

大型客运站站区交通拥堵仿真评价方法研究

王博彬, 邵春福, 张喜, 计寻

(北京交通大学 城市轨道交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 客运站站区是连接大型客运站与区外交通的重要集散通道。本文根据客运站站区的实际情况, 基于“点-线-面”的思想, 提出“路段(交叉口)-道路-路网”三个层次的站区交通拥堵评价指标体系, 并基于“状态分类”与“集成加权”原理提出“点”、“线”、“面”层的交通拥堵强度评价方法。然后以北京南站为实例, 建立 VISSIM 仿真平台, 对北京南站站区交通拥堵强度进行仿真评价与优化。结果表明站区内大部分“点”处于轻度拥堵状态, 部分“线”为严重拥堵, 而整体路网的拥堵强度为中度拥堵, 说明拥堵效果具有累加性, 某一拥堵点的形成可能会造成整个路网的拥堵。

关键词: 客运站站区; 交通拥堵; 评价指标体系; 交通拥堵强度; 交通仿真

中图分类号: U491

文献标识码: A

Traffic Congestion Simulation and Evaluation Method for Large Passenger Station Region

WANG Bo-bin, SHAO Chun-fu, ZHANG Xi, JI Xun

(MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The passenger station region is an important distribution channel which connects the large passenger station with the outside traffic of the region. Based on the actual situation of passenger station region and "point-line-area" thought, a "section (intersection)-road-network" traffic congestion evaluation index system was built for the passenger station region. Moreover, the combined method of "status division" and "integrated weighting" was adopted to evaluate the traffic congestion intensity of "point", "line" and "area" layers. Further, a VISSIM simulation platform was established for the Beijing South Railway Station region to simulate and evaluate its traffic congestion intensity. The result shows that most of the "points" are in a state of mild congestion, parts of the "lines" are severe congested, and the whole network's traffic congestion intensity is moderate congested. That means the congestion has a cumulative effect and a congested point may lead to the whole network congestion.

Keywords: passenger station region; traffic congestion; evaluation index system; traffic congestion intensity (TCI); traffic simulation

1 引言

随着全国各地的城市扩张及综合交通枢纽的建设, 大型客运站与周边地区的一体化设计已越来越多的提上了城市规划建设的日程。大型客运站是城市综合交通运输体系的重要组成部分, 是各种交通运输网路的交汇点。大型客运站站区是客运站与区外之间的缓冲区域, 是客运站到发车流的重要集散通道。由于大量的车辆集散在站区范围内, 交通拥堵频发。因此, 站区交通拥堵程度成为影响客运站车流集散效率的关键因素。

目前国内外对交通拥堵评价方面的研究较多, 主要从时间、空间和拥堵程度等方面对道路交通拥堵状况进行描述^[1]。评价方法主要涉及统计学、模糊集理论、交通流理论和计算机仿真等方面^[2-4]。但存在以下不足: (1) 缺乏针对客运站站区交通拥堵评价方面的研究^[5]; (2) 缺乏整体全面地反映路网拥堵状态的指标^[6]; (3) 很少有研究将理论与仿真模拟相结合。因此, 本文首先针对客运站站区提出一套可行的交通拥堵评价指标体系, 然后基于 VISSIM 仿真平台, 对站区现状的交通拥堵状况进行仿真评价, 并提出仿真优化方案。

2 站区交通拥堵评价指标体系

通过对国内外交通拥堵评价方面的研究, 得到以下几点启示。首先, 交通拥堵评价应从微观到宏观在不同层次进行, 既要包括局部点段的拥堵状态评价, 也要包括整体路网的拥堵分析。其次, 应从站区的实际情况出发, 充分考虑方法受实施条件的限制, 建立切实可行的拥堵评价体系。同时, 交通拥堵评价体系应将定量指标和定性指标相结合, 为出行者提供简

收到日期:

修回日期:

录用日期:

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014YJS068);

作者简介: 王博彬(1990-), 女, 北京人, 北京交通大学交通运输学院, 博士研究生, 12114234@bjtu.edu.cn

单易懂的评判标准^[7]。因此，本文基于“点-线-面”的思想，提出“路段（交叉口）-道路-路网”三个层次的交通拥堵评价指标体系，具体选取指标如图 1 所示。

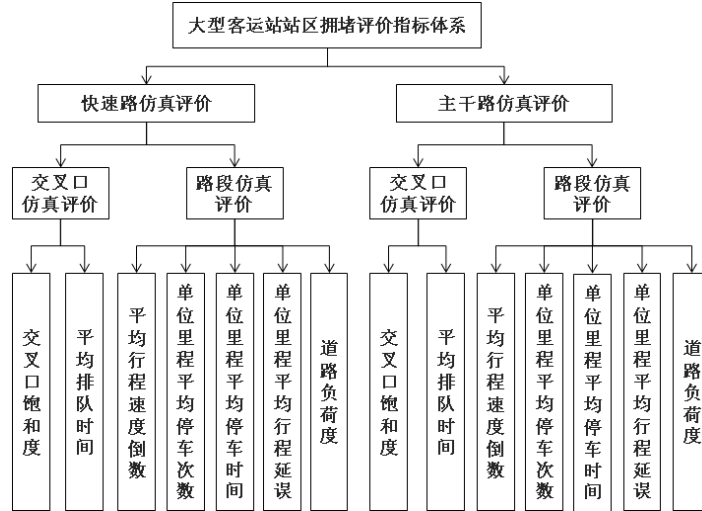


图 1 大型客运站站区交通拥堵评价指标体系

Fig. 1 Traffic congestion evaluation system of large passenger station region

其中交叉口和路段仿真评价是“点”层，快速路和主干路仿真评价是“线”层，站区仿真评价是“面”层。指标层主要分为交叉口和路段两类指标，根据国内外相关标准及多次实验调查校准，将各指标的评价标准分为五个等级^[8]，如表 1 所示：

表 1 指标状态划分标准

Tab. 1 State division criterion

“点”类型	评价指标	非常顺畅	顺畅	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵	
交叉口	交叉口饱和度	(0,0.4]	(0.4,0.6]	(0.6,0.9]	(0.9,1]	>1	
	平均排队时间 (s)	(0,30]	(30,40]	(40,50]	(50,60]	>60	
路段	平均行程速度倒数 (h/km)	快速路	(0,0.015]	(0.015,0.02]	(0.02,0.029]	(0.029,0.05]	>0.05
		主干路	(0,0.022]	(0.022,0.029]	(0.029,0.04]	(0.04,0.067]	>0.067
	单位里程平均停车次数 (次/千米 辆)	快速路	0	(0,0.5]	(0.5,1.1]	(1.1,2]	>2
		主干路	(0,0.2]	(0.2,0.8]	(0.8,1.6]	(1.6,2.9]	>2.9
	单位里程平均停车时间 (秒/千米 辆)	快速路	0	(0,9]	(9,20]	(20,35]	>35
		主干路	(0,5]	(5,28]	(28,60]	(60,115]	>115
	单位里程平均行程延误 (秒/千米 辆)	快速路	0	(0,17]	(17,48]	(48,125]	>125
主干路		0	(0,23]	(23,64]	(64,160]	>160	
道路负荷度		(0,0.4]	(0.4,0.6]	(0.6,0.7]	(0.7,0.8]	>0.8	

交叉口饱和度是交叉口实际交通量与其通行能力的比值；交叉口平均排队长度是指车辆在交叉口各个进口道排队等候长度的平均值；路段行程速度是路段的长度与通过该路段所需总行程时间之比。由于模型要求指标为极小型，所以取平均行程速度的倒数作为路段指标；单位里程平均停车次数、停车时间和平均延误分别是平均每辆机动车在单位里程内发生的停车次数、停车时间和延误时间；道路负荷度是实际交通量与道路通行能力的比值。

3 站区交通拥堵仿真评价方法

本文将交通拥堵强度 (Traffic Congestion Intensity, TCI) 作为评价体系中反映出不同层次交通拥堵严重程度的评价指标，分为“点”拥堵强度 ($TCI_{segment}$)，“线”拥堵强度 (TCI_{road}) 和“面”拥堵强度 ($TCI_{network}$)。利用“状态分类”与“集成加权”相结合的方法对“点”、“线”、“面”层的交通拥堵强度计算如下。

3.1 状态分类法

基于运行状态分类原理^[9]，根据站区交通拥堵评价的分级状态（非常顺畅、顺畅、轻度拥堵、中度拥堵、严重拥堵），引入变量 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 作为各个状态间的分界值。将“点”拥堵强度作为因变量，则交叉口和路段的评价指标为自变量 x_i ，每个自变量都有各

自的状态临界值 x_i^* 、 x_i^{**} 、 x_i^{***} 和 x_i^{****} 。由于这些指标均为极小型指标，因此选取极小型的综合评价函数。则当 $D \subseteq R^2$ 时，令 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) \subseteq D (x_i^* > 0)$ ，满足方程：

$$\sum_{i=1}^m (x_i^*)^2 = (r^*)^2 \quad (1)$$

同理， $x^{**} = (x_1^{**}, x_2^{**}, \dots, x_m^{**}) \subseteq D (x_i^{**} > 0)$ ， $x^{***} = (x_1^{***}, x_2^{***}, \dots, x_m^{***}) \subseteq D (x_i^{***} > 0)$ ， $x^{****} = (x_1^{****}, x_2^{****}, \dots, x_m^{****}) \subseteq D (x_i^{****} > 0)$ 分别满足方程：

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{**})^2 = (r^{**})^2 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{***})^2 = (r^{***})^2 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m (x_i^{****})^2 = (r^{****})^2 \quad (4)$$

其中， $(r^*)^2$ 、 $(r^{**})^2$ 、 $(r^{***})^2$ 和 $(r^{****})^2$ 即为“点”拥堵评价的门限值，由 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 确定。值得注意的是，此处的 x^* 、 x^{**} 、 x^{***} 和 x^{****} 都是经过逆指标处理和标准化以后的指标向量。设交叉口或路段的实测评价指标经逆指标处理和无量纲化以后的指标向量为 $x_j = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ ，则“点”拥堵评价函数为：

$$TCI_{segment} = \sum_{j=1}^m x_j^2 \quad (5)$$

当 $TCI_{segment} \leq (r^*)^2$ 时，路段或交叉口交通拥堵状态为非常顺畅；当 $(r^*)^2 \leq TCI_{segment} \leq (r^{**})^2$ 时，路段或交叉口交通拥堵状态为顺畅；当 $(r^{**})^2 \leq TCI_{segment} \leq (r^{***})^2$ 时，路段或交叉口交通拥堵状态为轻度拥堵；当 $(r^{***})^2 \leq TCI_{segment} \leq (r^{****})^2$ 时，路段或交叉口交通拥堵状态为中度拥堵；当 $TCI_{segment} \geq (r^{****})^2$ 时，路段或交叉口交通拥堵状态为严重拥堵。

3.2 “线”、“面”拥堵强度

TCI_{road} 用于反映某等级道路的拥堵强度。其计算值由该等级道路相应路段的 $TCI_{segment}$ 值加权计算得到。“线”交通拥堵强度的计算公式如下所示：

$$TCI_{road_j} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times TCI_{segment_i}}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

其中， TCI_{road_j} 表示某等级道路 j 的交通拥堵强度， j 的取值为 1 到 m ； $TCI_{segment_i}$ 表示该等级道路路段 i 的交通拥堵强度； A_i 表示该等级道路路段 i 的权重； n 表示该等级道路的全部路段数； m 表示站区路网中的道路等级数。

$TCI_{network}$ 用于反映站区路网整体的拥堵强度。其计算值由该等级道路相应路段的 TCI_{road} 值加权计算得到。“面”交通拥堵强度的计算公式如下所示：

$$TCI_{network} = \frac{\sum_{j=1}^m B_j \times TCI_{road_j}}{\sum_{j=1}^m B_j} \quad (7)$$

其中， $TCI_{network}$ 表示站区路网的交通拥堵强度； B_j 表示某等级道路 j 的权重。

利用车辆行驶里程 (Vehicle-kilometers Traveled, VKT) 来计算权重。在交通拥堵强度的计算过程中，VKT 的计算公式为：

$$TCI = \frac{\sum_i (VKT_i \times TCI_i)}{\sum_i VKT_i} \quad (8)$$

其中， TCI 表示比 TCI_i 更高层次的交通拥堵强度； VKT_i 表示某等级道路或路段在评价

时段内的车辆行驶里程，单位：千车公里； TCI_i 表示某层次的交通拥堵强度； i 表示某等级道路的路段或交叉口数量，或者道路网中的道路等级数。

4 北京南站站区交通拥堵仿真评价与优化

利用 VISSIM 仿真软件对客运站站区的交通拥堵强度进行评价。VISSIM 既可以生成可视化的交通运行界面，也可以通过设置数据采集点、行程时间检测器、排队检测器和节点等工具，直接输出各类评价指标，无需再计算^[10]。

北京南站是目前国内最大的综合交通枢纽，它对城市道路车流具有很强的集散作用。北京南站站区范围主要以周边快速路和主干路为界，北至南二环南侧辅路，南至南三环北侧辅路，东至马家堡东路，西至开阳路。开阳桥，陶然桥，万芳桥，洋桥是车辆驶入站区的主要入口，而幸福路、开阳里三街、西罗园路和革新南路是辅助入口。

4.1 分类评价的门限值计算

由表 1 得到评价指标门限值的原始值，采用极值处理法，对各个指标进行标准化处理，使处理后的指标门限值都在[0,1]范围内。然后按照状态分类法，得到 $TCI_{segment}$ 、 TCI_{road} 和 $TCI_{network}$ 的门限值。结果如表 2 所示。

表 2 交通拥堵评价指标门限值

Tab. 2 Traffic congestion evaluation threshold

分层	函数值	r^*	r^{**}	r^{***}	r^{****}
点	快速路路段门限值	0.1611	0.3715	0.5468	0.9207
	主干路路段门限值	0.1646	0.3863	0.596	1.1144
	交叉口门限值	0.4333	0.6398	0.9419	1.0541
线	快速路门限值	0.2642	0.4876	0.7177	0.9851
	主干路门限值	0.2671	0.4971	0.7493	1.0838
面	路网门限值	0.2257	0.4511	0.6746	1.0265

4.2 实例评价指标计算

将 VISSIM 仿真得出的各类评价指标进行标准化处理，应用公式对“点-线-面”拥堵强度进行计算。结果如表 3 所示。

表 3 “点-线-面”拥堵强度评价

Tab. 3 “Point-line-area” traffic congestion intensity evaluation

分层	名称	拥堵强度	范围	拥堵评价	
点	快速路	南二环西向东路段	0.4976	(r2,r3)	轻度拥堵
		南二环西向东交叉口	0.8260	(r2,r3)	轻度拥堵
		南三环东向西路段	0.5298	(r2,r3)	轻度拥堵
		南三环东向西交叉口	0.6355	(r1,r2)	顺畅
	主干路	开阳路北向南路段	1.3017	>r4	严重拥堵
		开阳路北向南交叉口	0.7951	(r2,r3)	轻度拥堵
		开阳路南向北路段	1.4693	>r4	严重拥堵
		开阳路南向北交叉口	0.7951	(r2,r3)	轻度拥堵
		马家堡东路北向南路段	0.6058	(r1,r2)	顺畅
		马家堡东路北向南交叉口	0.6780	(r2,r3)	轻度拥堵
		马家堡东路南向北路段	0.1973	(r1,r2)	顺畅
	马家堡东路南向北交叉口	0.6780	(r2,r3)	轻度拥堵	
	线	快速路	南二环西向东	0.6412	(r2,r3)
南三环东向西			0.5651	(r2,r3)	轻度拥堵
主干路		开阳路北向南	1.1582	>r4	严重拥堵
		开阳路南向北	1.2169	>r4	严重拥堵
		马家堡东路北向南	0.6474	(r2,r3)	轻度拥堵
马家堡东路南向北	0.5318	(r2,r3)	轻度拥堵		
面	北京南站站区	0.8493	(r3,r4)	中度拥堵	

注：r1 为 r^* ，r2 为 r^{**} ，r3 为 r^{***} ，r4 为 r^{****} 。

通过结果可以看出，站区内大部分“点”处于轻度拥堵状态，进行加权后，部分“线”变成了严重拥堵，而整体路网的拥堵强度为中度拥堵。说明拥堵效果具有累加性，路段上某一拥堵点的形成可能会造成整个路网的拥堵。

此外，北京南站站区目前的交通状态不容乐观，需要尽快对南站站区的车流进行有效疏

解。因此本文提出三种优化方案：(1) 在幸福路与开阳路交叉口北进口采用“禁左”的交通管制方式。(2) 在有多条路径选择的位置点(比如开阳桥)设置交通诱导指示牌,根据实时数据对进站车流起到一定的引导作用。(3) 提高凉水河南侧路及相关路段(马家堡路,万芳亭公园东侧路)的使用效率。通过对以上三种方案进行仿真评价,发现交通管制的方式能够适当增加北京南站北部和东部进口路径的选择比例,进而使开阳路北段拥堵情况有所减轻,相对于其他两种方案其缓解拥堵的效果较好。

5 结语

本文以北京南站为实例,基于“状态分类”与“集成加权”原理提出大型客运站站区“点”、“线”、“面”层的交通拥堵强度评价方法。研究结果表明北京南站站区内大部分“点”处于轻度拥堵状态,部分“线”为严重拥堵,而整体路网的拥堵强度为中度拥堵,说明站区拥堵效果具有累加性,路段上某一拥堵点的形成可能会造成整个路网的拥堵。本文从系统学角度出发,研究内容从过程上涵盖调查、研究和仿真等各个阶段,通过这些研究内容的有机融合,将形成一个系统、完整的大型客运站站区交通拥堵评价问题的理论方法研究与实际应用体系。

参考文献

- [1]高艺. 基于一次拥堵的城市交通拥堵综合评价方法研究[D].北京交通大学,2011.
GAO Yi. Continuous congestion-based comprehensive measurement approach for urban traffic congestion[D]. Beijing Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [2]Mekky A. Measuring congestion in the Greater Toronto area[J]. Traffic Engineering & Control, 2004, 45(2).
- [3]王建玲,蒋阳升. 交通拥挤状态的识别与分析[J]. 系统工程,2006,10:105-109.
WANG Jian-ling, JIANG Yang-sheng. Recognition and Analysis of Traffic Congestion[J]. Systems Engineering, 2006, 10:105-109. (in Chinese)
- [4] 陈小鸿,肖海峰. 交织区交通特性的微观仿真研究[J]. 中国公路学报,2001,S1:90-93.
CHEN Xiao-hong, XIAO Hai-feng. Micro-simulation study of the characteristics of waving area[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, S1:90-93. (in Chinese)
- [5] 沈俊娜. 铁路客运枢纽站与城市交通衔接研究[D].华南理工大学,2010.
SHEN Jun-na. Study on connection between railway passenger hub station and urban traffic[D]. South China University of Technology, 2010. (in Chinese)
- [6] 郭继孚,刘梦涵,于雷,关积珍,郭淑霞,张雪莲. 北京市交通拥堵宏观评价指标体系开发及其应用[C].第三届中国智能交通年会论文集, 2007:8.
GUO Ji-fu, LIU Meng-han, YU Lei, GUAN Ji-zhen, GUO Shu-xia, ZHANG Xue-lian. Development and applications of macroscopic measurement of traffic congestion in Beijing[C]. The 3rd China intelligent transportation conference proceedings, 2007:8.
- [7] 祝付玲. 城市道路交通拥堵评价指标体系研究[D]. 东南大学,2006.
ZHU Fu-ling. Research on index system of urban traffic congestion[D]. Southeast University,2006. (in Chinese)
- [8] 刘娟,孙建平,刘梦涵,王贞君,蒋光胜,刘静. 微观层次城市道路交通拥堵评价指标的研究[C].第三届中国智能交通年会论文集,2007:5.
LIU Juan, SUN Jian-ping, LIU Meng-han, WANG Zhen-jun, JIANG Guang-sheng, LIU Jing. Study on urban congestion evaluation index at microcosmic level[C]. The 3rd China intelligent transportation conference proceedings, 2007:5.
- [9] 邓毅萍. 高速公路路段运行状况评价与分析研究[D].东南大学,2005.
DENG Yi-ping. Evaluation and analysis study on operation status[D]. Southeast University, 2005.
- [10] 陈元朵,徐建闽,郑淑鉴. 基于 Vissim 仿真的快速公交系统实施方案评价体系研究[J]. 交通信息与安全, 2011,02:52-58.
CHEN Yuan-duo, XU Jian-min, ZHENG Shu-jian. System of evaluating bus rapid transit program based on simulation by Vissim[J]. Journal of Transportation Information and Safety, 2011, 02:52-58.