

# 曲率-HOG 目标检测算法研究

胡正平 周 爽

(燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

**摘 要:** HOG 算法充分利用梯度方向与幅值分布信息,在行人、车辆等特定目标检测定位中得到广泛应用,针对如何在 HOG 算法中融合梯度信息和曲率信息,本文提出基于 HOG 的梯度曲率相结合的目标检测算法并将其应用于目标检测问题中。算法首先计算图像的曲率信息和梯度信息,利用梯度的幅值和方向作为约束条件,统计曲率的分布直方图;然后将曲率直方图特征与 HOG 特征相连接,构成新的性能更好的特征描述子,最后将这一特征描述子用于检测实验。在 ETZH 形状数据库和 INRIA 马匹数据库上的实验结果表明,本文算法能够更好地检测目标并获得较高的精度。

**关键词:** 方向梯度直方图;曲率直方图;目标检测

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2013)11-1470-06

## Research of Curvature-HOG Object Detection Algorithm

HU Zheng-ping ZHOU Shuang

(School of Information Science and Engineering & Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

**Abstract:** The HOG descriptor takes full advantage of the information of gradient direction and amplitude distribution, which is widely applied in pedestrians, vehicles and other specific object detection and location task. In order to introduce curvature information and gradient information to the HOG descriptor, this paper proposes an improved object detection algorithm based on HOG algorithm. Firstly, calculate the curvature information and gradient information, apply the gradient amplitude and direction as constraint condition to obtain curvature distribution histogram, and then build a new feature descriptor with better detection performance, finally, use the new feature vector to detect objects. Experiment results in the shape ETZH database and INRIA horse database show that the proposed algorithm can obtain better detection performance and a higher accuracy.

**Key words:** histogram of oriented gradient; histogram of curvature; object detection

## 1 引言

计算机视觉是用摄影机和电脑代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等,并进一步对图像做处理和识别,是计算机人工智能领域的一个重要研究方向,最终目标是通过计算机模拟人类视觉实现对输入目标的自动识别分类,即目标识别。复杂场景下的目标检测与识别是计算机视觉的一个基础部分,也是当前研究热点之一。目前国内外对于目标

检测的研究工作大致可以分为以下两类:第一类是基于图像低层特征建模的目标检测算法,如图像的颜色、纹理和方向等;第二类是基于图像中层语义建模的目标检测算法,该算法通过从图像低层特征中提取一些实体信息作为中间语义,然后利用统计分析算法对复杂的图像实现判断与分类。

2005 年 Dalal 和 Triggs 提出使用密集的、相互重叠的特征描述法来表达图像区域的方向梯度直方图算法<sup>[1]</sup>,即方向梯度直方图(Histogram of orien-

ted gradient, HOG)算法。近年来 HOG 算法广泛地用于静态和视频中的行人检测、车辆检测等目标检测任务中。尽管 HOG 算法使用图像的本身的梯度方向特征,但它也存在一些缺陷,如特征维数较高等<sup>[2]</sup>,这极大地限制它在目标检测问题上的推广和使用。

为进一步提高 HOG 算法性能,使其用于更加广泛的目标描述和检测等问题中,国内外研究者们相继提出一些改进算法。文献[3]定义窗口边缘梯度势能的概念,提出基于窗口边缘梯度势能快速人体检测方法,缩短检测时间。文献[4]利用对称差分提取输入窗口的垂直边缘,根据垂直边缘的对称性和 HOG 特征描述子快速检测行人。为解决传统 HOG 算法在目标形变、遮挡及受干扰情况下定位困难问题,文献[5]提出基于 HOG 特征混合模型结合隐 SVM 的感兴趣目标检测算法。文献[6]通过观测人体的姿势提出一种行人检测的新思路。算法首先从视频中提取行人姿势的 HOG 特征,然后聚类成符号样本,并从中产生  $n$  元样本进行目标检测。为实现多类目标的准确分类,文献[7]提出基于聚类的核主成分分析梯度方向直方图和二叉决策树支持向量机的运动目标分类算法。文献[8]将 HOG 与 3D-Gabor 滤波相结合,提出能够准确区分自行车和摩托车的检测算法。不难看出,以上这些方法都是从改进 HOG 算法的性能出发,使其与其他特征相融合或进行算法优化来提高性能,目的是将 HOG 算法应用于更普遍的目标检测识别任务中。

自然界中的物体,大多具有不规则的形状,包含丰富的曲率信息。曲率表示曲线在某一点的弯曲程度的数值,其数值越大,表明弯曲程度越大,故曲率能够准确的描绘出物体的形状细节信息,具有以下优点:(1)几何特征明显;(2)具有良好的位移不变性和旋转不变性;(3)计算量小;(4)鲁棒性强。因此国内外学者针对图像的曲率信息展开深入研究,将曲率信息和其他特征加以整合利用,以获得性能更好的描述特征,使其用于目标识别与分类等实际问题中。文献[9]利用尺度空间的思路来估算局部曲线曲率,实验表明,使用参数曲线的曲率信息进行的检测结果更加稳定,速度也更快。文献[10]利用等照度曲线来计算曲率,并将曲率信息用于人眼中心的检测定位,取得较好的效果。文献

[11]提出一个轮廓碎片自动尺度检测的方法,算法据差分曲率检测出适当的尺度和位置而不需要跟踪特征点。综上,不难看出,这些方法的共同点都是利用图像的曲率信息,并将曲率信息与流行的算法相结合,提高算法的性能和检测精度。

由于梯度信息和曲率信息各自存在一些优点,故考虑将二者融合,构成一种性能更好的算法。本文利用图像梯度的幅值和方向作为约束条件,统计图像曲率的分布,得到曲率直方图,利用曲率信息并将它与方向梯度直方图相结合,构成新的特征,共同检测待测目标。文中选取 ETZH 形状数据库和 INRIA 马匹数据库进行实验,验证算法的性能,测试结果证明本文算法的可行性。

## 2 图像的梯度

图像梯度特征描述图像的边缘信息和纹理信息,故可利用梯度特征将目标从背景中分离出来。梯度特征同时还反映图像变化幅度大小,并且对背景和光照等变化不敏感。结合梯度特征进行目标检测,能够减轻背景和外界环境对图像的影响。

### 2.1 梯度的计算

图像梯度反映图像中相邻像素点之间灰度值的变化,其幅值和方向分布能够很好的用来描述图像中的物体,如果把图像看成一个二维离散函数,图像梯度的计算实际上就是一个二维离散函数求导问题,即:

$$G(x, y) = d_x i + d_y j \quad (1)$$

其中  $d_x(i, j) = I(i+1, j) - I(i, j)$ ,  $d_y(i, j) = I(i, j+1) - I(i, j)$ ,  $I$  为图像像素灰度值,  $(i, j)$  为像素点的位置坐标。

计算图像梯度有多种方法,其中最常用的是模板法,主要的模板有:1-D 中心对称或非对称的模板;2×2 对角模板;sobel 梯度提取模板等。采用的模板不同,计算得到的梯度也略有差异,最后进行目标检测时得到的检测准确率也会有所不同,Dalal 和 Triggs 的实验结果表明,采用的卷积核越简单,检测效果越好,且采用  $[-1, 0, 1]$  中心对称的 1-D 模板检测准确率最高。

具体的做法是,在图像像素点  $(x, y)$  处,首先用  $[-1, 0, 1]$  中心对称的 1-D 模板与图像灰度矩阵进行卷积,可分别得到梯度在水平方向和垂直方向的

两个分量:  $G_x, G_y$ , 然后按照如下方法计算的梯度的幅值和方向:

$$|G(x, y)| = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2},$$

$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{G_x(x, y)}{G_y(x, y)}\right) \quad (2)$$

易知, 梯度的方向反映该像素点周围的灰度变化的方向; 梯度的幅度  $|G(x, y)|$  反映灰度变化的大小。在计算梯度的方向时,  $\theta(x, y)$  的范围可以设定为  $0 \sim \pi$  (无符号) 或者  $0 \sim 2\pi$  (有符号), 研究表明, 行人检测中选择无符号梯度效果好, 而车辆检测或其他目标检测中, 则选择有符号梯度效果较好。

## 2.2 方向梯度直方图

鉴于梯度信息的上述优点, 一些国内外学者探索将梯度信息用于目标检测问题的研究中, Dalal 和 Triggs 借鉴尺度不变特征描述子 (Scale Invariant Feature Descriptors, SIFT) 部分思想, 利用梯度信息构建直方图, 提出方向梯度直方图算法, 该算法关注图像局部区域而不是整幅图像, 它利用方向直方图分布能够很好地描述待检测目标的形状。其具体的实现过程如下:

(1) 提取图像的局部窗口 (window), 并将该窗口区域归一化成相应大小;

(2) 计算窗中每一个像素点的梯度的幅值和方向;

(3) 将窗口细分为若干个有重叠的矩形块 (block), 每一个矩形块再分割成固定数目的细胞 (cell), 然后统计每一个细胞的方向梯度直方图;

(4) 按照固定顺序将同一个块中包含的各子细胞的直方图向量首尾相连, 构成该块的方向梯度的直方图向量, 并进行归一化;

(5) 依次首尾相连接窗口中的各个块的直方图向量, 得到完整的方向梯度直方图向量。

## 3 图像的曲率

### 3.1 曲率的定义

曲率表示曲线的弯曲程度, 平面曲线的曲率是曲线上某个点的切线方向角对弧长的转动率, 可以通过微分来定义。曲率越大, 表示曲线的弯曲程度越大。

在光滑弧上自点 M 开始取弧段, 其长为  $\Delta s$ , 对

应切线转角为  $\Delta\alpha$ , 定义弧段上的平均曲率为:

$$\bar{K} = \left| \frac{\Delta\alpha}{\Delta s} \right| \quad (3)$$

点 M 处的曲率为:

$$K = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta\alpha}{\Delta s} \right| = \left| \frac{d\alpha}{ds} \right| \quad (4)$$

### 3.2 图像曲率的计算

采用如下的方法来计算图像的曲率<sup>[11]</sup>。对于图像的每一个像素点, 定义局部坐标系为强度变化最大的方向 (梯度方向), 称参此考系  $\{v, \omega\}$  为标准坐标系, 它的框架矢量  $\hat{\omega}$  和  $\hat{v}$  被定义为:

$$\hat{\omega} = \frac{\{L_x, L_y\}}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}; \hat{v} \perp \hat{\omega} \quad (5)$$

其中,  $L_x$  和  $L_y$  是亮度函数  $L(x, y)$  在 x 方向和 y 方向的一阶导数。可知,  $\omega$  方向的一阶导数是梯度本身,  $v$  方向 (与梯度方向垂直) 的导数是 0 (沿着等照度曲线没有强度的变化), 于是可知: 等照度曲线  $L(v, \omega(v)) = \text{常数}$ , 曲率为切向量  $\omega'$  的变化  $\omega''$ 。考虑到等照度曲线中  $v$  的定义, 有:

$$L_v + L_\omega \omega' = 0; \quad \omega' = -\frac{L_v}{L_\omega} \quad (6)$$

由于  $L_v = 0$ , 且  $\omega' = 0$ , 对 (3) 式两端再次对  $v$  求导, 则:

$$L_{vv} + 2L_{v\omega} \omega' + L_{\omega\omega} \omega'^2 + L_\omega \omega'' = 0 \quad (7)$$

求解  $\kappa = \omega''$  (曲率), 且已知  $\omega' = 0$ , 于是求解 (7) 式可得:

$$\kappa = -\frac{L_{vv}}{L_\omega} \quad (8)$$

在笛卡尔坐标下, 曲率为:

$$\kappa = -\frac{L_y^2 L_{xx} - 2L_x L_{xy} L_y + L_x^2 L_{yy}}{(L_x^2 + L_y^2)^{3/2}} \quad (9)$$

## 4 梯度曲率特征

图像梯度信息着眼于图像局部特征, 能够充分利用边缘和纹理等信息, 将目标从图像背景中提取出来; 图像曲率是对目标不平坦程度的一种衡量, 包含丰富特征信息, 所以可利用图像曲率所包含的形状信息进一步处理图像。于是, 考虑将梯度和曲率信息相融合构造具性能更好的图像特征, 将其用于目标检测问题中, 以获得更高的检测精度。

### 4.1 改进 HOG 特征

2.2 节介绍的传统的 HOG 特征描述子, 通过提

取目标窗口,将其细分成块,进一步细分成细胞,以细胞为单位统计方向直方图,最后在进行连接组合构成最终的 HOG 特征,它能够很好地提取目标的局部信息,但是也存在着特征维数较高、计算量较大的缺陷,于是文献[12]中提出一种简化的 HOG 算法:文中将图像分成  $3 \times 3$  大小的子单元,在  $[-\pi, \pi]$  区间上计算梯度方向,采用 9 个通道直方图进行统计。并用  $\ell_2$ -norm 的方法对每一子单元得到的直方图进行归一化,最后将各个子单元的直方图连接起来构成最终简化 HOG 特征,特征向量维数为 81 维。实验表明该特征在目标检测问题中有较好的性能。

#### 4.2 曲率 HOG 直方图特征

受 HOG 算法的启发,本文提出一个曲率分布直方图特征算法,该算法通过计算图片的曲率,统计曲率分布的直方图。算法具体思路是:首先,按照第三章的方法计算曲率;其次,将图像分成  $3 \times 3$  大小的子单元,在每一个子单元上选取 10 通道直方图,统计曲率分布情况;然后,用  $\ell_2$ -norm 对直方图进行归一化;最后,将每个子单元得到的直方图依次连接起来构成曲率分布直方图(Histogram of curvature, CH)。为进一步获得更加稳定且检测性能更好的特征描述算法,可将 CH 特征和 4.1 节的 HOG 特征连接在一起,构成曲率分布直方图 HOG 特征(Histogram of curvature-Histogram of oriented gradient, CH-HOG),得到的 CH-HOG 特征向量维数为 171 维。

#### 4.3 梯度约束的曲率 HOG 直方图特征

如何有效地将曲率信息和梯度信息相结合,构建描述能力更强的特征描述子,是目标检测的关键环节。4.2 节描述的特征仅是把曲率的分布信息和 HOG 简单结合,由于梯度和曲率都是在目标的边界处变化较大,故考虑融入梯度约束来构建曲率直方图,其具体思路是:

(1) 根据公式(2)计算图像的梯度信息,得到梯度的幅值  $G$  和方向角  $\theta$ ,方向角的取值范围是  $[-\pi, \pi]$ ,再根据第三章的知识计算图像的曲率  $C$ ;

(2) 将图像分成  $3 \times 3$  大小的子单元;

(3) 在每一个子单元上,将梯度的幅值  $G$  和方向角  $\theta$  分别量化为 9 级,然后统计满足  $G \in G(i)$  且  $\theta \in \theta(j)$  (其中  $i, j = 1, 2, \dots, 9$ ) 条件下的曲率积累的直方图,再进行  $\ell_2$ -norm 归一化获得子单元直方图,

将这些子单元直方图连接起来构成单元直方图特征  $\vec{V}_{GCH}$ ,此特征可称之为梯度约束的曲率直方图(Gradient constraint histogram of curvature, GCH)。

(4) 利用 4.1 节知识计算改进的 HOG 直方图特征  $\vec{V}_G$

(5) 将梯度约束的曲率直方图特征向量  $\vec{V}_{GCH}$  与简化的 HOG 直方图特征向量  $\vec{V}_G$  连接在一起构成梯度约束的曲率 HOG 直方图特征向量  $\vec{V} = \{\vec{V}_G, \vec{V}_{GCH}\}$ ,称这一特征为梯度约束的曲率 HOG 直方图特征(Gradient constraint histogram of curvature and histogram of oriented gradient, GCH-HOG),得到的 CH-HOG 特征向量维数为 162 维。

### 5 实验结果与分析

为验证本文算法对行人、车辆以外的目标能够很好的进行检测,故在 ETZH 形状数据库和 INRIA 马匹数据库上用 SVM 方法进行实验。由于本文算法是受文献[12]中算法启发,将本文算法与文献[12]中的 HOG 算法进行对比实验。实验结果表明,本文提出的 CH-HOG 和 GCH-HOG 两种算法都具有较好的检测效果,能够获得更高的检测精度。

ETZH 形状数据库包含五大类共 255 幅图片。实验中,将每一类图片按照 3:7 的比例分成训练集和测试集,并按照 1:1 的比例选择正负样本进行训练。INRIA 马匹数据库包含 170 幅马匹图像和 170 幅无马匹图像,从中各选择 50 幅分别作为训练的正样本和负样本,余下的 120 幅有马图像和 120 幅无马匹图像合在一起作为测试图像。训练中,惩罚因子和核函数的选择均采用自适应的方式。

SVM 对测试样本分类时,有时能够正确的识别出类别,而有时却出现错误,因此常用 Accuracy(准确率)和 Error(错误率)来评价其性能,准确率等于测试样本的正确分类数目除以测试样本总数,错误率等于测试样本的错误分类数目除以测试样本总数,计算公式如下:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{C} \quad (10)$$

$$Error = \frac{FN+FP}{C} \quad (11)$$

式中,TP 为正确的正例,TN 为正确的负例,FN 为错

误的负例,FP为错误的正例,C为实例总数。

表1给出几种不同算法的SVM测试结果。总的来看,CH算法和GCH算法检测结果准确性不高,性能时好时坏,而结合文献[12]中的HOG算法后形成的CH-HOG和GCH-HOG算法检测结果更加准确和稳定,与HOG相比,性能有所提高。仔细分析实验结果可知:在ETZH形状数据库中,CH-HOG算法的精度比HOG算法最高可提高15.625%,GCH-HOG算法的精度比HOG算法的精度最高可提高

17.1875%;对于平均精度而言,CH-HOGC算法比HOG算法提高4.7242%,GCH-HOG算法比HOG算法提高4.2364%。在INRIA马匹数据库中,CH-HOG算法精度比HOG算法精度略低0.3334%,GCH-HOG算法比HOG算法提高5.8333%。

综上所述,CH-HOG和GCH-HOG两种算法都能够检测出待测目标,并有着较高的精度,虽然两种改进方法性能比较接近,但从实验结果的稳定和准确性方面考虑,GCH-HOG算法优于CH-HOG算法。

表1 几种算法性能对比

Tab.1 Performance comparison of several algorithms

精度	ETZH 形状数据库						Horse 马匹 数据库
	Applelogos	Bottles	Giraffes	Mugs	Swans	Average	
HOG <sup>[11]</sup>	66.0714%	71.2121%	76.8595%	57.8125%	67.3913%	67.8694%	70.4167%
CH	67.8517%	40.9091%	62.8099%	48.4375%	45.6522%	53.1321%	62.9167%
<b>CH-HOG</b>	73.2143%	71.2121%	77.686%	73.4375%	67.3913%	72.5936%	70.0833%
GCH	69.6429%	66.6667%	70.2479%	50%	52.1739%	61.7463%	67.9167%
<b>GCH-HOG</b>	66.0714%	72.7273%	79.3388%	75%	67.3913%	72.1058%	76.25%

## 6 结论

图像梯度信息与曲率信息能够很好地描绘图像局部特征,本文将梯度和曲率信息与简化的HOG算法相结合,提出基于HOG的梯度曲率相结合的目标检测算法,即CH-HOGC和GCH-HOG算法。该算法利用目标物体的梯度幅值、方向和曲率信息,能够更加准确的从图像中区分出待检测目标,具有较高精度。在ETZH形状数据库和INRIA马匹数据库上的检测结果表明,本文提出两种算法的检测的精度比简化HOG算法有所提高,性能也更加稳定。同时,本文算法具有极大的启发意义,除曲率信息外,还可利用其他信息进行特征编码,并参照HOG算法的思路,构建广义HOG算法,获得更好的检测性能。综上,本文算法简单可行,具有理论依据,有一定的应用价值。

### 参考文献

[1] Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,

2005, 1:886-893.

- [2] 周鑫. 基于 Rough 集理论改进的 HOG 特征行人检测[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.  
Zhou Xin. Improved HOG Descriptor for Pedestrian Based on Rough set[D]. Nanchang University, 2012. (in Chinese)
- [3] 欧阳毅, 张三元, 张引. 基于窗口边缘梯度势能的人体遮挡多尺度检测算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(4):858-864.  
Ouyang Y, Zhang S Y, Zhang Y. Multi-scale Human Detection Based on Window Gradient Potential Energy with Partial Occlusion Handling[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(4): 858- 864. (in Chinese)
- [4] 姚雪琴, 李晓华, 周激流. 基于边缘对称性 HOG 的行人检测方法[J]. 计算机工程, 2012, 38(5):179-182.  
Yao X Q, Li X H, Zhou J L. Pedestrian Detection Method Based on Edge Symmetry and HOG[J]. Computer Engineering, 2012, 38(5):179-182. (in Chinese)
- [5] 胡正平, 杨建秀. HOG 特征混合模型结合隐 SVM 的感兴趣目标检测定位算法[J]. 信号处理, 2011, 27(8):1206-1212.  
Hu Z P, Yang J X. Object Localization Algorithm Based

- on Mixture Model of HOG Feature and LSVM[J]. Signal Proceeding, 2011, 27(8):1206-1212. (in Chinese)
- [6] Kojima A, Sasano Y, Kise K. Object recognition from human actions using N-grams of HOG features [J]. ICIC Express Letters, 2012, 6(5):1155-1160.
- [7] 闻帆, 屈桢深, 闫纪红. 基于 CKPCA-HOG 和支持向量机的运动目标分类算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(5):643-649.
- Wen F, Qu Z S, Yan J H. A moving object classification method based on CKPCA-HOG and SVM[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2011, 32(5):643-649. (in Chinese)
- [8] Takahashi K, Kuriya Y, Morie T. Bicycle detection using pedaling movement by spatiotemporal Gabor filtering[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2012, 8(6):4059-4070.
- [9] Semeikina E V, Yurin D V, Krylov A. S, et al. Scale-space line curvature estimation for straight line and circle detection[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2012, 22(2):360-370.
- [10] Fabian T, Erhardt B. Accurate eye centre localisation by means of gradients [C]. Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Application. Vilamoura, Algarve, Portugal, 2011:125-130.
- [11] Kawamura K, Ishii D, Watanabe H. Automatic scale detection for contour fragment based on difference of curvature [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2011, E94-D(10):1998-2005.
- [12] Ludwig J O, David D, Valter G, et al. Trainable classifier-fusion schemes: An application to pedestrian detection [C]. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, 2009:432-437.

### 作者简介



**胡正平** 男(汉族),1970 年生于四川仪陇县,博士,教授,博士生导师,燕山大学通信电子工程系主任,1996 年于燕山大学无线电专业获得学士学位,并获得推荐研究生资格,1999 年获得电路与系统硕士学位,2007 年于哈尔滨工业大学获得信息与通信工程专业博士学位,目前为中国电子学会高级会员,中国图像图形学会高级会员,目前研究方向为智能图像信息处理,模式识别,机器学习。

E-mail:hzp@ysu.edu.cn



**周爽** 女(汉族),1987 年 10 月 23 日生于黑龙江铁力,硕士研究生,燕山大学信息科学与工程学院通信与信息系统专业,主要研究方向为 HOG 算法。

E-mail:13803241226@sina.cn