

干线关键断面的到车率分布预测

柳祖鹏^{1,2}, 倪颖¹, 李克平¹

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 武汉科技大学 汽车与交通工程学院, 湖北 武汉 430081)

摘要: 干线协调控制需要了解交通量在干线上下游的传递和变化关系, 传统的行程时间预测或到达分布预测无法提供足够的参考信息. 根据干线的道路条件, 界定干线上若干个关键断面; 统计实际的车辆检测数据或仿真实验数据, 按较小的时间间隔汇总和统计不同周期在对应间隔内的到达分布, 绘制得到关键断面的到车率分布图. 分析路段离散和信号控制对到车率分布的影响; 以车速的累积概率分布图为基础计算转移矩阵, 提出了考虑路段离散的到车率分布预测方法; 分析红灯排队、绿灯放行的车流离散过程, 提出了考虑信号控制的到车率预测方法. 仿真案例分析表明, 预测的到车率分布相对误差较小, 验证了预测方法的有效性.

关键词: 干线协调; 到车率预测; 转移矩阵; 路段离散; 信号控制

中图分类号: U491.14

文献标志码: A

Prediction of Arrival Flow Profile on Critical Section of Arterial

LIU Zupeng^{1,2}, NI Ying¹, LI Keping¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Automobile and Traffic Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: Coordinated control on arterial need to know about the relationship of transmission and change in the upstream and downstream on arterial. The traditional prediction of travel time or arrival distribution does not provide sufficient reference. According to the road conditions, some critical sections on arterial are defined. The arrival flow profile on critical sections are drawn by collecting actual vehicle detection data or simulation experiment data and the statistics of the arrival distribution at different periods corresponding to the intervals by time step. The impact of arrival flow profile by segment dispersion and signal control is analyzed. On the basis of the speed cumulative probability distribution,

transition matrix is calculated, and the prediction method of arrival flow profile considering segment dispersion is proposed. Based on an analysis of the traffic dispersion process on green and the queuing on red, the prediction method of arrival flow profile considering signal control is proposed. Simulation studies show that the relative error of the predicted arrival flow profile is smaller, which validates the prediction methods.

Key words: arterial coordination; prediction of arrival flow rate; transition matrix; segment dispersion; signal control

干线协调控制是指在分析干线交通流量的基础上, 合理设置信号控制参数, 使得机动车可以连续不间断地通过多个交叉口. 传统的协调控制中, 较少考虑干线上下游的流量传递关系, 也很少对车辆的到达规律进行分析和预测.

信号控制的流量预测一般进行短时或实时的预测, 预测内容主要是车辆的行程时间或到达分布. 行程时间短时预测常用的方法有神经网络方法、支持向量机方法等^[1-3], 到达分布预测常用的是神经网络、模糊控制以及马尔柯夫过程等^[4-5], 这些方法只是考虑了车辆到达的随机性, 并没有充分考虑上下游流量的传递性, 因此无法很好地应用于干线协调控制的优化. 英国的 Transyt 软件中应用 Robertson 车队离散模型预测下游交叉口的车辆到达流率^[6], 模型中涉及多个参数或校正系数的取值和优化, 实际应用中具有一定的局限性^[7-9].

为了提高干线协调控制的效益, 本文以非拥堵交通流为研究背景, 在分析干线车流运行特性的基础上, 以关键断面的到车率分布为研究对象, 提出一种宏观的、统计意义上的到车率分布预测方法, 为后续优化干线协调控制参数提供参考依据.

收稿日期: 2013-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(51178343)

第一作者: 柳祖鹏(1979—), 男, 工程师, 博士生, 主要研究方向为交通信息工程及控制. E-mail: 1010120035@tongji.edu.cn

通讯作者: 李克平(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交叉口规划与设计、信号控制及交通仿真.

E-mail: keping_li@vip.163.com

1 关键断面到车率分布

在干线上若干关键断面处布设检测器,收集车辆经过关键断面的流量及时间信息,汇总多个周期的数据,可以绘制得到断面到车率分布图。

1.1 关键断面的界定

关键断面是指干线上车辆到达分布可能会发生变化的位置,或者较长路段的中间位置等。其中,交

叉口信号控制影响到达分布,因此信号控制交叉口的进口道、出口道等位置应当设为关键断面。单独考虑公交车流时,干线上的公交站会改变公交车辆的到达分布,公交站的上下游一定距离处应当界定为关键断面。关键断面的界定示意图如图1所示。

每个关键断面都有类似交叉口绝对相位差的“时间差”概念,其值由断面间距离除以带速得到。车辆经过关键断面的时间信息在消除时间差后,再按周期进行统计,得到周期内的车辆到达分布。

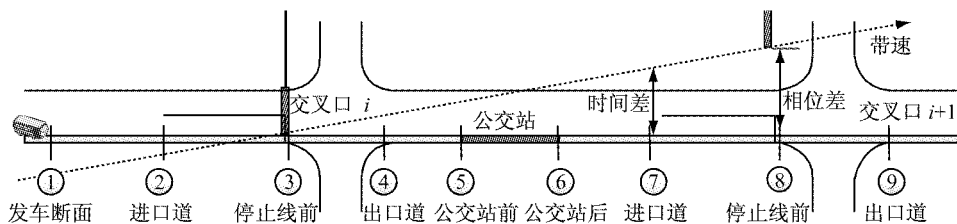


图1 干线上关键断面和断面时间差示意图

Fig.1 Sketch of critical sections and offsets on the artery

1.2 到车率分布图

汇总多天该时段内多个周期的车辆到达情况,在周期时间内再按照较小的单位时间间隔划分,统计每个时间间隔内、不同周期的车辆到达情况,即可得到周期内所有间隔的车辆到达分布。其中,单位时间间隔可以根据周期长度或统计精度取不同的值,如5 s或10 s等。图2是干线上某交叉口出口道的关键断面处,以5 s为单位时间间隔,统计仿真实验数据得到的社会车流到达分布图。

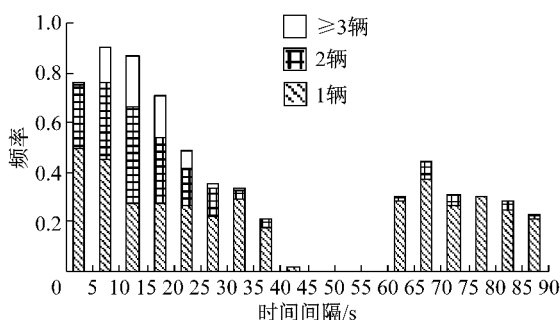


图2 社会车流到达分布图

Fig.2 Arrival distribution of automobile traffic

在图2中,以10~15 s时间间隔为例,以不同周期在10~15 s间隔内的到车数为样本进行统计,有到达1辆车、2辆车、3辆以上,以及0辆车的频率分别为0.28, 0.38, 0.21, 0.13。

按照离散型分布计算数学期望的方法计算得到每个时间间隔的到车率,计算公式如下:

$$a_n = \sum_{a=0}^A a p_{n,a} \quad (1)$$

式中: n 为信号周期内的时间间隔号; a_n 为间隔号为 n 的到车率,辆 \cdot s $^{-1}$; a 为单位时间间隔内的到车数, $a=0,1,2,3,\dots,A$; A 为单位时间间隔内到车数 a 的最大值; $p_{n,a}$ 为间隔 n 时到车数 a 的频率。

由图2所示的到达分布计算得到的到车率分布如图3所示。

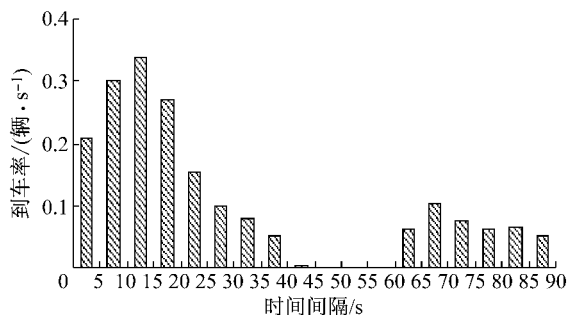


图3 社会车流到车率分布图

Fig.3 Arrival flow profile of automobile traffic

2 断面到车率分布的影响因素

干线上的机动车流主要受到路段离散、信号控制的影响。考虑公交车流时,还需分析公交停靠服务对公交到车率分布的影响。

2.1 路段离散的影响

干线绿波协调是以推荐的绿波带速为前提,按该车速行驶可以获得连续绿灯。但是,干线上机动车通常是按照各自的期望车速行驶,统计所有机动车车速,可以得到车速的累积概率分布。

关键断面的到车率分布已经消除了断面的时间差. 设某辆车在上游断面的到车率分布图中出现在某个时间间隔内, 当该车按带速行驶时, 将会出现在后续断面到车率分布图中的相同时间间隔内.

由于绿波带速与机动车速度分布之间存在差异, 由此会导致相邻断面间的到车率分布发生较小变化. 车速大于绿波带速的车辆将可能由当前断面的间隔 i 前移到下游断面的间隔 $i-1$; 车速低于绿波带速的机动车将可能延后到间隔 $i+1$.

2.2 信号控制的影响

在信号控制交叉口, 绿灯信号对于干线上的机动车影响较小. 红灯期间到达的车辆则必须等待到下一个绿灯启亮才能通行, 因此信号控制对到车率分布的影响主要体现在对红灯期间的到车率进行汇集, 并在绿灯初期统一放行.

汇集的车辆主要是指在红灯期间到达的车辆, 也包括绿灯初期到达的车辆, 这些车辆由于前期排队车辆未完全驶离停止线, 被迫减速或停车, 加入到绿灯初期的排队中.

3 断面到车率分布预测

到车率分布可以由干线上关键断面的车辆检测数据统计得到. 需要优化干线协调的控制参数时, 现状的车辆检测数据将无法提供足够信息, 因此需要在现状条件的基础上, 对于干线下游的一系列关键断面到车率分布进行分析和预测.

3.1 考虑路段离散的到车率预测

当断面 i 与 $i+1$ 之间无信号控制、公交停靠等影响时, 两个断面到车率分布将主要受到路段离散的影响, 到车率分布的变化既与机动车速度分布有关, 还与断面间的距离有关.

考虑路段离散的到车率分布预测需要的输入量有: 关键断面 i 的到车率分布 A_i , 断面间的距离 l_i , 绿波带速 v_B , 以及车速分布.

断面 $i+1$ 的到车率分布 \hat{A}_{i+1} 可以由断面 i 的到车率分布 A_i 与转移矩阵 $T_{D,i}$ 进行矩阵乘法运算得到. 计算公式如下:

$$\hat{A}_{i+1} = A_i T_{D,i} \quad (2)$$

式中: A_i 为断面 i 的到车率分布, 是 $1 \times N$ 的行向量; \hat{A}_{i+1} 为断面 $i+1$ 的预测到车率分布, 是 $1 \times N$ 的行向量; $T_{D,i}$ 为考虑路段离散时断面 i 至断面 $i+1$ 的转移矩阵, 是 $N \times N$ 的方阵; N 为信号周期内时间间隔总数.

3.1.1 车速分布的分析

已知车速分布的上下限分别为 v_{\min} , v_{\max} , 假设绿波带速 v_B 与车速分布的关系为 $v_{\min} \leq v_B \leq v_{\max}$, 则车辆由断面 i 行驶到断面 $i+1$ 时, 断面 i 的车辆在断面 $i+1$ 中可能会发生超前、保留和延后 3 种情况.

以到车率分布图的第 1 个时间间隔 ($0 \sim 5$ s) 为例进行详细分析, 其他时间间隔的情况类似. 路段离散影响的分析示意图如图 4 所示. 在图 4 中, 横轴是距离, 左侧是断面 i , 车流由左向右行驶, 右侧是下游断面 $i+1$; 纵轴是时间, 由下往上是第 1 个时间间隔 $0 \sim 5$ s. 图中的 A 点是断面 i 的 $0 \sim 5$ s 间隔内处于中间位置的某点, 某车从该点按车速分布中的速度行驶到断面 $i+1$ 时, 该车仍保留在 $0 \sim 5$ s 间隔内.

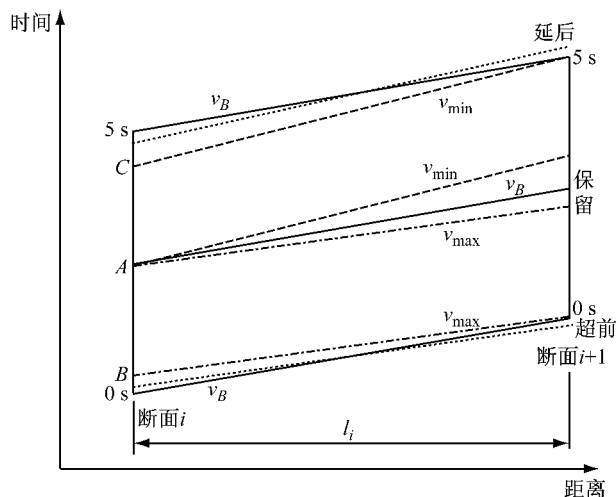


图 4 路段离散影响的分析示意图

Fig. 4 Analyzing sketch of segment dispersion impact

图中的 B 点是超前与保留的分界点. 在 $(0, B)$ 之间的时间内, 部分车辆由于车速较快而超前到前一个时间间隔内, 如图中的点线所示. 类似地, 图中的 C 点是保留与延后的分界点. 在 $(C, 5)$ 之间的时间内, 部分车辆由于车速较慢而从当前时间间隔延后到下一个时间间隔.

根据以上分析, 可以将断面 i 的 $0 \sim 5$ s 间隔分为 3 个区间: $(0, B)$ 区间, 有部分车辆超前, 部分车辆保留; (B, C) 区间, 全部车辆保留在当前间隔内; $(C, 5)$ 区间, 有部分车辆保留, 部分车辆延后.

3 个区间的时间长度与断面 i 至断面 $i+1$ 的距离 l_i 有关, 同时也与 v_B , v_{\min} , v_{\max} 有关. 时间长度计算公式如下:

$$t_{0B} = \frac{l_i}{v_B} - \frac{l_i}{v_{\max}} \quad (3a)$$

$$t_{C5} = \frac{l_i}{v_{\min}} - \frac{l_i}{v_B} \quad (3b)$$

$$t_{BC} = 5 - t_{0B} - t_{C5} \quad (3c)$$

式中: t_{0B} 为 $(0, B)$ 区间的时间长度, s; t_{C5} 为 $(C, 5)$ 区间的时间长度, s; t_{BC} 为 (B, C) 区间的时间长度, s; l_i 为断面 i 与断面 $i+1$ 之间的距离, m; v_B 为干线协调的绿波带速, $m \cdot s^{-1}$; v_{\min} 为车速分布的最小值, $m \cdot s^{-1}$; v_{\max} 为车速分布的最大值, $m \cdot s^{-1}$.

当 v_B 不满足 $v_{\min} \leq v_B \leq v_{\max}$ 的关系时, 断面 i 至断面 $i+1$ 的离散情况会更简单: 当 $v_B < v_{\min}$ 时, 将不存在 $(C, 5)$ 区间, 即没有延后情况, 只有保留和超前; 当 $v_B > v_{\max}$ 时, 将不存在 $(0, B)$ 区间, 即没有超前情况, 只有保留和延后.

3.1.2 超前或延后的比例

在 $(0, B)$ 区间和 $(C, 5)$ 区间内, 需要详细分析车速与时间点位置的关系, 结合车速分布可以计算得到超前或延后的比例.

以 $(C, 5)$ 区间的延后为例, 将 A 点移动到 $(C, 5)$ 区间内, 设为 A' 点, 分析示意如图 5 所示.

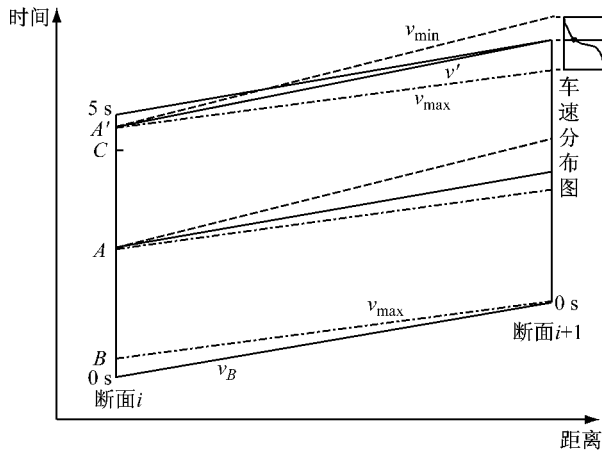


图5 $(C, 5)$ 区间的延后比例分析示意图

Fig.5 Analyzing sketch of postponed ratio on $(C, 5)$ section

在图 5 中, A' 点对应一个临界速度 v' , 当车辆速度小于 v' 时, 将延后到下一时间间隔, 车速大于等于 v' 时, 仍可保留在当前间隔.

将车速分布图顺时针转 90° 后置于图 5 的右上角, 可以在图中得到对应临界速度 v' 在累积分布图中的概率值 p' . 旋转还原车速累积概率分布图如图 6 所示.

在图 6 中, 临界速度 v' 在车速累积概率分布图中有对应的概率值 p' , 其含义是在 A' 点将有 p' 的车辆因车速低而被延后到下一个时间间隔; 相应的有 $1-p'$ 的车辆仍保留在当前时间间隔内.

当 A' 点在 $(C, 5)$ 区间内移动时, 对应的速度 v^* 在 (v_{\min}, v_B) 之间移动, 延后的概率值 p^* 在累积

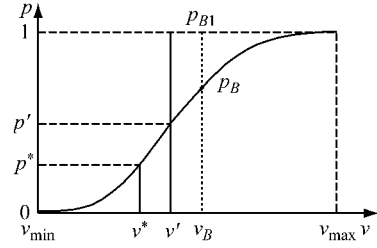


图6 临界车速与车速分布关系示意图

Fig.6 Relationship between critical speed and speed cumulative probability distribution

概率分布曲线下移动, 完整的延后概率即为 (v_{\min}, v_B) 之间累积概率线下部分面积与总面积之比, 即由 $0, v_B, p_B$ 围成的面积与由 $0, v_B, p_{B1}, 1$ 围成的矩形面积之比. 同理, 完整的保留概率即为 (v_{\min}, v_B) 之间累积概率线上部分面积与总面积之比.

类似地, 在 $(0, B)$ 区间对超前的概率按同样方法进行分析, 综合两者的分析结果可以得到如图 7 所示的计算示意图.

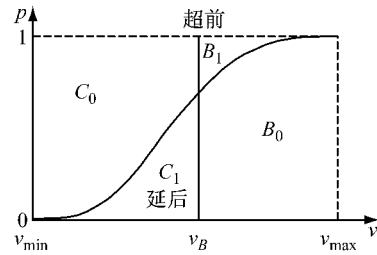


图7 超前和延后比例计算示意图

Fig.7 Calculation of the advanced ratio and the postponed ratio

在图 7 中, B_0 代表 (v_B, v_{\max}) 之间的累积概率线下部分面积; B_1 代表对应的线上部分面积; C_0 代表 (v_{\min}, v_B) 之间的累积概率线上部分面积; C_1 代表对应的累积概率线下部分面积. 其中, B_1 部分将超前到上一时间间隔, C_1 部分则延后到下一时间间隔. $(0, B)$ 区间的超前比例即为 $B_1/(B_0 + B_1)$; $(C, 5)$ 区间的延后比例即为 $C_1/(C_0 + C_1)$.

结合时间间隔的 3 个区间长度计算公式, 可以得到时间间隔内超前、保留、延后的 3 个转移概率, 计算公式如下:

$$p_1 = \frac{t_{0B}}{5} \cdot \frac{B_1}{B_0 + B_1} \quad (4a)$$

$$p_0 = \frac{t_{0B}}{5} \cdot \frac{B_0}{B_0 + B_1} + \frac{t_{BC}}{5} + \frac{t_{C5}}{5} \cdot \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (4b)$$

$$p_{-1} = \frac{t_{C5}}{5} \cdot \frac{C_1}{C_0 + C_1} \quad (4c)$$

式中: p_1 为超前到上一间隔的概率; p_0 为保留在当

前间隔的概率; p_{-1} 为延后到下一间隔的概率; t_{0B} , t_{C5} , t_{BC} 分别为 3 个区间的时间长度, s; B_0 , B_1 , C_0 , C_1 为图 7 中各部分的面积.

3.1.3 构建转移矩阵 $T_{D,i}$

到车率分布图中的每个时间间隔内都有超前、保留和延后的情况. 在单个间隔的 3 个转移概率基础上, 可以构建得到 $N \times N$ 转移矩阵 $T_{D,i}$.

设 $T_{D,i}$ 由 $t_{D,i(j,k)}$ 组成, 其中 i 为断面编号, j, k 为转移矩阵 $T_{D,i}$ 中的行列号. 根据 3 个转移概率的实际意义和矩阵乘法原理, 在转移矩阵 $T_{D,i}$ 中, 主对角线的值是 p_0 , 即保留在当前间隔的概率; 主对角线元素每行的前一个值是 p_1 ; 主对角线元素每行的后一个值是 p_{-1} ; 其余的值都为 0. 由 3 个转移概率组合得到 $t_{D,i(j,k)}$ 的计算公式如下:

$$t_{D,i(j,k)} = \begin{cases} p_1, & j = k+1 \text{ 或 } j = 1, k = n \\ p_0, & j = k \\ p_{-1}, & j = k-1 \text{ 或 } j = n, k = 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

不同断面间的距离 l_i 各不相同, 因此可以计算得到不同的 t_{0B} , t_{C5} , t_{BC} 值, 以及不同的转移概率 p_1 , p_0 , p_{-1} , 从而可以得到不同断面间的转移矩阵 $T_{D,i}$.

3.2 考虑信号控制的到车率预测

不同信号控制交叉口设有不同的控制方案, 对应的转移矩阵也各不相同. 考虑信号控制的到车率分布预测需要的输入量有: 进口道关键断面 i 到车率分布 A_i ; 交叉口信号控制方案, 绿初放行的车头时距, 红灯及绿灯初期的到达分布.

断面 $i+1$ 的预测到车率分布 \hat{A}_{i+1} 可以由断面 i 的到车率分布 A_i 与转移矩阵 $T_{C,i}$ 进行矩阵乘法运算得到. 计算公式如下:

$$\hat{A}_{i+1} = A_i T_{C,i} \quad (6)$$

式中: $T_{C,i}$ 为考虑信号控制时断面 i 到断面 $i+1$ 的转移矩阵, 是 $N \times N$ 的方阵.

3.2.1 统计绿初放行的转移比例

信号控制交叉口绿灯启亮后, 车辆依次通过交叉口; 下游出口道的关键断面可以检测到每辆车的时间信息, 经统计可以得到绿初放行的车头时距.

分析和整理绿初放行车头时距数据, 选取其中车头时距较小的连续行驶车队为样本, 统计不同车队长度情况下每辆车所在间隔号的情况, 汇总得到不同车队情况下的转移比例.

断面 $i+1$ (下游出口道关键断面) 上的车队是由断面 i (交叉口进口道关键断面) 的排队车辆在绿灯

放行后形成的, 因此断面 $i+1$ 上的车队长度即对应断面 i 的排队车辆数.

在中等饱和度流量条件下进行仿真实验, 以仿真实验统计数据为基础, 对于线上社会车流进行统计, 得到转移比例如表 1 所示.

表 1 社会车流的绿初放行转移比例

排队车辆数	0~5 s	5~10 s	10~15 s	15~20 s	20~25 s	%
1	100.0	0	0	0	0	
2	90.9	9.1	0	0	0	
3	61.2	38.8	0	0	0	
4	46.1	52.6	1.4	0	0	
5	36.8	55.8	7.4	0	0	
6	31.3	48.8	19.6	0.3	0	
7	26.9	41.9	29.7	1.5	0	
8	23.5	36.5	34.8	5.1	0.1	
9	20.8	32.6	33.9	12.7	0.2	
10	18.7	29.4	30.8	20.1	0.9	
11	17.2	26.7	28.7	24.3	3.1	
12	15.6	23.9	27.1	25.8	7.6	

表 1 的转移比例是统计多个交叉口下游关键断面上每个车道的检测数据得到的, 具有较好的普遍意义. 社会车流单车道上, 绿灯初期的排队最大为 12 辆, 最大排队数应根据流量或饱和度进行调整, 流量较大时可以统计到更大的排队数. 同理, 最大的间隔数也可随之调整.

在表 1 中, 每行数据表示各种排队情况下, 车辆在交叉口下游断面到车率分布中的转移比例.

3.2.2 统计排队情况, 计算转移概率

干线上不同交叉口具有不同的到达分布规律, 需要通过交通调查或仿真实验统计得到每个交叉口进口道处断面 (断面 i) 在红灯及绿灯初期的到达分布, 即车辆排队情况. 统计社会车流排队情况, 结合表 1 转移比例, 可以计算得到红灯期间到车率的转移概率为

$$T = Q Q_T \quad (7)$$

式中: T 为社会车流绿灯初期转移概率, 是 1×5 的行向量; Q 为统计社会车流在红灯及绿灯初期不同排队情况的比例, 是 1×12 的行向量; Q_T 为表 1 统计数据, 是 12×5 的矩阵.

3.2.3 构建转移矩阵 $T_{C,i}$

根据交叉口信号控制方案, 可以提取出干线直行相位绿灯、黄灯和红灯时间. 假设黄灯时间仍可通行, 合并绿灯和黄灯时间作为有效通行时间, 按时间间隔转换得到有效通行时间间隔. 例如, 某交叉口信控方案有效通行时间为 33 s, 单位时间间隔为 5 s,

则有效通行时间间隔为间隔 1~6(0~30 s),以及间隔 7 的 60%(31~33 s)。

在有效通行时间间隔内,不对到车率进行改变。在有效通行时间间隔以外,所有到车率将按式(7)计算得到的概率转移到前 5 个时间间隔内。

根据以上分析,即可构建考虑信号控制的转移矩阵 $T_{C,i}$ 。

$$t_{C,i(j,k)} = \begin{cases} 1, & j = k, k < M \\ 1 - p, & j = k = M \\ p t_k, & j = M, k = 1, 2, 3, \dots \\ t_k, & j > M, k = 1, 2, 3, \dots \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $t_{C,i(j,k)}$ 为矩阵 $T_{C,i}$ 中的元素,其中 i 为断面编号, j, k 为矩阵的行列号; t_k 为由式(7)计算得到的转移概率 T 行向量中的第 k 个元素; p 为间隔 M 中非有效通行时间的比例; M 为最大有效通行时间间隔号。

3.3 同时考虑路段离散和信号控制的到车率预测

在信号控制交叉口的上下游关键断面间,车辆既受到路段离散的影响,又受到信号控制的影响,此时必须考虑两者的叠加影响。

到车率预测分两步:①考虑路段离散影响,按式(2)预测下游断面到车率,得到过渡到车率;②在该过渡到车率的基础上,考虑信号控制影响,按式(6)预测两者同时叠加影响的到车率。计算公式如下:

$$\hat{A}_{i+1} = A_i T_{D,i} T_{C,i} \quad (9)$$

4 仿真案例分析

为了验证预测方法的有效性,在 VISSIM 微观仿真软件中建立干线仿真模型,运行仿真实验并统计检测数据。

4.1 仿真测试环境

以上海市南北高架地面道路从太仓路到建国中路的干线为研究背景,根据实际道路和交通条件建立路网模型,根据道路条件界定关键断面。

4.2 预测结果分析

由断面 i 和转移矩阵预测得到断面 $i+1$ 的到车率分布 \hat{A}_{i+1} ,由仿真统计得到断面 $i+1$ 到车率分布 A_{i+1} ,对比两者的重叠部分视为预测正确的部分,其余的为绝对误差;由绝对误差与总到车率之比得到预测相对误差。

4.2.1 路段离散预测分析

选取干线上仅受路段离散的断面 12 和断面 13,

分别对公交车流和社会车流的到车率进行预测及分析。断面 12 的公交到车率分布如图 8 所示,已知周期时长 160 s,单位时间间隔 5 s,周期内共有 32 个间隔,如图中横坐标所示。断面 13 的公交到车率预测值与统计值对比如图 9 所示。

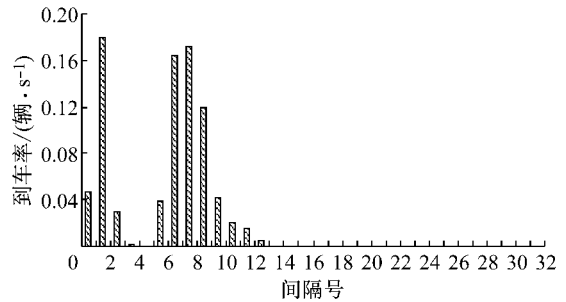


图8 断面12的公交车流到车率分布图

Fig.8 Arrival flow profile of transit traffic at Section 12

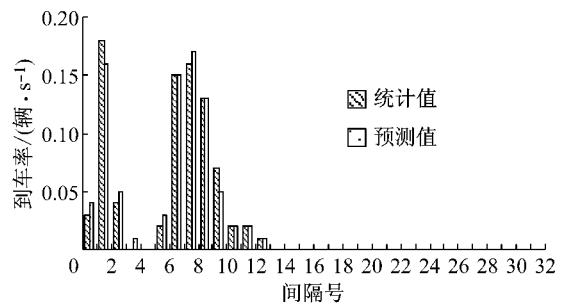


图9 考虑路段离散的公交车流到车率预测结果对比

Fig.9 Predicted and statistical of transit traffic arrival flow profile considering segment dispersion

对比图 8 与图 9 的统计值,发现公交车流在干线上运行时较小的离散。对比图 9 中的统计值和预测值,发现预测结果与仿真统计值非常接近,计算得到的预测相对误差为 5.15%。

类似地,断面 12 的社会车流到车率预测与统计结果很接近,计算得到的预测相对误差为 5.30%。对于干线上的其他断面进行预测和分析,预测的相对误差都在 10% 以内。

4.2.2 信号控制预测分析

选取干线上的信号控制交叉口 3#,绿灯时间为 0~54 s,下行方向的进口道处是断面 7,停止线下游是断面 8。同时考虑路段离散和信号控制的影响,分别对社会车流和公交车流到车率进行预测。

统计得到断面 7 社会车流到车率分布如图 10 所示。断面 8 社会车流到车率预测值与统计值对比如图 11 所示。

对比图 10 与图 11 的统计值,断面 7 中间隔 12 之后的到车率都被汇集到断面 8 的前 5 个间隔内,

间隔6~11的到车率变化不大。

对比图11中的统计值和预测值,发现预测误差较大的是间隔1~3和12,其中前3个间隔涉及绿灯初期的离散,间隔12涉及黄灯时间的处理。计算得到的预测相对误差为3.71%。

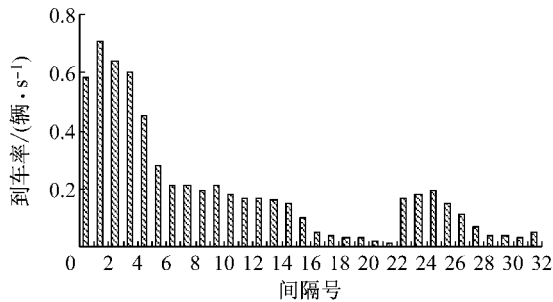


图10 断面7的社会车流到车率分布图

Fig.10 Arrival flow profile of automobile traffic at Section 7

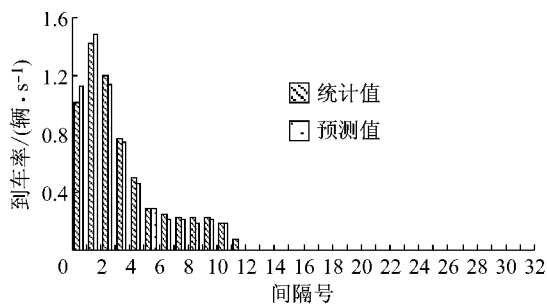


图11 考虑离散和信控的社会车流到车率预测结果对比

Fig.11 Predicted and statistical of automobile traffic arrival flow profile considering segment dispersion and signal control

类似地,断面8的公交到车率预测值与统计结果很接近,预测的相对误差为9.65%。对于干线上的其他断面进行预测和分析,预测的相对误差均在15%以内。

5 结语

干线上关键断面的到车率分布是根据历史检测数据或仿真实验统计数据绘制得到的,可以宏观地反映干线上的车流运行规律,为优化干线协调控制提供参考依据。

到车率分布的预测是在详细分析路段离散和信号控制影响的基础上,充分考虑车速分布和交叉口排队、离散的运行机理。微观仿真实验统计得到断面的到车率分布,对比仿真统计和预测到车率分布,发现本文提出的预测方法是科学合理的。

在干线上进行连续多个断面的预测时,还需考虑连续预测的累积误差,这方面的研究还有待进一步的深入。

参考文献:

- [1] 向红艳,朱顺应. 小流量下短时交通量预测最佳窗口长度与时间间隔[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2006,30(4): 626.
XIANG Hongyan, ZHU Shunying. Optimal time interval and lookback interval of short-term traffic flow prediction under free traffic condition [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2006, 30(4): 626.
- [2] Yu B, Lam W H K, Tam M L. Bus arrival time prediction at bus stop with multiple routes[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011,19(6): 1157.
- [3] Sadat Zadeh S M T, Anwar T, Basirat M. A survey on application of artificial intelligence for bus arrival time prediction [J]. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2012,46(1): 516.
- [4] 李巧茹,魏连雨,马寿峰. 基于马尔柯夫过程的城市交叉口车辆到达模型[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004,24(3): 53.
LI Qiaoru, WEI Lianyu, MA Shoufeng. Modal of vehicles arrival in intersections based on Markov process [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 53.
- [5] Zhu S, Guan J, Wang H, et al. Fuzzy gravity model of traffic distribution forecast [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008,38(4): 727.
- [6] Robertson D I. TRANSYT: a traffic network study tool[R]. Berkshire: Road Research Laboratory, 1969.
- [7] Rakha H, Farzaneh M. Issues and solutions to macroscopic traffic dispersion modeling [J]. Journal of Transportation Engineering, 2006,132(7): 555.
- [8] Mahera M. A comparison of the use of the cell transmission and platoon dispersion models in TRANSYT 13[J]. Transportation Planning and Technology, 2010,34(1): 71.
- [9] Bonneson J A, Pratt M P, Vandehey M A. Predicting arrival flow profiles and platoon dispersion for urban street segments [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2010, 2173: 28.