

Proposition and Empirical Study of Intersection Approach Road Congestion Index

Shun ZHANG¹, Qifu HE², Yingnian ZUO, Ran XIE, Lin GU, Guoli OU

School of Economics and Management, Beijing Jiao tong University, Beijing, China

Email: zsgowithme@163.com, 07241071@bjtu.edu.cn

Abstract: “Point-line-surface” transfer process is the general pattern of traffic jams. As a key node in urban transportation, signal intersections often come first in a jam. By using sampling method applied to 15 intersections of 5 Beijing districts along with regression analysis, the evaluation has proved to be more accurate and operable. It is equivalent to the sampling method, besides it's one of the key factors to refer to when confronting time planning. The quantity and time measured at the crossroads forefront in domestic, and the signal intersectional road congestion index is also first proposed.

Keywords: service level; point sample method; intersection; Beijing municipality; parking delay

平面交叉口引道拥堵指数的提出与实证分析

张舜¹, 禾祺夫², 左迎年, 谢然, 谷琳, 欧国立

北京交通大学经济管理学院, 北京, 中国, 100044

Email: zsgowithme@163.com, 07241071@bjtu.edu.cn

摘要: “点—线—面”式的传递过程是交通拥堵现象出现的一般模式。作为城市交通运行的关键节点——平面交叉口往往是交通拥堵形成的最初“点”。将点样本法应用于北京市5个区15个平面交叉口, 使用统计学的方法进行回归分析, 得到的公式被证明有较高的准确度与可操作性, 可作为替代点样本法的一般公式, 也可作为平面交叉口动态配时的重要参考因素。点样本法实地测量的平面交叉口的数量与测量时间均居国内前列, 平面交叉口引道拥堵指数亦为首次提出。

关键词: 服务水平; 点样本法; 平面交叉口; 北京市; 停车延误

随着我国经济的快速发展, 交通拥堵问题日趋严重。根据北京市交管局的统计数据, 截至2009年11月29日, 北京市机动车保有量已达397.1万辆, 并将于12月份突破400万辆大关。机动车数量的持续、大幅度增加使得交通拥堵问题在北京、上海等特大城市更加突出, 这一严峻问题应当引起全社会的高度关注。

“点—线—面”式的传递过程是交通拥堵现象出现的一般模式。作为城市交通运行的关键节点——平面交叉口(后简称平交口)往往是交通拥堵形成的最初“点”。平面交叉口服务水平的高低更是与其所在路段、甚至整个路网的运行状况密切相关。因而, 建立一套科学合理的平交口服务水平的评价体系, 对于评价平交口运行状况, 判断周边环境、交通管理政策改变后平交口服务水平改善与否均具有重大的研究价值与现实意义。

1 延误类型及测算方法

信号交叉口延误是由于交叉口处信号控制引起交通流间断而损失的车辆行驶时间。由于信号交叉口延误不仅能够反映道路使用者通过平交口的滞留时间, 也能反映出平交口信号配时的合理性及运行状态, 因此成为了评价平交口服务水平的重要指标。

1.1 延误类型及测算方法

信号交叉口延误的种类包括排队延误、停车延误、控制延误、引道延误等, 但普遍使用的主要有停车延误和控制延误。停车延误由美国道路通行能力手册(HCM)首次提出, 是机动车在交叉口范围内处于静止状态的时间, 为因交通阻碍等原因而行驶速度为零的时间与机动车由静止到再次启动时机动车驾驶员的反应时间之和。

在信号交叉口延误的测算方面，基本有三类计算方法(邵长桥，2002)。第一类为实地测量法，包括点样本法、间断航空测量法等（其测量结果为停车延误时间，不包括车辆加速与减速的延误时间）与牌照跟踪法、试验车法等（其测量结果包括了车辆加速与减速的延误时间）。第二类方法为模型法，美国通行能力手册（HCM2000）、稳态延误模型（米勒、阿克塞利克）、定数延误模型（梅，《交通流理论》）均提出过计算平均延误的相应公式。第三类为软件模拟法，根据国外商业化的交通流仿真软件(如Sim traffic)计算平均延误。

在我国现今的混合交通条件下,尚无统一的计算延误的公式，国外提出的模型在我国交通条件下的适用性尚待进一步检验。而软件模拟法使用的是国外开发的商业软件，其建立的基础也是国外的基本交通状况，同时在使用中需要经过比较复杂的参数调整才能符合实际情况，因此调查小组在方法的选择上使用了实地测量法中的点样本法进行数据的收集工作。

1.2 点样本法

点样本法（人工计数法）由美国加利福尼亚大学伯克利分校于1954年提出的，各国都在广泛使用。其优点在于不需要专门仪器、调查样本中如果存在不良数据时对计算结果几乎没有影响（容错性好）、计算过程不受信号周期的约束等。但此方法也受到一些限制，如车辆、建筑物遮挡（视野限制），停车车辆数量过大精度难以保证等。

2 北京市十字平面交叉口实地测量情况

调查小组将点样本法应用于北京市5个区共计15个十字信号平面交叉口。本次调查尽量选择有过街天桥的平面交叉口进行测量，一方面视野更加开阔从而获得更高质量的数据，另一方面保证了人员的安全。实测平交口位置如表一所示。

为了数据能够基本体现平交口从畅通至拥堵的全过程，调查小组以16时为测量起始时间，北京市晚高峰时间19时为终止时间，每隔半小时进行5分钟的点样本法测量。同时记录的数据还有：被测平交口引道车道数量、周期时长以及绿灯时长。以北京理工大学交叉口（地铁4号线魏公村站）部分数据为例，有实测数据表二（仅为16:30至17:00内数据）。

Table 1. Intersection locations of field estimation (a total of 15 intersections)

表 1. 实测平交口位置（共计 15 个十字平面信号交叉口）

西城区	西四站（地铁四号线）A口、三里河路新范街路口、三里河车公庄大街路口
海淀区	学院南路魏公村站（地铁四号线）、学院南路大柳树路口、四道口路学院南路路口
崇文区	蒲黄榆站（地铁五号线）、沙子口、祈年大街珠市口东大街路口
东城区	安定门外大街青年沟路路口、安定门外和平里大街路口、北新桥路口（地铁五号线）
宣武区	菜市口站（地铁四号线）、陶然亭站（地铁四号线）、和平里站（地铁四号线）B口

Table 2. the point sample method's estimating result of Beijing Institute of Technology intersection from 16:30 to 17:00

表 2. 北京理工大学平交口 16: 30 至 17: 00 点样本法测量结果（仅以南口为例）

进 口	起始测 量时间	各时刻进口引道内的车辆数/s				停驶 车辆	未 停
		0s	15s	30s	45s		
南 口	16:30	25	38	46	58	26	10
		6	8	9	5	31	17
		3	4	13	26	6	10
		36	5	5	8	45	22
		0	1	1	1	5	3
小 计 合 计	70	56	74	98	113	62	
		298				175	

将表内数据根据点样本法的要求进行处理，可得出平均延误的结果，见表三。

Table 3 the point sample method's estimating result of Beijing Institute of Technology intersection from 16:30 to 17:00.

表 3. 北京理工大学 16: 30-17: 00 点样本法测量结果表（仅以南口为例）

入口	总延误 (/辆.s)	每一停驶车辆延 误(/s)	入口引道车辆平 均延误(s)
南进口	4470	39.55752	25.54286

3 实地测量结果分析及指数构成

调查小组将实测的北京市5个区15个平交口16:00至19:00的数据输入到SPSS统计分析软件中进行回

归分析，利用SPSS软件线性回归中的逐步回归功能进行以确定应选择的变量。其中独立变量为平均延误时间，可选变量为5分钟内0、15、30、45秒停车数量、5分钟内停驶车数与未停驶车数、5分钟内交通总量、所属引道车道数、平交口信号周期长与绿灯时长。

经过SPSS软件的分析，调查小组发现将点样本法在较长时间内应用到不同平面交叉口的测量中平均延误会与其他变量有非常强的线性关系,如下:

$$\text{平均延误时间}/s = 0.351a + 0.074b - 0.155c - 0.247d + 0.119e + 15.434 \quad (1)$$

其中a为5分钟内第15秒停车数量，b为信号周期长，c、d分别为5分钟内停驶车数与未停驶车数，e为绿灯时长。该线性关系的判定系数R square可以达到88%。此时，由于该线性关系的拟合度较高，可以作为点样本法实测时的简便算法，即只需观测第15秒停车数量、5分钟内的停驶车数和未停驶车数与信号周期、绿灯时长，即可较为快捷的计算出该引道机动车的平均延误时间。

但是，由于点样本法在车流量过大时人工计数的过程中易受到视野的影响较难分辨出停驶车数与未停驶车数，因而调查小组提出了另外一个更加倾向于实时测量与应用的线性关系式，即：

$$\text{平均延误时间}/s = -0.175a + 0.338b + 0.134c + 0.063d + 1.264e + 9.996 \quad (2)$$

其中a为5分钟内通过停车线的车辆总数，b为5分钟内第15秒停车数量，c为绿灯时长，d为信号周期长，e为引道的车道数。此时公式的判定系数R square为84.5%。此公式的优势在于信号周期长、绿灯时长、车道数目均为固定数值，得到该引道的平均延误只需计算五分钟内通过停车线的车量数及第15秒时的停车数量总和。因而其在应用上更加简便，可操作性也更强。

由于该公式（公式二）有较强的可操作性，因而小组重新对大柳树路学院南路路口(北京交通大学西门北200米)在16:30至18:00进行了每半小时为一次、每次5分钟的点样本法实地测量，分别使用点样本法与本公式法进行平均延误的计算。经过分析有表四：

可见，根据本公式计算所得的引道平均延误具有较高的准确度。同时，由于本公式在变量选择方面剔除了较难观测的相关数据，保留了一些固定变量，如绿灯时长、周期时长及引道的车道数目，需要实时

Table 4. Point sample method and the formula method to calculate the results of comparison
表 4. 点样本法与公式法计算结果对比

点样本法平均延误/s	本公式法平均延误/s	误差率%
23.98026	24.654	2.81
37.394	34.53488	7.6459
31.28049	29.306	6.3122

计算的只有5分钟内通过停车线的车辆数与第15秒停车数量的总和。调查小组认为其基本具备了较为快速和准确的计算引道平均延误的要求，因此提出了引道交叉口拥堵指数这一概念，旨在更加直观的判断平面交叉口引道的拥堵程度。

$$\text{引道拥堵指数} = \begin{cases} \frac{2}{5}a & 0 \leq a \leq 5 \\ 2 + \frac{a-5}{5} & 5 < a \leq 15 \\ 4 + \frac{a-15}{5} & 15 < a \leq 25 \\ 6 + \frac{2(a-25)}{15} & 25 < a \leq 40 \\ 8 + \frac{a-40}{10} & 40 < a \leq 60 \\ 10 & a > 60 \end{cases}$$

其中，a为计算出的平均延误时间。指数的拥堵程度分级来自于美国道路通行能力手册（HCM，2000）。该指数越大，代表平面交叉口引道机动车的平均延误时间更长，也代表平交口引道内车辆拥堵程度更加严重。

4 结论

1) 经过在北京市5个区内15个平面交叉口较长时间的点样本法测量，发现了点样本法变量内部有较强的规律性。同时得出了两种计算平均延误的公式，具有较高的准确性与可操作性。本公式来源于点样本法，经过统计学的分析剔除掉较难观测的变量，在一定程度上克服了点样本法繁杂琐碎、工作量大的弱点。

2)本公式在计算与操作方面具有较大的简便性，可以作为代替点样本法的基本公式，亦可作为未来平面交叉口动态配时的重要参考因素。

3) 经过大量的文献搜索与阅读，尚未发现国内

外有专家学者提出过平面交叉口引道拥堵指数这一概念，因此我们谨慎的认为北京市平面交叉口引道拥堵指数这一概念尚属首次提出。但是，本指数没有考虑到行人、非机动车的因素，因此需要在下一个阶段进行改进，使得指数更加合理、科学。

4) 本公式本质上是基于大量的实地测量（点样本法）而归纳出的公式法，因此与北京市公路交通的具体特点有较大的相关度，其普遍适用性尚未测定。

致 谢

在此感谢欧国立教授的悉心指导。感谢北京交通大学朱超、王寅川、任印政、张凉、范俊杰等同学协

助交通之星小组进行了两个多月不辞辛苦的调研与分析。

References (参考文献)

- [1] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual, Special Report 209[R]. Washington.D.C: National Research Council. 2000.
- [2] Fang Hua Cheng, Li Feng. Intersection Delay Analysis and Service Level Assessment [J]. Communication Science and Technology and Economics, 2009:87-89
房化成,李枫.平面交叉口延误分析与服务水平评估[J].交通科技与经济, 2009: 87-89
- [3] Shao Shangqiao, Rong Jian, Rong Jian, Yang Zhenhai. Parking Delay, Approach Delay and Control Delay Relation Study [J]. Chinese Highway Journal.2002.10:90-93.
邵长桥, 荣建, 任福田, 杨振海.停车延误, 引道延误和控制延误关系研究[J].中国公路学报.2002.10: 90-93