

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **5**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年5月 第17卷 第5期(总第193期)

## 目次

### 综述

- 中国图像工程:2011 ..... 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 ..... 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

### 图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 ..... 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 ..... 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 ..... 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

### 图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 ..... 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 ..... 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 ..... 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 ..... 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 ..... 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 ..... 范春年,张福炎(676)

### 图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 ..... 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 ..... 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 ..... 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 ..... 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

### 计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 ..... 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

### 虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 ..... 李倩,吉晓民,林文周(715)

### 遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 ..... 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 ..... 孟天佑,汪云甲(729)

### 地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 ..... 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5月16日出版

**主管单位** 中国科学院  
**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
 中国图象图形学学会  
 北京应用物理与计算数学研究所  
**主 编** 李小文  
**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
 北京9718信箱 邮编 100101  
 电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
 电话:010-68407995 010-82614429  
 网 址:www.cjig.cn  
**印刷装订** 北京北林印刷厂  
**广告经营许可证** 京朝工商广字第0346号  
**总 发 行** 北京报刊发行局  
**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
 (中国国际书店)  
 (北京399信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
 CAS China Society of Image and Graphics  
 Institute of Applied Physics and Computational  
 Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
 of Journal of Image and Graphics  
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
 E-mail:jig@irsa.ac.cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
 and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 5 May 2012

## Contents

### Review

- Image engineering in China: 2011 ..... Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves  
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

### Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography  
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function ..... Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering ..... Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

### Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space ..... Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching ..... Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images ..... Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection ..... Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature ..... Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase ..... Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

### Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model .....  
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming ..... Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring  
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

### Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves  
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

### Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system ..... Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

### Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband  
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality ..... Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

### Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature  
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0671-05  
论文引用格式: 杨阳, 杨静宇. 联合特征在行人检测中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 671-675

## 联合特征在行人检测中的应用

杨阳, 杨静宇

南京理工大学计算机学院, 南京 210094

**摘要:** 提出一种基于动态和静态联合特征的行人检测方法, 用于运动背景下的行人检测。运动背景的检测难度在于背景与目标的分离, 该方法采用一种改进的 Nagel 二阶梯度光流算法生成图像的光流场, 从中提取行人运动特征(MBH)和IMH(internal motion histograms), 增强特征重复性以提高鉴别能力。实验中使用 Libsvm 训练线性 SVM (support vector machine) 分类器, 使用 Mean Shift 算法优化分类结果。实验在 1 093 组图像上获得 98% 的识别率, 证明该方法可以在运动背景下的图像序列上获得较出色的检测效果。

**关键词:** 行人检测; 二阶梯度光流法; 运动特征; 支持向量机; 均值漂移

## Pedestrian detection based on compound feature

Yang Yang, Yang Jingyu

College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

**Abstract:** In this paper, we present an approach for detecting pedestrians from moving backgrounds which is based on compound features combined with motion and static features. It is difficult to discriminate human bodies from a moving background. We improve Nagel's second-order gradient optical flow algorithm and enrich the inner repeatability of MBH (motion boundary histograms) and IMH (internal motion histograms) motion feature based on the flow. We train a linear SVM (support vector machine) classifier using features made from a pedestrian sample. A fixed window sliding over image and classify results are optimized using the mean shift algorithm. The accuracy is 98% on test of 1 093 group images, which is better than the results using other methods.

**Key words:** pedestrian detection; second-order gradient optical flow; motion feature; support vector machine; mean shift

## 0 引言

行人检测是目标检测的重要研究方向之一, 在安全监控和车辆主动安全等领域体现出越来越广阔的应用前景。行人检测根据检测环境不同可以分为静止背景和运动背景下的检测。由于运动背景增加了提取目标的难度, 因此运动背景下的行人检测更具研究价值和现实意义。前人的文献中提出了多种行人检测方法并获得了较好的检测效果。

Dalal<sup>[1]</sup> 提出类似 SIFT (scale-invariant feature transform) 和 EOH (edge orientation histogram) 的 HOG (histogram of oriented gradients) 作为人体检测特征, 训练 SVM (支持向量机) 分类器, 实验在 MIT 和 INRIA 数据集上获得了较好的检测效果。Hou<sup>[2]</sup> 使用一种基于最大期望的聚类模型来确定行人位置, 结合行人的特征点和先验知识确定行人的数量, 达到检测行人群组的目的。Zhe<sup>[3]</sup> 提出一种基于人体轮廓的多级模板匹配算法, 从行人姿态在帧间的关联性中提取特征, 同样训练 SVM

收稿日期: 2011-06-14; 修回日期: 2011-11-14

第一作者简介: 杨阳 (1980—), 男, 讲师, 2006 年于南京理工大学获计算机应用技术硕士学位, 主要从事机器视觉方面的研究。

E-mail: hooknm@foxmail.com

分类器,结合立体视觉方法在分类过程中借助行人位置和尺寸信息提高了该算法的检测性能。上述方法提取的特征全部来源于行人的外观,属于静态特征。心理学家和神经学家认为在人类的感知能力中对运动物体的感知是获取外界信息的重要途径之一。然而在大部分行人检测方法中较少采用运动特征作为检测手段,只有部分文献提取了人体的运动信息作为行人检测的特征,例如 Ali<sup>[4]</sup>和 Dalal<sup>[5]</sup>使用的基于光流场的运动特征。

光流场是图像序列中运动目标亮度分布的速度场,能够近似反映图像序列中目标的运动状态,因此可以将光流场中提取的运动特征用于行人检测。光流计算方法依据原理可以分为梯度法、局部匹配法、能量法和相位法 4 类。其中梯度法和局部匹配法的时间复杂度较低,满足行人检测的实时性要求。本文提出一种联合二阶梯度光流场运动特征和 HOG 特征的行人检测方法。具体步骤如下:首先使用 Nagel-a 光流算法获取训练图像的光流图像;然后从光流图像中提取 IMH 特征或 MBH 特征<sup>[5]</sup>,在此基础上结合静态的 HOG 特征训练线型 SVM 分类器;检测时使用分类器获得候选行人列表,使用 Mean Shift<sup>[6]</sup>算法计算列表的模式并最终确定行人位置。本文创新点有两处:其一,提出一种改进的基于二阶梯度的光流场算法,实验证明能够提高光流场运动特征的鉴别性;其二,增强 IMH 和 MBH 特征的重复性,提高这两种特征对人体的检测性能。

## 1 二阶梯度光流场算法 Nagel-a

光流场能够反映图像序列中运动物体的速度场,因此可以从光流场中提取行人的运动特征。Dalal 在文献[5]中使用从光流场中提取的运动特征检测行人, Ali 在文献[4]中使用光流运动特征识别人体动作。综合考虑引言中所提 4 种光流计算方法的特点,为满足行人检测的实时要求,实验中选取时间复杂度较低的光流算法,其中梯度法有 7 种,分别是 Dalal<sup>[5]</sup>、Horn<sup>[7]</sup>、Lucas<sup>[7]</sup>、Nagel<sup>[7]</sup>、Uras<sup>[7]</sup>、Proesmans<sup>[7]</sup>和吴等人<sup>[8]</sup>提出的方法,局部匹配法是 Anandan<sup>[7]</sup>。通过对比上述算法的实验结果,本文提出在 Nagel 算法的迭代公式中引入前次迭代的运动场分量以抑制边界点对非边界点的影响,实验证明该方法提高了算法的检测性能。

Nagel 等人在 1986 年首次提出基于二阶梯度的光流算法<sup>[9]</sup>。与 Horn 一致, Nagel 也假设存在亮度不变约束

$$\nabla I^T \mathbf{V} + I_t = 0 \quad (1)$$

式中,  $\nabla I = (I_x, I_y)$  表示亮度函数  $I$  在  $x$  和  $y$  方向的偏倒数,  $\mathbf{V} = (u, v)$  表示图像中运动物体的速度场。只有亮度不变约束还不能求解速度场  $\mathbf{V}$ , 与 Horn 提出的全局光滑约束不同, Nagel 提出的第 2 个假设约束是有方向的光滑约束, 光流场的求解问题转化为最小化式(2)的问题。

$$\iint (\nabla I^T \mathbf{V} + I_t)^2 + \frac{\alpha^2}{\|\nabla I\|_2^2 + 2\delta} \times [(u_x I_y - u_y I_x)^2 + (v_x I_y - v_y I_x)^2 + \delta(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2)] dx dy \quad (2)$$

类似吴新根等人在文献[8]中对  $u$  和  $v$  的拉普拉斯算子在第  $n$  次迭代时使用的估计值

$$\begin{cases} \nabla^2 u = (u_x^2 + u_y^2) \approx K(\bar{u}^n - u^n - \beta \bar{u}^{n-1} \varepsilon) \\ \nabla^2 v = (v_x^2 + v_y^2) \approx K(\bar{v}^n - v^n - \beta \bar{v}^{n-1} \varepsilon) \end{cases} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2),使用 Gauss-Seidel 迭代,得到  $\mathbf{V}$  的迭代公式见式(4)。

$$\begin{cases} u^{k+1} = \xi(u^k) - \frac{I_x(I_x \xi(u^k) + I_y \xi(v^k) + I_t)}{I_x^2 + I_y^2 + \alpha^2} - \beta \varepsilon \xi(u^{k-1}) \\ v^{k+1} = \xi(v^k) - \frac{I_y(I_x \xi(u^k) + I_y \xi(v^k) + I_t)}{I_x^2 + I_y^2 + \alpha^2} - \beta \varepsilon \xi(v^{k-1}) \end{cases} \quad (4)$$

式中,

$$\xi(u^k) \approx \bar{u}^k - 2I_x I_y u_{xy}$$

$$\xi(v^k) \approx \bar{v}^k - 2I_x I_y v_{xy}$$

$$\varepsilon(x, y) = \begin{cases} 0 & I_x^2 + I_y^2 > t \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$

$\beta$  是一个小正数。 $u^{k+1}$  表示第  $n+1$  次迭代时  $u$  的取值,  $\bar{u}^k$  是第  $n$  次迭代时  $u$  在邻域  $\Omega$  内的加权平均值,  $u_{xy}$  是  $u$  在  $x$  和  $y$  方向的偏导数,  $t$  为阈值, 实验中取  $\alpha = 0.5, \beta = 0.01$ 。

Nagel 通过引入式(2)中方括号的内容来抑制垂直于梯度方向的速度场变化, 实现有方向的光滑约束。改进后的算法通过修改  $u$  和  $v$  的拉普拉斯算子估计值, 在  $n+1$  次迭代中引入  $n-1$  次  $u$  和  $v$  相邻 8 个点的加权平均值  $\bar{u}^{n-1}$  和  $\bar{v}^{n-1}$  来抑制边界点对非边界点的影响。在边界区域的亮度变化明显,  $I_x^2 + I_y^2 > t$ , 式(4)等号右端第 3 部分为零, 此时  $\xi(u^k) \approx \bar{u}^k - 2I_x I_y u_{xy}$ , 可以抑制边界点对非边界点的影响; 在非

边界区域亮度变化平缓,  $I_x$  和  $I_y$  趋近于零,  $\xi(u^k) \approx \bar{u}^k$ , 式(4)中  $\beta \varepsilon \xi(v^{k-1})$  不为零, 此时解的形式类似于吴的方法的解, 提高了光流场的精确性。

由图1不难看出, 使用改进后 Nagel 光流算法(简称 Nagel-a)得到的光流图像对运动物体的敏感程度明显高于 Horn、吴的算法, 也高于原始的 Nagel 算法。

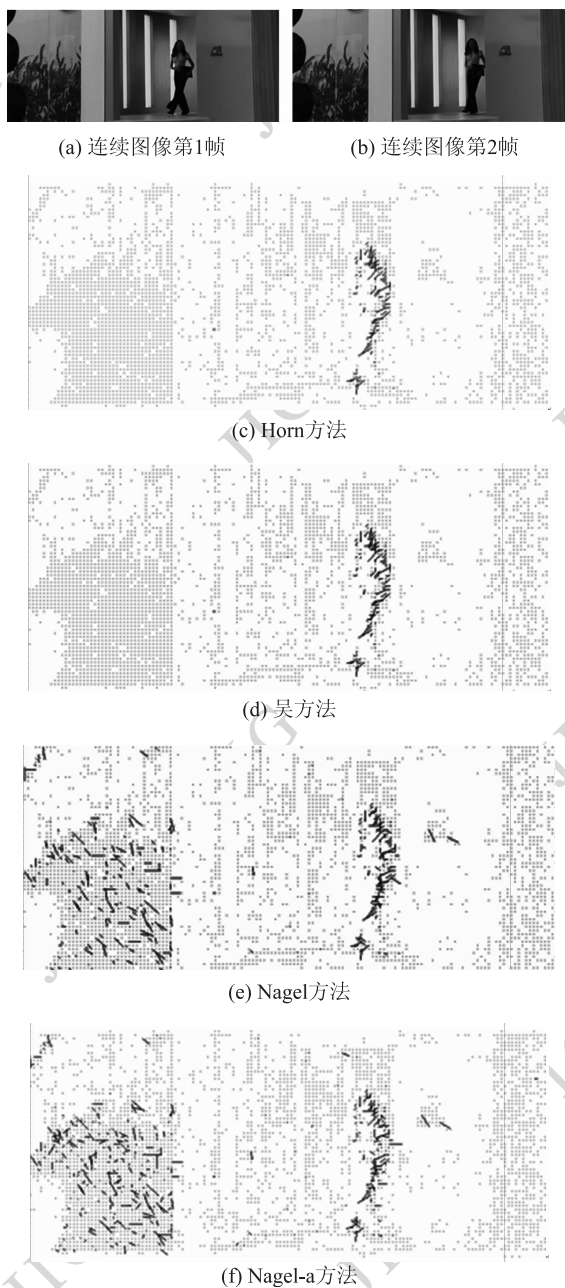


图1 2帧连续图像以及4种光流计算方法得到的光流场

Fig.1 Two continuous images and results of four optical flow methods

由于现实图像的光流场的真实值难以获取, 因此 Nagel-a 算法的定量分析通过第4部分实验的识别率来衡量。

## 2 行人的运动特征和静态特征

前人提出了多种用于行人检测的特征, 例如文献[10-12]采用的 Haar wavelet 特征, 文献[13-14]采用 HOG 特征, 文献[2]采用的人体局部轮廓特征。这些静态特征都可以较准确的捕捉行人特点。由于行人检测的目标通常处于运动状态, 尤其是运动背景下的行人检测, 其运动特征更加明显, 因此本文的方法联合行人运动特征和静态特征, 实验证明这种复合特征可以进一步提高检测性能。Dalal 在文献[5]中提出基于光流场的 MBH 特征和 IMH 特征, 并通过实验证明提取 IMH 和 MBH 过程中 block 的重叠对特征向量的鉴别能力有显著影响, 重叠能提高4%的准确率。本文采用改进的 IMH 和 MBH 特征, 通过修改 block 对应直方图构建窗口特征向量的组合策略强化 IMH 和 MBH 特征的重复性。

### 2.1 运动特征 MBH 和 IMH

MBH 和 IMH 特征是从光流场提取目标区域的速度信息。实验中使用的 cell 尺寸为  $8 \times 8$  像素, block 尺寸为  $2 \times 2$  个 cell, block 一次移动 8 个像素, 因此一个 cell 实际参与 4 个 block 的计算。MBH 特征是将 cell 中的光流方向投影到  $0 \sim \pi$  的 6 个区间构成直方图, 投影时在光流方向和 cell 坐标上做三线插值; 使用一个 block 内的 4 个 cell 直方图构成 1 维向量并使用 L2-Norm 将向量正规化, 全部 block 向量构成窗口的特征向量。IMH 使用的 cell 尺寸同样为  $8 \times 8$  像素, block 尺寸为  $3 \times 3$  个 cell, block 一次滑动 8 个像素, 因此一个 cell 实际参与 9 个 block 的计算, 对应直方图的生成方式与 MBH 类似。由于 IMH 提取的是人体肢体运动的关联特征, 因此需要在投影前做预处理: IMHcd 将中心 cell 与相邻 8 个 cell 对应位置的值相减, 再将结果做投影; IMHmd 则计算 9 个 cell 对应位置的均值, 将每个 cell 减去均值后再做投影。实验中窗口的尺寸定为  $128 \times 64$ , 因此 MBH 特征向量的维数是 2 520, IMHcd 特征向量的维数是 4 032, IMHmd 特征向量的维数是 4 536。

### 2.2 静态特征 HOG

本文方法使用的静态特征 HOG 采用 Dalal 在文献[1]中建议的特征参数:检测窗口大小为  $128 \times 64$ ,窗口被分为尺寸为  $8 \times 8$  的 cell,以 cell 为单位统计梯度方向直方图;  $2 \times 2$  个 cell 构成一个 block,以 block 为单位实行正规化,对于行人检测,L2-Hys 正规化的效果最好。

## 3 实验

实验使用 Libsvm 训练一个线性 SVM 分类器。训练数据来自 TUD-MotionPairs,该数据集包括 1 093 组行人运动图像对,500 张不包含行人的负训练样本图像和 1 020 张在移动车辆上拍摄的测试图像。

实验中使用的光流场算法包括本文在第 2 节介绍的 8 种方法和改进后的 Nagel-a 方法。图 2 显示上述光流算法的对比实验结果,测试时采用 MBH 特征联合 HOG 特征,对比标准使用 DET (detection error tradeoff) 图。通过对比图 2 中各算法对应曲线不难看出 Nagel 和 Nagel-a 的检测性能要高于其他算法(其中 Lucas 和 Uras 方法的性能较差,因此不能在图 2 中显示)。对比 Nagel 和 Nagel-a 方法的曲线可以看出,改进后的算法在追求 LFP(low false positive)和 LMR(low miss rate)时显示出更好的检测性能。MBH、IMHcd 和 IMHmd 特征的性能对比以及与 Dalal 在文献[5]和 Gerónimo 在文献[12]中方法的性能对比实验见图 3,其中 MBH、IMHcd 和 IMHmd 特征配合 Nagel-a 算法使用,Dalal 采用 Proesmans 算法配合 HOG 和

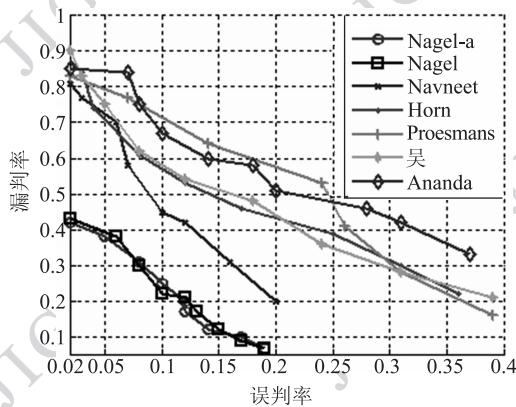


图 2 各种光流算法对应的 DET 曲线  
Fig. 2 DET curves of OP algorithms

IMHwd 特征, Gerónimo 采用 EOH 和 Haar 特征。从图中看出 MBH 的检测效果要高于 IMHcd 和上述两个对比方法,IMHmd 在 LMR 处鉴别性能高于其他两种特征,但是提取 IMH 的时间是提取 MBH 时间的 4 倍。

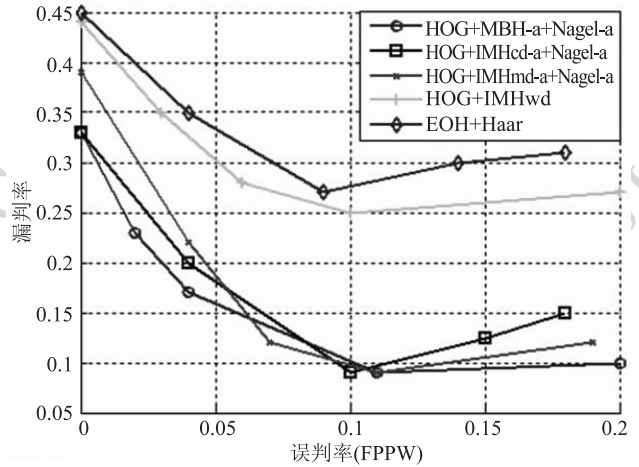


图 3 本文方法与 Dalal 和 Gerónimo 方法的性能对比  
Fig. 3 Performance contrast between our's, Horn's and Gerónimo's method.

为了加强特征冗余性,方法修改 block 对应直方图构成窗口特征向量的组合策略,见式(5)。其中  $H_i$  是第  $i$  个 block 对应的直方图, $F$  是由  $H_n$  构成的窗口特征向量。

$$\begin{cases} H'_0 = 0 \\ H'_i = H'_{i-1} + H_i \\ F = [H'_1 H'_2 \dots H'_n] \end{cases} \quad (5)$$

修改后的运动特征显著提高正样本的识别率,最高达到 95%,但是负样本的识别率会略微下降,具体见图 4。

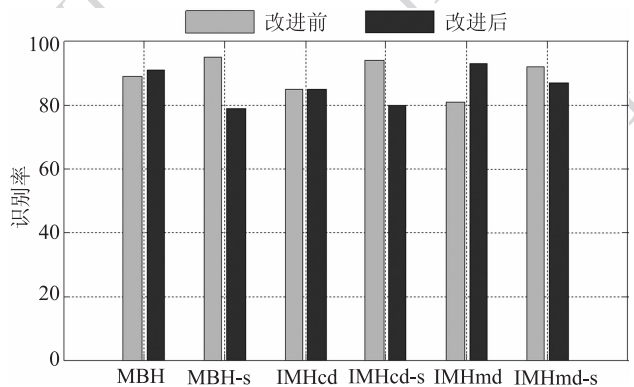
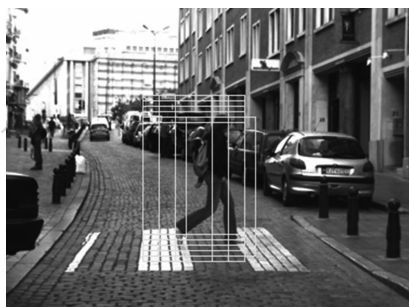


图 4 运动特征改进前后的识别率对比图  
Fig. 4 Recognize rates of motion features modified before and after

修改后的特征提取方法能够提高行人的检出率,但同时增加了疑似行人窗口的数量。本文使用 MeanShift<sup>[9]</sup> 算法计算局部邻域内疑似行人窗口的模式,最终确定行人位置,结果如图 5 所示。



(a) 候选行人窗口



(b) 合并后的行人窗口

图 5 使用 MeanShift 算法前后的行人检测窗口

Fig. 5 Pedestrian detection windows before using MeanShift algorithm and after

## 4 结 论

提出一种联合光流场运动特征和 HOG 静态特征的行人检测方法。该方法改进 Nagel 提出的二阶梯度光流算法,通过修改速度场分量的拉普拉斯算子的估计值,在迭代过程中引入前次迭代的速度分量,抑制边界点对非边界点的影响;联合 HOG 特征和改进后的 MBH 或 IMH 的特征提高算法检测性能,训练线性 SVM 分类器筛选疑似行人窗口并使用 Mean Shift 算法优化分类结果。实验结果证明,将本文方法应用在移动车辆拍摄的图像上可以获得较出色的检测效果。

## 参考文献 (References)

[ 1 ] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human

detection [ C ] // Proceedings of the, IEEE Conference on, Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, USA: IEEE Computer Society, 2005, 1: 886-893.

[ 2 ] Hou Y L, Pang G K H. People counting and human detection in a challenging situation [ J ]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics- Part A: Systems and Humans, 2011, 41(1): 24-33.

[ 3 ] Zhe L, Davis L S. Shape-based human detection and segmentation via hierarchical part-template matching [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(4): 604-618.

[ 4 ] Ali S, Shah M. Human action recognition in videos using kinematic features and multiple instance learning [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(2): 288-303.

[ 5 ] Dalal N. Finding people in images and videos [ D ]. Grenoble, France: The French National Institute for Research in Computer Science and Control, 2006.

[ 6 ] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. The variable bandwidth mean shift and data-driven scale selection [ C ] // Proceedings of the International Conference on Computer Vision. Vancouver, B C, Canada: IEEE, 2001, 1: 438-445.

[ 7 ] Barron J L, Fleet D J, Beauchemin S S. Performance of optical flow techniques [ J ]. International Journal of Computer Vision, Systems and Experiment, 1994, 12(1): 43-77.

[ 8 ] Wu X G, Luo L M. An improved method of optical flow estimation [ J ]. Chinese Journal of Electronics, 2000, 28(1): 130-131. [吴新根, 罗立民. 一种改进的光流场计算方法 [ J ]. 电子学报, 2000, 28(1): 130-131.]

[ 9 ] Nagel H H, Enkelmann W. An investigation of smoothness constraints for the estimation of displacement vector fields from image sequences [ J ]. IEEE Transactions on. Pattern. Analysis. Machine Intelligence, 1986, 8(5): 565-593.

[ 10 ] Papageorgiou C, Poggio T. A trainable system for object detection [ J ]. International Journal of Computer Vision, 2000, 38(1): 15-33.

[ 11 ] Wojek C, Walk S, Schiele B. Multi-cue onboard pedestrian detection [ C ] // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami, FL, USA: IEEE Computer Society, 2009: 794-801.

[ 12 ] Gerónimo D, Sappa A D, Ponsa D. 2D-3D-based on-board pedestrian detection system [ J ]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114(5): 583-595.

[ 13 ] Felzenszwalb P, McAllester D, Ramanan D. A discriminatively trained, multiscale, deformable part model [ C ] // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Ak, USA: IEEE Computer Society, 2008: 1-8.

[ 14 ] Wang X Y, Han T X, Yan S C. An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling [ C ] // Proceedings of IEEE 12th International Conference on Computer Vision. Kyoto, JP: IEEE Computer Society, 2009: 32-39.