

# 基于角点采样的多目标跟踪方法

刘 闯 龚声蓉 崔志明 刘纯平 夏侯玉娇

(苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州 215006)

**摘要** 为了跟踪互遮挡的多个目标,提出了一种基于角点采样的多目标跟踪方法。该方法以遮挡发生前的各目标区域中的 Harris 角点信息为样本,在遮挡发生情况下,采取  $K$  近邻分类器对目标区域中提取的角点信息进行分类,以有效区分遮挡在一起的多个目标。在角点特征提取过程中,还提出了双阈值 Harris 角点检测算法,用于自适应、准确地提取运动区域中角点信息。实验结果表明,该方法能有效区分遮挡在一起,且没有分裂之前的多个目标。

**关键词** 多目标跟踪 角点检测 角点采样  $K$  近邻分类器

中图法分类号:TP391.4 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1873-05

## Tracking Multiple Objects Method Based on Harris Corner Sampling

LIU Chuang, GONG Sheng-rong, CUI Zhi-ming, LIU Chun-ping, XIAHOU Yu-jiao

(School of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006)

**Abstract** To track multiple objects which were occluded each other, a multi-target tracking method based on the sampled corners was proposed, which extracted Harris corner information as the training sample before occluding and used  $K$  nearest neighborhood (KNN) classifier to classify the corners in the occluding region. And this method can effectively distinct multiple targets through occlusion. In the process of extracting corners, the dual-threshold Harris corner detection algorithm was proposed. It can adaptively and accurately extract corners. The experimental results show that the proposed method can effectively track multiple objects which were occluded and didn't split up.

**Keywords** tracking multiple objects, extracting corner information, sampling corner information, KNN classifier

## 1 引言

基于视频的运动目标跟踪,经过 40 多年的深入研究和发 展,在许多方面有着广泛的应用和发展前景,如军事视觉制导、机器人视觉导航、交通管制、医疗诊断等。但跟踪过程中的目标相互遮挡、目标形变等又为视频跟踪带来一定的挑战。

区域对应<sup>[1]</sup>虽然在一定程度上能解决多目标遮挡问题,但不能区分相互遮挡,且没有分裂之前的多个目标。目前解决上述问题的方法主要采用位置

预测<sup>[2]</sup>,但它不能准确跟踪方向突变的目标。为此,本文提出了一种基于角点采样的多目标跟踪方法,即在目标区域发生遮挡时,采用训练好的角点信息来分类当前遮挡区域中角点,以便实现对相互遮挡,且没有分裂之前的多个目标进行有效跟踪。

多目标跟踪系统流程如图 1 所示。由于在目标区域遮挡发生之前,区域对应方法已实现了多目标的稳定跟踪。为此,本文仅讨论遮挡发生后,采用基于角点采样的多目标跟踪方法来实现相互遮挡的多目标分离问题,其主要包含目标区域中角点特征提取、角点分类两部分内容。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(60673092);教育部科研重点项目(207040);江苏省高校自然科学基金项目(07KJD520186)

**收稿日期:**2008-06-20; **改回日期:**2008-07-22

**第一作者简介:**刘 闯(1983 ~ ),男。苏州大学计算机科学与技术学院计算应用与技术专业硕士研究生。主要研究方向为图像与视频处理、智能信息处理等。E-mail: lc8317@sina.com

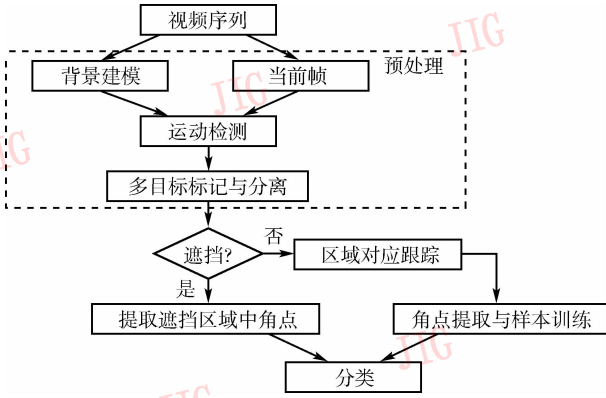


图 1 多目标跟踪系统流程

Fig. 1 The system's flowchart of the tracking process

## 2 预处理

在角点检测前要先进行预处理,预处理就是首先对输入的视频采用基于像素灰度归类的背景重构算法<sup>[3]</sup>提取背景后,再运用背景差<sup>[4]</sup>得到二值化运动前景图;然后运用数学形态学的闭运算消除细小噪声点,并按 8 邻接进行区域连通及标记,以分离各目标;最后以矩形框框出各运动目标,用于表示其区域。同时定义多目标互遮挡的区域为遮挡区域。

## 3 角点特征提取

### 3.1 Harris 角点检测原理

Harris 角点检测算法<sup>[5]</sup>是一种基于信号的点特征提取算子。利用式(1)、式(2)计算相关函数后,即可采用式(3)通过角点响应函数检测出图像中角点。

$$E_{x,y} = \sum w_{u,v} [I_{x+u,y+v} - I_{x,y}]^2 = (u,v) \mathbf{M}(u,v)^T \quad (1)$$

$$\mathbf{M} = \sum w_{u,v} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R = \det(\mathbf{M}) - k \text{tr}^2(\mathbf{M}) \quad (3)$$

其中, $w$ 为进行降噪处理的平滑窗口, $(u,v)$ 为偏移坐标, $I$ 为图像像素矩阵, $I_{x,y}$ 为图像中点 $(x,y)$ 的像素值。 $I_x$ 和 $I_y$ 分别为图像像素在水平方向和垂直方向的一阶灰度梯度。 $\text{tr}(\mathbf{M})$ 、 $\det(\mathbf{M})$ 分别表示矩阵 $\mathbf{M}$ 的迹和行列式值,Harris 角点检测算法推荐的 $k$ 值为 0.04。

通过人为设定阈值 $T$ ,选取 $R \geq T$ 的点为角点。具体计算中,角点响应函数可定义为

$$R = I_x^2 \times I_y^2 - (I_x I_y)^2 - k(I_x^2 + I_y^2)^2 \quad (4)$$

### 3.2 双阈值 Harris 角点检测原理

Harris 角点检测算法需要尝试设定阈值 $T$ ,才能提取较理想的角点。自适应 Harris 角点检测算法<sup>[6]</sup>虽然可以自动提取角点,但对图像进行分块操作时容易造成块边缘角点的丢失。实验发现,Harris 角点检测算法,当取小阈值时,其提取的角点较准确,但易产生虚假角点;当取大阈值时,虽对噪声点有很好的抑制,但容易丢失一些真正的角点。为此,本文提出了双阈值 Harris 角点检测算法,其主要包含两个步骤:(1)在小阈值下,提取运动区域中角点;(2)在大阈值下,剔除虚假角点。具体描述如下:

(1)提取帧中各运动目标的外接矩形,对各矩形框内的每个像素点,通过计算其在水平和垂直方向上的梯度以及两者的乘积首先得到 3 幅新的图像。

(2)为提高抗噪能力,可对这 3 幅图像的矩形框区域进行高斯滤波。应用的离散 2 维高斯函数为

$$G = \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

(3)采用式(4)来计算帧中各外接矩形窗内对应的每个像素点的 $R$ 。

(4)提取局部极大值点。实际操作中,可依次在以每个像素为中心的窗口区域提取最大值,如果中心点像素的 $R$ 为最大值,则该像素点就是特征点。

(5)算法先自动设置一较小阈值 $T_1$  ( $20 \leq T_1 \leq 50$ ),用于提取各矩形窗内的 $R \geq T_1$ 的像素为特征点,并置 $R \leq T_1$ 的像素点的 $R$ 为 0,再分别统计各矩形框内特征点的数目,并将其保存到数组 $N$ 中;然后按式(6)计算每一运动区域中 $R$ 的均值,作为新的阈值,记为 $T_2$ ,即

$$T_2 = \frac{\sum_{i=0}^h \sum_{j=0}^w R_{i,j}}{N(c)} \quad (6)$$

其中, $h$ 、 $w$ 分别为目标外接矩形的高度和宽度, $N(c)$ 为第 $c$ 个矩形框中满足 $R \geq T_1$ 的特征点数。

(6)采用较大的阈值 $T_2$ 来剔除对应矩形窗内的特征点中的虚假角点,以实现准确的角点定位。

## 4 角点分类

在进行双阈值 Harris 角点检测后,需再进行角点分类,才能实现目标跟踪。目前基于角点特征的跟踪主要采用匹配方法,如最近邻(NN)方法<sup>[7]</sup>、互匹配方

法<sup>[8]</sup>等。NN 方法是根据特征点的最近邻距离与次近邻距离的比值是否低于给定的阈值来判断是否匹配。互匹配方法,即图像 1 中的点  $p_i$  的最佳匹配点为图像 2 中的点  $p_j$ ,同时图像 2 中的点  $p_j$  的最佳匹配点为图像 1 中的点  $p_i$  时,则  $(p_i, p_j)$  为一对互匹配点。

实际应用中,由于目标遮挡、形变等易造成部分角点丢失,从而导致上述方法匹配的角点减少,严重时还会造成跟踪的目标丢失。为此,本文采用  $K$  近邻分类算法来进行角点分类,其主要包含以下两个步骤:(1)遮挡发生前,通过采样角点信息来训练分类器;(2)遮挡过程中,采用  $K$  近邻分类器来分类遮挡区域中的角点,以分离互遮挡的多个目标。为简洁解释此算法,本文假设互遮挡的目标种类数  $c$  为 2,即含两个目标,记为  $A$ 、 $B$ 。本文假设遮挡前, $A$ 、 $B$  已实现跟踪,算法的具体步骤如下:

(1)角点采样。从遮挡前的  $n$  ( $n \geq 3$ ) 帧中,分别提取  $A$ 、 $B$  的对应区域中 50 个以上的角点信息作为训练样本,并将其保存到结构体数组  $CornerS\{c, V_{i,j}\}$  中。其中, $c$  表示目标种类( $c$  值为 1 表示此角点属于  $A$ 、 $c$  值为 2 表示此角点属于  $B$ ), $V_{i,j}$  为以角点坐标  $(i, j)$  为中心,由  $L \times L$  大小的区域构成的向量,即  $V_{i,j} = [v_1, \dots, v_p]$ ,  $p = L \times L$ 。

(2)遮挡区域角点提取。当  $A$ 、 $B$  发生遮挡时,则提取遮挡区域中的角点信息作为测试样本,并将其保存到结构体数组  $CornerT\{c_1, V_{i_1, j_1}\}$  中。其中, $V_{i_1, j_1}$  为以角点坐标  $(i_1, j_1)$  为中心,由  $L \times L$  大小的区域构成的向量,即  $V_{i_1, j_1} = [\tilde{V}_1, \dots, \tilde{V}_p]$ ,  $p = L \times L$ 。同时将

$c_1$  初始值设为 0,用来标注角点  $V_{i_1, j_1}$  所属的类别。

(3)角点分类,即区分遮挡的  $A$ 、 $B$ 。对测试样本  $CornerT\{c_1, V_{i_1, j_1}\}$  中的各角点,按  $K$  近邻对其进行分类,本文  $K$  取 3,即 3 近邻。分类过程如下:首先对  $CornerT\{c_1, V_{i_1, j_1}\}$  中各待匹配的角点  $V_{i_1, j_1}$ ,采用霍夫距离(式(7))计算其与  $CornerS\{c, V_{i,j}\}$  中最相近的 3 个角点;然后分别统计  $A$ 、 $B$  中含此 3 个角点的数目,记为  $N_1, N_2$ 。如果  $N_1 \geq N_2$ ,则置  $c_1$  为 1,即当前角点属于  $A$ ,否则置  $c_1$  为 2,即当前角点属于  $B$ 。

$$d = \| (V_{i_1, j_1} - V_{i,j}) \| \quad (7)$$

(4)校正误分类的角点。上述步骤执行后,由于易产生少量误分类的角点,为此,本文对步骤(3)中的  $N_1 \neq 3$  和  $N_2 \neq 3$ ,即非鲁棒的角点,采用空间邻近法进行校正,即提取其空间域中最近的  $m$  个角点,并统计  $A$ 、 $B$  中含此  $m$  个角点的个数,记为  $\tilde{N}_1, \tilde{N}_2$ 。如果  $\tilde{N}_1 \geq \tilde{N}_2$ ,则检查当前角点,如果其  $c_1$  值不为 1,则校正当前角点,并置  $c_1 = 1$ ;否则,检查当前角点的  $c_1$  值是否为 2,如果不是,则校正当前角点,并置  $c_1 = 2$ 。

## 5 实验结果及分析

### 5.1 双阈值 Harris 角点检测

为了验证本文算法的有效性,还将本文算法分别与原 Harris 角点检测算法<sup>[5]</sup>和自适应的 Harris 角点检测算法<sup>[6]</sup>进行了比较。其中,图 2(a)、图 3(a)分别为从 CAVIAR<sup>[9]</sup> 视频库、PETS2001<sup>[10]</sup> 视频库中提取的一帧。图 2(b)~图 2(f)、图 3(b)~图 3(f)分

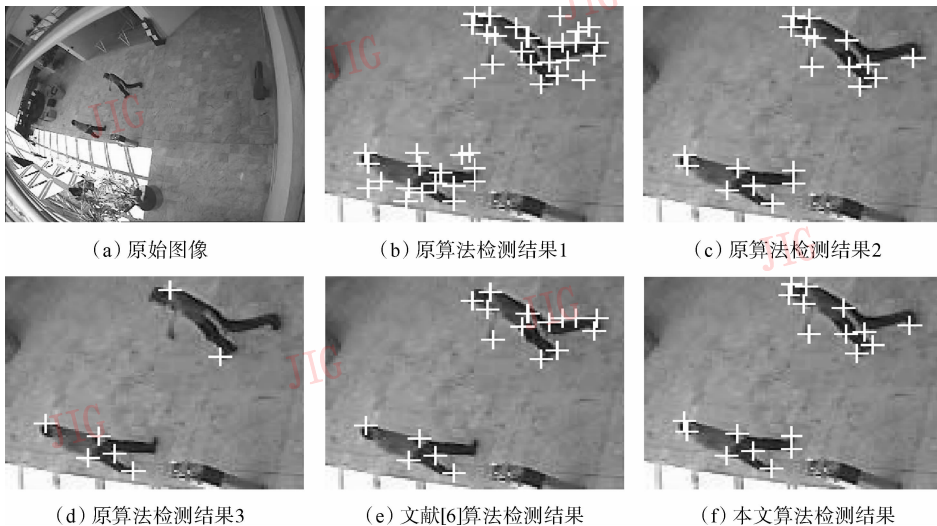


图 2 无遮挡情况下角点检测实验结果

Fig. 2 The experimental results before occlusion

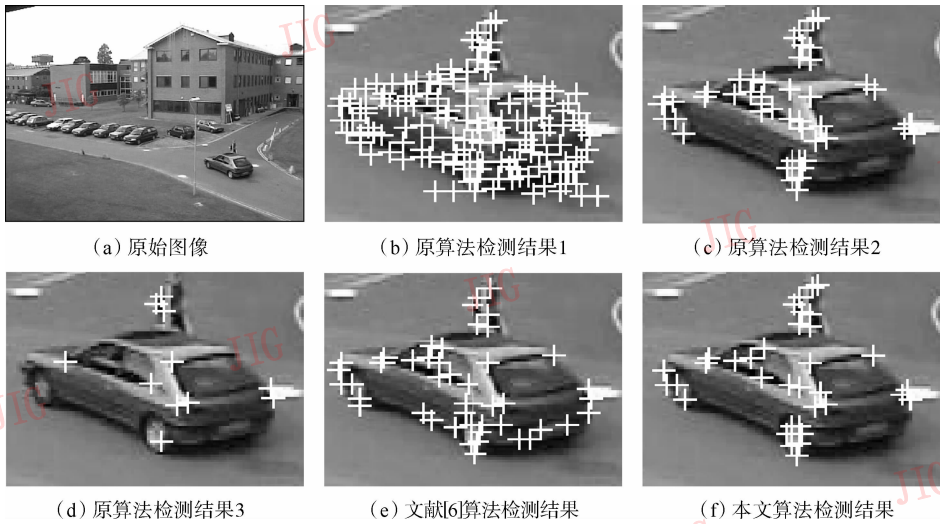


图 3 遮挡情况下角点检测实验结果

Fig. 3 The experimental results after occlusion

别为从原图像中截取的图像块。图 2(b)、图 3(b)为阈值  $T = 50$  时, Harris 角点检测算法检测的结果,由此可以看出,小阈值下提取的角点虽较准确,但却产生了很多虚假角点。图 2(c)、图 3(c)为阈值  $T = 3\ 000$  时, Harris 角点检测算法检测的结果。图 2(d)、图 3(d)为阈值  $T = 10\ 000$  时 Harris 角点检测算法检测的结果,由此可以看出,大阈值情况下,其虽对噪声点有很好的抑制,但却剔除了一些真正的角点。图 2(e)、图 3(e)为文献[6]自适应的 Harris 角点检测,算法检测的结果,其中图像分为  $8 \times 8$ , 共计 64 块,从该两图中可以看出,除了造成目标部分角点丢失外,还产生许多虚假角点。图 2(f)、图 3(f)为本文算

法检测到的运动区域角点,定位较准确。

## 5.2 Harris 角点分类

为了验证本文分类算法的有效性,还将其分别与最近邻算法<sup>[7]</sup>和互匹配算法<sup>[8]</sup>进行了比较。其中图 4(a)为从 PETS2001 视频库中提取的一帧。图 4(b)为图 4(a)中截取的图像块,采用双阈值 Harris 角点检测算法检测的结果;图 4(c)为图 4(b)中剔除了背景中的干扰角点后的检测结果;图 4(d)为基于样本采样的  $K$  近邻分类算法的分类结果(图中“+”、“\*”分别表示当前角点被分类为车目标和人目标)。图 4(e)、图 4(f)分别为假设当前图像的前一帧的所有角点已正确分类后,再采用最近邻算法、

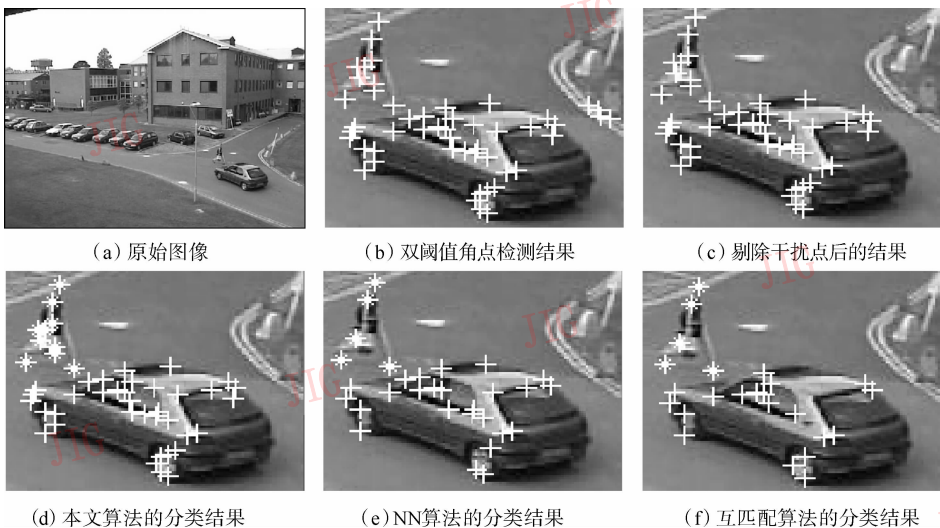


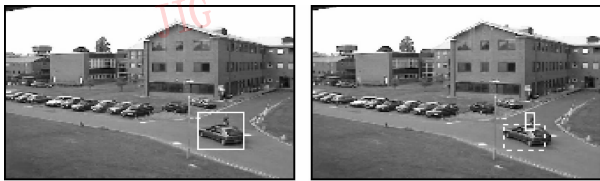
图 4 角点分类结果

Fig. 4 The results of classification for extracted corners

互匹配算法分类的结果。可以看出,图4(d)中正确分类的角点数目远多于图4(e)、图4(f),可见本文的分类算法鲁棒性更强。

### 5.3 对象跟踪

由于篇幅所限,这里只选择了2组测试结果对本文所提出的方法加以解释。图5(a)为文献[1]方法跟踪的结果,由图5(a)可见,文献[1]方法不能区分互遮挡的多个目标。图5(b)为本文方法的跟踪结果,由图5(b)可见,已跟踪到互遮挡的多个目标。

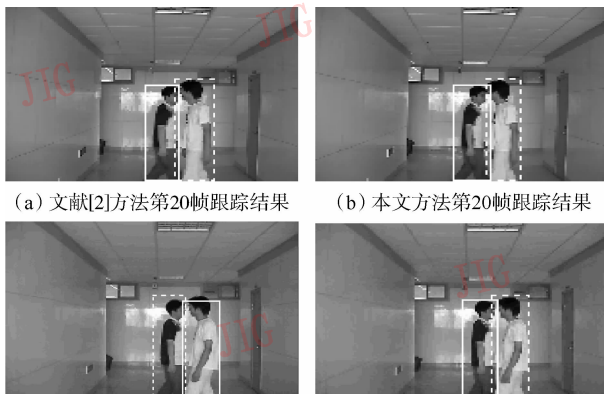


(a) 文献[1]方法第570帧跟踪结果 (b) 本文方法第570帧跟踪结果

图5 本文方法与文献[1]方法的跟踪结果比较

Fig.5 The comparison between our method and paper[1]

目前主要采用预测方法来区分互遮挡的多目标。图6为笔者采集的视频序列采用文献[2]的位置预测方法与本文方法的跟踪结果比较,其中帧尺寸为 $640 \times 480$ pixels。由图6可见,21帧之前,两目标呈规律运动,22帧时两目标都突然改变了运动方向(后退运动)。对于目标呈规律运动的情况,文献[2]方法与本文方法都能准确地跟踪目标(如图6(a)、6(b)所示,图中实线框表示目标A,虚线框表示目标B),但当目标突然改变运动方向后,文献[2]方法则产生了误跟踪(如图6(c)所示,图中跟踪目标B的虚线框框了目标A,跟踪目标A的实线框框了目标B),而本文方法则能准确地跟踪目标(如图6(d)所示)。



(a) 文献[2]方法第20帧跟踪结果 (b) 本文方法第20帧跟踪结果

(c) 文献[2]方法第22帧跟踪结果 (d) 本文方法第22帧跟踪结果

图6 本文方法与文献[2]方法的跟踪结果比较

Fig.6 The comparison between our method and paper[2]

## 6 结论

本文提出了一种基于角点采样的多目标跟踪方法。该方法以遮挡前各目标区域内的 Harris 角点信息为样本,在遮挡情况下,采取  $K$  近邻分类器来对目标区域中提取的角点信息进行分类,从而有效地区分了互遮挡的多个目标。在角点提取过程中,还提出了双阈值 Harris 角点检测算法,与原 Harris 角点检测算法和自适应的 Harris 角点检测算法相比,本文算法能自适应地准确定位运动区域中的角点。实验结果表明,本文方法能有效区分互遮挡的多个目标。

### 参考文献 (References)

- 1 Fang Ying, Wang Hui-yuan, Zhao Jian-lei *et al.* Multiple objects tracking algorithm applied to occlusion issue [J]. *Application of Computer*, 2007, **27**(S2):62~65. [方颖,王汇源,赵建蕾等.适用于多目标之间遮挡问题的跟踪算法[J].*计算机应用*,2007, **27**(S2):62~65.]
- 2 Javed O, Shah M. Tracking and object classification for automated surveillance [A]. In: *Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision [C]*, Copenhagen, Denmark, 2002:28~31.
- 3 Hou Zhi-qiang, Han Chong-zhao. A background reconstruction algorithm based on pixel intensity classification [J]. *Journal of Software*, 2005, **16**(09):1568~1576. [侯志强,韩崇昭.基于像素灰度归类的背景重构算法[J].*软件学报*,2005, **16**(09):1568~1576.]
- 4 Haritaoglu I, Harwood D, Davis L, *et al.* W<sup>4</sup>: Real-time surveillance of people and their activities [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, **22**(08):809~830.
- 5 Harris C G, Stephens M J. A combined corner and edge detector [A]. In: *Proceedings Fourth Alvey Vision Conference [C]*, Manchester, UK, 1988:147~151.
- 6 Zhao Wan-jin, Gong Sheng-rong, Liu Chun-ping, *et al.* An adaptive Harris corner detection algorithm [J]. *Computer Engineering*, 2008, **34**(11):212~214. [赵万金,龚声蓉,刘纯平等.一种自适应的Harris角点检测算法[J].*计算机工程*,2008, **34**(11):212~214.]
- 7 Beis J, Lowe G. Shape indexing using approximate nearest-neighbour search in high-dimensional spaces [A]. In: *Proceedings of the IEEE 1997 Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]*, Puerto Rico, 1997:1000~1006.
- 8 Xu Wei, Wang Shou-zhong. Measurement of vehicle speed based on Harris corner detector [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, **11**(11):1650~1652. [徐伟,王朔中.基于视频图像Harris角点检测的车辆测速[J].*中国图象图形学报*,2006, **11**(11):1650~1652.]
- 9 CAVIAR Test Case Scenarios [DB/OL]. <http://groups.inf.ed.ac.uk/Vision/CAVIAR/>, 2007-05-09.
- 10 PETS2001 [DB/OL]. <http://www.filewatcher.com/b/ftp/ftp.cs.rdg.ac.uk/pub/PETS2001/DATASET1>, 2007-05-09.