

基于视频的车辆瞬时停车延误检测

冉启武, 杨建国, 王兆安, 王忠民
(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为了给交通灯控制提供更准确的信息, 提出了瞬时停车延误的基本概念和量度方法. 利用视觉颜色聚类算法, 通过计算道路与背景的颜色距离实现图像中车辆与背景分离, 从而有效地识别车辆. 以颜色距离最大值所在位置标定车辆位置, 再通过帧间对比判定车辆的运行状态, 最后获得引道内所有车辆的瞬时停车延误总量. 对相同的场景记录, 由3个独立的测试员利用人工目测方法获得瞬时停车延误总量的目测值, 与算法获得的程序测量值进行比对. 11个灯时的实验表明, 人工目测成功率为90.9%, 有90.0%的程序测试值和目测值之间的误差满足要求.

关键词: 车辆识别; 瞬时停车延误; 计算机视觉

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)06-0692-05

Instantaneous Stop Delay Detection Based on Video

Ran Qiwu, Yang Jianguo, Wang Zhao'an, Wang Zhongmin
(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To offer more information to the traffic lights controller, the concept of the instantaneous stop delay is defined and the corresponding measuring method is developed. The color clustering algorithm is adopted to separate the vehicles and the background from images effectively, thus all vehicle positions are identified and recorded by the maximum color distance, finally the stop delay in each frame is evaluated by comparing the differences between frames. During 11 light cycles, the success rate of manual results gets 90.9% where 90.0% meet the error requirement compared with the computer results.

Keywords: vehicle identification; instantaneous stop delay; computer vision

缓解交通拥堵的一个有效措施是通过合理的信号控制提高现有交叉口的通行能力, 这就需要在交叉口使用更加智能的交通灯. 西安交通大学智能交通研究组, 针对中国城市混合交通流特点, 提出了一套智能交通灯方案, 暂定名为“景触1号”(Scene-Trigger 1 ST1). ST1的基本设计思想是, 用计算机视觉获得不同方向上机动车的运行状态, 以早期交通警察朴素的控制策略为背景, 摆脱信号灯周期概念, 实时控制不同方向上的信号灯切换. ST1的中央控制器必须实时获得各个方向上每个车辆的已经发生的停止等待时间总和, 即瞬时停车延误总量. 为了准确测量某一方向上所有机动车的瞬时停车延误,

必须准确获得每个车辆何时停止, 何时开始前进, 传统的环检测器、红外检测、遮光检测^[1]等手段均无法获得这样的信息. 本文选择以计算机视觉为技术手段的测量方案, 以准确和高速为基本要求, 根据高空拍摄的视频图像, 采用线背景、颜色聚类算法等测量策略, 完成了获取停车延误的算法. 用人工目测得到停车延误的目测记录, 并与计算机获取的实验记录进行数据比对, 经过11个灯时4万帧图像数据验证, 表明所提出的方法能够比较准确的计算每个车辆的瞬时停车延误, 瞬时停车延误总量的测量数据与目测数据吻合较好.

1 瞬时停车延误

传统的停车延误是指单个车辆在一个特定时间段内,由于各种原因产生的停止时间之和,通常描述一个过程结束后车辆的总延误。瞬时停车延误是指,某个瞬时、某个停止车辆当前停止状态已经持续的时间。对运动车辆而言,瞬时停车延误为0。瞬时停车延误和传统停车延误的主要区别是,前者指任意一个瞬间已经发生的停车延误,并且这种延误会随着车辆的前行而立即消失,后者指一个过程结束的停车延误。按照 ST1 设计思路,需要获得一个区域内所有车辆的瞬时停车延误——该方向瞬时停车延误总量,并依据两个方向上瞬时停车延误总量,做出是否切换信号灯的决策。

按照上述定义,在任意一个时刻 t ,每个车辆 i 均存在瞬时停车延误 $D_i(t)$ (可能为0),如果车辆在运行中,则 $D_i(t)$ 为0,如果车辆在停止中, $D_i(t)$ 为本次停车已经发生的时间。此时,区域内瞬时停车延误总量为

$$D_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n D_i(t) \quad (1)$$

图1是车辆 i 在道路上走走停停产生的瞬时停车延误。图2是交叉口引道上4辆机动车从红灯开始排队,到绿灯放行清空全部等待车辆过程中,瞬时停车延误总量发生变化的示意。1号车从 O 点开始停止在停车线处,它自身产生的瞬时停车延误在线性增加,速率为1。在 t_1 时刻,2号车在1号车后边开始排队等待,此时时间每增加1s,瞬时停车延误总量增加2s,开始以2倍速率增长(AB 段)。在 t_2 时刻,3号车加入排队, BC 段为3倍速率增长,同样4号车加入排队后的 CD 段为4倍速率增长。在 t_4 时刻,绿灯开始放行,1号车已经产生的瞬时停车延误为 D_1 ,此时将随着1号车的启动而突变为0,这使得瞬时延误总量将从 D 突变为 E 。 t_4 到 t_5 之间,由于2号车还没有启动,停止的车辆为2号、3号和4号,因此从 E 到 F 点,瞬时停车延误总量仍在增加,速率为3。同样,在 t_5 时刻,2号车的启动将使得瞬时停车延误总量立即减小 D_2 ,由 F 点到达 G 点。同理,最终随着4号车的启动,瞬时停车延误总量变为0。

因此,要从一个交通场景的视频图像上自动获得类似于图2的场景内瞬时停车延误总量,必须完成如下工作:①从交通场景中剔除背景,识别出车辆;②对车辆的准确位置进行判定,以此根据相邻帧位置的变化,判断其是否停止;③对每个停止车辆进

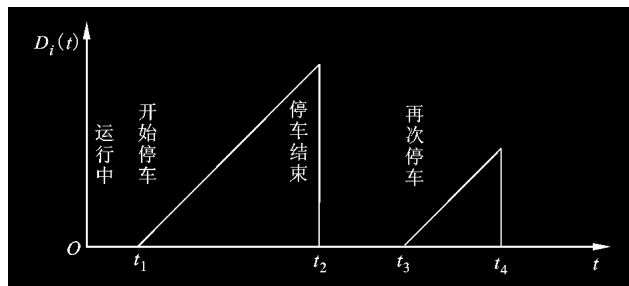


图1 单个车辆瞬时停车延误示意

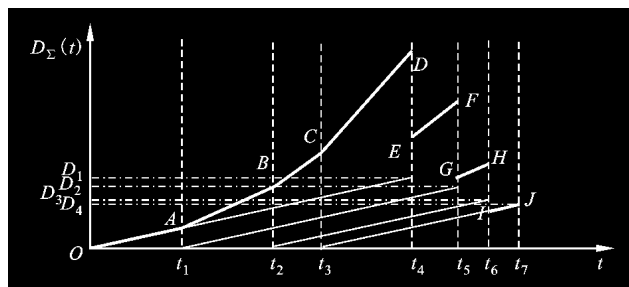


图2 交叉口排队产生的瞬时停车延误总量变化
行标记,计算其瞬时停车延误。考虑到本文工作对实时性的要求较高,必须在处理图像时简化算法。

2 车辆识别

2.1 线背景获取

由于图像中存在大量的停止车辆,利用多帧图像平均获得背景的方法在本研究中不适用,已有的背景获取方法无法去除长时间处于静止状态交通参与者^[2]。我们注意到两个现象:①在接近停车线的引道附近,由于交通法规制约,车辆出现骑行行驶的可能性较小,因此分道线两侧的道路将长期处于暴露状态;②对摄像机而言,近端道路和远端道路在颜色上有微弱差异,即在图像的纵向上,道路背景可能不一致,而在图像横向上,道路背景较为接近。利用这些现象,本文使用线背景方法获得了较为可靠的道路背景。线背景方法是,在场景中手工选取两条分道线,每条分道线附近取两条平行于分道线的测试线,将4条测试线相同纵向位置的红色、绿色、蓝色分量(RGB)值分别进行求和平均,形成平均RGB,作为该纵向位置上的背景。实验表明,这种方法对不同的道路场景具有良好的鲁棒性。图3和图4分别是2005年4月和2005年12月拍摄的相同位置的交通场景,照度差异很大。图4中左侧分道线增加了隔离护栏,因此我们将测试线移动到了分道线右侧。从中可以看出,4条白色的测试线附近,道路背景暴露比率很高。在实际操作中,要求摄像机一旦固定就不要发生大的移动,由于线背景是在每帧图像上更新的,能很好地适应阳光照度的逐渐变化。

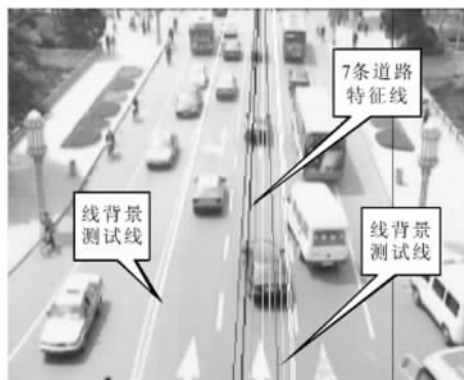


图3 夏季图像序列取背景测试线和道路特征线示意

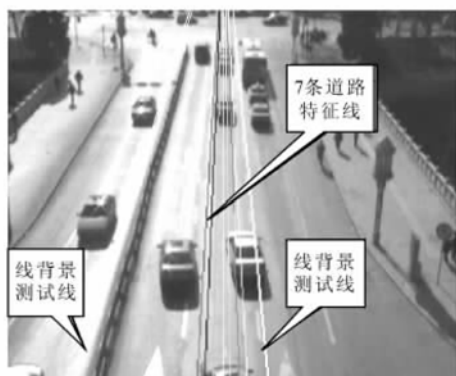


图4 冬季图像序列取背景测试线和道路特征线示意

2.2 颜色识别方案

Munsell 颜色空间的色分量分别用 H 、 L 、 C 表示,其中 H 为颜色的类型, L 为亮度, C 为色彩的浓度即色度.图像为用 R 、 G 、 B 表示的 24 位彩色图像,可以用下面的公式表示图像颜色在 MunsellHLC^[3] 空间中两个像素的颜色距离

$$E_{\text{NBS}}(A, B) = 1.2 \left(C_1 C_2 \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi}{100} \Delta H \right) \right] + (\Delta C)^2 + (4\Delta L)^2 \right) \quad (2)$$

Gong 的研究发现^[4]:当 HLC 颜色对的 E_{NBS} 小于 3.0 时,人类视觉认为它们是相似的;当 HLC 颜色对的 E_{NBS} 大于 6.0 时,人类视觉认为它们是显著不同的.表 1 反映了人类颜色视觉和 E_{NBS} 的关系, HLC 颜色对的相似性可用 E_{NBS} 度量, E_{NBS} 的量纲为 1.

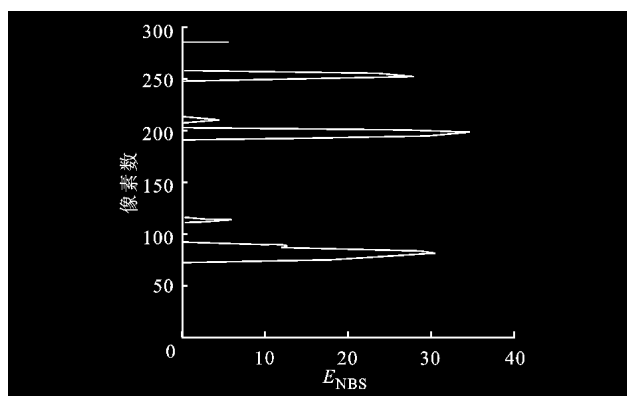
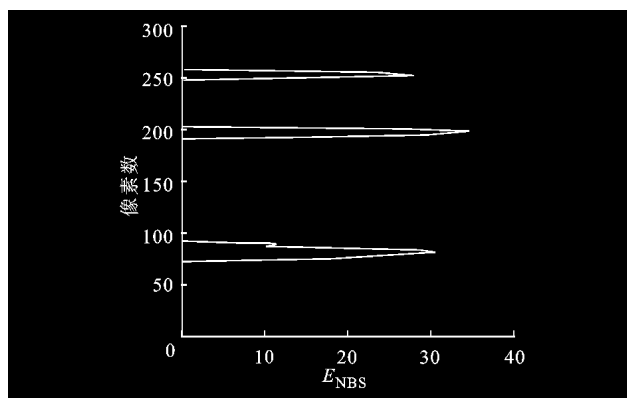
表 1 人类视觉与 E_{NBS} 度量的对应关系

E_{NBS}	0~1.5	1.5~3.0	3.0~6.0	6.0~12.0	>12.0
人类视觉	相同	细微差别	较大差别	显著差别	不同种颜色

运用 E_{NBS} 的目的是把两种不同的颜色彻底分开, E_{NBS} 取大于 12 都是合理的,具体到某一个图像队列中,因为拍摄的条件差异很大,取值是否合适,会极大地影响区分效果,本文中的取值是经过大量实验得到的.

2.3 车辆与背景分离

为了简化算法,在处理道路区域内选取 7 条直线作为道路特征线代替道路.以线背景作为颜色区分的基准点,求 7 条道路特征线每条线上所有点与同高度线背景上点的 E_{NBS} ,然后将 7 条线上求出的同高度点的 7 个 E_{NBS} 取平均值,利用 Matlab 软件画出道路与线背景比较的 E_{NBS} 关系曲线,如图 5a 所示.从中看出,图 5a 中较大尖峰对应于图 5c 中的 3 辆车,但存在小尖峰干扰,图 5b 中利用尖峰面积阈值去除小尖峰.由此得到图 5c 3 辆车对应 3 个数字脉冲波.

(a) E_{NBS} 与车辆的对应关系(b) 去除尖峰后 E_{NBS} 与车辆的对应关系

(c) 二值化后的数字脉冲波形

图 5 车辆识别算法步骤

当两像素的 E_{NBS} 大于 12 时,两像素具有不同的颜色特征. 利用此结论,以 E_{NBS} 作为阈值对 E_{NBS} 关系曲线滤波,找出有车辆位置与道路颜色特征完全不同的所有像素点,表现到 E_{NBS} 关系曲线上为一个独立的脉冲. 然后,在 E_{NBS} 阈值滤波的基础上进行面积阈值滤波,尽可能消除由于车窗的分割一辆车反映到 E_{NBS} 关系曲线中会出现的多个脉冲干扰和行人穿越道路出现的脉冲干扰.

利用 E_{NBS} 和面积二次阈值处理后形成一个脉冲对应一辆车的关系,由此实现了车辆与背景分离.

3 瞬时停车延误总量的计算

3.1 车辆定位

利用车辆与背景分离的识别结果,可以考虑两种方法来实现车辆定位:

(1) 利用图 5c 所示二值化结果,以每个黑色脉冲中点或起点位置来表示车辆的位置;

(2) 利用图 5b 所示 E_{NBS} ,以每个脉冲中 E_{NBS} 最大值对应的图像位置来表示车辆的位置.

大量数据实验证明,使用方法(1)以二值化的黑色脉冲位置表示车辆位置误差较大,误差出现的原因是图像色度和亮度随景深加大变化很大,黑色脉冲的宽度变化就会很大. 方法(2)中 E_{NBS} 最大值对应的是车辆与道路颜色对比差别最大处,同一车辆其 E_{NBS} 在不同景深是按相同规律变化的,在不同位置 E_{NBS} 最大值会发生变化,但对应的车辆位置基本没有变化,利用 E_{NBS} 最大值所对应的 y 坐标值来表示车辆的位置稳定性高.

综上所述,本文选取求出的道路与背景比较的 E_{NBS} 每一个独立脉冲中最大值所在位置来表示这个脉冲所代表车辆的位置.

3.2 车辆状态确定

车辆状态确定就是通过图像序列确定车辆是运行还是静止状态. 车辆位置是由车辆对应 E_{NBS} 最大值所在位置确定的,其运行状态就可以利用连续两帧或者多帧的位置关系来确定车辆是运行还是静止状态. 考虑到车辆位置计算出现的微小偏差,我们在判断车辆状态时,采取了倾向于静止的策略:

(1) 两帧图像间车辆位置差小于一定值,认为车辆静止,否则为非静止;

(2) 在一段时间内,车辆出现非静止次数小于一定值,认为车辆静止.

3.3 瞬时停车延误计算

本文使用的摄像机获得的图片序列为 25 帧/s,

因此帧间时间差为 0.04 s. 对每个识别的车辆设置瞬时停车延误计数器,初始值为 0. 当判断车辆处于静止状态,瞬时停车延误计数器加 1. 当车辆开始运行,瞬时停车延误计数器清 0. 将所有场景内车辆的瞬时停车延误计数器相加,再乘以 0.04 s,即为场景内瞬时停车延误总量.

综上所述,利用车辆对应 E_{NBS} 脉冲最大值实现车辆定位,连续两帧车辆位置关系图像辅助静止倾向,确定车辆运行状态,实现了单车瞬时停车延误的计算,对单车瞬时停车延误进行求和,即可获得场景内的瞬时停车延误总量.

4 实验和分析

实验采取的是离线对比测试方法. 在西安市几个环城交叉口附近的城墙上架设摄像机,固定拍摄,时间大约为 30~60 min. 将拍摄的图像通过解压转换成连续帧图片,保存在计算机内. 以交叉口信号灯为周期,计算机根据场景连续帧图片以及上述算法,获得 $D_s(t)$ 的程序测量值. 召集 3 名测试员,宣讲测试规则并实施测试演示,此后 3 人不得交流,分别利用计算机保存的相同的连续帧图片,反复回放,单车测试,获得 3 组 $D_s(t)$ 的目测值.

将上述程序测量值和 3 组人工目测值绘制在一个图中,进行比对.

4.1 目测记录获取方法

(1) 以停车线后第 1 辆车停止为一个灯时的计时起点,下次第 1 辆车停止的前一帧为计时终点.

(2) 利用 ACDsee 软件,连续播放判断车辆是否静止,根据屏幕显示的图片帧号,记录车辆停止后持续的帧数. 每次只能针对场景内的一个车辆,对所有车辆重复进行上述实验并记录.

(3) 车辆如果发生遮蔽,记录车辆被完全遮蔽时对应的帧数,并且标记此灯时. 要求此灯时按两种方法计数 2 次,第 1 次认为被遮蔽车辆虽然被遮蔽,但其停车延误仍然以每帧 0.04 s 积累,直到被遮蔽车辆被目测发现启动,停车延误清 0,称之为不考虑遮蔽的目测数据;第 2 次一旦车辆发生遮蔽就认为车辆在停车队伍中消失,其停车延误积累变为 0,即和车辆停车延误消散一样,称之为考虑遮蔽时的目测数据.

(4) 如果认定车辆为停止状态,每辆车每帧的停车延误是 0.04 s.

4.2 实验分析

对 11 个灯时的程序测量值与 3 位目测者的目

测值数据进行比对,见图6.根据获得的曲线,记录头车启动时,程序测量值和目测值之间的时间滞后,结果为:①第4灯时,3个受试者目测数据出现明显的不一致,因此实际参与对比的只有10个灯时;②在满足条件的10个灯时中,第6灯时的程序测量值滞后目测数据超过10 s,不满足要求;③其余的9个灯时,程序测量值和目测值之间的滞后或者超前均小于10 s.

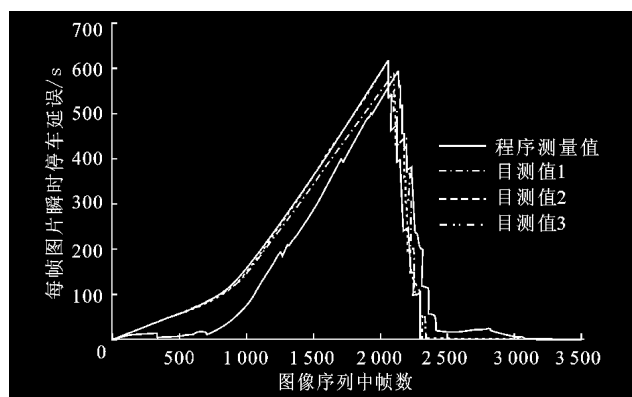


图6 一个灯时的停车延误积累目测数据与实验数据的比对

在11个灯时中,目测成功10个灯时,目测成功率为90.9%,在目测成功的10个灯时中,程序测量值与目测值满足近似性要求的有9个灯时,程序测量正确性为90.0%.

5 结 论

(1)利用线背景和已有的颜色聚类算法,在固定交通场景中获取实时背景后,通过道路与背景比较的 E_{NIS} 脉冲与车辆一一对应,实现视频图像中车辆识别.

(2)以 E_{NIS} 脉冲中 E_{NIS} 最大值标定车辆位置,对比连续帧图像车辆标定位置匹配关系,识别车辆运行状态.在图像序列中计算每帧图像的停车延误积累数值,并通过Matlab软件做出其与帧数的关系曲线.

(3)通过停车延误积累目测记录和算法记录结果比对分析,验证了算法的正确性,初步的实验结果表明,测量值与目测值有较高的相似关系.

参考文献:

- [1] Mirchandani P, Head L. A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis[J]. Transportation Research: Part C, 2001, 9: 415-432.
- [2] 杨建国,尹旭全,方丽,等.基于自适应轮廓匹配的視頻运动车辆检测和跟踪[J].西安交通大学学报,2005,40(4):351-355.
Yang Jianguo, Yin Xuquan, Fang Li, et al. Moving vehicle detection and tracking based on video of self-adaptive contour matching[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 40(4): 351-355.
- [3] Miyahara M. Mathematical transform of (R,G,B) color data to munsell (H,V,C) color data[J]. SPIE Visual Communications and Image Processing, 1988, 1001: 650-657.
- [4] Gong Y H, Proietti G. Image indexing and retrieval based on human perceptual color clustering [C]// Proceedings of 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Santa Barbara, USA: IEEE, 1998: 578-583.

(编辑 杜秀杰)