

基于视频双截面的信号控制交叉口延误检测

张惠玲^{1,2}, 李克平¹, 钱红波¹, 李 鑫³

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804; 2 重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074;
3 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 提出了基于视频双截面的交叉口延误检测方法. 在交叉口适当的位置设置两个虚拟检测器, 分别判定并记录车辆进入和离开交叉口的信息. 在判断车辆进入交叉口时, 对新进入交叉口的车辆提取车辆的斑块并进行匹配, 如果连续 8 次斑块都匹配, 则表示车辆被检测到; 如果判定车辆进入交叉口, 则使用车辆斑块和 Mean-shift 算法对车辆实时跟踪, 直至车辆离开交叉口, 通过记录车辆进入和离开的时间可以实时地提取车辆的延误参数. 实例验证结果表明, 基于双截面视频延误检测方法, 实时延误的检测精度均值可以达到 90% 以上, 同时, 检测的流量精度均值可以达到 95% 以上.

关键词: 交通工程; 延误检测; 视频; 车辆跟踪

中图分类号: U 491

文献标识码: A

Signal Control Intersection Delay Detecting Based on Video Double Section

ZHANG Huiling^{1,2}, LI Keping¹, QIAN Hongbo¹, LI Xin³

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. School of Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 3. College of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The paper introduces a new delay detection method based on the video double section trigger. Two virtual detectors were set to record the vehicles' arrival and departure information. Upon the vehicles' arrival of the intersection, the vehicles blobs were extracted to be tested whether the blobs could be matched. If the blobs could be matched for eight times successively, the new vehicle was thus detected. A real time tracking by the vehicle's stain and mean-shift algorithm would not stop until it departed, and parameters of delay were obtained. With the proposed method, over 90% of delay and more than 95% of the traffic flow precision can be detected on real time.

Key words: traffic engineering; delay measurement; video; vehicle tracking

交叉口是城市道路交通的咽喉. 长期以来, 国内外学者对如何选取合适的交叉口参数进行了不懈的研究, 其主要目的在于优化信号控制策略, 实现以平均车辆延误、停车和排队最小为目标的最优化控制. 但是, 到目前为止, 由于交通检测技术的局限, 国际上尚未有成熟的产品能够直接检测, 只能通过检测车流量、占有率或速度, 以模型计算间接获得^[1], 推算结果的准确性和可靠性一直未能有效解决, 基于此目标参数的控制效果极不稳定, 甚至无法把握.

交通视频检测技术是一种将图像处理 and 模式识别有效应用于交通领域的新兴技术, 目前, 该方面的产品和研究成果主要有美国 ISS 公司的 AUTOSCOPE 系统、比利时路畅通公司的 Traficon 系统、Citilog 系统等^[2]. 其中 AUTOSCOPE 和 Traficon 系统通过在车道的某个横断面上设置虚拟线圈, 当车辆越过该位置时进行计数的方式得到交通流量、平均速度和车道占有率等数据. Citilog 系统通过对道路路段某个方向所有车道上一定范围内的车辆进行跟踪, 可以提供交通流量、速度、密度、排队、延误、车辆类型等数据^[3]. 但 Citilog 系统提供的车速误差较大, 且系统对计算机的性能要求较高, 算法的实时性不高.

文献[4-7]中利用摄取到的视频, 通过在远端设置虚拟检测截面检测车辆的进入, 在停车线处设置虚拟检测器检测车辆的离开, 假设车辆在远端检测器到停车线之间符合先进先出的原则, 通过视频检测记录的车辆实际行程时间与不受控制状况下运

收稿日期: 2010-04-01

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA11Z221); 重庆市教委科技项目(KJ110411); 国家自然科学基金(50808021)

第一作者: 张惠玲(1980—), 女, 讲师, 博士生, 主要研究方向为交通仿真、交通检测技术. E-mail: huilingz@126.com

通讯作者: 李克平(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为交通控制、交通仿真技术. E-mail: lisuntrc@126.com

行时间的差值获取车辆的延误. 该方法在我国交叉口进口道车辆存在频繁换道行驶的情况下其假设条件难以成立. 冉启武等^[8]研究了一种停车延误的检测方法, 该方法利用间断航空摄影法的原理, 通过自动识别视频录像每一帧中交叉口前停止的车辆数, 计算每一帧交叉口前停驶车辆的瞬时停车延误, 然后累计所有帧的瞬时停车延误即得到观测时段车辆瞬时停车延误的总量, 但该方法获得的是交叉口车辆的停车延误, 不包括车辆减速停车造成的减速延误及由静止状态加速到正常行驶速度所造成的加速延误, 不能准确反映车辆通过交叉口时由于信号控制所造成的时间损失.

本文提出的基于视频双截面的延误检测方法是, 在交叉口进口道远端和停车线处各设置一组虚拟检测线圈, 通过检测交叉口的车辆, 得到实际行程时间, 结合两组虚拟检测线圈之间的距离可以实时地得到信号控制交叉口的控制延误值, 进而为交叉口信号控制配时方案的实时优化奠定基础.

1 延误检测模型

车辆通过信号控制交叉口的行驶过程如图 1 所示. 车辆通过信号控制交叉口一般经历减速、停车、加速 3 个阶段. 由于对延误认识的差别, 不同的学者从不同的角度对其进行定义, 出现了停车延误、排队延误、引道延误和控制延误等不同的概念. 停车延误指车辆在交叉口进口道前排队静止不动这段时间内产生的延误, 停车延误等于停车时间, 其中包括车辆由停止到再次启动时驾驶员的反应时间. 排队延误

指车辆在第一次停车位置至停止线这段范围内产生行程时间的损失, 包括停车延误和车辆在停止线之前经历的加速延误. 引道延误是车辆在停止线之前行程时间的损失, 包含了停车延误时间和车辆在停止线之前经历的减速延误和加速延误. 控制延误则包括停车延误与车辆在达到正常速度之前经历的减、加速延误之和. 本文提取的延误为交叉口进口道的引道延误.

如图 1 所示, 将交叉口进口道的停止线作为出口断面, 记为断面 II; 将进口道上游车辆开始减速的断面记为入口断面记为断面 I, 如果可以分别记录车辆通过观测断面 I 的时刻及车辆通过观测断面 II 的时刻, 则车辆在交叉口的引道延误为

$$d = T_a - T_b \quad (1)$$

式中: T_a 为车辆通过交叉口的实际时间; T_b 为车辆以正常速度行驶通过交叉口的时间.

车辆通过交叉口的实际时间为

$$T_a = t_2 - t_1 \quad (2)$$

式中: t_1 为车辆通过观测断面 I 的时刻; t_2 为车辆通过观测断面 II(停止线)的时刻.

车辆正常行驶通过交叉口的时间 T_b 应由绿灯时直接通过停止线的车辆测得.

由于该方法中设置了两组检测器作为车辆进入和离开相关信息记录的起讫点, 与传统的调查中所选取的两个截面类似^[9], 所以该方法命名为基于视频的双截面参数提取方法.

该方法能直接获取包括加、减速延误及停车延误在内的车辆引道延误.

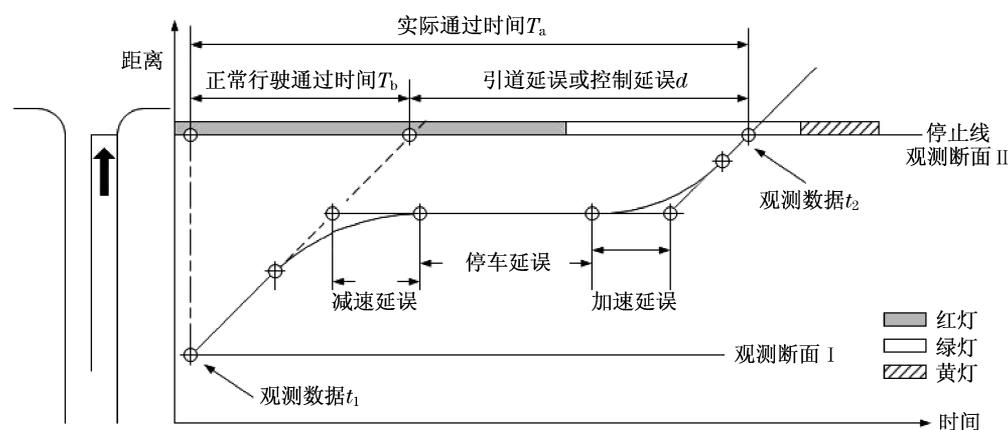


图 1 信号控制交叉口延误分析图

Fig.1 Analysis of the delay at the signalized intersection

2 视频检测的实现

2.1 设置检测区域

如果虚拟检测器检测区域的长度小于 12 m,不能准确地取得大车的信息;如果检测区域大于 12 m,则会引入过多不必要的计算量,使得系统的处理速度和复杂度增加.所以本文检测区域的长度设置为 12 m,宽度可以是一条车道的宽度,也可以是整个进口道的宽度.

在交叉口视频检测交通参数提取系统中,采用双截面提取交叉口交通参数中的延误时间.根据摄像机摄取的范围和交叉口车辆排队的状况综合分析,在进口车道的远端设置第一组虚拟检测器,该检测器在最大排队长度后 15~20 m,用以记录车辆进入的信息;第二组虚拟检测器设置在靠近车道停车线部分,用以记录车辆离开的信息,如图 2 所示.

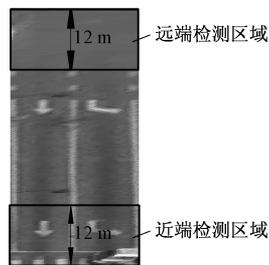


图 2 双截面虚拟检测器布设图

Fig.2 The Double section virtual detector setting

2.2 车辆检测和触发

在车辆检测中,通过交比不变性原理实现视频的坐标标定^[10],使用 Surendra 算法和 AMF(adaptive median filter)算法相结合的方法实现交叉口的背景更新,Ostu 方法实现图像的二值化转换^[11],通过对车辆进行灰度变换和斑块聚类可以减小车辆的存储数据量,如图 3 所示.实验发现,道路上机动车车辆斑块的面积总是大于 5,而非机动车或者其他背景的面积总是小于 5,因此选择 5 作为阈值,将机动车辆和其他背景有效地分离.

车辆斑块进入远端检测区域后,对其进行第 1 次判断.通过对斑块的面积进行验证,以排除非机动车被检测的可能,如图 4 所示,如果该斑块面积大于 5,且位于远端检测区域之内,则将斑块直方图的信息提取出来,在原来存储的直方图模板库中寻找,如果找到与该斑块信息匹配的模版,则该车辆斑块区域是一个老区域,将匹配次数加 1.如果匹配模板没有找到,则认为该车辆斑块区域是一个新的区域,

将它加入模板库.如果匹配的次数在上一步中没有变化,则不匹配的次数就加 1.否则,如果匹配次数在上一步中发生变化,不匹配次数就置 0.如此得到匹配次数和不匹配次数之后,可以进行第 3 次判决.如果连续匹配次数达到 8 次,则系统判定检测到了一辆新车,该车的所有信息被保存,用于后续进行车辆跟踪;如果连续不匹配的次数达到 5 次,则认为进入检测区域的为非机动车辆,删除该模板,以增加计算机处理的速度;如果检测次数达到 4 次不匹配,第 5 次匹配时,则将前面记录的 4 次不匹配的记录清零,从第 5 次开始记录;如果检测到 7 次匹配,第 8 次检测到不匹配,则将前面 7 次匹配的记录清零,重新开始记录.经过多次的模版匹配计算后可以减小由于非机动车斑块粘连所带来的误匹配,减小系统处理的误差.

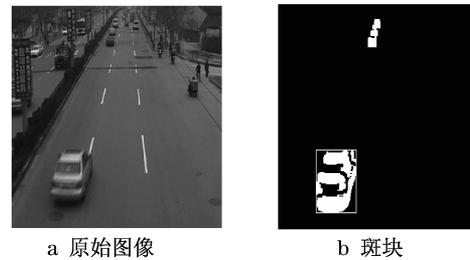


图 3 待检测车辆的斑块区域

Fig.3 Area of the tested vehicle blobs

2.3 车辆跟踪

对检测到的车辆采用斑块跟踪和 Mean shift 方法跟踪相结合的方法,实现车辆从进入上游远端检测区域,直至离开停止线的全过程跟踪.

Mean shift 方法旨在利用一个基于像素点颜色和位置的贝叶斯系数来衡量对象与模板之间的相似度,以便在图像中找出与模板最为相似的目标对象.其模块的实现步骤如下.

(1) 直方图计算

假设模板中各个像素点为 x_i^* , $i = 1, \dots, n$,模板的中心是 y^* .定义函数 $b: \mathbf{R}^2 \rightarrow \{1, \dots, m\}$,将 x_i^* 处像素值 $b(x_i^*)$ 与二维坐标向量 x_i^* 相对应.模板的半径是 h^* , $\left\| \frac{y^* - x_i^*}{h^*} \right\|^2$ 表示模板上各个像素点到模板中心的归一化距离. $k(x)$ 是一个核函数, x 值越接近零,其值越大,此处取高斯函数 $k(x) = 100 \times e^{-20x^2}$. $\delta[x]$ 是离散冲击函数,当 $x = 0$ 时其值为 1,否则其值为 0.由此可以得到如下计算模板直方图的公式(以直方图中像素值为 u 的项为例)^[12-13]:

$$\mathbf{q}_u(\mathbf{y}^*) = C \sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{\mathbf{y}^* - \mathbf{x}_i^*}{h^*} \right\|^2 \right) \delta[b(\mathbf{x}_i^*) - u] \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{\mathbf{y}^* - \mathbf{x}_i^*}{h^*} \right\|^2 \right)} \quad (4)$$

同理,假设匹配对象中各个像素点为 \mathbf{x}_i , $i = 1, \dots, n_h$, 对象的中心是 \mathbf{y} , 对象的半径是 h , 可以得到如下计算对象直方图的公式(以直方图中像素值

为 u 的项为例):

$$\mathbf{p}_u(\mathbf{y}) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k \left(\left\| \frac{\mathbf{y} - \mathbf{x}_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(\mathbf{x}_i - u)] \quad (5)$$

$$C_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_h} k \left(\left\| \frac{\mathbf{y} - \mathbf{x}_i}{h} \right\|^2 \right)} \quad (6)$$

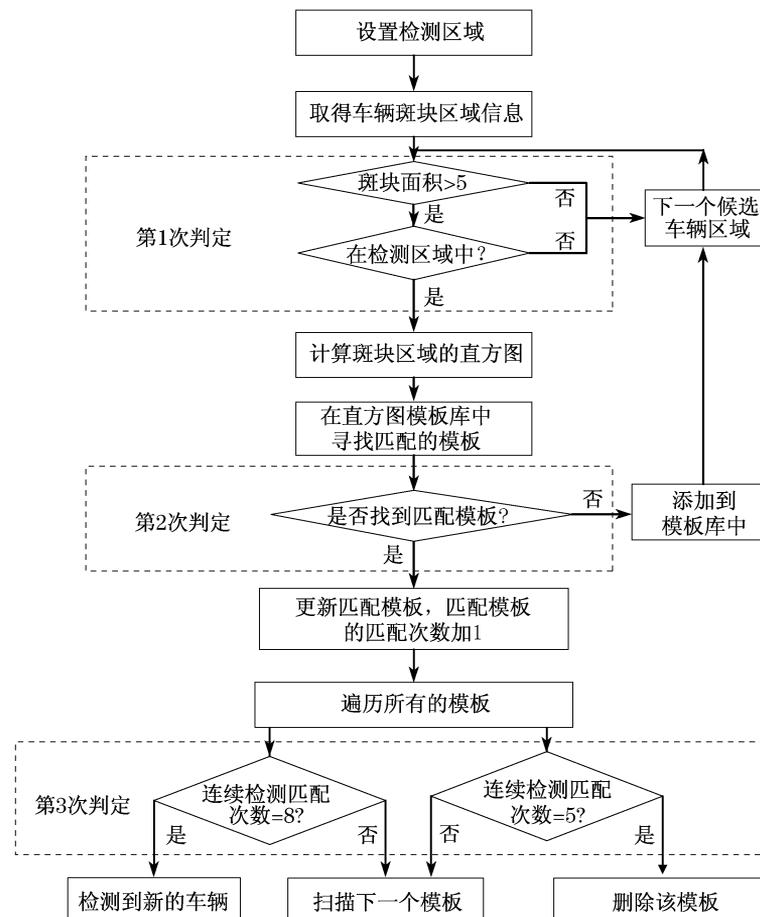


图 4 车辆进入交叉口检测流程图

Fig. 4 Flow chart of the vehicle entering the intersection

可以看出,由于引入了核函数,使得距离匹配区域中心近的像素点的信息,相对于距离中心远的像素点的信息更为重要,而中央像素通常为重要的前景目标信息,边缘像素一般为相对次要的背景信息.由于在直方图中加入了像素位置的信息,对出现在区域的不同位置的取值相同的像素进行了区分,使得匹配相对准确.

(2) 匹配系数的计算

假设模板的直方图是 q_z , 对应的向量 \mathbf{q}_u 的每一项由式(3)算得;假设匹配对象的直方图是 $p_z(\mathbf{y})$, 对应向量 $\mathbf{p}_u(\mathbf{y})$ 的每一项由式(3)算得. 定

义两个分布之间的贝叶斯差错为相似度衡量指标,即

$$\rho(\mathbf{y}) \equiv \rho[p(\mathbf{y}), q] = \int \sqrt{p_z(\mathbf{y}) q_z} dz \quad (7)$$

可以看出, $p_z(\mathbf{y})$ 与 q_z 分布越接近, $\rho(\mathbf{y})$ 值越大. 由于已作了归一化, 故当 $p_z(\mathbf{y})$ 与 q_z 分布完全相同时, $\rho(\mathbf{y})$ 取得最大值 1; 否则 $\rho(\mathbf{y})$ 的值将介于 0~1 之间.

对于 24RGB(红绿蓝)图, 为了减少计算复杂度, 将每个色彩通道量化为 8 个值, 因此直方图中总共有 $8 \times 8 \times 8 = 512$ 个取值, 计算量远远少于原来的

256 × 256 × 256,但精度对效果的影响基本不变.

(3) 迭代寻找新的匹配中心

要寻找准确的中心点,即要使式(7)的值最大.假设迭代初始于 y_0 点,利用泰勒公式分解式(7),可得

$$\rho[p(y), q] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0)q_u} + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m p_u(y) \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \quad (8)$$

其中,对任意 $u = 1, \dots, m$ 有 $p_u(y_0) > 0$,并且假设 $p_u(y)$ 与 $p_u(y_0)$ 之间只有微小的不同.将式(6)代入式(8)可得

$$\rho[p(y), q] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y_0)q_u} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^{n_h} w_i k\left(\left\|\frac{y - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (9)$$

其中

$$w_i = \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i - u)] \sqrt{\frac{q_u}{p_u(y_0)}} \quad (10)$$

由于式(8)中的第一项与 y 无关,为了使式(8)的值最大,式(8)中的第二项应该取最大值,第二项即寻找的中心点 y 的位置.基于核函数 k 的密度估计,通过 Mean shift 迭代可以使得该项最大,也即找到了最佳中心.中心迭代公式为

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n_h} w_i k\left(\left\|\frac{y_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (11)$$

(4) 尺度自适应

为了使得跟踪能够适应物体尺度的变化,简单地使用尺寸为前一帧目标尺寸的 110%, 100%, 90% 的方框来匹配,取匹配值最高的一个作为当前帧的目标尺寸.

车辆检测及跟踪的效果图如图 5 所示.

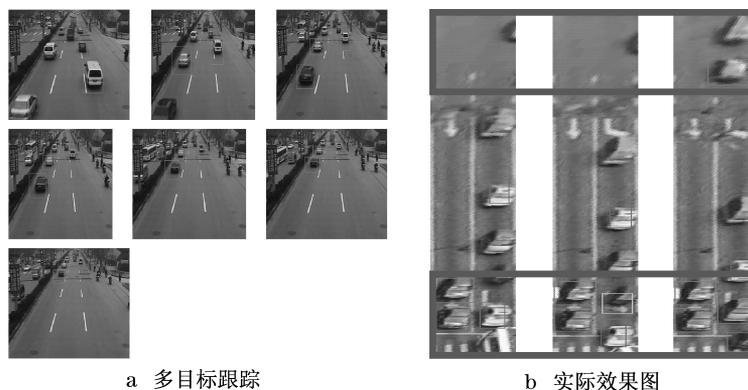


图5 车辆跟踪效果图

Fig.5 Effect of the vehicle tracking

3 参数提取

选取杭州市凤起路-双菱路交叉口的视频作为参数提取对象,该视频由一个摄像机拍摄,摄像机的架设高度为 33 m 左右,摄取的视频截图如图 6 所示.参数提取的软件界面如图 7 所示.

利用平均绝对百分比误差 (mean absolute percentage error, MAPE) 进行误差统计可以避免样本检测值与真实值相对比后由于正负抵消而导致的统计误差偏小,所以选用该指标统计每个周期提取的延误参数的误差,计算式为

$$E_{\text{MAPE}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{d_i - t_i}{t_i} \right| \quad (12)$$

式中: d_i 代表检测值; t_i 代表真实值; N 代表样本个数.



图6 杭州凤起路-双菱路交叉口视频截图

Fig.6 Video capture map of Fengqi-Shuangling intersection in Hangzhou, Zhejiang Province



图 7 参数提取的软件界面

Fig. 7 Interface of the parameter-extracting

对杭州市凤起路-双菱路交叉口的视频进行延误参数提取,通过与人工提取的真实延误值进行对比,可以得到参数提取的误差统计值,如图 8 所示。

由检测数据误差的统计值可以得到,按照周期统计得到的交叉口延误误差提取的最大值为 15.96%,最小值为 1.42%,均值为 6.40%;交通量提取的最大误差为 10.00%,最小为 0,误差均值为 4.86%。

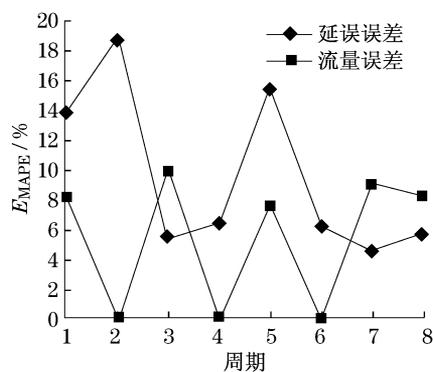


图 8 参数提取的误差统计图

Fig. 8 Error statistic of parameters

4 结语

延误参数的提取在交叉口设施评价及信号控制方案的配时方面均具有重要的意义。目前常用的评价和信号控制方案中使用的延误参数均通过检测流量等参数间接推算,方法的实时性和精度均有待于进一步验证。本文研究的基于双截面的延误检测方法整合已有的虚拟线圈检测方法和车辆跟踪方法,形成了一种实时的交叉口车辆延误检测方式,可以为信号交叉口的服务水平评价和信号配时方案的优化提供实时准确的参数。

参考文献:

- [1] 全永燊. 城市交通控制[M]. 北京:人民交通出版社,1989.
QUAN Yongshen. Urban traffic control [M]. Beijing: China Communications Press, 1989.
- [2] 刘青. 基于视频的交通参数检测系统研究[D]. 重庆:重庆大学光电工程学院,2009.
LIU Qing. Research on video-based traffic parameters detecting system[D]. Chongqing: Chongqing University. College of Optoelectronics Engineering, 2009.
- [3] Gupte S, Masoud O, Martin R F K, et al. Detection and classification of vehicles[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2002(3): 37.
- [4] Kebab W, Dixon M P, Abdel-Rahim A. Field measurements of approach delay at signaled intersections using point data[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2007(2027): 37.
- [5] Ahmed Abdel Rahim, Michael Dixon, Li Weitung. Automated measurement of approach delay at signalized intersections; a vehicle event-based method [C] // Transportation Research Board. Washington D C: National Research Council, 2009; 09 - 1287.
- [6] 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 [C] // Transportation Research Board. Washington DC: National Research Council, 2007; 07 - 0487.
- [7] ZHENG Jianyang, MA Xiaolei, WANG Yin Hai, et al. Measuring signalized intersection performances in real-time with traffic sensors[C] // Transportation Research Board. Washington DC: National Research Council, 2009; 09 - 3119.
- [8] 冉启武, 杨建国, 王兆安, 等. 基于视频的车辆瞬时停车延误检测[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(6): 692.
RAN Qiwu, YANG Jianguo, WANG Zhaoan, et al. Instantaneous stop delay detection based on video [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(6): 692.
- [9] 严宝杰. 道路交通调查[M]. 北京:人民交通出版社,1994.
YAN Baojie. The traffic survey and analyzing [M]. Beijing: China Communications Press, 1994.
- [10] 刘富强, 张姗姗, 朱文红, 等. 一种基于视觉的车道线检测与跟踪算法[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2010, 38(2): 223.
LIU Fuqiang, ZHANG Shanshan, ZHU Wenhong, et al. A vision-based lane detection and tracking algorithm [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(2): 223.
- [11] 张惠玲, 李克平, 邓天民. 视频车辆检测技术中的阈值分割算法研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(3): 116.
ZHANG Huiling, LI Keping, DENG Tianmin. Study on threshold segmentation algorithm in video vehicle measurement [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(3): 116.
- [12] Comanicu D, Meer P. Mean shift-A robust application toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603.
- [13] 王新红, 王晶, 田敏. 基于空间边缘方向直方图的 Mean shift 跟踪算法[J]. 中国图像图形学报, 2008, 13(3): 586.
WANG Xinhong, WANG Jing, TIAN Min, et al. Mean shift tracking algorithm based on spatial edge orientation histograms [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(3): 586.