



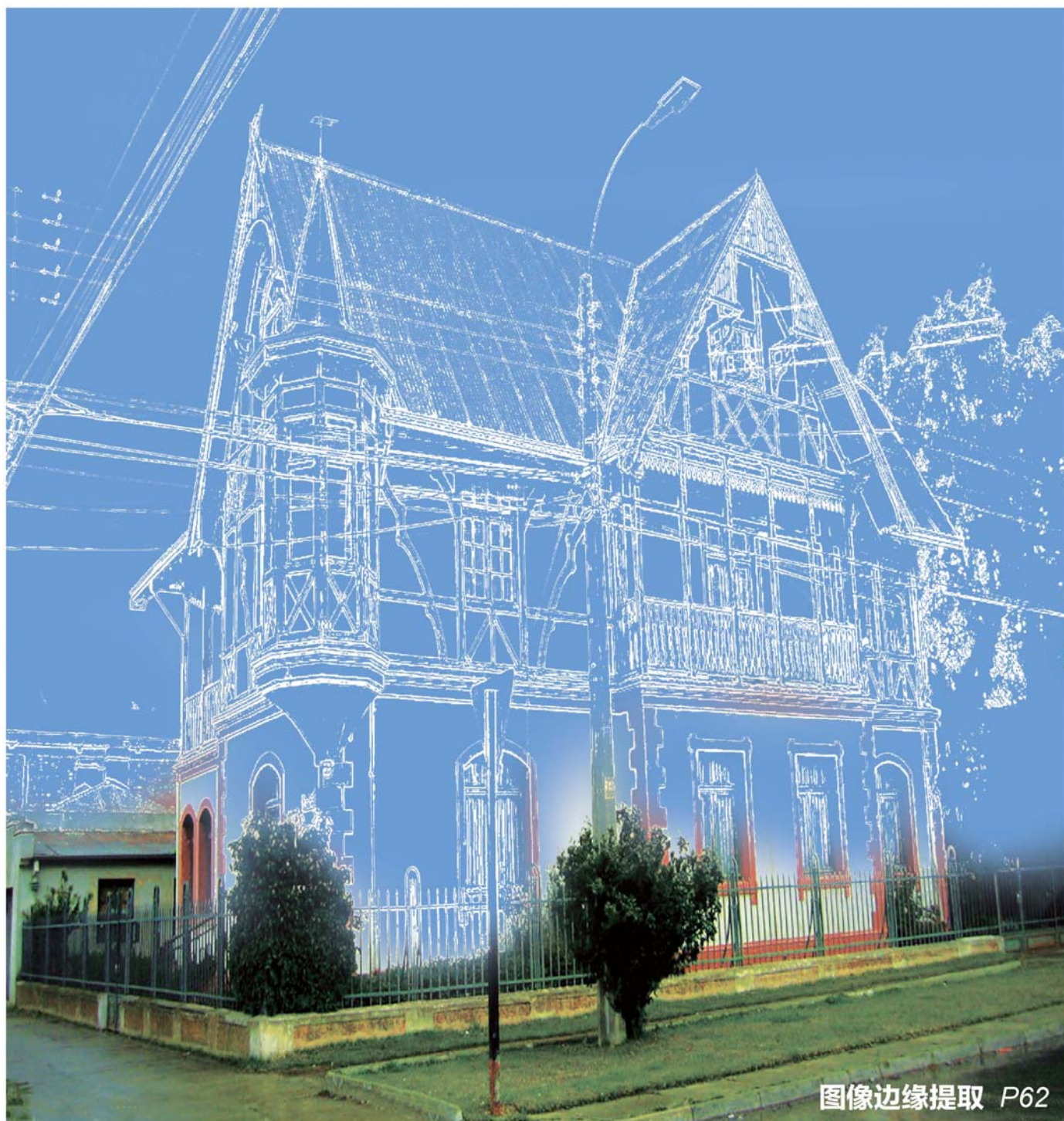
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

2014
01
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像边缘提取 P62



第19卷第1期 (总第213期)

2014年1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

2013 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@irsa.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@irsa.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

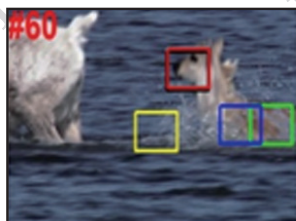
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

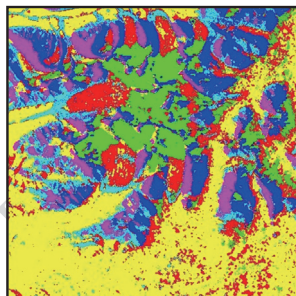
国内定价 50.00元



基于 L_2 范数最小化的实时目标跟踪(第36页)



数字地球渲染中单精度浮点数误差改正(第119页)



全极化合成孔径雷达影像地形纠正及其在雪冰制图中的应用(第150页)

图像处理和编码

图像阈值化的自适应粗糙熵方法

吴涛 0001

利用局部极值点特性的多聚焦图像快速融合

杨达, 王孝通, 徐冠雷, 吴俊波 0011

摄像机位姿的高精度快速求解

李书杰, 刘晓平 0020

整数变换实现大容量图像无损信息隐藏

邱应强 0028

图像分析和识别

基于 L_2 范数最小化的实时目标跟踪

齐美彬, 杨勋, 杨艳芳, 陆磊, 蒋建国 0036

利用七宫格的遮挡车辆凹性检测与分割

刘万军, 陈虹宇, 姚雪, 曲海成 0045

基于体素的人手结构自动估测

姚争为, 潘志庚 0054

结合高斯加权距离图的图像边缘提取

贾迪, 孟祥福, 孟琰, 董娜, 方金凤 0062

基于标定的任意半径柱面上2维条形码畸变校正

王伟, 何卫平, 郭改放, 牛晋波, 曹西征 0069

面向惯性约束聚变实验靶图像的快速椭圆检测

吴倩, 邹伟, 徐德, 张峰 0076

融合MBP和EPMOD的人脸识别

闫海婷, 王玲, 李昆明, 刘机福 0085

遮挡目标的分片跟踪处理

张彦超, 许宏丽 0092

图像理解和计算机视觉

多尺度分析的运动注意力计算

刘龙, 樊波阳 0101

多尺度空间判别性概率潜在语义分析的场景分类

季海峰, 高隽, 郑鹏, 王婧 0109

计算机图形学

数字地球渲染中单精度浮点数误差改正

李尚林, 郑利平, 张静, 杨柳青 0119

医学图像处理

小波与双边滤波的医学超声图像去噪

张聚, 王陈, 程芸 0126

Contourlet变换系数加权的医学图像融合

张鑫, 陈伟斌 0133

遥感图像处理

滑坡高分辨率遥感多维解译方法及其应用

鲁学军, 史振春, 尚伟涛, 周和颐 0141

全极化合成孔径雷达影像地形纠正及其在雪冰制图中的应用

符思涛, 李震, 田帮森 0150

结合邻域相关影像与最大相关性最小冗余性特征选择的面向对象变化检测

邹利东, 潘耀忠, 朱文泉, 周公器, 李宜展 0158

CONTENTS

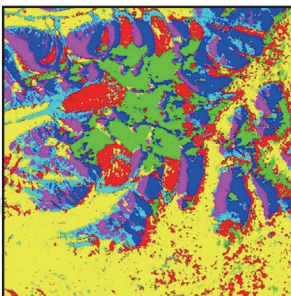
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Real-time object tracking based on L_2 -norm minimization(P36)



Correction method of single-precision floating-point error for digital Earth rendering(P119)



Topographic correction of polarimetric synthetic aperture radar and its application in snow and ice mapping(P150)

Image Processing and Coding

- Adaptive rough entropy method for image thresholding 0001
Wu Tao
- Multi-focus image fusion based on properties of local extrema 0011
Yang Da, Wang Xiaotong, Xu Guanlei, Wu Junbo
- An accurate and fast algorithm for camera pose estimation 0020
Li Shujie, Liu Xiaoping
- Large capacity lossless information hiding in images using integer transform 0028
Qiu Yingqiang

Image Analysis and Recognition

- Real-time object tracking based on L_2 -norm minimization 0036
Qi Meibin, Yang Xun, Yang Yanfang, Lu Lei, Jiang Jianguo
- Detection and segmentation of occluded vehicles based on seven grids 0045
Liu Wanjun, Chen Hongyu, Yao Xue, Qu Haicheng
- Automatic calibration of hand structures based on voxel data 0054
Yao Zhengwei, Pan Zhigeng
- Image edge extraction combined with a Gaussian weighted distance graph 0062
Jia Di, Meng Xiangfu, Meng Lu, Dong Na, Fang Jinfeng
- Restoration of distorted 2D barcode marked on arbitrary radius cylinder based on calibrated camera 0069
Wang Wei, He Weiping, Guo Gaifang, Niu Jinbo, Cao Xizheng
- Fast ellipse detection for target images in ICF experiment 0076
Wu Qian, Zou Wei, Xu De, Zhang Feng
- Face recognition by fusing MBP and EPMOD 0085
Yan Haiting, Wang Ling, Li Kunming, Liu Jifu
- Fragments tracking under occluded target 0092
Zhang Yanchao, Xu Hongli

Image Understanding and Computer Vision

- Multi-scale analysis based motion attention computation 0101
Liu Long, Fan Boyang
- Scene classification based on multi-scale spatial discriminative probabilistic latent semantic analysis 0109
Ji Haifeng, Gao Jun, Zheng Peng, Wang Jing

Computer Graphics

- Correction method of single-precision floating-point error for digital Earth rendering 0119
Li Shanglin, Zheng Liping, Zhang Jing, Yang Liuqing

Medical Image Processing

- Despeckling for medical ultrasound images based on wavelet and bilateral filter 0126
Zhang Ju, Wang Chen, Cheng Yun
- Medical image fusion based on weighted Contourlet transformation coefficients 0133
Zhang Xin, Chen Weibin

Remote Sensing Image Processing

- The method and application of multi-dimension interpretation for landslides using high resolution remote sensing image 0141
Lu Xuejun, Shi Zhenchun, Shang Weitao, Zhou Heyi
- Topographic correction of polarimetric synthetic aperture radar and its application in snow and ice mapping 0150
Fu Sitao, Li Zhen, Tian Bangsen
- The object-oriented change detection based on neighborhood correlation images and the minimum-redundancy-maximum-relevance feature selection 0158
Zou Lidong, Pan Yaozhong, Zhu Wenquan, Zhou Gongqi, Li Yizhan

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)01-0045-09

论文引用格式: 刘万军, 陈虹宇, 姚雪, 曲海成. 利用七宫格的遮挡车辆凹性检测与分割[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(1): 45-53. [DOI: 10.11834/jig.20140106]

利用七宫格的遮挡车辆凹性检测与分割

刘万军, 陈虹宇, 姚雪, 曲海成

辽宁工程技术大学软件学院, 葫芦岛 125105

摘要: **目的** 交通场景中车辆间的距离过近或相互遮挡容易造成识别上的粘连, 增加了准确检测目标车辆的难度, 因此需要建立有效、可靠的遮挡车辆分割机制。**方法** 首先在图像分块的基础上确定出车辆区域, 根据车辆区域的长宽比和占空比进行多车判断; 然后提出了一种基于七宫格的凹陷区域检测算法, 用以找出车辆间的凹陷区域, 通过匹配对应的凹陷区域得到遮挡区域; 最后, 将遮挡区域内检测出的车辆边缘轮廓作为分割曲线, 从而分割遮挡车辆。**结果** 实验结果表明, 在满足实时性的前提下算法具有较高的识别率, 且能够按车辆的边缘轮廓准确分割多个相互遮挡的车辆。与其他算法相比, 该算法提高了分割成功率和分割精度, 查全率和查准率均可达到90%。**结论** 本文新的遮挡车辆分割算法, 有效解决了遮挡车辆不宜分割和分割不准确的问题, 具有较强的适应性。

关键词: 凹性分析; 七宫格; 凹陷区域; 遮挡区域; 车辆分割

Detection and segmentation of occluded vehicles based on seven grids

Liu Wanjun, Chen Hongyu, Yao Xue, Qu Haicheng

School of Software, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China

Abstract: **Objective** Intelligent transportation is a service system based on the modern electronic information technology for transportation. With the development of intelligent traffic system, video surveillance technology is often used in this area. While using the video surveillance system to detect the traffic scene, the false detections often occur when two or more vehicles approaches each other. This phenomenon increases the difficulty of vehicle detection. To overcome this problem, it is necessary to establish a reliable, practical splitting mechanism for the occluded vehicles. Further more, we proposed a new identification and segmentation algorithm for occluded vehicles. **Method** In order to obtain the moving areas, we use the background differencing to detect the current image. Meanwhile, the shadow areas need to be eliminated. We use a shadow detection algorithm that is based on the HSV space features. Then, the image is divided into blocks to reduce the processing time. We use the width/height ratio and occupancy ratio to judge whether a moving area contains one or more vehicles. To find out the recessed area between vehicles, a new algorithm called the "seven grids" is presented. The new "seven grids" algorithm is a matrix of seven rows and seven columns. First, the recessed area detection algorithm calculates the edge of the vehicle regions. Then it uses the "seven grids" to traverse all the edges, puts the detected point at the center of the "seven grids" and determines for each point whether it is a concave point. At last, it determines the recessed areas based on the concave points, and finds the occluded areas between vehicles by matching the corresponding recessed areas. At the same time, there are some differences about the color and brightness between different vehicles. This situation is more obvious when the occlusion phenomenon exists between vehicles. Therefore, we use the algorithm for edge detection to

收稿日期: 2013-06-17; 修回日期: 2013-07-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(61172144)

第一作者简介: 刘万军(1959—), 男, 教授, 1991年于阜新矿业学院(现更名为辽宁工程技术大学)获得工学硕士学位, 主要研究方向为目标识别与跟踪。E-mail: woshichenhongyu@126.com

detect these occluded areas. To identify edges of vehicles which are regarded as segmentation curves. Then we use them to segment the occluded vehicles. **Result** Traditional segmentation methods often work to find the segmentation points and connect the corresponding segmentation points to segment occluded vehicles. This method can effectively segment them, but the segmentation results are not accurate. The segmentation method we propose is committed to find the occluded area, and uses the edges of vehicles into the occluded area to segment occluded vehicles. The algorithm satisfies the real-time requirement and can effectively segment the occluded vehicles. Compared with other methods, it has better segmentation results and higher recognition success rate, and the recall and precision can reach up to 90%. **Conclusion** In this paper we focus on the effective identification and segmentation of occluded vehicles. We propose a segmentation method based on the "seven grids". The method segments occluded vehicles effectively, and it has strong adaptability, because it does not need any prior knowledge. Experimental results demonstrate that, this occluded vehicles detection algorithm has a high recognition rate. The proposed vehicles segmentation method can segment the overlapped ones accurately and completely.

Key words: concavity analysis; seven grids; recessed area; occluded area; vehicle splitting

0 引言

基于视频的道路监控技术在智能交通系统中以其操作简单、易于实现、性价比高等特点得到了广泛应用。快速、准确的遮挡车辆分割结果是视频监控的基础,也是对目标进一步分析和处理的关键。因此,基于视频图像的遮挡车辆识别与分割技术具有重要的研究和应用意义。

近年来,已有很多专家学者研究如何有效检测并消除车辆行驶过程中存在的遮挡现象对目标跟踪和监控造成的影响。常用的方法可分为基于特征、基于模型和基于轮廓形状的方法。其中,基于特征的方法包括基于特征点^[1-2]、基于局部特征^[3]、基于纹理特征^[4]等方法,这类算法根据感兴趣的特征来检测和分割车辆,虽然能够实现有效分割,但计算量较大很难满足实时性的需求。基于模型的方法有特征模型^[5]、统计模型^[6]、推理模型^[7]和3维模型^[8]等。特征模型可以有效解决车辆间的遮挡问题,但这种方法对场景的要求比较高,易受到复杂场景中其他物体的影响;现存的统计模型一般需要一些未知或不确定的数值,这种性质造成这类方法在实际应用中存在难度;3维模型具有较高的精度,但需要的车辆详细几何信息一般无法快速找到;推理模型主要根据车辆的位置、速度、运动方向等先验知识来判断和解决遮挡问题,通常情况下这类方法具有很好的处理效果,但到目前为止,这类模型算法还不够完善。基于轮廓形状的方法^[9-12]根据检测区域轮廓的几何形状判断是否存在车辆遮挡的现象,文献[12]就是通过寻找轮廓拐点的组合分割不同车辆,这类方法对先验知识要求少、适应性强、处理时间相

对较快,在实际应用中运用较多。

在轮廓形状方法的基础上,结合车辆间的实际情况提出了一种新的遮挡车辆分割方法。与传统的分割方法相比,本文不是直接简单的在整个区域内寻找分割点、分割线,因为相对于整体而言,局部区域内的特征更为明显、更容易发现,而且范围越小找到的特征越接近真实值,所以本文更主动地搜索车辆间的遮挡区域,在遮挡区域内进行检索与判断,最终找到遮挡车辆的边缘轮廓,并将其作为分割曲线。

1 检测车辆区域

车辆检测问题是车辆处理的基础,在满足实时性的前提下,有效准确的车辆区域检测结果直接影响后续对遮挡车辆处理的准确性。在采用传统背景差分法检测车辆区域的过程中对图像进行了分块处理,设图像的宽为 W 、高为 H ,将图像划分为 $(W/2) \times (H/2)$ 个子块,划分后的每个子块 $P(i, j)$ ($i \in [0, \text{int}(W/2) - 1], j \in [0, \text{int}(H/2) - 1]$) 有 2×2 个像素点,如果子块 $P(i, j)$ 的像素中至少存在 2 个像素属于车辆区域,则认为 $P(i, j)$ 位于车辆区域,记 $P(i, j) = 1$,否则 $P(i, j) = 0$ 。虽然图像分块处理后会有一小部分外界区域误检为车辆区域,但这种方法能够提高处理速度,同时保证了车辆的全面性,为后续处理提供了完整的车辆信息。

为提高车辆检测的准确性,在检测出的车辆区域内采用 HSV 阴影检测算法去除车辆区域中的阴影部分。设 $I^H(x, y)$ 、 $I^S(x, y)$ 、 $I^V(x, y)$ 和 $B^H(x, y)$ 、 $B^S(x, y)$ 、 $B^V(x, y)$ 分别是当前图像和背景图像在 (x, y) 处的色相(H)、饱和度(S)和亮度(V)分量。用 $Y(x, y)$ 表示 (x, y) 处的二值信息,即

$$Y(x, y) = \begin{cases} 0 & [|I^S(x, y) - B^S(x, y)| \leq Y_S] \&\& \\ & [a \leq \frac{I^V(x, y)}{B^V(x, y)} \leq b] \&\& \\ & [|I^H(x, y) - B^H(x, y)| \leq Y_H] \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, Y_S 和 Y_H 为选取的阈值, a 表示阴影的强度, b 用来增强噪声的鲁棒性, $0 \leq a \leq b \leq 1$ 。

最后对图像进行孔洞填充和杂质去除处理。具体阴影去除算法见文献[13]。

2 分割遮挡车辆

由于车辆间存在相互遮挡和重叠的现象,检测出的某个区域中可能存在多个动态车辆。为此需要判断各区域内是否存在多个车辆,并分割多车区域,以便后续处理工作的顺利开展。

2.1 多车区域判断方法

用于交通检测的摄像头一般与车辆在水平方向上近似平行,图像经过分块处理后这种平行现象更为明显,则使用占空比和长宽比判断是否存在多车粘连。

定义占空比 $R_{\text{area}} = R_A/R_B$, 长宽比 $R_{\text{hw}} = R_H/R_W$ 。 R_A 、 R_B 分别是车辆区域和其外接矩形的面积(子块总数), R_H 、 R_W 分别是外接矩形的长和宽。车辆区域的外接矩形如图1所示。



图1 运动车辆及其外接矩形

Fig. 1 Vehicles and their bounding rectangle

对于占空比而言,单车区域的占空比较大,而存在多车的区域则明显较小,因此设定一个阈值 Y_{area} , 如果 $R_{\text{area}} < Y_{\text{area}}$ 则该区域是多车区域;对于长宽比而言,其值越大该区域中存在遮挡车辆的可能性越高,设定阈值 Y_{hw} , 如果 $R_{\text{hw}} > Y_{\text{hw}}$ 则该区域可能是多车区域。经过统计大量实际拍摄图像上的单车区域,确定了单车区域的长宽比和占空比这两个因素的概率函数,该函数近似用梯形函数来表示,如图2所示,其中阈值 $Y_{\text{area}} = 0.7$, $Y_{\text{hw}} = 1.5$ 。为防止漏检,本文采用否决逻辑,即只要该运动区域的占空比和

长宽比中的一项不满足单车区域的标准,则认为是多车区域。

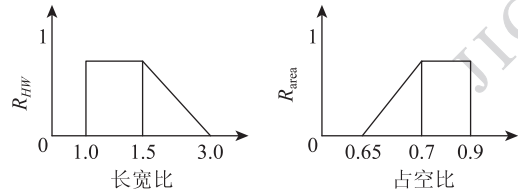
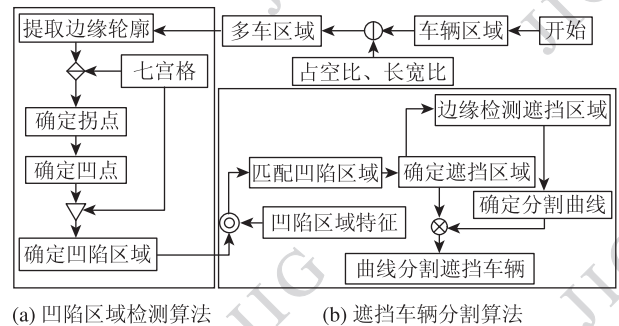


图2 单个车辆的长宽比和占空比概率函数

Fig. 2 Aspect ratio and duty ratio for a single vehicle

2.2 基于轮廓特征的多车分割方法

准确分割遮挡车辆是有效跟踪和其他处理的前提。根据车辆边缘轮廓的凹凸性,本文算法首先检测车辆间的遮挡区域,然后将遮挡区域中车辆的轮廓曲线作为分割线并分割遮挡车辆。与其他方法相比,本文算法采用曲线的方式分割,有效提高了分割车辆的准确度。分割算法的流程框图如图3所示。



(a) 凹陷区域检测算法

(b) 遮挡车辆分割算法

图3 分割算法的流程框图

Fig. 3 Flowchart for segmentation method

2.2.1 凹陷区域检测方法

一般情况下,单车区域的外围轮廓走势较为平缓,多车区域的轮廓在其遮挡处会存在较大的凹陷情况。遍历运动区域内的所有子块,如果 $P(i, j) = 1$ 且 $P(i-1, j)$ 、 $P(i+1, j)$ 、 $P(i, j-1)$ 和 $P(i, j+1)$ 中至少有一个值为0,认为 $P(i, j)$ 是该区域边缘轮廓的子块(简称轮廓子块),提取出所有的轮廓子块形成边缘轮廓。图1中运动车辆的外围轮廓提取结果如图4所示。

为检测边缘轮廓的凹凸性,提出一种基于七宫格的凹陷区域检测算法。七宫格是7行7列的子块方阵。算法将所要检测的轮廓子块 $P(i, j)$ 视为七宫格的中心,记为 P_c ,沿与其相邻的轮廓子块向外遍历,直到找到位于七宫格最外层的两个轮廓子块

为止,记这两个子块为 P_A 和 P_B ,如图 5 所示。

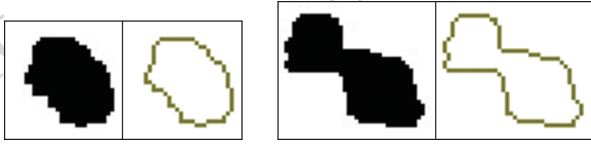


图 4 车辆边缘轮廓
Fig. 4 Vehicle edge contour

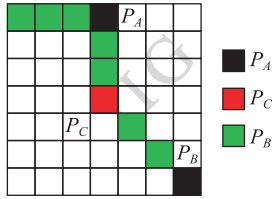


图 5 七宫格示意图
Fig. 5 Seven grids schematic

计算出 P_A 、 P_C 和 P_B 组成的夹角

$$\angle P_A P_C P_B = \arccos \left(\frac{F_x \times S_x + F_y \times S_y}{[(F_x^2 + F_y^2) \times (S_x^2 + S_y^2)]^{\frac{1}{2}}} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_x = (F_0 - C_0) \\ F_y = (F_1 - C_1) \\ S_x = (S_0 - C_0) \\ S_y = (S_1 - C_1) \end{cases} \quad (3)$$

式中, F_0 、 S_0 和 C_0 分别是 P_A 、 P_B 和 P_C 的行坐标, F_1 、 S_1 和 C_1 分别 P_A 、 P_B 和 P_C 的列坐标, $\pi = 3.1415926$ 。

判断 P_C 是否是拐点(凹点或凸点),即

$$P_C = \begin{cases} \text{拐点} & \angle P_A P_C P_B \in [90^\circ, 135^\circ] \\ \text{非拐点} & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

如果是拐点,则连接 P_A 和 P_B 作辅助线 L_{AB} ,如果 L_{AB} 位于当前车辆区域的外面,则 P_C 是凹点,否则是凸点。

凹点具有的属性如下:

1) 单调性 计算出凹点对应辅助线的单调性,即

当 $F_{pc} = 1$ 时, L_{AB} 单调递增,当 $F_{pc} = 0$ 时, L_{AB} 单调递减。定义凹点的单调性与其辅助线的单调性一致。

2) 方向性 确定凹点存在的位置,并用 T_{pc} 表示。由于遮挡车辆间很难存在水平平行的情况,所以这里只考虑左、右方向,当 $T_{pc} = 1$ 时,凹点位于车

辆区域的右侧,当 $T_{pc} = 0$ 时,凹点位于车辆区域的左侧。

$$F_{pc} = \begin{cases} 1 & \frac{F_1 - S_1}{F_0 - S_0} > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{pc} = \begin{cases} 1 & C_0 - \left[F_0 - \frac{(F_0 - S_0) \times (F_1 - C_1)}{F_1 - S_1} \right] > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

由于车辆遮挡区域往往具有较大的凹陷性,所以一个凹陷区域内可能存在多个相邻的凹点,为了提高分割的准确性,需要对这些凹点进行二次处理得到完整的凹陷区域。

凹陷区域的判定过程如下:

1) 遍历边缘轮廓,将检测出的凹点视为七宫格的中心,判断在该七宫格范围内是否还有其他凹点,若有,则继续执行,否则跳转到步骤 3)。

2) 以该范围内的每个凹点为中心,建立七宫格。则凹陷区域为这些七宫格内所有轮廓子块组成的区域。跳转到步骤 4)。

3) 将该范围内所有轮廓子块组成的区域视为凹陷区域。

4) 确定凹陷区域辅助线。每个凹陷区域端点的连线就是其辅助线。

5) 如果未遍历完所有轮廓子块则跳转到步骤 1), 否则结束。

每个凹陷区域的属性与该区域内任意一个凹点的属性相同。

图 6 是单车区域和多车区域的凹陷区域检测结果。图 6(a)(b) 的黑点是检测出的拐点,绿点是非拐点的轮廓子块,红线是各拐点对应的辅助线。根据图 6(b) 中各拐点对应辅助线存在的区



(a) 检测出的拐点

(b) 各拐点及其辅助线



(c) 计算出的凹点

(d) 凹陷区域及其辅助线

图 6 车辆的凹陷区域检测结果

Fig. 6 The recessed area detection result of vehicles

域确定凹点,结果如图6(c)所示,图6(c)中黑点是检测出的凹点。根据凹点的位置,依据凹陷区域判断准则得到凹陷区域如图6(d)所示,图6(d)中连续的黑点是凹陷区域,红线是凹陷区域对应的辅助线。

2.2.2 遮挡车辆分割算法

通过上文的凹陷区域检测算法已确定边缘轮廓中的凹陷区域。由于遮挡车辆间的凹陷区域往往成对出现,如何正确匹配对应的凹陷区域是车辆分割的重点和难点。

对应凹陷区域具有如下特征:

- 1) 单调原则 对应凹陷区域辅助线的单调性相同;
- 2) 异侧原则 对应凹陷区域位于车辆两侧;
- 3) 对应原则 凹陷区域均遵守一一对应原则;
- 4) 顺序原则 一般情况下,自上而下左侧第 N 个凹陷区域对应右侧与其单调性相同的第 N 个凹陷区域。

根据以上特征,对应凹陷区域判定过程如下:

- 1) 初始化 $i=0, j=0$, 从上到下, 设 L_i 是左侧第 i 个凹陷区域, R_j 是右侧第 j 个凹陷区域;
- 2) 提取 L_i 和 R_j ;
- 3) 判断 R_j 是否已匹配, 若未匹配, 则继续执行, 否则 $j++$ 并跳转到步骤 2);
- 4) 如果 L_i 和 R_j 满足单调原则, 则 L_i 和 R_j 是对应的凹陷区域并继续执行, 否则 $j++$ 并跳转到步骤 2);
- 5) 判断所有的凹陷区域是否已全部匹配, 如果存在未匹配的凹陷区域, 则 $i++, j=0$ 并跳转到步骤 2), 否则结束。

对应凹陷区域判定过程的优化流程如图7所示。

连接对应凹陷区域辅助线的端点形成一个四边形, 这个四边形就是车辆间的遮挡区域。由于同一时刻不同车辆具有不同的颜色和光照特性, 所以在车辆间的分界区域内存在明显的颜色变化, 据此对遮挡区域进行边缘检测(采用 Canny 边缘检测方法), 得到遮挡车辆的边缘轮廓, 并将其作为分割曲线。

为了更好地进行分割和匹配, 对分割线进行分块处理, 当子块 $P(i, j)$ 内的 4 个像素中至少存在一个像素点属于分割线, 则认为该子块是分割子块。提取分割曲线, 然后将得出的分割曲线与车辆区域

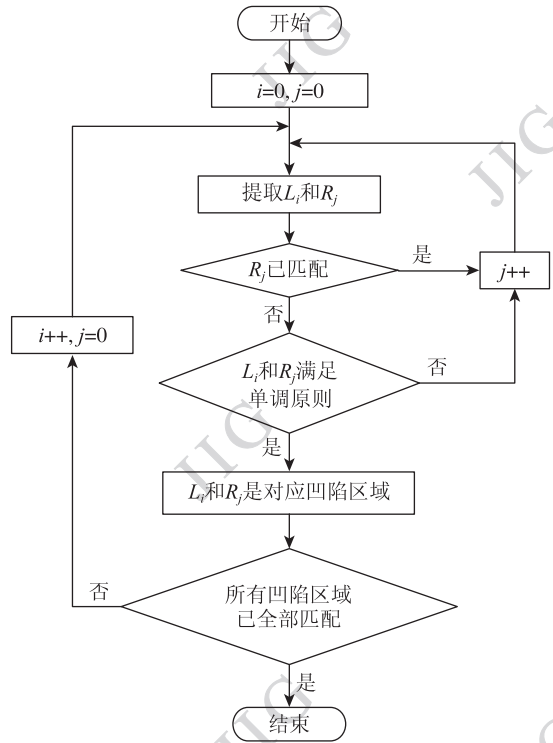


图7 对应凹陷区域判定过程

Fig. 7 Decision process for corresponding concave area

进行异或运算, 分割遮挡车辆。

遮挡车辆的分割过程如图8所示, 图8(a)中四边形是车辆间的遮挡区域, 对该区域进行边缘检测得到分割曲线图8(b), 最终遮挡车辆分割效果如图8(c)所示。



(a) 确定粘连区域 (b) 提取分割线 (c) 分割结果

图8 遮挡车辆分割过程

Fig. 8 Multiple vehicle segmentation process

3 实验结果及分析

以本文算法为核心, 利用 Microsoft Visual Studio 2005 (C#) 编写的实验平台进行实验。实验平台的硬件环境是 Pentium 处理器, 双核、2.10 GHz、2 G 内存, XP 操作系统。主要对两段公路视频进行了测试, 分别是视频 Highway I^[14] 和 TrafficVideo I (表1), Highway I 是车辆检测常用的基准运动图像序列(ht-

tp://cvrr.ucsd.edu/aton/testbed/), TrafficVideo I 是本文作者和实验相关人员在阜新市某天桥采集得到的交通视频。采用文献[15]的评价方法对算法进行性能评估。

表 1 实验使用的图像序列
Table 1 The sequences of image for test

	TrafficVideo I	Highway I
图像序列长度/帧	280	440
图像尺寸/像素	528 × 384	320 × 240
车辆遮挡情况	较严重	一般
车速/(像素/s)	10 ~ 20	30 ~ 35

3.1 车辆分割检测效果

代表性地,在 TrafficVideo I 中选取若干图像序

列帧进行实验,以说明本文分割算法的处理过程(对其他图像序列的处理过程在此就不一一列出):在图像 2 × 2 分块处理的基础上,采用背景差分法获取车辆区域、HSV 算法去除阴影区域,然后进行车辆分割处理,如图 9 所示。实验中 $a = 0.2$ 、 $b = 0.8$ 、 $Y_s = 0.09$ 、 $Y_H = 0.5$ 、 $Y_{area} = 0.7$ 、 $Y_{HW} = 1.5$,其中 a 表示阴影的强度, b 用来增强噪声的鲁棒性, Y_{area} 是占空比的阈值, Y_{HW} 是长宽比的阈值,边缘检测中的阈值为 20, Y_s 和 Y_H 是 HSV 算法中的判断阈值。

图 9 中(c)(h)(m)(r)中黑点是检测出的拐点,绿点是非拐点的轮廓子块,红色线是各拐点对应的辅助线;图 9 中(d)(i)(n)(s)中绿点是非拐点的轮廓子块,连续的黑点是检测的凹陷区域,红色四边形是检测出的遮挡区域。

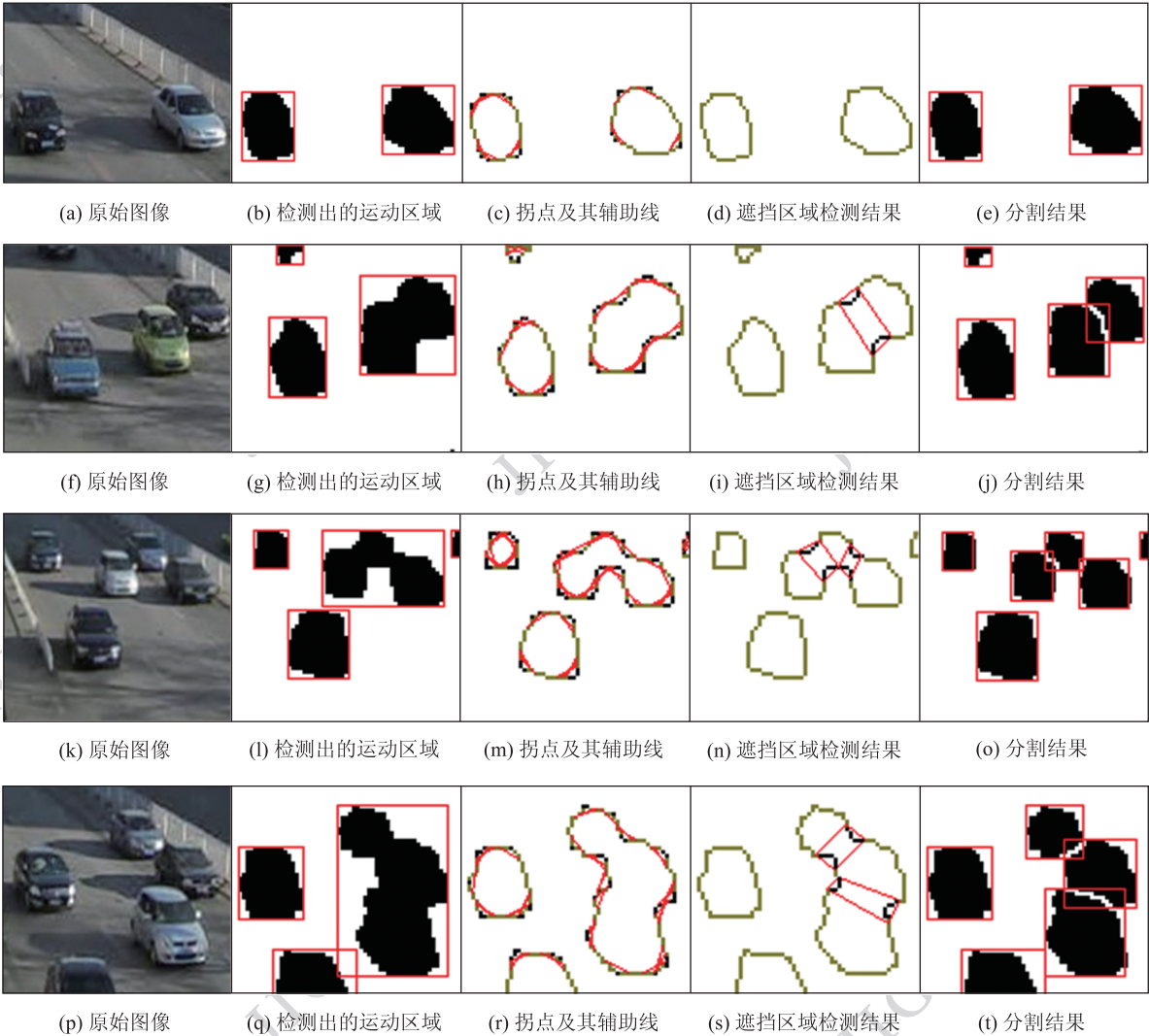


图 9 交通图像及其处理结果
Fig. 9 Traffic images and processing results

图9(a)~(e)实验图像是两辆未发生遮挡的运动车辆。检测图9(a)得出运动区域图9(b), 计算出各区域的长宽比和占空比, 左侧车辆区域的长宽比为1.313, 占空比为0.751, 右侧车辆区域的长宽比为1.048, 占空比为0.724, 通过判断准则确定这两个区域均是单车区域。图9(b)经过凹点检测后得到拐点及其辅助线, 如图9(c)所示, 所有拐点均非凹点, 进一步验证了这两个区域是单车区域。

图9(f)~(j)实验图像中有两辆车辆相互遮挡, 这里只对发生遮挡的车辆进行分析。经检测, 图9(g)中遮挡车辆区域的长宽比是1.083, 占空比是0.617, 通过判断准则确定这个区域包含多个车辆。对图9(g)拐点检测后得到图9(h), 经过遮挡区域检测算法计算后得出的车辆间的遮挡区域如图9(i)所示, 最后在遮挡区域内进行边缘检测, 实现分割处理。

图9(k)~(o)实验图像中存在多车同向横向遮挡, 其长宽比是1.613, 占空比是0.586, 通过判断确定这个区域包含多个车辆。经过凹陷区域判断准则发现该区域内存在多对凹陷区域, 根据本文凹陷区域匹配准则计算出对应的凹陷区域。匹配结果如图9(n)所示, 最后分割该区域。同理, 当多车存在竖向遮挡的情况时, 如图9(p)所示, 本文算法也能够准确的分割遮挡车辆, 对图9(p)的检测和分割结果如图9(t)所示。

3.2 算法分析与评估

为了分析算法性能, 从分割遮挡车辆的准确度和时间效率两个方面进行算法分析与评估, 最后采用文献[16]和文献[17]算法与本文算法进行比较。文献[16]中提出的遮挡车辆分割算法是在车辆区域内采用扫描的方法寻找分割点, 并通过连接对应的凹点分割遮挡车辆, 该算法不需要除车辆形状以外的任何先验知识, 是一种传统的优秀分割方法。文献[17]首先确定车辆区域内的骨架和有效的骨架点, 通过相邻两个骨架的有效骨架点计算出分割点的位置, 然后在分割点上方的车辆轮廓点中, 选取与其距离最近的点作为“上凹点”, 同理找到“下凹点”, 最后连接上下凹点形成分割线进而分割遮挡车辆。

采用文献[16]和文献[17]算法对图9(f)~(k)~(p)遮挡车辆的检测和分割, 结果如图10所示。本文、文献[16]和文献[17]算法对 Highway 1 中选取的若干图像处理结果如图11所示。

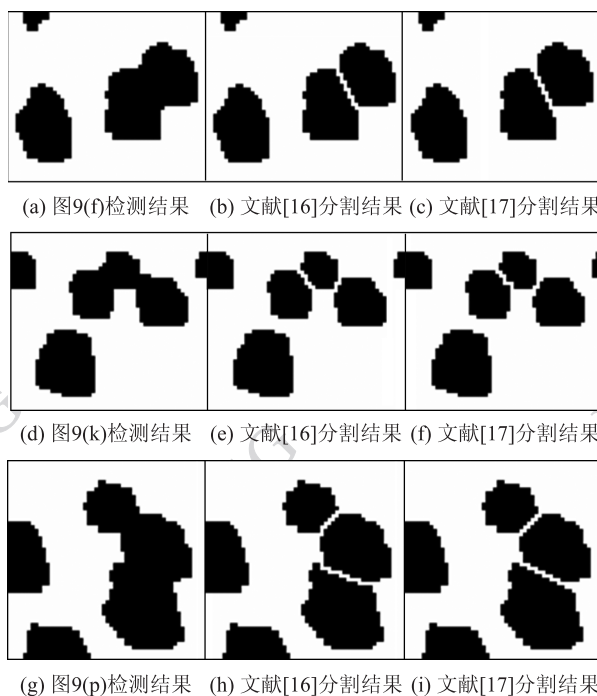
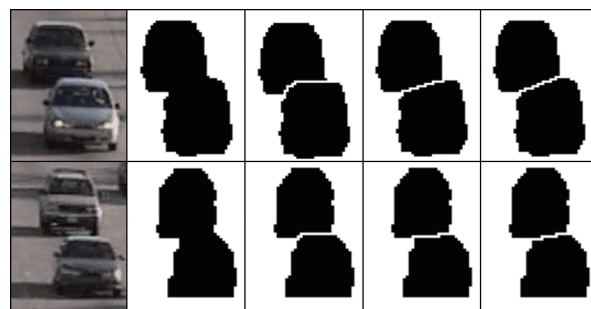


图10 文献[16]和文献[17]检测与分割结果

Fig. 10 The detection and segmentation results of reference[16] and reference[17]



(a) 原始图像 (b) 检测结果 (c) 本文算法 (d) 文献[16] (e) 文献[17]

图11 图像分割结果

Fig. 11 Images of segmentation results

通过对比图9~图11中本文、文献[16]和文献[17]算法对车辆的分割结果可以发现, 本文算法能够更准确地计算出遮挡车辆间的分割线, 进而更好地获取各个车辆的形状和遮挡信息。因为本文算法首先计算车辆间的遮挡区域, 并将遮挡区域内的车辆轮廓曲线作为分割线, 最后分割遮挡车辆。而文献[16]和文献[17]中虽然对于分割点的检索方式不同, 但对于遮挡车辆的分割处理都仅仅是连接计算出的对应凹点, 并认为连接线就是车辆的分割线, 这种直线分割的方式必然无法准确分割遮挡车辆。本文算法对图9和图11中遮挡车辆的处理时间如表2所示。

表 2 本文算法处理时间
Table 2 Algorithm processing time

图像	车辆提取时间	分割时间	总时间 /ms
图 9(a)	34.19	18.17	52.36
图 9(f)	34.92	26.25	61.17
图 9(k)	35.19	28.35	63.54
图 9(p)	36.05	29.53	65.58
图 11(a)	25.15	20.17	45.32
图 11(e)	27.26	20.09	47.35

通过表 2 可以发现本文算法的处理时间并不稳定,存在处理时间与遮挡车辆总数、图像大小成正比的现象。但算法的整体处理时间小于 100 ms,仍然具有一定的实时性。

从 TrafficVideo I 的视频序列中选取连续的 87 帧图像作为基准图像,将各幅图像中遮挡车辆的掩膜图像作为比较基准,采用文献[15]中定义的查全率(R_c)、查准率(P_r)和 F 量测 3 个指标对文献[16]、文献[17]算法和本文算法的检测结果进行比较。设一幅图像中存在 m 个相互遮挡的车辆,设 t_i 表示对第 $i(i \in [1, m])$ 个遮挡车辆检测正确的像素总数, f_i 表示将其他车辆误检为第 i 个车辆的像素总数, g_i 表示将第 i 个车辆错误地分割为其他车辆的像素总数,则查全率、查准率和 F 量测定义如下:

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{t_i + g_i} \quad (7)$$

$$P_r = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{t_i + f_i} \quad (8)$$

$$F = \frac{2 \times P_r \times R_c}{P_r + R_c} \quad (9)$$

式中,查全率反映的是漏检率,值越大漏检率越低;查准率反映的是虚检率,值越大虚检率越低; F 量测反映的是整个算法的综合性能。

通过以上 3 种算法计算序列中每帧图像的 3 个性能,将结果绘制成曲线图进行比较,如图 12 所示。图 12(a)一(c)中均存在多处连续为 1 的检测指标,这是由于该图像序列中本身存在多幅未发生车辆遮挡的图像,故其检测结果为 1。图 12 中存在检测结果很差的情况,这是由于发生误检或误分割造成的。由图 12 可知,本文算法 F 量测的均值在 0.9 左右,而文献[16]和文献[17]算法的处理结果在 0.8 上下,故本文算法的分割准确率要高于文献[16]和文献[17]算法。

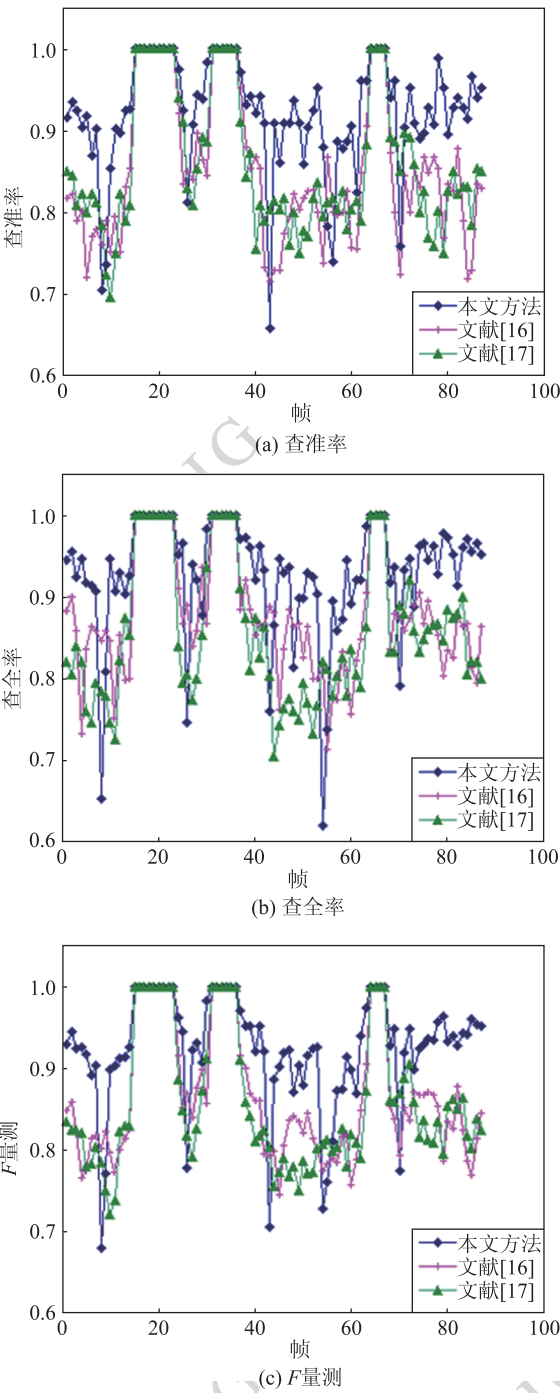


图 12 性能曲线的检测结果
Fig. 12 Test results of the performance curve

通过选取大量交通视频图像进行实验,发现在满足一定实时性的前提下,本文算法相对其他算法的分割准确度显著提高。

4 结 论

重点研究了如何有效识别并分割遮挡车辆的问题

题,提出了一种利用七宫格检测并分割遮挡车辆的方法,通过七宫格确定车辆间的遮挡区域,可实现多个车辆的完整、准确分割。实验结果分析表明,本文算法有效地解决了实时监控场景中遮挡车辆不宜分割和分割不准确的问题,对阴影等形状的干扰具有一定的鲁棒性,具有较高的分割准确率。在进一步的研究工作中,拟在现有算法的框架下,引入目标运动状态预测模型,增加车辆遮挡的预测能力,进一步提高识别和分割遮挡车辆的精度。

参考文献 (References)

- [1] Jiao B, Yan L L, Li W. Real-time Partial Sheltered Vehicles Segmentation and Shadow Elimination [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2012, 8(33): 1825-1829. [焦波, 闫了了, 李伟. 实时部分遮挡车辆分割及阴影消除[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 8(33): 1825-1829.]
- [2] Kanhere N K, Pundlik S J, Birchfield S T. Vehicle segmentation and tracking from a low-angle off-axis camera [C]//Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, California: IEEE, 2005: 1152-1158.
- [3] Liu H Y, Li J, Hong L R. Subspace vehicle recognition algorithm using local features [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(30): 156-180. [刘怀愚, 李璟, 洪留荣. 利用局部特征的子空间车辆识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(30): 156-180.]
- [4] Fan N. Object classification and occlusion handling using quadratic feature correlation model and neural networks [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2011, 25(3): 287-298.
- [5] Coifman B, Beymer D, McLauchlan P, et al. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 1998, 6(8): 271-288.
- [6] Huang C L, Liao W C. A vision-based vehicle identification system [C]// Proceedings of International Conference on Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004: 364-367.
- [7] Jung Y K, Lee K W, Ho Y S. Content-based event retrieval using semantic scene interpretation for automated traffic surveillance [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2001, 2(3): 151-163.
- [8] Song X F, Ram N. Detection and tracking of moving vehicles in crowded scenes [C]// Proceedings of the IEEE Workshop on Motion and Video Computing. Washington DC, USA: IEEE, 2007: 1-4.
- [9] Kothari S, Chaudry Q, Wang M D. Automated cell counting and cluster segmentation using concavity detection and ellipse fitting techniques [C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Biomedical Imaging. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 795-798.
- [10] Zhang W, Wu Q M, Yang X K, et al. Multilevel framework to detect and handle vehicle occlusion [J]. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, 2008, 9(3): 161-174.
- [11] Goo J, Aggarwal J K, Gokmen M. Tracking and segmentation of highway vehicles in cluttered and crowded scenes [C]//IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Copper Mountain, CO: IEEE, 2008: 1-6.
- [12] Ji X P, Wei Z Q. Tracking method based on contour feature of vehicles and extended Kalman filter [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(2): 267-272. [纪筱鹏, 魏志强. 基于轮廓特征及扩展 Kalman 滤波的车辆跟踪方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 267-272.]
- [13] Zhang X. Method for eliminating moving object shadows in video images [J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(6): 201-204. [张霞. 视频图像中运动目标的阴影消除法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(6): 201-204.]
- [14] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection [C] // Proceeding of the European Conference on Computer Vision. Graz, Austria: Springer, 2006, 3951: 430-443.
- [15] Maddalena L, Petrosino A. A self-organizing approach to background subtraction for visual surveillance applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(7): 1168-1177.
- [16] Wu X S, Liu Y, Qi Q F. Adhered vehicles segmentation based on concavity analysis [J]. Application Research of Computers, 2012, 29(1): 344-347. [吴忻生, 刘洋, 戚其丰. 基于凹性分析的粘连车辆分割[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 344-347.]
- [17] Chen C Y, Liu S H. Detection and segmentation of occluded vehicles based on skeleton features [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control. Harbin, China: IEEE, 2012: 1055-1059.