

基于强度峰值的运动车辆识别方法

李传秀^{1,2}, 纪筱鹏², 魏志强²

(1. 中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 山东 青岛 266580;

2. 中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要:针对雾霾天气下照度不够、视频图像背景不断变化导致雾霾天图像质量下降、前景目标不易检测识别等现象进行了分析,解决了传统光流法无法有效单独检测跟踪目标的问题。在分析研究传统车辆识别思路及方法的基础上,提出一种光流估计与强度峰值特征提取相结合的检测方法,可以适应跟踪过程中目标特征和背景的不断变化,有效解决雾霾天气条件下车辆检测的鲁棒性问题。最后,通过实验验证了方法的有效性。

关键词:强度峰值;雾霾天气;运动车辆;动态特征;识别

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2014)05-0070-07

A Method of Moving Vehicles Recognition Through Intensity Peak

Li Chuanxiu^{1,2}, Ji Xiaopeng², Wei Zhiqiang²

(1. College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong

266580, China; 2. College of Information Science and Engineering, Ocean University of China,

Qingdao, Shandong 266100, China)

Abstract: In fog-haze weather, car video image sequence capture suffers serious degradation owing to the low visibility and the test results are often not ideal. Based on the analysis of the traditional methods of vehicle identification, this paper discussed the issues leading to the difficulties in detecting foreground object and the degradation of image quality under fog-haze weather, namely, the insufficient degree of illumination, the constantly changing image background. A method of detecting moving vehicles was proposed through the combination of optical flow estimation and peak features extraction. This method is most applicable to conditions of the ever-changing process of tracking target and background and improves robustness of intelligent vehicle detection under fog-haze weather conditions. The experimental results have proved the effectiveness of this method.

Key words: intensity peak; fog-haze weather; moving vehicle; changing characteristics; recognition

近年来,随着空气质量恶化,雾霾现象频繁出现且持续时间较长。2013年1月,4次雾霾过程笼罩了全国30个省(区、市),其中北京当月仅有5天不是雾霾天^[1-2]。这样的非常规天气不仅影响空气质量,还由于大气散射使光线发生变化,导致自然光线差、能见度降低致使交通事故多发,给车载视频监控系统带来了极大挑战。雾霾天不但使车载视频捕获的图像序列质量降低,有时还会导致图像模糊不清、对比度降低等退化问题,甚至出现严重的颜色失真。这不仅影响了图像的视觉效果,而且难以从图像中提取其特征信息,不利于图像数据的分析处理。因此,雾天图像复原吸引了国内外众多研究人员开展相关研究工作。1998年英国学者提出的基于大气退化模型的雾图恢复算法较成功地恢复了雾天图像^[3];2009年,何凯明通过对无雾图片进行统计分析得出了一个暗通道的先验假设^[4],很好地完成了图像去雾。

收稿日期: 2014-02-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61202208); 中央高校基本科研业务费专项项目(13CX02029A)

作者简介: 李传秀(1979—),女,山东临沂人,讲师,主要从事图像处理和计算机视觉方面的研究工作。

E-mail: 79166795@qq.com

图像去雾虽然有助于图像特征的提取,但由于在雾霾天车载视频进行运动目标捕获时,目标物体反射出的颜色信息与物体表面的固有反射能力有关,这导致车载视频跟踪系统无法正常检测和跟踪前方车辆,造成安全隐患;另外,图像去雾在一定程度上增加了计算量。因此,如何在提高车载视频设备捕获图像质量的同时加快捕获速度,更好地完成车辆检测识别与跟踪,成为重要的研究课题。

1 传统的车辆识别思路及方法

目前的车辆检测和识别研究主要是针对光照稳定,路况良好的情况开展的。传统的车辆检测和识别思路及方法一般可归纳为三大类:帧差法^[5]、背景差分法^[6]和光流法^[7]。帧差法算法简单、计算速度快,但对噪声敏感,在环境情况不理想时无法提取整个运动目标;背景差分法应用相对广泛,最重要的是通过学习来对背景建模,从现有图像中剔除背景而得到前景目标,该方法对动态场景中光照等外界条件引起的变化比较敏感,对背景模型依赖性较强,不适合在雾霾天光照不理想的情况下应用;光流法包括连续光流法和特征光流法。连续光流法能得到连续的光流场,但计算量大;特征光流法对噪声的敏感性降低,计算量较小^[8]。

以上三类方法均不能独立地有效完成雾霾天气下运动车辆目标的检测和识别。在雾霾天气下如何快速实时完成检测、识别和跟踪前方运动车辆,还有很多工作要做。

许多学者对雾天图像去雾算法做了大量研究,取得了许多成果,但由于去雾过程计算量大并且去雾效果影响到运动车辆的检测跟踪效果,因此,单纯对图像去雾不能有效地完成车载视频下运动车辆的检测跟踪。另外,也有学者针对夜晚的运动车辆进行识别跟踪算法研究,但这些方法也无法独立完成雾霾天气下对运动车辆进行检测与跟踪。下面从雾霾天气下运动车辆的车灯信息入手,根据这一显性特征,配合光流法探讨雾霾天运动车辆的检测与识别问题。

2 基于强度峰值的运动车辆识别

由于形状特征容易受光照变化、背景变化及遮挡的影响,所以车辆的运动行为特征比形状特征鲁棒性更强,因此,基于运动行为特征的运动车辆检测识别方法更适合光线不好的雾霾天气。

目前,雾霾天气下运动车辆的检测识别工作主要集中在对图像的去雾算法研究上,图像去雾后车灯和雾灯的特征信息仍然存在,基于此,以车灯、雾灯的灯光强度值为特征,采用光流法对雾霾天气下车载视频中运动的车辆进行识别。该方法能够避免传统方法中依靠形状、颜色、纹理等特征来识别运动车辆时,光线不好、视线不好或存在遮挡的情况下不能有效区分前景和背景来完成提取运动车辆的问题。

视觉心理学家认为,当被观测物体和观测人之间有相对运动时,人们通过物体表面带有光学特征部分的移动来获得物体运动信息,所观测到的亮度模式运动就称为光流^[9]。基于光流的方法是分析图像序列中的相邻帧来计算光流场,通过被检测车辆的行驶所形成的光流与摄像机运动形成的背景光流的不一致对车辆进行检测和定位,从而不需要颜色、形状等信息的先验知识就能得到车辆的速度和方向等运动信息。但是,当光线条件发生变化或在灰度等级变化不足的区域,会对真实物体的运动检测造成一定的干扰。基于特征的方法直接从图像中提取用于车辆检测的特征,可以用来判断车辆是否存在并确定车辆的位置^[10]。基于特征的光流法通过特征匹配来得到特征点处的光流,从而可以检测帧间移动范围较大的运动目标,该方法用于检测和识别运动车辆时对噪声不敏感且计算量小。

2.1 运动车辆的光流背景分析

Gibson 强调,光流通常用来形容图像中像素点运动的速度^[11]。当车载摄像设备同目标车辆之间产生相对运动时,通过肉眼所捕捉到亮度模式的运动就是光流。光流是运动场的一种构造方法,研究光流场的目的是从序列图像中近似计算出不能直接得到的运动场^[12]。运动场是物体在三维真实世界中的运动,通常被认为是三维运动的二维表示,其中每一个像素点都被赋予一个速度向量。在视频图像中,光流主要包含三个要素:①运动(速度场),光流形成的必要条件;②光学特征,用来携带运动信息;③成像投影,观察物体。

在某一时刻 t , 三维运动目标上某一点 $p(t)$ 在图像中投影的像点为 $q(t)$, 光流反映了在 dt 时间内,物体运动引起的图像变化,如图 1 所示: f 是镜头焦距, z 是镜头中心至运动目标 $p(t)$ 之间的距离, r_p 为物点

和镜头中心之间的距离, r_q 是像点 $q(t)$ 到镜头中心的距离。假定 $p(t)$ 相对于摄像机的速度为 v_p , 则像点 $q(t)$ 的速度为 v_q , 可分别表示为

$$v_p = \frac{dr_p}{dt}; v_q = \frac{dr_q}{dt}。$$

因为与车载视频设备沿同一方向运动的目标车辆和背景具有不同的运动特征, 所以在视频中两者显示不同的光流特征, 对这些特征点提取并分析其连续运动, 便可以不需要车辆的颜色、形状等信息的先验知识而将车辆从背景中分离出来, 从而实现有效区分前景车辆和背景, 并且简化车辆识别过程, 降低运算量。

2.2 强度峰值特征选定及提取

在雾霾天气时, 由于存在大量悬浮的气溶胶颗粒物^[13]使自然光线减弱、发生散射以及车辆形状遮挡严重等现象, 因此选取车辆的前灯、尾灯和雾灯等强度峰值的特征作为检测车辆是否存在的依据。过程中所提取的亮度峰值点可以在后续帧中作为优化目标继续被跟踪, 以此记录车辆的方向和速度。图 2 给出了雾霾天车辆检测与跟踪算法框图, 该算法包括视频流的图像去雾、图像预处理、特征提取、目标分类、目标跟踪、车辆提取及行为理解几部分。边缘是图像中很稳定的特征, 但对于远距离车辆检测效果不是很好。下面重点介绍特征检测部分的强度峰值特征检测。

车载视频在车辆运行过程中, 背景不断发生变化, 为能从视频序列的检测区域中提取鲁棒性较强的移动车辆的强度信息, 将每一帧视频的强度或者颜色信息沿时间轴进行投影, 从而生成一幅时空图像 $T(x, t)$ ^[14-15], 完成时空图像的分类处理过程, 用于对场景的运动进行分析, 通过 $T(x, t)$ 与 $T(x, t + \Delta t)$ 的水平差异来区分前景车辆和背景, 在后面的工作中通过 $\partial T(x, t) / \partial t$ 计算在前景中找到的水平边缘, 与峰值检测相配合得到一个鲁棒性较强的结果。亮度的垂直投影计算公式^[16]:

$$T(x, t) = \sum_{y=-h/2}^{h/2} w(x, y) I(x, y, t)。 \quad (1)$$

其中: h — 图像高度; w — 权值分布, 与车辆的存在概率成正比; $I(x, y, t)$ — t 时刻图像位置 (x, y) 的亮度值。

图 3 中显示的较粗竖线对应着视频中根据强度峰值记录的车辆运动轨迹。为了保持运动的连续性, 比较图像中的跟踪点速度 $v(t - 1)$ 和新的候选点 $v(t)$, 并使 $v(t) - v(t - 1)$ 保持最小值。

特别地, 由于雾霾并非均匀分布, 有的地方厚有的地方薄, 行驶的车载视频监控会感应到瞬时光照变化。此外, 车辆尾部刹车灯瞬时的光线变化也会在图像中引起一个很长的水平线段, 这样的一些变化会使整个帧的强度信息发生改变。为了方便描述提取的强度峰值特征信息, 将光亮点及其集合用以下符号进行表示:

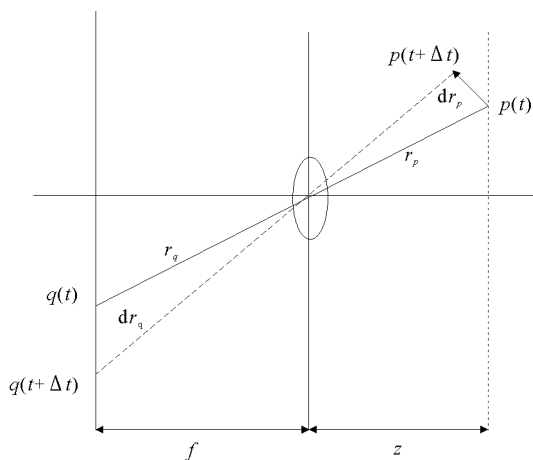


图 1 物体成像投影示意图

Fig. 1 Object image projection

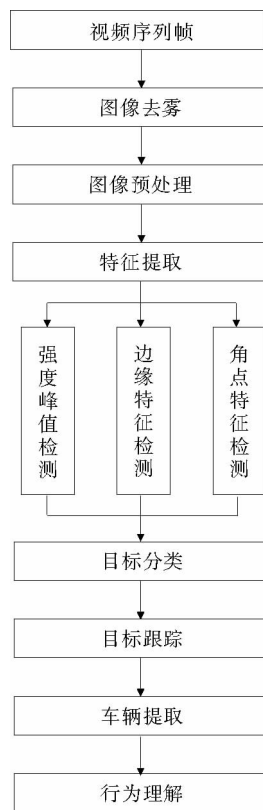


图 2 雾霾天车辆检测跟踪流程图

Fig. 2 Flowchart of vehicle detection and tracking in fog-haze weather day

- 1) G_i 表示第 i 个强度峰值光亮点。
- 2) 检测到的强度峰值光亮点 G_i 的坐标由上、下、左、右四个方位确定, 分别表示为 $t_{G_i}, b_{G_i}, l_{G_i}, r_{G_i}$ 。
- 3) 强度峰值光亮点的高度和宽度分别表示为 H_{G_i} 和 W_{G_i} 。
- 4) 第 i 和 j 个光亮点间的垂直距离 D_v 和水平距离 D_h 为^[18]

$$D_v(G_i, G_j) = \max(t_{G_i}, t_{G_j}) - \min(b_{G_i}, b_{G_j}); \quad (2)$$

$$D_h(G_i, G_j) = \max(l_{G_i}, l_{G_j}) - \min(r_{G_i}, r_{G_j}). \quad (3)$$

当车辆正常行驶在道路上时, 车灯的亮度峰值点间的连线近似垂直于车道方向, 通过公式求出车灯边界区域, 对同一水平线上的两个亮度峰值点加上矩形边界框, 以确定该车辆的位置信息, 如图 4 所示。计算公式如下^[17]:

$$v_i = \sum_{i=1}^m C(x_i, y_i); \quad h_j = \sum_{j=1}^n C(x_j, y_j). \quad (4)$$

其中: $C(x, y)$ 是确定的最初一帧图像的边缘矩形框, v_i 和 h_j 分别是矩形框投影的长度和高度。 m 和 n 分别是要测量的两个尾灯边缘框的长度和高度。 v_i 值越大, 能得到越显著的横向边缘信息; h_j 值越大, 能得到越显著的纵向边缘信息。

有时两个强度峰值光亮点之间会发生重叠, 这时水平距离和垂直距离将被忽略。将水平距离和垂直距离分别进行投影, 计算公式如下^[18]:

$$P_h(G_i, G_j) = \frac{-D_h(G_i, G_j)}{\min[W_{G_i}, W_{G_j}]};$$

$$P_v(G_i, G_j) = \frac{-D_v(G_i, G_j)}{\min[H_{G_i}, H_{G_j}]}。 \quad (5)$$

另外, 由于大多数车灯的形状为近似的圆形, 其大小比例应当满足

$$T_{RL} \leq \frac{W_{G_i}}{H_{G_i}} \leq T_{RH}。 \quad (6)$$

其中, 阈值 T_{RL} 和 T_{RH} 根据实际应用可分别取 1.0 左右, 如 0.8 和 1.2。另外, 车灯间的水平距离 $D_h(G_i, G_j)$ 应小于 $\min[W_{G_i}, W_{G_j}]$, 垂直距离 $D_v(G_i, G_j)$ 应小于 2 倍的 $\min[H_{G_i}, H_{G_j}]$ 。

应用前面对强度峰值光亮点所做的定义, 可有效识别行驶车辆的雾灯、前灯和尾灯位置信息, 配合前述有关运动行为分析的光流法, 从而有效确定运动车辆的存在状态, 完成运动目标的检测与识别。

在雾霾天气下, 提取车尾灯或雾灯等特征强度峰值信息作为依据判断车辆是否存在, 其中, 亮度峰值点在后续帧中仍可作为目标继续被跟踪, 以此记录车辆的方向和速度。在此基础上还可以采用角点信息、边缘信息的投影, 用来增强识别效果, 方便后续根据速度光流场确定车辆的运动行为和轨迹。

2.3 特征检测方法选取

针对雾霾天的特殊情况, 采取基于特征的光流法对运动目标进行检测, 通过提取雾霾天气下车灯特征光亮点的强度峰值, 确定车辆的存在状态, 以弥补其他检测方法无法在雾霾天有效准确检测车辆状态的不足。

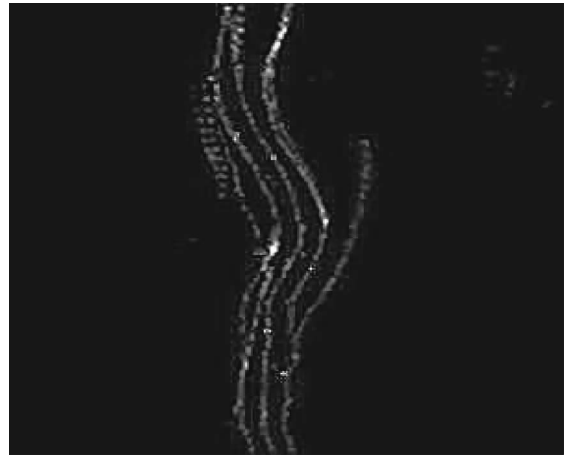


图 3 峰值记录车辆运动轨迹图
Fig. 3 Peak value recording vehicles path



图 4 车灯加矩形框
Fig. 4 Lights plus rectangle

边缘检测和角点检测是常规天气下常用的特征检测方法。

边缘检测是车辆检测跟踪中有效、常用的检测方法,但由于雾霾天光线不好,很难有效检测车辆的存在状态,甚至有时会发生误检。如图 5 所示,由于雾霾所造成的漫反射,使得银色车辆在这种光线条件下仅能描绘简单的水平边缘,几乎不能识别车辆轮廓及车型,从而影响车辆与背景的有效分割。另外,对于距离较远的车辆,边缘检测法无法识别运动目标的边缘特征。

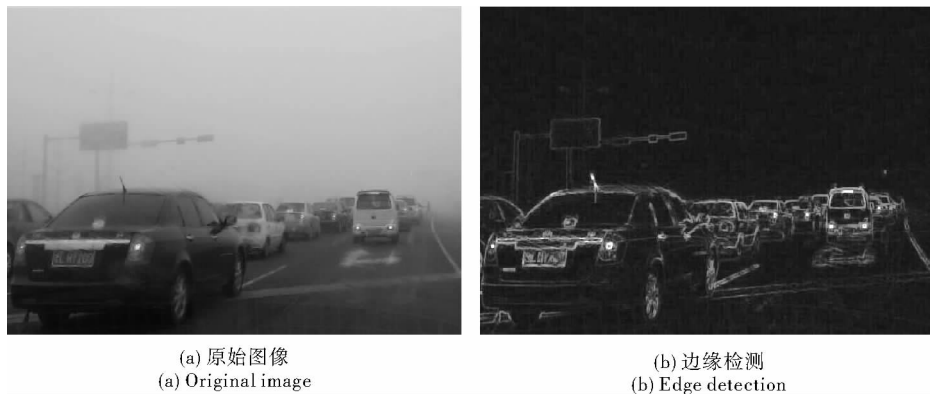


图 5 边缘检测结果示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the edge detection results

角点检测是有效的特征检测方法,但不适合独立检测雾霾天气下车辆的状态,如图 6 所示,虽然车辆的灯光角点被有效识别,同时也将车牌、车标、天线等曲率较大的角点标识出来,因而单纯依靠角点检测是无法有效识别运动车辆的。

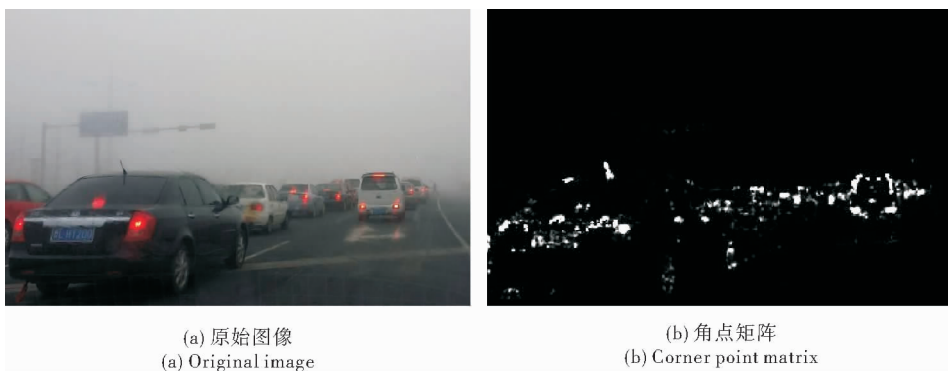


图 6 角点检测结果示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the corner detection results

因此,采用边缘检测及角点检测方法并配合车灯、雾灯的灯光强度峰值信息,可以较好地完成雾霾天气下运动车辆的检测与识别。

3 实验及结果分析

为验证以上研究结论的可行性及有效性,开展了大量实验进行实时测试和分析验证。实验过程中,首先进行数据采集,包括雾霾天的选取、运动车辆的视频拍摄;然后采用 Matlab 软件对视频帧进行数据处理及直方图分析。通过对直方图均衡化,可以降低光线及大气散射造成的背景亮度,从而有效识别出车灯区域。实验及分析效果如图 7 所示。

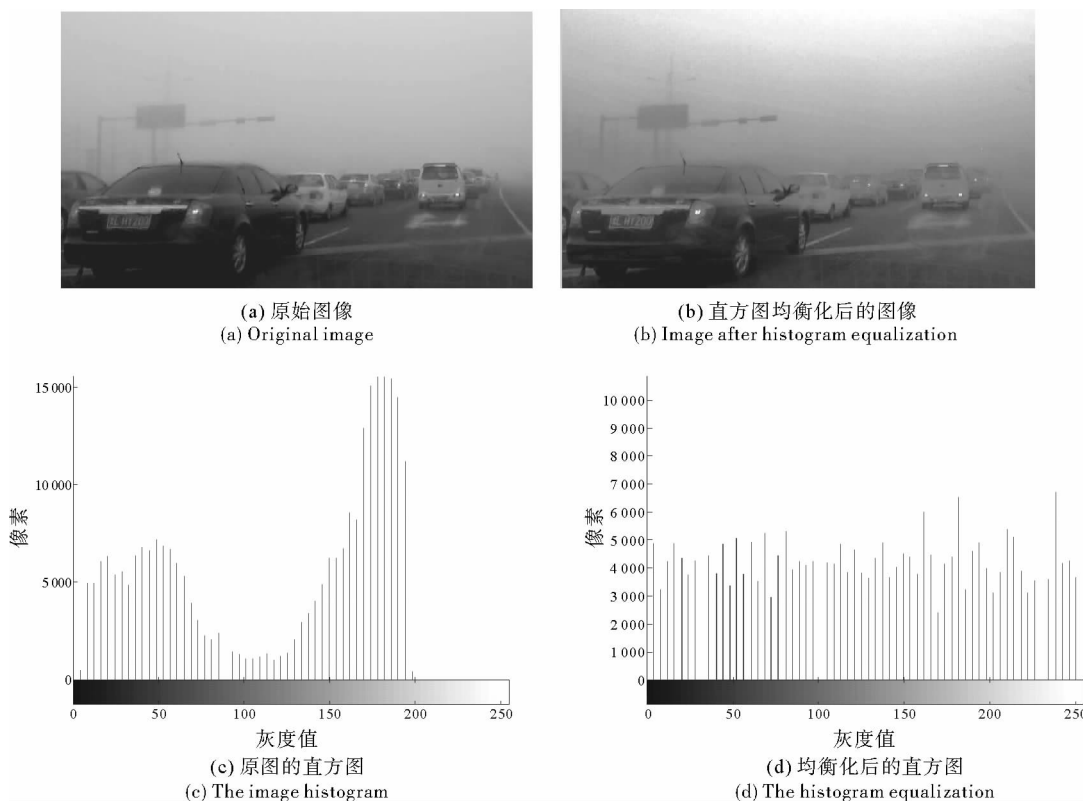


图 7 直方图均衡化结果示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the histogram equalization results

均衡化后的直方图颜色值简单,更方便强度峰值的提取,从而确定车灯所在位置。在识别运动车辆的实验过程中,阈值的选取会直接影响峰值检测的效果,本实验选取阈值为 0.5。首先,对视频帧进行灰度转换,然后,对得到的灰度图像采用低阈值进行图像二值化,同时,结合选择滤波法,确定并保留选中的特征点区域,效果如图 8 所示。该方法结合边缘检测及角点检测法可以有效完成运动车辆的检测和识别,确定车辆的存在信息。

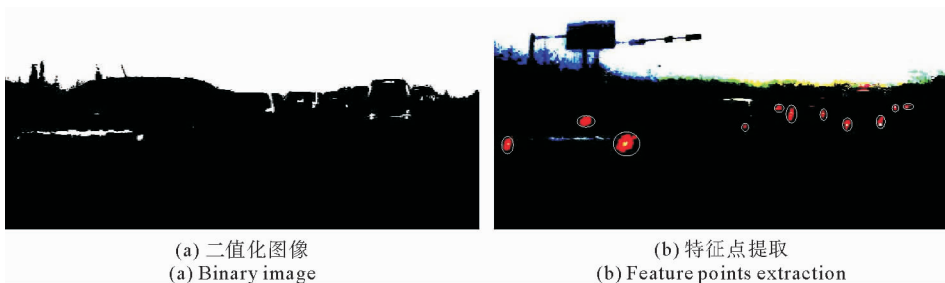


图 8 灯光强度峰值提取图

Fig. 8 Intensity peak extraction of the light

4 结论

由于雾霾天等非常规天气的特殊性,车载视频设备所获取图像或视频的质量降低,严重影响了图像特征提取的有效性,导致运动车辆检测与跟踪等后续工作无法正常进行。虽然人们对雾天图像去雾进行了广泛的研究,并取得了许多成果,但普遍存在计算量较大、检测结果失真等问题。为有效解决雾霾天气下运动车辆的识别问题,不仅要从小雾入手,还应加强对运动目标的检测识别手段的研究。采用光流检测与强度峰值特征提取相结合的方法来研究运动车辆的检测与识别,与单一的检测与识别方法相比,特征点的数

量更多,实验结果验证了该方法可以适应目标特征和背景的不断变化,增强雾霾天气下车辆检测的鲁棒性,检测和识别效果更加明显。

参考文献:

- [1] 百度百科. 雾霾[EB/OL]. [2014-03-12] (2014-04-15). <http://baike.baidu.com/link?url=XXwiiZe8rBlkOYn6MOBstDdabEkPmyBD-KrOvBxLyY5f6lfFydgr-YpOEy3MoIUx>.
- [2] 新浪新闻. 直击雾霾[EB/OL]. [2013-01-14] (2014-04-15) <http://qd.house.sina.com.cn/zhuanti/wumaiqd/index.shtml>.
- [3] McCartney E J. Optics of the atmosphere; Scattering by molecules and particles[M]. New York: John Wiley and Sons, 1976: 23-32.
- [4] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [5] Moscheni F, Bhattacharjee S, Kunt M. Spatio-temporal segmentation based on region merging[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(9): 897-915.
- [6] Elgammal A, Harwood D, Davis L. Non-parametric model for background subtraction[C]//6th European Conference on Computer Vision, Dublin, Ireland, June 29, 2000: 751-767.
- [7] Wixson L. Detecting salient motion by accumulating directionally-consistent flow[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 774-780.
- [8] 钱志明, 杨家宽, 段连鑫. 基于视频的车辆检测与跟踪研究进展[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(s2): 222-227.
Qian Zhiming, Yang Jiakuan, Duan Lianxin. Research advances in video-based vehicle detection and tracking[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(s2): 222-227.
- [9] 吴振杰. 基于改进光流法的运动目标检测与跟踪系统[D]. 郑州: 郑州大学, 2012: 19.
- [10] 杜永军, 金勇俊. 对数极坐标域梯度光流跟踪研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(10): 184-187.
Du Yongjun, Jin Yongjun. Log-polar coordinate domain gradient optical flow tracking study[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(10): 184-187.
- [11] 邓辉斌, 熊邦书, 欧巧凤. 基于隔帧差分区域光流法的运动目标检测[J]. 半导体光电, 2009, 30(2): 300-304.
Deng Huibin, Xiong Bangshu, Ou Qiaofeng. Moving targets detection based on regional optical flow of discontinuous frame [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2009, 30(2): 300-304.
- [12] 胡以静, 李政访, 胡跃明. 基于光流的运动分析理论与应用[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(2): 219-221.
Hu Yijing, Li Zhengfang, Hu Yueming. Theories and applications of motion analysis based on optical flow[J]. Computer Measurement & Control, 2007, 15(2): 219-221.
- [13] 丁珏, 刘义, 李家骅, 等. 雾天气向霾天气转化时气溶胶颗粒物的动力学特性[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 91-96.
Ding Jue, Liu Yi, Li Jiahua, et al. Dynamical characteristics of aerosol particles from fog to haze weather[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(2): 91-96.
- [14] Flora G, Zheng J Y. Adjusting route panoramas with condensed image slices[C]//15th ACM Conference Multimedia, Augsburg, Germany, Sep. 24-29, 2007: 815-818.
- [15] Zheng J Y, Bhupalam Y, Tanaka H. Understanding vehicle motion via spatial integration of intensities[C] //19th International Conference on Pattern Recognition, Tampa, Dec. 8-11, 2008: 1-5.
- [16] Gao L, Li C, Fang T, et al. Vehicle detection based on color and edge information[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2008, 5112: 142-150.
- [17] Chen Y L. A real-time vision system for night time vehicle detection and traffic surveillance[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(5): 4-5.

(责任编辑: 吕文红)