

非饱和信号控制交叉口动态延误测定方法

孙 剑, 潘 斌, 李克平, 张惠玲

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 针对新兴的“检测数据驱动”方法进行延误测定过程中在输入假设、模型建立及算法容错性方面存在的典型问题, 提出了基于两个检测截面交通参数的“总体抽样”动态延误测定方法. 以每个信号周期为计算单元, 研究了周期划分方法, 车辆在“离去检测器”的首车到达时间、尾车驶离时间测定方法, “进入检测器”的进入时间上下限阈值确定方法以及相应的车辆引道延误计算方法. 最后以上海市曹安公路-祁连山南路和武宁路-大渡河路两个交叉口直行车道组的引道延误动态测定为例, 以人工实测的 37 个周期 1 565 辆车的引道延误数据为基础, 验证了“总体抽样法”的精度. 结果表明, 在检测器精度为 100% 时, “总体抽样法”测算延误的绝对差为 4.1 s, 95% 的检测精度下绝对差仅减少 0.1 s. 该方法对检测误差并不敏感, 可用于向信号控制系统提供准确、及时、可靠的延误指标.

关键词: 交叉口; 延误; 信号控制; 检测器; 总体抽样法

中图分类号: U 491.13

文献标识码: A

Method for Dynamic Measuring of Delay at Unsaturated Signalized Intersections

SUN Jian, PAN Bin, LI Keping, ZHANG Huiling

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The typical problems of emerging methods based on detector data for measuring delay at urban signalized intersections such as input hypothesis, model establishment and fault-tolerance performance were pointed out. A new method named “sampling population” which used two rows of detectors for dynamic survey of approach delay by the signal cycle at unsaturated intersections was put forward, including the process of cycle split, the arrival time of the first car and the departure time of the last car at exit detectors, the upper and lower boundary of input gap at entrance detectors, and corresponding method for approach delay measuring. Finally,

two case studies were made in Shanghai (Caoan-Qilianshan intersection and Wuning-Daduhe intersection, including 37 cycles and 1 565 vehicles) to verify the accuracy of the proposed method. The results show that mean absolute error (MAE) of the measurement delay is 4.1 seconds under no detector error compared to 0.1 seconds fewer than 95% detector accuracy. The method is insensitive to the detector error, and can be used to provide the accurate, timely and reliable delay index for traffic control system.

Key words: intersection; delay; signal control; detector; sampling population

延误是评价信号控制交叉口服务水平和优化信号配时方案的核心参数. 传统的延误获取方法主要有两种: 理论模型法和现场观测法. 理论模型计算方法以韦伯斯特模型、美国道路通行能力手册 (HCM2000) 方法等为代表, 通过假设车辆的到达模式, 辅以少量的假设参数, 以 15 min 为间隔计算延误, 其精度和可靠性很难保证^[1]. 现场观测方法则不能用于信号控制系统.

近年来, 随着交通检测技术的发展, 利用检测设备实时测得的交通参数推算延误 (检测数据驱动) 的方法得到了广泛的关注. 其基本思想是在交叉口进口道不同截面设置若干排检测器, 获得车辆经过检测器的时间序列, 进而推算进口道延误. 根据检测器在进口道布设的截面数, 可分为单截面、双截面以及多截面 3 种. 单截面方法将检测器放置在停车线或者进口道上游, 在延误推算时仍需假定车辆的到达或驶离模式, 其精度较难保证; 另外, 检测器误差对延误精度影响很大^[2-3]. 多截面法常在基于视频检测技术的延误推算中采用, Ragab Mousa 通过在交叉口设置 12 个“虚拟检测截面”研究了控制延误的测

收稿日期: 2010-04-15

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划 (2006BAJ18B07); 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2007AA11Z221)

第一作者: 孙 剑 (1979—), 男, 讲师, 工学博士, 主要研究方向为交通系统仿真及优化. E-mail: sunjian@tongji.edu.cn

定方法^[4];Steven 等甚至提出了每隔 7 m 设置一组检测器推算延误的方法,并用仿真模型验证了其设想^[5].但多截面法对检测摄像头数量、设置高度以及检测环境都有很高的要求,在城市道路平面交叉口较难推广实施.

双截面方法综合了单截面和多截面的优势,不仅能检测进口道车辆的到达和驶离情况,而且检测成本低,适用于各种检测设备(线圈、雷达、红外、视频等),因此成为研究的热点^[6-8].Jianyang Zheng 等在进口道最大排队长度上游和停车线处设置两排检测器,通过“进入”和“离去”两个时间序列中车辆的“一一对应”法则测定整个进口道的延误^[9];Anuj Sharma 在最新的研究中也设定了车辆在进口道的“先进先出”规则来推算延误^[3].然而上述双截面方法还存在如下问题:

(1) 信号控制交叉口进口道常采用展宽设计,前后两个截面的车道数目并不一定相同,“先进先出,一一对应”原则仅适用于进口道延误,无法测定信号控制的基本单元,即车道组延误^[10].为此 Ahmed 等提出通过在展宽处增设一排检测器的方式来测定车道组延误^[11].

(2) 采用“先进先出,一一对应”的原则对检测误差非常敏感.一旦出现检测误差,会引起两个车辆时间序列的配对“错位”,且“错位”导致的误差在不同周期之间会一直累积.

(3) 由于误差会在不同周期之间累积,国外的研究一般以 15 min 为统计间隔.无法满足信号控制系统对延误的动态测算要求.

(4) 由于国内外驾驶行为的差异,车辆在两个截面之间违章换道引起的配对错误处理,在国外的双截面法中也没有涉及.

针对上述问题,基于单个车道组车辆到达驶离规律是总体车辆到达驶离规律的抽样的概率统计思想,本文提出了基于两个检测截面的车道组引道延误“总体抽样”动态测定方法,可有效消除“先进先出,一一对应”原则以及检测误差对延误测定精度的影响.

1 方法概述

根据 HCM 2000 的定义,引道延误(approach delay)是车辆在进口道实际消耗时间与自由行驶时间之差.引道延误段长度随进口道上的排队车辆数而变化.在所有检测时间段内,两个检测截面间的检

测区域需完全覆盖引道延误段长度,同时包含一定的车辆减速距离,因此本文将检测器分别设置在进口道停车线前和进口道车辆最大排队长度之后 10~15 m.车道组(lane group)是指具有相同流向的单条或多条车道的集合,它是交叉口信号控制的基本单元^[10].如图 1 所示,车道 2,3,4 共同组成了直行车道组.非饱和(under-saturation)是指每周周期车道组的到达流量小于其通行能力,即饱和度小于 1 的情形.本文提出的延误测定单元是车道组引道延误,而不是传统方法所针对的整个进口道的引道延误.

如图 1 所示,停车线前的检测器称之为“离去检测器”,用于检测车辆的驶离情况,检测到的车辆按照时间顺序排列组成离去时间序列;最大排队长度之后的检测器称之为“进入检测器”,用于检测车辆的到达情况,检测到的车辆按照时间顺序排列组成进入时间序列.离去检测器只需设置在进口道展宽设计,且高峰时排队长度超过展宽段长度时,进入检测器可设置在展宽段长度之后.

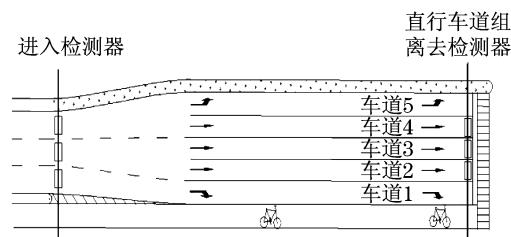


图 1 直行车道组延误测定检测器位置示意图

Fig.1 Detectors layout for through lane group delay estimation

传统的双截面检测器测定延误的基本思路如式(1)所示,即筛选两端检测截面中时间序列,排序号相同的进入时刻 t_{en}^i 和离去时刻 t_{ex}^i 作为同一车辆的两个检测数据,通过与自由流行驶时间 t_{ff} 的差值加总平均得到引道延误.该方法对检测误差很敏感,且检测区域内若存在车辆超车、换道等行为,也会产生配对误差^[3,9,11].

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{ex}^i - t_{en}^i) - t_{ff} \quad (1)$$

式中: D 为研究时段内的平均引道延误; n 为研究时段内的车辆数; t_{en}^i 为离开时间序列中第 i 个检测数据; t_{ex}^i 为进入时间序列中第 i 个检测数据; t_{ff} 为车辆在自由流条件下的平均行驶时间.

式(2)为本文提出的车道组周期平均延误的测定方法,即分别通过全部检测车辆的进入时间序列

和离去时间序列,分别估计延误测定车道组车辆的平均进入时刻 \bar{t}_{en} 和平均离去时刻 \bar{t}_{ex} . 这样做的好处有两个:①单个检测数据误差对所有车辆的平均进入或离去时刻影响较小,降低了检测误差对算法精度的敏感性;②检测误差对延误精度的影响被限定在一个信号周期内,周期内的误差不会传递.

$$D = \bar{t}_{ex} - \bar{t}_{en} - t_{ff} \quad (2)$$

2 总体抽样法测定延误

从式(2)可以看出,如果进行动态延误推算,需做如下5个步骤工作:①周期划分;②进入时间序列生成及平均时刻测算;③离去时间序列生成及平均时刻测算;④自由流行驶时间测算;⑤每周期动态延误推算.

2.1 周期划分

由于延误测定时长以一个信号周期为单位,因此需先确定两个时间序列中车辆的周期. 在非饱和状态下,进入进口道的车辆最多只需经历一次排队等待即可驶离,车辆的引道延误只存在于一个周期内. 如图2所示,在信号配时信息已知的条件下,通过红灯结束时刻(end of red, t_{er})和绿灯结束时刻(end of green, t_{eg})可以对离去时间序列进行周期划分;而进入时间序列中的车辆由于通过停车线需要经历延误时间,因此确定该序列车辆的驶离周期比较困难. Anuj Sharma 等选取 $[t_{cs}(\text{周期开始时刻}) - t_{as}(\text{到达转移时间}), t_{eg} - t_{as}]$ 时间区间的车辆作为本周期内离去的车辆, t_{as} 的作用是将“到达进入检测器的时刻”转换为“到达停车线的时刻”,此方法只适用于前后检测器一一对应的情形^[3]. 笔者借鉴 Anuj Sharma 方法的思想,通过引入一个时间区间对进入时间序列进行周期划分,时间区间的上界 t_{en}^u 和下界 t_{en}^l 的确定方法在2.3节详述.

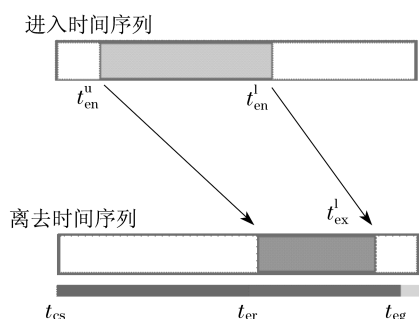


图2 周期划分示意图

Fig.2 Cycle split for time series

2.2 车辆离去时间序列生成及平均时刻测算

离去检测器设置在延误测定车道组停车线前0~3 m范围内,检测 t_{cs} 和 t_{er} 时间段内第一辆在延误测定车道组停驶车辆的停车时刻,以及 t_{er} 和 t_{eg} 时间段内车辆的离去时刻,生成车辆离去时间序列.

由于检测设备存在一定的误差,当检测误差在可接受范围内时,可采用此周期内实际检测到的平均离去时刻 \bar{t}_{ex}' 代替公式(2)中的 \bar{t}_{ex} . 在延误测定车道组的绿灯结束后,从离去时间序列中取出绿灯期间驶离的车辆,计算平均离去时刻为

$$\bar{t}_{ex}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ex}^i \quad (3)$$

式中: n 为周期内延误测定车辆数; t_{ex}^i 为周期内第 i 辆延误测定车辆的离去时刻.

2.3 车辆进入时间序列生成及平均时刻测算

2.3.1 车辆进入时间序列生成

为确定车辆在进入检测器截面的进入时间区间,将图2中一个周期内的车辆绘制如图3所示的交叉口进口道车辆的时间-空间图. 图中实线为经延误检测车道组驶离的车辆,虚线为经其他车道驶离的车辆,车辆的加减速延误已简化表示成等量的停车延误.

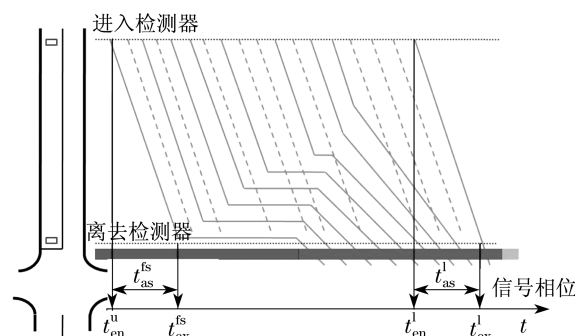


图3 交叉口进口道车辆的时间-空间图

Fig.3 Time-space diagram of vehicles in the approach

将 t_{en}^u 设置为周期内第一辆在延误测定车道组停驶车辆的进入时刻, t_{en}^l 设置为周期内最后一辆由延误测定车道组驶离车辆的进入时刻,本周期内大部分延误测定车辆的进入时刻都包含在 $[t_{en}^u, t_{en}^l]$ 时间区间内.

同时在离去检测器截面,记红灯期间第一辆车到达停车线停车时刻为 t_{ex}^{fs} ;绿灯期间最后一辆车离去的时刻为 t_{ex}^l . 由于 t_{en}^u 与 t_{ex}^{fs} ,以及 t_{en}^l 与 t_{ex}^l 为相同车辆在进口道不同位置的时刻,因此存在如下的逻辑关系:

$$t_{en}^u = t_{ex}^{fs} - t_{as} \quad (4)$$

$$t_{en}^l = t_{ex}^l - t_{as}^l \quad (5)$$

式中: t_{as}^{fs} 为周期内第一辆车在延误测定车道组停驶的车辆从进入检测区域到停驶所耗费的时间; t_{as}^l 为周期内最后一辆车从进入检测区域到驶离停车线所耗费的时间。

t_{as}^{fs} 和 t_{as}^l 的确定方法有3种: ①根据经验分析, t_{as}^l 可取自自由行驶时间 t_{ff} ; t_{as}^{fs} 根据交叉口的实际运行状况, 在 t_{ff} 的基础上增加 $2 \sim 5 \text{ s}^{[10]}$; ②现场观测若干个周期延误测定车道的第一辆车停车时刻和最后一辆车离去时刻, 以及他们分别经过进入截面检测器的时间差, 以均值作为 t_{as}^{fs} 和 t_{as}^l ; ③在不同饱和度和条件下, 通过现场观测或仿真实验方法确定一组与不同饱和度对应的 t_{as}^{fs} 和 t_{as}^l 值。

方法①适用于饱和度较低 (< 0.3) 的情形; 方法②适用于饱和度较高且波动不大的情形; 方法③适用于饱和度波动较大的情形。可根据进入截面检测到的车辆到达情况, 确定进口道的饱和度, 并选择相应的 t_{as}^{fs} 和 t_{as}^l 值。

2.3.2 车辆平均进入时刻测算

由于车辆在通过进入检测器后随机到达延误测定车道和其他车道, 因此离去检测器检测的车辆数小于进入检测器检测的车辆数。根据本研究提出的“总体抽样”思想, 可以认为在每个周期内, 到达延误测定车道组的车辆均匀分布在所有车辆中, 如图3所示, 即可以利用每周期内所有车辆的平均进入时刻 \bar{t}_{en}' 代替延误测定车辆的平均进入时刻 \bar{t}_{en} 。

每个周期结束时, 从离开时间序列中取出周期内第一辆车的停车时刻 t_{ex}^{fs} 以及最后一辆车离去时刻 t_{ex}^l ; 从进入时间序列中取出 $[t_{ex}^{fs} - t_{as}^{fs}, t_{ex}^l - t_{as}^l]$ 时间区间内的所有车辆, 对所有车辆进行加总平均可算得车辆平均进入时刻 \bar{t}_{en}' 为

$$\bar{t}_{en}' = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{en}^i \quad (6)$$

式中: m 为 $[t_{ex}^{fs} - t_{as}^{fs}, t_{ex}^l - t_{as}^l]$ 时间区间内的车辆数; t_{en}^i 为 $[t_{ex}^{fs} - t_{as}^{fs}, t_{ex}^l - t_{as}^l]$ 时间区间内第 i 辆车的进入时刻。

2.4 自由行驶时间 t_{ff} 测算

自由流是指车辆不受其他交通参与者以及系统管理控制条件等因素的影响, 自由地通过交叉口的交通运行场景。车辆在自由流情形下通过两个检测截面的时间称之为自由行驶时间。自由行驶时间可以通过以下两个方法确定。

(1) 在交叉口进口道非饱和条件下, 在绿灯时

间后半段会有一些车辆在自由流情形下通过交叉口, 以人工取样的方法记录这些车辆通过两个检测截面的时间, 样本的均值可作为自由行驶时间, 一般样本量应大于30辆。

(2) 由于城市道路均有限速规定, 在有大车干扰的情形下, 车辆的期望速度在限速值上下浮动, 可以按照道路限速计算样本车辆的平均自由行驶时间。

$$t_{ff} = \frac{L}{v_1} \quad (7)$$

式中: L 为检测区域的长度; v_1 为自由流车速, 一般采用进口道的速度限制。

考虑到自由流车速的不确定性, 在有足够样本量的情形下推荐采用第一种方法。

2.5 周期平均延误推算

按照公式(2)以及延误测定车辆是进口道所有车辆的“总体抽样”思想, 延误测定车道组车辆的每周周期平均引道延误可表达为

$$D' = \bar{t}_{ex}' - \bar{t}_{en}' - t_{ff} \quad (8)$$

综合以上5个步骤的论述, 基于双截面的车道组平均引道延误计算流程可总结如图4所示。

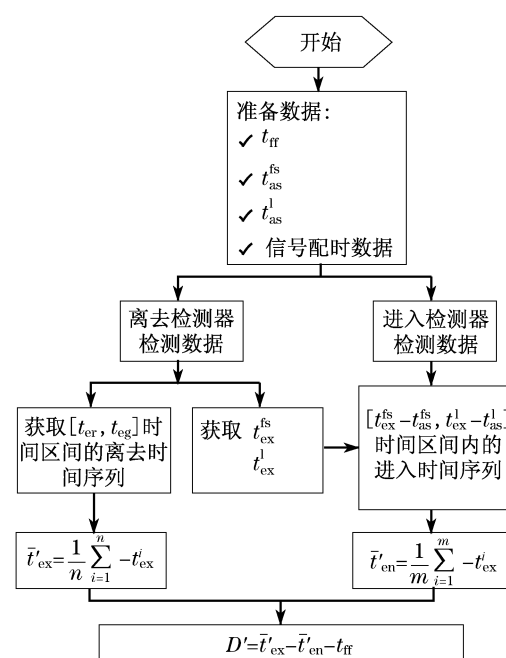


图4 总体抽样法测定延误流程图

Fig.4 Data processing algorithms for delay estimation

3 实例研究

3.1 测试区域与数据采集

测试区域为上海市曹安路-祁连山南路和武宁路-大渡河路两个典型的的城市道路交叉口, 录像采集

时间为2009年6月29日上午9:00—11:00,分别获得25和12个有效周期车辆运行信息.在笔者开发的交叉口综合分析软件(TIRA)^[12]的辅助下,通过人工跟踪车辆敲击键盘的方法,分别得到921辆和1387辆车的运行过程数据,其中直行车道组延误测定车辆数分别为670辆和895辆,占总流量比例的73%和62%.交叉口实际场景和检测器设置位置(图中用方框表示)如图5和图6所示.



图5 曹安路-祁连山南路东进口直行车道组检测器布置图
Fig.5 Detectors layout at Caoan-Qilianshan intersection



图6 武宁路-大渡河路西进口直行车道组检测器布置图
Fig.6 Detectors layout at Wuning-Daduhe intersection

所有检测设备在正常工作时都存在一定的检测误差,常用检测设备典型流量检测误差约为 $\pm 2\%$.考虑到流量检测误差指标存在多检和漏检相互抵消的问题,本文将检测误差率设定在5%,通过随机方法删除两个时间序列中5%的数据.通过数据删除前后延误检测精度的变化,验证方法对检测器误差的容错性.删除前的检测数据称为100%检测精度数据,删除后的检测数据为95%检测精度数据.

3.2 结果分析

将上述算法应用于实例中,得到两个车道组引导延误在不同检测精度条件下延误计算值与真实值的比较,如图7和图8所示.

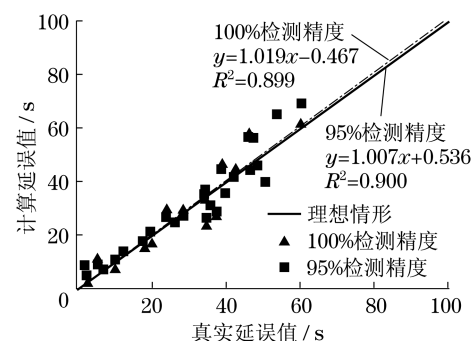


图7 曹安路直行车道组延误真实值与计算值对比图
Fig.7 Comparison of the estimated and field delays at Caoan-Qilianshan intersection

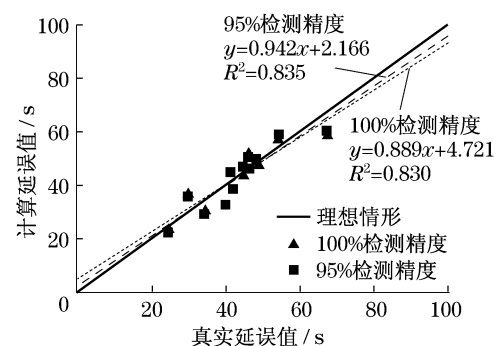


图8 武宁路直行车道组延误真实值与计算值对比图
Fig.8 Comparison of the estimated and field delays at Wuning-Daduhe intersection

从图7和图8可以看出,在两种不同检测精度条件下,本方法获得的延误和人工实测延误都成线性相关关系,且比例系数都在0.880以上,相关系数 R^2 也都在0.800以上.分别用平均绝对差和平均绝对百分误差两种评价指标对结果进行分析.两种评价指标的公式分别如下:

$$E_{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D'_i - D_i| \quad (9)$$

$$E_{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{D'_i - D_i}{D_i} \right| \times 100\% \quad (10)$$

式中: n 为总的周期数; D'_i 为第 i 个周期的延误计算值; D_i 为第 i 个周期的延误真实值.

表1和表2分别为曹安路-祁连山南路直行车道组与武宁路-大渡河路3条直行车道延误测定的 E_{MAE} 与 E_{MAPE} 值.

从表1和表2中可以看出,在两种不同检测精度条件下,平均绝对差都在4s左右,相对误差在18.0%以下,满足信号控制的精度要求;另一方面,车道组的周期平均延误测定精度基本无变化,因此本研究算法对检测器误差的容错性较高.“总体抽

样”法可以较精确、可靠地推算交叉口车道组的动态延误。

表 1 曹安路-祁连山南路直行车道组延误测定误差表
Tab.1 Approach delay estimation error at
Caoan-Qilianshan intersection

检测精度/%	E_{MAE}/s	$E_{MAPE}/\%$
100	4.3	16.2
95	4.4	17.1

表 2 武宁路-大渡河路直行车道组延误测定误差表
Tab.2 Approach delay estimation error at
Wuning-Daduhe intersection

检测精度/%	E_{MAE}/s	$E_{MAPE}/\%$
100	3.7	9.1
95	3.8	9.3

最后,对误差较大的数据点进行分析发现,大误差主要在延误较大时(如图 7 中的平均延误 40 s 以上数据点)发生. 其原因是由于上游信号控制的影响,车辆在进入检测截面的时刻分布不均,进而导致测定的延误值偏小或偏大. 进一步的工作是联合上下游的车道组检测数据进一步对车辆到达-驶离规律进行精细化分析。

4 结论

本文针对新兴的“检测数据驱动”方法进行延误测定过程中在输入假设、模型建立及算法容错性方面存在的典型问题,提出了基于两个检测截面交通参数的延误“总体抽样”动态测定方法,并以上海市两个交叉口为例验证了方法的可行性和有效性. 得到的主要研究结论如下:

- (1) 由于不需要满足“先进先出,一一对应”的假设,本文提出的“总体抽样”计算延误的方法适合于进口道拓宽、车辆在检测区域变道、超车以及车辆排队长度较长等更实际场景。
 - (2) 本文采用“总体抽样”并“加总取平均”的思想推算总体延误. 该方法对检测设备误差容错性高,因此对检测设备类型的选取更加灵活,适合于以车道组作为测定单元、不同的交叉口渠化方案及相位组合方式等复杂的检测环境和要求。
 - (3) 上海市两个交叉口的实际检测数据表明,该方法检测精度较高,可满足信号控制对延误测定精度、实时性和可靠性的要求。
- 进一步的工作是针对个别误差较大的数据点,

联合上下游的车道组检测数据进一步对车辆到达-驶离规律进行精细化分析;同时研究过饱和情形下的延误推算,这部分工作正在进行中。

参考文献:

- [1] Dion Francois, Rakha Hesham, Kang Younsoo. Comparison of delay estimates at under-saturated and over-saturated pre-timed signalized intersections [J]. Transportation Research Part B, 2004, 38: 99.
- [2] Hallenbeck E Mark, Ishimaru M John, Davis D Katherine, et al. Arterial performance monitoring using stop bar sensor data [C] // The 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2008: 08 - 2780.
- [3] Anuj Sharma, Darcy Bullock, James A Bonneson. Input-output and hybrid techniques for the real time prediction of delay and maximum queue length at a signalized intersection [J]. Transportation Research Record, 2007, 2035: 69.
- [4] Ragab M Mousa. Analysis and modeling of measured delays at isolated signalized intersections [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128(4): 347.
- [5] Steven M Click, Elizabeth Boden. Real time traffic signal delay estimation using state-of-the-practice detection technology: a simulation proof-of-concept [C] // The 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2010: 10 - 2691.
- [6] LIU X Henry, WU Xinkai, MA Wenteng, et al. Real-time queue length estimation for congested signalized intersections [J]. Transportation Research Part C, 2009, 17: 412.
- [7] Liu X Henry, Oh Junseok, Recker Will. Adaptive signal control system with online performance measure for a single intersection [J]. Transportation Research Record, 2002, 1811: 131.
- [8] 马万经, 杨晓光. 信号控制交叉口实时延误计算与仿真研究 [J]. 交通与计算机, 2006, 24(3): 1.
MA Wanjing, YANG Xiaoguang. Real-time delay model and simulation for signalized intersection [J]. Computer and Communications, 2006, 24(3): 1.
- [9] ZHENG Jianyang, MA Xiaolei, WANG Yinhai, et al. Measuring signalized intersection performances in real-time with traffic sensors [C] // The 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2009: 09 - 3119.
- [10] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000 [R]. Washington D C: National Research Council, 2000.
- [11] Ahmed Abdel Rahim, Dixon Michael, Tung Liwei. Automated measurement of approach delay at signalized intersections: a vehicle event-based method [C] // The 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2009: 09 - 1287.
- [12] 杨小文. 饱和流量及信控延误“综合”观测法 [D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2007.
YANG Xiaowen. The integration method of saturation flow and signal control delay survey [D]. Shanghai: Tongji University. College of Transportation Engineering, 2007.