

# 基于视频的夜间高速公路车辆事件检测

王 鹏<sup>1)</sup> 黄凯奇<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室, 北京 100190)

<sup>2)</sup> (北京信息科技大学, 北京 100085)

**摘 要** 针对高速公路夜间行驶车辆的特点, 基于最优化理论提出了一种鲁棒的车辆检测和跟踪算法, 对现有的车灯提取算法和轨迹跟踪规则进行了改进, 不仅可自动统计和显示车流量, 车速等交通信息, 并且能对逆行、拥堵、自由流停车等交通车辆事件做出自动判断。实验结果表明, 该算法复杂性低, 实时性好, 在夜间路况较好的条件下车辆检测成功率达 95% 以上, 在拥挤交通条件下, 检测正确率在 80% 左右。

**关键词** 智能交通 车辆检测 车辆跟踪 夜间 高速公路

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)02-0301-06

## Highway Vehicle Detection at Night Base on Video

WANG Peng<sup>1)</sup>, HUANG Kaiqi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (National Laboratory of Pattern Recognition, Beijing 100190)

<sup>2)</sup> (Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100085)

**Abstract** In the video detection system of highway traffic flow, it is difficult to detect vehicles. This paper studies nighttime highway traffic vehicles and proposes a robust vehicle detection and tracking algorithm based on optimization theory. The proposed algorithm improves the previous methods for headlight detection and the rules for trajectory tracking. At the same time, it can not only automatically present traffic flow and vehicles speed statistically, but also recognize traffic vehicle event such as jam-packed or driving against the traffic. Experiment results demonstrate the algorithm has lower complexity and better performance than other methods. The detection rate can reach up to 95% or so, robust with low complexity, real-time feature and its detection ratio reaches up to 95% in smooth traffic conditions and 80% in traffic jams.

**Keywords** intelligent traffic, vehicle detection, vehicle tracking, nighttime, highway

## 0 引 言

夜间交通事件检测是智能交通系统的重要组成部分, 随着机动车数量剧增, 高速公路建设规模日益庞大, 交通视频监控应用愈加重要, 视频交通事件检测系统提供了一个有效的高速公路车辆监控方式, 实现了超速, 自由流停车, 异常转弯, 拥堵等交通事件检测的自动化。

传统的在路面下埋设感应线圈作为数据采集器

的方法, 检测区域小, 灵活性差且功能单一。近几年车辆检测跟踪技术发展很快, 国外有采用红外摄像机和超声传感器<sup>[1]</sup>来跟踪公路上前方车辆轨迹, 随着视频分析能力的不断提高, 视频检测已经成为交通事件检测的主要手段, 交通事件的夜间视频检测一直是个挑战性的难题, 通常的机动车辆检测是用差分法检出车辆目标移动<sup>[2-3]</sup>, 但夜晚车辆轮廓变化很大, 用差分的办法会把大部分有用的信息消去, 检测效果不理想, 也有利于汽车尾灯的颜色和运动信息的方法<sup>[4-5]</sup>来检测夜间车辆, 由于光照条件差、

收稿日期: 2008-10-20 改回日期: 2009-01-19

第一作者简介: 王 鹏 (1976—), 男, 满族。北京信息科技大学机电学院硕士研究生。主要研究方向为图像处理与模式识别。

Email: dwor@foxmail.com

反光等干扰因素, 这些方法在城市的低速公路上而且在照明条件较好的情况下是适用的, 但在光照很差的高速公路上, 即使是高速摄像机采集到的画面色彩分辨率也很差, 为了清晰捕捉快速行进的车辆, 摄像机在夜间会自动切换到黑白模式, 采集到的画面没有颜色信息, 这样分析尾灯颜色的方法失效。根据以上情况, 采用检测图像中汽车头灯的方法来实现事件检测, 选取图像中感兴趣的 ROI<sup>[6]</sup> 区域, OSTU 方法自动判定最合理的二值化阈值, 用形态学方法消除小的干扰点, 获得预处理后图像, 然后根据设定好的规则对图像中的轮廓点进行判断, 找到并跟踪其中最有可能的车灯对, 依据其行为持续能力做出是否是真正车灯点的判断, 保存并显示其行进轨迹, 计算出每个车辆行进路线的速度、方向等参数并统计出单位时间内通过画面车辆的数量。在 HLEPT 算法<sup>[7]</sup>中, 要对车灯将要出现的位置进行预测, 采用回顾轨迹链的方法可以避免预测, 而且提高了轨迹点配对的精度。

### 1 夜间车辆视频检测系统架

系统主要由 5 个模块组成, 视觉获取部分、图像预处理模块、车灯点判定配对跟踪模块、轨迹点归并及校正模块, 运动信息处理模块, 其中, 第 3 和第 4 是主功能模块, 如图 1 所示。摄像头在高速公路的桥上或灯杆上, 可以根据需要调整俯角和变焦, 以获

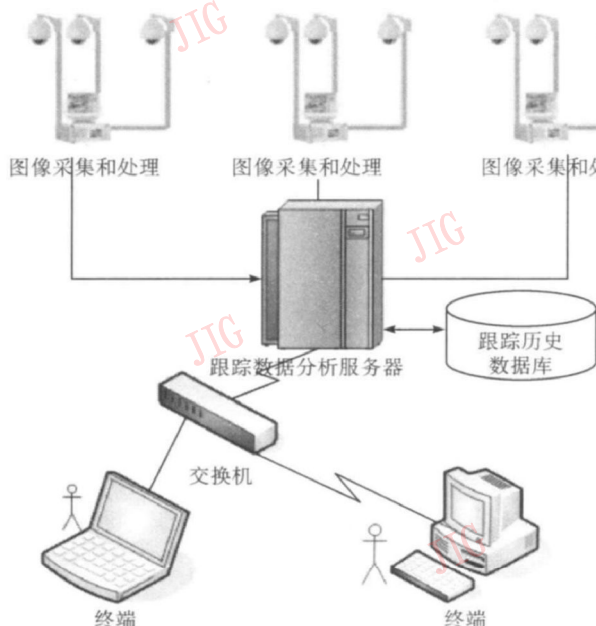


图 1 系统框架

Fig 1 System framework

得理想的拍摄角度, 从摄像头中获取视频, 通过系统框架中与之相连接的计算机完成第 1 到第 5 模块的工作任务, 然后把分析后的全部结果数据通过网络送到跟踪数据分析服务器, 计算得到每个轨迹的方向, 速度以及拥挤度等事件, 并保存在跟踪历史数据库中, 客户端通过网络可以随时查看这些交通信息, 为决策提供依据。

## 2 图像预处理和车辆检测算法

### 2.1 图像特点分析和预处理

视觉模块通过 CCD 摄像头拍摄高速公路上车辆运动获取图像, 预处理采集到的图像, 过滤干扰信息, 获取车灯点信息特征, 这些特征包括点轮廓的面积、周长、位置、圆形度等, 备选车灯点是指图像在预处理之后所有的亮点。在夜间行使的车辆其头灯光亮是提取特征的主要依据, 在行进过程中可能会发生遮挡、地面反光等干扰, 处理过程根据发光面积的大小、形状变化率、圆度等方法排除原始图像中的干扰点, 过滤出大小、圆度、形状稳定的亮点作为车灯的备选点, 这些点中包括头灯形成的亮点, 也可能有装饰灯、雾灯、方向灯形成的亮点, 系统只对整个画面中感兴趣的部分 (ROI) 进行分析和处理, 如图 2 所示的红线以下部分, 选取合理的 ROI 区域, 不但将远处车灯的干扰点排除, 而且可以提高系统的处理速度。

夜间车辆视频表现出很强的双峰, 如图 3 所示。用 OSTU 方法自动得到合适的分割阈值, 二值化后的图像提取出明显的车灯轮廓, 但同时也得到地面反光和其他噪声, 用形态学的方法去除较小的噪点和不连续的区域, 得到了较为规则的车灯备选点, 图 4(a) 为二值化后的图像, 图 4(b) 红色数字是配对后的结果, 视频检测系统算法流程图如图 5 所示。

### 2.2 车灯点检测算法

#### 2.2.1 备选车灯点的特征提取

预处理后的轮廓点中有真正的车灯点, 也有车灯照在地面形成的反光点, 用典型图像处理算法得到这些亮点的基本特征, 包括面积  $A$ , 周长  $P$ , 该轮廓外接矩形的坐标描述, 从这些基本特征可以引申出另外几个特征值, 圆度比  $AP$ , 水平距离差  $X$ , 垂直距离差  $Y$ , 所有这些点的属性值都以一个链表的形式保存起来, 为甄别真正的车灯点做准备。

#### 2.2.2 车灯点判定

对车灯点的判定主要依据有:

- 1) 车灯点不太大也不太小;



图 2 红线以下是 ROI 区域

Fig. 2 Region of interest below red line

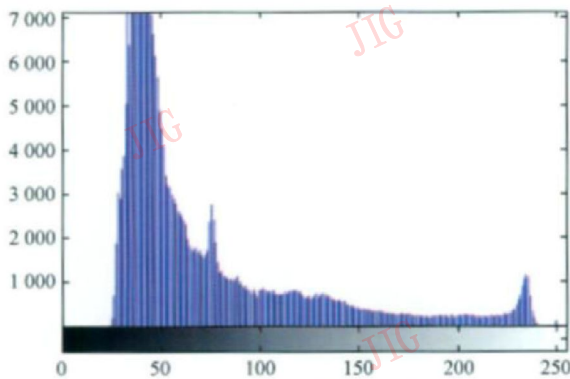


图 3 ROI 区域直方图

Fig. 3 Histogram of ROI



(a) 二值化后的图像



(b) 红色数字为配对结果

图 4 ROI 二值化和配对结果

Fig. 4 Binarization and Paired of ROI

2) 车灯点比较圆;

3) 车灯点的运动过程中面积大小和圆度值比较稳定, 变化不大。

根据特征和实际测试经验制定判定规则, 对第 1 条可以指定面积最小阈值和最大阈值, 第 2 条用圆形度  $AP$  控制, 第 3 条需要确定这个点就是上一帧中某个点移动后的点, 根据移动距离差公式  $dis=$

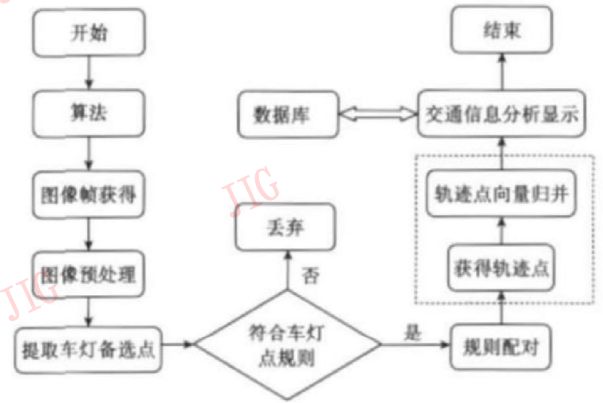


图 5 夜间车辆视频检测系统流程图

Fig 5 Night vehicle detected follow chart

$\sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$ , 遍历计算每个点的坐标移动位移, 其中,  $x, y$  是车灯点横纵坐标。

若小于设定的阈值就可以判定是相邻的车灯点。记录当前点轮廓的面积和上一帧中的面积作比较, 得到的差值  $DS$  可以作为衡量车灯点的运动过程中面积变化大小的依据, 圆形度的计算方法为  $AP = 4\pi A P^2$ , 其中  $AP \in (0, 1)$ 。定义  $K = DS / AP$  为形状面积变化率反映相邻两帧中某个轮廓点的形状变化率, 作为判定车灯备选点的一个指标, 面积差越大, 越不规则的点其形状变化率  $K$  越大, 成为车灯点的可能性越小。

### 2.2.3 车灯对的配对规则

匹配算法思路是以某个点为基点, 与其他的备选点依次进入比较程序, 返回的最大值对应的那个点就是最佳配对点, 将已经配对完成的点对剔除, 选定另外某个未配对点开始下一个配对比较程序, 直到全部的点配对完成, 若是偶数个配对完成, 若是奇数个备选点则会剩下一个, 对这个点持续跟踪, 可能是摩托车灯或者是大货车上的灯。

其规则如下:

- 1) 垂直距离  $y$  越大, 可能性越大;
- 2) 水平距离  $x$  不能太大也不能太小;
- 3) 圆度比越接近于 1, 可能性越大;
- 4) 面积不能太大也不能太小;
- 5) 形状变化率  $K$  越小, 可能性越大。

由于反光等不确定因素的干扰, 会导致配对结果不够准确。假设  $L_1$  和  $L_2$  是一对车灯对, 由于反光等因素造成短暂出现的干扰点  $L_0$ , 这里称之为闪点, 计算这 3 个车灯点, 得到的相似度函数值  $H(L_0, L_1)$  最大, 导致了  $L_0$  和  $L_1$  错误配对。排除这种干扰的思路是: 考虑到闪点  $L_0$  出现时间很短, 而且从出现到消失其形状的变化率很大, 用  $D = 1/AP$  表示形状变化率,

在正常情况下, 真正的车灯面积变化不大, 而闪点则相反,  $AP$  是个正的纯小数, 而且形状越不规则, 其值越接近于  $Q$  因此  $D$  是一个放大的值, 作为惩罚因子来控制配对相似度函数, 从而相似度函数也修改为

$$Likelihood = H(Feature(i)) \times D(f) \quad (1)$$

式中,  $D(f)$  为惩罚因子。这种方法在车辆比较拥挤的情况很有效, 容易捕捉到闪点并剔除, 有效降低了闪点对配对效果的干扰。

### 2 3 车辆跟踪和归并算法

#### 2 3 1 车辆跟踪

轨迹点出现时开始记录该点的信任值 (DOT), 若轨迹点是当 DOT 达到设定的阈值时 (比如设置为 3) 认为这是个稳定的轨迹链, 开始标记为链接并在画面上显示轨迹。某个轨迹链的信任值 DOT 定义是若相邻的两帧中都有轨迹点插入该链, 则 DOT 加一, 否则 DOT 减一。这样可以评估轨迹点的连续性, 使用中可根据情况设定 DOT 增减值, 以控制轨迹链显示的时间, 达到更好的跟踪效果。

在实际应用中, 由于干扰等因素还是有某个点被误判为车灯点, 这就需要将在将这个点插入链接之前再进行一次判断, 有两种方法: 一种是计算待加入点与轨迹链尾节点的欧拉距离, 若小于规定阈值则加入轨迹链, 否则被丢弃; 另一种方法是利用直线拟合, 求出历史轨迹点的大致梯度, 若相差不大加入轨迹链, 否则被丢弃。如图 6 所示, 黑色点被判断出是干扰点而被排除。

#### 2 3 2 车灯对轨迹的归并

一辆车除了大前灯以外, 还可能有雾灯、装饰灯、方向灯等, 依据上述配对原则也会将它们配对, 它们都属于同一台车, 这些灯对构成了一个车灯组, 所以要找出其中的大车灯对, 它也是要进行轨迹跟踪的主要对象。同属于一辆车的车灯, 其移动速度

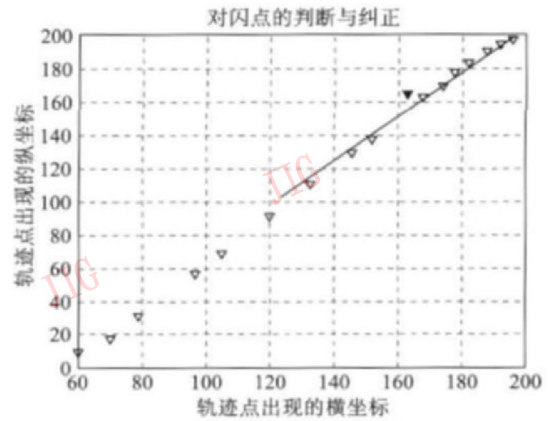


图 6 车辆轨迹跟踪的校正

Fig 6 Vehicle tracing correction

必然一致, 图像上移动速度的定义单位为像素/帧, 可根据距离公式得出。

$$dis = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (2)$$

车灯的相对速度是判断是否为归并车灯组的重要因素, 其权重相应设定较大值。

同一车辆车灯轨迹归并规则如下:

- 1) 轨迹点间的距离不大。
- 2) 轨迹点的相对运动速度几乎相等。

对于规则 1), 同一辆车可能有  $M$  对灯, 其对应的轨迹点最多有  $M$  个, 考虑到车身的长度, 帧间轨迹点间的距离应该小于一个阈值, 表示为  $dis(i, j) < \alpha$  其中  $i, j \in M$ ,  $\alpha$  为距离阈值。对于规则 2), 每个轨迹点之间的速度差为  $v(i) - v(j) < \beta$  其中  $i, j \in M$ ,  $\beta$  为速度阈值。速度通过两帧之间的距离差  $dis(i, j)$  确定, 这里假设各个轨迹点跟踪比较均衡。

遍历所有的轨迹点, 将符合规则 1) 和规则 2) 的点加入到一个分组中, 构成一个车灯组, 在一个车灯组中车灯面积最大且持续性较好的就是主车灯, 这里持续性好是指面积圆度比较小在一段时间内变化很小, 图 7(a) 中 2 条轨迹线表示大小车灯配对分



(a) 车灯分组



(b) 车辆异常转弯

图 7 车灯分组和异常转弯

Fig 7 Vehicle lamp grouping and turning

组后的效果。

流停车。

### 3 车辆事件检测

交通事件包括超速、拥堵、逆行、自由流停车、异常转弯等, 利用算法得到车辆轨迹数据, 实现检测方法如下: 定义轨迹链

$$T(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n),$$

梯度  $G = \text{grans}(T)$ ,  $Dis(T)$  为位移

超速的车辆单位时间内位移大于设定阈值  $\alpha$ , 超过认为超速, 检测中一定时间内所有轨迹链移动位移小于阈值  $\beta$  可认为拥堵, 跟踪孤点轨迹, 计算梯度  $G$  的方向, 若某一轨迹链方向  $G$  为负, 可认为逆行, 若车辆轨迹呈现较大弧度, 可检测到异常转弯, 弧度的测量方法用曲线拟合的方法实现, 若某轨迹链头长时间不动, 而其他车辆行驶轨迹正常, 可判为自由

### 4 实验结果与事件分析

利用上述算法对 3 组夜间高速公路视频进行车辆检测实验, 一个实验样本来自高速公路, 这个样本车速很高, 另两个来自于市内环路, 车速相对较慢, 可能会有遮挡和转弯的情况。实验平台为奔腾四代双核 3.2 GHz, 512 内存 PC 机, Windows XP 操作系统, 视频总长度为 9 min。测试视频样本为  $720 \times 570$  25 fps 其中提取的 ROI 区域图像大小为  $320 \times 240$  如表 1 所示。算法时采用满帧运行时, CPU 占用率中 30% 左右, 采用隔帧降采样时占用率中 15% 左右, 而且图像显示和分析效果基本与满帧方法一致, 结果如表 2 所示。

表 1 实验样本描述和事件检测结果

Tab 1 Experience sample description and event result

编号	视频长度 (分钟)	交通状况	实际车辆数量	超速事件	异常转弯	拥堵	逆行
1	5.5	通畅	22	3	0	否	0
2	0.5	拥挤	29	0	1	是	0
3	3.5	正常	69	0	0	否	0

表 2 实验统计结果及原因

Tab 2 Experience result

编号	电脑车辆计数	漏检数	检测率	漏检原因
1	21	1	0.95	在画面中出现时间很短
2	20	18	0.8	遮挡
3	62	7	0.9	遮挡

算法复杂度分析中, 车灯提取算法主要由预处理、特征计算和车灯归并 3 部分组成, 其中运算量集中图像预处理部分, 大概占用整个算法时间的 50% 以上, 即 60 ms。若 20 fps 的视频计算, 算法每秒计算 10 帧的视频, 完全满足分析需求, 如表 3 所示。

表 3 算法性能分析

Tab 3 Algorithmic performance analyze

算法	计算复杂度	执行时间 /ms
本文算法	低	110
HLPT	低	196
浮雕	高	201

实验表明, 该算法在高速公路上具有较好的检测效果, 其原因是其样本取样的高度合适, 而且交通顺畅, 算法可以将一些地面反光和多灯等干扰去除掉, 高速车辆行驶时特征提取效果比较好, 跟踪轨迹清晰准确, 少量的车辆没有判断出来, 是因为摄像头视野的关系, 进入画面的车辆只看到一个车灯, 还有个别的车辆在画面中经过的时间极短, 被认为是闪点而被忽略。这些问题可以通过划定更精确的车道区域来解决, 或者增加摄像头检测的区域。

配对的准确程度取决于匹配算法中设计的概率值是否合理, 当车灯备选点准备完成后进入配对判断程序, 配对失败的主要原因是车灯对图像上表现不对称, 不对称的原因之一是车灯的某一个头灯被遮挡。第 2 个样本中可以检测到车辆转弯轨迹, 停留时间过长等信息, 同时拥堵的车道造成了车灯的遮挡, 车身反光等干扰, 出现闪点的频率增加, 造成车辆跟踪目标暂时丢失, 如果丢失的时间过长, 而再次出现时距离消失点位置偏远, 算法会认为是一辆新的车辆出现, 造成误判。

## 5 结 论

通过分析高速公路中车辆运动的基本特征和规律对夜间车辆事件检测,改进了原有的检测和跟踪算法,提出了交通事件判定方法,提高了系统的分析实时性和效果的准确性,应用形态学的简单方法解决了夜间路面反光,适度遮挡和多车灯的分组等问题,实验结果表明,算法可以有效对夜间车辆检测和跟踪,而且算法的实时性强,复杂度低,具有较高的识别正确率和较好的适应能力,适用于高速公路等夜间交通信息的采集和分析。基于本算法思想,可将机器学习的方法融合在一起,以期获得更好的识别和跟踪效果。

### 参考文献 (References)

- [1] Kim S Y, Oh S Y, Kang J K, et al. Front and rear vehicle detection and tracking in the day and night times using vision and sonar sensor fusion [ C ] // Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems ( IROS05), Edmonton, Alberta, Canada: IEEE Press, 2005: 2173-2178.
- [2] Cucchiara R, Piccardi M. Vehicle detection under day and night illumination [ C ] // Proceedings of the 3rd ICSC Symposium on Intelligent Industrial Automation and Soft Computing, Rochester, NY, USA: ICSC Academic Press, 1999: 320-325.
- [3] Wu H a-tao, Huo H ong, Fang T ao, et al. Nighttime video vehicle detection in complex environment. 2007, 24( 12): 388-389. [吴海涛, 霍宏, 方涛, 等. 复杂环境下的夜间视频车辆检测 [ J]. 计算机应用研究, 2007, 24( 12): 388-389.]
- [4] Shi H siang-W en. Visual Detection of Turn and Brake Lights on the Preceding Vehicles [ D ]. Taiwan, China: National Central University, 2006 [施翔文. 前车方向灯与煞车灯的视觉侦测 [ D ]. 中国台湾国立中央大学, 2006.]
- [5] Liu B o, Zhou H e-qin, Wei M ing-xu, et al. Vehicle detection at night using color and motion information [ J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10( 2): 188-190. [刘勃, 周荷琴, 魏铭旭, 等. 基于颜色和运动信息的夜间车辆检测方法 [ J]. 中国图象图形学报, 2005, 10( 2): 188-190.]
- [6] Huang K a-i-qi, Wang L s, Tan T N, et al. A real-time detecting and tracking distant objects system for night surveillance [ J]. Pattern Recognition, 2008, 41( 1): 432-444.
- [7] Betke M, Haritaoglu E, Davis L S. Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle [ J]. Machine Vision and Applications, 2000, 12( 2): 73-79.