



# 一种具有良好鲁棒性的实时跟踪方法<sup>1)</sup>

田原 谭铁牛 孙洪赞

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室 北京 100080)

**关键词** 目标跟踪, 微分几何, 计算机视觉

**中图分类号** TP391.41

## A NOVEL ROBUST ALGORITHM FOR REAL-TIME OBJECT TRACKING

TIAN Yuan TAN Tie-Niu SUN Hong-Zan

(National Laboratory of Pattern Recognition (NLPR), Institute of Automation

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Key words** Object tracking, differential, geometry, computer vision

### 1 引言

目标跟踪是计算机视觉中的基本问题之一. 国内外学者已经对此进行了大量地研究, 提出了许多用于跟踪的有效算法. 关于这些方法如果就跟踪的策略来分, 通常可分为 3D 方法与 2D 方法. 所谓 3D 方法通常是指在世界坐标系中完成对目标的跟踪, 而 2D 方法则是指在图像平面内而言的. 较早期的研究有如基于相关匹配的方法<sup>[1]</sup>、基于差的平方和的方法<sup>[2]</sup>、基于时间差分的方法<sup>[3]</sup>和基于几何特征的方法<sup>[4]</sup>等通常属于 2D 方法. 如谭铁牛等<sup>[5]</sup>以及 Koller 等<sup>[6]</sup>分别完成了基于 3D 模型进行车辆跟踪的系统. 相对于 3D 方法而言, 2D 方法更难处理遮挡问题, 但速度较快. 就二维方法来说, 根据从被跟踪的目标中提取的特征的不同, 可以分为基于颜色的<sup>[7]</sup>、基于形状的<sup>[8]</sup>、基于区域的<sup>[9]</sup>、基于小区域的<sup>[10]</sup>和基于视图的<sup>[11]</sup>方法. 本文提出的算法是建立于对图像曲面性质分析基础之上的图像目标跟踪算法.

### 2 基于曲面性质的图像分割

利用微分几何的理论<sup>[12]</sup>, 图像曲面可以分成三部分: 马鞍面区、上凸区和下凹区, 现将它们分别记为  $R_s$ ,  $R_m$  和  $R_v$ . 容易证明  $R_s + R_m + R_v = I$ , 这里  $I$  为整个图像区域. 那么则有

$$R_s = \{(x, y) | K(x, y) < 0\} \quad (1)$$

$$R_m = \{(x, y) | D_{\max}(x, y) < 0\} \quad (2)$$

$$R_v = \{(x, y) | D_{\min}(x, y) > 0\} \quad (3)$$

这里

$$K(x, y) = \frac{rt - s^2}{(1 + p^2 + q^2)^2} \quad (4)$$

1) 国家杰出青年科学基金(59825105)资助

收稿日期 2000-08-16 收修改稿日期 2001-04-12



为 Gaussian 曲率,

$$D_{\max} = \left( \frac{d^2 f}{d\theta^2} \right)_{\max} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{2} \sqrt{\left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} \right)^2} \quad (5)$$

$$D_{\min} = \left( \frac{d^2 f}{d\theta^2} \right)_{\min} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{\left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} \right)^2} \quad (6)$$

分别为在  $(x, y)$  点的最大和最小的二阶方向导数, 其中  $p = \frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $q = \frac{\partial f}{\partial y}$ ,  $r = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ ,  $t = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ ,  $s = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$ .

下面是对一幅图像进行分割并将其叠加于原图像上的结果. 从中可以看出分割结果与目标区域的对应关系.

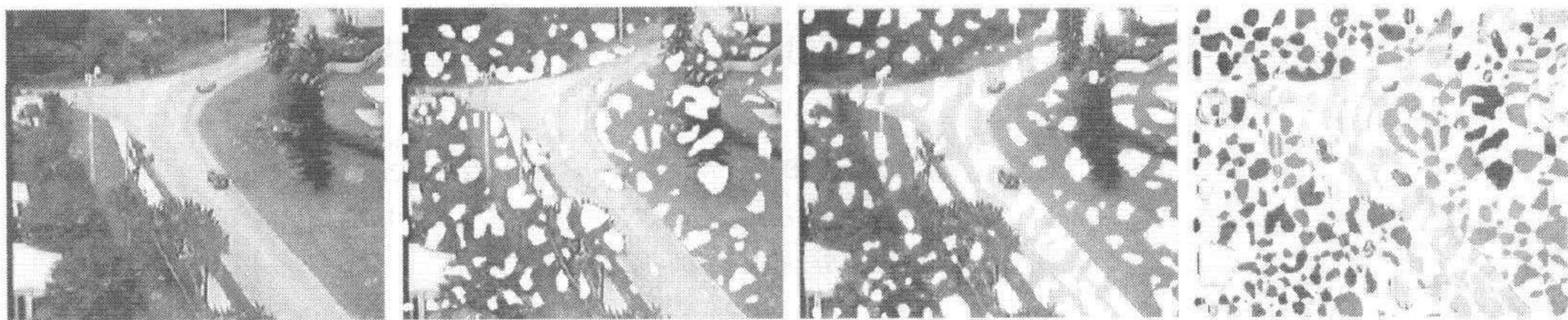


图 1 被检测图像

图 2 上凸椭圆点区域

图 3 下凹椭圆点区域

图 4 马鞍面区域

### 3 基于特征区域的跟踪算法

基于特征区域的目标跟踪算法的基本步骤如下:

1) 人工确定跟踪目标的初始点  $(X_c, Y_c)$ , 以  $(X_c, Y_c)$  为中心确定一合适的窗口  $W$  并对此窗口内的图像进行低通滤波;

2) 计算初始点某一小邻域内目标的属性, 并据此对图像依上一节的方法进行分割, 选择跟踪算法, 之后利用区域连通算法确定整个区域的分布范围, 记为  $A_i$ , 最早的  $i=1$ ;

3) 根据上面确定的区域属性, 完成对窗口内的图像的滤波、分割; 寻找窗口内与  $A_i$  重叠面积最大的区域, 并认为这一新区域为图像目标运动的下一位置; 如果相互重叠的区域小于某一阈值, 则在窗口  $W$  内寻找具有最大相关的匹配区域; 如果相关程度小于一设定的阈值, 则认为目标区域的属性可能发生变化, 应依照其他类型的分割方法对待检测窗口进行重新分割; 然后根据所确定的目标新区域更新  $(X_c, Y_c)$ ; 需要说明的一点是如果认定目标区域属于马鞍面区, 则用一小窗口将目标区与周围相连通的区域分离后再计算其中心位置;

4) 标记  $(X_c, Y_c)$  的新位置;

5) 重复 2), 3), 4) 步骤直至结束.

### 4 实验结果与结论

下面用不同场景的序列图像对此算法进行验证. 跟踪的初始位置为手工选取. 图 5 是进行车辆跟踪的结果, 这里不仅存在目标的运动而且摄像机亦在运动, 并且在运动过程中出现了对目标的部分遮挡. 图 6 是对人眼睛的跟踪结果, 属于多目标的跟踪.

在上面的实验中, 跟踪目标的窗口  $W$  为  $61 \times 61$ , Gaussian 滤波器的方差  $\sigma=3$ . 在 PII400 和 VC++ 的情况下, 每秒处理的图像数目超过 30 幅, 完全达到了实时性的要求. 尽



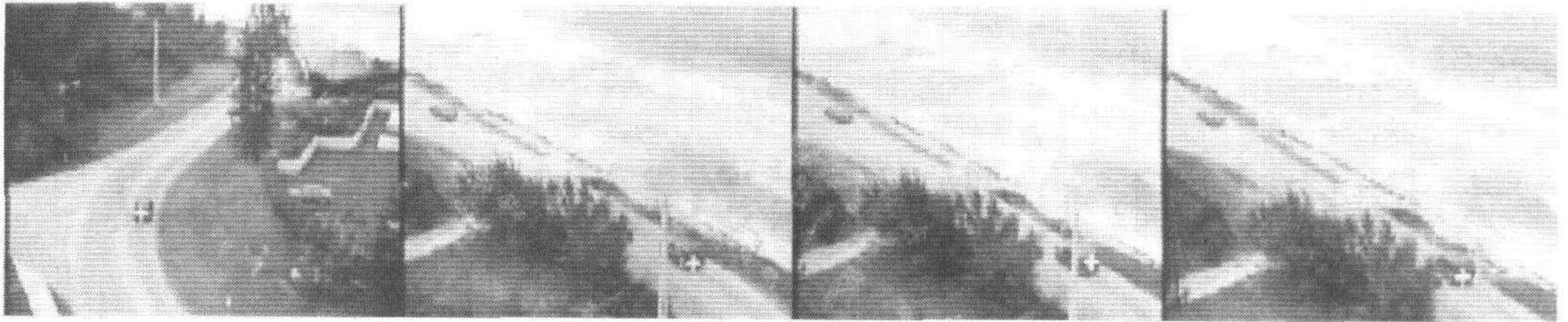


图 5 分别为第120,360,366和374帧的跟踪结果,存在部分遮挡



图 6 分别为第1,34,180和210帧的跟踪结果

管实验仅跟踪了较小的目标,但从本算法的原理上来看仍可利用多分辨率的方法将其用于对较大目标的跟踪.另外,如果能够预测目标在未来时刻所处的位置(如利用 Kalman 滤波等),相信本算法的鲁棒性将会进一步地得到提高.

### 参 考 文 献

- 1 Ryan T W, Gray R T, Hunt B R. Prediction of correlation errors in stereo-pair images. *Optical Engineering*, 1980, **19**(3):312~322
- 2 Burt P J, Yen C, Xu X. Local correlation measures for motion analysis: A comparative study. In: IEEE Conf. Pattern Recognition Image Processing, 1982. 269~274
- 3 Anderson C, Burt P, G van der Wal. Change detection and tracking using pyramid transformation techniques. *SPIE-Intelligent Robots and Computer Vision*, 1985, **579**:72~78
- 4 Smith S M, Brady J M. ASSET-2: Real-time motion segmentation and shape tracking. *IEEE Trans. PAMI*, 1995, **17**(8):814~820
- 5 Tan T N, Sullivan G D, Baker K D. Model-based localisation and recognition of road vehicles. *International Journal of Computer Vision*, 1998, (1):22~25
- 6 Koller D, Daniilidis K, Nagel H-H. Model-based object tracking in monocular image sequences of road traffic scenes. *International Journal of Computer Vision*, 1993, 10:3
- 7 Grove T D, Baker K D, Tan T N. Color based object tracking. In: Proc. ICPR'98
- 8 Koller D, Weber J, Huang T *et al.* Towards robust automatic traffic scene analysis in real-time. In: Proc. of the International Conference on Pattern Recognition, Israel, November, 1994
- 9 Lipton, Fujiyoshi, Patil. Moving target classification and tracking from real-time video. In: Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV), Princeton NJ, 1998. 8~14
- 10 Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, Pentland A. Pfunder: Real-time tracking of human body. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, **19**(7):780~785
- 11 Michael J, Black Allan D Jepsen. EigenTracking: Robust matching and tracking of articulated objects using a view—Based representation. In: Proc. 4th European Conf. on Computer Vision, 1996
- 12 方德植编著. 微分几何基础. 北京:科学出版社,1984

田 原 简介见本刊第 27 卷第 2 期.

谭铁牛 简介见本刊第 28 卷第 1 期.