

# 一种基于颜色不变量和 PHOG 特征的交通标志检测方法

周广波 李豪杰

(大连理工大学软件学院 辽宁 大连 116621)

**摘要** 提出一种基于颜色不变量和塔式梯度方向直方图 PHOG (Pyramid Histogram of Oriented Gradients) 特征的交通标志检测方法。该方法首先在高斯颜色模型下提取颜色不变量特征并对其进行聚类,以分割出候选感兴趣区域;然后提取感兴趣区域的 PHOG 特征并用支持向量机进行形状分类,进而区分交通标志形状和噪声区域。对自然环境下的交通标志,PHOG 特征所采用的 Canny 算法在获取感兴趣区域轮廓时会产生较多噪声,从而降低交通标志分类性能。为此,提出利用 Chromatic-edge 来增强目标轮廓并抑制噪声以提升 PHOG 特征描述能力。实验结果表明该方法对光照、阴影、遮挡、以及背景复杂等因素具有较高的鲁棒性,获得了较高的检测率和较低的误检率。

**关键词** 交通标志检测 颜色不变量 PHOG 特征 目标检测 形状分类 智能交通技术

中图分类号 TP391 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2014.08.040

## A DETECTION APPROACH FOR TRAFFIC SIGNS BASED ON COLOUR INVARIANT AND PHOG FEATURE

Zhou Guangbo Li Haojie

(School of Software, Dalian University of Technology, Dalian 116621, Liaoning, China)

**Abstract** We propose a new detection approach for traffic signs which is based on colour invariants and pyramid histogram of oriented gradients (PHOG) features. The method first extracts colour invariants feature in Gaussian colour model and clusters these colour invariants in order to segment the candidate regions of interests (ROIs); then it extracts the PHOG features of ROIs and uses support vector machine to classify the shape, and then differentiates the shape and noise regions of the traffic signs. For the traffic signs in natural environment, the Canny algorithm used by PHOG feature will generate more noises when obtaining the contour of ROIs, so that the classification performance of traffic signs is reduced. Therefore, we propose to use Chromatic-edge to enhance the object contour while suppressing the noises so as to boost the descriptive power of PHOG feature. Experimental results demonstrate that our method is quite robust on the factors of illumination, shadow, occlusion and background complexity, etc., and achieves higher detection rate and lower false positive rate.

**Keywords** Traffic sign detection Colour invariant PHOG feature Object detection Shape classification Intelligent transportation technique

## 0 引言

近年来,随着拥有汽车的人群越来越大,交通事故出现的频率也越来越高,这使得驾驶辅助系统的研究变得越来越重要。交通标志检测是驾驶辅助系统的重要一环。人开车时疲劳、注意力不集中,或交通标志摆放位置不明显、交通标志所处的环境较复杂等,都会使驾驶员忽略交通标志带来的诸如限速、禁止鸣笛、禁止超车、前方路滑、减速慢行等重要提示信息而带来交通隐患,因此及时提示驾驶员这些信息就变得非常重要。基于视觉的交通标志自动检测因具有造价低、对驾驶员无干扰等优点近年来受到了研究者的广泛关注。

现有交通标志检测算法可大致分为三类:基于颜色的检测方法、基于形状的检测方法和颜色形状相结合的检测方法。由于交通标志被设计成了特殊的颜色(如红、黄、蓝等),许多工作都集中在了利用这些特殊的颜色将交通标志分割出来。文献[1]在 RGB 空间建立颜色查询表,通过查表分割典型的交通

标志颜色。文献[2]利用高斯分布在 CIELab 空间上对颜色建模,以克服颜色变化和光照因素的影响。因颜色受天气、光照、阴影、及交通标志本身的颜色退化等影响较大,所以利用颜色来分割交通标志仍然面临很多困难。

鉴于交通标志有着特殊的形状(如圆形、三角形、菱形),许多研究者提出了基于形状的检测算法。文献[3]利用 Hough 变换来检测限速标志。因 Hough 变换计算量较大,文献[4]对圆形 Hough 变换进行改进,基于图像梯度信息提出了一种快速径向对称算子对速度标志进行检测,该方法对光照、遮挡因素影响具有一定的鲁棒性,但局限于圆形交通标志的检测。

还有许多工作综合利用颜色和形状信息。如文献[5]在 RGB 空间上对红色像素进行变换,定义红色临界值区域检测红色边缘交通标志,然后通过角点检测来识别形状,但未能考虑圆形标志。文献[6]在 HSI 空间上通过阈值对颜色进行分割,并

收稿日期:2013-02-23。国家自然科学基金项目(61033012, 61173104)。周广波,硕士生,主研领域:智能视频监控。李豪杰,副教授。

在得到的二值图像上提取 DtB (distance to border) 特征, 然后利用 SVM 分类器来区分形状, 但是该方法受颜色分割结果影响较大。文献[7]在 CIE Lab 空间上的 a, b 分量提取二维 Gabor 特征, 通过 K-means 聚类方法将图像分割成不同区域, 然后利用周长的平方和面积的比值以及 DtB 特征区分形状, 但该方法对遮挡的影响很敏感。

为提高交通标志检测性能, 本文基于颜色和形状特征, 提出一种结合颜色不变量和塔式梯度方向直方图 PHOG 特征的交通标志检测方法。首先利用颜色不变量特征进行颜色聚类以分割出候选感兴趣区域; 然后提取感兴趣区域的 PHOG 特征并用 SVM 进行形状分类。为提升 PHOG 描述能力, 提出使用 Chromatic-edge 来增强目标轮廓并抑制噪声。实验表明该方法对不同天气、光照、阴影等条件下的交通标志都取得了很好的检测效果。

## 1 交通标志感兴趣区域分割

### 1.1 颜色不变量特征

交通标志处在户外环境中, 其分割受光照、阴影、天气等周围环境因素影响较大, 因此需要从图像中提取能够反映物体真实颜色的特征量。根据 Kubelka-Munk 理论光谱反射模型表示如下:

$$E(\lambda, \vec{x}) = e(\lambda, \vec{x}) \{ (1 - \rho_f(\vec{x}))^2 R_\infty(\lambda, \vec{x}) + e(\lambda, \vec{x}) \rho_f(\vec{x}) \} \quad (1)$$

其中  $\lambda$  表示波长;  $\vec{x}$  为二维矢量, 表示观测位置;  $e(\lambda, \vec{x})$  表示光谱强度;  $\rho_f(\vec{x})$  表示  $\vec{x}$  处的 Fresnel 反射系数;  $R_\infty(\lambda, \vec{x})$  表示材料反射率;  $E(\lambda, \vec{x})$  为观测处的反射谱。多数情况下  $e(\lambda, \vec{x})$  在各个波长上保持不变而随着位置变化, 可写成  $i(\lambda, \vec{x})$  形式;  $\rho_f(\vec{x})$  可忽略, 则式(1)可简化为:

$$E(\lambda, \vec{x}) = i(\vec{x}) R_\infty(\lambda, \vec{x}) \quad (2)$$

在上述模型中  $R_\infty(\lambda, \vec{x})$  反映了物体的真实颜色, 寻找只依赖于  $R_\infty(\lambda, \vec{x})$  的颜色特征, 便得到了反映物体真实颜色的特征量。对  $E$  中  $\lambda$  分别进行一次和二次求导再比上  $E$  得  $C_\lambda, C_{\lambda\lambda}$ 。如式(3)、式(4)所示:

$$C_\lambda = \frac{E_\lambda}{E} = \frac{1}{R_\infty(\lambda, \vec{x})} \frac{\partial R_\infty(\lambda, \vec{x})}{\partial \lambda} = f(R_\infty(\lambda, \vec{x})) \quad (3)$$

$$C_{\lambda\lambda} = \frac{E_{\lambda\lambda}}{E} = \frac{1}{R_\infty(\lambda, \vec{x})} \frac{\partial^2 R_\infty(\lambda, \vec{x})}{\partial^2 \lambda} = f(R_\infty(\lambda, \vec{x})) \quad (4)$$

由式(3)、式(4)可知  $C_\lambda, C_{\lambda\lambda}$  是一种色彩衡量, 与视角、光照强度、表面朝向、照明方向均无关。本文利用这两个色彩衡量作为颜色特征来对图像进行分割。

根据 Geosebroek 等<sup>[8]</sup>建立的 Gaussian 光谱模型, 彩色图像各像素值 ( $R, G, B$ ) 和 ( $E, E_\lambda, E_{\lambda\lambda}$ ) 的近似关系为:

$$\begin{bmatrix} E \\ E_\lambda \\ E_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.3 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.6 & 0.17 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

### 1.2 用 K-Means 聚类对图像进行颜色分割

从一张大小为  $d = M \times N$  的输入图像上获得  $C_\lambda, C_{\lambda\lambda}$  不变量特征, 然后按行展开, 得到  $f = 2 \times d$  的颜色不变量特征。用 K-means 算法对特征  $f$  进行聚类, 从而将图像分割成不同区域。这里 K-means 聚类的初始值和 K 值用寻找局部直方图最大值的方法得到。将 ( $C_\lambda, C_{\lambda\lambda}$ ) 形成一个  $D \times D$  个 bin 的二维直方图 (如

图 1(a) 所示, 本文设置  $D = 16$ ), 并用一个 8 邻域的查找窗口 (图 1(b)) 在该二维直方图上寻找局部最大值, 8 个邻域的 bin 值均小于窗口中心查找 bin 的值, 则该 bin 为一个局部最大值, 如图 1(a) 标出两个局部最大值, 查找得到的局部最大值的个数就是 K 的个数, 其对应的 ( $C_\lambda, C_{\lambda\lambda}$ ) 就是 K-means 聚类的聚类中心。

在特征  $f$  上聚类后得到每一个像素点的类值, 根据像素点的类值把图像分为 K 层, 在每一层上用连通区域检测算法找出每一个连通区域, 这样就把图像分成了若干个候选区域。

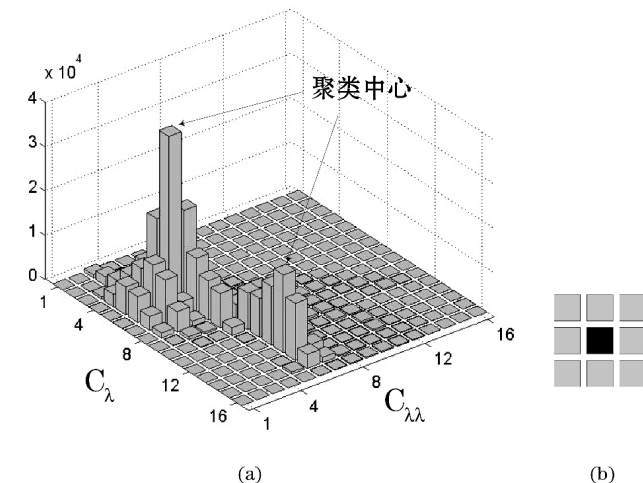


图1 寻找聚类中心

### 1.3 基于面积的过滤

由于交通标志形状的特殊性, 在得到候选区域后, 可通过一些规则来滤除一些不符合要求的区域: 1) 候选区域面积比 (长和宽的比例) 在 1.9 和 1/1.9 之间, 否则该区域将被丢弃; 2) 候选区域的维度必须在输入图像的 1/15 和 1/2 之间, 否则该区域将被丢弃。

本文方法的一个分割结果如图 2 所示, 其中 (a) 为原始图像, (b) 为聚类的分割结果, 这里每种颜色代表一类, (c) 为面积过滤后剩下的候选区域, (d) 为根据 (c) 中候选区域的外接矩形获得的候选 ROI 分割结果。

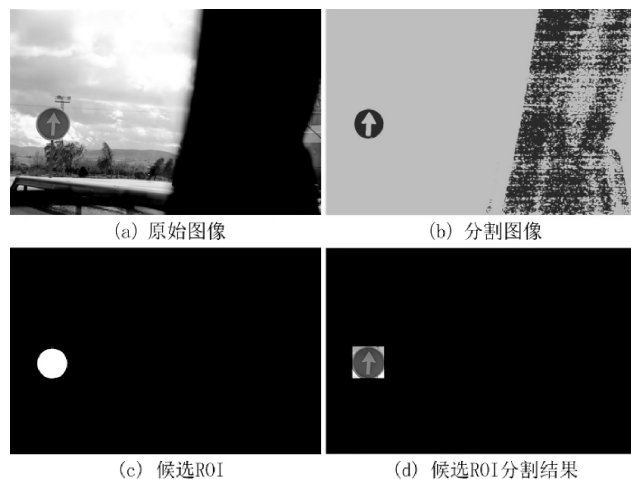


图2 候选 ROI 分割结果 1

对背景复杂的情况, 基于面积的过滤, 不能完全滤除噪声区域, 如图 3 所示, 其中 (c) 为面积过滤后剩下的候选区域, (d) 为根据 (c) 中候选区域的外接矩形获得的 ROI 分割结果。从该图可以看出分割结果中存在很多噪声区域, 本文将进一步提取这

些区域的 PHOG 特征,利用 SVM 形状分类器,将这些噪声去域滤除。

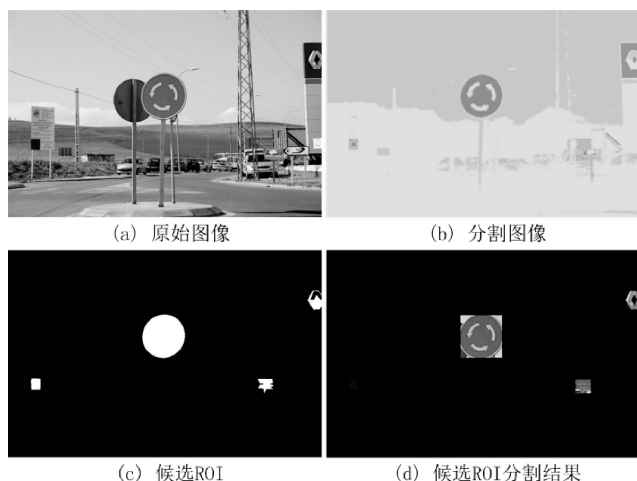


图3 候选 ROI 分割结果 2

## 2 基于 PHOG 特征的交通标志检测

### 2.1 PHOG 特征的提取

近年来,由 Anna Bosch 等<sup>[9]</sup>提出的空间形状描述符 PHOG 特征因其较强的形状描述能力已被应用到目标识别、人脸表情识别和分类、车型分类以及图像检索中。PHOG 首先要用 Canny 算法提取图像的边缘信息,即图像中的目标轮廓,然后将图像分层,第一层(记为  $L=0$ ,以下类推)为整个图像,第二层( $L=1$ )是将第一层( $L=0$ )进行 4 均分,第三层( $L=2$ )是将第二层( $L=1$ )的每一块 4 均分,依次类推。在每一块上统计  $K$  个方向上的梯度直方图 HOG(Histogram of Oriented Gradients)特征,最后将这些直方图合并形成 PHOG 形状描述符。PHOG 的一个重要特性是易受轮廓检测结果影响,即若提取出的轮廓不清晰或噪声较多,则会降低 PHOG 描述性能;而对自然场景下的交通标志图像,用 Canny 算法提取的轮廓点通常含有较多噪声。为此,考虑到交通标志往往都具有较醒目的颜色,本文采用 Chromatic-edge 边缘提取方法,对 PHOG 特征进行改进,以降低提取轮廓点时产生的噪声影响。文献[8]提出 Chromatic-edge 强度的概念,其值由式(6)、式(7)、式(8)计算得到。

$$C_{Ax} = \frac{E_{Ax}E - E_A E_x}{E^2} \quad (6)$$

$$C_{AAx} = \frac{E_{AAx}E - E_{AA} E_x}{E^2} \quad (7)$$

其中  $E_x$ 、 $E_{Ax}$ 、 $E_{AAx}$  为式(5)中  $E$ 、 $E_A$ 、 $E_{AA}$  在  $x$  方向上的高斯差分,同理得  $y$  方向上的  $C_{Ay}$ 、 $C_{AAy}$ ,然后计算 Chromatic-edge 强度值  $C_w$ 。

$$C_w = \sqrt{C_{Ax}^2 + C_{Ay}^2 + C_{AAx}^2 + C_{AAy}^2} \quad (8)$$

图4~图7分别给出了用 Chromatic-edge 和 Canny 算法在不同形状的 ROI 上提取边缘点的对比情况。其中“Canny”为用 Canny 算法提取的边缘点。“ $C_w$ ”为 Chromatic-edge 强度的灰度图表示,亮度越亮表示其边缘强度越高。交通标志因边缘与背景相比差异较大,所以其  $C_w$  值也较大。得到  $C_w$  后用 Otsu 阈值分割算法<sup>[10]</sup>得到  $C_w T$ 。从以上图可看出 Chromatic-edge 轮廓点的噪声要明显小于 Canny 算法得到的轮廓点。最后层次化统计这些点的梯度方向直方图,得到改进的 PHOG 描述符。

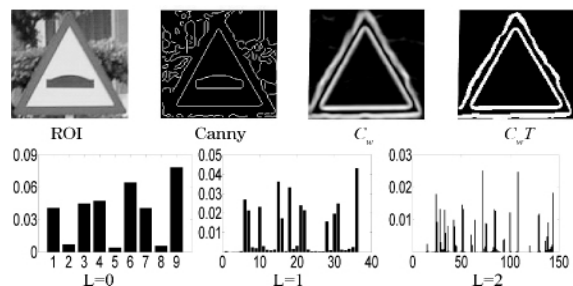


图4 三角形交通标志 PHOG 特征

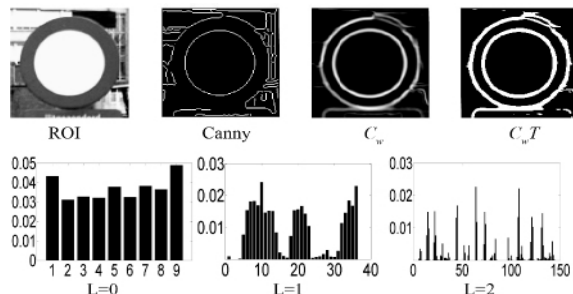


图5 圆形交通标志 PHOG 特征

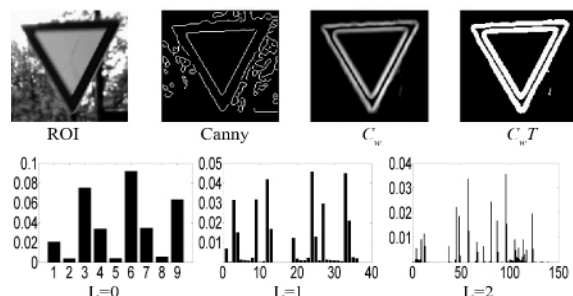


图6 三角形(下)交通标志 PHOG 特征

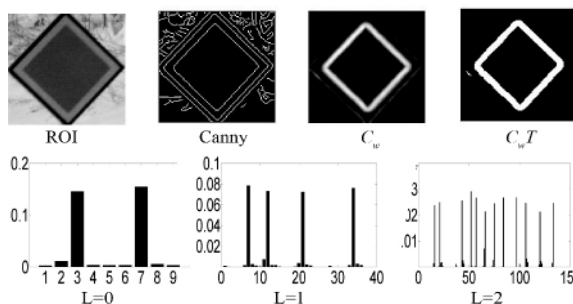


图7 菱形交通标志 PHOG 特征

本文梯度方向范围选取  $[0^\circ, 180^\circ]$ ,取  $K=9$ ,即每  $20^\circ$  为一个区间。设置分层数为 3,这样得到  $9+9 \times 4+9 \times 16=189$  维的 PHOG 特征。图4~图7中“ $L=0$ ”、“ $L=1$ ”、“ $L=2$ ”分别为各形状在各层的 PHOG 特征示意图。由图可看出,改进的 PHOG 特征对交通标志形状有着较高的区分度。

### 2.2 基于 PHOG 特征交通标志形状分类

在获得 PHOG 特征后本文用支持向量机(SVM)对不同形状进行分类。本文构建了 4 个 PHOG 形状 SVM 分类器,分别为三角形标志、圆形标志、三角(下)形标志和菱形标志,每个分类器输入值为 1 或 -1。对每个分类器训练 1 000 幅样本,其中正样本 200 幅,负样本 800 幅。识别时用这 4 个 SVM 分类器来对分割出的 ROI 区域进行分类,得到四个分类结果后,通过投票来决定是否为交通标志。只有投票结果等于 -2,即属于四类中的某一类才被认为是交通标志,否则认为是误检。

3 实验结果与分析

用本文的检测算法共对 500 幅交通标志图像进行测试(图像来自文献[5,6,11])。图 8 给出了不同因素影响下的检测结果,这里三角形、圆形、三角形(下)、菱形交通标志分别用红色、蓝色、绿色、黄色方框标记出来。图中,(a)、(b)为天气因素影响,(a)为雪天,(b)为雨天,(c)、(d)为光照影响。(e)、(f)为遮挡影响,(g)为阴影影响,(h)、(i)为场景复杂因素影响。从图中结果可看出本文方法对这些因素影响有较高的鲁棒性。

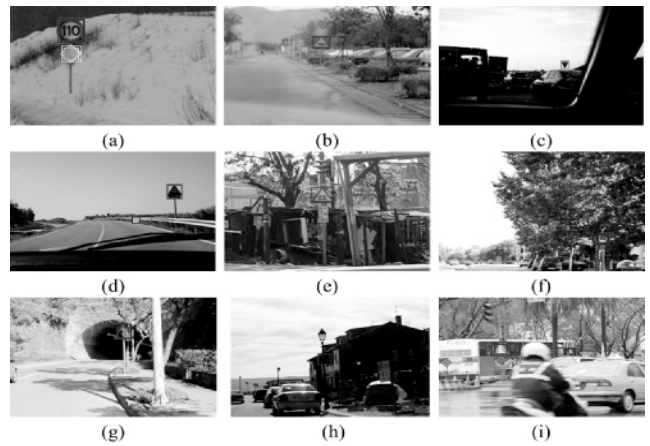


图 8 交通标志检测结果

表 1 给出了本文算法跟文献[6]检测算法,以及与本文 ROI 分割方法 + Canny-PHOG 形状分类算法(记为 Canny-PHOG)在 500 幅图像上的检测结果。其中‘-’表示文献[6]中没有给出菱形交通标志的检测方法。实验结果表明本文算法有较高的检测率和较低误检率。

表 1 交通标志检测结果

交通标志形状	数目	检测率(%)			误检率(%)		
		文献[6]算法	Canny PHOG	本文算法	文献[6]算法	Canny PHOG	本文算法
三角形	310	88.70	92.25	96.45	26.47	7.14	1.96
圆形	309	84.14	86.95	93.52	16.40	12.28	6.77
倒三角	55	81.82	90.91	94.50	29.03	13.79	3.70
菱形	62	—	93.54	95.16	—	25.64	10.60

4 结 语

本文提出了一种基于颜色不变量和改进的 PHOG 特征的交通标志检测方法。通过颜色不变量将交通标志候选区域分割出来,再用改进的 PHOG 特征对交通标志进行形状分类和除噪。实验表明所提出方法对阴影、遮挡、天气、背景复杂等影响因素有较高的鲁棒性,取得了较高的检测率和较低的误检率。

参 考 文 献

[1] Zadeh M M ,Kasvand T ,Suen C Y. Localization and recognition of traffic signs for automated vehicle control systems[C]//Intelligent Transportation Systems ,SPIE 1998.

[2] Lopez L D ,Fuentes O. Color-based road sign detection and Tracking [J]. Image Analysis and Recognition 2007 ,1138-1147.

[3] Damavandi Y B ,Mohammadi K. Speed limit traffic sign detection and

recognition[C]//IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems Singapore 2004.

[4] Barnes N ,Zelinsky A. Real time speed sign detection using the radial symmetry detector[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2008 ,9(2) :322-332.

[5] Yang H M ,Liu C L ,Huang S M. Traffic Sign Recognition in Disturbing Environments[C]//SMIS 2003.

[6] Saturnino Maldonado Bascon et al. Road-sign detection and recognition based on support vector machines [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2007 ,8(2) :264-278.

[7] Khan J F ,Bhuiyan S M A ,Adhami R R. Image segmentation and shape analysis for road-sign detection [J]. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst , 2011 ,12(1) :83-96.

[8] Geusebroek J ,Boomgaard R V D ,Smeulders A W M et al. Color invariance [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 2001 ,23(12) :1338-1350.

[9] Bosch A ,Zisserman A ,Munoz X. Representing shape with a spatial pyramid kernel[C]//Proceedings of the ACM International Conference on Image and Video Retrieval 2007.

[10] Otsu. Real Time A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms [J]. IEEE Transactionson Systems ,Man and Cybernetics ,1979 ,9(1) :62-66.

[11] Tam T Le ,Son T Tran ,Seichii Mita et al. Realtime traffic sign detection using color and shape based features [C]//ACIHDS ,LNAI5991 , Hue ,Vietnam 2010 :24-26.

(上接第 159 页)

分出车类大目标和小目标聚集而成的大目标,并且具有较低的时间复杂度和较好的检测效果。但是对于正常速度行走的异常中小目标仍难以检测,需进一步研究和探索。

参 考 文 献

[1] Andrade E L ,Fisher R B ,Blunsden S. Detection of emergency events in crowded scenes [C]//Institution of Engineering and Technology Conference on Crime and Security 2006 :528-536.

[2] Mahadevan V ,Li W ,Bhalodia V et al. Anomaly detection in crowded scenes [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2010.

[3] Picciarelli C ,Micheloni C ,Foresti G et al. Trajectory-based anomalous event detection [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology 2008 :1544-1554.

[4] 朱海龙 ,刘鹏 ,刘家锋 ,等. 人群异常状态检测的图分析方法 [J]. 自动化学报 2012(5) :742-749.

[5] Kratz L ,Nishino K. Anomaly detection in extremely crowded scenes using spatio-temporal motion pattern models [C]//Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2009 :1446-1453.

[6] 胡芝兰 ,江帆 ,王贵锦 ,等. 基于运动方向的异常行为检测 [J]. 自动化学报 2008(11) :1348-1357.

[7] Olivier Barnich ,Marc Van Droogenbroeck. ViBe: A universal background subtraction algorithm for video sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing 2011 ,20(6) :1709-1727.

[8] Mehran R ,Oyama A ,Shah M. Abnormal crowd behavior detection using social force model [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2009 :935-942.

[9] Adam A ,Rivlin E ,Shimshoni I et al. Robust real-time unusual event detection using multiple fixed-location monitors [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 2008 ,30(3) :555-560.