

Study on the Method of Travel Time Estimation in Urban Road Traffic Flow

Mingbo ZHANG
Central Research Institute of
Building and Construction of MCC
Group
Beijing China
m.zhang@foxmail.com

Bin Zeng
Central Research Institute of
Building and Construction of MCC
Group
Beijing China
zengb@vip.sina.com

Ziruo YU
School of civil engineering
Beijing Jiaotong University
Beijing China
Zryu@bjtu.edu.cn

Abstract—According to the travel time estimation problems in the urban road traffic flow, two travel time estimation models are presented in this paper. The velocity model is based on the average velocity of vehicles at the adjacent monitoring points, and the retention time model is based on the free driving time and the residence time used in road between two adjacent monitoring points. The models are validated by the traffic data collected on an urban road in San Antonio, USA. With the further analysis on the results of the two models, the applicable conditions and influencing factors are given for the two models respectively.

Keywords- transportation engineerin; traffic flow; ravel time estimation model; vehicle velocity

I. 引言

为了对公路上的行车时间做出有效估计,并帮助驾驶员选择合理的行车路线,交通管理部门一般在城市道路上安装了路况探测器,采集监控车辆行车信息。根据各测点路况探测器所采集数据,通过建立数学模型^[1,2],可以估算车流状态和行车时间估计,指导行车,在公路网络交通规划、公路工程建设项目可行性研究、公路建设项目后评估和公路交通管理与交通控制中广泛应用^[3-5]。本文通过对美国 San Antonio 某段公路一段监测数据进行分析,结合实际情况,提出了两种行车时间估计模型,其中车辆速度模型仅采用各测点的行车速度信息,在单位观测时间内,所有通过测段车辆速度为相邻两测点速度的平均值,车辆行驶时间为测段长度与均值速度的比值;而车辆滞留模型综合考虑了观测速度和流量,车辆通过测段的时间由自由通过时间和滞留时间两部分组成。通过两种模型的计算对比分析,给出了两种计算方法的计算结果以及使用范围,为解决交通拥堵中行车速度计算提供参考。

II. 车辆速度时间估计模型

A. 车辆速度模型基本假定

- (1) 在各测速段中车辆单向行驶;
- (2) 测点在 20 秒内的行车状况可以代表 2 分钟内的行车状况;

- (3) 每辆车在两测点间的行驶速度为进入点速度和驶出点处速度的平均值,即:

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_i + v_j) \quad (1)$$

其中下标 i 表示车辆进入处测点位置, j 表示车辆离开处测点位置;

- (4) 车辆在时刻 通过各个测段的行驶时间服从正态分布;

B. 交通预测模型建立

(1) 基本单元数学模型

车辆速度基本单元的数学模型如图 1 所示,其中 i, j 表示两个相邻测点。

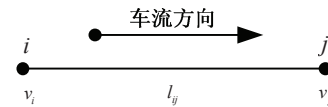


图 1 基本单元模型

车辆通过 l_{ij} 的时间为:

$$T_v = \frac{l_{ij}}{\bar{v}} = 2 \frac{l_{ij}}{v_i + v_j} \quad (2)$$

式中 l_{ij} 表示两测点之间的距离, v_i , v_j 分别表示驶入测点 i 和驶出测点 j 处的行车速度。

(2) 整体计算模型

根据基本单元模型,可得出 t_n 时刻 $X_{i,j}$ 测段的行车时间为:

$$T_v(X_{i,j}, t_n) = \frac{2l(X_{i,j})}{v(X_{i,j}, t_n) + v(X_{j,j}, t_n)} \quad (3)$$

式中 i, j ——分别表示车辆进入点和车辆驶出点;

$X_{i,j}$ ——表示相邻两探测器间的测量段;

$l(X_{i,j})$ ——表示 $X_{i,j}$ 测段的长度;

$v(X_i, t_n)$ ——表示 t_n 时刻，车辆进入 $X_{i,j}$ 测段时的速度；

$v(X_j, t_n)$ ——表示 t_n 时刻，车辆驶出 $X_{i,j}$ 测段时的速度。

则车辆通过 $X_{i,j}$ 测段的平均时间为：

$$T_V(X_{i,j}) = \sum_{n=1}^N T_V(X_{i,j}, t_n) / N \quad (4)$$

式中 N 表示该测段测量数据个数。

III. 车辆滞留时间估计模型

A. 车辆滞留模型基本假定

(1) 在各路段中车辆单向行驶；

(2) 测点在 20 秒内的行车状况可以代表 2 分钟内的行车状况；

$$Q(X_i, t_n) = 6 \times q(X_i, t_n), \quad Q(X_j, t_n) = 6 \times q(X_j, t_n) \quad (5)$$

式中 $q(X_i, t_n)$ ——20 秒内进入测段 $X_{i,j}$ 的车辆数；

$q(X_j, t_n)$ ——20 秒内驶出测段 $X_{i,j}$ 的车辆数；

$Q(X_i, t_n)$ ——120 秒内进入测段 $X_{i,j}$ 的车辆数；

$Q(X_j, t_n)$ ——120 秒内驶出测段 $X_{i,j}$ 的车辆数。

(3) 车辆在测段间的行驶时间为自由通过时间 T_F 和滞留时间 T_C 的代数和，且 T_F 和 T_C 不相关，即：

$$T_T = T_F + T_C \quad (6)$$

(4) 车辆自由通过某测段的速度 $v_f(X_{i,j})$ 为两测点间所测得的平均行车速度最大值，即：

$$v_f(X_{i,j}) = \text{Max}\left\{\frac{v(X_i, t_n) + v(X_j, t_n)}{2}, \forall n = 1, 2, \dots, N\right\} \quad (7)$$

(5) 车辆在某测段内的滞留时间 T_C 只与该测段内的滞留量有关；

(6) 滞留量不能为负，当进入车辆数小于驶出数量时，认为没有滞留车辆，滞留量为零；

B. 交通预测模型建立

(1) 自由通过时间计算模型

根据假设 (4)，车辆在 $X_{i,j}$ 测段的自由通过时间为：

$$T_F(X_{i,j}) = \frac{l(X_{i,j})}{v_f(X_{i,j})} \quad (8)$$

(2) 基本单元数学模型

车辆滞留基本单元的数学模型如图 2 所示，其中 i, j 表示两个相邻测点。

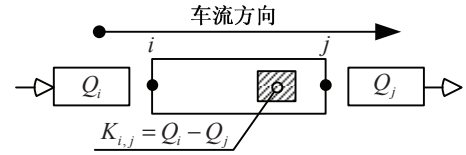


图 2 测段内车辆滞留量图

Q_i 表示 2 分钟内进入测点 i 的车辆数， Q_j 表示 2 分钟内驶出测点 j 的车辆数，则 $K_{i,j}$ 表示该 2 分钟内滞留在 $X_{i,j}$ 段内的车辆数，根据假设 (6)，车辆滞留量不能为负，所以对 $K_{i,j}$ 定义如下：

$$K_{i,j} = \begin{cases} Q_i - Q_j & Q_i - Q_j > 0 \\ 0 & Q_i - Q_j \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

从统计意义上讲，滞留在 $X_{i,j}$ 测段内的车辆都被“耽搁”2 分钟，则在 $X_{i,j}$ 内，由于交通拥堵“耽搁”的总时间量为 $T'_C = \Delta t \times K_{i,j}$ ，其中 Δt 为 2 分钟，即 120 秒。对于“通过”该测段的每辆车来说，在该测段因为滞留而被“耽搁”的平均时间为：

$$T_C = \frac{T'_C}{Q_j} = \frac{\Delta t \times K_{i,j}}{Q_j} \quad (10)$$

(2) 整体计算模型

基本模型中 $K_{i,j}$ 没有考虑 t_{n-1} 时刻滞留的车辆在 t_n 时刻影响，如果用 t_{n-1} 时刻滞留量与 t_n 时刻车辆滞留量两者的平均值作为在 $X_{i,j}$ 测段内在 t_n 时刻的车辆滞留量，更为合理。故将 $K_{i,j}$ 修正为 $K'_{i,j}$ ：

$$K'(X_{i,j}, t_n) = \frac{K(X_{i,j}, t_{n-1}) + K(X_{i,j}, t_n)}{2} \quad (11)$$

$$K(X_{i,j}, t_n) = \begin{cases} Q(X_i, t_n) - Q(X_j, t_n) & Q(X_i, t_n) - Q(X_j, t_n) > 0 \\ 0 & Q(X_i, t_n) - Q(X_j, t_n) \leq 0 \end{cases} \quad (12)$$

由 (10)、(11) 式可以得出在测段 $X_{i,j}$ 内的滞留时间：

$$T_C(X_{i,j}, t_n) = \frac{\Delta t \cdot K'(X_{i,j}, t_n)}{Q(X_j, t_n)} = \frac{K(X_{i,j}, t_{n-1}) + K(X_{i,j}, t_n)}{2Q(X_j, t_n)} \cdot \Delta t \quad (13)$$

式中 $T_C(X_{i,j}, t_n)$ ——在 t_n 时间段内每辆通过车辆在测段 $X_{i,j}$ 上的滞留时间；

Δt ——两次测量的时间间隔，为 120 秒。

则车辆通过 $X_{i,j}$ 段的平均滞留时间为：

$$T_C(X_{i,j}) = \frac{\sum_{n=1}^N T_C(X_{i,j}, t_n)}{N} \quad (14)$$

式中 N 表示该测段测量数据个数。

IV. 计算结果及分析

A. 车辆速度模型时间预测计算结果

图 3 为美国 San Antonio 某段公路测点布置图，表 1 给出了其中一段监测数据，采样间隔为 120 秒，采集时间为下午 3:40:07 至下午 6:58:07。

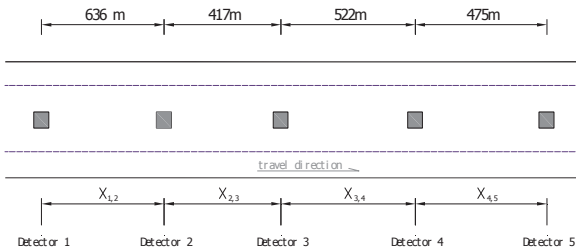


图 3 测点布置图

表 1 测点行车速度(单位: mile/h)

t_n	$v(X_{1,2}, t_n)$	$v(X_{2,3}, t_n)$	$v(X_{3,4}, t_n)$	$v(X_{4,5}, t_n)$	$v(X_{5,6}, t_n)$
15:40:07	57	54	62	20	58
15:42:07	62	68	63	21	59
.....
18:58:07	64	68	57	36	64

把表 1 和测点距离数据代入 (3)、(4) 式，得到各测段行车时间和全程行车时间，结果如表 2 所示，计算所得到全程预测时间为 167.95 秒，通过进一步分析，对于不同时刻各测段行车时间和全程（包括四个测段）行车时间，计算结果如图 4、图 5 所示。

表 2 行车时间及标准差

	$X_{1,2}$	$X_{2,3}$	$X_{3,4}$	$X_{4,5}$	全程
$T_f(X_{i,j})$ (sec)	26.93	26.71	61.55	52.8	167.95
标准差 S (sec)	8.92	40.52	106.84	61.02	165.5

表 3 各测点行车速度和车流量

t_n	Detector 1		Detector 2		Detector 3		Detector 4		Detector 5	
	Speed (mile/h)	Flow	Speed (mile/h)	Flow	Speed (mile/h)	Flow	Speed (mile/h)	Flow	Speed (mile/h)	Flow
03:40:07 PM	57	10	54	9.7	62	8.9	20	10.7	58	5.9
03:42:07 PM	62	9.5	68	11.4	63	13.6	21	10	59	12.2
.....
06:58:07 PM	64	4.2	68	3.9	57	4.5	36	4.4	64	4.1

把表 3 数据代入 (5)、(12)、(13)、(14) 式，计算滞留时间 $T_C(X_{i,j})$ ；代入 (7)、(8) 式计算自由通过时间 $T_F(X_{i,j})$ ；把 $T_C(X_{i,j})$ 、 $T_F(X_{i,j})$ 的计算值代入 (6) 式得到行车总时间 $T_T(X_{i,j})$ 。 $T_T(X_{i,j})$ 计算结果如表 4 所示，按照该模型计算，走完全程需要的平均时间估计值为 166.95 秒。

表 4 探测器所测各测点行车速度和车流量

从图 4、图 5 可以看出，在特定交通时段内，其行车时间明显高于其它时段的行车时间；另一方面，由表 2 计算结果也看出，如果对整个观测时段得到的全部数据一起进行统计分析，其均值标准差过大，因此，该计算方法较适合短测距间的行车时间估计。

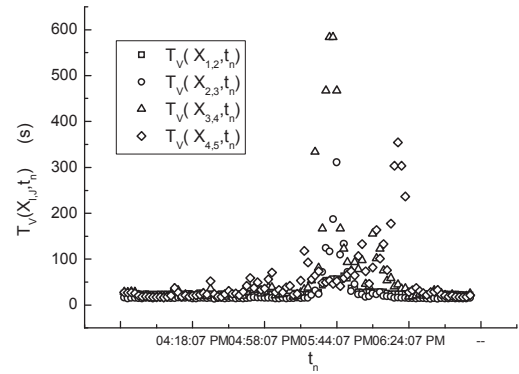


图 4 不同时刻各测段的行车时间

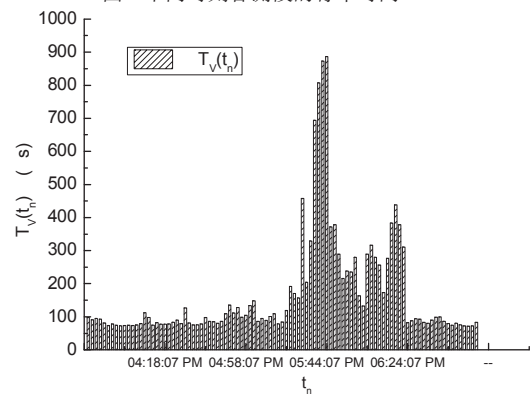


图 5 不同时刻全程的行车时间

B. 车辆滞留模型时间预测计算结果

表 3 为图 1 测点所记录的车辆流数据，间隔为 120 秒，采集时间为下午 3:40:07 至下午 6:58:07。

	$X_{1,2}$	$X_{2,3}$	$X_{3,4}$	$X_{4,5}$	全程
$l(X_{i,j})$ (m)	636	417	522	475	2050
$v_f(X_{i,j})$ (m/s)	30.62	31.51	29.95	29.27	—
$T_F(X_{i,j})$ (s)	20.77	13.23	17.43	16.23	67.66
$T_C(X_{i,j})$ (s)	31.63	20.61	35.99	11.06	99.29
$T_T(X_{i,j})$ (s)	52.40	33.84	53.42	27.29	166.95

C. 结果对比及分析

车辆速度模型时间估计和车辆滞留模型时间估计都假设了 20 秒内的行车状况能代表 2 分钟内的行车状况，在车辆速度模型中，只考虑了行车速度影响因素，而此行车速度为 20 秒内的行车速度，显然，如果增加观测时间，这个模型的精度将提高。对于车辆滞留模型，考虑了行车速度和流量的影响，在这一假设条件下，降低了流量的测量精度。表 5 给出两模型各侧段以及全程时间计算对比结果。

表 5 两种模型行车时间计算结果比较

	$X_{1,2}$	$X_{2,3}$	$X_{3,4}$	$X_{4,5}$	全程
车辆速度模型	26.93	26.71	61.55	52.8	167.95
车辆滞留模型	52.40	33.84	53.42	27.29	166.95

车辆速度模型计算的全程行车时间为 167.95 秒，车辆滞留模型计算的全程时间值为 166.95 秒，两者计算值基本相同；但是，由表 5 可以看出，对于各个测量段，所计算出的行车时间估计值有一定差别。从全程 2.050 公里来看，可以认为流量对行车时间估计没有影响，但是对于单个测段，流量对行车时间的估计值有一定影响。

车辆速度模型仅考虑了测点的行车速度，适用于距离较短、交通状况良好的情况下的行车时间估计，车辆滞留

模型综合考虑了最大行车速度和流量对行车时间的影响，当各测段内流量发生变化时，认为交通状况变化（例如：交通拥堵）产生车辆滞留，适用于测段距离较长的路段行车时间估计。但该模型为一种简化模型，它的第（6）条假设认为滞留量不能为负，这一假设有一定的局限性，实际情况应考虑观测区间长度和观测时间间隔长度的影响，当测段长度比较大，或者观测时间间隔比较小时，滞留量可以为负，对于这类情况该模型有待改进。

V. 结论

本文通过基本假定和节点单元数学模型，提出了两种城市公路行车时间估计方法，并用两种模型分别对某高速公路实测数据的计算分析，主要结论如下：

（1）车辆速度模型和车辆滞留模型对全程时间估计结果基本相同，两种模型都具有很强的实用性，但两种方法对于各侧段的行车时间估计有一定差别。

（2）车辆速度模型仅考虑了测点的行车速度，适用于距离较短、交通状况良好的情况下的行车时间估计。

（3）车辆滞留模型综合考虑了最大行车速度和流量对行车时间的影响，当各测段内流量发生变化时，认为交通状况变化（例如：交通拥堵）产生车辆滞留，适用于测段距离较长的路段行车时间估计。

REFERENCES

[1] Addison, Iow Paul S, David J. Order and chaos in the dynamics of vehicle platoons[J]. Traffic Engineerig & Control, 1996, 37(7-8): 456-459.

[2] Daganzo C F, Cassidy M J, Bertini R L. Possible explanation of phase transitions in highway traffic[J]. Transportation Research, Part A, 1999, 33(5): 365-379.

[3] Wang Wei. Practical speed-flow relationship model of highway traffic flow[J]. journal of southeast university (natural science edition), 2003, 33(4): 487-491. (in Chinese)

[4] Greenshields B D. A Study of Traffic Capacity[J]. Highway Research Board Proceedings, 1934, (14): 448-477.

[5] Zhang Yunlong, Ye Zhirui. A Derivative-free Nonlinear Algorithm for Speed Estimation Using Data from Single Loop Detectors[C]. Proc. of ITSC'06. Toronto, Canada: IEEE Press, 2006: 1035-1040.