

文章编号:1671-1637(2014)05-0068-06

基于行程速度指数的城市快速路服务水平评价方法

杨富社^{1,2}, 邹群³, 李明¹, 陈宽民¹, 高扬¹

(1. 长安大学公路学院, 陕西西安 710064; 2. 长安大学理学院, 陕西西安 710064;

3. 南昌工程学院土木与建筑工程学院, 江西南昌 330029)

摘要:根据城市快速路的特性,将城市快速路分为基本路段、交织区和分合流区。运用 Greenshields 模型计算自由流行程速度,通过双线圈检测器获取地点速度并由此估算行程速度。对行程速度指数进行右侧均值和均方差的一致性检验,将服务水平量化,提出了基于行程速度指数的城市快速路服务水平评价方法,并在西安市南二环某路段上进行实例验证。评价结果表明:当自由流、高峰时段、平峰时段的行程速度分别为 82.514、47.825、67.930 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,高峰时段行程速度指数的均值和均方差检验结果分别为 7.206、8.482,城市快速路服务水平为 2.667,为Ⅲ级;平峰时段行程速度指数的均值和均方差检验结果分别为 6.408、8.960,城市快速路服务水平为 4.083,为Ⅱ级。计算结果与实际情况相符,提出的方法有效。

关键词:城市快速路;服务水平;评价方法;行程速度指数;一致性检验

中图分类号:U491.113

文献标志码:A

Evaluation method of urban expressway service level based on traveling speed index

YANG Fu-she^{1,2}, ZOU Qun³, LI Ming¹, CHEN Kuan-min¹, GAO Yang¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Science,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Civil Engineering and

Architecture, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330029, Jiangxi, China)

Abstract: According to the characteristics of urban expressway, urban expressway was divided into basic section, weaving section, diverging and merging section. The traveling speed of free flow was calculated by using Greenshields model, and spot speed data were collected through dual-loop detector to estimate traveling speed. After the consistency test of right side mean and mean square deviation for traveling speed index, the service level was quantified, the evaluation method of urban expressway service level based on traveling speed index was proposed, and example verification was carried out on the Southern Section of Second Circular Road of Xi'an City. Evaluation result shows that when the traveling speeds in free flow, peak period and flat peak period are 82.514, 47.825 and 67.930 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ respectively, the mean and mean square deviation of traveling speed index in peak period are 7.206, 8.482 respectively, and the service level of urban expressway is 2.667 and is Ⅲ level. The mean and mean square deviation

收稿日期:2014-06-09

基金项目:陕西省交通科技项目(14-29R);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014G1221014,2014G1221020)

作者简介:杨富社(1963-),男,陕西咸阳人,长安大学副教授,工学博士研究生,从事道路交通规划研究。

导师简介:陈宽民(1957-),男,陕西西安人,长安大学教授,工学博士。

of traveling speed index in flat peak period are 6.408, 8.960, and the service level of urban expressway is 4.083 and is II level. The calculation result consists with actual situation, so the proposed method is effective. 5 tabs, 2 figs, 18 refs.

Key words: urban expressway; service level; evaluation method; traveling speed index; consistency test

Author resumes: YANG Fu-she(1963-), male, associate professor, doctoral student, +86-29-82334636, fusheyang@chd.edu.cn; CHEN Kuan-min(1957-), male, professor, PhD, +86-29-82334636, chenkm@yeah.net.

0 引 言

城市快速路是满足长距离、快速、安全行驶的汽车专用道路^[1]。近年来,中国城市快速路发展迅速,在城市道路交通系统中发挥着愈加明显的骨干作用。伴随着快速路网络的建成与投入运营,对快速路不同时段交通状态进行快速、有效甄别,对于提高交通管理效率,保证快速路系统高效、安全运转有着重要的作用。在美国道路通行能力手册 HCM2000 中,将服务水平定义为建立在诸如速度、运行时间、行车自由度、交通干扰程度、舒适性以及便利性等服务指标基础之上的用来描述交通流运行状态的质量指标^[2-3]。

李红萍等提出从快速路系统目标出发,以系统管理者为评价主体,利用层次分析法和模糊综合评价法,建立了快速路系统服务水平二级综合评价模型^[4];王华荣等通过选取交通压力和归一化的交通密度作为快速路服务水平的评价指标,通过建立灰类白化函数将服务水平划分为 4 个等级,并确立其阈值^[5];郑铨等分析了道路交通特征、车辆构成特征及路段几何特征,采用主成分分析法计算了快速路基本路段服务水平^[6];裴玉龙等运用密度和交织比 2 个参数作为评价指标,对快速路交织区段服务水平进行了研究^[7];Cheol 等以路段中间速度为基础分析了服务水平的标准^[8];Brilon 等采用累积速度分布函数概念,定义“设施平均速度”作为系统服务水平评价指标,基于高速公路各组成部分服务水平分级方法,提出了由检测的速度数据分析系统服务水平的步骤^[9],但没有给出系统服务水平划分的阈值。

行程速度是评价道路交通运行效率的重要指标,能够较为全面地反映快速路的车流运行状况,获取手段包括固定检测器获取、视频检测等,其中跟车法是比较常用的获取方法^[10],行程速度与道路拥挤状况、服务水平等密切相关,因而被广泛应用于服务水平评价等交通管理领域^[11]。

本文针对城市快速路服务水平评价方法展开研究,引进行程速度指数用于路段服务水平的评价,确定了服务水平阈值的 5 级划分标准,运用右侧均值和方差的一致性检验等验证其有效性,并结合西安市南二环某路段的调查数据进行了实例验证。

1 车辆行程速度指数计算

城市快速路可划分为基本路段、交织区和分合流区 3 个单元,其中:分合流区为受车辆分合流影响到匝道上下游 450 m 的地段;交织区为从合流鼻宽度为 0.6 m 到下游分流鼻宽度为 3.7 m 的范围;基本路段为除分合流区、交织区以外的路段。

快速路基本路段、交织区和分合流区具有不同的路段特性,对车辆行程速度有一定的影响。车辆不受任何限制状态下自由通过某路段的行程速度为自由流行程速度,也称为理论行程速度,其值为考虑路段特性对基本路段、分合流区、交织区的理论自由流速度加权平均^[12]。行程速度指数定义为实际行程速度与自由流行程速度的比值,其中实际行程速度通过固定型检测器(如感应线圈)采集的样本数据进行估计。行车速度检测器布设见图 1。

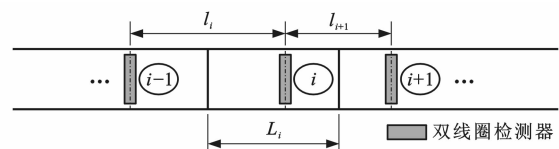


图 1 行车速度检测器布设

Fig. 1 Detector layout of traveling speed

令 l_i 为检测器 i 与上游检测器 $i-1$ 间的距离, l_1 、 l_n 分别为快速路首末段长度,可将检测器 i 对应的下一个区间的长度 L_i 定义为

$$L_i = \begin{cases} l_1 + \frac{1}{2}l_2 & i = 1 \\ \frac{1}{2}(l_i + l_{i+1}) & i = 2, 3, 4, \dots, n-1 \\ \frac{1}{2}l_n & i = n \end{cases} \quad (1)$$

整个路段长度 L 为

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \quad (2)$$

检测器 i 对应的区间平均车速 \bar{V}_{1i} 为

$$\bar{V}_{1i} = \bar{V}_{2i} - \frac{\sigma_{2i}^2}{\bar{V}_{2i}} \quad (3)$$

式中: \bar{V}_{2i} 为检测器 i 对应的地点平均速度; σ_{2i}^2 为地点平均速度观测值 \bar{V}_{2i} 的方差。

路段总行程时间 T 为各区间的行程时间 T_i 之和,即

$$T = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{V}_{1i}} \quad (4)$$

路段行程速度 V 满足

$$V = \frac{L}{T} \quad (5)$$

构建 V - K 关系的 Greenshields 模型为

$$V = aK + b \quad (6)$$

式中: K 为交通密度; a 、 b 为待定参数。

当 $K=0$ 时,对应的 V 称为自由流行程速度,用 V_f 表示^[13]。

2 快速路服务水平评价方法

城市快速路主要目的是提供快速、高效的通道,其行程速度与服务水平密切相关,本文采用行程速度指数进行快速路服务水平评价,步骤如下。

(1)根据检测器获取的交通流数据,统计分析各区间 V 、 K 的离散分布特征,构建相应的 Greenshields 关系模型,确定待评价路段上的车辆自由流行程速度 V_f 。

(2)分别确定 M 个统计间隔中路段上的车辆行程速度 V_m ($m=1, 2, \dots, M$)。

(3)根据行程速度指数,确定 M 个统计间隔中待评价路段上的车辆行程速度指数 I_m ,行程速度指数 I 的均值 $E(I)$ 和均方差 $S(I)$ 分别为

$$E(I) = \frac{\sum_{m=1}^M I_m}{M} \quad (7)$$

$$S(I) = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^M [I_m - E(I)]^2}{M-1}} \quad (8)$$

(4)对初步确定的行程速度指数均值 $E(I)$ 进行 t 检验,定义行程速度指数的均值一致性指标 β 为

$$\beta = t_{1-\alpha}(M-1) - \frac{E(I) - \mu_0}{S(I)/\sqrt{M}} \quad (9)$$

式中: $t_{1-\alpha}$ 为 t 检验参数; μ_0 为跟车法实测速度与自由流速度的比值。

当 $\beta > 0$ 成立时,可认为从均值角度看,行程速度指数满足服务水平评价要求的概率不低于 95%。

(5)对评价路段的行程速度指数的均方差 $S(I)$ 进行 χ^2 检验,定义行程速度指数的方差一致性指标 δ 为

$$\delta = \chi_{1-\alpha}^2(M-1) - \frac{1}{S_0^2} \sum_{m=1}^M [I_m - E(I)]^2 \quad (10)$$

式中: $\chi_{1-\alpha}^2$ 为 χ^2 检验参数; S_0^2 为可接受方差(20%)。

当 $\delta > 0$ 时,从均方差角度看,可认为行程速度指数序列满足服务水平评价要求的可能性不低于 95%。

(6)只有当 β 、 δ 同时大于 0 时,才认为测算的行程速度指数满足既定要求^[14],相关数据可用于路段在不同时段的服务水平的评价。在 HCM 2000 中,道路服务水平划分为 6 级,本文为了研究方便,把服务水平划分为 A、B、C、D 和 E 共 5 个等级,分别表征畅通、较畅通、稳定、拥挤、堵塞 5 种易于识别的交通状态,为直观起见,采用行程速度指数来描述服务水平^[15]。

(7)根据待评价路段在不同评价时段内的服务水平评价结果,确定其服务水平等级 O 为

$$O = \frac{1}{M} \sum_{p=1}^5 Q_p O_p \quad (11)$$

式中: O_p 为第 p 级服务水平值; Q_p 为第 p 级服务水平出现的时段数量。

借鉴 HCM 2000 中对服务水平的定量描述,本文根据 I 的量化分析结果,将其划分为 5 级标准,用以量化界定服务水平值,见表 1。

表 1 城市快速路服务水平标准

Tab. 1 Service level standard of urban expressway

O	I	II	III	IV	V
I	≥ 0.90	$[0.70, 0.90)$	$[0.50, 0.70)$	$[0.40, 0.50)$	< 0.40

3 实例应用

3.1 基础数据采集

以西安市南二环太乙路路口至高新四路路口长约 7.11 km 的路段为例(图 2),共布设有 18 个检测器,调查时间选择早高峰时段(8:00~9:00)与平峰时段(20:00~21:00)。实测行程速度数据采用跟车法调查,调查结果见表 2。

由表 2 可知,研究路段平峰时段的行程速度明显高于高峰时段的行程速度。对检测器得到的数据进行处理,将地点速度转化为区间速度,为计算简



图 2 研究路段
Fig.2 Study section

表 2 行程速度测试数据
Tab.2 Test data of traveling speed

时段	驶入时刻	驶出时刻	T/s	$V/(km \cdot h^{-1})$
高峰	8:11:21	8:19:38	497	51.501
平峰	20:03:11	20:08:47	336	76.178

便,以 \bar{V}_{2i} 直接代替 \bar{V}_{1i} ^[16],计算得该路段高峰时段行程速度为 $47.825 km \cdot h^{-1}$,平峰时段的行程速度为 $67.930 km \cdot h^{-1}$,行程速度分析结果见表 3。

3.2 自由流行程速度测算

通过调查与统计分析,建立各个区间描述V-K

表 3 行程速度分析结果

Tab.3 Analysis results of traveling speed

检测器 编号	区间类型	l_i/km	L_i/km	高峰时段		平峰时段	
				$\bar{V}_{2i}/(km \cdot h^{-1})$	T_i/s	$\bar{V}_{2i}/(km \cdot h^{-1})$	T_i/s
1	分合流区	0.180	0.415	61.041	24.4	71.757	20.8
2	基本路段	0.470	0.395	71.762	19.8	76.371	18.6
3	基本路段	0.320	0.375	62.830	21.5	64.954	20.8
4	基本路段	0.430	0.515	60.132	30.8	69.733	26.6
5	基本路段	0.600	0.505	75.524	24.1	80.026	22.7
6	基本路段	0.410	0.425	79.110	19.3	82.860	18.5
7	基本路段	0.440	0.385	70.068	19.8	74.322	18.6
8	分合流区	0.330	0.340	60.066	20.4	66.709	18.4
9	基本路段	0.350	0.470	68.803	24.6	73.258	23.1
10	基本路段	0.590	0.520	62.735	29.8	69.905	26.8
11	交织区	0.450	0.365	56.774	23.1	66.236	19.8
12	交织区	0.280	0.330	53.597	22.2	63.169	18.8
13	基本路段	0.380	0.345	39.162	31.7	54.741	22.7
14	分合流区	0.310	0.365	29.862	44.0	55.472	23.7
15	基本路段	0.420	0.420	19.694	76.8	71.923	21.0
16	交织区	0.420	0.345	21.511	57.7	56.223	22.1
17	基本路段	0.270	0.365	38.962	33.7	61.565	21.3
18	基本路段	0.460	0.230	72.086	11.5	66.484	12.5

关系的 Greenshields 模型,见表 4, $V_1 \sim V_{18}$ 分别为 18 个区间对应的行程速度, $K_1 \sim K_{18}$ 分别为 18 个区间对应的交通密度,取常数项得到区间 i 的自由流速度 V_{fi} 。

由于各区间道路条件的不同,调查分析后所得的自由流速度也不同,求得 V_f 为 $82.514 km \cdot h^{-1}$ 。

3.3 服务水平估计

每个线圈可以检测出相应的地点平均车速,近似为相应区间的平均行程车速,从而可以得出不同时间间隔的路段总行程时间,表 5 为路段在高峰时段和平峰时段以 5 min 为间隔快速路服务水平分析

结果,根据行程速度指数的定义,计算得到了高峰时段均方差和平峰时段的行程速度指数值。

根据式(9)、(10),对高峰时段和平峰进段的行程速度指数 I 进行右侧均值和均方差检验,计算得高峰时段的 $\beta=7.206>0, \delta=8.482>0$,平峰时段的 $\beta=6.408>0, \delta=8.960>0$,故行程速度指数值满足一致性要求,可用于服务水平的进一步分析。

由表 5 可以看出,该路段高峰时段的服务水平主要以Ⅲ、Ⅳ级为主,平峰时段的服务水平很高,能达到Ⅰ、Ⅱ级。根据式(11),计算得高峰时段服务水平为 2.667,为Ⅲ级,平峰时段服务水平为 4.083,为

表 4 自由流行程速度分析结果
Tab. 4 Analysis results of free traveling speed

检测器编号	L_i/km	Greenshields 模型	$V_{fi}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	T_i/s
1	0.415	$V_1 = -0.648K_1 + 85.233$	85.233	17.5
2	0.395	$V_2 = -0.545K_2 + 91.143$	91.143	15.6
3	0.375	$V_3 = -0.596K_3 + 82.600$	82.600	16.3
4	0.515	$V_4 = -0.616K_4 + 82.208$	82.208	22.6
5	0.505	$V_5 = -1.044K_5 + 97.815$	97.815	18.6
6	0.425	$V_6 = -0.492K_6 + 91.775$	91.775	16.7
7	0.385	$V_7 = -0.684K_7 + 90.502$	90.502	15.3
8	0.340	$V_8 = -0.576K_8 + 78.610$	78.610	15.6
9	0.470	$V_9 = -0.865K_9 + 89.677$	89.677	18.9
10	0.520	$V_{10} = -0.435K_{10} + 80.631$	80.631	23.2
11	0.365	$V_{11} = -0.949K_{11} + 89.640$	89.640	14.7
12	0.330	$V_{12} = -0.564K_{12} + 74.377$	74.377	16.0
13	0.345	$V_{13} = -0.578K_{13} + 68.884$	68.884	18.0
14	0.365	$V_{14} = -0.559K_{14} + 72.895$	72.895	18.0
15	0.420	$V_{15} = -0.525K_{15} + 87.924$	87.924	17.2
16	0.345	$V_{16} = -0.427K_{16} + 66.937$	66.937	18.6
17	0.365	$V_{17} = -0.604K_{17} + 73.722$	73.722	17.8
18	0.230	$V_{18} = -0.667K_{18} + 85.887$	85.887	9.6

表 5 城市快速路服务水平分析结果
Tab. 5 Analysis results of urban expressway service level

高峰时段					平峰时段				
结束时刻	T/h	$V_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	I	O	结束时刻	T/h	$V_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	I	O
8:05	0.151	47.086	0.570	Ⅲ	20:05	0.102	69.706	0.844	Ⅱ
8:10	0.148	48.041	0.581	Ⅲ	20:10	0.102	69.706	0.844	Ⅱ
8:15	0.164	43.354	0.524	Ⅲ	20:15	0.104	68.365	0.828	Ⅱ
8:20	0.171	41.579	0.504	Ⅲ	20:20	0.103	69.029	0.836	Ⅱ
8:25	0.186	38.226	0.462	Ⅳ	20:25	0.103	69.029	0.836	Ⅱ
8:30	0.193	36.839	0.446	Ⅳ	20:30	0.103	69.029	0.836	Ⅱ
8:35	0.180	39.500	0.478	Ⅳ	20:35	0.100	71.100	0.861	Ⅱ
8:40	0.178	39.944	0.483	Ⅳ	20:40	0.100	71.100	0.861	Ⅱ
8:45	0.165	43.091	0.522	Ⅲ	20:45	0.098	72.551	0.878	Ⅱ
8:50	0.154	46.169	0.558	Ⅲ	20:50	0.097	73.299	0.887	Ⅱ
8:55	0.164	43.354	0.524	Ⅲ	20:55	0.096	74.063	0.897	Ⅱ
9:00	0.167	42.575	0.516	Ⅲ	21:00	0.095	74.842	0.906	Ⅰ

Ⅱ级,可见该路段在平峰时段交通状况较好,车行流畅,但在高峰时段交通流呈现较拥挤状态,特别是在立交、分合流点及交织区等节点处,行速度缓慢,延误较大,亟需采取针对性措施,以改善高峰时段的交通拥挤状况,进而提高服务水平^[17-18]。

4 结 语

本文建立了基于双线圈检测器地点速度数据的行程速度估算方法,将城市快速路服务水平划分为5个等级,以行程速度指数作为快速路运营阶段服

务水平评价指标,建立了服务水平标准;提出了面向运行分析应用的快速路服务水平分析方法,并通过实例分析进行了验证,方法的精度能够满足运营阶段服务水平评价的需要。

参考文献:

References:

- [1] 黄艳国,许伦辉,邝先验.模糊卡尔曼滤波在快速路行程时间估计中的应用[J].吉林大学学报:工学版,2014,44(3): 648-654.
HUANG Yan-guo, XU Lun-hui, KUANG Xian-yan. Application of fuzzy Kalman filter in travel time estimation in urban expressway[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2014, 44(3): 648-654. (in Chinese)
- [2] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000.
- [3] ROESS R P, VANDEHEY M A, KITTELSON W. Level of service: 2010 and beyond[J]. Transportation Research Record, 2010(2173): 20-27.
- [4] 李红萍,裴玉龙.快速路系统服务水平的模糊综合评价[J].华南理工大学学报,2009,37(7):26-30.
LI Hong-ping, PEI Yu-long. Fuzzy comprehensive evaluation of service level of expressway system[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 37(7): 26-30. (in Chinese)
- [5] 王华荣,裴玉龙,邢世玲.灰色聚类法在快速路基本路段服务水平评价中的应用[J].公路,2005(5):75-80.
WANG Hua-rong, PEI Yu-long, XING Shi-ling. Application of gray clustering method to estimating service levels of basic segments of expressway[J]. Highway, 2005(5): 75-80. (in Chinese)
- [6] 郑 锂,宋 瑞,刘 杰.基于PCA的城市快速路基本路段服务水平评价[J].交通运输系统工程与信息,2010,10(2): 184-189.
ZHENG Li, SONG Rui, LIU Jie. Principal components analysis based evaluation on level of service for urban freeway basic sections[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(2): 184-189. (in Chinese)
- [7] 裴玉龙,陶泽明,徐大伟.快速路交织区服务水平评价指标研究[J].交通与计算机,2007,25(6):52-55.
PEI Yu-long, TAO Ze-ming, XU Da-wei. Research on the service level of weaving section of urban expressway[J]. Computer and Communications, 2007, 25(6): 52-55. (in Chinese)
- [8] CHEOL O, ANDRE T, STEPHEN G R. Real-time freeway level of service using inductive-signature-based vehicle reidentification system[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(2): 138-146.
- [9] BRILON W, ESTEL A. Differentiated analysis of level of service within the German Highway Capacity Manual[J]. Transportation Research Record, 2010(2173): 36-44.
- [10] 李文雄,王健伟.城市快速路网本体交通数据集成及其应用[J].长安大学学报:自然科学版,2013,33(5):93-100.
LI Wen-xiong, WANG Jian-wei. Ontology-based transportation data integration and application for urban fast road networks[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2013, 33(5): 93-100. (in Chinese)
- [11] SORIGUERA F, ROBUSTE F. Requiem for freeway travel time estimation methods based on blind speed interpolations between point measurements[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(1): 291-297.
- [12] SORIGUERA F, ROBUSTE F. Estimation of traffic stream space mean speed from time aggregations of double loop detector data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(1): 115-129.
- [13] 钟连德,李秀文,荣 建,等.城市快速路基本路段通行能力的确定[J].北京工业大学学报,2006,32(7):605-609.
ZHONG Lian-de, LI Xiu-wen, RONG Jian, et al. Confirmation of the capacity of urban expressway basic segment[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(7): 605-609. (in Chinese)
- [14] DJURIC N, RADOSAVLJEVIC V, CORIC V, et al. Travel speed forecasting by means of continuous conditional random fields[J]. Transportation Research Record, 2011(2263): 131-139.
- [15] FIDUCEK I, GALUSKA J. Recommendations for new capacity values on freeways[J]. Periodica Polytechnica: Civil Engineering, 2010, 54(2): 127-136.
- [16] BASSAN S, POLUS A. Meaning of actual capacity of freeways and its estimation[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2010, 37(1): 77-87.
- [17] YANG C, MATTINLY S P, WILLIANMS J C, et al. Development of managed-lane access guidelines based on gap acceptance theory[J]. Transportation Research Record, 2011(2257): 95-102.
- [18] 臧晓冬,周 伟.城市快速路苜蓿叶互通立交的通行能力模型[J].中国公路学报,2011,24(3):86-92.
ZANG Xiao-dong, ZHOU Wei. Capacity model of cloverleaf interchange of urban expressway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011, 24(3): 86-92. (in Chinese)