第 42 卷　第 7 期　　计　算　机　工　程　　2016 年 7 月
Vol. 42　No. 7　　Computer Engineering　　July 2016

·图形图像处理·　　文章编号：1000-3428(2016)07-0244-07　　文献标志码：A　　中图分类号：TP391.41

基于轮廓特征点的重叠车辆检测与分割

朱世松[1]，樊菁芳[1]，朱洪锦[2]

（1. 河南理工大学 计算机科学与技术学院，河南 焦作 454003；2. 江苏理工学院 计算机工程学院，江苏 常州 213001）

摘　要：在交通视频场景中，由于环境、设备安装角度等因素的影响，可能会引起车辆相互遮挡的情况，从而造成车辆检测及跟踪的误差。为此，基于轮廓特征点，提出一种重叠车辆检测与分割方法。利用背景差分法获得目标区域，运用 Freeman 链码检测目标区域的边缘轮廓点，通过链码对确定特征点。根据目标区域的特征点数及占空比进行重叠车辆的判断，若重叠，则对目标区域进行凸包分析，寻找最优分割点分割重叠车辆。实验结果表明，与基于椭圆拟合的方法及基于凹性分析的方法相比，该方法不需要车辆形状以外的先验知识，能较为准确地分割重叠车辆，具有较好的适应性。

关键词：Freeman 链码；特征点；运动矢量；车辆分割；重叠检测

中文引用格式：朱世松，樊菁芳，朱洪锦. 基于轮廓特征点的重叠车辆检测与分割[J]. 计算机工程，2016，42(7)：244-250.

英文引用格式：Zhu Shisong，Fan Jingfang，Zhu Hongjin. Detection and Segmentation of Overlapped Vehicle Based on Contour Feature Point[J]. Computer Engineering，2016，42(7)：244-250.

Detection and Segmentation of Overlapped Vehicle Based on Contour Feature Point

ZHU Shisong[1]，FAN Jingfang[1]，ZHU Hongjin[2]

（1. College of Computer Science and Technology，Henan Polytechnic University，Jiaozuo，Henan 454003，China；
2. School of Computer Engineering，Jiangsu University of Technology，Changzhou，Jiangsu 213001，China）

【Abstract】In traffic videos，the impact of environment，installation angle of equipment and other factors may cause vehicle occlusion，resulting in the error of vehicle detecting and tracking. Hence，this paper presents a method based on contour feature points to detect and segment the overlapped vehicles. It uses the background difference method to obtain the target areas，detects the contour points of target area by Freeman chain code，and identifies the feature points by chain code pairs. The number of feature points and the occupancy ratio of target area are used to judge the overlapped vehicles. If they are overlapped，convex hull analysis is carried out in the target area to find the optimal segmentation points and segment the overlapped vehicles. Experimental results show that compared with related methods based on concavity analysis and ellipse fitting，this method can segment the overlapped vehicles more precisely and has better adaptability without any prior knowledge except the vehicle shape.

【Key words】Freeman chain code；feature point；motion vector；vehicle segmentation；overlap detection

DOI：10.3969/j.issn.1000-3428.2016.07.041

1　概述

随着社会的发展，智能交通系统在社会中的作用越来越重要，车辆检测作为智能交通系统的重要环节，能够有效地获取车辆拥堵状况、车流量等交通参数，实现对交通状况的管理。然而在实际的车辆检测过程中，由于所安装摄像头拍摄角度的问题，所获得的道路图像中车辆之间会形成遮挡，输出图像出现多个车辆之间的重叠。准确、实时地检测与分割重叠车辆是智能交通系统的基础，也是实现运动车辆检测与跟踪的关键，因此，准确检测及分割重叠车辆具有重要研究意义。

基金项目：河南省科技厅国际科技合作计划基金资助项目(084300510065)；河南省教育厅科学技术研究基金资助重点项目(13A520340)；江苏省自然科学基金资助项目(BK20130235)；河南省高等学校矿山信息化重点学科开放实验室开放课题基金资助项目(KZ2012-02)；河南理工大学博士基金资助项目(B2010-95)。

作者简介：朱世松(1965－)，男，教授、博士，主研方向为图像处理、模式识别；樊菁芳，硕士研究生；朱洪锦，讲师、博士。

收稿日期：2015-06-03　　**修回日期：**2015-07-21　　**E-mail：**zss@hpu.edu.cn

为了解决车辆之间的重叠问题，许多学者进行了深入的研究分析，目前常用的方法主要有基于特征[1-3]、基于模型[4-5]、基于运动矢量[6-7]、基于边缘跟踪[8-10]的方法。文献[1-3]根据车辆的局部特征、纹理特征等来检测与分割重叠车辆，这些方法虽能够实现车辆分割，但计算量大，难以满足实时性需求。文献[4]通过对三维车辆模型的二维投影与感兴趣区域进行匹配来获取车辆的位置信息，以实现遮挡分割，该方法具有较高的精度，但其要求对不同类型的车辆建立模型，对场景的适应性较差。文献[6]根据多车区域的运动矢量具有可区分度的特点，通过聚类不同车辆的运动矢量，实现遮挡的分割，但当多车区域的运动矢量接近时，分割效果则会受到影响。文献[9]利用边缘跟踪获得轮廓拐点的组合以分割车辆，这类方法适应性强、计算简单，在实际中有较多的应用。

本文通过对边缘跟踪分割方法以及车辆区域的分析，在获得车辆目标区域的基础上，均衡考虑方法的速度、鲁棒性等因素，在边缘跟踪方法的基础上，结合车辆区域的实际特点，提出一种基于轮廓特征点的重叠车辆检测与分割方法。通过特征点的提取与车辆区域判断车辆是否重叠，并且对特征点进行分类，提取位于各个方向的特征点。此外，该方法并不是在整个车辆区域内进行分割点的查找，而是主动寻找车辆区域的凹陷区域，在凹陷区域中进行分割点的筛选，最终确定车辆的分割线。

2　运动目标检测

运动目标检测是进行车辆分割和跟踪的前提，运动目标检测的准确性会影响后续的处理工作。常用的运动目标检测方法有光流法[11]、帧间差分法[12]和背景差分法。方法通过利用固定窗口统计法进行背景建模，该方法在统计直方图的基础上进行改进，减少了处理的数据量，能快速适应环境的变化。通过固定窗口的方法，统计某灰度值出现的频率，以进行背景像素的提取。固定窗口统计方法具体如下：

$$C_i=\begin{cases}C_i+1 & \lfloor R_i(x,y)/R\rfloor=\lfloor f_M(x,y)/R\rfloor\\ 1 & C_i=\min(C_1,C_2,\cdots,C_{M-1})\end{cases}\quad(1)$$

其中，$i=1,2,\cdots,N$；C_i 为第 i 个像素点在 M 帧内出现灰度值的统计数；$R_i(x,y)$ 为第 i 个像素点的前 $M-1$ 帧灰度值；$f_M(x,y)$ 第 i 个像素点在 M 帧的灰度值。

$$m=\max(C_1,C_2,\cdots,C_i,\cdots,C_N),1\leqslant i\leqslant N\quad(2)$$

其中，C_i 为第 i 个像素点的某灰度区间统计数。

$$B(x,y)=(1-\alpha)T_{m-1}(x,y)+\alpha T_m(x,y)$$
$$0\leqslant\alpha\leqslant1\quad(3)$$

其中，$B(x,y)$ 为背景图像；$T_{m-1}(x,y)$，$T_m(x,y)$ 分别为 $M-1$ 帧、M 帧的背景图像；α 为背景更新速率。

运动车辆区域如图 1 所示。利用固定窗口统计方法和背景差分法获取运动车辆区域二值化图像，结果如图 1(b)所示。然而由于道路环境的复杂性，在检测到的车辆区域中常伴随着车辆阴影、孔洞等现象，为提高车辆检测的准确性，在车辆区域内采用基于灰度空间阴影检测方法去除区域内的阴影，并对车辆区域进行膨胀、腐蚀形态学处理，以去除车辆区域的孔洞和杂质，结果如图 1(c)所示。



(a)原图像　(b)二值化图像　(c)形态学处理后图像

图 1　运动车辆区域

3　重叠车辆的检测与分割

由于目标区域之间可能存在相互重叠的现象，即出现多个车辆出现在一个目标区域的情况(如图 1(b)所示)，会造成车辆跟踪及车流量统计不准确等问题，因此需要对各个目标区域进行检测，判断目标区域中是否存在多个车辆，并分割重叠车辆区域，以开展后续工作。重叠车辆的检测与分割流程如图 2 所示。

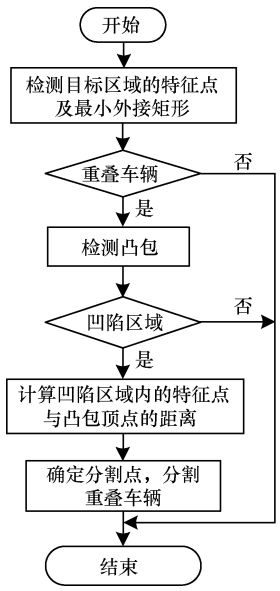


图 2　重叠车辆检测与分割流程

3.1　基于特征点的重叠车辆检测

对于目标区域，重叠车辆区域多呈现凸形，而非重叠区域多呈现凹形，因此，本文通过分析车辆区域的轮廓特征点及区域特性进行重叠车辆的检测。

3.1.1　特征点的提取与分类

本文利用 Freeman 链码进行车辆区域特征点的

提取与分类。链码的定义如图 3 所示,链码用中心点指向它的 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°。链码值递增,其所指向的方向就按逆时针方向旋转。

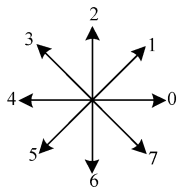


图 3 Freeman 链码

特征点提取过程如下:

(1)目标区域边界跟踪

边界跟踪的结果可以得到目标区域边界点的链码值,将采用顺时针的方向对目标区域进行边界跟踪,将起始点的链码值规定为 0,其后续的各个点 j 的链码值由当前点 j 与前一点 $j-1$ 的相对位置关系决定。

(2)分析边界点链码对

将目标区域边界点的链码对表示为($H[j-1]$,$H[j]$),其由当前点 j 和前一点 $j-1$ 的链码值 $H[j]$,$H[j-1]$决定。如当 $H[j-1]$,$H[j]$分别为 2,5 时,则当前点 j 的链码对为(2,5)。

(3)分类特征点

边界点的链码对是一个描述当前点与前一点的位置关系的量,可用于判断目标区域边界点是否为特征点,并将特征点进行分类。表 1 中给出了 4 类特征点的定义。

表 1 特征点链码对

特征点	$H[j-1]$	$H[j]$
第 1 类	2	0,1
	1	7,0
第 2 类	6	4,5
	5	3,4
第 3 类	4	2,3
	3	1,2
第 4 类	0	6,7
	7	5,6

3.1.2 重叠车辆的检测

根据 3.1.1 节中的方法,沿顺时针方向对车辆区域边界点进行遍历,将检测到 N_{cha} 个特征点,如图 4所示。观察发现重叠车辆与非重叠车辆区域所检测到的特征点数目是不同的,这为检测车辆区域是否为重叠区域提供了一个依据。

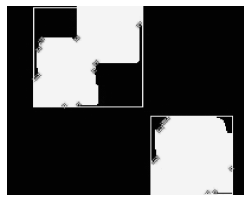


图 4 车辆区域最小外接矩形及特征点

另外,获取车辆区域的最小外接矩形,如图 4 所示,重叠车辆和非重叠车辆与其最小外接矩形的拟合性是不一样的,因此,可以定义占空比 $T_{area}=R_{car}/R_{ect}$作为判断车辆重叠的条件之一。R_{car},R_{ect}分别为车辆区域及其最小外接矩形的面积。

对于 N_{cha} 而言,当 N_{cha} 小于某一阈值,则认为该车辆区域未发生重叠;否则,认为该车辆区域可能发生重叠。对于占空比 T_{area},其值越接近 1,其为重叠车辆的可能性越低。方法采用否决逻辑进行重叠车辆的判断,即:

$$\begin{cases}\text{重叠车辆} & T_{area}<T_1 \;\&\&\; N_{cha}>T_2\\ \text{非重叠车辆} & \text{其他}\end{cases} \tag{4}$$

其中,T_{area}为占空比;N_{cha}为特征点的个数;T_1,T_2 分别为某一阈值常数。

3.2 重叠车辆的分割

由图 4 可知,对于重叠车辆区域,其理想分割位置位于凹陷区域内。根据车辆区域的轮廓特性,方法先检测车辆区域的凹陷区域,然后对凹陷区域内的特征点进行筛选,确定分割点,以分割重叠车辆。

3.2.1 凹陷区域检测

通常情况下,重叠目标区域的轮廓在车辆重叠处会存在较大的凹陷,如图 5 所示。为检测到目标区域的凹陷区域,本文提出基于凸包分析的凹陷检测方法。沿着逆时针方向对目标区域进行凸包检测,以得到目标区域的凸包顶点序列 $Pcv[N]$($N=1,2,\cdots$),顺序扫描顶点序列,并计算相邻顶点间的距离,将其定义为凹陷区域的凹陷跨度,其为凹陷区域判断的第 1 个标准,即:

$$fSpan_j=\sqrt{Pcv_x^2+Pcv_y^2} \tag{5}$$

$$\begin{cases}Pcv_x=Pcv[N].x-Pcv[N-1].x\\ Pcv_y=Pcv[N].y-Pcv[N-1].y\end{cases} \tag{6}$$

其中,$fSpan_j$ 为第 j 个凹陷区域的凹陷跨度;$Pcv[N].x$,$Pcv[N-1].x$ 分别为相邻顶点间的行坐标;$Pcv[N].y$,$Pcv[N-1].y$ 分别为相邻顶点间的列坐标。



图 5 重叠车辆的凹陷区域检测

此外，本文通过定义凹陷深度作为凹陷区域判定的第 2 个标准，其值为轮廓边界点距离凸包边的最大值。对于某目标区域，本文将通过利用凹陷深度对检测到的凹陷区域进行筛选，可以通过使用阈值来进行定义，其大小与凹陷区域的跨度有很大的关系。

$$depth_j > T_{depth}, T_{depth} = f(fspan) = cfspan \tag{7}$$

其中，$depth_j$ 为第 j 个凹陷区域的凹陷跨度；$f(fspan)$ 是一个关于凹陷跨度的线性函数；c 为某一常数。

判断 $Cvex$ 是否为凹陷区域，即：

$$Cvex = \begin{cases} \text{凹陷区域} & fSpan > T_{span} \,\&\&\, depth > T_{depth} \\ \text{非凹陷区域 其他} \end{cases} \tag{8}$$

其中，T_{span}，T_{depth} 分别为判断凹陷区域的凹陷跨度阈值、凹陷深度阈值。

任何一个凹陷区域都具有方向性，其定义了凹陷区域与车辆的关系，记为 D。在重叠车辆区域，左右遮挡出现的可能性较高，因此，本文中只考虑凹陷区域位于车辆左、右的情况，当 $D = -1$ 时，凹陷区域位于车辆的右侧，当 $D = 1$ 时，凹陷区域位于车辆的左侧。

$$D = \begin{cases} -1 & \text{第 1 类和第 3 类特征点} \\ 1 & \text{第 2 类和第 4 类特征点} \end{cases} \tag{9}$$

3.2.2　分割点确认

重叠车辆的理想分割点是位于车辆的凹陷区域内的特征点，由于车辆凹陷区域的不规则性，因此在车辆凹陷部分会有多个特征点。为增加重叠车辆分割的准确性，需对检测到的特征点进行筛选。其过程如下所示。

（1）顺序扫描第 j 个凹陷区域的特征点（P_x^i，P_y^i），计算第 i 个特征点与对应凹陷区域的凸包顶点的距离，并将最短距离作为其距凸包顶点的距离。（P_x^i，P_y^i）与凸包顶点的距离表示如下：

$$Pdist_i = \min_{i=1,2,\cdots,n} [Sdist_i, Edist_i] \tag{10}$$

其中，$Sdist_i$，$Edist_i$ 分别为该特征点到 2 个凸包顶点的距离；$Pdist_i$ 为该特征点到凸包顶点的距离。

（2）将特征点的距离 $Pdist_i$ 进行比较，其中距离最大的点即为理想分割点，即：

$$Pdist_m = \max_{i=1,2,\cdots,n} [Pdist_i] \tag{11}$$

则距离为 $Pdist_i$ 的点为理想分割点。

每个凹陷区域中的分割点与该凹陷区域具有相同的方向性。

3.2.3　重叠车辆的分割步骤

重叠车辆的分割方法的步骤如下：

（1）检测目标区域的特征点及最小外接矩形，进行重叠车辆的检测。

（2）对重叠车辆进行凸包检测，以得到凹陷区域的凹陷跨度及深度，如果满足一定条件，那么该区域为重叠车辆的凹陷区域，并标记该区域的方向。

（3）计算凹陷区域内的特征点到凸包两侧顶点的距离，并将最短距离记为该点到凸包顶点的距离 $Pdist$。

（4）比较凹陷区域特征点的 $Pdist$，其中，$Pdist$ 值最大的点即为该重叠车辆区域的分割点。

（5）判断是否还有满足条件的凹陷区域；若有，则跳转到步骤（3），否则继续执行。

（6）连接具有不同方向的分割点，并判断分割后的车辆是否满足重叠车辆判断原则，若满足，则进行分割。

4　实验结果及分析

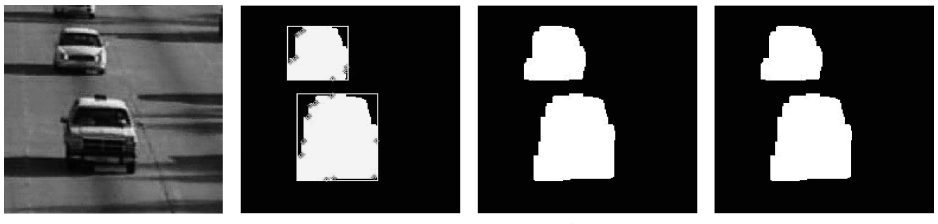
本文方法是对交通视频图像进行的处理，利用 Microsoft Visual Studio2010（C）编写的实验平台，实验平台的硬件环境是 Pentium 处理器、3.00 GHz、2 GB内存、Win7 操作系统。主要对视频 Highway I 和 Traffic（见表 2）进行了测试，Highway I 是车辆检测经常使用的基准运动图像序列，Traffic 是笔者和相关实验人员采集得到的交通视频。

表 2　实验所用的视频图像

视频名	图像序列长度/帧	图像尺寸/像素	车辆遮挡情况
Highway I	440	320×240	一般
Traffic	355	360×240	较严重

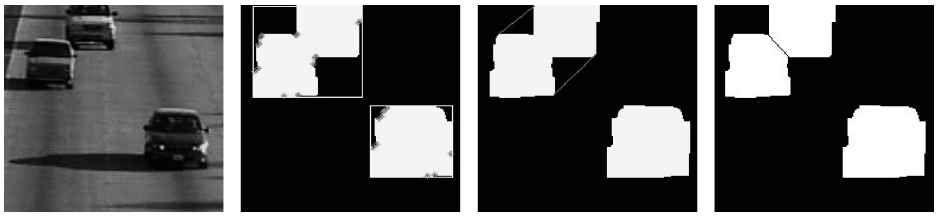
4.1　重叠车辆分割效果

从上述 2 段视频中选取若干图像序列帧进行实验，以对本文方法的处理过程进行说明，如图 6 ~ 图 8所示。



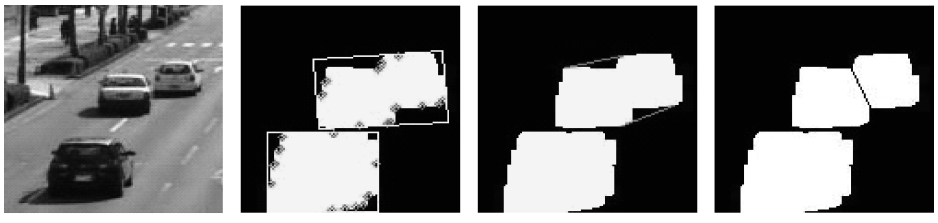
(a)原图像　(b)重叠车辆检测　(c)凹陷区域检测　(d)分割结果

图 6　Highway1 第 183 帧重叠车辆检测及处理结果



(a)原图像 (b)重叠车辆检测 (c)凹陷区域检测 (d)分割结果

图 7 Highway1 第 118 帧重叠车辆检测及处理结果



(a)原图像 (b)重叠车辆检测 (c)凹陷区域检测 (d)分割结果

图 8 Traffic 第 92 帧重叠车辆检测及处理结果

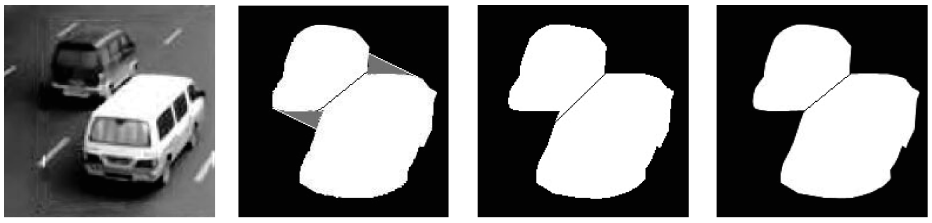
图 6(a) ~ 图 6(d)是对 Highway I 中 2 辆未发生重叠的车辆区域进行的实验。经过图 6(b)左上方车辆的特征点数 9,占空比为 0.826,右下方车辆的特征点数 12,占空比为 0.833,通过重叠车辆的检测准则,两区域均为非重叠车辆。因此,图 6(c)、图 6(d)中未对目标区域进行后续的处理。

图 7(a) ~ 图 7(d)是对 Highway I 中同时存在非重叠和重叠区域的帧进行实验,重叠目标区域中左侧车辆遮挡右侧车辆。图 7(b)中左上方车辆区域的特征点个数为 15,占空比为 0.650,右下方车辆区域的特征点为 10,占空比为 0.905。通过重叠车辆的判断原则,确定左上方车辆区域为重叠目标区域。对图 7(b)中的重叠区域进行凹陷区域的检测,得到图 7(c)所示的结果。图 7(d)中显示最终的分割效果。

图 8(a) ~ 图 8(d)是对 Traffic 中重叠车辆和非重叠车辆进行实验。图 8(b)中左下方车辆区域的特征点数为 14,占空比为 0.897,右上方车辆区域的特征点为 17,占空比为 0.752。通过重叠车辆判断原则,确定右上方车辆区域为重叠车辆,左下方车辆区域为非重叠车辆。对右上方重叠车辆的凹陷区域检测结果如图 8(c)所示。图 8(d)为分割结果。

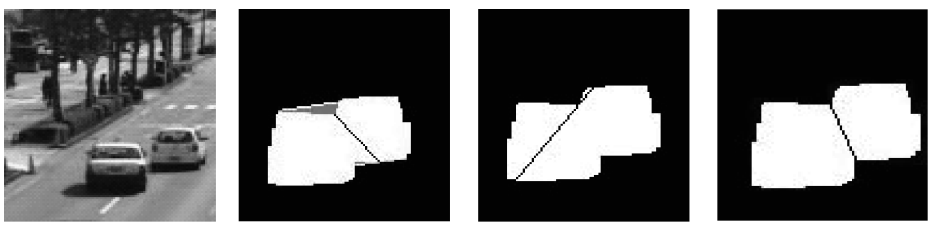
4.2 方法评价

为了分析方法的性能,将从重叠车辆的分割准确度及 F 值两方面进行方法的评价,并与基于凹性分析的方法[13]、基于椭圆拟合的方法[14]进行实验对比。实验结果如图 9、图 10 所示。



(a)原图像 (b)基于凹性分析的方法 (c)基于椭圆拟合的方法 (d)本文方法

图 9 分割实验结果对比 1



(a)原图像 (b)基于凹性分析的方法 (c)基于椭圆拟合的方法 (d)本文方法

图 10 分割实验结果对比 2

基于凹性分析的方法[13]通过扫描车辆区域，寻找满足条件的填充区域，在填充区域内查找分割点，连接对应的分割点作为分割线。当填充区域面积较大时，如图 9(b)中的灰色区域，基于凹性分析的方法[13]能得到较满意的分割结果；当填充区域面积过小时，如图 10(b)中右下侧的灰色区域，基于凹性分析的方法[13]会出现分割不准确的情况。

基于椭圆拟合的方法[14]是以长轴方向与车道线方向平行的椭圆来拟合车辆区域，并通过椭圆拟合的评价准则，寻找最优的椭圆拟合，以分割重叠车辆。图 9(a)中重叠的车辆位于不同的车道上，且车辆行驶方向与车道线方向平行，这种情况下基于椭圆拟合的方法[14]能较准确地分割重叠车辆，如图 9(c)所示；在某些情况下，重叠的两辆车所处的车道发生重合，且其行驶方向与车道线平行(如图 10(a)所示)，这种情况会导致基于椭圆拟合的方法[14]不能够准确地分割重叠车辆，产生错误的分割现象(如图 10(c)所示)。

本文方法在上述 2 种不同情况下，均能够准确地分割重叠车辆，得到满意的分割结果(如图 9(d)、图 10(d)所示)。

实验结果证明了本文方法的有效性，与基于凹性分析的方法[13]、基于椭圆拟合的方法[14]相比，本文方法能够更准确地分割重叠车辆，较好地保留车辆的形状和轮廓信息，有利于后续处理。

此外，采用文献[15]方法，从查全率、查准率、F 值 3 个指标对本文方法进行评价。从 Traffic 视频序列中选取连续的 100 帧图像进行了实验，并以各幅图像中的掩膜图像作为比较基准。设某幅图像中存在 N 个重叠车辆，a 表示正确检测的重叠车辆总数，b 表示将重叠车辆误检为非重叠车辆的总数，C 表示将非重叠车辆误检为重叠车辆的总数，则将查全率 R、查准率 P、F 值定义如下：

$$R = \frac{1}{N} \times \frac{a}{a+b} \tag{12}$$

$$P = \frac{1}{N} \times \frac{a}{a+c} \tag{13}$$

$$F = \frac{2 \times R \times P}{R+P} \tag{14}$$

其中，R 反映了车辆检测的漏检率，其值越小漏检率越高；P 反映了车辆检测的准确度，其值越小准确率越低；F 值反映方法的整体性能，其值越小方法性能越差。

利用以上 3 种方法序列对每帧图像的 3 个性能指标进行计算，得到结果如图 11 所示。对结果分析可知，本文方法的 F 值均值为 0.533，基于凹性分析的方法[13]的 F 值均值为 0.402，基于椭圆拟合的方法[14]的 F 值均值为 0.490。

本文方法 F 值高于基于凹性分析的方法[13]、基于椭圆拟合的方法[14]，表明本文方法对重叠车辆区域的检测与分割具有更好的效果。

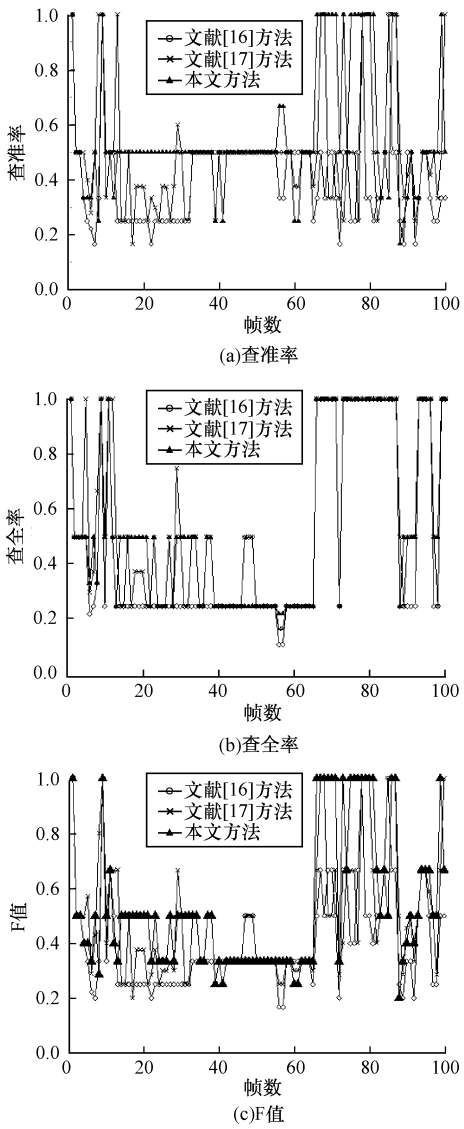


图 11　3 种方法评价结果

5　结束语

本文对如何有效检测及分割重叠车辆的问题进行研究，根据目标区域的轮廓形状特征，结合特征点提取与分类、凹陷区域检测等方法，提出一种基于轮廓特征点的重叠车辆检测与分割方法。实验结果表明，该方法能够准确地分割大多数重叠车辆，较好地解决了交通视频场景中重叠车辆的检测与分割问题，减少了车辆检测及跟踪过程中存在的误差。在后续的研究中，将在当前方法的基础之上，进一步优化目标区域的边缘轮廓，并研究如何实现车辆跟踪。

参考文献

[1] 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,2012,33(8):1825-1829.

[2] 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(2):287-298.

[3] Ahra J,Jang Gil-Jin,Bohyung H. Occlusion Detection Using Horizontally Segmented Windows for Vehicle Tracking[J]. Multimedia Tools and Applications,2015,74(1):227-243.

[4] Matthew J L,Joseph L M. Vehicle Surveillance with Ageneric Adaptive 3D Vehicle Model [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2011,33(7):1457-1469.

[5] Yue Hengjun,Wu Jian,Cao Yanyan,et al. Research on Moving Vehicle Detection in the Presence of Occlusion[C]//Proceedings of the 9th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science. Washington D. C.,USA:IEEE Press,2010:514-517.

[6] Goo J,Aggarwal J K,Gokmen M. Tracking and Segmentation of Highway Vehicles in Cluttered and Crowded Scenes[C]//Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Washington D. C.,USA:IEEE Press,2008:1-6.

[7] Huang C L,Liao Wen-Chieh. A Vision-based Vehicle Identification System [C]//Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Washington D. C.,USA:IEEE Press,2004:364-367.

[8] 李宇成,欧晓丹,田 震. 基于透视点和轮廓的粘连车辆分割方法[J]. 计算机工程与科学,2011,33(11):108-112.

[9] 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[J]. 北京交通大学学报,2010,34(5):64-68.

[10] Zhang Wei,Wu Q M J,Yang Xiaokang,et al. Multilevel Framework to Detect and Handle Vehicle Occlusion[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2008,9(3):161-174.

[11] ltti L,Koch C,Niebur E. A Model of Rapid Scene Analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1998,20(11):1254-1259.

[12] Lucke R L,Stocker A D. Filtering Interpolators for Frame Differencing Signal Processors [J]. IEEE Transactions on Signal Processing,1993,41(8):2574-2582.

[13] 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):209-214.

[14] 朱 周,路小波. 基于椭圆拟合的车辆遮挡处理算法[J]. 仪器仪表学报,2015,36(1):344-347.

[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.

编辑 刘 冰

(上接第 243 页)

参考文献

[1] 贾 坤,李强子,田亦陈,等. 遥感影像分类方法研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(10):2618-2623.

[2] Ball G H,Hall D J. A Novel Method of Data Analysis and Pattern Classification [EB/OL]. [2015-04-18]. https://www.researchgate.net/publication/243779148_A_Novel_Method_of_Data_Analysis_and_Pattern_Classification.

[3] Ball G H,Hall D J. A Clustering Technique for Summarizing Multivariate Data[J]. Behavioral Science,1967,12(2):153-155.

[4] Yang Shiquan,Dong Jianqiang,Yuan Bo. An Efficient Parallel ISODATA Algorithm Based on Kepler GPUs[C]//Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks. Washington D. C.,USA:IEEE Press,2014:6-11.

[5] 海 沫,张书云,马燕林. 分布式环境中聚类问题算法研究综述[J]. 计算机应用研究,2013,30(12):3551-3556,3567.

[6] Li Bo,Zhao Hui,Lü Zhenhua. Parallel ISODATA Clustering of Remote Sensing Images Based on MapReduce[C]//Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Cyber-enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. Washington D. C.,USA:IEEE Press,2010:380-383.

[7] Dhodhi M K,DSaghri J A,Hamada I,et al. DISODATA:A Distributed Algorithm for Unsupervised Classification of Remotely Sensed Data on Network of Workstations[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing,1999,59(2):280-301.

[8] 刘张桥,王成良,焦晓军. 多核环境下的图像分割并行算法研究[J]. 计算机工程,2011,37(15):197-200.

[9] 曹婷婷. 基于多核处理器串行程序并行化改造和性能优化[D]. 成都:西南交通大学,2009.

[10] 朱效民,潘景山. 基于 OpenMP 的两个地学基础空间分析算法的并行化实现及优化[J]. 计算机科学,2013,40(2):8-11.

[11] Adwa M M. Improving Satellite Image Segmentation Using Evolutionary Computation[J]. American Journal of Remote Sensing,2013,1(2):13-20.

[12] 刘 维. 实战 Matlab 之并行程序设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012.

[13] OpenMP Application Program Interface[EB/OL]. (2013-05-15). http://www.openmp.org.

[14] Pacheco P S. 并行程序设计导论(英文版)[M]. 北京:机械工业出版社,2011.

[15] 黄文慧. 图像处理并行编程方法的研究与应用[D]. 广州:华南理工大学,2012.

编辑 陆燕菲