



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
08
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



北魏



隋



初唐

数字文化遗产研究 P968

综述

尺度不变特征变换算子综述

刘立, 詹茵茵, 罗扬, 刘朝晖, 彭复员 885

图像处理和编码

改进的H.264帧间模式选择算法

任克强, 张旭光, 罗会兰 893

均质雾天下摄像机动态标定的车速估计

宋洪军, 陈阳舟, 郜园园 901

基于人脸五官特征的空域差错掩盖算法

张江鑫, 谢晋, 邝万坤 913

采用圆谐-傅里叶矩的图像区域复制粘贴篡改检测

秦娟, 李峰, 向凌云, 殷蓓蓓 919

图像分析和识别

基于视频感知哈希的视频篡改检测与多粒度定位

朱映映, 文振焜, 杜以华, 邓良太 924

视觉注意模型的道路监控视频关键帧提取

刘云鹏, 张三元, 王仁芳, 张引 933

格拉斯曼流形上的半监督判别分析

姜伟, 陆瑶, 杨炳儒 944

精神疲劳实时监测中多面部特征时序分类模型

陈云华, 张灵, 丁伍洋, 严明玉 953

图像分类中的概率乘积核函数

杨赛, 赵春霞 961

轮廓整体结构约束的壁画图像相似性度量

唐大伟, 鲁东明, 杨冰, 许端清 968

应用色彩空间聚类方法实现道路建模

向宸薇, 王拓, 于舰 976

图像理解和计算机视觉

杂乱背景和摄像机移动下的时空兴趣点检测

刘长红, 陈勇, 王明文 982

形状和颜色混合不变量在图像检索中的应用

公明, 曹伟国, 李华 990

计算机图形学

结合统计分类和边缘特征的最优视图提取

潘翔, 陈敖, 章国栋 1004

医学图像处理

局部熵驱动下的脑MR图像分割与偏移场恢复耦合模型

张建伟, 杨红, 陈允杰, 方林, 詹天明 1011

改进的模糊聚类实质肺结节3维分割

李翠芳, 聂生东, 王远军, 孙希文, 郑斌 1019

遥感图像处理

高光谱海岸带区域分割的活动轮廓模型

王相海, 金弋博 1031

改进的基于非局部均值的极化SAR相干斑抑制

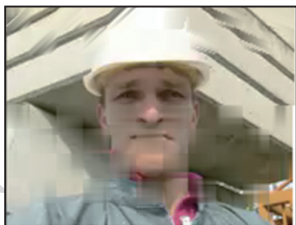
赵忠民, 赵拥军, 牛朝阳 1038

小波变换和稀疏表示相结合的遥感图像融合

刘婷, 程建 1045

《中国图象图形学报》论文摘要写作要求

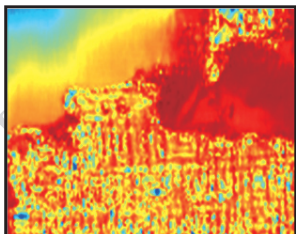
1054



基于人脸五官特征的空域差错掩盖算法 (第913页)



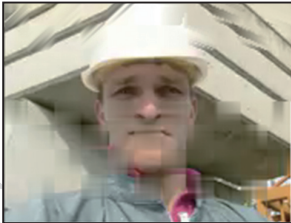
应用色彩空间聚类方法实现道路建模 (第976页)



改进的基于非局部均值的极化SAR相干斑抑制 (第1038页)

CONTENTS

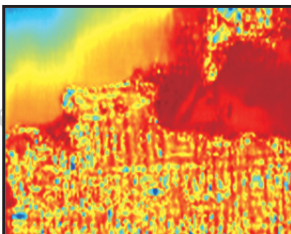
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Spatial error concealment algorithm based on the facial features (P913)



Road modeling using color spatial clustering (P976)



Improved polarimetric SAR speckle filter based on non-local means (P1038)

Review

Summarization of the scale invariant feature transform

Liu Li , Zhan Yinyin, Luo Yang, Liu Chaohui, Peng Fuyuan 885

Image Processing and Coding

Improved inter frame mode selection algorithm for H.264

Ren Keqiang, Zhang Xuguang, Luo Huilan 893

Vehicle velocity estimation based on camera calibration under homogenous fog

Song Hongjun, Chen Yangzhou, Gao Yuanyuan 901

Spatial error concealment algorithm based on the facial features

Zhang Jiangxin, Xie Jin, Kuang Wankun 913

Detection of image region copy-move forgery using radial harmonic Fourier moments

Qin Juan, Li Feng, Xiang Lingyun, Yin Changming 919

Image Analysis and Recognition

Video forgery detection and multi-granularity location based on video perceptual hashing

Zhu Yingying, Wen Zhenkun, Du Yihua, Deng Liangtai 924

Key frame extraction based on the visual attention model for lane surveillance video

Liu Yunpeng, Zhang Sanyuan, Wang Renfang, Zhang Yin 933

Semi-supervised discriminant analysis on Grassmannian manifold

Jiang Wei, Lu Yao, Yang Bingru 944

Time-series classification model based on multiple facial feature for real-time mental fatigue monitoring

Chen Yunhua, Zhang Ling, Ding Wuyang, Yan Mingyu 953

Probability product kernels in image classification

Yang Sai, Zhao Chunxia 961

Similarity metrics between mural images with constraints of the overall structure of contours

Tang Dawei, Lu Dongming, Yang Bing, Xu Duanqing 968

Road modeling using color spatial clustering

Xiang Chenwei, Wang Tuo, Yu Jian 976

Image Understanding and Computer Vision

Spatio-temporal interest point detection in cluttered backgrounds with camera movements

Liu Changhong, Chen Yong, Wang Mingwen 982

Application of combined shape and color invariants to image retrieval

Gong Ming, Cao Weiguo, Li Hua 990

Computer Graphics

Best view selection based on statistical classification and edge features

Pan Xiang, Chen Ao, Zhang Guodong 1004

Medical Image Processing

Brain MR image segmentation and bias correction model based on local entropy

Zhang Jianwei, Yang Hong, Chen Yunjie, Fang Ling, Zhan Tianming 1011

Segmentation of sub-solid pulmonary nodules based on improved fuzzy

C-means clustering

Li Cuifang, Nie Shengdong, Wang Yuanjun, Sun Xiwen, Zheng Bin 1019

Remote Sensing Image Processing

The active contour model for segmentation of coastal hyperspectral remote sensing image

Wang Xianghai, Yin Yibo 1031

Improved polarimetric SAR speckle filter based on non-local means

Zhao Zhongmin, Zhao Yongjun, Niu Chaoyang 1038

Remote sensing image fusion with wavelet transform and sparse representation

Liu Ting, Cheng Jian 1045

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)08-0901-12

论文引用格式: 宋洪军, 陈阳舟, 郜园园. 均质雾天下摄像机动态标定的车速估计[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(8): 901-912. [DOI: 10.11843/jig.20130803]

均质雾天下摄像机动态标定的车速估计

宋洪军, 陈阳舟, 郜园园

北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100124

摘要: 在均质雾天下, 利用光线传输模型中的距离信息和摄像机线性模型动态标定摄像机来计算不同天气条件下的车速, 与以往研究不同的是将均质雾天加入到交通模型。该模型只包含路面以及运动前景, 不需提取交通常见的先验信息或交通特征。首先, 在活动图的基础上利用区域搜索算法(ASA)提取感兴趣区域, 如果所选区域内像素以刃边函数的形式变化则当前天气为均质雾天; 然后, 根据暗原色先验原理计算场景透射率, 选取路面区域具有特定透射率差的 8 个点标定摄像机, 通过多帧取平均获得摄像机参数的准确值; 最后, 将行驶车辆的图像坐标变换为世界坐标得到实际速度。通过在 3 种不同天气条件下的车速计算实验结果, 验证了本文算法的有效性。

关键词: 车速估计; 暗原色先验; 摄像机标定; 均质雾天

Vehicle velocity estimation based on camera calibration under homogenous fog

Song Hongjun, Chen Yangzhou, Gao Yuanyuan

College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

Abstract: A new algorithm for vehicle velocity calculation through automatic and dynamic camera calibration is presented in this paper. The algorithm is based on distance information in the light transmission model and a camera linear model under homogenous fog. Unlike previously published works, the factor of homogenous fog is added into our traffic model. Only road plane and moving foreground are included, while painted lines and other traffic prior information could be neglected. Three major steps construct our algorithm. First, an area search method (ASM) based on activity map recognizes the current weather condition. The current weather condition is assumed to be homogenous fog if the average pixel value from top to bottom in a selected area of interest changes in the form of an edge spread function. Second, using a dark channel prior algorithm a transmission image is calculated. Intrinsic and extrinsic parameters of the camera are calculated based on the parameter calculation formula especially for our monocular model. In this step, eight key points with special transmittance for generating necessary calculation equations are selected to calibrate the camera. The mean velocity is retrieved based on velocity calculation formula by transforming coordinates from the image plane to the world coordinate plane. At the end of this paper, calibration results and vehicles velocity data for nine vehicles in different weather conditions are given. Comparison with other algorithm verifies the effectiveness of this proposed algorithm.

Key words: vehicle velocity estimation; dark channel prior; camera calibration; homogenous fog

收稿日期: 2012-06-18; 修回日期: 2013-01-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(61079001); 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2011AA110301)

第一作者简介: 宋洪军(1981—), 男, 北京工业大学模式识别与智能系统专业博士研究生, 主要研究方向为智能交通、机器视觉等。

E-mail: songhongjun2001@yahoo.cn

0 引言

过去 10 年中,智能交通(ITS)在增加道路安全以及行车舒适性方面涌现出大量的研究成果^[1]。基于道路监控摄像机精确测量车辆行驶速度是智能交通系统的一个重要研究方向。车辆检测及其速度计算方法主要分为 3 类:利用物理传感器(激光、雷达、埋管等),利用双目视觉以及单目视觉方法。

利用物理传感装置检测车辆速度已广泛应用到不同行业中,但其缺点是价格昂贵、安装复杂。通过地感线圈检测速度的方法不能获得车辆的准确速度,并且对路面有一定的破坏作用。Ki 等人^[2]采用双回路感应线圈检测车辆速度,这种方法仅仅能检测到交通场景中局部区域的车辆速度。

仅仅依靠单目摄像机,无法获得场景深度信息,通过在场景中引入平面即可在局部区域内克服这个问题^[3],大多数交通场景中的路面可以近似为平面。Lin 等人^[4]提出了一种基于运动模糊图像检测车辆速度的方法,运动模糊参数估计是估计模糊程度并用来检测运动物体的速度,然后建立了 2 维图像运动模糊信息和运动物体速度信息之间的关系,通过这种关系求取车辆速度,然而图像模糊程度同时受相机质量影响,该方法有一定局限性。Dailey 等人^[5]提出了一种通过使用非标定摄像机从视频图像序列估计车辆速度的方法。该算法通过帧间差分离运动边缘跟踪运动车辆,利用已知的车辆长度分布计算车辆实际速度。

基于摄像机单目标定的车速计算方法也有大量研究。摄像机标定是确定内部几何、光学特性(参数)以及相机相对于世界坐标系(外部参数)的 3 维位置和方向,目的是通过计算机图像坐标推断世界坐标或者摄像机坐标下的 3 维信息^[6]。摄像机标定主要分为单目以及多目(主要是双目)。近年来,摄像机标定在许多大学与科研机构有很大进展,主要分为了 3 个阶段^[7]:传统摄像机标定^[8]、主动视觉标定^[9]以及自标定方法。结合交通特定场景,Todd 等人^[10]提出了一种新的校准路边摄像机的算法,并利用校正结果计算车辆速度。首先,利用车辆的运动信息、边缘信息估计摄像机相对于路边的位置;然后,通过估计道路边缘位置以及消失点来校正摄像机;最后,将图像的像素坐标转化为世界坐标获

得车辆行驶速度。因为非结构化道路中不存在车道线,采用活动图而非传统的 Hough 变换的方法检测车道线。

传统的基于双目算法一般分为 3 步:首先,标定每个摄像机内参;其次,匹配场景中左右两幅图像中的点;最后,确定 3 维坐标变换公式参数以及场景深度信息。利用双目视觉,可以得到整个交通场景的深度和距离信息,然而算法存在运行时间过长、内存消耗大的缺点。另外,由于交通场景的特殊性(道路像素在颜色及纹理方面的相似性)使得图像匹配更加困难。

以往大多算法忽略了均值雾天下光线传输模型中固有的场景距离信息,光的传输模型将场景的距离信息、场景消光系数以及透射率联系在一起,只要求出消光系数、透射率或者它们的特定关系就可以求出场景中各点到摄像机的距离,结合距离信息标定摄像机参数计算车辆速度。本文提出一种基于均质雾天距离信息、暗原色先验原理以及摄像机线性模型的单目动态标定算法,并将其应用于车速计算。与以往的研究不同,提出的模型添加了交通场景中固有的天气因素——均质雾天。模型只包含路面以及运动车辆,略去交通常见的先验信息(比如车道线长度以及车辆尺寸等),因为在非结构化道路中往往不存在车道线,车辆尺寸也不尽相同。算法主要分为 3 个步骤:首先在活动图的基础上,利用区域搜索算法(ASA)选择判别区域识别当前天气;然后,根据暗原色先验原理计算场景透射率,选取路面上透射率差最大与最小的 8 个特殊点生成两个线性方程、一个二次方程以及一个三角方程标定摄像机,并通过多帧取平均的方法获得摄像机参数的准确值;最后,提取并跟踪前景车辆,将图像坐标转化为世界坐标,计算车辆行驶的速度。

1 基于活动图及感兴趣区域选择的均质雾天识别

均质雾天是一种常见的天气现象,根据中国气象局的官方统计数字,在所有天气中高达 40%,因而算法具有广泛的应用基础,基于交通实际做出以下几个假设以简化模型:

1)道路简化为平面,车辆运动被限定在道路平面上;

2) 道路中存在运动车辆, 雾的浓度可以检测到移动物体, 能够形成场景活动图;

3) 车辆的行驶速度是一个有限值。

1.1 雾天条件下光线传输模型

光在雾天传播过程中透过散射介质沿原来的方向发生衰减并被散射到场景其他方向上。通常假设短距离传播偏转光和距离之间存在线性关系, Koschmieder 于 1924 年提出的雾天图像模型^[11], 在计算机视觉领域被广泛采用, 如图 1 所示。

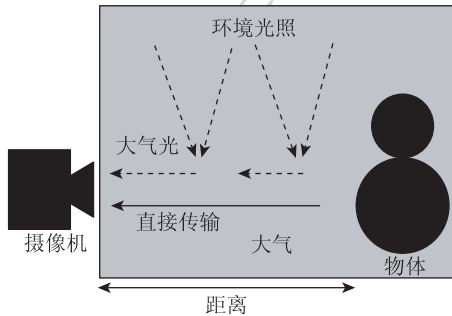


图 1 雾天光线传输模型

Fig. 1 Atmospheric scattering model

Koschmieder 指出物体固有光照强度与观测到的光强之间存在关系

$$I(\mathbf{x}) = t(\mathbf{x})J(\mathbf{x}) + (1 - t(\mathbf{x}))A \quad (1)$$

式中, $I(\mathbf{x})$ 为入射光衰减后到达传感器的光强度, $t(\mathbf{x})$ 表示场景点 $\mathbf{x}$ 处的透射率, $J(\mathbf{x})$ 为物体原光线强度, A 表示大气光强度。特别地对均质雾天

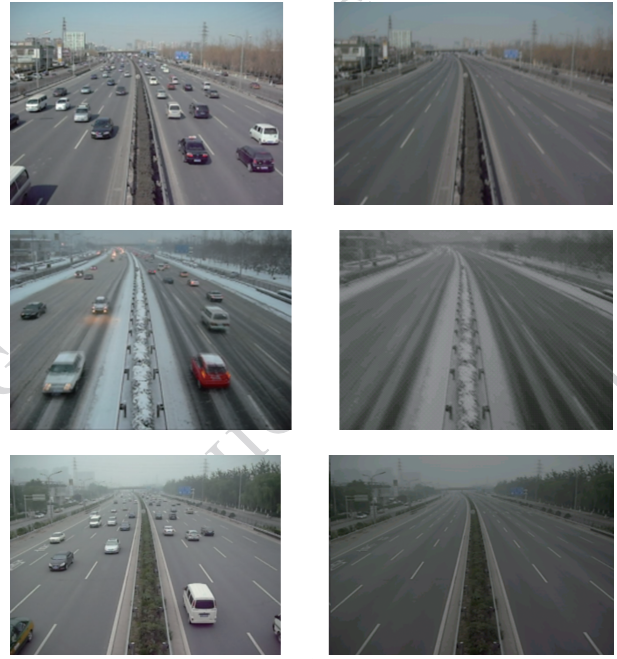
$$t(\mathbf{x}) = e^{-k d(\mathbf{x})} \quad (2)$$

式中, k 表示消光系数 $d(\mathbf{x})$ 为场景点 $\mathbf{x}$ 到观测器的距离。根据式(2), 对于道路区域以及天空区域, 由于图像像素的相似性, 自上到下像素将以刃边函数的形式变化。

背景生成的主要思想是收集背景图像信息建立背景模型, 常见的如混合高斯模型^[12]等。建立并更新背景模型对算法整体性能起关键作用。然而, 背景更新算法还应该考虑到时间消耗, 在保证背景精度的前提下选择时间消耗小的算法。采用 OpenCV 中的 `cvRunningAvg` 生成和更新交通场景背景图像。图 2 给出了 3 种天气条件下 3 帧交通图像以及相应的背景图像。

1.2 基于灰度共生矩阵的特征提取

由于道路区域、天空区域、树木区域纹理不同 (见图 3), 可以根据纹理特征提取天空区域, 通过灰度共生矩阵共提取 5 个纹理特征分别为



(a) 原始交通图像

(b) 背景图像

图 2 3 种天气条件下的交通图像及背景图像

Fig. 2 Traffic images and background images under three weather conditions



(a) 天空纹理

(b) 道路纹理

(c) 树木纹理

图 3 交通场景中的常见纹理

Fig. 3 Common textures in traffic image

1) 二阶距

$$ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p^2(i, j) \quad (3)$$

式中, $p(i, j)$ 表示差分图像的灰度共生矩阵像素值。

2) 对比度

$$CON = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j) \quad (4)$$

式中, $|i - j| = n$ 。

3) 熵

$$ENT = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j) \lg p(i, j) \quad (5)$$

4) 方差

$$VAR = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i - m)^2 p(i, j) \quad (6)$$

式中, m 表示灰度共生矩阵的平均值。

5) 逆差距

$$IDM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{p(i,j)}{1 + (i-j)^2} \quad (7)$$

这 5 个参数组成特征向量。

1.3 区域搜索算法

1) 根据活动图确定路面区域

活动图是通过相邻帧差求平均计算场景的运动区域,用来确定车辆的位置^[13],同时可以用来确定车道以及路面,即

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |I_i - I_{i+1}| \quad (8)$$

式中, M 表示活动区域, N 表示参与平均的帧数, I_i 表示第 i 帧图像。如图 4(b) 所示, 白色像素表示路面, 黑色像素表示其他场景。

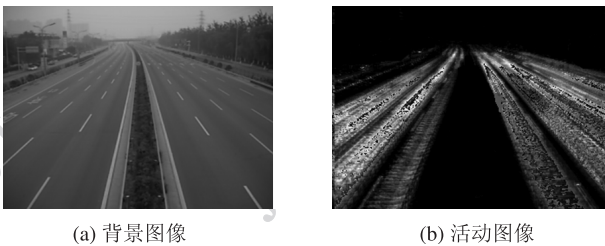


图 4 背景及活动图

Fig. 4 Background and activity image

2) 基于纹理特征搜索感兴趣区域

手动提取天空区域并计算纹理值作为天空模板, 本文图像尺寸统一为 320×240 , 具体步骤如下:

(1) 在活动图中自底向上搜索白色像素, 将搜索得到的白色像素纵坐标的最小值保存下来, 设为 L , 纵坐标 0 到 L 部分表示天空候选区域(可能包括部分非天空场景), 纵坐标 L 到 240 部分表示路面候选区域(包含树木等场景)。

(2) 由于实际场景中天空候选区域往往存在桥梁、灯塔等障碍, 需要根据纹理特征对天空候选区域自上到下提取天空图像: 初始化搜索窗口尺寸为 8×6 , 自上到下逐像素移动窗口, 每一个窗口计算纹理特征并与天空模板匹配, 每一行保存与天空模板纹理差最小的区域, 直到纵坐标达到 L , 将这些区域记为 $B_i (i=1, 2, \dots, L)$, 每一区域内像素平均值记为 $P_i (i=1, 2, \dots, L)$ 。

(3) 在纵坐标 L 到 240 范围内, 对每一行位于路面上(活动图上的白色像素点)的像素随机选择

一个窗口区域, 尺寸仍然为 8×6 并将该窗口记为 $B_i (i=L+1, L+2, \dots, 240)$, 所选区域内像素平均值记为 $P_i (i=L+1, L+2, \dots, 240)$ 。

最后, 在背景图像上找到了天空区域与路面区域的像素平均值, 在均质雾天下, 像素自顶向下随着纵坐标的增加将呈现刃边函数的形状。

算法在不同天气条件进行测试, 测试天气包括晴天、雪天和均质雾天, 测试视频取自架设在同一位置下的固定摄像机。图 5 给出了晴天、雪天和均质雾天的背景以及根据 ASA 算法提取的感兴趣区域, 为清楚起见所提取区域已被放大。图 6 给出了相应区域的像素曲线拟合图, 从图 6 中可以看出, 均匀雾天下的像素拟合曲线呈刃边函数, 而晴天、雪天条件下的拟合曲线则没有规律。



图 5 3 种天气条件下交通背景及相应提取区域

Fig. 5 Traffic background images and the extracted areas under three weather conditions

为验证算法的鲁棒性, 采集雾雨混合天气下相同场景的视频图像, 将雨滴视为噪声, 实验表明雾雨混合天气条件下拟合曲线形状仍近似为刃边函数。图 7 给出了 1 幅雾雨混合天气条件下基于 cvRunningAvg 算法生成的背景及相应感兴趣区域提取结果, 图 8 给出了对应的曲线拟合结果。从图 8 中可以看出提出的区域搜索以及识别算法具有较好的鲁棒性。

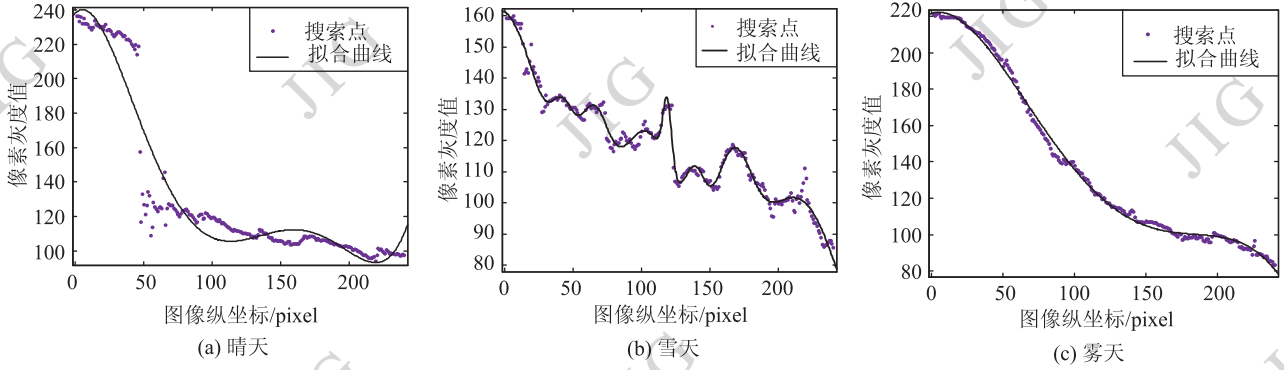


图6 曲线拟合结果

Fig. 6 Results of curve fitting

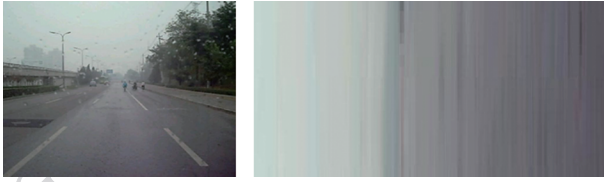


图7 雾雨混合天气条件下背景及相应区域提取结果

Fig. 7 The background image and the extracted area under rain and fog

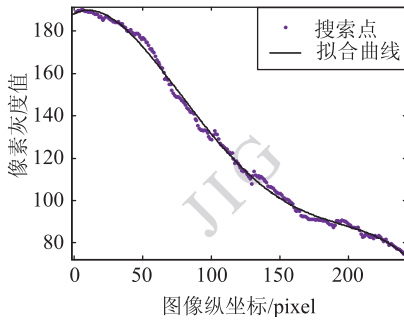


图8 所提取区域的曲线拟合结果

Fig. 8 Curve fitting result of the extracted area

2 交通场景下摄像机校正模型

仅仅借助于单目摄像机,无法获取图像深度信息,当场景限定在一个平面上时,可以求取平面部分坐标点的深度信息^[14]。

2.1 坐标变换关系

通过针孔模型,世界坐标系中的坐标映射到图像平面存在关系

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$M_1 M_2 X_w = M X_w \quad (9)$$

式中, $\alpha_x = f/dx$ 、 $\alpha_y = f/dy$ 表示摄像机参数, M 表示一个 3×4 矩阵, (X_w, Y_w, Z_w) 为世界坐标。 R 表示坐标旋转矩阵, u_0, v_0 为摄像机成像中心, f 为摄像机焦距。 u, v 代表摄像机图像横纵坐标; t 为平移向量; dx, dy 为单个像素所表示的实际场景中横向,纵向距离。

2.2 均质雾天交通成像模型

针对交通问题,提出一种基于均质雾天的单目摄像机模型(图9)。假设摄像机距离路面的高度为 h , h 在摄像机内参标定后通过雾天信息计算得到。摄像机俯角为 φ , L_1, L_2 表示道路分界线, θ 表示摄像机所在竖直平面与道路平面的夹角。光轴与路面上的交点选为世界坐标系的原点, Z_w 垂直于路面, Y_w 为摄像机竖直平面与路面的交线。为便于坐标推导,引入 $U-V-W$ 坐标系, U 轴平行于 X_w , V 轴、 W 轴分别由 Z_w 轴与 Y_w 旋转角度 φ 所得。通过计算可以得到摄像机与世界坐标系原点间的距离 $F = h \times \csc \varphi$ 。

通过式(9)解出摄像机像素坐标系与世界坐标系之间存在关系

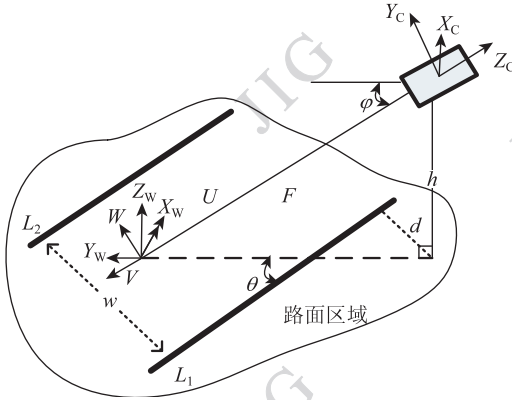


图9 均质雾天单目模型

Fig. 9 Monocular model of under homogenous fog

$$\frac{u - u_0}{\alpha_x} = -\frac{X_c}{Z_c} \quad (10)$$

$$\frac{v - v_0}{\alpha_y} = -\frac{Y_c}{Z_c} \quad (11)$$

根据 U - V - W 坐标系与 X_c - Y_c - Z_c 之间的旋转关系,得到

$$\begin{cases} U = X_w \\ V = Y_w \times \cos \varphi - Z_w \times \sin \varphi \\ W = Y_w \times \sin \varphi + Z_w \times \cos \varphi \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} X_c = U = X_w \\ Y_c = W = Y_w \times \sin \varphi \\ Z_c = -V - F = -Y_w \times \cos \varphi - F \end{cases} \quad (13)$$

结合式(10)~(11),得

$$\begin{aligned} u - u_0 &= -\alpha_x \frac{X_c}{Z_c} = \\ -\alpha_x \frac{X_w}{-Y_w \times \cos \varphi - F} &= \frac{\alpha_x \times X_w}{F + Y_w \times \cos \varphi} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} v - v_0 &= -\alpha_y \frac{Y_c}{Z_c} = \\ -\alpha_y \frac{Y_w \times \sin \varphi}{-Y_w \times \cos \varphi - F} &= \frac{\alpha_y \times Y_w \times \sin \varphi}{F + Y_w \times \cos \varphi} \\ \frac{\sin \varphi \times \alpha_y}{v - v_0} &= \frac{F + v \times \cos \varphi}{Y_w} \end{aligned} \quad (15)$$

$$Y_w = \frac{h \times (v - v_0)}{\sin \varphi \times [\sin \varphi \times \alpha_y - \cos \varphi \times (v - v_0)]} \quad (16)$$

将式(16)代入到式(13)中得

$$Z_c = \frac{-h \times (v - v_0) \times \cos \varphi}{\sin \varphi \times [\sin \varphi \times \alpha_y - \cos \varphi \times (v - v_0)]} - \frac{h}{\sin \varphi} \quad (17)$$

3 摄像机标定与速度估计

3.1 基于暗原色原理估测透射率

对于绝大多数图像而言,在非天空区域里,总有一些像素在至少一个颜色通道中具有很低的值^[15]。在被雾干扰的图像里,这些暗像素的强度值会被大气中的白光成分所充斥而变得较高,能够直接用来估计雾天气光的透射率信息。

对于一幅图像,定义

$$J^{\text{dark}}(\mathbf{x}) = \min_{c \in \{R, G, B\}} \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} J^c(\mathbf{y}) \quad (18)$$

式中, $J^c(\mathbf{y})$ 代表 J 的某一个颜色通道, $\Omega(\mathbf{x})$ 是以 $\mathbf{x}$ 为中心的图像上的一块方形区域。除天空区域外其他区域的 $J^{\text{dark}}(\mathbf{x})$ 总是很低趋近于 0。如果 $J(\mathbf{x})$ 是户外的无雾图像,把 $J^{\text{dark}}(\mathbf{x})$ 称为 $J(\mathbf{x})$ 的暗原色信息,并且把以上观察得出的经验性规律称为暗原色先验原理。

对式(18)3个颜色通道分别取最小运算得

$$\min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} J^c(\mathbf{y}) = t(\mathbf{x}) \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} J^c(\mathbf{y}) + (1 - t(\mathbf{x})) A^c \quad (19)$$

式(19)两边同除以 A^c 得

$$\min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} = t(\mathbf{x}) \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} + (1 - t(\mathbf{x})) \quad (20)$$

式(20)对3个颜色通道进行最小运算操作得

$$\min_c \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} = t(\mathbf{x}) \min_c \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} + (1 - t(\mathbf{x})) \quad (21)$$

由暗原色先验原理可知暗原色应当趋于零,因此得

$$J^{\text{dark}}(\mathbf{x}) = \min_c \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} J^c(\mathbf{y}) = 0 \quad (22)$$

将式(22)代入式(21)中,得到

$$t(\mathbf{x}) = 1 - \min_c \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} \quad (23)$$

如前所述,暗原色先验对图像天空区域不成立,但由于在带雾的图像中天空的光照与同大气光强度 A 非常接近,所以对于图像的天空区域有

$$\min_c \min_{y \in \Omega(\mathbf{x})} \left(\frac{J^c(\mathbf{y})}{A^c} \right) \rightarrow 1 \quad (24)$$

将式(24)代入式(23),则

$$t(\mathbf{x}) \rightarrow 0 \quad (25)$$

另一方面,由于天空光线来自无穷远处,所以根据式(25),其透射率趋近于 0,与式(23)求得的天

空区域光线强度相同,因而式(25)对于天空区域与非天空区域都适用。

选取了3种不同场景下均值雾天时的背景,按照暗原色原理求取图像上个点的透射率,将透射率映射到[0-255]范围内作为图像显示,计算结果如图10所示。

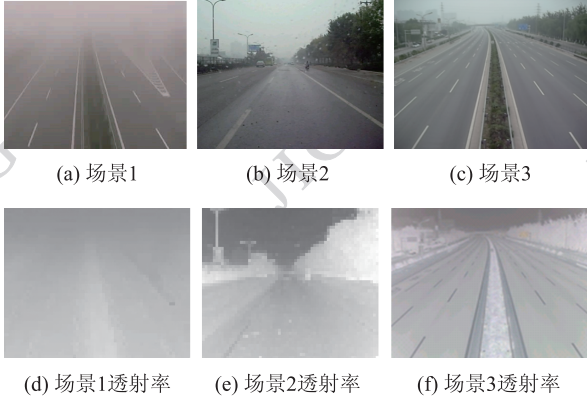


图10 3种雾天场景下的背景及其透射率图像

Fig. 10 Three transitions images under different weather

3.2 基于透射率的摄像机参数校正

将式(2)变形为

$$d(\mathbf{x}) = \frac{\ln t(\mathbf{x})}{-k} \quad (26)$$

路面上任何一点到摄像机的距离 $d(\mathbf{x})$ 可以由该点的摄像机坐标得到,即

$$d(\mathbf{x}) = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2 + Z_c^2} \quad (27)$$

式(27)的方程两边平方后分别除以 Z_c^2 得

$$\frac{X_c^2}{Z_c^2} + \frac{Y_c^2}{Z_c^2} + 1 = \frac{d^2(\mathbf{x})}{Z_c^2} \quad (28)$$

将式(10)(11)代入式(28)得

$$\left(\frac{u-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1 = \frac{d^2(\mathbf{x})}{Z_c^2} \quad (29)$$

由于消光参数 k 是未知,根据式(26)对于图像上每一点距离 $d(\mathbf{x})$ 仍然未知,为减少未知数个数,可以同时考虑路面上的两个点通过做商的方法消去参数 k ,即

$$\left(\frac{u_1-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_1-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1 = \frac{d^2(\mathbf{x}_1)}{Z_{1c}^2} \quad (30)$$

$$\left(\frac{u_2-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_2-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1 = \frac{d^2(\mathbf{x}_2)}{Z_{2c}^2} \quad (31)$$

式中, $d(\mathbf{x}_1) = \frac{\ln t(\mathbf{x}_1)}{-k}$, $d(\mathbf{x}_2) = \frac{\ln t(\mathbf{x}_2)}{-k}$, 点 $\mathbf{x}_1$ 与 $\mathbf{x}_2$ 同时位于图像路面上。由式(30)(31)得

$$\frac{\left(\frac{u_1-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_1-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1}{\left(\frac{u_2-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_2-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1} = \left[\frac{\ln t(\mathbf{x}_1)}{\ln t(\mathbf{x}_2)}\right]^2 \times \frac{Z_{2c}^2}{Z_{1c}^2} \quad (32)$$

将式(17)代入式(32)化简得

$$\frac{\left(\frac{u_1-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_1-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1}{\left(\frac{u_2-u_0}{\alpha_x}\right)^2 + \left(\frac{v_2-v_0}{\alpha_y}\right)^2 + 1} = \left[\frac{\ln t(\mathbf{x}_1)}{\ln t(\mathbf{x}_2)}\right]^2 \times \left[\frac{\sin \varphi \times \alpha_y - \cos \varphi \times (v_1-v_0)}{\sin \varphi \times \alpha_y - \cos \varphi \times (v_2-v_0)}\right]^2 \quad (33)$$

假设摄像机参数存在关系: $\alpha_x = \alpha_y = \alpha$, 代入式(33)得

$$\frac{(u_1-u_0)^2 + (v_1-v_0)^2 + \alpha^2}{(u_2-u_0)^2 + (v_2-v_0)^2 + \alpha^2} = \left[\frac{\ln t(\mathbf{x}_1)}{\ln t(\mathbf{x}_2)}\right]^2 \times \left[\frac{\sin \varphi \times \alpha - \cos \varphi \times (v_1-v_0)}{\sin \varphi \times \alpha - \cos \varphi \times (v_2-v_0)}\right]^2 \quad (34)$$

式(34)是一个二次方程混合三角方程,共有 α 、 u_0 、 v_0 以及 φ 4个未知数,不易求解。通过采集特殊点可将方程简化为一次方式。具体方法是选择具有特殊性质的点,以使 $t(\mathbf{x}_1) = t(\mathbf{x}_2)$, 并且点 $\mathbf{x}_1$ 与 $\mathbf{x}_2$ 位于图像活动图的同一行上。对于满足这些条件的点,式(34)简化为

$$(u_2-u_1) \times u_0 + (v_2-v_1) \times v_0 = \frac{(u_2^2+v_2^2) - (u_1^2+v_1^2)}{2} \quad (35)$$

摄像机校正之后可以反求3维坐标用于计算交通参数,摄像机坐标系与世界坐标系下的坐标分别表示为

$$\begin{cases} X_c = \frac{H \times (u-u_0)}{\sin \theta \times \alpha_y - \cos \theta \times (v-v_0)} \\ Y_c = \frac{H \times (v-v_0)}{\sin \theta \times \alpha - \cos \theta \times (v-v_0)} \\ Z_c = \frac{-H \times (v-v_0) \times \cos \theta}{\sin \theta \times [\sin \theta \times \alpha - \cos \theta \times (v-v_0)]} - \frac{H}{\sin \theta} \end{cases} \quad (36)$$

$$\begin{cases} X_w = \frac{H \times (u-u_0)}{\sin \theta \times \alpha - \cos \theta \times (v-v_0)} \\ Y_w = \frac{H \times (v-v_0)}{\sin \theta \times [\sin \theta \times \alpha - \cos \theta \times (v-v_0)]} \\ Z_w = 0 \end{cases} \quad (37)$$

式中, H 为摄像机距离地面高度。

3.3 校正摄像机参数

选择路面特殊点, 分 3 步校正摄像机参数:

1) 校正参数 u_0 以及 v_0

在道路平面上提取 4 个点 (两对) 计算参数。假设路面区域的起始行号为 L , 从 L 行到 240 行每 1 行选取两个具有最小透射率差的点对, 假设选择结果为 $(P_{i,1}, P_{i,2})$, $i = L, L+1, \dots, 240$ 。保存这些点的坐标以及透射率信息, 在这些点对中选择两对具有最小透射率差的点, 分别设为 $(P_{a,1}, P_{a,2})$ 与 $(P_{b,1}, P_{b,2})$, a, b 表示行号。代入式 (35) 计算参数 u_0, v_0 。

2) 校正参数 α 及 φ

在步骤 1) 计算的基础上, 在 A, B 行各选一对透射率差值最大的点, 假设为 $(P_{a,3}, P_{a,4})$ 、 $(P_{b,3}, P_{b,4})$ 。代入式 (34) 求出参数 α 及 φ 。

3) 多帧平均

对每 1 个帧图像计算透射率并分别求取摄像机参数 u_0, v_0, α 及 φ , 将多帧平均值作为参数校正的最终结果。

3.4 计算摄像机架设高度 h

为计算摄像机架设高度 h , 通过活动图与路面纹理特征选择道路区域内的两个点, 设所选点为 p_1, p_2 。根据式 (26) (27), 分别有

$$d(p_1) = \ln t(p_1) / (-k) \quad (38)$$

$$d(p_2) = \ln t(p_2) / (-k)$$

$$d(p_1) = \sqrt{X_c^2(p_1) + Y_c^2(p_1) + Z_c^2(p_1)} \quad (39)$$

$$d(p_2) = \sqrt{X_c^2(p_2) + Y_c^2(p_2) + Z_c^2(p_2)}$$

将式 (38) (39) 变形求出

$$k = -\frac{\ln t(p_1)}{d(p_1)} = -\frac{\ln t(p_2)}{d(p_2)} \quad (40)$$

联立式 (39) (40), 得

$$\frac{\ln t(p_1)}{\ln t(p_2)} = \frac{\sqrt{X_c^2(p_1) + Y_c^2(p_1) + Z_c^2(p_1)}}{\sqrt{X_c^2(p_2) + Y_c^2(p_2) + Z_c^2(p_2)}} \quad (41)$$

在已求得摄像机参数 α, u_0, v_0 以及 φ 的情况下, 将式 (36) (37) 代入式 (41) 仅含有一个未知数 H , 可以方便解出, 通过多帧取平均得到 H 的准确解。

3.5 速度估计

路面上的点到摄像机的距离可以通过相应世界

坐标计算得到, 即

$$D_x = \sqrt{X_w^2 + Y_w^2 + Z_w^2} \quad (42)$$

通过距离差可以获得运动车辆的距离信息, 相应的速度信息

$$V_i = \frac{\Delta D_i}{T_i} \quad (43)$$

式中

$$\Delta D_i = \sqrt{(X_{w1} - X_{w2})^2 + (Y_{w1} - Y_{w2})^2 + (Z_{w1} - Z_{w2})^2},$$

表示所检测车辆在两个时刻下世界坐标所代表的实际距离。

4 结果与分析

车速检测算法流程包括 3 个模块, 分别是均质雾天识别模块、摄像机标定模块以及车速计算模块, 各模块包含若干子模块, 参见图 11。

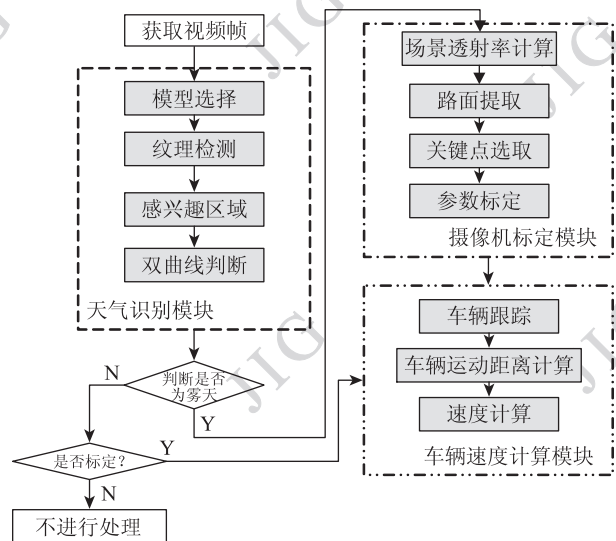


图 11 算法流程

Fig. 11 Algorithm flowchart

测试视频包括两个部分: 第 1 部分全部来自均值雾天场景, 共 1 500 帧, 用于摄像机标定; 第 2 部分视频与第 1 部分拍摄场景相同, 拍摄位置以及拍摄视角也大致相同, 包含 3 种不同天气, 共计 1 500 帧图像, 其中晴天、雾天、雪天各占 500 帧。由于背景生成和更新算法的延时性, 本文所提出的摄像机标定算法在第 1 部分视频的第 500 帧之后进行。表 1—表 3 给出了第 1 部分均质雾天视频分别第 500 帧、第 600 帧以及第 800 帧为摄像机标定所搜索得到的 8 个点的图像坐标。为方便起见, 3 帧图

表 1 均质雾天下第 500 帧图像标定点提取结果

Table 1 Point extraction results for frame 500 under homogenous fog

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
u	34	250	37	266	95	224	12	232
v	82	82	193	193	80	80	190	190

表 2 均质雾天下第 600 帧图像标定点提取结果

Table 2 Point extraction results for frame 600 under homogenous fog

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
u	69	230	52	83	52	120	238	264
v	82	82	114	114	81	81	122	122

表 3 均质雾天下第 800 帧图像标定点提取结果

Table 3 Point extraction results for frame 800 under homogenous fog

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
u	8	34	280	316	10	29	12	56
v	160	160	178	178	160	160	179	179

像所选的点统一命名为 $x_i (i=1, \dots, 8)$ 。表 4 为均质雾天下摄像机多帧矫正结果。式(44)—(46)对应给出了根据所选点所生成的方程。

$$\begin{cases} 3\ 293u_0 + 31v_0 - 511\ 122 = 0 \\ -245u_0 + 156v_0 + 18\ 571 = 0 \\ 0.38u_0^2 + 348u_0 + 0.38v_0^2 - \\ 294v_0 + 0.36\alpha^2 - 93\ 946.1 = 0 \\ \sin \theta - 0.218\cos \theta = 0 \\ \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \end{cases} \quad (44)$$

$$\begin{cases} 2\ 938u_0 + 49v_0 - 440\ 655 = 0 \\ -342u_0 + 248v_0 + 21\ 881 = 0 \\ 0.24u_0^2 + 354u_0 + 0.23v_0^2 - 164v_0 + \\ 0.14\alpha^2 - 62\ 301.6 = 0 \\ \sin \theta - 0.224\cos \theta = 0 \\ \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \end{cases} \quad (45)$$

$$\begin{cases} 1\ 931u_0 + 36v_0 - 296\ 214 = 0 \\ -494u_0 + 248v_0 + 40\ 044 = 0 \\ 0.33u_0^2 + 249u_0 + 0.34v_0^2 - 193v_0 + \\ 0.28\alpha^2 - 65\ 944.5 = 0 \\ \sin \theta - 0.230\cos \theta = 0 \\ \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \end{cases} \quad (46)$$

为验证本文标定算法的有效性,将结果分别与基于利用路面消失点标定摄像机的方法(郭算法)^[16-17]以及 Todd 算法进行了比较,比较结果见

表 5。图 12 给出了参数标定统计结果,结果显示本文算法准确且波动幅度小。

表 4 均质雾天下摄像机多帧校正结果

Table 4 Camera parameter calibration result under fog

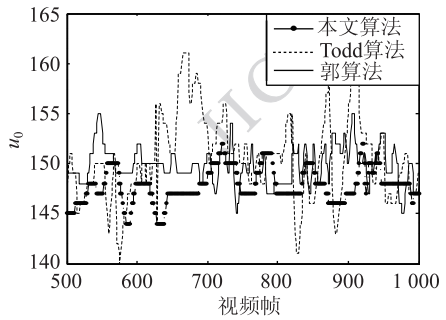
帧数	u_0	v_0	$\varphi/(^{\circ})$	α	h/m
第 500 帧	152	122	12.2	370	5.9
第 600 帧	148	116	12.6	369	5.8
第 800 帧	151	118	13	368	6.1
多帧平均	150.4	119.5	12.35	368.9	5.91

表 5 3 种不同算法参数计算结果

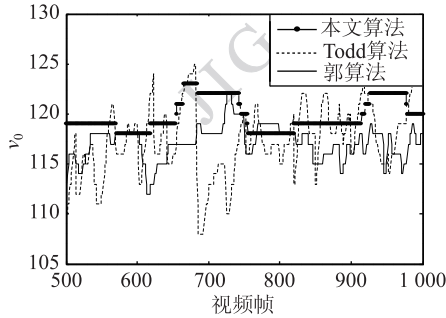
Table 5 Parameter results by three different algorithms

方法	u_0	v_0	$\varphi/(^{\circ})$	α	h/m
Todd 算法	156	121	14.3	370	6.2
郭算法	154	123	12.1	366	6.3
本文算法	150	119	12.3	368.9	5.91

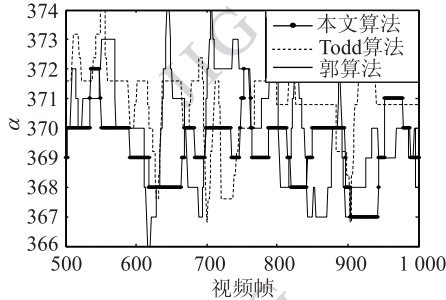
在车速计算阶段,在第 2 部分视频的晴天、雪天以及雾天下各统计了 3 辆车的计算结果。为方便起见,在图 13—图 15 中。统一标记左侧图像为 FL,中间图像为 FM,右侧图像为 FR。同时将视频序列 FL 到 FM 时间过程记为 LTM,FM 到 FR 时间过程记为 MTR。所列表格中,“实际”表示经过人工测量得到的距离数据,“标定”表示经过摄像机标定所得到的距离或速度数据。实际距离采用的是交通现场的距离测量。



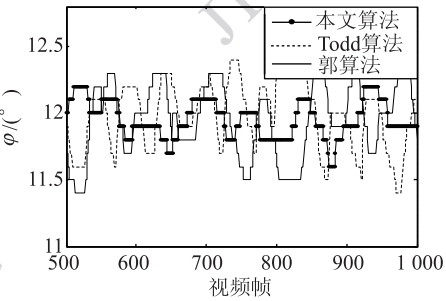
(a) 摄像机参数 u_0 校正结果比较



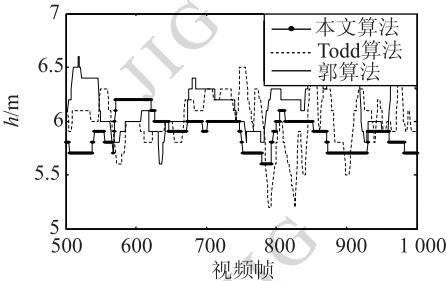
(b) 摄像机参数 v_0 校正结果比较



(c) 摄像机参数 α 校正结果比较



(d) 摄像机参数 φ 校正结果比较



(e) 摄像机参数 h 校正结果比较

图 12 摄像机参数校正统计结果比较

Fig. 12 Comparison of camera parameter calibration results



图 13 晴天车辆提取与跟踪结果

Fig. 13 Vehicle detection and tracking results in sunny



图 14 雪天车辆提取与跟踪结果

Fig. 14 Vehicle detection and tracking results in snow



图 15 雾天车辆提取与跟踪结果

Fig. 15 Vehicle detection and tracking results in fog

根据视频序列与时间之间的关系,分别计算晴天 3 帧视频图像的时间消耗,晴天天气下(图 13) LTM 过程耗时 300 ms, MTR 过程耗时 580 ms。表 6 和表 7 分别给出了车辆距离和速度计算结果。统计表明本文算法获得的速度准确率达到 86% 以上。

表 6 晴天背景下车辆距离数据

Table 6 Vehicle distance data in sunny

车辆	/m					
	实际值			标定值		
	FL	FM	FR	FL	FM	FR
CS. A	15.8	12.8	6.7	15.2	12.8	6.9
CS. B	2	8.1	14	1.9	8.2	14.3
CS. C	15.4	19.3	28.6	19.7	15.5	28.8

表 7 晴天背景下车辆速度数据

Table 7 Vehicle velocity data in sunny

车辆	LTM/(km/h)		准确 率 /%	MTR/(km/h)		准确 率 /%
	实际	标定		实际	检测	
CS. A	36	31.4	87.2	31.4	36.6	85.2
CS. B	73.2	75.6	96.8	36.6	37.8	96.8
CS. C	46.8	50.4	96.4	57.7	56.4	97.7

图 14 给出雪天天气下车辆提取与跟踪结果, 相应的 LTM 过程耗时 1 500 ms, MTR 过程耗时 1 800 ms, 表 8 和表 9 分别列出了两个过程下车辆的距离和速度计算结果。

表 8 雪天背景下车辆距离数据
Table 8 Vehicle distance data in snow

车辆	实际值			标定值		
	FL	FM	FR	FL	FM	FR
CN. A	41.2	30.4	16.1	41	30.8	16.9
CN. B	7.2	19	38	7.4	19.8	44
CN. C	15.4	38.4	43.2	15.1	38.6	42.9

表 9 雪天背景下车辆速度数据
Table 9 Vehicle velocity data in snow

车辆	LTM/(km/h)		准确率 /%	MTR/(km/h)		准确率 /%
	实际	标定		实际	标定	
CN. A	25.9	24.5	94.5	28.6	27.8	97.2
CN. B	28.3	29.7	95.2	45.6	48.4	94.2
CN. C	55.2	56.4	97.8	9.6	8.6	89.5

图 15 给出了雾天天气下车辆提取与跟踪结果, LTM 过程耗时 1 800 ms, MTR 过程耗时 800 ms, 表 10、表 11 给出了这两个过程下车辆平均速度的计算结果。

表 10 均质雾天背景下车辆距离数据
Table 10 Vehicle distance data in fog

车辆	实际值			标定值		
	FL	FM	FR	FL	FM	FR
CF. A	46.4	21	16	46.0	19.8	15.4
CF. B	41	18	10	40.6	19.1	10.9
CF. C	8	28	39.4	8.1	28.6	41.1

表 11 均质雾天背景下车辆速度数据
Table 11 Vehicle velocity data in fog

车辆	LTM/(km/h)		准确率 /%	MTR/(km/h)		准确率 /%
	实际	标定		实际	标定	
CS. A	50.8	52.4	96.9	22.5	19.8	88.1
CS. B	44	43	97.7	36	36.9	97.5
CS. C	40	41	97.5	51.3	56.2	91.3

本文算法在一台处理器为 2.0 GHz 的 Intel Pentium 4 Processor 的 PC 机上运行, 处理图像的尺寸统一为 320 × 240。算法的 3 个主要阶段(同质雾天识别、摄像机参数标定以及速度计算)分别耗时 10 ms、10 ms、6 ms。处理 1 帧 320 × 240 的图像大约需要 26 ms, 满足视频的实时性处理要求。

5 结 论

基于均质雾天信息结合暗原色先验原理动态标定单目摄像机, 利用校正后的摄像机计算各种天气下的车速。不同于以往的研究, 提出的交通模型添加了均质雾天因素, 提取雾天天气下暗含的场景距离信息, 同时该模型只包含路面以及运动车辆, 不需要交通常见的先验信息(比如车道线长度以及车辆长度等), 适用于非结构化道路中。通过 3 种天气条件下的视频车速估计结果验证了本文算法的有效性与鲁棒性。列出了均质雾天条件下标定点选取结果、方程生成结果、摄像机参数标定的统计结果以及 3 种典型天气条件下 9 辆车的平均速度计算结果, 与手工标定实际数据相对比准确率高达 90%, 具有广阔的应用前景。本文算法建立在均质雾天且道路模型假设为一平面的基础上, 因此, 雾的均质程度、路面的均匀程度、路面损坏程度以及标定点的不同选择会导致车辆速度估计产生一定误差, 这也将是下一步研究的方向。

参考文献(References)

- [1] Toulminet G, Bertozzi M, Mousset S, et al. Vehicle detection by means of stereo vision-based obstacles features extraction and monocular pattern analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(8): 2364-2375.
- [2] Ki Y K, Baik D K. Model for accurate speed measurement using double-loop detectors[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2006, 55(4): 1094-1101.
- [3] Hautiere N, Tarel J P, Lavenant J, et al. Automatic fog detection and estimation of visibility distance through use of an onboard camera[J]. Machine Vision and Applications, 2006, 17(1): 8-20.
- [4] Lin H Y, Li K J. Motion blur removal and its application to vehicle speed detection[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. Singapore: IEEE Computer Society, 2004, 2: 3407-3410.
- [5] Dailey D J, Cathey F W, Pumrin S. An algorithm to estimate

- mean traffic speed using uncalibrated cameras[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(2): 98-107.
- [6] Adbel Y I, Karara H M. Direct linear transformation into object space coordinates in close-range photogrammetry[C]//The Pro. Symp. Close-Range Photogrammetry. Urbana: University of Illinois at UrbanaChampaign, 1971: 1-18.
- [7] Li Y, Zhu F, Ai Y, et al. On automatic and dynamic camera calibration based on traffic visual surveillance[C]//The IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Istanbul, Turkey: IEEE, 2007: 358-363.
- [8] Bouzar S, Lenoir F, Blosseville J M, et al. Traffic measurement: image processing using road markings[C]//Proceedings of the 8th Int. Conf. Road Traffic Monitoring and Control. London, UK: IEEE, 1996, 422: 105-109.
- [9] Fusiello A. Uncalibrated euclidean reconstruction: a review[J]. Image and Vision Computing, 2000, 18: 555-563.
- [10] Todd N S, Daniel J D. Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2003, 4(2): 90-98.
- [11] Middleton W. Vision Through the Atmosphere[M]. Toronto: University of Toronto Press, 1952.
- [12] Grimson W E L, Stauffer C, Romano R, et al. Using adaptive tracking to classify and monitor activities in a site[C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, Santa Barbara, USA, 1998: 22-29.
- [13] Stewart B D, Reading I, Thomson M S, et al. Adaptive lane finding in road traffic image analysis[C]//Proceedings of the 7th Int. Conf. Road Traffic Monitoring and Control. London, UK: IEEE, 1994: 133-136.
- [14] Hautiere N, Tarel J P, Lavenant J, et al. Automatic fog detection and estimation of visibility distance through use of an onboard camera[J]. Machine Vision and Applications, 2006, 17(1): 8-20.
- [15] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Proceedings of the 2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami, USA: IEEE, 2009: 1956-1963.
- [16] He B W, Li Y. A novel method for camera calibration using vanishing points[C]//Proceedings of the 14th International conference on Mechatronics and Machine Vision in practice. Xiamen, China: IEEE, 2007: 44-46.
- [17] Bazin J, Kweon I. A robust top-down approach for rotation estimation and vanishing points extraction by catadioptric vision in urban environment[C]//Proceedings of the Conf. on Intelligent Robots and Systems. Nice, France: Inst of Elec., 2008: 346-353.