



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

2015
03
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

非真实感图像处理 P437





第20卷第3期（总第227期）

2015年3月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 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

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of

Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

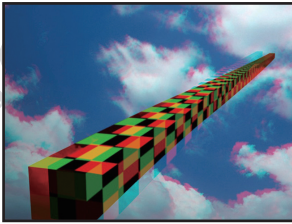
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

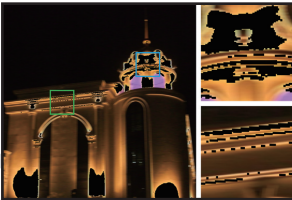
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

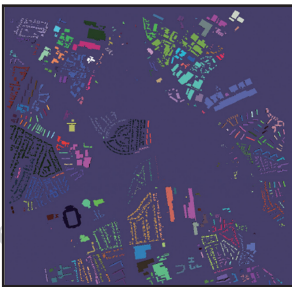
国内定价 50.00元



实时立体视觉系统中的深度映射(第0366页)



基于辐照度的运动模糊图像去模糊(第0395页)



面向智慧城市的3维城市在线可视化(第0445页)

综述

面向血管疾病诊断及预测分析的血流动力学模拟综述

徐梦佳, 杨金柱, 赵宏, 赵大哲 0297

图像处理和编码

多特征融合的车辆阴影消除

邱一川, 张亚英, 刘春梅 0311

图像分析和识别

基于局部时空特征方向加权的人体行为识别

李俊峰, 张飞燕 0320

对表情鲁棒的面部轮廓线3维人脸识别

常朋朋, 达飞鹏, 梅俊 0332

融合双层信息的显著性检测

姜霞霞, 李宗民, 匡振中, 刘玉杰 0340

面向动摄像机的高速运动目标检测

穆春迪, 谢剑斌, 闫玮, 刘通, 李沛秦 0349

匹配滤波在SAR目标单个散射部件检测中的应用

丁柏圆, 文贡坚, 钟金荣, 马聪慧 0357

图像理解和计算机视觉

实时立体视觉系统中的深度映射

李大锦, 白成杰 0366

遥感图像处理

GPU支持的SAR影像几何校正大规模并行处理

杨景辉, 程春泉, 张继贤, 黄国满 0374

基于正则化约束的遥感图像多尺度去模糊

谭海鹏, 曾炫杰, 牛四杰, 陈强, 孙权森 0386

第十届中国计算机图形学大会专栏

基于辐照度的运动模糊图像去模糊

方贤勇, 阚未然, 周健, 李黎, 郭延文 0395

对比度、颜色一致性和灰度像素保持的消色算法

王勋, 罗婷婷, 刘春晓, 彭浩宇 0408

结合因子图的多目的地地图布局优化

罗振珊, 张俊松, 范接鹏 0418

高阶连续的形状可调三角多项式曲线曲面

严兰兰, 韩旭里 0427

改进的自然图像铅笔画效果生成

黄志勇, 姚远, 张晶晶, 马凯, 任东 0437

面向智慧城市的3维城市在线可视化

潘斌, 郭小明, 陈明明, 陈为, 彭群生 0445

CONTENTS

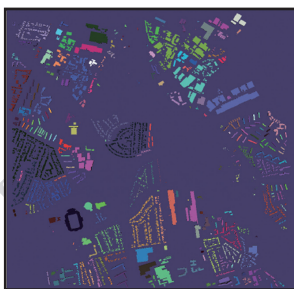
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Depth mapping in real-time stereoscopic systems (P0366)



Deblurring of motion blurred images based on the irradiance(P0395)



Online 3D city visualization for smarter cities(P0445)

Review

Survey of hemodynamics simulation for diagnosis and prediction in vascular disease

Xu Mengjia, Yang Jinzhu, Zhao Hong, Zhao Dazhe 0297

Image Processing and Coding

Vehicle shadow removal with multi-feature fusion

Qiu Yichuan, Zhang Yaying, Liu Chunmei 0311

Image Analysis and Recognition

Human behavior recognition based on directional weighting local space-time features

Li Junfeng, Zhang Feiyan 0320

Expression-robustness 3D face recognition based on facial profiles

Chang Pengpeng, Da Feipeng, Mei Jun 0332

Image saliency detection based on two-layer information fusion

Jiang Xiaxia, Li Zongmin, Kuang Zhenzhong, Liu Yujie 0340

Detecting high-speed moving targets in moving camera environments

Mu Chundi, Xie Jianbin, Yan Wei, Liu Tong, Li Peiqin 0349

The application of matched filter in detecting single scattering parts of SAR targets

Ding Boyuan, Wen Gongjian, Zhong Jinrong, Ma Conghui 0357

Image Understanding and Computer Vision

Depth mapping in real-time stereoscopic systems

Li Dajin, Bai Chengjie 0366

Remote Sensing Image Processing

GPU supported massively parallel processing for geometric correction of SAR imagery

Yang Jinghui, Cheng Chunquan, Zhang Jixian, Huang Guoman 0374

Remote sensing image multi-scale deblurring based on regularization constraint

Tan Haipeng, Zeng Xuanjie, Niu Sijie, Chen Qiang, Sun Quansen 0386

Column of Chinagraph'2014

Deblurring of motion blurred images based on the irradiance

Fang Xianying, Kan Weiran, Zhou Jian, Li Li, Guo Yanwen 0395

Decolorization with contrast, color consistency and grayscale pixel preservation

Wang Xun, Luo Tingting, Liu Chunxiao, Peng Haoyu 0408

Synthesizing multi-destinations map with factor graph

Luo Zhenshan, Zhang Junsong, Fan Jiepeng 0418

Higher-order continuous shape adjustable trigonometric polynomial curve and surface

Yan Lanlan, Han Xuli 0427

Improved algorithm for natural image pencil drawing production

Huang Zhiyong, Yao Yuan, Zhang Jingjing, Ma Kai, Ren Dong 0437

Online 3D city visualization for smarter cities

Pan Bin, Guo Xiaoming, Chen Mingming, Chen Wei, Peng Qunsheng 0445

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)03-0311-09

论文引用格式: Qiu Y C, Zhang Y Y, Liu C M. Vehicle shadow removal with multi-feature fusion[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(3): 0311-0319. [邱一川, 张亚英, 刘春梅. 多特征融合的车辆阴影消除[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(3): 0311-0319.] [DOI:10.11834/jig.20150302]

多特征融合的车辆阴影消除

邱一川, 张亚英, 刘春梅

同济大学嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室, 上海 200092

摘要: **目的** 提出一种基于颜色特征和边缘特征相融合的算法, 实现对复杂交通场景中车辆阴影的检测和消除。**方法** 首先, 通过经典混合高斯背景建模方法建立背景模型, 以帧差法获取运动目标前景。其次, 针对复杂多变的交通道路场景, 采用串行融合策略检测车辆阴影。对运动目标前景基于边缘特征检测阴影之后, 再进行 RGB 颜色特征方法检测阴影, 此过程中利用边缘差分、形态学处理等运算以达到更好的阴影消除效果。为提高算法效率, 对前景区域进行阴影评估, 从而判断是否有必要进行阴影检测和消除。**结果** 通过与统计参数法 SP、统计非参数法 SNP、两类判定性非模型法 DNM1、DNM2 等算法的对比, 本文算法的阴影检测率和阴影识别率分别有大约 10% 的提升。实验结果表明, 该算法能够有效消除车辆阴影, 具有良好的准确性和鲁棒性。**结论** 本文算法结合颜色和边缘两种特征, 弥补基于单个特征方法的单一性, 降低由于阴影区域边缘复杂、车辆颜色与阴影颜色相近等原因造成的阴影误检率, 阴影消除效果良好。

关键词: 颜色特征; 边缘特征; 多特征融合; 阴影评估; 阴影检测; 阴影消除

Vehicle shadow removal with multi-feature fusion

Qiu Yichuan, Zhang Yaying, Liu Chunmei

The Key Laboratory of Embedded System and Service Computing, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract: **Objective** A novel algorithm that combines color feature and edge information is proposed to detect and remove vehicle shadows in complex traffic scenes. **Method** First, a background model is built with the classical Gaussian mixture background modeling method, and the moving vehicle foreground is obtained through frame difference. Second, a serial fusion strategy that combines color feature and edge information is applied to detect and eliminate vehicle shadows. Based on vehicle shadow detection by edge information method of the moving target foreground, the RGB color feature detection method is implemented to detect the shadow area further and to obtain a precise result. Edge difference and morphological processing methods are used during the operations to detect and eliminate shadows effectively. Shadow assessment is periodically evaluated on the foreground area to improve the efficiency of the algorithm by determining the necessity of applying the proposed algorithm. **Result** By comparison with SP, SNP, DNM1 and DNM2 algorithm, the proposed method realizes about 10% advance on shadow detection rate and shadow recognition rate. The high accuracy and robustness of the proposed shadow removal method are confirmed by the test results, and the effectiveness of the method is validated. **Conclusion** The proposed method that combines color feature and edge information outperforms those based on a single feature because of their unicity. In addition, the false detection rate caused by complex edges in shadow regions and color similarity

收稿日期: 2014-06-04; 修回日期: 2014-10-15

基金项目: 科技部国际合作专项(2012DFG11580); 国家自然科学基金项目(61003221); 中央高校基本科研业务费资助项目(0800219160)

第一作者简介: 邱一川(1989—), 男, 同济大学计算机专业硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与机器视觉。E-mail: justin.qyc@gmail.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61003221); Fundamental Research Funds for the Central Universities (0800219160)

between vehicles and shadows is effectively decreased.

Key words: color feature; edge feature; multifeature fusion; shadow assessment; shadow detection; shadow removal

0 引言

车辆检测与分析是车辆分类、识别和跟踪等工作的基础。在光照条件下,车辆的阴影会影响车辆的形状和大小,降低车辆检测的准确率,给后续工作造成困难。因此,有效的车辆阴影消除方法对于正确检测车辆至关重要。

目前已经有很多国内外学者从事该领域的研究工作,并取得了丰富的研究成果^[1]。阴影检测方法主要分为基于阴影模型的方法和基于阴影特征的方法。基于模型的方法依赖先验知识建立阴影模型,如场景、光照和运动目标等,虽然阴影的形状和位置都可以精确地计算,但该方法只适用于一些特定场景,如航空图像理解、视频监控,不具有普适性。基于阴影特征的方法利用阴影的颜色、边缘、纹理不变性等特征检测阴影。文献[2-3]利用 RGB 颜色空间进行阴影检测,文献[4-5]利用 HIS(hue, intensity, saturation)、HSV(hue, saturation, value)颜色空间检测移动阴影,文献[6]提出一种基于 YUV(亦称 YCrCb)空间改进阴影检测算法,利用基于抽样推断的阈值估计器来预先估计阴影检测所需阈值,解决以往固定阈值难于适应不同光线环境的问题。但这些基于颜色特征的方法不能对灰度图像进行检测,当车辆颜色与阴影颜色相近时还会造成误检。文献[7-8]基于阴影的边缘特征,根据车辆目标区域边缘密度高、阴影区域边缘密度低的特点,消除阴影边缘,保留车辆目标内部边缘,实现阴影消除。文献[9]则根据边缘信息分析阴影的方向位置,从而实现阴影消除。但基于边缘特征的方法,在阴影区域包含车道标志线等边缘复杂的情况下,检测效果不太理想。文献[10-11]利用阴影的纹理不变性实现车辆阴影消除,但对于纹理特性不明显的车辆,误检率就比较高。针对基于单个特征阴影检测方法的不足,文献[12]根据阴影的光学属性,确定运动掩模中的潜在阴影区域,根据该区域外轮廓的位置属性,对其分类,最后通过分析边缘属性恢复与阴影相连的目标背光区域,保留运动掩模中真实的运动目标区域。文献[13]融合角点特征和颜色特征检测阴

影,成功得到车辆的分割区域。文献[14]提出几何信息和颜色特征融合的方法,根据车辆阴影的几何信息判断阴影方向,再融合 RGB 颜色特征检测阴影。文献[15]融合颜色、纹理、时间信息等特征,但是该方法只考虑半影消除,对于车辆本影并未考虑,只能消除大部分阴影像素。文献[16]先以较低亮度和更大色度差提取潜在阴影区域,再融合局部纹理、全局亮度比、色度失真以及时间信息的方法来提取最终的阴影区域。但是对于复杂的交通场景,这些方法仍然具有局限性。

综上所述,由于目前交通道路包含许多车道标志线、道路边界线等复杂场景,车身颜色以深色为主的车辆比例很高,纹理特性不明显的车辆也不在少数,基于单个特征的方法对道路车辆阴影检测和消除效果不太理想。因此,本文提出一种融合颜色特征和边缘特征的算法对车辆阴影进行检测和消除。

1 阴影检测预处理

提出的车辆阴影消除算法主要由两部分组成:阴影检测和阴影消除。在进行阴影检测和消除之前,首先需要进行运动目标检测,同时在每一次阴影检测之后进行阴影评估。算法整体流程为:通过视频图像序列建立背景模型,从而检测运动目标区域。本文利用 RGB 颜色空间和边缘特征对运动目标区域进行阴影检测,最后融合两个特征检测的候选阴影并且实现阴影消除。在阴影检测之后,对当前图像进行阴影评估,并根据评估结果决定下一帧图像是否需要阴影检测与消除。若阴影评估没有达到需要阴影消除的标准,则不需要进行后续的阴影检测和消除步骤,继续读取图像序列,从而节省算法运行时间开销。图 1 描述了提出的基于多特征融合的车辆阴影消除算法的流程。其中 E_b , R_d 分别代表光照强度、阴影比例,具体定义见 1.2 节。

1.1 运动目标检测

对读入的运动车辆图像序列,采用经典混合高斯背景建模方法^[17]获取背景模型。对当前图像与背景图像做帧差法提取运动目标区域,此时的运动目标区域受噪音干扰明显,需要进行形态学滤波和

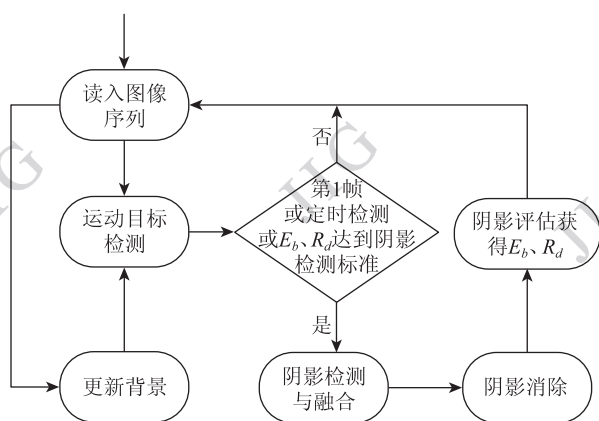


图1 多特征融合的车辆阴影消除流程

Fig. 1 Flowchart of vehicle shadow removal with multi-feature fusion

腐蚀膨胀处理,再经过二值化处理后,得到前景目标区域 C_i (包括车辆本身和车辆阴影),如图2所示。

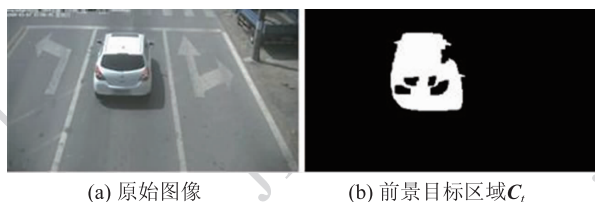


图2 运动目标检测

Fig. 2 Detection of moving target

1.2 阴影评估

获得前景目标后,需要根据上1帧的阴影评估结果决定是否需要对图像进行阴影检测和消除。但如果是图像序列第1帧或者定时阴影检测,则不需要考虑阴影评估结果,直接进行阴影检测。阴影评估算法由文献[18]提出,之后被文献[8]扩展。

在阴影评估过程中,引入光照强度 E_b 、阴影强度 E_d 、阴影比例 R_d 等变量。众所周知,光照越强,阴影越明显,所以光照强度越大,表示出现阴影的可能越大,当光照强度 E_b 大于阈值 k_1 时,就判定为存在明显阴影, k_1 为光照强度阈值。光照强度 E_b 和阴影强度 E_d 定义为

$$E_j = \frac{\sum_{i \in S_j} e_i}{n_j}, j \in \{b, d\} \quad (1)$$

式中, b 代表光亮, d 代表阴影, S_j 是光照或阴影区域集合, n_j 是 S_j 的像素总数, e_i 是像素的能量强度,定义为

$$e_i = \frac{\sum_{j \in N_i} |I_i - I_j|}{n} \quad (2)$$

式中, I 代表光照强度, N_i 代表相应像素集合, n 代表 N_i 像素总数。

此外,还引入阴影比例系数 R_d ,表示在一帧图像序列中阴影区域所占有的比例,定义为

$$R_d = \frac{n_d}{n_b + n_d} \quad (3)$$

式中, n_d 代表阴影区域像素总数, n_b 代表光照区域像素总数, R_d 是阴影比例系数。 R_d 越大表示阴影区域在图像中比例越大,大于 k_2 时则判定图像中存在明显的阴影区域, k_2 为阴影比例阈值。

只有当 E_b 和 R_d 同时达到阴影检测标准,才需要进行后续的阴影检测和消除,否则只进行背景更新和定时阴影检测。这样可以节省算法的运行时间。

定时阴影检测是为了防止由于某一次阴影评估未通过而造成后续图像序列无法进入阴影检测的死循环。首先通过摄像机获取时间,只有在白天阶段进行定时阴影检测(夜晚无需阴影检测),在不影响交通监控实时性的条件下,定时阴影检测可设置为每5帧或每10帧进行一次检测。

2 阴影检测和消除

针对运动目标检测所获取的前景目标区域,采用融合基于颜色特征和边缘特征的方法实现阴影区域的检测和消除。

2.1 基于RGB颜色空间的阴影检测

根据阴影形成的特点,从光亮区域到阴影区域,其彩色分量的成分逐渐降低。在背景中形成阴影,该阴影区域的RGB3个分量都会比较小,但不是成比例减小。根据阴影的光谱属性,其阴影区域像素点强度比背景区域强度要小。在阴影区域中,RG两个分量的反射较B分量的反射要强,并且阴影覆盖的背景区域,其B分量增加、RG分量减小,因此可根据这些阴影的色彩特性,定义候选阴影 S_c 为

$$S_c = \begin{cases} 1 & R(x_b, y_b) > R(x, y) \text{ 且} \\ & G(x_b, y_b) > G(x, y) \text{ 且} \\ & |B(x_b, y_b) - B(x, y)| < k \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中, x_b, y_b 是相对应的背景像素, k 为B分量差绝

对值的阈值,本文算法中 k 取 30, S_c 是候选阴影区域,在这过程中需要考虑到图像噪声的干扰,还需要对 S_c 进行滤波和形态学处理,从而得到基于 RGB 特征提取的候选阴影 S_c ,如图 3 所示。

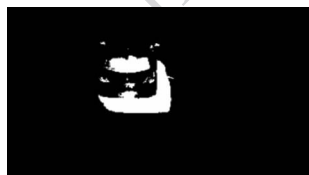


图 3 基于 RGB 颜色特征提取的候选阴影 S_c

Fig. 3 Candidate shadow S_c extracted basing on RGB feature

2.2 基于边缘特征的阴影检测

车辆阴影的边缘有两个特点:1)阴影的边缘相比车辆的边缘更清晰简洁;2)阴影的边缘密度小,而车辆的边缘密度大。因此,基于边缘特征的阴影检测方法正是根据阴影边缘的这两个特点对阴影进行检测。

基于边缘特征阴影检测方法流程如图 4 所示。

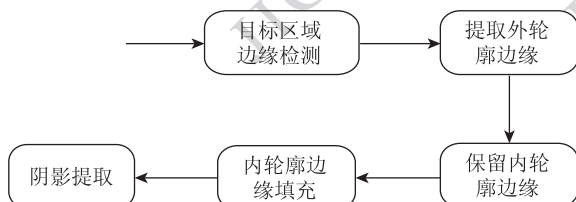


图 4 基于边缘特征阴影检测方法流程图

Fig. 4 Flowchart of shadow detection method based on edge feature

2.2.1 目标区域的边缘检测

在基于边缘特征的阴影检测方法中,边缘信息是一个重要的部分。为了节省了运算开销,提高算法速度,采用 Canny 算子对前景目标区域进行边缘检测,而不是对整个图像做边缘检测。图 5(a)是原始图像,前景目标区域 C_i 如图 5(b),前景区域边缘 E_i 如图 5(c)。

2.2.2 提取内部边缘

采用形态学方法^[19]提取车辆内部边缘。由于直接提取车辆内部边缘比较困难,所以通过先获取外轮廓边缘,再从整个目标区域边缘中减去外轮廓边缘,从而提取内部边缘,具体方法步骤如下:

1)外轮廓边缘获取。通过对二值化处理后的目标区域进行腐蚀处理,缩小目标区域,再从原来的目标区域中减去缩小后的目标区域,从而得到目标



图 5 基于边缘特征提取阴影

Fig. 5 Shadow extraction based on edge feature

区域初步的外轮廓边缘 E_c ,如图 5(d)。

$$E_c = C_i - (C_i \ominus B_1) \quad (5)$$

式中, B_1 是一个矩阵,通常为 3×3 , $\ominus$ 代表腐蚀操作。腐蚀操作的目的是使 C_i 缩小,用 3×3 矩阵腐蚀能够使 C_i 缩小 1 像素单位,同理,用 5×5 、 7×7 矩阵腐蚀分别缩小 2 像素和 3 像素单位。本文 B_1 采用 3×3 矩阵。

再对 E_c 进行膨胀操作($\oplus$)得到 E_m ,膨胀的作用正好与腐蚀相反,膨胀使目标扩大。使用 3×3 矩阵膨胀可以使 E_c 扩大 1 像素,得到粗细为 3 像素的 E_m ;使用 5×5 矩阵膨胀扩大 2 像素,则得到粗细为 5 像素的 E_m 。由于使用 3×3 矩阵所得 E_m 太细,会导致后续的外轮廓边缘删除不充足,使用 7×7 矩阵所得 E_m 太粗,导致删除外轮廓边缘后保留的车辆内部边缘不够完整,故本文采用 5×5 的 B_2 矩阵。 E_m 定义为

$$E_m = E_c \oplus B_2 \quad (6)$$

取出 E_m 与 C_i 重叠的部分,即得到目标的外轮廓边缘 E_k ,如图 5(e)。

$$E_k(x, y) = \begin{cases} 1 & E_m(x, y) = 1 \text{ 且} \\ & C_t(x, y) = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

2) 提取目标车辆内部边缘。从前景区域边缘 E_i 中减去所得到的外轮廓边缘 E_k , 从而提取出最终的目标车辆内部边缘 E_i , 如图 5(f)。

$$E_i(x, y) = \begin{cases} 1 & E_i(x, y) = 1 \text{ 且} \\ & E_k(x, y) = 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

2.2.3 车辆内部边缘填充

在提取运动车辆内部边缘后, 已经基本把前景区域的阴影边缘消除, 接下来需要对车辆内部边缘进行填充。采用水平和垂直方向的填充, 最后取它们的交集

$$E_r(x, y) = \begin{cases} 1 & HR_i(x, y) = 1 \text{ 且} \\ & VR_i(x, y) = 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

式中, HR_i 由 E_i 先水平填充, 再垂直填充得到。 VR_i 由 E_i 先垂直填充, 再水平填充而得到, E_r 是交集, 填充结果 E_r 如图 5(g)。

水平填充的方法为: 首先找出内部边缘中一行的第 1 个和最后 1 个像素点, 然后将这两个像素点之间的所有像素置为 1, 实现当行填充。如果一行只有 1 个像素点或者没有像素点, 则不填充。如此反复从车辆内部边缘的第 1 行扫描到最后 1 行, 完成车辆内部边缘的水平填充。垂直填充的方法类似。即使车辆内部边缘线不封闭的情况下, 经过水平和垂直两次连续填充, 也能够成功填充车辆内部。

针对多车辆的复杂交通场景, 值得注意的是, 多个车辆可能处于同一水平线或垂直线, 按照上述填充方法会导致多辆车连接在同一连通区域。因此在上述填充方法中, 内部边缘中的第 1 个和最后 1 个像素点的差值应当处于一个合理的范围, 假如差值过大, 需要分多次填充, 以免在车辆较多时, 误将多辆车连接在同一连通区域。

2.2.4 阴影提取

车辆内部边缘填充完毕后, 首先对得到的车辆目标区域进行形态学处理, 再将目标前景区域中与车辆目标区域相对应的像素点置为 0 (减去车辆目标区域), 从而得到如图 5(h) 所示的基于边缘特征

方法的候选阴影。

$$S_e = C_i - E_k - E_r \quad (10)$$

2.3 阴影融合

阴影融合策略一般有并行和串行两种。并行融合策略先分别基于颜色特征和边缘特征各自做阴影检测, 再把两者所得的候选阴影区域结合。串行融合策略则是先基于 1 个特征阴影检测, 然后在所得结果基础上再基于第 2 个特征做阴影检测。

通过实验发现: 在车辆较少的简单交通场景, 并行和串行融合两者的性能相差不大, 但是在车辆较多的复杂交通场景, 串行融合策略明显占优。故本文采用串行融合策略。先基于边缘特征检测阴影, 在得到候选阴影 S_e 后, 在此基础上进行基于颜色特征的阴影检测, 删除掉 S_e 中不符合阴影颜色特征的像素点, 从而得到最终阴影 S_d , 如图 6(c)。



(a) 原始图像



(b) 基于边缘特征的候选阴影 S_e



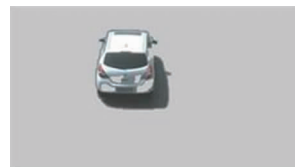
(c) 最终阴影 S_d

图 6 阴影融合

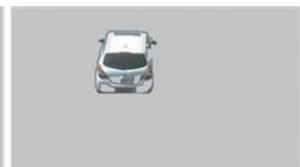
Fig. 6 Shadows fusion

2.4 阴影消除

在提取出最终的阴影区域之后需要在当前的彩色图像中对阴影进行消除。采用的方法是从运动目标前景区域中消除阴影区域, 针对提取出的阴影区域, 把运动目标前景区域中相对应的像素点颜色置为灰色, 从而达到阴影消除的效果, 阴影消除后的运动目标如图 7(b) 所示。



(a) 阴影消除前运动目标



(b) 阴影消除后运动目标

图 7 阴影消除

Fig. 7 Shadow removal

3 实验结果与分析

采用文献[20]提出的性能评价公式作为不同算法性能比较的评估指标:阴影检测率 η 和阴影分辨率 ξ ,定义为

$$\eta = \frac{TP_S}{TP_S + FN_S} \quad (11)$$

$$\xi = \frac{TP_F}{TP_F + FN_F}$$

式中,下标S代表阴影,F代表前景。 TP_S 是被正确识别为阴影像素点的个数; FN_S 是阴影像素点未被正确识别的个数; TP_F 是被正确识别为前景车辆像素点的个数; FN_F 是前景车辆像素点未被正确识别的个数; $\overline{TP_F}$ 则代表前景车辆像素总和减去前景车辆中被误检为阴影像素的个数。可以看出, η 、 ξ 值越大越好。

采用含有阴影干扰的运动车辆图像序列测试所提出的算法性能:表1中Highway1、Highway2和Highway3图像序列是广为使用的阴影检测基准运动图像序列(<http://cvrr. ucsd. edu/aton/shadow>和<http://vision. gel. ulaval. ca/~CastShadows>),其余图像序列来自本文作者所在实验室在江苏启东采集的视频。这几段图像序列包含的阴影尺寸由大到小,阴影强度由弱到强,同时运动车辆的车型、大小、速度各有不同,可以较全面地测试本文算法。

实验首先针对Highway1、Highway2和Highway3图像序列,通过比较目前较成熟的统计参数法SP^[21]、统计非参数法SNP^[21]、两类判定性非模型法DNM1^[21]、DNM2^[21]以及近年来一些优秀算法和本文算法的性能差异,再针对所有图像序列,比较基于

单个特征方法和本文算法的性能差异。算法实验使用Microsoft Visual Studio在PC机(Windows 7 SP1, Intel E7400 CPU, 4 G DDR2)上实现。

对表1所述图像序列的测试结果如图8所示。

从图8 Highway1图像测试的过程可知,由于背景图像中本身存在许多阴影,道路部分区域颜色与阴影颜色比较接近,同时部分阴影在车辆底部,导致小部分阴影未成功检测出来或者车辆底部获取不完整。但是从整体上看,阴影检测和消除的效果良好。

从图8 Highway2图像测试的过程可知,原图像中车辆较多且小,车辆颜色较深与阴影颜色相似,部分阴影分布在车辆底部,导致阴影检测难度增加。从测试结果来看,融合算法成功消除了大部分阴影,个别车辆的小阴影未完全消除,车辆前景保留比较完整。原图像中右边灰色车辆颜色与路面相近,导致车身部分被误检为阴影而消除。

从图8 Highway3图像测试的过程可知,原图像中右边灰色车辆颜色与路面相近,导致车身部分被误检为阴影而消除。左边白色车辆阴影明显,阴影检测比较完整,车身保留也比较完好。图像上方出现的小车辆由于阴影太小,本文算法并未对其进行检测。

从图8 Qidong1图像测试的过程可知,融合算法进行阴影消除效果良好。但由于前景提取过程的效果不是很理想,导致车辆前景部分缺失。

从图8 Qidong2图像测试的过程可知,原图像中公交车在斑马线前停留,阴影很大又明显,这个过程体现融合算法对公交车的测试效果。由阴影消除后的车辆前景可见阴影消除效果良好,大部分阴影已经被消除,只留下车辆左边小部分阴影,同时车辆前景保留比较完整,只有车辆右下角小部分未被保留。

表1 测试使用的图像序列

Table 1 The sequences of images for test

	Highway1	Highway2	Highway3	Qidong1	Qidong2	Qidong3
图像序列长度/像素	440	500	500	987	605	852
图像尺寸/像素	320 × 240	320 × 240	320 × 240	352 × 198	352 × 288	352 × 288
阴影大小	较大	较小	中等	中等	很大	中等
阴影强度	中等	较强	较强	中等	很强	较弱
车辆速度/(像素/s)	30 ~ 35	8 ~ 15	20 ~ 35	10 ~ 20	5 ~ 15	15 ~ 30

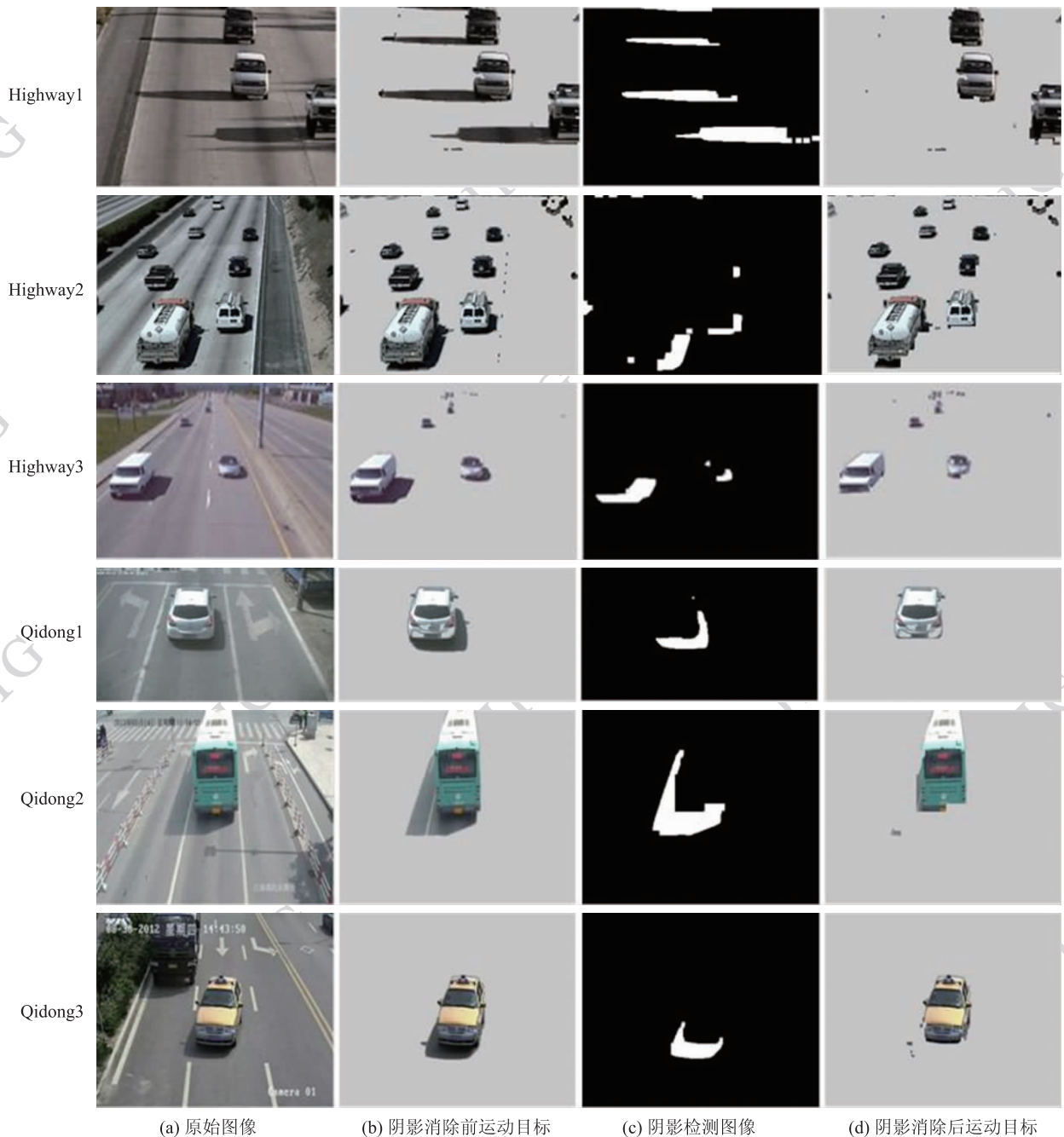


图8 图像测试过程

Fig. 8 Test process for images

从图8 Qidong3 图像测试的过程可知,由于原图像中左上角的卡车停留时间过长,背景建模过程中已经把卡车作为背景,所以提取出的前景只有黄色轿车,而没有卡车。由阴影消除后的车辆前景可见阴影消除效果很好,车辆前景保留也很完整。

实验结果数据见表2。通过表2中 Highway1 和 Highway2 图像序列的数据对比,可见相较于 SP、SNP、DNM1、DNM2 这4种算法,本文算法对于

Highway1 和 Highway2 图像序列的阴影检测效果更好。因为多特征融合算法的优势在于融合颜色和边缘特征,互补缺陷。利用颜色特征克服边缘特征的缺点,即道路标志线多、道路情况复杂,而利用边缘特征又能够克服颜色特征所解决不了的车辆颜色与阴影颜色相似的场景。而其他4种算法,都是从单个角度去解决问题,难免会存在各自的缺陷,从而导致效果不够理想。与 Qin 等人^[22], Wang 等人^[13], Ling 等人^[16], Choi 等人^[23]的算法相比,本文融合

算法在大部分场景的表现较好,但在 Highway1 中的表现不如 Wang 等人^[13]的算法,由于道路旁树丛的阴影对路面造成干扰,本文算法不能很好地处理。对于 Ling 等人^[16]算法极高的阴影分辨率,本文算法在阴影分辨率方面处于劣势,但是在阴影检测率上具有优势。本文算法力求阴影检测率和分辨率之间的平衡。

通过所有图像序列的数据对比,本文算法的阴影检测率略低于颜色特征算法的阴影检测率,阴影识别率略低于边缘特征算法的阴影识别率,但是从总体性能来看,融合算法结合了边缘特征和颜色特征的优点,在颜色特征的基础上,以牺牲小量阴影检测率(平均小于 10%),从而获取阴影分辨率大幅度提升(平均大于 30%)。

表 2 实验结果
Table 2 The experimental results

算法	Highway1		Highway2		Highway3		Qidong1		Qidong2		Qidong3	
	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ
SP ^[21]	59.59	84.70	46.93	91.49	*	*	*	*	*	*	*	*
SNP ^[21]	81.59	63.76	51.20	78.92	*	*	*	*	*	*	*	*
DNM1 ^[21]	69.72	76.93	54.07	78.93	*	*	*	*	*	*	*	*
DNM2 ^[21]	75.49	62.38	60.24	72.50	*	*	*	*	*	*	*	*
Qin ^[22]	72.51	84.90	75.38	74.12	*	*	*	*	*	*	*	*
Wang ^[13]	93.21	92.23	75.62	80.55	*	*	*	*	*	*	*	*
Ling ^[16]	78.11	99.92	*	*	77.48	99.36	*	*	*	*	*	*
Choi ^[23]	77.98	82.95	*	*	79.87	85.98	*	*	*	*	*	*
颜色	98.91	58.05	97.69	42.60	95.92	72.08	98.77	66.90	97.62	59.52	99.06	57.55
边缘	53.52	95.14	45.60	98.73	60.51	98.35	64.26	97.04	53.57	98.20	74.07	96.73
本文	85.77	88.64	79.06	94.69	90.04	94.07	93.76	89.08	93.87	92.13	94.60	90.92

4 结 论

车辆阴影是车辆检测过程中普遍存在的问题,影响车辆检测的精度和定位。针对这个问题,提出一种基于多特征融合的车辆阴影消除算法,在颜色特征阴影消除方法的基础上融合边缘特征,弥补对于灰度与阴影相似的车辆识别率低的缺陷,结合两种特征的优点,从而对阴影进行检测和消除。实验表明,该算法能够有效处理复杂交通道路情况下的车辆阴影,适用于变化频繁的交通场景,阴影检测和消除效果良好,能够克服基于单个特征方法的局限性,具有良好的准确性和鲁棒性。

参考文献 (References)

[1] Al-Najdawi N, Bez H E, Singhai J, et al. A survey of cast shadow detection algorithms[J]. Pattern Recognition Letters, 2012,

33(6): 752-764.
[2] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast shadow segmentation using invariant color features[J]. Computer vision and image understanding, 2004, 95(2): 238-259.
[3] Song X H, Ding Y, Gen J F, et al. Shadow removal of vehicles in a video system based on RGB chroma model[C]// Proceedings of the International Conference on Computer Science and Software Engineering. Wuhan, China: IEEE, 2008: 977-980.
[4] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Detecting objects, shadows and ghosts in video streams by exploiting color and motion information[C]// Proceedings of the 11th International Conference on Image Analysis and Processing. Palermo, Italy: IEEE, 2001: 360-365.
[5] Tsai V J D. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(6): 1661-1671.
[6] Jiang K, Li A H, Su Y Z. An adaptive shadow detection algorithm using edge texture and sampling deduction[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2013, 47(2): 39-46. [姜柯, 李艾华, 苏延召. 结合边缘纹理和抽样推断的自适应阴影检测算法[J]. 西安交通大学学报, 2013, 47(2): 39-46.]

- [7] Vargas M, Toral S L, Milla J M, et al. A shadow removal algorithm for vehicle detection based on reflectance ratio and edge density[C]// Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Madeira, Portugal: IEEE, 2010: 1123-1128.
- [8] Wang J M, Chung Y C, Chang C L, et al. Shadow detection and removal for traffic images[C]// Proceedings of the International Conference on Networking, Sensing and Control. Taipei, Taiwan: IEEE, 2004, 1: 649-654.
- [9] Yan Z, Zhang H, Meng H, et al. Cast vehicle shadow segmentation based on contour analysis[C]// Proceedings of the Intelligent Transportation Systems Conference. Seattle, WA, USA: IEEE, 2007: 866-871.
- [10] Joshi A J, Papanikolopoulos N P. Learning to detect moving shadows in dynamic environments[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30 (11): 2055-2063.
- [11] Amato A, Mozerov M G, Bagdanov A D, et al. Accurate moving cast shadow suppression based on local color constancy detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20 (10): 2954-2966.
- [12] Tu L F, Zhong S D, Peng Q. A method to detect moving objects and to eliminate shadow in natural scene[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2013, 47 (12): 26-31. [屠礼芬, 仲思东, 彭祺. 自然场景下运动目标检测与阴影剔除方法[J]. 西安交通大学学报, 2013, 47 (12): 26-31.]
- [13] Wang B, Feng J Y, Guo H F, et al. Adaptive background updating and shadow detection in traffic scenes[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17 (11): 1391-1399. [王彬, 冯远静, 郭海峰, 等. 交通场景中车辆的运动检测与阴影消除[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17 (11): 1391-1399.] DOI: 10.11834/jig.20121108
- [14] Ji X, Wei Z, Feng Y. Effective vehicle detection technique for traffic surveillance systems[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17 (3): 647-658.
- [15] Yang M T, Lo K H, Chiang C C, et al. Moving cast shadow detection by exploiting multiple cues[J]. IET Image Processing, 2008, 2 (2): 95-104.
- [16] Ling Z, Lu X, Wang Y, et al. Adaptive moving cast shadow detection by integrating multiple cues[J]. Chinese Journal of Electronics, 2013, 22 (4): 757-762.
- [17] Hsieh J W, Hu W F, Chang C J, et al. Shadow elimination for effective moving object detection by Gaussian shadow modeling[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21 (6): 505-516.
- [18] Wixson L. Illumination assessment for vision-based traffic monitoring[C]// Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition. Vienna, Austria: IEEE, 1996, 3: 56-62.
- [19] Xiao M, Han C Z, Zhang L. Moving shadow detection and removal for traffic sequences[J]. International Journal of Automation and Computing, 2007, 4 (1): 38-46.
- [20] Prati A, Mikic I, Trivedi M M, et al. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25 (7): 918-923.
- [21] Nadimi S, Bhanu B. Physical models for moving shadow and object detection in video[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26 (8): 1079-1087.
- [22] Qin R, Liao S, Lei Z, et al. Moving cast shadow removal based on local descriptors[C]// Proceedings of the 20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul, Turkey: IEEE, 2010: 1377-1380.
- [23] Choi J M, Yoo Y J, Choi J Y. Adaptive shadow estimator for removing shadow of moving object[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114 (9): 1017-1029.