、微观层面展开。宏观交通安全评价以区域路网为研究对象, 从国家、区域层面分析、识别区域道路交通系统存在的危害及潜在隐患, 主要有数理统计法、强度分析法等。微观交通安全评价以具体路段为研究对象, 通过交通调查获取数据, 从路段交通层面对存在的危害及潜在威胁进行分析、识别, 主要有综合评价法、物元分析法等(见图 1)。

1.1 数理统计法

数理统计法主要包括事故率法及绝对数法, 是

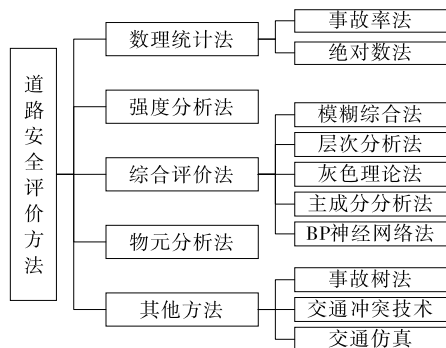


图 1 道路安全评价方法

一种结合人口及车辆运行距离对宏观事故数据进行分析的评价方法, 反映一个地区、城市及国家的安全水平。管满泉等基于事故率法及当量总事故次数对事故多发段进行了安全评价研究; Mbakwe A. C.、Mohan D. 等基于事故率法进行了道路交通评估。事故率法运用人口与运行距离相对指标反映交通安全水平, 具有较强的可比性, 但忽略了不同地区、城市之间地形及环境方面的差异, 存在片面性。Wang J. 等建立贝叶斯层次联合评估模型进行路网安全评价, Elvik R. 等通过贝叶斯模型实现了道路安全评估。贝叶斯方法能从宏观上反映道路交通状态, 但无法揭示道路安全内在最显著的影响因素。

1.2 强度分析法

强度分析法以概率统计为基础, 对影响道路交通安全的因素进行综合分析, 通过加入指标参照, 使

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(61703064); 重庆市高校优秀人才支持计划项目; 重庆市科委、重庆市社会事业与民生保障科技创新专项项目(cstc2015shms-ztzx30002); 重庆市城市交通大数据工程技术研究中心科研项目(SW-2018-Z016)

不同道路指标间的比较更合理。裴玉龙采用动态事故强度法对道路交通安全进行评价,并将中外 5 个国家进行对比验证该方法的有效性。该方法能反映交通流的特点,具有一定的科学性和可比性,但在复杂交通条件下存在准确率低的局限。

1.3 综合评价法

综合评价法包括模糊综合法、层次分析(AHP)法、灰色理论法、主成分分析法、BP 神经网络法等。模糊综合评价法运用模糊关系原理将定性因素量化,实现多因素综合评价,其评价结果为隶属度组成的模糊向量。王琰等首次将模糊评价法应用于道路交通安全评价,以人一车一路系统为研究对象构建道路安全评价指标体系。朱小红、李玉琳、程劲钊、罗强等均进行了相关研究。牛林杰通过改进多级模糊综合评价方法对城市公共交通安全进行了综合评价。模糊综合评价法可解决交通安全评价中存在的模糊性问题,但存在以下局限:1) 评价矩阵通过专家打分获取,存在一定主观性;2) 难以解决由于评价指标之间相关造成的信息重复问题;3) 忽略了评价指标之间的相对权重。

AHP 法运用分层系列化思想,通过各因素间隶属关系进行分层聚类组合,以此进行评价。刘运通结合模糊法与 AHP 法确定了模型参数权重,通过中、德两国的实例分析验证了该评价模型的实用性。成曦等将模糊理论与 AHP 法相结合,实现了城市公交系统的定量与定性综合评价。宋久鹏等将 AHP 法与灰色关联法相结合,实现了对复杂方案的评价。Eusofe Z. 等利用 AHP 法建立了道路安全评价模型。AHP 法运用分层思想将评价思路简化,简化了算法,但其指标权重通过专家决定,存在较大主观性,且将各方案的单个指标进行比较,没有考虑指标间的联系。

灰色理论法利用关联矩阵和白化权函数将评价对象划分为可量化比较的大类,根据道路交通安全的白化权函数评价道路安全等级。罗江涛等首次借鉴灰色理论进行道路安全评价。朱中等建立道路交通安全多层次灰关联综合评价模型,实现了对不同地区安全程度的横向比较及相同地区不同时段道路交通安全程度的纵向比较。田方伟、于江霞、杨进等采用改进灰色理论评价法进行交通安全评价,弥补了灰色理论法中权重关联性不足的缺点。这类方法为非统计学评价方法,适用范围广,但存在需专家打分确定权重的局限。

主成分分析(PCA)法借鉴降维数学思想,将原指标组合成相互无关的综合指标,根据需要选取较少的综合指标进行评价。蒋惠园等对 PCA 法在综合评价中的应用进行了研究。王俊人采用 PCA 法对城市道路交通安全进行了评价。范东凯等从微观角度出发,分析了 PCA 法应用于交通安全评价的可行性。该方法客观赋权避免了原始指标间信息的重复,但未考虑不同信息在交通安全评价中的权重,且由于指标样本值随机,权重稳定性差。

BP 神经网络法是一种通过机器学习的评价方法。李相勇等首次将神经网络法用于道路交通安全评价,建立了一个具有多输入和多输出的评价道路交通安全的神经网络模型。陈君、李聪颖、陈光等均进行了相关研究。该方法具有自适应性和容错性,可有效进行多指标变权问题的动态求解,但其对样本质量和数量要求很高,且收敛速度慢。

1.4 物元分析法

物元分析法以形式逻辑与辩证逻辑相结合解决不相容问题。朱梦一等首次将物元分析法引入道路交通安全评价,发现该方法难以体现指标间的权重关系。安冠宇、罗杰、崔健等结合物元分析法与 AHP 法确定了道路交通安全评价指标间的权重关系。该方法可将定性定量统一,但需通过多方法获取指标权重,没有统一标准。

1.5 其他方法

除以上方法外,道路交通安全评价方法还有事故树法、交通冲突技术、交通仿真等。孙璐等通过交通冲突技术对交织区安全性进行了评价。牛世峰等通过事故树法对公路交通安全进行了评价。Gomes S. V. 等基于传统冲突原理,将定量及定性信息结合,实现了对区域路网的安全等级评估。Rocha J. M.、Derbel O.、Kustra W. 等通过仿真技术对道路交通安全进行了评估。Pardillo Mayora J. M.、Minderhoud M. M.、Kazaras K.、Olszewski P. 等也通过这些方法对道路交通安全进行了评价。

1.6 现有研究的缺陷

如表 1 所示,现有道路交通安全评价存在以下缺陷:1) 研究数据大多来源于交通调查或宏观交通事故数据;2) 评价指标选取大多单一考虑交通环境或驾驶员特性对道路安全的影响,通过揭示交通环境对驾驶行为的影响评价道路安全的研究较少;3) 指标权重大多通过专家打分或问卷调查确定,缺少客观分配权重的研究;4) 评价方法选取聚焦对传统

方法的优化,探索道路交通安全内在影响因素的新方法相对薄弱。5) 随着车载 OBD 装置的发展,部分学者通过试验获取 OBD 数据展开道路安全状态

研究,但由于数据量少,难以揭示交通环境对道路安全的影响机理,且不利于移植到其他类型道路的安全状态评判。

表 1 道路交通安全评价部分文献分类

评价方法	文献编号	研究对象	安全影响因素	数据来源
模糊评价法	文献[47]	城市道路	道路	交通调查
	文献[48]	城市道路	人、车、路	交通调查
AHP 法	文献[49]	城市道路	人、车	OBD 车载设备
模糊评价法、AHP 法	文献[12]	城市道路	道路	交通调查
	文献[13]	城市道路	人、车、路、环境	交通调查
	文献[50]	城市道路	人、车	驾驶模拟
BP 神经网络法、AHP 法	文献[51]	城市道路	人、车	OBD 车载设备
灰色理论法	文献[52]	城镇道路	人、车、路、环境	交通调查
	文献[53]	城市道路	人、车、路	交通调查
PCA 法	文献[27]	城市道路	道路、环境	交通调查
差异驱动原理的综合评价法	文献[54]	公路、城市道路	人、车、环境	交通事故数据
数理统计法	文献[55]	城市道路	人、路	交通调查
物元分析法	文献[36]	高速公路	人、车、路、环境	交通调查
交通冲突技术	文献[37]	城市交织区	道路	交通调查
事故树法	文献[38]	公路	人、车、路	交通调查

2 研究热点与面临的挑战

2.1 研究热点

随着研究的深入,道路交通评价对象由宏观区域路网向某一具体路段转变;研究数据从宏观交通事故数据及小样本人工调查数据向海量、丰富的大数据转变;评价方法从模糊评价法、AHP 法等数学模型向机器学习、人工智能等新型数据挖掘方法转型,以一种新的视角客观反映道路交通安全状态。

2.2 道路安全评价面临的挑战

(1) 城市交通系统复杂。城市道路交通是由人、车、路及环境构成的复杂系统,其中每一构成的变化均受到其他构成的影响,也会引起其他构成改变。随着城市交通的发展,各构成之间的相互影响程度加剧,现代交通系统愈加复杂。同一条道路局部线形、天气状况、交通状态、驾驶员特性不同等均会导致驾驶行为存在较大差异,使客观、准确地评价道路安全性更加困难。

(2) 传统交通数据局限。传统交通数据主要由

交通事故数据及小样本调查微观数据构成,宏观交通事故数据难以揭示某一具体路段的交通安全特征,小样本微观交通数据无法反映具体路段在不同条件下的交通安全状态。道路交通安全状态是由不同线形、天气状况、交通状态等条件共同影响的结果,量少、质量差的数据无法全面揭示道路安全状态。条件因素如何影响驾驶行为,进而如何导致道路交通事故也无法从宏观交通事故数据及小样本数据中提炼。在交通量更大、城市交通系统更复杂的环境下,传统交通数据难以为评价算法构建良好的数据环境。

(3) 客观、准确的评价模型构建。城市交通需求剧增,拥堵加剧对交通管控提出了更高要求,有效的道路交通安全管控措施制定必须基于客观的评价结果。经典的道路安全评价大多基于宏观交通事故数据或少量驾驶行为数据建立复杂数学模型,较少考虑不同交通环境下道路安全特征。模型的评价指标权重大多通过专家打分确定,即便使用组合评价模型,也无法避免评价结果存在主观性的问题,客观

揭示交通事故内在显著影响因素的相关研究还有待进一步展开。

综上,面对新的评价需求与挑战,提出一种海量车联网 OBD 数据环境下基于粗糙集理论的道路交通安全评价新思路。

3 车联网 OBD 大数据环境

3.1 车联网 OBD 数据特征

随着车联网技术的发展,利用车载装置实时采集交通数据,经格式化处理后上传云端的技术已发展成熟,从交通大数据挖掘道路交通特征已成为一种发展趋势。车联网 OBD 数据是通过车载装置实时获取的驾驶行为数据,相比传统交通数据环境,车联网 OBD 数据具有以下特征:

(1) 数据类型全。包括急加减速、急转弯等丰富驾驶行为数据及车辆本身运行状况数据,还包括数据覆盖范围内道路交通运行状态信息。

(2) 数据量丰富。如重庆市城市交通大数据工程技术研究中心的车联网 OBD 数据高峰时段 30 min 可达 40 万条左右,部分数据空间分布见图 2。

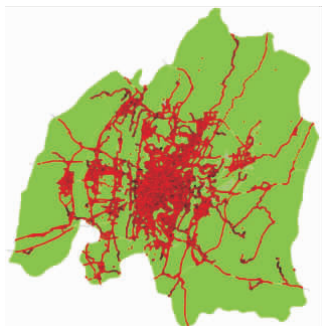


图 2 重庆市主城区 30 min 车联网 OBD 数据分布

(3) 数据精度高。通过传感等高新技术进行数据采集,极大程度提高了数据的准确性。

(4) 处理速度快。能快速对交通数据进行格式化处理后,实时传输到云端。

(5) 数据可视。同步准确记录每一驾驶行为产生地点的经纬度,结合地理信息系统准确实现空间可视。

(6) 数据真实度高。数据真实,冗余、缺失、错误数据等极少。

3.2 基于车联网 OBD 数据的道路安全评价的优势

车联网 OBD 驾驶行为大数据环境下,通过数据可视化技术展现不同交通环境下的驾驶行为变化过程,能更直接地分析不同交通环境、驾驶员特性与

道路交通安全状态间的联系。丰富的车联网 OBD 数据包含不同道路条件、天气状况、交通状态、车辆状态及不同类型驾驶员条件下的驾驶行为数据,利于深层次挖掘道路交通安全状态。为提高评价的准确性,小样本数据环境下的算法大多设计得很复杂,导致算法可移植性差。而在海量车联网数据驱动下可对模型构建方法进行简化,增强模型的实用性及可移植性。

4 车联网环境下的道路安全评价

4.1 驾驶行为与影响因素

驾驶行为是交通环境与驾驶者等共同作用的结果,车辆加减速值、转弯半径等反映驾驶行为对不同交通环境因素的适应情况,变化的驾驶行为背后隐藏着一系列影响因素,如道路条件、天气状态、交通状态等。在某一特定交通条件下产生的大量驾驶行为必然存在相似变化趋势,如相似天气状况及交通状态条件下,某一路段由于坡度较大,该路段车辆产生大量急加速或急减速等异常驾驶行为,甚至经常发生交通事故;天气良好时,重庆市主城区高峰时段车辆急加减速行为较多产生于立交或坡度较大路段,急转弯行为大多发生在急转弯较多路段、立交及跨江桥头(见图 3、图 4),交通事故主要发生于急转弯较多路段、立交或坡度较大路段等(见图 5)。

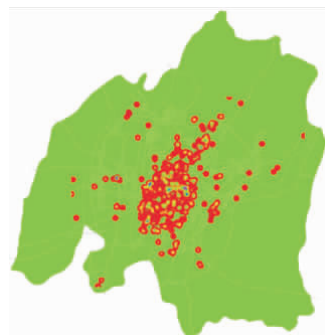


图 3 重庆市主城区早高峰急加减速行为热力图

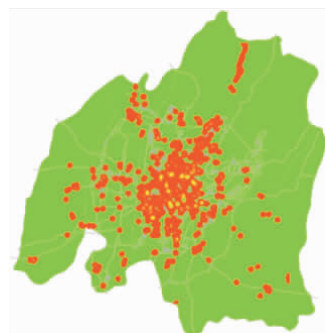


图 4 重庆市主城区早高峰急转弯行为热力图



图5 重庆市部分交通事故点位图

环境因素对驾驶行为的影响机理及产生的结果难以用纯数学模型描述,但在海量车联网 OBD 数据支持下,分析大量驾驶行为数据就能获取具有相似交通条件影响的驾驶行为特征。数据量越大、越全面,找出相似交通环境下驾驶行为共同特征的可能性越大,将大量驾驶行为(聚焦于异常驾驶行为)特征与交通环境进行关联,进而建立评价体系,可评价道路安全状态。

4.2 评价思路

通过探寻异常驾驶行为与交通环境的关联,基于粗糙集理论确定影响权重及关联规则,建立评价体系,实现对道路安全状态评价,即借助大量车联网 OBD 驾驶行为数据探寻交通环境与驾驶行为的内在关联。评价流程主要分为驾驶行为数据库构建、异常驾驶行为识别、指标权重及关联规则确定、评价模型构建(见图6)。

4.3 道路安全评价关键技术

4.3.1 异常驾驶行为判别

从大量车联网 OBD 驾驶行为数据中识别异常驾驶行为(急加减速、紧急变道、S 形行驶等)对道路安全评价十分重要,也是数据提取的关键步骤。可采用阈值判断法和机械学习法进行判别:先分析事故发生时车联网 OBD 驾驶行为数据,设置车辆产生急加减速、急转弯及 S 形行驶等驾驶行为的异常阈值;再提取车辆行为特征作为 BP 神经网络的输

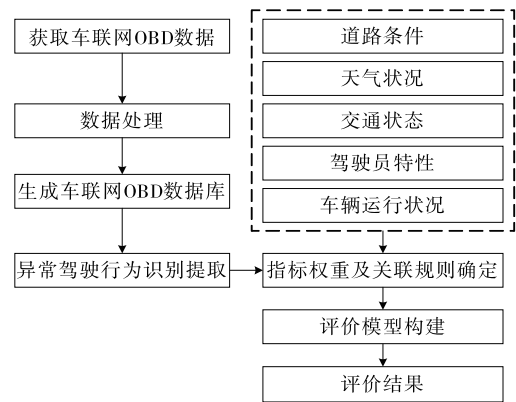


图6 基于车联网 OBD 数据的道路安全评价流程

入量,实现对异常驾驶行为的提取与分类。

4.3.2 车联网 OBD 数据库构建

海量的车联网 OBD 驾驶行为数据库构建对道路安全评价更为关键,理想的驾驶行为数据库应包含不同道路条件、天气状况及交通状态等因素影响下的驾驶行为特征,以便将驾驶行为与影响因素进行深度关联。但冗余混乱的数据库会对关联研究产生影响,且会增加算法的计算量。因此,需对车联网 OBD 数据进行筛选、分类,在减少错误数据、分类同类数据的同时,尽可能保留驾驶行为数据的真实性、丰富性,体现各种影响因素对驾驶行为的影响。

4.3.3 评价指标权重及关联规则

确定评价指标对驾驶行为的影响权重及驾驶行为与多个影响因素的关联规则对道路安全评价至关重要。可借鉴人工智能领域的粗糙集理论客观确定指标权重及驾驶行为与影响因素的关联规则。根据粗糙集理论,可构造如下道路交通事故影响因素显著度分析逻辑模型:

$$\sigma_{C_i}(D) = f(C_i, U, D, C) \quad (1)$$

式中: $\sigma_{C_i}(D)$ 为道路交通风险驾驶行为因素 C_i 的显著性; C_i 为道路异常驾驶行为影响因素; U 为论域; D 为道路交通事故属性集(决策属性集); C 为道路交通安全影响因素集(条件属性集)。

表2 驾驶行为影响因素决策表

论域 U (驾驶行为序号)	条件属性 C					决策属性 D (交通风险集)
	道路条件 C_1	天气状况 C_2	交通状态 C_3	驾驶员特性 C_4	车辆运行状况 C_5	
U_1	C_{11}	C_{21}	C_{31}	C_{41}	C_{51}	D_1
U_2	C_{12}	C_{22}	C_{32}	C_{42}	C_{52}	D_2
U_3	C_{13}	C_{23}	C_{33}	C_{43}	C_{53}	D_3
...

建立表2所示决策表,车联网 OBD 数据中包含大量不同道路条件、天气状况、交通状态、驾驶员特性、车辆运行状况的驾驶行为特征(急加减速、急转弯等)及对应的决策属性(交通风险集),通过决策表计算论域 U 分类集及去掉某条件属性前后决策属性依赖度的大小差值来衡量条件属性的显著度,通过大量计算得出道路条件、天气状况、交通状态等在交通风险产生中的权重值。道路安全评价指标间的关联规则确定还需在评价研究中进一步探索。

5 结语

近20年交通安全评价对象及方法经历了3个阶段,阶段一主要以事故数与死亡人数等宏观数据为研究对象,借鉴国外评价方法对区域及城市交通安全进行评价;阶段二主要以人、车、路及环境为研究对象,引入统计学、模糊理论等评价方法进行交通安全性评价;阶段三主要以微观交通行为为研究对象,借助新兴前沿方法展开道路交通安全性评价。道路安全评价由数学理论及专家经验打分转向智能挖掘海量数据价值的方式。

道路交通安全状态是多种影响因素共同作用的结果,需全面考虑其影响因素进行客观评价。传统道路安全评价因数据样本少,无法避免评价结果带有的主观性质。通过车联网 OBD 数据可准确获取大量驾驶行为等数据,为客观评价道路安全提供了新的契机。如何基于交通大数据建立客观、准确的道路安全评价体系将成为未来研究重点。

参考文献:

- [1] 孙璐,游克思.城市道路交通安全评价研究综述[J].华东公路,2015(1).
- [2] 庆杰,吴宪,温秀红.道路交通安全评价方法[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(3).
- [3] 管满泉,李强伟,何毅,等.当量总事故率法在金丽温高速公路部分路段的应用[J].公路,2012(8).
- [4] Mbakwe A C, Saka A A, Choi K, et al. Alternative method of highway traffic safety analysis for developing countries using Delphi technique and Bayesian network[J]. Accident Analysis and Prevention, 2016, 93.
- [5] Mohan D, Tiwari G, Mukherjee S. Urban traffic safety assessment: a case study of six Indian cities[J]. Iatss Research, 2016, 39(2).
- [6] Wang J, Huang H. Road network safety evaluation using Bayesian hierarchical joint model[J]. Accident Analysis and Prevention, 2016, 90.
- [7] Elvik R, Ulstein H, Wifstad K, et al. An empirical Bayes before-after evaluation of road safety effects of a new motorway in Norway[J]. Accident Analysis and Prevention, 2017, 108.
- [8] 裴玉龙.道路交通安全评价的动态事故强度法[A].第八届国际交通新技术应用大会论文集[C].2004.
- [9] 王琰,郭忠印.基于模糊逻辑理论的道路交通安全评价方法[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(1).
- [10] 朱小红,陆愈实,周德红.模糊评价数学模型在道路交通安全评价中的应用[J].安全与环境工程,2006,13(3).
- [11] 李玉琳,高志刚,韩延玲.模糊综合评价中权值确定和合成算子选择[J].计算机工程与应用,2006,42(23).
- [12] 程劲钊,栗振锋,任丽超,等.基于道路因素的交通安全模糊综合评价的研究[J].太原科技大学学报,2016,37(4).
- [13] 罗强,胡三根,龚华炜,等.城市道路交通安全评价体系研究与模型构建[J].广西大学学报:自然科学版,2017,42(2).
- [14] 牛林杰.基于群体可拓模糊理论的城市轨道交通安全评价研究[J].科学技术创新,2017(31).
- [15] 刘运通.道路交通安全宏观模糊评价模型[J].中国公路学报,1995,8(增刊1).
- [16] 成曦,王炜.集成模糊评价和层次分析法的大城市公交系统综合评价研究[J].城市公共交通,2009(2).
- [17] 宋久鹏,董大伟,高国安.基于层次分析法和灰色关联度的方案决策模型研究[J].西南交通大学学报,2002,37(4).
- [18] Eusofe Z, Evidorides H. Assessment of road safety management at institutional level in Malaysia: a case study[J]. Iatss Research, 2017, 41(4).
- [19] 罗江涛,刘小明.道路交通安全灰色评价方法研究[J].中国公路学报,1995,8(4).
- [20] 朱中,李淑娟.道路交通安全多层次灰关联综合评价[J].交通信息与安全,1998,16(1).
- [21] 田方伟,王文杰.基于改进灰聚类法的交通安全评价[J].交通科技,2007(2).
- [22] 于江霞,王选仓.公路交通适应性的加权灰色关联度评价[A].第五届交通运输领域国际学术会议论文集[C].2009.
- [23] 杨进,肖裕龙.基于改进灰色关联法的城市轨道交通网络服务能力评优模型[J].交通运输工程与信息,2013,11(4).
- [24] 张文峰,史忠科.主成分分析法在城市道路交通安全评价中的应用[J].计算机工程与应用,2007,43(36).

- [25] 蒋惠园,王晚香.主成分分析法在综合评价中的应用[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2004,28(3).
- [26] 王俊人.道路交通安全综合评价方法及对策研究[D].太原:中北大学,2006.
- [27] 范东凯,曹凯.基于主成分分析法的城市道路交通安全评价[J].中国安全科学学报,2010,20(10).
- [28] 李相勇,田澎,蒋葛夫.道路交通安全综合评价的人工神经网络方法[J].西南交通大学学报,2006,41(4).
- [29] 陈君,李聪颖,丁光明.基于BP神经网络的高速公路交通安全评价[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(7).
- [30] 李聪颖,王肇飞.基于BP神经网络的高速公路交通安全评价系统设计与实现[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2010,34(3).
- [31] 陈光,李珊珊,董博,等.基于PCA-BP神经网络的城市轨道交通线网方案评价研究[J].铁道运输与经济,2016,38(2).
- [32] 蔡文.新学科《物元分析》[J].广东工业大学学报,1992(4).
- [33] 朱梦一,刘文超.基于物元分析的道路交通安全评价方法[J].道路与安全,2010,10(1).
- [34] 安冠宇,唐伯明,唐江,等.基于物元分析的公路交通安全评价[J].公路交通技术,2011(1).
- [35] 罗杰.山地城市道路交通安全评价指标与评价方法研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [36] 崔健.基于道路交通安全法的高速公路交通安全评价研究[D].西安:长安大学,2017.
- [37] 孙璐,李颜平,钱军,等.基于交通冲突技术的交织区交通安全评价[J].中国安全科学学报,2013,23(1).
- [38] 牛世峰,郑永雄,冯萨丹,等.基于事故树的公路路段交通安全评价方法[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013,32(1).
- [39] Gomes S V, Cardoso J L, Azevedo C L. Portuguese mainland road network safety performance indicator [A]. 14th World Conference on Transport Research [C]. 2017.
- [40] Rocha J M, Henriques A A, Calçada R. Safety assessment of a short span railway bridge for high-speed traffic using simulation techniques [J]. Engineering Structures, 2012, 40(7).
- [41] Derbel O, Mourllion B, Basset M. Safety assessment of mixed traffic based on accident scenario [J]. IFAC Proceedings Volumes, 2012, 45(24).
- [42] Kustra W, Jamroz K, Budzynski M. Safety PL-A support tool for road safety impact assessment [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14.
- [43] Pardillo Mayora J M, Jurado P R. An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions [J]. Accident Analysis & Prevention, 2009, 41(4).
- [44] Minderhoud M M, Bovy P H L. Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment [J]. Accident Analysis and Prevention, 2001, 33(1).
- [45] Kazaras K, Kirytopoulos K, Rentizelas A. Introducing the STAMP method in road tunnel safety assessment [J]. Safety Science, 2012, 50(9).
- [46] Olszewski P, Buttler I, Czajewski W, et al. Pedestrian safety assessment with video analysis [J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14.
- [47] 成卫,李江.模糊聚类法在基于交通冲突技术的交叉口安全评价中的应用[J].交通运输系统工程与信息,2004,4(2).
- [48] 孙慧芝.城市道路交通安全的风险评价[D].青岛:山东科技大学,2006.
- [49] 马聪.基于OBD技术的驾驶行为习惯评价方法研究[D].南京:南京大学,2016.
- [50] 闵泉.基于模拟驾驶的道路交通安全评价方法及应用[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [51] 张志鸿.基于OBD数据分析的驾驶行为研究[D].西安:长安大学,2017.
- [52] 窦亚春.我国城镇道路交通安全评价研究[D].南京:南京林业大学,2009.
- [53] 邱安邦.道路交通安全的影响因素与综合评价[D].南京:南京林业大学,2008.
- [54] 马社强,邵春福,刘东,等.基于差异驱动原理的道路交通安全评价[J].吉林大学学报:工学版,2010,40(4).
- [55] 马明.基于多元统计方法的城市道路交通事故分析研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.

收稿日期:2018-07-17

(上接第29页)

型研究[J].公路交通科技,2004,21(2).

- [10] 干宏程,孙立军.城市快速路动态网络交通流建模及仿真研究[J].交通与计算机,2005,23(2).

- [11] 罗嵩.城市快速路微观交通仿真系统模型的研究实现[D].上海:同济大学,2008.

收稿日期:2018-09-20