

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2019.07.017

街道级小区域交通指数计算方法设计与分析

陈曦¹, 宋国华¹, 张溪², 孙建平², 郭继孚²

(1. 北京交通大学综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室, 北京 100044;
2. 北京交通发展研究院智能交通所, 北京 100073)

摘要:为提高交通拥堵治理工作的精细化管理水平,并为城市内部街道社区级行政区域提供交通评价方法,解决交通运行评价指标的评价维度细化问题,设计了适用于街道级小区域的交通指数计算方法。首先总结国内外交通运行评价指标研究现状,引出城市动态交通运行的评价指标,以及对于评价指标的评价效果的判定指标。然后建立街道级小区域的交通指数计算方法,通过比较不同评价指标计算基础之间的区别,选择出了适用于评价街道级小区域的交通特征性评价指标;参考学者的研究,建立了有效样本路段的筛选准则,对评价街道级小区域城市道路网进行筛选;通过比较小区域交通运行状态的评价时间粒度,结合判定指标结果,选择出适合于街道级小区域交通运行状态评价标准的评价时间粒度;结合上述计算算法设计出小区域交通指数计算方法。最后以北京市中心城六区为例,对算法进行了案例分析,并将小区域交通指数反映出来的交通特征与街道社区的交通特征进行对比分析。案例计算结果表明:该方法可以较准确的表达街道级小区域的交通运行特征。

关键词:智能交通;区域交通;交通指数算法;出行时间比;交通评价

中图分类号:U491.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0268(2019)07-0136-07

Design and Analysis of Traffic Indicator Calculation Method for Residential Districts

CHEN Xi¹, SONG Guo-hua¹, ZHANG Xi², SUN Jian-ping², GUO Ji-fu²

(1. Key Laboratory of Big Data Application Technologies for Comprehensive Transport of Transport Industry, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Intelligent Transport Department, Beijing Transport Development Institute, Beijing 100073, China)

Abstract: In order to improve the fine management level of traffic congestion control work, provide traffic evaluation method for urban administrative region of residential districts, and solve the problem of refinement of evaluation dimensions of traffic operation evaluation indicators, a traffic indicator calculation method suitable for residential districts is designed. First, we summarized the research status of traffic operation evaluation indicators at home and abroad, and introduced the evaluation indicators of urban dynamic traffic operation and the criterion of the evaluation effect of the evaluation indicators. Then, we established the calculation method of traffic indicator for residential districts, and selected the traffic characteristic evaluation indicators suitable for evaluating residential districts after comparing the difference between the calculation bases of different evaluation indicators. Referring to the researches of scholars, we established the screening criteria of effective sample sections, and screened the urban road network of the evaluated residential districts. By comparing the evaluation time granularities of traffic operation status of the residential districts and combining with the result of criterion, we selected the evaluation time granularity suitable for the evaluation criteria of traffic operation state of residential districts, and designed the calculation method of

收稿日期:2018-06-22

基金项目:国家自然科学基金项目(51578052, 71871015)

作者简介:陈曦(1993-),男,河北保定人,硕士。(16120788@bjtu.edu.cn)

residential district traffic indicators based on the above calculation method. Finally, taking 6 districts of Beijing central city for example, we analyzed the calculation method by case study, and compared the traffic characteristics reflected by the traffic indicator of the residential districts with those of street community. The result of case calculation shows that this method can accurately express the traffic operation characteristics of residential districts.

Key words: intelligent transport; regional traffic; traffic indicator; travel time ratio; traffic evaluation

0 引言

目前国内多个城市已应用交通运行指数作为路网交通运行状况的评价手段。随着交通拥堵日益严峻,交通拥堵治理工作精细化管理需求逐渐提高,街道作为城市内部行政区域,是交通评价良好的入手点。

交通拥堵评价方法经历了从宏观静态拥堵评价向动态运行评价的发展。宏观静态交通拥堵评价指标多用于城市规划与建设过程,而动态交通状态评价指标则为交通运行管理与控制提供帮助。

国外较早使用宏观静态拥堵评价方法进行交通拥堵评价。Schrack 和 Lomax^[1]提出经验指标道路拥堵指数(RCI),Boarnet, Tumer, Habib^[2-4]基于高速公路和主干路车流量的加权计算结果评价区域整体、长时间的道路交通状况。Lindley^[5-7]根据道路和城市地区的不同特性对拥堵指数参数进行优化,并提出了拥堵严重度(CSI)指标,用于反映宏观范围内常发性交通拥堵的相对拥堵水平。美国35个城市^[8-10]使用拥堵持续指标(LKDI)作为宏观评价整体区域常发性交通拥堵严重程度和时间特征的指标。利兹大学^[11]道路交通研究组织将交通与经济学综合考虑,提出了包括出行者交通系统满意度、出行者平均耗费、出行预测费用与实际费用比等15项评价指标。

随着动态交通数据采集技术的发展,近年来国内很多城市交通管理部门及出行信息服务商对交通拥堵评价方法的研究,已逐步由宏观静态评价转变为动态评价。其中,严重拥堵里程比例和出行时间比是计算交通运行指数的两个指标^[12]。基于严重拥堵里程比例的交通运行指数模型已被北京^[13]和广州^[14]等城市采用,着重于描述城市严重拥堵状态的路段对于城市交通拥堵的影响,而高德^[15]等服务商使用基于出行时间比的方法评价城市拥堵状态,关注出行实际花费时间和期望出行时间的比值,以表示实际道路情况较期望车速情况下多花费时间的剧烈程度。

相较于城市路网,街道级小区域具有路网规模

小、浮动车样本量少、区域间差异性大等特点,使用城市交通运行指数难以得到可靠的、稳定的交通指数评价结果。有必要面向交通精细化管理,建立街道级小区域交通指数设计方法。综上所述,本研究尝试设计适用于街道级小区域交通运行评价的交通指数。

1 交通指数计算标准设计

1.1 特征性评价指标选择

严重拥堵里程比例(指标1)和出行时间比(指标2)是计算动态交通运行指数的两个特征性评价指标^[16]。基于严重拥堵里程比例的计算方法根据交通运行划分标准,分别计算各道路等级中处于严重拥堵等级的路段里程比,并通过VKT作权重计算路网严重拥堵里程比例。基于出行时间比的计算方法是计算实际出行时间与车辆在自由流下的理想行驶时间的比值,代表实际出行多花费时长比例,从而表示交通拥堵程度。

其中,以VKT作权重的计算有如下关系。假设样本浮动车在行驶车辆中占比是均匀且相等的。那么:

$$\frac{VKT_i}{VKT_j} = \frac{Q_i \cdot L_i}{Q_j \cdot L_j} = \frac{\frac{S_i}{C} \cdot L_i}{\frac{S_j}{C} \cdot L_j} = \frac{S_i \cdot L_i}{S_j \cdot L_j}, \quad (1)$$

式中, VKT_i 和 VKT_j 分别为路段*i*和*j*上的VKT值; Q_i 和 Q_j 分别为路段*i*和*j*上的当量小区车交通量; L_i 和 L_j 分别为路段*i*和*j*的长度; S_i 和 S_j 分别为路段*i*和*j*上的浮动车样本数; C 为浮动车在总车辆中的占比。

街道级小区域的交通指数属于动态评价指标,一个优秀的评价指数算法应能够敏感的识别城市交通动态变化,而对于浮动车抽样带来的随机误差问题,也能够把结果控制在不影响对于交通状态判断的范围内。在以往的交通指数算法研究中^[16-17],对于特大城市而言,由于集计样本量大,使得交通状态评价稳定性好,需要对交通状态敏感性评价提出更高要求,基于严重拥堵里程比例的交通指数计算方法应运而生。而评价区域缩小到街道级小区域时,

集计样本辆大幅度减少,评价稳定性则跃然成为首要考虑因素。

综上所述,本研究以敏感性和稳定性作为评价指标对两种方法进行比选。

(1) 敏感性指标 SI :

$$SI = TPI_{PA} - TPI_{FA}, \quad (2)$$

$$TPI_{PA} = \frac{\sum_i TPI_i}{N}, \quad (3)$$

$$TPI_{FA} = \frac{\sum_j TPI_j}{n}, \quad (4)$$

式中, SI 为敏感性指标; TPI_i 为交通早、晚高峰时间段内时间点 i 的交通指数值; N 为交通早、晚高峰时间段内全部交通指数值的个数; TPI_j 为交通平峰时间段内时间点 j 的交通指数值; n 为交通平峰时间段内全部交通指数值的个数。

敏感性指标 SI 表示高峰与平峰的交通指数差值, 指标值越大表示评价越敏感。为保证指标计算结果的合理性, 有必要设置 SI 结果阈值, 避免计算结果的极端值影响。为限制单个指标对综合指标计算结果的影响, 有必要对计算结果进行归一化处理。

$$SI_r = \frac{SI - SI_{\min}}{SI_{\max} - SI_{\min}}, \quad (5)$$

式中, $SI_{\min}$ 为计算结果中 SI 最小值; $SI_{\max}$ 为计算结果中 SI 最大值; SI_r 为归一化后的指标值。

(2) 稳定性指标 FI

由于交通状态具有时间重复性的特点, 而指数曲线类似于声波曲线, 故本研究借鉴信号领域的信号降噪方法, 利用低通滤波方式对原始数据进行处理。假定由原始指数曲线降噪后得到的指数曲线为反映真实交通状况的指数曲线。通过计算原始曲线与真实曲线的均方根误差, 比较两种指标的评价稳定性。

低通滤波 (Low-pass filtering) 是一种过滤方式, 规则为低频信号能正常通过, 而超过设定临界值的高频信号则被阻隔减弱^[18-19]。本研究将一天的交通指数值看做一系列信号向量, 对其进行低通滤波处理。经过反复测验, 采用十阶滤波器对原始指数数据进行低通滤波。

$$S_i = \sum_{j=i-\frac{n}{2}}^{i+\frac{n}{2}} \partial_j \cdot M_j, \quad (6)$$

式中, S_i 为降噪后的第 i 个向量; n 为低通滤波器的阶数; ∂_j 为原向量 M_j 的权重。

稳定性指标 FI :

$$FI = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (S_i - M_i)^2, \quad (7)$$

式中, S_i 为滤波后交通指数值; M_i 为滤波前交通指数值; m 为向量个数。

得到结果后, 同样要对于 FI 指标值进行阈值处理和归一化操作, 方法同于 SI 值处理。

(3) 综合指标 CI

在计算得到各个街道区域的 SI 和 FI 后, 采用加权平均的方法计算基于指标 1、指标 2 计算所得交通指数的 FI 与 SI , 计算方法如下:

$$FI_1 = A \sum_{i=1}^n \partial_i \left(\frac{\sum_{j=1}^m FI_{1j}}{m} \right) + B \sum_{i=1}^n \partial_i \left(\frac{\sum_{j=1}^m FI_{2j}}{m} \right), \quad (8)$$

式中, A 为工作日权重; B 为周末权重; ∂_i 为各个城区权重; FI_{1j} 为工作日的稳定性指标; FI_{2j} 为周末的稳定性指标; FI_1 为基于指标 1 的计算方法的稳定性指标值; SI_1 , SI_2 , FI_2 计算方法类似, 在此不做赘述。其中, 权重值计算方法如下:

$$\partial_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_k C_{jk} \cdot L_{jk}}{\sum_{p=1}^p \sum_{t=1}^3 \sum_k C_{jk} \cdot L_{jk}}, \quad (9)$$

式中, C_{jk} 为道路 k 的理论通行能力值; L_{jk} 为道路 k 的车道里程; k 为某城区内道路总数; t 为道路等级; p 为城市中城区数。

综合指标 CI :

$$CI_i = \frac{SI_i}{FI_i}, \quad (10)$$

式中 CI_i 为基于指标 i 的指数计算方法。

SI 值越大表示指数评价敏感性越强, FI 值越小表示指数评价效果稳定性越强。因此, 综合指标 CI 值越大表示评价效果越好。

1.2 有效样本路段筛选

由于街道级小区域有路网规模小、浮动车样本量少、区域间差异性大等特点, 并不是所有浮动车数据都可以反映交通运行状况。研究需要对区域中有效样本路段进行筛选。

城市道路分为 4 个等级: 快速路、主干路、次干路、支路, 由于次干路与支路都具有覆盖广、连接性强的特点, 在处理浮动车数据时, 将次干路和支路数据进行统一处理。在以街道级小区域为对象进行交通运行指数设计时, 快速路上的车流量大多为过境交通, 又由于快速路具有交通量大、车速快的特点, 快速路上的浮动车速度数据不能体现街道级小区域的交

通运行特点,因此在设计街道级小区域的交通运行指数时,所用数据不包括快速路上的浮动车数据。

在交通运行状态评价区域缩小到街道级小区域时,浮动车样本量减少明显,随之会带来一系列问题,如路段计算所得出行时间比波动剧烈、稳定性差,使得不能反映真实交通运行状况。因此应选择统计时间段内样本量较大的路段纳入指数计算。学者研究^[20]认为北京市浮动车系统中5 min样本量少于3个,结果值可信度低;样本量3~9个,可信度中等;样本量达到10个以上,可信度较高。

1.3 评价时间粒度比较

目前国内各城市、交通服务运营商在使用交通指数工具对城市区域进行交通状态评价时,评价的时间粒度通常采用15 min。然而在对街道级小区域进行交通状态评价时,由于道路数量减少、浮动车样本量减少,评价精度也会相应降低,以15 min为粒度评价街道社区交通状态的准确性有待研究。

由于道路上车辆的运行状态不会在短时间内发生剧烈变化,反映在交通指数上,指数数值在一定时间段内也不应发生剧烈波动。因此以波动性指标评价不同时间粒度下交通指数的评价准确性。

波动程度 FD :

$$FD = \frac{\sum_{i=1}^n (s_{i+1} - s_i)^2}{\frac{60}{G} \cdot H}, \quad (11)$$

式中, s_i 为某时刻的指数值; G 为时间粒度; H 为统计时长。

显然, FD 代表的含义是每小时交通指数的波动程度。 FD 越大,表示波动越剧烈。

以1.1节中的降噪后指数曲线作为交通指数标准曲线,计算标准曲线不同时间粒度下的波动值 FD_s 。将降噪前真实曲线指数波动值与其比较,设定浮动范围阈值,在此浮动范围内的时间粒度评价方法认为是可行的。

2 算法例证

基于上述街道级小区域交通指数计算标准,以北京市中心城六区为例,尝试设计出适用于北京市街道社区的交通指数计算方法。

在小区域方面,本研究选取北京市街道社区作为交通小区域,经相交处理得到各小区域内路网属性信息;在车辆数据方面,本研究选取北京市2016年9月19日至25日共16 822 205条浮动车数据,如表1所

示。9月份是北京市交通特征表征明显的时期,选取该周的数据可以反映出北京市交通状态的典型特征。

表1 浮动车数据

Tab. 1 Floating car data

序号	时间	路段 编号	速度	覆盖 次数	样本 量
1	2016-09-19 07:00:00	26 545	14.972	2	3
2	2016-09-19 07:00:00	13 810	22.877	1	1
3	2016-09-19 07:05:00	45 898	16.043	1	2
4	2016-09-19 07:05:00	26 528	20.716	2	2

在特征性评价指标选择问题上。选取北京市中心城六区每城区各3个街道,根据第1.1节中的办法使用两种指标计算交通指数。评价时间为6:00—22:00,共计16 h。对计算所得曲线进行降噪处理。降噪后曲线平顺性得到提升,对于交通实时运行状态的描述准确性得到改善。

按照北京市地方标准^[13],工作日高峰期为7:00—9:00和17:00—19:00,周末高峰期为10:00—12:00和16:00—18:00,平峰段为早高峰结束至晚高峰开始之间的时间段。

由于篇幅限制,这里例举基于指标1计算的工作日城六区街道的评价指标值,如表2所示。

表2 各街道指标值

Tab. 2 Indicator values of residential districts

城区	街道	FI	SI
东城区	和平里街道	0.280	2.098
	天坛街道	0.391	1.412
	建国门街道	0.285	1.684
西城区	广安门内街道	0.253	0.752
	什刹海街道	0.218	1.284
	月坛街道	0.574	1.684
朝阳区	望京街道	0.157	10137
	奥运村街道	0.840	3.660
	太阳宫街道	0.523	2.943
海淀区	中关村街道	0.268	1.368
	上地街道	0.561	2.575
	学院路街道	0.346	1.858
丰台区	太平桥街道	0.425	2.590
	卢沟桥街道	0.619	5.206
	大红门街道	0.347	1.257
石景山区	八宝山街道	0.742	5.279
	苹果园街道	1.344	2.158
	古城街道	0.397	0.935

根据1.1节中权重计算方法确定工作日周末、各个城区权重如表3所示。再对于 SI 和 FI 指标值进行阈值和归一化处理,并加权计算得到综合指标,如表4所示。

表 3 公式权重
Tab. 3 Weights of formula

权重	A	B	∂_1	∂_2	∂_3	∂_4	∂_5	∂_6
取值	0.785	0.215	0.246	0.225	0.188	0.156	0.104	0.081

表 4 综合指标
Tab. 4 Comprehensive indicators

	FI	SI	CI
指标 1	0.886	0.612	0.690
指标 2	0.245	0.348	1.419

结果显示, 基于指标 1 的交通指数计算方法敏感性更强, 基于指标 2 的交通指数计算方法稳定性更强。但基于指标 2 的指数计算方法 CI 更高。这表明对街道级小区域进行交通状态评价时, 基于出行时间比的计算方法更优。

在样本量问题上。本研究选择 15 min 内路段样本量大于 5 个为可信路段, 可信路段占总路段的 41.5%。

在评价时间粒度问题上。本研究将 15, 30 min 和 60 min 这 3 种时间粒度的交通指数作比较。牛街街道一周连续交通指数曲线如图 1 所示, 评价时间为 6:00—22:00。

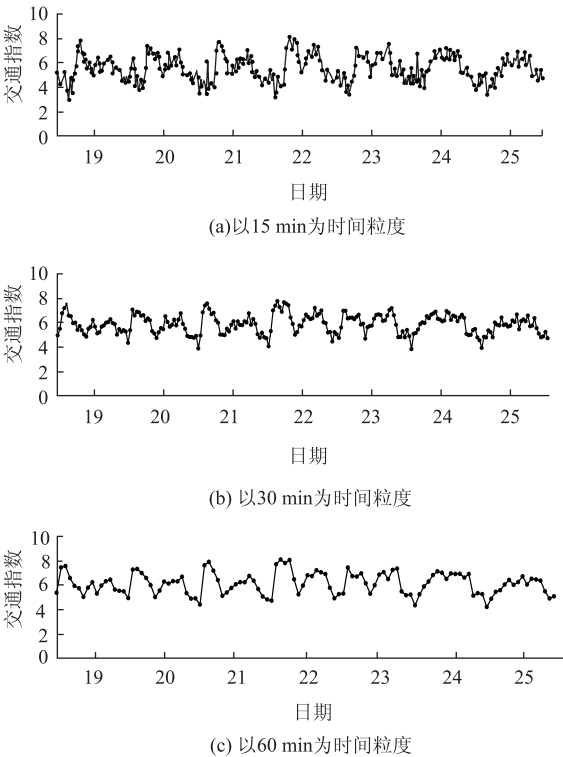


图 1 交通指数曲线与滤波降噪后曲线

Fig. 1 Curve of traffic indicator and curve after filtering and de-noising

由于北京市交通具有双峰性特点, 为统计指数曲线波动程度, 应排除曲线本身波动的干扰, 因此选取工作日和周末的平峰时段作为 FD 的计算时段。这里例举不同时间粒度下工作日 FD 值, 如表 5 所示。降噪前后的 FD 计算值与标准值如表 6 所示。

表 5 不同时间粒度的工作日 FD 值
Tab. 5 FD value in work day of different time granularity

城区	街道	15 min	30 min	60 min
东城区	和平里街道	0.232	0.163	0.067
	天坛街道	0.288	0.172	0.204
	建国门街道	0.366	0.277	0.349
西城区	广安门内街道	0.178	0.086	0.115
	什刹海街道	0.117	0.080	0.082
	月坛街道	0.323	0.218	0.155
朝阳区	望京街道	0.159	0.083	0.060
	奥运村街道	0.170	0.181	0.196
	太阳宫街道	0.433	0.206	0.352
海淀区	中关村街道	0.197	0.131	0.073
	上地街道	0.423	0.208	0.217
	学院路街道	0.289	0.205	0.201
丰台区	太平桥街道	0.301	0.134	0.055
	卢沟桥街道	0.069	0.208	0.038
	大红门街道	0.220	0.128	0.164
石景山区	八宝山街道	0.201	0.257	0.026
	苹果园街道	0.473	0.288	0.119
	古城街道	1.252	0.313	0.127

表 6 评价指标计算结果与标准值
Tab. 6 Calculation result and standard values of evaluation indicators

	15 min	30 min	60 min
FD	0.287	0.180	0.171
FD_s	0.251	0.165	0.160
差值/%	14.4	9.1	7.1

本研究以 10% 作为波动性评定标准, 认为差值在 10% 以内的评价粒度是可以接受的。因此以 30 min, 60 min 作为评价粒度均可, 以 15 min 为粒度时波动性超出标准范围。考虑到评价时间粒度越小, 可为出行者提供参考信息量越多, 建议以 30 min 作为北京市街道级区域评价时间粒度。

3 算法应用

本研究设计了基于出行时间比、以 30 min 为评价时间粒度的街道社区级小区域交通指数计算方法。使用此算法对北京市牛街街道进行交通状态评价, 评价形式为交通指数曲线, 评价时间为 2016 年 9 月 19 日至 25 日 6:00—22:00, 如图 2 所示。工作日、周末的早晚高峰、平峰指数平均值如表 7 所示。

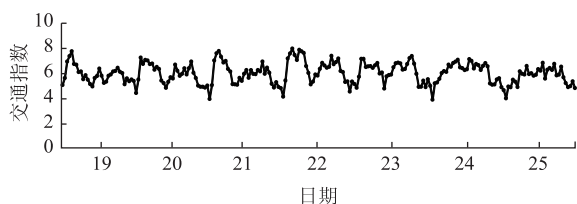


图2 牛街街道1周交通指数图

Fig. 2 Traffic index of Niujie block in one week

表7 牛街街道不同时间指数平均值

Tab. 7 Average indicator valued of Niujie residential district

街道:牛街街道	早高峰	晚高峰	平峰
工作日	7.7	7.4	6.2
周六	7.4	7.1	6.6
周日	6.2	6.3	5.7

表7结果显示牛街街道工作日早高峰较晚高峰交通状态更差,周末高峰期指数较工作日低;平峰期指数与工作日持平,甚至更高。现实情况中,牛街街道社区包含多种功能的基础设施,如医院、商场、寺庙等,属于生活型街道,且牛街街道内公共交通较不发达,早高峰时段机动车较多;工作日内,大众集中于上下班时间出行,而周末期间,多数民众时间自由选择多样,交通出行随机性更强。交通指数曲线显示出来的街道社区交通特点与街道社区的功能特点基本吻合。

计算结果显示,北京市城中心拥堵更严重,且东半部城区比西半城区拥堵严重。8:00—8:30时间段属于早高峰,10:00—10:30时间段属于平峰。早高峰整体交通状况较差,且个别街道交通拥堵状况严重。

综上所述,交通指数曲线显示出来的街道社区交通特点与街道社区的社会属性、基础设施功能特点基本吻合,北京市中心城区整体交通时空特点与北京市出行规律基本吻合。本研究设计的街道社区级小区域交通指数计算方法可以应用于评价小区域的交通运行状态。

4 结论

本研究面向交通拥堵治理工作精细化管理需求,设计了小区域交通指数计算方法,填补了已有研究的不足。本研究建议:对于评价区域缩小到街道级区域时,基于出行时间比指标的交通指数计算方法具有更高的评价能力,可保证对于交通状态的评价准确性;对于交通指数评价能力的评定,可以从敏感性指标、稳定性指标两方面来考虑;对小区域的

交通状态评价的精度难以达到类似大城市的地步,建议以30 min作为评价时间粒度。

在未来的研究中可从以下方面展开深入研究。

(1) 结合街道社区的面积、人口、道路类型等因素,设计出包含多因素参数的动态交通指数模型;(2) 街道社区中包含医院、学校、商场等交通吸引点,探究交通吸引点对街道社区交通状态的影响,为街道社区交通状况改善提出建议。

参考文献:

References:

- [1] SCHRANK D, EISELE B, LOMAX T, et al. 2015 Urban Mobility Scorecard [R]. Houston: Texas A&M Transportation Institute, 2015: 1-81.
- [2] BOARNET M G, KIM E J, PARKANY E. Measuring Traffic Congestion [J]. Transportation Research Record, 1998, 1634: 93-99.
- [3] TURNER S, MARGIOTTA R, LOMAX T. Monitoring Urban Freeways in 2003: Current Conditions and Trends from Archived Operations Data [R]. Washington, D. C.: Federal Highway Administration, 2004.
- [4] HABIB K M N. Evaluation of Planning Options to Alleviate Traffic Congestion and Resulting Air Pollution in Dhaka City [D]. Dhaka: Bangladesh University of Engineering and Technology, 2002.
- [5] LINDLEY J. Quantification of Urban Freeway Congestion Analysis of Remedial Measures [R]. Washington, D. C.: Federal Highway Administration, 1987.
- [6] LINDLEY J. A Methodology for Quantifying Urban Freeway Congestion [M]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1987: 1-7.
- [7] LINDLEY J A. Urban Freeway Congestion: Quantification of the Problem and Effectiveness of Potential Solutions [J]. ITE Journal, 1987, 57 (1): 27-32.
- [8] 郑淑莹, 杨敬锋. 国内外交通拥堵评价指标计算方法研究 [J]. 公路与汽运, 2014 (1): 57-61.
ZHENG Shu-jian, YANG Jing-feng. Research on Calculation Method of Traffic Congestion Evaluation Index at Home and Abroad [J]. Highways & Automotive Applications, 2014 (1): 57-61.
- [9] VAZIRI M. Development of Highway Congestion Index with Fuzzy Set Models [J]. Transportation Research Record, 2002, 2229: 16-22.
- [10] ISHIMARU J, HALLENBECK M, NEE J. Weekend Freeway Performance and the Use of HOV Lanes on Weekends [R]. Washington, D. C.: Washington State Transportation Center, 2000: 1-39.

- [11] LEVINSON H S, LOMAX T J. Developing a Travel Time Congestion Index [J]. Transportation Research Record, 1996, 1564: 1-10.
- [12] KONG X, YANG J, YANG Z. Measuring Traffic Congestion with Taxi GPS Data and Travel Time Index [C]//15th COTA International Conference of Transportation Professionals. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015: 3751-3762.
- [13] DB11/T 785—2011, 城市道路交通运行评价指标体系 [S].
DB11/T 785—2011, Evaluation Index System for Urban Road Traffic Operation [S].
- [14] DBJ440100/T 164—2013, 城市道路交通运行评价指标体系 [S].
DBJ440100/T 164—2013, Evaluation Index System for Urban Road Traffic Operation [S].
- [15] 高德软件有限公司. 2015 年度中国主要城市交通分析报告 [R]. 北京: 高德软件有限公司, 2016: 1-39.
Gaode Software. Traffic Analysis Report of Major Cities in China in 2015 [R]. Beijing: Gaode Software, 2016: 1-39.
- [16] 王璐媛, 于雷, 孙建平. 交通运行指数的研究与应用综述 [J]. 交通信息与安全, 2016, 34 (3): 1-9, 26.
WANG Lu-yuan, Yu-lei, SUN Jian-ping. An Overview of Studies and Applications on Traffic Performance Index [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 34 (3): 1-9, 26.
- [17] 刘梦涵. 面向特大城市的分层次交通拥堵评价模型及算法 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
LIU Meng-han. Stratified Traffic Congestion Measurement Model and Algorithm for Megacities [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [18] 胡建建, 曾培峰, 唐莉萍, 等. 基于高斯低通滤波的音乐节拍提取 [J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2011, 37 (1): 72-75, 80.
HU Jian-jian, ZENG Pei-feng, TANG Li-ping, et al. Music Beat Extraction Based on Low-pass Gaussian Filter [J]. Journal of Donghua University: Natural Science Edition, 2011, 37 (1): 72-75, 80.
- [19] 杜润乐. 低通滤波与卡尔曼滤波相结合的制导率识别 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49 (4): 66-72.
DU Run-le. A LPF Enhanced Adaptive Kalman Filter for Guidance Law Recognition [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49 (4): 66-72.
- [20] 朱丽云, 温慧敏, 孙建平. 北京市浮动车交通状况信息实时计算系统 [J]. 城市交通, 2008 (1): 77-80.
ZHU Li-yun, WEN Hui-min, SUN Jian-ping. Floating Car Based Real-time-traffic-info Collection System in Beijing [J]. Urban Transport of China, 2008 (1): 77-80.
- (上接第 126 页)
- LI Qing-quan, CAO Jing, LE Yang, et al. Pattern Extraction and Temporal Evolution of Short-term Traffic Volume [J]. Journal of Wuhan University, 2011, 36 (12): 1392-1396.
- [14] WANG H, CHEN D. Traffic Signal Segmentation Algorithm Based on Two Dimensional Clustering of Traffic Volume and Vector Angles [C]//2017 International Smart Cities Conference (ISC2). Wuxi: IEEE, 2017.
- [15] 朱文兴, 龙艳萍, 贾磊. 基于 RBF 神经网络的交通流量预测算法 [J]. 山东大学学报: 工学版, 2007, 37 (4): 23-27.
ZHU Wen-xing, LONG Yan-ping, JIA Lei. Traffic Volume Forecasting Algorithm Based on RBF Neural Network [J]. Journal of Shandong University: Engineering Science Edition, 2007, 37 (4): 23-27.
- [16] 管硕, 高军伟, 张彬, 等. 基于 K-均值聚类算法 RBF 神经网络交通流预测 [J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2014, 29 (2): 20-23.
GUAN Shuo, GAO Jun-wei, ZHANG Bin, et al. Traffic Flow Prediction Based on K-means Clustering Algorithm and RBF Neural Network [J]. Journal of Qingdao University: Engineering & Technology Edition, 2014, 29 (2): 20-23.
- [17] 吴聪, 李勃, 董蓉, 等. 基于车型聚类的交通流参数视频检测 [J]. 自动化学报, 2011, 37 (5): 569-576.
WU Cong, LI Bo, DONG Rong, et al. Detecting Traffic Parameters Based on Vehicle Clustering from Video [J]. Acta Automatica Sinica, 2011, 37 (5): 569-576.
- [18] FEBBRARO A D, GIGLIO D, SACCO N. Urban Traffic Control Structure Based on Hybrid Petri Nets [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5 (4): 224-237.
- [19] KABACOFF R I. R in Action: Data Analysis and Graphics with R [M]. English ed. Beijing: Posts and Telecom Press, 2013.
- [20] 王浩, 包林基, 云美萍. 交叉口直行待行区的车辆延迟启动策略分析 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (4): 108-112.
WANG Hao, BAO Lin-ji, YUN Mei-ping. Analysis of Delayed Starting Strategy for Through Vehicles at Intersection Waiting-zone [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2016, 33 (4): 108-112.