

中图法分类号: TN91 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)02-0267-06

论文索引信息: 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

# 基于轮廓特征及扩展 Kalman 滤波 的车辆跟踪方法研究

纪筱鹏, 魏志强

(中国海洋大学信息学院计算机系, 青岛 266100)

**摘要:** 在车辆实时跟踪中, 基于 Kalman 滤波的方法是常用的有效方法, 但因车辆检测时常将靠近的物体检测成一个目标引起误检现象, 这会使在目标匹配时产生错误。为此, 首先考察运动区域的长宽比和占空比, 进行误检判断; 然后提出了一种基于轮廓特征拐点的车辆分割方法; 最后引入基于扩展 Kalman 滤波的跟踪模型。实验结果表明, 采用的误检判断准则对多车辆的检测区域有较高的识别率, 提出的基于轮廓特征拐点的车辆分割方法可实现重叠遮挡车辆的准确完整分割, 用基于扩展 Kalman 滤波的跟踪模型实现了车辆的实时跟踪。

**关键词:** 物体分割; 特征点; 扩展 Kalman 滤波; 车辆跟踪

## Tracking method based on contour feature of vehicles and extended Kalman filter

Ji Xiaopeng, Wei Zhiqiang

(Computer Department, Ocean University of China, Qingdao 266100 China)

**Abstract:** For real-time tracking of moving vehicles, the general and efficient method is based on Kalman filter. However, the false detection often exists when more than one objects approaches with each other. It causes error in target matching process. To overcome the above problem, this paper first considers the width/height ratio and occupancy ratio to make false detection judgment. Then a new moving vehicle segmentation algorithm based on feature points on contour is presented. Lastly, the tracking model based on extended Kalman filter is implemented. Experimental results demonstrate that the rule can recognize false detection quite accurately. The proposed vehicles segmentation method can segment the overlapped ones accurately and completely, and finally the tracking model based on extended Kalman filter is implemented to realize the real-time tracking.

**Keywords:** object segmentation; feature point; extended Kalman filter; vehicle tracking

## 0 引言

视频图像的运动目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要的研究课题, 在现实生活中, 大量有意义的视觉信息包含在运动之中, 对图像序列中的运动目

标进行快速、准确的匹配跟踪是对图像进一步分析处理的关键。车辆跟踪在交通状况监控、停车场调度监控、事故检测、自动导航等系统中都有广泛的应用前景, 因此视频图像中运动车辆的跟踪技术具有重要的研究价值和应用意义。

近年来, 对视频图像的运动目标跟踪方法的研

收稿日期: 2009-04-20; 修回日期: 2009-09-16

基金项目: 科技部国际合作重点项目(2008DFA11030); 国家自然科学基金项目(60872099); 山东省重点自然科学基金项目(Z2007G06)。

第一作者简介: 纪筱鹏(1978—), 女, 讲师。2006年于中国海洋大学获物理海洋专业博士学位, 主要研究方向为图像处理与计算机视觉。E-mail: jixiaopengouc@gmail.com。

究很多,尤其在以智能交通为背景的目标跟踪方面涌现出许多有现实意义的方法。其中基于 3 维模型的跟踪算法具有较高的精度,但这些模型需要的车辆的详细几何信息一般不容易得到<sup>[1]</sup>。基于区域的跟踪算法实时性较好,但当车流量较大时,较难识别出各个车辆区域<sup>[2]</sup>。文献[3]基于区域提出了一种对重叠车辆进行分割的方法,但只对两个车辆发生遮挡的情况作出了分析,对多目标分割有局限性。基于特征的跟踪算法用特征点代表跟踪的车辆,但特征点的数量对跟踪效果的影响较大<sup>[4]</sup>。基于动态轮廓模型的方法具有较强的抗噪声能力和较鲁棒的跟踪效果,可以较好地解决车辆的遮挡重叠问题<sup>[5-10]</sup>,但这类方法初始化时较困难。文献[11-12]中对交通路口处车辆跟踪的初始化问题作了研究,当车辆在预定轨道行驶时这些算法效果较好,但它们不能同步检测多车道的交通状况。文献[13]针对交通路口的多车道初始化问题提出了轮廓增长的概念,用动态轮廓表示车辆,并用动态模型预测跟踪时车辆的位置,但算法的复杂度较高。考虑到运动目标跟踪的实时性要求,如果能对车辆之间的遮挡重叠问题提出合理的分割方法,充分利于基于区域的运动车辆跟踪方法的优点,则会大大提高跟踪效果。

首先对检测出的运动区域进行误检判断,根据它们的长宽比、占空比等信息,识别出因车辆靠近造成的区域合并现象;然后提出了一种基于轮廓特征点的分割方法,根据轮廓走向检测出特征点,并按照特征点符合的规律进行目标车辆分割;最后对分割的各个运动区域用扩展 Kalman 滤波器建立运动模型,对当前帧目标做下一步的运动预测,以缩小目标搜索匹配的范围,从而加速目标匹配的速度。该算法鲁棒性好,在车辆较多的情况下对车辆的跟踪取得了很好的效果。

## 1 运动物体分割

在用背景差分法获得运动物体后,利用自适应阈值实现了较好的二值化,再经形态学去噪处理后,得到图像中的各个运动区域。分析检测出的连通区域可能包含两个或两个以上的车辆,这往往是由于车辆遮挡与重叠造成的。为此提出先进行误检判断,再采用基于轮廓特征点的车辆分割算法,将运动物体分割成一个个独立的目标,以便后续的跟踪匹

配等处理工作。

### 1.1 误检的判断

在一般的交通监控系统中,监控摄像头安装在路口制高点俯视整个路口,并在常态下保持静止。要判断检测出的区域是否包含多个车辆,取决于区域中包含的信息,对于一个区域,它包含的信息主要有长度、宽度、长宽比,占空比等,考虑到长度和宽度受拍摄高度,拍摄地点等参数的影响较大,所以采用长宽比和占空比来反映误检情况。长宽比和占空比这两个因素的似真概率是一定的,都独立地具有一个似真概率,分别用  $P_{hw}$ ,  $P_{koc}$  表示。最终,这个区域是否可能是单个车辆区域,可以用总的似真概率  $P$  表示。在现实中,多种因素决定最终是否似真,有多种处理规则,比较合理的是否决逻辑,即每一个因素的不似真,都可以对该区域不是单个车辆区域下肯定结论。本文采用了否决逻辑,即总的似真概率为

$$P = P_{hw} P_{koc} \quad (1)$$

式中,  $P_{koc} = M/A$ ,  $M$  为检测出的区域所包含的像素数,  $A$  为检测出的区域的最小包围盒的面积;  $P_{hw} = H/W$ ,  $H$ ,  $W$  分别为检测出的区域的最小包围盒的长度和宽度。因为摄像机在车道正上方,理想情况下,车辆的行驶方向与车道基本平行,检测出的区域的最小包围盒的长度、宽度之比应反映运动目标的长度、宽度之比,考虑到超车等情况,车辆的行驶方向与车道可能存在一定夹角,但一般情况下车辆变换车道时与车道形成的夹角较小,对 5 803 幅视频图像统计得出,拍摄到的车辆行驶方向与车道的夹角一般在  $\pm 6^\circ$  之间,所以可以用矩形区域表示单个运动车辆,对用长宽比和占空比判断单个车辆区域不会造成影响。

根据实际拍摄的图像上的单个车辆区域,经过大量数据统计,确定了长宽比和占空比两个因素的似真概率函数。为简化分析,该函数近似用梯形函数来表示,如图 1 所示。

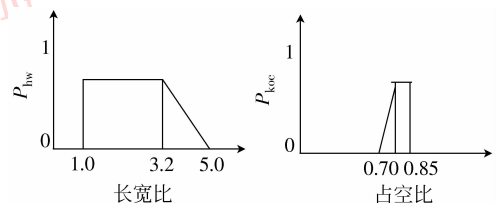


图 1 长宽比和占空比对区域为单个车辆的似真概率

Fig. 1 Likelihood probability for single vehicle

因此,在获得一个区域时,根据上图可以获得各自的似真概率,再用式(1)就可以算出总的似真概率。在实际应用中,首先要给定一个阈值  $T$ ,当概率  $P < T$  时,可以认为得到的区域包含多个车辆,即属于误检的情况。

### 1.2 基于轮廓特征点的分割方法

交通图像中车辆误检的情况时常发生,将其分割成独立的运动目标是进行正确跟踪的前提,本文对检测出的运动区域先提取其轮廓,通过观察轮廓线走向,提出了一种基于轮廓特征拐点的分割方法。

#### 1.2.1 原理

由 1.1 节介绍的摄像头与车道的位置关系可知,拍摄到的单个车辆区域可以用矩形模型表示。首先对车辆轮廓线提取出如图 2(a)所示的 1—4 类特征拐点,它们沿顺时针方向分别代表了轮廓的先向上后向右、先向右后向下、先向下后向左、先

向左后向上的走向。因为一般情况下,从任意特征拐点开始沿轮廓线顺时针方向,如果连续的 3 个特征拐点类别满足 1、2、3,则可以认为某个车辆大致在以 1、3 为对角线确定的矩形区域中;同理如果连续的 3 个特征拐点类别满足 2、3、4、1 或 4、1、2 中的一种情况,则也可确定单个车辆的目标区域。

如图 2(b)所示,沿检测出的运动区域的轮廓线顺时针走向,可以得到 2、3、4 的特征拐点组合,所以可以将右下方的车辆分割出来;继续沿顺时针方向,又得到 4、1、2 的特征拐点组合,从而将左上方的车辆分割出来。

一般情况下,一辆车最多和 4 辆车发生遮挡,通过寻找轮廓特征拐点的组合也可以将各个目标依次分割出来,如图 2(c)所示,各个矩形表示分割出的车辆区域。

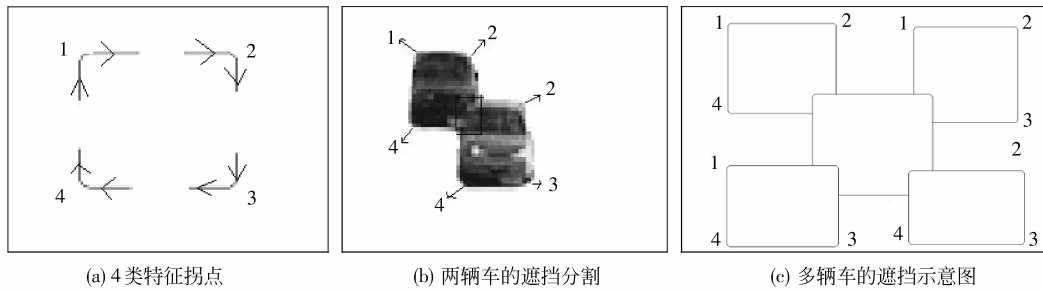


图 2 拐点示意图

Fig.2 Sketch map of character points

#### 1.2.2 特征点确定方法

为实现重叠遮挡车辆的完整分割,需要检测出各类特征拐点。为此首先提出  $P_i$  点的轮廓走向矢量的概念,定义如下

$$AD_i = \{ P_{i,r}^p, P_{i,l}^p, P_{i,u}^p, P_{i,d}^p, P_{i,r}^b, P_{i,l}^b, P_{i,u}^b, P_{i,d}^b \} \quad (2)$$

式中,  $P_{i,r}^p, P_{i,l}^p, P_{i,u}^p, P_{i,d}^p$  反映点  $P_i$  前面的点的轮廓走向:  $P_{i,r}^p$  代表轮廓向右的程度,  $P_{i,l}^p$  代表轮廓向左的程度,  $P_{i,u}^p$  代表轮廓向上的程度,  $P_{i,d}^p$  代表轮廓向下的程度;  $P_{i,r}^b, P_{i,l}^b, P_{i,u}^b, P_{i,d}^b$  反映点  $P_i$  后面的点的轮廓走向:  $P_{i,r}^b$  代表轮廓向右的程度,  $P_{i,l}^b$  代表轮廓向左的程度,  $P_{i,u}^b$  代表轮廓向上的程度,  $P_{i,d}^b$  代表轮廓向下的程度。具体的特征拐点确定算法如下:

1) 对轮廓线上任一点  $P_i$ , 分别取其前后各  $N$  个点, 实验中  $N$  取为 10。按图 3 所示的模板计算  $P_i$  点的轮廓走向矢量。

6	7	0
5	$P_i$	1
4	3	2

图 3 轮廓走向矢量模板  
Fig.3 Contour template

2) 将  $P_{i,r}^p, P_{i,l}^p, P_{i,u}^p, P_{i,d}^p, P_{i,r}^b, P_{i,l}^b, P_{i,u}^b$  和  $P_{i,d}^b$  初始化为 0;

(1) 对点  $P_i (i-11 < j < i)$  重复以下步骤:

点  $P_i (i-11 < j < i)$  的下一个点  $P_{j+1}$  如果在位置 1, 则  $P_{i,r}^p$  加 1, 如果在位置 7, 则  $P_{i,u}^p$  加 1, 如果在位置 3, 则  $P_{i,d}^p$  加 1, 如果在位置 5, 则  $P_{i,l}^p$  加 1, 在其他位置则不变;

(2) 对点  $P_j (i < j < i+11)$  重复以下步骤

点  $P_j (i < j < i+11)$  的下一个点  $P_{j+1}$  如果在位置

1, 则  $P_{i,r}^b$  加 1, 如果在位置 7, 则  $P_{i,u}^b$  加 1, 如果在位置 3, 则  $P_{i,d}^b$  加 1, 如果在位置 5, 则  $P_{i,l}^b$  加 1, 在其他位置则不变。

3) 将满足  $P_{i,u}^p > M_1$  并且  $P_{i,r}^p > M_2$  的点记录为第 1 类特征拐点; 将满足  $P_{i,r}^p > M_1$  并且  $P_{i,d}^p > M_2$  的点记录为第 2 类特征拐点; 将满足  $P_{i,d}^p > M_1$  并且  $P_{i,l}^p > M_2$  的点记录为第 3 类特征拐点; 将满足  $P_{i,l}^p > M_1$  并且  $P_{i,u}^p > M_2$  的点记录为第 4 类特征拐点。实验中阈值  $M_1, M_2$  均取 7。

虽然车辆轮廓往往由于车灯等不规则形状产生一些不显著的拐点, 但以上的特征拐点确定算法是基于轮廓走向的, 所以对于干扰拐点有较强的鲁棒性, 可以取得较好的分割效果。

## 2 车辆跟踪模型

用上节基于轮廓的分割方法将运动区域分成单个运动车辆后, 要对提取的每个车辆进行跟踪, 其关键是在相邻帧间的运动车辆之间建立对应关系。首先用扩展 Kalman 滤波器建立运动模型, 对当前已经被分割的车辆做下一步的运动预测, 以缩小目标搜索匹配的范围, 从而加速目标匹配的速度。然后在下一帧指定范围内, 利用图像的质心位置, 轮廓区域长度和宽度进行目标匹配, 从而建立目标的关联关系。最后更新运动模型, 形成运动目标链, 得到运动轨迹。

### 2.1 运动预测

Kalman 滤波器由于不要求保存过去的测量数据, 当新数据测得以后, 根据新的数据和前一时间刻诸量的估计值, 借助于系统本身的状态转移方程, 按照递推公式, 即可算出新的诸量的估计值, 具有存储量和计算量少的优点。考虑到视频监控系统中车辆运动比较复杂, 线性系统条件很难满足, 本文采用标准 Kalman 滤波器的扩展方法<sup>[14]</sup> (EKF) 进行车辆的运动估计, 预测方程和观测方程分别定义如下

$$\begin{aligned} \hat{x}_{t+1} &= Fx_t \\ \hat{P}_{t+1} &= FP_tF^T + Q \\ z_{t+1} &= h(x_{t+1}) + w_{t+1} \end{aligned} \quad (3)$$

式中参数  $F, P$  等的取值参考文献[14], 状态向量及观测向量如下式定义

$$\begin{aligned} x(t) &= (\Delta x(t) \ \Delta y(t) \ w(t) \ h(t) \ \Delta x'(t) \ \Delta y'(t) \\ &\quad w'(t) \ h'(t))' \end{aligned}$$

$$z(t) = (\Delta x(t) \ \Delta y(t) \ w(t) \ h(t))' \quad (4)$$

$\Delta x(t), \Delta y(t)$  为目标质心坐标;  $\Delta x'(t), \Delta y'(t)$  分别为质心坐标在  $x, y$  方向上的单位位移;  $w(t), h(t)$  分别为跟踪区域在  $x, y$  方向上的宽度和长度;  $w'(t), h'(t)$  分别为跟踪区域在  $x, y$  方向上的单位位移。

记录下相邻两帧图像的时间间隔 (实验中  $\Delta t$  约为 0.04 s) 后, 对车辆在下一帧中的位置进行估计。

### 2.2 目标匹配

在用扩展 Kalman 滤波器估计出目标质心位置及区域大小后, 可以在缩小的目标范围内进行搜索。对第  $k$  帧中的车辆  $i$  和第  $k+1$  帧中的车辆  $j$ , 本文定义了如下的函数进行目标匹配

$$s(i, j) = \alpha \cdot D(i, j) + \beta \cdot A(i, j) \quad (5)$$

式中,  $D(i, j)$  和  $A(i, j)$  分别为目标的质心距离函数和目标区域的长宽差异函数, 定义如下

$$D(i, j) = \sqrt{(x_k^i - x_{k+1}^j)^2 + (y_k^i - y_{k+1}^j)^2} \quad (6)$$

$$A(i, j) = \sqrt{(w_k^i - w_{k+1}^j)^2 + (h_k^i - h_{k+1}^j)^2}$$

$\alpha, \beta$  为权重, 满足下式

$$\alpha + \beta = 1 \quad (7)$$

$s(i, j)$  越小说明两个目标的相似性越大, 这里设定相似函数的阈值  $T_s$ , 若在搜索范围内匹配出的结果的最小值  $s(i, j) < T_s$ , 说明在第  $k+1$  帧中目标  $j$  是第  $k$  帧中目标  $i$  的后续。这时, 用第  $k+1$  帧的第  $j$  个目标的特征值作为运动模型估计下一帧的输入, 如此递推就可以得到运动车辆的轨迹。

### 2.3 模型更新

更新运动模型, 作为下一运动模型的扩展卡尔曼滤波的输入, 采用了如下的 EKF 修正方程<sup>[14]</sup>

$$\begin{aligned} K_{t+1} &= \hat{P}_{t+1} H^T (H \hat{P}_{t+1} H^T + R_t)^{-1} \\ x_{t+1} &= \hat{x}_{t+1} + K_{t+1} (z_{t+1} - h(\hat{x}_{t+1})) \\ \hat{P}_{t+1} &= (I - K_{t+1} H) \hat{P}_{t+1} \end{aligned} \quad (8)$$

同时对帧中出现的新的运动车辆建立卡尔曼滤波器, 利用其确定下一帧与跟踪目标匹配的搜索范围, 选定搜索区域。

## 3 实验结果

以智能交通中的车辆自动监视系统为应用背景, 通过实验证明了所提出方法的正确性和鲁棒性。实验平台为 PC 机, 配置 Intel Pentium 1.7 GHz CPU、

512 M 内存。

图 4(a)一(c)实验图像是两个运动车辆发生对角线方向遮挡的情况,首先用图像(a)与背景差分,检测出运动区域(b),经检验该区域的长宽比为 1.083, 占空比为 1.414, 由误检判断准则判定这一连通区域包含多个运动车辆。然后用基于轮廓的特征拐点法进行目标分割,使每个矩形框中包含一个运动车辆,最后用扩展 Kalman 滤波模型跟踪出每个车辆的运动轨迹,如图(c)所示。

图 4(d)一(f)实验图像是多个运动车辆发生水平方向遮挡的情况,这里只对中间部分的 3 个运动车辆进行分析。对图(e)所示的检测出的运动区域,经检验其长宽比、占空比分别为 0.852 和

1.229, 由误检判断准则判定这一连通区域包含多个运动车辆。然后用本文提出的算法进行车辆分割,从图(f)可以看到,通过匹配拐点序列对 3 个车辆进行了正确的分割,而且本算法对车灯、阴影等形状的干扰有较强的鲁棒性。最后给出了用扩展 Kalman 滤波模型跟踪得到的每个目标的轨迹。

图 4(g)一(i)实验图像是多个运动车辆发生竖直方向遮挡的情况,对检测出运动区域,经检验其长宽比、占空比分别为 0.860 和 1.084, 经判断这一连通区域包含多个运动车辆。图(i)是分割后的结果图和用扩展 Kalman 滤波模型跟踪的每个车辆的轨迹。实验中算法的实际处理效率为 0.37 ~ 0.46 s/帧,能够满足系统对实时性的要求。

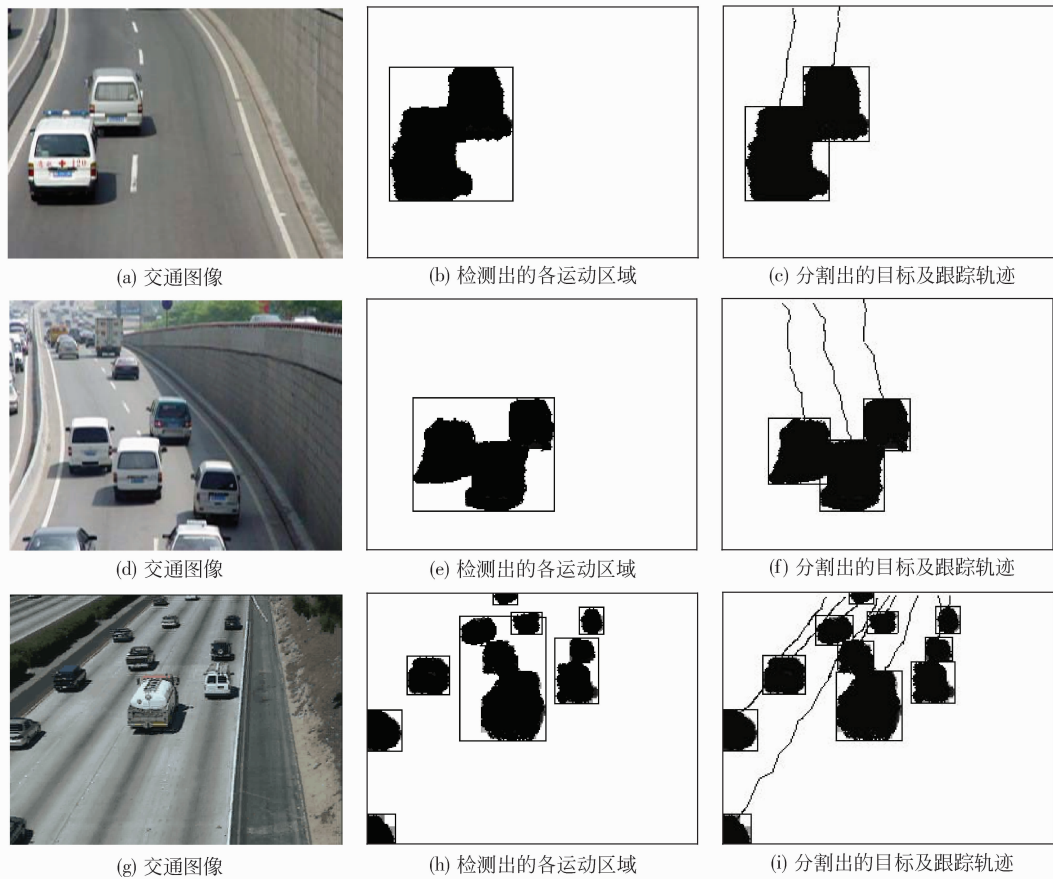


图 4 交通图像及处理结果

Fig. 4 Traffic images and processing results

通过对交通视频图像作大量实验,证明提出的基于轮廓特征拐点的分割方法对车辆形状有较强的适应性;对不同方向的多车辆遮挡情况一般都可以得到较好的分割效果,但对一些特殊情况仍存在局限性,如图 5 所示,左上方的两辆车发生前后粘连

时,因为无法找出足够的特征拐点,所以用基于轮廓特征拐点序列的方法无法将其正确分割;再如进行运动目标检测时,阴影因随车辆一起移动也被检测出来,若阴影较长会对特征拐点的检测造成干扰,所以要先进行阴影去除处理。



图 5 一帧交通图像  
Fig. 5 One traffic image

## 4 结 论

提出的基于轮廓特征拐点的车辆分割方法,通过匹配轮廓特征拐点序列,可实现多个车辆的完整、准确分割,对车辆遮挡重叠的情况有较强的适应性。且采用扩展 Kalman 滤波模型实现了运动车辆的快速跟踪。实验证明本算法对车辆形状、阴影等情况有较强的鲁棒性,能达到系统的实时性要求。今后我们将对车辆视频监控系统的一些特殊情况,如发生前后粘连无法进行车辆分割等现象,综合考虑车辆颜色、速度等因素进行研究。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Koller D, Daniilidis K, Nagel H H. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes [J]. International Journal of Computer Vision, 1993, 10(3): 257-281.
- [ 2 ] Kilger M. A shadow handler in a video-based real-time traffic monitoring system [C]// Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. CA: Palm Springs, 1992: 11-18.
- [ 3 ] Roya R, Mansour J. Real-time classification and tracking of multiple vehicles in highways [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26 (10): 1597-1607.
- [ 4 ] Beymer D, McLauchlan P, Coifman B, et al. A real-time computer vision system for measuring traffic parameters [C]// Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press, 1997: 495-501.
- [ 5 ] Iannizzotto G, Vita L. Real-time object tracking with models and affine transformations [C]// Proceedings of International Conference on Image Processing. Vancouver, BC, Canada: IEEE Computer Society, 2000: 316-318.
- [ 6 ] Baumberg A M, Hogg D C. An efficient method for contour tracking using active shape models [C]// Proceedings of the Second IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Sarasota, Florida: IEEE, 1994: 194-199.
- [ 7 ] Blake A, Isard M. Active Contours [M]. Berlin: Springer, 1998.
- [ 8 ] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(3): 163-169.
- [ 9 ] Terzopoulos D, Szeliski R. Tracking with Kalman snakes [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1992: 3-20.
- [ 10 ] Vieren C, Cabestaing F, Postaire J G. Catching moving objects with snakes for motion tracking [J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 16 (7): 679-685.
- [ 11 ] Lim D W, Choi S H, Jun J S. Automated detection of all kinds of violations at street intersection using real time individual vehicle tracking [C]// IEEE Fifth Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation. New Mexico, USA: IEEE, 2002: 126-129.
- [ 12 ] Kamijo S, Matsushita Y, Ikeuchi K, et al. Traffic monitoring and accident detection at intersections [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(2): 108-118.
- [ 13 ] Tai J C, Tseng S T. Real-time image tracking for automatic traffic monitoring and enforcement applications [J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(10): 485-501.
- [ 14 ] Masound O, Papanikolopoulos N P. A novel method for tracking and counting pedestrians in real-time using a single camera [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2001, 50 (5): 1267-1278.