

基于视频的夜间车辆检测与跟踪算法研究

董天阳 朱浩楠 王浩

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘要 针对夜间高速光照条件差、车灯种类多样、环境因素干扰等导致的车辆难以检测的问题,提出了一种基于视频的夜间车辆的检测与跟踪算法。该方法首先将 OTSU 与一维最大熵阈值分割算法相结合来实现车灯的提取,剔除非车灯光源;然后利用车灯的时空特性完成车灯的匹配,解决了一车多灯和并排同速车辆的问题;最后利用 kalman 滤波器完成车灯的预测跟踪。在交通弱光流畅交通、正常光流畅交通和正常光拥堵交通 3 种应用场景下对所提算法进行应用和结果分析,实验结果表明所提方法在保证实时性的同时具有较高的准确率。

关键词 夜间高速,车辆检测,智能交通

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

Video-based Nighttime Vehicle Detection and Tracking Algorithm

DONG Tian-yang ZHU Hao-nan WANG Hao

(School of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract In the night, the vehicles on highway are difficult to detect because of a variety of factors, such as bad highway lighting conditions and different type of lights. To solve the problem, a video-based nighttime vehicle detection and tracking algorithm was proposed. Firstly, this algorithm combines OTSU and one dimensional maximum entropy thresholding algorithm to extract vehicle lights, eliminating non-vehicle lights. After that, this method makes use of temporal and spatial characteristics of light to distinguish a car with multiple lights and side-by-side vehicles. Finally, the kalman filter is used to predict and track the vehicle lights. This paper analyzed the result of the algorithm in three different application scenarios, weak light smooth traffic, normal light smooth traffic and normal light congestion traffic. The experimental results prove that the proposed method has high accuracy and pretty real-time performance.

Keywords Nighttime highway, Vehicle detection, Smart traffic

1 引言

从 20 世纪 80 年代开始,人们开始将图像和视频处理技术应用于动态车辆的检测和跟踪算法中。相较于其他检测技术^[1],基于视频的车辆检测技术具有方便安装与维修、不需要中断交通、成本低、可分析信息量大和不影响路面寿命等优点,目前该技术的发展极其迅速。

国内外学者对于视频检测技术已经做了广泛而深入的研究,各种算法的交叉融合也越来越多。在这些研究中,大多数算法都是针对白天且光照正常的条件下的应用研究^[2-3],也有少数算法是针对雾雨雪等特殊天气情况下的处理,但针对夜间条件的研究却很少。其主要原因是图像识别算法对周围环境很敏感,而夜间道路上的光照条件非常复杂,不仅车体上的车灯种类多样,而且路面也会有车灯的光线反射,再加上道路两边的护栏反光、路灯等各种环境因素综合在一起,使得夜间车辆的识别检测和跟踪难度很大。因此许多应用在正常天气情况下的交通视频检测算法在夜间的表现非常有限。例如背景差分法^[4]检测运动目标速度快、检测准确、易于实现,在白天可以使用背景差分法提取运动的车辆并且对车辆进行跟踪,

但是在夜间该算法却存在很多问题,首先夜间移动的车影会被认为是前景,当车辆停止时会被认为是背景,一旦车辆再次启动,车影又被再次检测到;然后是车辆合并与分离问题,两辆车并排前进时可能会被认为是同一辆车;除此之外夜间灯光微弱,分离前景和背景非常困难,容易出现车辆断层、随机噪声^[5]等问题。因此迫切需要一种夜间的视频车辆检测和跟踪算法。

2 相关研究

目前夜间车辆检测和跟踪算法主要分为 3 类:基于车前灯检测算法、基于车尾灯检测算法和基于机器学习检测算法。

基于车前灯的检测方法有很多种,王鹏等人^[6]通过分析 ROI 区域直方图得出其满足双峰特征,进而得到分割阈值;然后使用形态学方式去除噪点和不连续区域,来解决路面反光和多车灯分组问题。但是如果车灯被遮挡时间过长,导致目标跟踪丢失,当目标再次出现时该算法会认为是新车辆出现,从而导致误判。Bing-fei Wu 等人^[7]使用多级阈值分割技术得到自适应阈值,实现对车灯的提取;然后通过分析定位车灯对的时空特征来实现对车辆的跟踪。但该方法依赖于车道线

本文受国家自然科学基金项目(61672464)资助。

董天阳(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实,E-mail: dty@zjut.edu.cn;朱浩楠(1991—),男,硕士生,主要研究方向为虚拟现实、图像处理等;王浩(1990—),男,硕士生,主要研究方向为虚拟现实、图像处理等。

信息。为了消除地面反光造成的车辆检测误差,Wei Zhang等人^[8]提出一种基于马尔科夫随机场的方法来过滤掉路面反光。该方法利用阈值分割灰度图得到运动车辆和背景,以反射强光图(RI)、原图(I)和反射弱光图(RS) 3个图像为特征,利用MRF方法处理前景,符合设定条件的为灯光,否则为路面反光。由于算法在对像素进行分类时需要不断循环,因此该算法的时间复杂度很高,无法满足监控系统实时性的要求。

另一方面,Wu等人^[9]提出了基于车尾灯的检测方法,该方法的主要思想是先检测出车尾灯的位置;然后通过规则进行车灯的匹配;最后对匹配后的车尾灯进行跟踪。

为了对车辆类型进行更好的识别,很多国内外学者将机器学习方式引入到车辆检测系统中,Zhang J等人^[10]在Viola和Jones的基于haar特征的Adaboost方法^[11]的基础上,实现了两层夜间车辆检测系统,先用形态学方式获取车前灯,然后使用adaboost分类器对前灯分类,同时除去误检的车灯。Kostia Robert提出基于决策树的分类方式来实现车辆的检测^[12],该方法使用支持向量机(SVM)和人工神经网络(ANN)对车辆进行分类,结果显示ANN的速度慢于SVM,但是准确率更高。这两种算法的分类效果很好,在白天有很好的检测效果;但是在夜间由于各种光源的干扰,检测效果并不好,而且速度较慢。

本文针对上述问题提出了一种基于视频的夜间车辆的检测与跟踪算法。该算法首先将OTSU与一维最大熵阈值分割算法相结合实现车灯的提取,剔除非车灯光源;然后使用匹配算法对提取的车灯进行配对,配对过程中可以进一步剔除非车灯光源,同时解决了一车多灯和并排同速车辆的问题;最后对匹配结果使用Kalman滤波进行预测跟踪。为了验证本文方法的有效性,我们在交通弱光流畅交通、正常光流畅交通和正常光拥堵交通3种应用场景中进行实验并对实验结果进行分析,结果表明本文方法在保证实时性的同时具有较高的准确率。

3 夜间车辆检测和跟踪算法

3.1 车灯提取

夜间交通场景中,无论城市交通还是高速公路,车头灯都是车辆最明显的特征,因此夜间车辆的提取主要通过提取车头灯来替代。如图1所示,在夜间情况下,车头灯的中心位置的亮度值很高。



图1 夜间高速交通图

图2给出了夜间场景下图像亮度分量的直方图,车灯对应的就是亮度值接近255的地方,有明显的峰值。其实在峰值的不仅只有车灯,通过对图1的观察可以发现,地面反光和道路护栏反光的亮度值也很高,而场景中其他部分的亮度值则很小。因此本文根据阈值使用图像二值化的方法提取车

灯,二值化后亮度值为255的为车灯和反光,分割图像后要过滤掉非车灯的道路和护栏反光。由于地面反光和护栏的反光相对于车灯的形状是不规则、不稳定的,因此通过对连续的多帧视频进行分析,过滤掉不稳定且形状不规则的亮点,从而得到稳定的车灯。

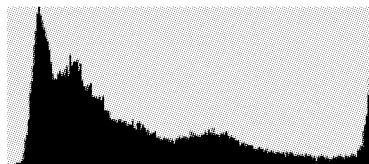


图2 夜间高速交通灰度直方图

从图2可以看出,夜间高速灰度直方图呈现双峰特征,可以使用OTSU方法得到分割阈值,但是OTSU方法存在分割不完全的情况,在提取出车灯的同时,也会将地面反光和其他噪声提取出来。为了解决OTSU方法分割不完全的问题,本文首先采用OTSU得到阈值 T_L ,然后只考虑大于 T_L 部分的像素,重新计算亮度直方图,如图3所示。可以看出,亮度直方图无明显双峰特征,OTSU对于直方图双峰特征不明显的图像分割效果并不理想,而一维最大熵分割算法对于图像的直方图双峰特征不明显的图像分割效果很好,因此针对灰度值大于 T_L 的部分采用一维最大熵分割算法进行分割。

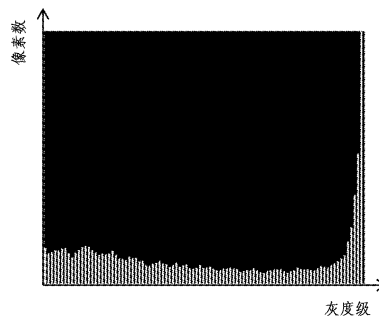


图3 车前灯亮度直方图

假设灰度值分布为 $0 \sim L$,对于分割阈值 t ,图像的熵为:

$$H(F(t)) = -F(t) \ln F(t) - (1 - F(t)) \ln(1 - F(t)) \quad (1)$$

其中, $F(t)$ 是概率分布。OTSU分割算法得到的阈值为 T_1 ,由于OTSU提取出的结果欠分割,因此一定存在最佳阈值 T_r 满足 $T_1 \leq T_r \leq L$,使得 $T_r = \arg \max H(F(t))$ 。

一维最大熵阈值法可得到最佳阈值 T_r ,使用 T_r 将图像二值化,分割出场景中的车灯。但是由于地面和护栏反光亮度较高,地面的反光和道路护栏的反光也被分割出来。为了过滤场景中的非车辆光源,例如路灯、车辆顶部装饰灯、道路反光等,本文对每一帧设置了感兴趣区域(ROI),只对ROI区域的车辆 V 进行车辆提取,其中矩形包围盒 B_i 代表明亮区域。第 i 车辆 V_i 的车前灯 VH_i 必须满足以下条件:

$$T_{RL} \leq W(B_i) / H(B_i) \leq T_{RH} \quad (2)$$

其中, $W(B_i)$ 表示 B_i 的宽度, $H(B_i)$ 表示 B_i 的高度,阈值 T_{RL} 和 T_{RH} 分别设置为0.8和1.25。

此外,ROI区域车灯面积相差很小,要将面积相差过多的 B_i 剔除,因此 B_i 必须满足以下条件:

$$TA_{L_n} \leq A(B_i)_n \leq TA_{R_n} \quad (3)$$

垂直方向上值相同的 B_i 的面积值一定相差很小,因此本文在垂直方向上将ROI区域分为3个部分,如图4所示,在3个区域中选出大、中、小型车辆,分别计算其面积值。其中 A

$(B_i)_n$ 表示 B_i 在第 n 区域的面积大小, TA_{Lr} 表示第 n 区域面积最小值 A_{Lr} 的 0.8 倍, TA_{Hr} 表示第 n 区域面积最小值 A_{Hr} 的 1.25 倍。



图 4 ROI 分区域检测

同时不断跟踪检测到的明亮块, 在连续的多帧图像中如果明亮块的圆形度值变化量小于指定的范围(一般取 0.85), 则认为该明亮块是噪声。圆形度是图像处理中一个重要概念, 它表示图像与圆的相似程度。用 e 表示圆形度, S 表示图像的面积, C 表示图像的周长, 则计算公式如式(4)所示:

$$e = \frac{4\pi S}{C^2} \quad (4)$$

通过上述提取过程可以过滤大部分干扰, 道路大面积反光、两侧的护栏反光和装饰灯都将被过滤掉。采用上述方法完成车灯的提取, 效果如图 5 所示, 单纯使用 OTSU 或者一维最大熵算法进行分割的结果不理想, 杂质干扰较多。本文采用将 OTSU 与一维最大熵相结合的方法, 达到了不错的分割效果。

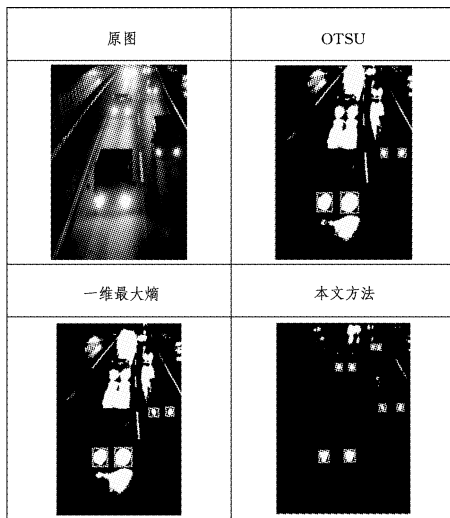


图 5 车灯的提取

3.2 车灯配对

一般车辆只有两个车灯, 但是一些特殊车辆会有 3 个或多个车灯, 对车辆提取造成了很大的影响。为了提取出具体的车辆, 必须将车灯进行配对, 将属于同一辆车的车灯归为一类。

车辆的车灯在空间上存在一定的关系, 由于同属于一辆车, 所以它们一般成对出现, 但是也存在多个车灯属于一辆车的情况。一般情况下, 车辆的车灯是同速同向移动, 而且面积、长宽比等参数相似。因此本文利用车灯之间的空间信息对车灯进行匹配。

3.2.1 匹配规则

车灯的匹配过程主要分为 3 步: 第一步将在同一水平方向的车灯作为一个集合 S_y , 如图 6 所示将 4 个同一水平线上

的车灯划分为一个集合; 第二步将 S_y 中的车灯分为不同的组 BP_i^k (k 表示帧数, i 表示车灯组索引), 没有配对成功的车灯单独作为一组; 如图 6 中 B_i 和 B_j 划分为一组; 第三步将属于同一辆车的多个车灯 BP_i^k 匹配到一组。本文中车灯配对要满足距离和大小的限制, 对于同一辆车的多个车灯, B_i 的坐标相近, 面积相差很小, 因此 B_i 和 B_j 应该满足如下两个配对条件。

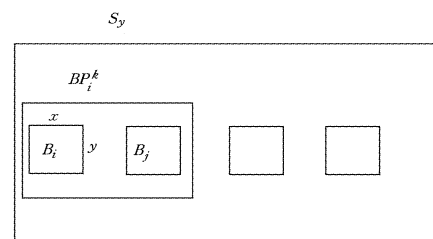


图 6 车灯对

条件 1 车灯面积要满足下式:

$$TA_{Lr} \leq \frac{A(B_i)}{A(B_j)} \leq TA_{Hr} \quad (5)$$

其中, $A(B_i)$, $A(B_j)$ 分别表示 B_i , B_j 的面积, 阈值 TA_{Lr} 和 TA_{Hr} 分别设置为 0.8 和 1.25。

条件 2 车灯的垂直方向差值要满足下式:

$$|B_i(y) - B_j(y)| \leq 0.5 \times \min[H(B_i), H(B_j)] \quad (6)$$

其中, $B_i(y)$ 表示 B_i 中心的垂直方向坐标, $H(B_i)$ 表示 B_i 的高度。若车灯 B_i 和 B_j 满足式(5)、式(6), 则将车灯 B_i 和 B_j 分配到集合 S_y 中。通过上述匹配方式可以使场景中车辆的车灯简单地匹配, 计算匹配后的车灯对的质心即可得到车辆的中心, 但是对于一车多灯和并排同速同向的情况, 会产生误匹配。

3.2.2 多灯匹配方法

车灯匹配过程中会存在一些异常情况, 比如一辆车有 3 个或者更多的车灯, 如图 7 所示; 也有可能存在两辆车并排同速的情况, 该情况可能将两车的相邻车灯匹配为一辆车, 使匹配存在异常, 如图 8 所示。这两类问题可通过图 9 来描述, 图 9 中 b_1, b_2, b_7, b_8 属于同一辆车, 即多车灯问题; b_2, b_3 属于不同的车, 但是由于其相似度很大, 因此属于同一辆车的可能性也很大。

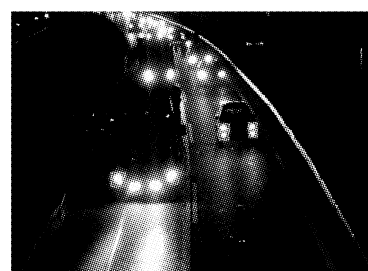


图 7 一车多灯问题

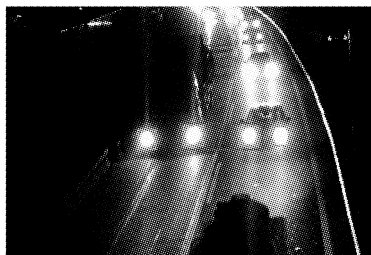


图8 并排同向车辆

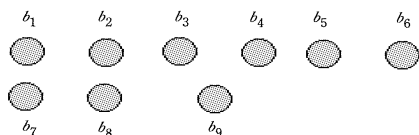


图9 多车灯异常情况

针对这两种异常情况,本文提出了多灯匹配算法。首先计算车灯水平距离,通过分析视频中的车灯关系,设定阈值 T_{hb} (T_{hb} 根据摄像头的角度和高度来确定)。如果两个车灯的水平距离大于 T_{hb} ,则两个车灯不属于同一辆车;如果多个车灯相邻,而且车灯距离小于 T_{hb} ,则计算连续的车灯间的总距离,即式(7)中 $f(x)$ 的值, $f(x)$ 值最小的匹配方式即为最优化匹配;在计算 $f(x)$ 时,如果出现某个车灯是单独存在,如图9中 b_9 ,则该项的差值为0。

$$f(x) = \sum [B_i(x) - B_j(x)]^2 \quad (7)$$

其中, B_i, B_j 表示任何两个车灯, $B_i(x), B_j(x)$ 是车灯的水平坐标。

经过上述步骤,得到当前帧的所有车灯对,计算车灯对中心,任何两个满足式(8)和式(9)的车灯对所包含的车灯都属于同一辆车。

$$|BP_n^k(x) - BP_i^k(x)| + |BP_n^k(x) - BP_j^k(x)| < |BP_j^k(x) - BP_i^k(x)| \quad (8)$$

$$|BP_i^k(y) - BP_j^k(y)| < H(BP_i^k) + H(BP_j^k) \quad (9)$$

其中, $BP_n^k(x), BP_i^k(x)$ 是车灯对 BP_i 和 BP_j 的水平方向坐标, $BP_n^k(x)$ 是车灯对 BP_i 和 BP_j 中心点的水平均值, $BP_i^k(y)$ 和 $BP_j^k(y)$ 是车灯对 BP_i 和 BP_j 的垂直坐标, $H(BP_i^k)$ 和 $H(BP_j^k)$ 是车灯对 BP_i 和 BP_j 的高度。

3.3 车辆跟踪

上述车辆的检测和匹配算法是在单帧图像中进行的,本文是基于视频的车辆检测和跟踪,因此接下来要完成视频中的车辆跟踪。对于视频的每一帧,都可能存在目标进入或者移出视频,目标跟踪是对于每一个目标,从进入场景开始进行跟踪,直到目标退出场景,在每一帧中检测到该目标的位置、大小和速度。

夜间交通场景中车辆跟踪的实现是通过车灯的跟踪来完成的,由于场景中一般都会有多辆车,因此车辆跟踪的本质是多目标跟踪问题。对于多目标的跟踪,先假设动态模型的运动信息,使用这些信息与跟踪对象匹配,因此车辆的跟踪满足先匹配模型;然后修正模型的参数,再预测新的位置,不断地迭代,直到车辆退出视频。本文采用目标参数匹配与 Kalman 滤波相结合的方式对车辆进行跟踪。

目标参数匹配在连续的帧间进行,首先将当前帧中的车灯对的特征参数保存到集合 $S = \{BP_i, i = 1, 2, 3, \dots, N, N$ 是自然数} 中,然后将已知的车灯对 BP_i 与当前帧中的车灯进

行匹配,根据相似度判断出最相似的目标,更新已知的目标集合 S ,根据视频序列逐帧执行上述过程完成参数匹配。为了有效定位已知目标在当前帧中的位置,并且在目标暂时丢失的情况下进行跟踪,采用 Kalman 滤波来预测目标在下一时刻的位置,将参数匹配和 Kalman 滤波相结合来实现目标跟踪,具体步骤如下:

- 1) 从视频的第 i 帧开始,提取场景中的目标作为初始值,使用 Kalman 滤波预测目标在下一帧中的位置;
- 2) 对当前帧中提取的目标与预测值进行对比,如果匹配成功则转步骤 4),不成功则转步骤 3);
- 3) 判断异常是否属于新目标的出现、目标的消失,或者目标的退出;
- 4) 更新模型,转步骤 2) 进入循环。

根据对目标的检测和不断跟踪可以获取目标的运动速度和位置,并对下一帧中目标的出现位置进行预测,然后进行特征的匹配,预测跟踪的方式不仅可以加快跟踪速度,减小搜索范围,而且由于预测排除了不可能出现的位置,因此可以提高跟踪精度,使得跟踪更加准确。

车辆从进入视频开始存在 3 种状态:出现、消失、更新,不同状态对车灯的处理方式也不同。车辆出现则应该将车辆添加进入目标集合 S 中;车辆消失时间过长则认为车辆退出视频,应该从 S 中将车辆删除;在当前帧中检测到车辆,则更新目标集合中车辆的状态。以下是判断出现、消失和更新 3 种状态的具体方法。

出现:当前帧检测到目标的出现,将此目标与预测集中的目标进行匹配,如果集合中没有找到与该目标匹配的车灯,则将该车灯作为新目标加入集合。

消失:预测集合中数据 BP_i 在连续的 15 帧中没有匹配的车灯,则 BP_i 消失,从集合 S 中将 BP_i 删除。当车辆行驶至检测边界时,若 BP_i 满足下式,则在下一帧中将车辆从集合 S 中删除。

$$BP_i(y) > ROI(y) - T \quad (10)$$

其中, $ROI(y)$ 表示感兴趣区域垂直方向的最大值, T 设置为车灯对 BP_i 高度的一半,即 $H(BP_i)/2$ 。

更新:第 t 帧中存在车灯组 $BG_{i-1} = \{B_i^{-1}, i \in N\}$,其中 i 是自然数, K 是车灯组的取值。该集合的预测值中存在 BP_i^{-1} ,并且在 t 帧中存在 B_i^t 与之匹配,则将 B_i^t 添加至 BG_i^t 。

4 实验结果

本节对本文提出的算法进行定性和定量比较,在实验室计算机上进行实验,硬件的配置为 Intel(R) Xeon(R) E3-1220 v3@ 3.10GHz 的 CPU、4 GB 金士顿 DDR3 1600MHz 内存、1TB 7200 转 WD 机械硬盘,软件为 64 位 Microsoft Windows 10 专业版操作系统和 OpenCV 开源库,在 Microsoft Visual Studio 2010 环境开发,运行在 CPU 为 2.4GHz 的计算机上。本实验旨在验证本文算法在夜间也能检测和跟踪车辆,并且达到一定的准确性。

表 1 是本实验采用的数据,其中的真实车辆数量是通过人工预先计数的。通过与本文算法的追踪统计数据进行比较,给出本文算法一个客观的评价。本实验选取了 3 段不同场景下人工拍摄的夜间高速视频,分别为交通弱光流畅交通、

正常光流畅交通和正常光拥堵交通,在这 3 种环境情况下测试本文算法的检测和追踪效率。测试视频大小均为 480×320 像素,视频数据主要包括视频的时长、道路环境以及人工计数的真实车辆数量。这里还需要解释几个实验数据,漏检数是指是真实车辆算法没有检测出来的车辆数量,出现漏检的主要原因是高速公路上有许多重型汽车,会完全遮挡住后面的车辆,后面的车辆只会在将要退出监控范围时出现,因为出现该车辆的帧数太少,所以不会计入。误检数是指不是车辆误检成车辆的车辆数量。真实车辆数量在数学上等于准确检测的车辆数量和漏检的车辆数量之和,与误检车辆数无关。

表 1 夜间高速视频数据

视频	环境描述	时长/min	真实车辆数量
视频 1	高速公路交通流畅,弱光条件	8	154
视频 2	高速公路交通流畅,光照良好	26	515
视频 3	高速公路交通拥堵,光照良好	12	172

Bing-fei Wu 等^[7]的车辆检测算法也采用车灯信息进行检测和追踪,是比较经典的车辆追踪算法之一。通过将本文算法与其进行对比来说明本文算法的追踪效果。表 2 和表 3 分别列出了 Bing-fei Wu 的算法^[7]和本文算法在不同环境下的车辆追踪准确率。通过观察可以发现,无论哪种算法,视频 2 比视频 1 的检测准确率更高,即在光线良好下检测效果比弱光情况下好。视频 2 比视频 3 的准确率更高说明交通流畅情况下比交通拥堵情况下检测效果更好,这符合社会的先验认知。但是本文算法在条件恶劣的情况下仍然拥有 90% 以上的准确率,足够应用于夜间计算机视觉系统。通过与 Bing-fei Wu 的算法^[7]对比发现,本文算法在不同的交通和光线条件下均比 Bing-fei Wu^[7]拥有更高的检测准确率,本文算法拥有更好的检测效果的主要原因是在一车多灯的情况下,Bing-fei Wu 的算法^[7]的误检率很高。

表 2 Bing-fei Wu 的算法^[7]的跟踪准确率

视频	准确检测数量	漏检数	误检数	准确率/%
视频 1	140	14	6	90.9
视频 2	470	45	15	91.3
视频 3	154	18	11	89.5

表 3 本文算法的跟踪准确率

视频	准确检测数量	漏检数	误检数	准确率/%
视频 1	143	11	3	92.9
视频 2	485	30	9	94.2
视频 3	158	14	5	91.9

通过实验对比发现,一方面,本文所提算法和 Bing-fei Wu 的算法都存在一定的漏检率和误检率,特别是在交通拥堵的情况下,路面的反光时间较长而且较为规则,会被认为是车前灯,因此误检率相对于其他两种情况略高;另一方面,本文算法比 Bing-fei Wu 算法的漏检率和误检率都要低,主要是本文算法针对一车多灯情况的优化使得本文算法有更好的处理效果。总体来说,本文算法的漏检率和误检率很低,针对视频中存在的交通拥堵、弱光和一车多灯的情况,本文算法均有良好的检测表现,存在很低的误检率和漏检率,而且运行速度较快,大约在 65FPS(帧每秒),可以满足实时性要求。

结束语 本文提出了一种有效的夜间高速场景中车灯提取、车灯配对和车辆跟踪的方法,实现了夜间高速的车辆检测系统。该方法不仅可以去除静态光源、路面反光等对车灯提取的影响,而且在车灯的配对阶段可以解决一车多灯、并排运动车辆问题,同时在车辆跟踪阶段对于车辆在视频中被暂时遮挡都有稳定的检测和跟踪。但是雨雪等恶劣天气情况下,场景中会出现很严重的反光,将导致车灯的提取难度加大,对这种复杂情况的研究是未来研究的方向。

参 考 文 献

- [1] SALVI G. An Automated Nighttime Vehicle Counting and Detection System for Traffic Surveillance[C]//International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCSI). New York: IEEE, 2014: 131-136.
- [2] LIN S P, CHEN Y H, WU B F. A real-time multiple-vehicle detection and tracking system with prior occlusion detection and resolution, and prior queue detection and resolution[C]//18th International Conference on Pattern Recognition. New York: IEEE, 2006: 828-831.
- [3] HSIEH J W, YU S H, CHEN Y S, et al. An Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 7(2): 175-187.
- [4] SONG X, NEVATIA R. Robust Vehicle Blob Tracking with Split/Merge Handling[C]//Proceedings of the 1st international evaluation conference on Classification of events, activities and relationships (CLEAR'06). Verlag Berlin, Springer, 2006: 216-222.
- [5] ZHOU S, LI J, SHEN Z, et al. A night time application for a real-time vehicle detection algorithm based on computer vision [J]. In Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol, 2013, 5(10): 3037-3043.
- [6] 王鹏, 黄凯奇. 基于视频的夜间高速公路车辆事件检测[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(2): 301-306.
- [7] WU B F, CHEN Y L, CHIU C C. A Discriminant Analysis Based Recursive Automatic Thresholding Approach for Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Information & Systems, 2005, 88(7): 1716-1723.
- [8] ZHANG W, WU Q M J, WANG G, et al. Tracking and pairing vehicle headlight in night scenes[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(1): 140-153.
- [9] WU J T, LEE J D, CHIEN J C, et al. Nighttime Vehicle Detection at Close Range Using Vehicle Lamps Information[C]//International Symposium on Computer, Consumer and Control. New York: IEEE, 2014, 1237-1240.
- [10] WANG W, SHEN C, ZHANG J, et al. A two-layer night-time vehicle detector[M]//Digital Image Computing: Techniques and Applications. New York: IEEE, 2009: 162-167.
- [11] VIOLA P, JONES M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features[C]//Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D C: IEEE Computer Society, 2001: 511.
- [12] ROBERT K. Night-time traffic surveillance: A robust framework for multi-vehicle detection, classification and tracking[C]//Advanced Video and Signal Based Surveillance. New York: IEEE, 2009: 1-6.