

文章编号: 2095-4980(2022)04-0372-06

## 结合帧差法与窗口搜索的车道线跟踪方法

李春明<sup>1</sup>, 杨 姗<sup>1</sup>, 远松灵<sup>2</sup>

(1.河北科技大学 信息科学与工程学院, 河北 石家庄 050018; 2.京华电子集团, 河北 石家庄 050018)

**摘 要:** 针对计算机绘制车道线地图的过程中, 需要在移动背景下精准追踪车道线的功能需求, 提出一种结合帧差法和窗口搜索的车道线跟踪方法。首先, 对广角镜头拍摄的图像进行棋盘格矫正, 再利用逆透视变换(IPM)将包含车道线的感兴趣区域转换为鸟瞰图, 再使用色度、饱和度、纯度(HSV)、红绿蓝(RGB)分别将白色、黄色像素筛选出来。其次, 利用车道线与垂线的夹角对车道线进行修正, 根据修正后图像的像素密度, 选出车道线的起始点, 并采用滑动窗口搜索的方法提取整个车道线。最后, 采用改进的帧差法, 对车道线进行跟踪, 并根据车道线标准对车道线像素进行规范化补充。由大量的实际道路行驶测试表明, 该算法的准确率为 94.97%, 能够较为精确地完成车道线的追踪。

**关键词:** 帧差法; 窗口搜索; 车道线跟踪; 逆透视变换

**中图分类号:** TN911.7

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA2020231

## Lane line tracking method combining frame difference method and window search

LI Chunming<sup>1</sup>, YANG Shan<sup>1</sup>, YUAN Songling<sup>2</sup>

(1.College of Information Science and Engineering, Hebei University of Science & Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China; 2.Jinghua Electronics Group, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

**Abstract:** In the process of drawing a lane line map for a computer, it is necessary to accurately track the function requirements of the lane line in the moving background. A lane line tracking method is proposed by combining the frame difference method with the window search. Firstly, the image captured by the wide-angle lens is corrected by the checkerboard, and then the Region Of Interest(ROI) including the lane line is converted into a bird's-eye view by using the Inverse Perspective Mapping(IPM), and the white and yellow pixels are separately filtered by using Hue,Saturation,Value(HSV) and Red Green Blue (RGB). Secondly, the lane line is corrected with the angle between the lane line and the vertical line. According to the pixel density of the corrected picture, the starting point of the lane line is selected, and the entire lane line is extracted by the sliding window search method. Finally, the improved frame difference method is utilized to track the lane lines and standardize the lane line pixels according to the lane line standard. A large number of actual road driving tests show that the accuracy of this algorithm is 94.97%, which can accurately complete the tracking of lane lines.

**Keywords:** frame difference method; window search; lane line tracking; Inverse Perspective Mapping(IPM)

随着百度地图、高德地图和谷歌地图的快速发展, 人们的出行变得越来越便利, 这些电子地图可为用户提供路线规划、电子导航等服务, 但这些功能所依赖的车道线目前均为人工绘制, 工程量巨大, 成本较高且受人为因素的影响, 容易产生人为偏差。通过利用车道线追踪技术完成车道线像素的存储, 可减少大量的人工成本, 因此, 车道线追踪成为重要的研究方向。目前, 计算机视觉的车道线追踪方法, 无论基于深度学习的车道线检测<sup>[1-3]</sup>或追踪技术还是基于传统方法的车道线检测技术<sup>[4-5]</sup>, 道路图像的分割和车道线物理像素的拼接是其中的难

收稿日期: 2020-05-25; 修回日期: 2020-07-03

基金项目: 河北省科技厅基金资助项目(17210803D)

点。陈涵深等<sup>[4]</sup>提出一种基于多帧叠加和窗口搜索的快速车道线算法，采用多帧叠加的黑白黑边缘检测算法，去除噪声，再利用窗口搜索算法检测车道线。高嵩等<sup>[5]</sup>提出一种基于车道线检测的自动驾驶预行驶区域判别方法，采用相关滤波算法对车道线进行检测与提取。崔文靓等<sup>[6]</sup>提出的基于YOLOv3算法的公路车道线检测，检测精确度高且速度快，但需要性能较高的GPU才可完成。上述3种方法，均可检测出车道线，但不能实现车道线物理像素点的统计，并将车道线像素点绘制到地图中。

本文提出一种基于帧差法与窗口搜索的车道线跟踪方法，可实现车道线物理像素点的准确统计。该算法可以解决：1)在车道线追踪过程中，背景和目标均为移动状态，无法精准对车道线进行追踪的问题。2)车道线进行拼接时的误差问题，即在车道线进行变道时，车道在图像的位置产生移动，车道线产生倾斜而导致拼接误差。

### 1 车道线跟踪算法的流程

本文算法主要包括图像预处理、车道线检测和车道线跟踪3大部分，如图1所示。图像预处理的主要流程：首先，通过图像标定消除或矫正图像的畸变；其次，通过透视变换选出图像中感兴趣的区域(ROI)；然后，对图像进行二值化处理，为提高车道线检测的效果，这里将白色车道线与黄色车道线分开进行二值化。车道线检测是车道线像素点的提取过程，通过车道线的斜率来判断车辆是否进行变道操作，再采用车道线像素密度区分车道线所属的车道线。采用改进的帧差法完成对车道线的追踪，得到车道线移动的像素点。最后，根据标准的车道线规则，对车道线像素点进行填充与修正。

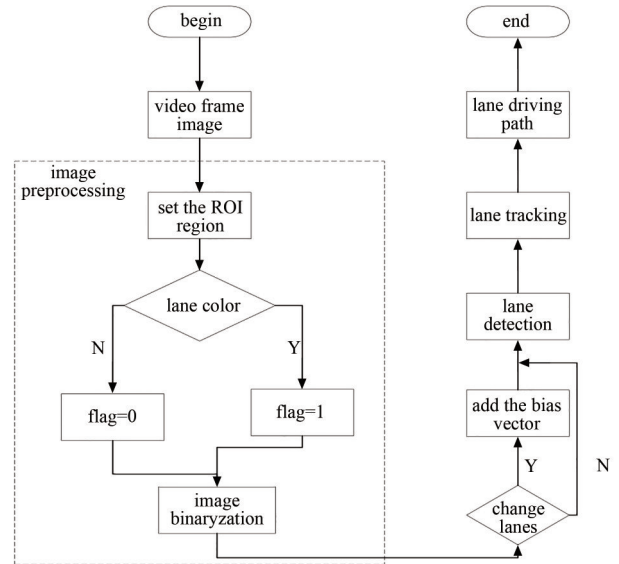


Fig.1 Flow of the proposed algorithm  
图1 算法流程图

### 2 图像预处理

#### 2.1 图像标定

有限的摄像头视角将限制检测车道线的范围，当相机发生旋转，有限的可视角度使观察的车道线偏移出图像外，使原始特征点丢失，因此采用广角摄像头作为视频采集设备。广角摄像头可以为车道线追踪创造一个超大范围的场景视角，但同时广角摄像头存在较大的畸变挑战。只有穿过镜头轴线的直线不会产生畸变，随着与镜头焦点的距离越大，产生的畸变程度也越大，因此，需要对图像帧进行图像矫正<sup>[7-8]</sup>。大畸变使普通摄像头的矫正方法不再适用，采用opencv3.0中的Fisheye算法对广角镜头进行矫正。广角镜头的内参模型可以表示为式(1)，畸变参数为(k1, k2, p1, p2)。设Q(X, Y, Z)是世界坐标系中的一点，投影在像素坐标系的二维坐标为(u,v)，矫正过程如下：

$$\begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

将世界坐标系转换为摄像机坐标系的过程如式(2)：

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \mathbf{T} \tag{2}$$

式中： $\mathbf{R}$ 为相机外参中的旋转矩阵； $\mathbf{T}$ 为平移向量。将平面模型下像素点转换为广角半球模型下的极坐标(r,θ)：

$$\begin{cases} a = x/z \text{ and } b = y/z \\ r^2 = a^2 + b^2 \\ \theta = a \tan(r) \end{cases} \tag{3}$$

畸变像素点通过(r,θ)求出对应的θ<sub>d</sub>：

$$\theta_d = \theta(1 + k_1\theta^2 + k_2\theta^4 + k_3\theta^6 + k_4\theta^8) \tag{4}$$

利用  $\theta_d$  值将摄像机坐标系的三维点重投到像素坐标系的二维图像平面内得到  $(u, v)$ ，即目标图像对应的畸变图像中像素点坐标为：

$$\begin{cases} x' = (\theta/r)x \\ y' = (\theta/r)y \\ u = f_x x' + c_x \\ v = f_y y' + c_y \end{cases} \quad (5)$$

采用双线性插值法，将畸变图像的像素点  $(u, v)$  矫正为目标图像。

## 2.2 感兴趣区域

在车道线检测中，通常采用逆透视变换(IPM)将摄像机采集到的视频帧转换为鸟瞰图，由于行车记录仪拍摄的图像除车道线信息外还有其他噪声如道路绿化、电线杆等，车道线信息多在图像的下半部分。因行车记录仪拍摄视角的原因，平行的车道线在视频帧中为“八”字形。为解决此问题，本文利用相机内部参数和外部参数，在视频帧中选取梯形的 ROI<sup>[9-10]</sup>，通过逆透视变换利用梯形 4 个顶角的像素坐标将车道线还原成宽度均匀且等距的平行线。为了方便后续处理，逆透视变换后图像的分辨率统一固定为 320×160 像素。

## 2.3 图像灰度化处理

城市道路的各种标线多为白色、黄色，车道检测便是将标线从图像中分割出来。图像分割是最常用的检测标线的方法，图像分割的过程可以视为画直方图的过程，在同一区间的像素具有相同的视觉效果。图像分割中最简明的方法是阈值法。阈值法是根据设定的阈值对灰度图像进行二值化，所以阈值的选取方法便尤为重要。在光照的影响下，白色车道线与路缘石的颜色相近，与传统灰度转换算法相比 HSV<sup>[11]</sup> 颜色空间域中的 H，更能凸显车道线的灰度特征。而黄色车道线光照变化的情况下，采用 RGB<sup>[12-13]</sup> 颜色空间对黄色车道线的灰度特征几乎没有影响。

# 3 车道线检测与车道线跟踪

## 3.1 车道线检测

经逆透视变换后的车道线不仅互相平行且车道线的起始点往往垂直于横坐标轴，但当汽车进行变道时，车道线不再垂直于横坐标轴，为了区分车道线的不垂直横坐标轴问题是因汽车进行变道还是汽车在弯道行驶所造成的，车道线的起始点和终点连接为线段  $A$ ，起始点的垂线段为线段  $B$ ， $A, B$  夹角构成  $\theta$ ；车道线的起始点和线段  $A$  的中点构成线段  $C$ ，与线段  $B$  的夹角构成  $\beta$ 。当  $|\theta - \beta| > \gamma$ ，则判定当前车辆正在进入弯道。车道线检测是将图像中的车道线像素检测出，同时去掉噪点的过程。经过二值化处理后的图像，在理想状态下，应仅保留车道线的特征像素。但在实际状况下，不可避免地会存在噪声，如车道线中的数字、文字和转向箭头信息也会被提取出来。通过像素密度图的宽度可以将数字、文字和转向箭头剔除，并确定滑动窗口搜索车道线的起始点。滑动窗口搜索算法从每个车道线的起始点从下向上移动，当车道线像素不在窗口顶部时，窗口在水平方向保持不变，继续向上移动。当车道线像素在窗口顶部时，则以车道线为中心，重新确定窗口的中心点，继续向上移动，直到图片扫描结束。窗口搜索法如式(6)所示。公式以一条车道线为例， $C_k$  为车道线的中心点， $C_0$  是根据像素密度图得到车道线的起始点。 $W_h$  为滑动窗口的高度。根据  $\theta - \beta$  的正负关系确定公式中加减号。

$$\begin{cases} y_{c_{k+1}} = y_{c_k} - W_h \\ x_{c_{k+1}} = \begin{cases} x_{c_k}, & \text{if } x_{c_{k+1}} - x_{c_k} = 0 \\ x_{c_k} \pm \frac{|x_{c_{k+1}} - x_{c_k}|}{2}, & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

## 3.2 车道线跟踪

车道线跟踪这一过程，是对车道线检测后的图像进行处理，计算相邻帧间的移动像素，从而完成车道线的拼接，最终完成行驶路段上的车道线像素点的存储。但这一过程中，背景和目标相对于视频采集装置均是运动状态，并且因为图像经过逆透视变换，即便是相同车道线在不同帧的特征点也不尽相同，因此，采用 Mean Shift 算法和光流跟踪其效果较差<sup>[14]</sup>。本文车道线所采用的方法，在车道线检测过程中，将背景进行去除，只保留了车道线像素，因此不同帧的车道线背景全为黑色，可以理解为背景固定。在车道线跟踪过程中并未以车道线像

素点为依据，因此透视变化不会对本算法造成影响，在跟踪过程中依据的是不同帧间的车道线白色像素和背景黑色像素之间的位置。对于行车记录仪拍摄的视频，车道线在前后帧之间的位置变化较小。因此，帧差法<sup>[15-16]</sup>是一种较为常用的背景固定情况下的运动目标检测算法，发生遮挡后，调用帧差法获得两帧相减的结果，如式(7)所示，式中 $f_n(x, y)$ 和 $f_{n+1}(x, y)$ 为相邻视频帧，之后采用形态学方法处理，去除噪点，获取最大腐蚀区域，将该区域作为目标检测的结果。由于行车记录仪采集的视频，背景为移动状态，车道线的特征不易捕获，因此，对帧差法进行改进，用于车道线的跟踪。改进后得帧差法的流程图，如图2所示。读入处理好的初始帧，将第一段车道线作为目标初始化，利用相邻两帧图像进行形态学处理，如果检测到目标没有发生移动，则导入下一帧图像，直到检测到目标发生移动；根据“公路工程技术标准”中车道线的长度为6 m，两条车道线间的距离为8 m，确定阈值，通过阈值得到车道线移动的像素个数。最后根据车道线标准，对车道线的损耗进行填充与修复，将车道线的像素点保存到元组中，为后续使用提供便利。

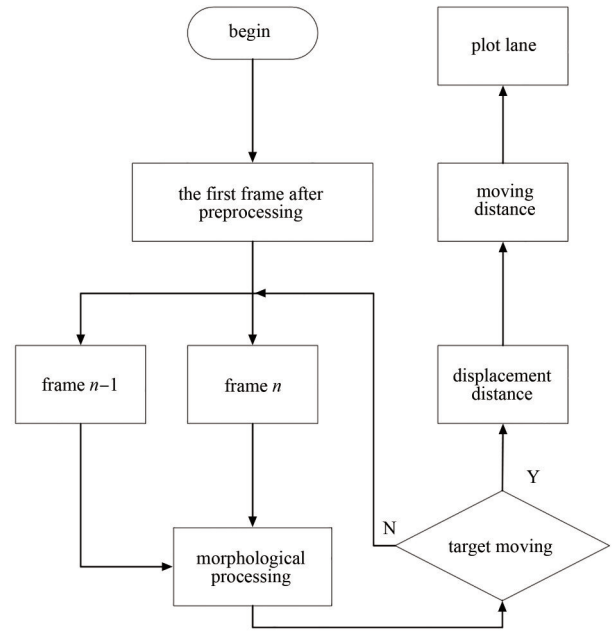


Fig.2 Flow chart of improved frame difference method  
图2 改进帧差法的流程图

$$D_n(x,y) = |f_n(x,y) - f_{n-1}(x,y)| \tag{7}$$

#### 4 实验结果

为验证本文方法的实际效果，在 Windows10 操作系统下，使用 Python 语言，在 opencv(4.1.0)、numpy(1.17.0) 和 matplotlib(2.2.2) 下进行实验。所用计算机的处理器为 Intel(R) Core(TM) i5-4200H CPU @2.80GHz，内存为 4 GB。本文使用的素材为行车记录仪 360 J501C 在石家庄桥西区拍摄的车道线视频，获取的视频参数为 1920×1080 像素，30 帧/秒。视频中涵盖了高架桥公路、城区公路等多种路况，且包含了在不同光照下的情况。连续取 10 个视频帧，跟踪车道线并将车道线的像素统计出来，车道线跟踪结果如图 3~图 4 所示。为了证明本文算法的准确性，采用准确率作为评价标准，其公式如下：

$$\text{准确率} = \frac{T}{N} \tag{8}$$

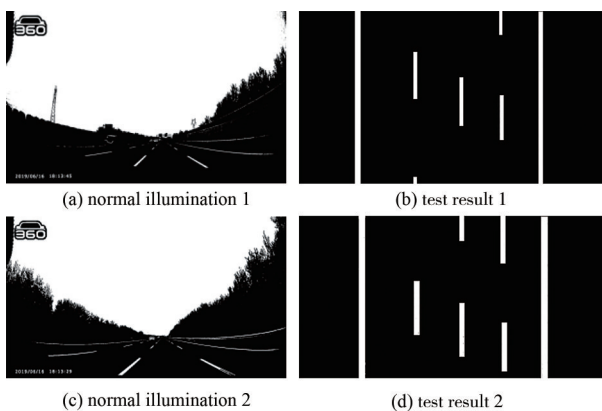


Fig.3 Test results under normal illumination  
图3 光照正常下的检测结果

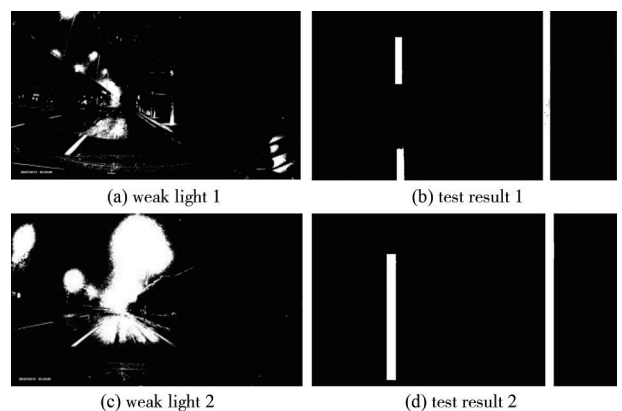


Fig.4 Test results under weak light  
图4 光照不足时的检测结果

式中： $T$ 为本算法在拍摄素材中统计出在素材内行驶路段的车道线的虚线数量； $N$ 为在拍摄素材内行驶道路上真实存在的车道线的虚线数量。如表1所示，正常光照条件下，准确率达到96.32%，平均运行时间为0.18 s；在光照不足条件的条件下，准确率为93.62%，平均运行时间为0.20 s。正常光照下3.68%的车道线和光照不足的情况

下 6.38% 的车道线出现错误,是由于车道线污损严重造成将残留车道线误判为噪声去除,还有一部分因为车道线采光问题,造成车道线在二值化过程中出现污损情况。另外,本方法采用滑动窗口法将背景和目标相对采集装置均为移动状态的问题转换为背景固定的问题,之后采用帧差法与形态学结合的方式,解决因逆透视变换出现的相同车道线在不同帧间特征点不同的问题。表 2 为本文算法与文献[5]的结果进行的对比,虽然选取的数据有所不同,但表明本算法的准确性较高且运行时间短。

表 1 准确率与实时性  
Table1 Accuracy and real-time

environmental conditions	average time/s	accuracy/%
normal lighting	0.18	96.32
lack lighting	0.20	93.62

表 2 不同算法的识别速度与准确率  
Table2 Recognition speed and accuracy of different algorithms

algorithm	average time/s	accuracy/%
this work	0.19	94.97
GAO SONG,et al. <sup>[5]</sup>	0.21	93.75

## 5 结论

本文提出的结合帧差法与窗口搜索的车道线跟踪方法,可将采集到的路段内的车道线转换为数据存储,之后与电子地图结合,便可得到与现实道路情况相同的道路地图。实验结果表明,所提算法的车道线跟踪具有较高的准确率和鲁棒性,且运行时间较短。

### 参考文献:

- [1] GURGHIAN A,KODURI T,BAILUR S V,et al. Deep lanes:end-to-end lane position estimation using deep neural networks[C]// 2016 IEEE Conference on Computation Vision & Pattern Recognition Workshops. Las Vegas,USA:IEEE, 2016:38–45.
- [2] LI J,MEI X,PROKHOROV D. Deep neural network for structural prediction and lane detection in traffic scene[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2016,28(3):1–14.
- [3] CHEN C,SEFF A,KORNHAUSER A,et al. Deep driving:learning affordance for direct perception in autonomous driving[C]// IEEE International Conference on Computer Vision. Santiago,Chile:IEEE, 2015:2722–2730.
- [4] 陈涵深,姚明海,陈志浩,等. 基于多帧叠加和窗口搜索的快速车道检测[J]. 计算机科学, 2018,45(10):255–260. (CHEN Hanshen, YAO Minghai,CHEN Zhihao,et al. Efficient method of detection based on multi-frame blending and windows searching [J]. Computer Science, 2018,45(10):255–260.)
- [5] 高嵩,何佳,戎辉,等. 一种基于车道线检测的自动驾驶预行驶区域判别方法[J]. 激光杂志, 2018,39(7):37–41. (GAO Song,HE Jia,RONG Hui,et al. An automatic driving pre-driving area classification method based on lane detection[J]. Laser Journal, 2018,39(7):37–41.)
- [6] 崔文靓,王玉静,康守强,等. 基于改进 YOLOv3 算法的公路车道线检测方法[J/OL]. 自动化学报:1–9. [2019–10–13]. <https://doi.org/10.16383/j.aas.c190178>. (CUI Wenliang,WANG Yujing,KANG Shouqiang,et al. Road lane line detection method based YOLOv3 algorithm[J/OL]. Acta Automatica Sinica:1–9. [2019–10–13]. <https://doi.org/10.16383/j.aas.c190178>.)
- [7] ABDEL-AZIZ Y,KARARA H, HAUCK M. Direction linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015,81(2):103–107.
- [8] 王文豪,高利. 一种基于 OpenCV 的车道线检测方法[J]. 激光杂志, 2019,40(1):44–47. (WANG Wenhao,GAO Li. Lane line detection based on OpenCV[J]. Laser Journal, 2019,40(1):44–47.)
- [9] WANG W,SHEN J,SHAO L.Consistent video saliency using local gradient flow optimization and global refinement[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015,24(11):4185–4196.
- [10] WANG W,SHEN J,PORIKLI F.Saliency-aware geodesic video object segmentation[C]// IEEE Computer Vision & Patten Recognition. Boston,USA:IEEE, 2015:3395–3402.
- [11] 李博川,丁轲. 结合阴影抑制的混合高斯模型改进算法[J]. 计算机工程与科学, 2016,38(3):556–561. (LI Bochuan,DING Ke. An improved algorithm of Gaussian mixture model combined with shadow suppression[J]. Computer Engineering & Science, 2016,38(3):556–561.)
- [12] 周越,陈学文. 一种改进的车道线识别算法[J]. 汽车实用技术, 2018(22):88–90. (ZHOU Yue,CHEN Xuewen. An improved lane recognition algorithm[J]. Automobile Applied Technology, 2018(22):88–90.)

- [13] 胡胜,黄妙华,陈毅. 基于二次阈值分割和车道宽度匹配的车道线检测算法[J]. 汽车技术, 2019(4):1-6. (HU Sheng,HUANG Miaohua,CHEN Yi. Lane marking detection algorithm based on double threshold segmentation and lane width[J]. Automobile Technology, 2019(4):1-6.)
- [14] 孙剑明,韩生权,赵志杰. 基于测量协方差离散Kalman滤波估计算法的视频跟踪[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(2): 244-248. (SUN Jianming,HAN Shengquan,ZHAO Zhijie. Measurement covariance discrete Kalman filter estimation algorithm for video tracking[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(2):244-248.)
- [15] 于晓明,李思颖,史胜楠. 混合高斯融合三帧差的运动目标检测改进算法[J]. 红外技术, 2019,41(3):256-261. (YU Xiaoming, LI Siying, SHI Shengnan. An improved algorithm for moving target detection using a Gaussian mixture with three-frame difference[J]. Infrared Technology, 2019,41(3):256-261.)
- [16] 岳昊恩,袁亮,吕凯. 结合帧差法与Mean Shift的抗遮挡跟踪算法[J]. 现代电子技术, 2019,42(12):180-182,186. (YUE Hao'en, YUAN Liang, LYU Kai. Anti-occlusion tracking algorithm combining frame method and Mean Shift[J]. Modern Electronics Technique, 2019,42(12):180-182,186.)

#### 作者简介:

李春明(1972-),女,石家庄市人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为智能交通、计算机视觉.  
email:fugirlim@163.com.

杨 姗(1995-),女,石家庄市人,在读硕士研究生,主要研究方向为智能交通、计算机视觉.

远松灵(1971-),男,石家庄市人,高级工程师,主要研究方向为智能交通、计算机视觉.