第 18 卷 第 2 期 2018 年 1 月
1671—1815(2018)002-0290-06

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 18 No. 2 Jan. 2018
© 2018 Sci. Tech. Engrg.

引用格式:王 平, 肖国宴, 谢代炎. 基于轮廓特征点凹性分析的遮挡车辆分割算法[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(2): 290—295
Wang Ping, Xiao Guoyan, Xie Daiyan. Segmentation of occluded vehicles based on concavity analysis of contour feature points[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(2): 290—295

基于轮廓特征点凹性分析的遮挡车辆分割算法

王 平 肖国宴* 谢代炎
(南昌大学,南昌 330031)

摘 要 在智能交通系统的拍摄场景中,由于车辆间距过近和摄像角度原因,引起车辆遮挡的现象,增加了目标车辆检测和跟踪的难度。根据轮廓特征点,结合轮廓凹凸性,提出一种凹陷区域检测与分割算法。首先采用背景差分法提取车辆区域,根据车辆区域外接矩形的长宽比和占空比判断是否是多车遮挡,同时通过凸包分析算法提取遮挡凹陷区域;然后通过 Freeman 链码确定凹陷区域的轮廓特征点,对特征点进行凹性分析;最后匹配分割点,采用 Bresenham 直线生成法分割遮挡车辆。实验结果表明,该算法有效解决遮挡车辆分割不准确问题,与其他算法相比,具有较好的场景适应性。

关键词 凹陷区域 Freeman 链码 特征点 凹性分析 车辆分割
中图法分类号 TP391; **文献标志码** A

随着社会的发展,汽车数量急剧增加,带来一系列交通问题。智能交通系统以其操作简单、易于实现、性价比高、智能化等特点得到广泛的应用,它能够有效地获取车辆拥堵、车流量和交通事故的情况,实现对交通路况的智能管理。准确、快速检测与分割遮挡车辆是智能交通系统的基础,也是对目标进一步分析和处理的关键。因此,研究一种有效的车辆检测与分割算法具有非常重要的实际意义。

近年来,专家学者已提出多种遮挡粘连目标分割的算法,针对待处理对象的环境等影响因素,采用不同的算法达到较好的分割效果。文献[1]提出求取边缘的角点特征,即曲线的极值点进行匹配分割;文献[2]根据纹理特征检测和分割车辆。但是基于特征的分割算法对环境要求高,运算量大,难以满足实时性要求。文献[3,4]采用模糊 C 均值聚类算法,设置限制条件对图像像素点分类,达到分割效果。当车辆区域与背景区域环境接近,聚类算法很难将车辆区域从背景中完整分割出来。文献[5,6]提出对图像进行 3 维建模,得到车辆区域投影,再进行匹配分割。3 维模型能得到效果较好的结果,但对场景要求高,适应性差。文献[7]根据轮廓特征点的组合分割车辆;文献[8]利用车辆边缘分割遮挡车辆。这类基于边缘跟踪的算法计算快,适应性强,应用比较广泛。

在边缘跟踪算法的原理上,对实际车辆的形状和遮挡凹陷区域进行分析,提出一种基于轮廓特征点的凹性分析分割方法。与传统方法相比,本文算法不是直接在凹陷区域内寻找最深的凹点,而是在凹陷区域内对特征点所在一段边缘进行多重分析并将其分类,确定凹点集,再判断凹点集中真正的分割点,匹配分割车辆。

1 车辆区域提取

车辆区域提取是车辆处理的前提,车辆区域提取的准确性直接决定车辆分割、识别和跟踪的效果。常用的车辆区域提取算法有阈值法[9]、光流法[10]、帧间差分法[11]和背景减法[12]。其中的背景减法相对于阈值法、光流法和帧间差分法,速度较快,能够准确地提取出车辆区域,因此现在直接采用均值背景减法提取车辆区域,具体运算公式为

$$\begin{cases} B(x,y) = \dfrac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} I_k(x,y) \\ D(x,y) = | I(x,y) - B(x,y) | \end{cases} \tag{1}$$

式(1)中, $I_k(x,y)$ 表示连续 N 帧图像序列中的第 k 帧图像; $I(x,y)$ 表示当前待处理帧图像; $B(x,y)$ 表示背景图像; $D(x,y)$ 表示车辆图像。现在 N 取值 1 000,满足实验需求。

车辆区域提取结果如图 1 所示。利用背景减法提取车辆区域,并将其二值化得到如图 1(b)所示的

2017 年 6 月 9 日收到 江西省科技厅科技支撑计划项目(20151BBG70057)和江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ14137)资助

第一作者简介:王 平,硕士研究生导师。研究方向:图像处理与图像通信。E-mail:nddzwp@163.com。
*通信作者简介:肖国宴,硕士研究生。研究方向:图像处理。E-mail:1147694174@qq.com。

二值图像,从图 1(b)中可以看出提取的车辆区域常常伴随着孔洞和小区域等现象,对其进行形态学操作。运用形态学腐蚀、膨胀和孔洞填充,去除区域中的孔洞和杂质,结果如图 1(c)所示,最终得到完整车辆区域。

(a) 灰度图像　(b) 二值化图像　(c) 处理后图像

图 1　车辆区域提取

Fig. 1　Vehicle area extraction

2　遮挡车辆的检测与分割

由于车辆间存在相互遮挡和重叠的现象,即某个连通区域存在多辆车,如图 1(c)中所示三辆车遮挡,识别计数上容易出错。为此需要判断各区域内是否存在多个车辆,并分割多车辆遮挡区域,以便后续处理工作的顺利展开。本文算法的遮挡车辆检测与分割总流程如图 2 所示。

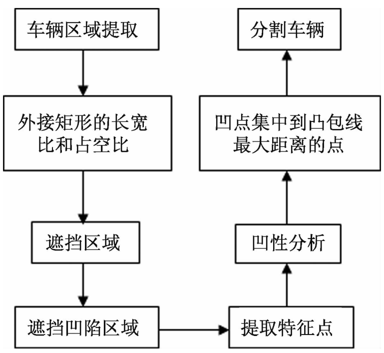


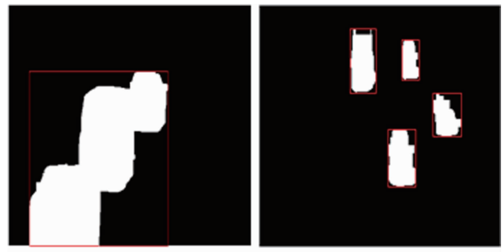
图 2　遮挡检测与分割流程

Fig. 2　Occlusion detection and segmentation process

2.1　遮挡区域判别

获取车辆区域的外接矩形,定义 T_a 、T_b 分别是区域及其外接矩形的面积, T_h 、T_w 分别是外接矩形的长和宽,使用占空比 $T_{area} = \frac{T_a}{T_b}$ 和长宽比 $T_{hw} = \frac{T_h}{T_w}$ 双重条件判断是否存在多车遮挡。车辆区域占空比 T_{area} 的值越接近 1,遮挡的可能性越低;车辆区域外接矩形的长宽比 T_{hw} 的值越大,该区域内存在遮挡的可能性越高。若占空比 $T_{area} < T_1$ 和长宽比 $T_{hw} > T_2$ 同时满足条件,则判断车辆区域存在多车遮挡,其中 T_1 , T_2 分别为某一阈值常数,现采用文献[8]中经大量数据统计的阈值。

根据上面的判断条件,得到图 3(a)车辆区域存在遮挡的情况,图 3(b)车辆区域不存在遮挡的情况。



(a) 遮挡　(b) 非遮挡

图 3　外接矩形及遮挡判别

Fig. 3　Circumscribed rectangle and occlusion discrimination

2.2　遮挡车辆凹陷区域提取

由图 4(a)可知,遮挡车辆区域的理想分割位置是在凹陷区域内,根据车辆轮廓的凹凸性,先检测遮挡车辆的凹陷区域,再确定凹陷区域内的特征点并进行凹性分析,匹配分割点分割遮挡车辆。

通常情况下,遮挡区域的轮廓在遮挡位置会存在较大的凹陷。对遮挡区域进行凸包检测,得到图 4(a)的凸包结果图,填充图 4(a)得到凸闭包图 4(b),两图相减得到如图 4(c)是整个轮廓的凹区,遮挡处的凹陷区域面积普遍比非遮挡处的凹陷区域面积大。同时得到目标区域的凸包顶点序列,计算相邻凸包顶点间的距离,遮挡处的相邻凸包顶点间的距离更大。设置凹陷区域面积和相邻凸包顶点距离的阈值条件,提取遮挡凹陷区域,即通过式(2)进行判断:

$$\begin{cases} \text{遮挡凹区}, & C(i) > T_3 \;\&\; \text{dist}(i) > T_4 \\ \text{非遮挡凹区}, & \text{其他} \end{cases} \tag{2}$$

式(2)中, $C(i)$ 是第 i 个凹区面积;$\text{dist}(i)$ 为第 i 个凹区相邻凸包顶点距离; T_3 、T_4 分别为某一阈值常数。根据式(2),最终得到遮挡凹陷区域如图 4(d)所示。

(a) 凸包　(b) 凸闭包　(c) 凹区　(d) 遮挡凹区

图 4　遮挡凹陷区域检测

Fig. 4　Occluded concave region detection

2.3　特征点提取

Freeman 链码[13]用于表示由顺次连接的具有指定长度和方向的直线段组成的边界,是一种边界的编码表示法,描述的是边界点集。本文采用 8 方向链码,因为任意一个像素点周围均有 8 个邻接点,链码值用当

前点指向它的 8 个邻点的方向来定义。链码值加 1,其所指方向就按逆时针旋转 45°,如图 5 所示。

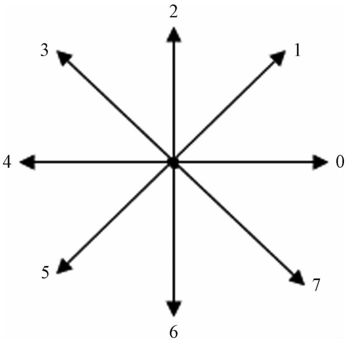


图 5 8 方向 Freeman 链码

Fig. 5 8 direction Freeman chain code

对遮挡车辆区域进行顺时针边界跟踪,得到边界像素点的链码值,由前、后两个链码值,即相邻三个点就可判断局部点的凹凸性,如图 6 所示。图 6 中黑点表示当前点,而"×"表示车辆区域内部,链码对(0,6)和(7,6)确定局部凸点,链码对(1,2)和(2,3)确定局部凹点。

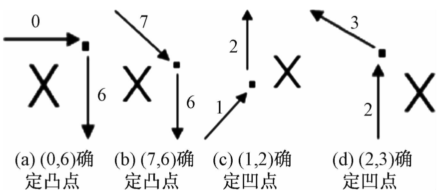


图 6 局部特征点

Fig. 6 Local feature points

根据车辆边缘比较平滑的情况,由当前点 i 和前一点 $i-1$ 的链码对 $H(i)$ 、$H(i-1)$ 的值可以确定凹性特征点,即局部凹点,如表 1 所示。

表 1 局部凹点

Table 1 Local concave points

链码对	i 局部凹点							
$H(i-1)$	0	1	2	3	4	5	6	7
$H(i)$	1	2	3	4	5	6	7	0

根据表 1 中链码对确定车辆轮廓中的局部凹点如图 7(a)所示红色标记点。遮挡车辆的分割位置在凹陷区域内,提取凹陷区域内的局部凹点,如图 7(b)所示红色标记点。

2.4 特征点凹性分析

通常情况下,单车辆区域的轮廓不会出现陡增或陡降的情况,整体走势较为平缓,而存在多车辆遮挡的区域,其轮廓在其车辆间的遮挡区域处势必会存在较大的突变现象,即出现陡增或陡降的情况。根据这种情况,如图 8 是在图 7(b)一个遮挡凹陷区域内截取的部分轮廓,白色区域部分是轮廓,白色区域右边是车辆区域,以特征点 P_2 为中心,取边长为 13 像素点的一段边缘,P_1 、P_3 分别是边缘的两端点。判断这段边缘轮廓的陡峭情况和凹凸性,进一步筛选出凹性特征点,即局部凹点。

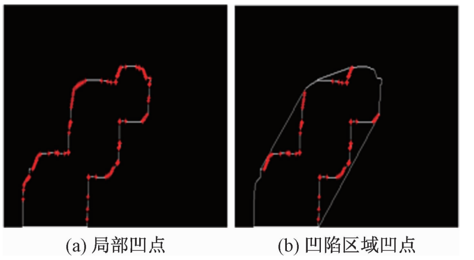


图 7 特征点

Fig. 7 Feature points

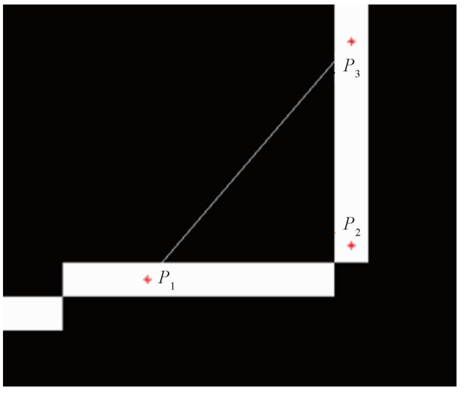


图 8 凹性分析

Fig. 8 Concavity analysis

通过式(3)可以计算出由 P_1、P_2、P_3 组成的夹角:

$$\angle P_1P_2P_3=\arccos\left(\frac{F_1xF_2x+F_1yF_2y}{\sqrt{F_1x^2+F_1y^2}\sqrt{F_2x^2+F_2y^2}}\right)\times\frac{180}{\pi} \tag{3}$$

$$\begin{cases}F_1x=x_1-x_2\\F_2x=x_3-x_2\\F_1y=y_1-y_2\\F_2y=y_3-y_2\end{cases} \tag{4}$$

图像中以水平向右方向为 x 正轴,垂直向下方向为 y 正轴,点 P_1、P_2、P_3 的坐标分别为 (x_1,y_1)、(x_2,y_2)、(x_3,y_3),式(4)计算向量坐标值。遮挡处的轮廓角度比较陡,通过角度阈值判断 P_2 是否为遮挡处凹点,即

$$P_2=\begin{cases}\text{凹点}, & \angle P_1P_2P_3=[90°,120°]\\ \text{非凹点}, & \text{其他}\end{cases} \tag{5}$$

同时通过连接 P_1、P_3 点线段 L,若线段 L 在车辆区域外面,即判断线段 L 的中心点 $\left(\frac{x_1+x_3}{2},\frac{y_1+y_3}{2}\right)$ 是在车辆区域外,则点 P_2 是凹点。

通过判别式(5)和直线所在方位同时对遮挡凹陷区域中特征点进行精确判断，缩小局部凹点范围，如图 9(a)所示红色标记点表示筛选出来的凹点。

2.5　分割点确定及分割

最后将凹点分类，判断凹点集过程如下。

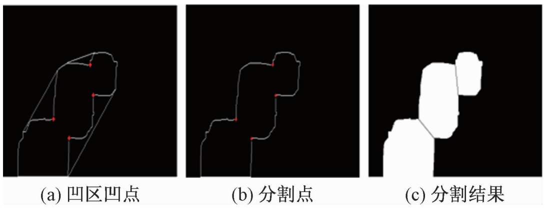
(1) 遍历检测出来的轮廓凹点，如果以当前凹点为中心点，边长为 13 像素点的轮廓中不存在其他凹点，将其归为一类点集。

(2) 如果这段轮廓中存在其他凹点，判断这些凹点是一类，同时继续扫描这段轮廓中的其他凹点，若以这些其他凹点为中心的轮廓中不存在未扫描凹点，则将这些凹点归为一类，若有未扫描凹点，继续进行判断。

(3) 遍历完所有的凹陷区域中的凹点，将凹点分类。

每个凹点集中可能存在多个凹点，需选取其中合适的凹点作为分割点。根据凹陷深度，选取凹点集中点到凸包线最大距离的点作为分割点，如图 9(b)所示红色标记点。

实际场景中经常发生两辆及以上车辆遮挡的情况，图 9 中区域就是三车遮挡，右边单个遮挡凹陷区域内同时出现两个分割位置，本文算法通过对特征点凹性分析，检测出所有的分割点。检测出的分割点有多个，扫描所有分割点，第一个分割点对应最后一个分割点，第二分割点对应倒数第二个分割点，以此类推，最终匹配所有分割点。分割线的选取是分割算法的最后一步，本文分割线是利用 Bresenham[14] 直线法生成的，如图 9(c)所示，分割结果准确有效。



(a) 凹区凹点　　(b) 分割点　　(c) 分割结果

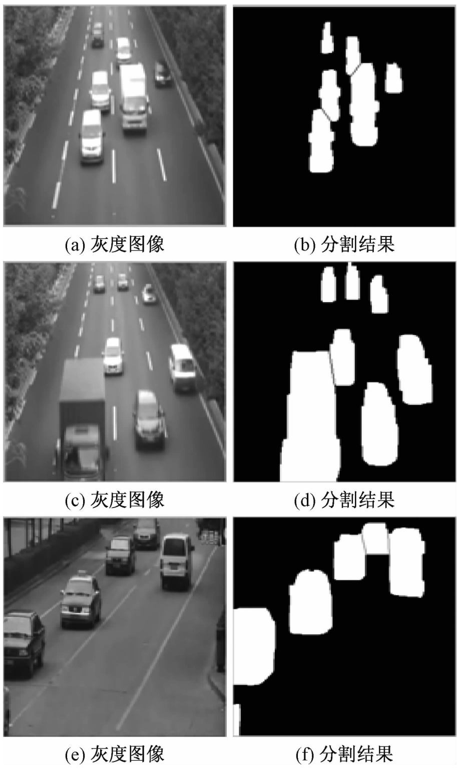
图 9　分割点及分割结果

Fig. 9　Segmentation points and segmentation results

3　实验结果及分析

本文算法是在 MATLAB 2012a 操作平台上实现的，主要针对沿着车道水平方向行驶的遮挡车辆图像进行分割研究。为了验证本文算法效果，对两个路段交通视频场景下的不同遮挡情况进行处理，遮挡车辆分割效果如图 10 所示。

图 10(a)和图 10(c)原灰度图像中分别发生双区域双车遮挡和单区域双车遮挡的情况，根据前面算法流程对图像处理，得到图 10(b)和图 10(d)双车遮挡的分割结果，效果准确有效。图 1(a)和图 10(e)是另一路段交通场景，出现三车遮挡情况，且一个遮挡凹陷区域对应了两个分割位置，经处理后，准确确定所有分割区域，最终分割效果准确有效，如图 9(c)和图 10(f)所示。同时提出与文献[1]基于角点特征的粘连车辆分割方法和文献[15]基于凹性分析的粘连车辆分割方法对比，结果如图 11 所示。



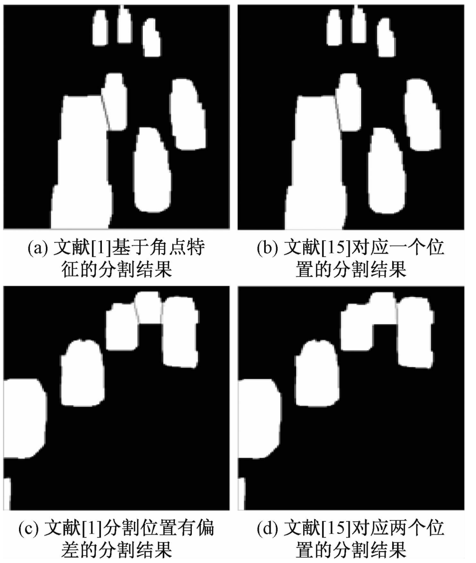
(a) 灰度图像　　(b) 分割结果

(c) 灰度图像　　(d) 分割结果

(e) 灰度图像　　(f) 分割结果

图 10　实验结果

Fig. 10　Experimental results



(a) 文献[1]基于角点特征的分割结果　　(b) 文献[15]对应一个位置的分割结果

(c) 文献[1]分割位置有偏差的分割结果　　(d) 文献[15]对应两个位置的分割结果

图 11　分割结果对比图

Fig. 11　Segmentation result comparison chart

与本文算法结果图 10(d)和图 10(f)相比,文献[1]基于角点特征的分割结果图 11(a)和图 11(c)分割位置有偏差,效果不精确。文献[15]基于凹性分析算法中,当凹性分析针对的遮挡凹陷区域对应一个分割位置时,分割效果准确,如图 11(b)分割结果图,当凹性分析针对的遮挡区域对应两个分割位置时,存在漏分割现象,如图 11(d)分割结果图。本文算法对遮挡车辆分割效果更好,且具有更好的场景适应性。

4 结论

主要研究多车辆遮挡分割问题,提出了一种基于轮廓特征点凹性分析的分割算法,在确定遮挡凹陷区域的情况下,利用链码对确定其轮廓局部凹性特征点,并进行多重条件凹性分析,确定分割点,实现遮挡车辆准确有效分割。与其他两种算法结果比较,本文算法能够解决一个凹陷区域内存在两个以上分割位置的情况,分割准确有效,具有一定的鲁棒性。在后续的学习研究中,依托现有算法框架,进一步优化算法,并研究如何实现车辆的跟踪和识别。

参 考 文 献

1 陈　舒,刘秉瀚. 基于角点特征的粘连车辆分割方法. 计算机工程,2013;39(4):210—213
Chen Shu, Liu Binghan. Segmentation of overlapped vehicles based on corner feature. Computer Engineering, 2013;39(4):210—213

2 Fan N. Object classification and occlusion handling using quadratic feature correlation model and neural networks. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2011; 25(3): 287—298

3 Zhou B, Wang T. Research of fast FCM vehicle image segmenting algorithm based on space constraint. International Conference on Information Science and Control Engineering,2015:412—418

4 Verma H, Agrawal R K, Sharan A. An improved intuitionistic fuzzy c-means clustering algorithm incorporating local information for brain image segmentation. Applied Soft Computing, 2016; 46(C): 543—547

5 Matthew J L, Joseph L M. Vehicle surveillance with a generic adaptive 3D vehicle model. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2011;33(7): 1457—1469

6 Li Y C, Liu Y H. Three-dimensional traffic scenes simulation from road image sequences. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016;17(4):1—14

7 马增强,杨绍普,马新娜. 一种改进的基于轮廓特征拐点的遮挡车辆分离方法. 北京交通大学学报,2010;34(5):64—68
Ma Zengqiang, Yang Shaopu, Ma Xinna. An improved method for occlusion vehicle separation based on contour feature inflection point. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010;34(5):64—68

8 张海涛,姚　雪,刘万军. 利用车辆边缘的遮挡车辆曲线分割算法. 计算机应用研究, 2014;31(7):2191—2194
Zhang Haitao, Yao Xue, Liu Wanjun. Segmentation algorithm of vehicle curves using occlusion of vehicle edges. Application Research of Computers, 2014;31(7):2191—2194

9 周　迪,夏哲雷. 一种改进的 Otsu 阈值分割算法. 中国计量学院学报,2016;27(3):319—323
Zhou Di, Xia Zhelei. An improved Otsu threshold segmentation algorithm. Journal of China Jiliang University, 2016;27(3):319—323

10 Ltti L, Koch C, Niebur E. A model of rapid scene analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1998;20(11):1254—1259

11 Lucke R L, Stocker A D. Filtering interpolators for frame differencing signal processors. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993;41(8):2574—2582

12 Rathod P R, Patel A H. A novel approach for moving object detection from dynamic background. International Journal of Engineering Research and Applications,2015;5(3):71—74

13 Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理. 阮秋琦, 阮宇智,译. 北京: 电子工业出版社, 2011
Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. Ruan Qiuqi, Ruan Yuzhi, Translated. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2011

14 林　笠. 基于 Bresenham 算法的四步画直线算法. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2003;24(5):19—22
Lin Li. Four steps drawing algorithm based on Bresenham algorithm. Journal of Jinan University(Natural Science and Medicine Edition), 2003;24(5):19—22

15 Wu X S, Liu Y, Qi Q F. Adhered vehicles segmentation based on concavity analysis. Application Research of Computers, 2012; 29(1):344—347

Segmentation of Occluded Vehicles Based on Concavity Analysis of Contour Feature Points

WANG Ping, XIAO Guo-yan*, XIE Dai-yan
(Nanchang University, Nanchang 330031, China)

[**Abstract**] In the shooting scenes of intelligent transportation system, the phenomenon of vehicles occlusion is caused by the distance between vehicles and the angle of camera shooting, which increases the difficulty of target vehicles detection and tracking. A concave region detection and segmentation algorithm based on contour feature points and contour concavity and convexity is proposed. Firstly, background difference method was used to extract the vehicles region. Meanwhile, according to the length-width ratio and the duty ratio of the outer rectangle of the vehicles area, the multi vehicles occlusion in the area is judged, and through convex analysis algorithm to extract concave area. Then, the edge feature points of concave area are determined by Freeman chain codes, and the feature points are concave analyzed. Finally, the Bresenham segmentation method is used to segment the occluded vehicles by matching the segmentation points. The experimental results show that the algorithm can effectively solve the problem of occluded vehicles segmentation, and has better scene adaptability compared with other algorithms.

[**Key words**] concave area Freeman chain code feature points concavity analysis vehicles segmentation