

基于主方向的旋转不变HOG特征

罗 滨¹, 朱长仁¹, 任 云¹, 赵和鹏²

(1.国防科学技术大学 电子科学与工程学院 ATR 重点实验室, 湖南 长沙 410073; 2.海军装备部, 北京 100841)

摘 要: 特征提取是目标检测与识别领域的研究热点之一, HOG(Histogram of Oriented Gradient)特征由于其对图像局部信息良好的几何和光照不变性, 在行人检测、车牌和人脸识别等计算机视觉邻域得到了广泛应用, 但是HOG不具有旋转不变的特性, 使得该特征在实际应用中存在着一些局限性。针对该问题, 提出一种具有旋转不变性的HOG特征提取方法, 首先根据图像梯度信息提取主方向并设置为参考方向, 接着旋转主方向至参考方向, 在旋转后的图像上得到旋转不变的HOG特征。并且设计了一种面向图像匹配的相似性度量准则, 它以单个图像块(Block)特征向量为基元, 与待匹配图像中对应块及其邻域块特征向量的相似度共同作为度量标准, 增强了旋转图像在像素平移情况下的匹配效果。实验结果表明, 提出的改进HOG特征具有良好的旋转不变特性。

关键词: 梯度方向直方图(HOG); 方向标准化; 图像匹配; 相似性度量

中图分类号: TN911.73-34; TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2015)22-0084-04

Rotation-invariant HOG feature based on main orientation

LUO Bin¹, ZHU Changren¹, REN Yun¹, ZHAO Hepeng²

(1. National Key Laboratory of ATR, National University of Defense Technology University, Changsha 410073, China;

2. Naval Equipment Department, Beijing 100841, China)

abstract: the feature extraction is one of the research hotspots in the field of target detection and recognition. HOG (histogram of oriented gradient) feature has been widely used in the field of computer vision, such as pedestrian detection, license plate recognition and face identification due to its geometrical and illumination invariability for local image. However, HOG feature has limitation in practical application because it has no rotation-invariant characteristic. Therefore, an extraction method of rotation-invariant HOG feature is proposed in this paper. Firstly, the main orientation is extracted according to the image gradient information and is set as reference direction, then the rotation-invariant HOG features are obtained from the rotated image by turning the main direction to the reference direction. A similarity measurement criterion for image-oriented matching is designed in this paper, in which the single image block feature vector is took as element, and is used to be the measurement standard with the similarity of the block corresponding to the image under matching and its adjacent block feature factors. The experimental results show that the improved HOG feature has good rotational invariance.

keyword: HOG; orientation normalization; image matching; similarity measurement

0 引 言

随着信息产业的高速发展,物质生活日益丰富的同时,人们对计算机视觉技术的需求也越来越高。图像特征提取作为计算机视觉领域一个重要的研究方向,在医学、刑侦和军事等方面都发挥着重要的作用,吸引着大量的国内外研究者。对于图像特征,至今为止都没有一个精确的定义,包括性能的衡量往往由具体问题或者应用所决定,但是作为模式识别的起点,对图像的描述都应具有精确性、独特性和鲁棒性等特点。

近年来,研究者们提出了大量图像特征描述子,

Lowe提出了SIFT(Scale-invariant feature transform,尺度不变特征转换)特征^[1],在尺度空间中寻找具有尺度、旋转、位置等不变性的极值点,这些特征点构成对图像的不变性描述,取得了良好的效果,作者随后在2004年对其进行了完善^[2]。SIFT算法稳定,可以检测到较多的特征点,但是计算复杂度高,Bay等针对上述问题提出了SURF(Speeded-Up Robust Features,快速鲁棒特征)特征^[3],利用积分图、Hessian矩阵快速构造图像尺度空间,大幅提升了检测速度。SIFT和SURF都具有尺度、光照和旋转不变性,但是构造描述子的过程繁杂,效率依旧难以满足实时性的应用需求。Dalal在2005年的CVPR上提出了HOG^[4](Histogram of Oriented,梯度方向直方

图)特征应用于行人检测,并达到了2006年PASCAL人体检测挑战赛最佳结果,获得了极大的成功。受此启发,国内外许多研究者将目光转向了HOG特征,其中包括许多HOG特征的改进^[5-12]。

HOG的优势在于它有很好的几何和光学不变性,并且计算效率高。但是,HOG本身存在一些局限:

(1) 计算梯度前不能进行平滑使得HOG不具备多尺度分析能力。Zhu等使用积分图^[5]加速HOG特征的计算,实现了多尺度分析;Bosh等结合空域金字塔核提出了PHOG(Pyramid of Histogram of Orientation Gradient,方向直方图金字塔)特征^[6],通过对ROI区域的多分辨率分割,构建金字塔图层,加权连接各图层的梯度方向直方图得到PHOG;Pedro等结合HOG特征,提出了用于目标检测的判别训练、多尺度可变部件模型^[7-8](DPM),将一种挖掘难例的间隔敏感方法与隐藏变量SVM(Latent variables SVM)结合起来,实验证明其方法在平均精度上达到HOG特征人体检测的2倍。

(2) HOG不具备旋转不变性。汤彪等提出了基于旋转不变HOG特征的图像匹配算法^[12],该算法改进了Block划分方式,用环形图像区域划分方式代替常规的方形图像区域划分方式,并对梯度进行RGT(Radial Gradient Transform)变化,获得旋转不变的直方图信息,在角度差异图像间的匹配取得了不错的效果。但是,这种算法舍去了目标本身的方向信息,缩小了适用范围。

本文提出了一种基于主方向的旋转不变HOG特征方法,并优化了特征的相似性度量。在特征提取方面,首先根据梯度信息计算得到图像主方向,然后以主方向作为归一化参考方向,获取旋转不变的HOG特征。在相似性度量方面,本文以单个图像块(BLOCK)特征向量为基元,与待匹配图像中对应块及其邻域块特征向量的相似度共同作为度量标准,增强了存在少许相位差异的旋转图像之间的匹配效果。实验结果表明,与传统HOG特征相比,利用本文提出的改进HOG特征在图像间存在角度差异的时候,依然能够保证匹配的准确度。

下面首先简要介绍HOG特征提取基本思路,然后描述基于梯度信息的主方向提取算法,其次叙述基于主方向HOG特征的图像匹配算法,最后给出相关实验与结果分析。

1 HOG特征提取基本思路

梯度方向直方图是一种稠密的统计特征描述,其主要思想是:将一幅图像分成许多连通区域,分别计算和统计各区域的梯度信息构成直方图,最后将直方图连接起来就可得到HOG特征。

1.1 梯度信息计算

在HOG检测窗口中,需要统计窗口中所有的像素梯度信息,由于颜色信息对图像梯度的计算作用不大,因此转化为灰度图,同时为了减少局部光照强度变化的影响,选择标准化图像Gamma空间,公式如下:

$$I'(x,y)=I(x,y)^{\text{gamma}} \quad (1)$$

式中: $I(x,y)$, $I'(x,y)$ 分别为图像的输入、输出归一化灰度值;gamma为校正系数,gamma=1/2。

计算图像各像素点在横、纵坐标方向上的一阶差分,通常采用水平边缘算子 $[-1,0,1]$ 、垂直边缘算子 $[-1,0,1]^T$ 对图像作卷积运算,并据此计算出每个像素的梯度幅值和方向,求导操作进一步弱化了局部光照变化的影响。同时实验^[4]对构造更加复杂的模板,例如 3×3 Sobel模板、对角线模板等进行了行人检测实验,实验证明这些模板表现都不理想,模板越简单,效果越好。

1.2 直方图统计、归一化

编码图像局部梯度信息,统计得到局部特征描述向量。首先将图像划分成互相连通的区域,即细胞单元(Cell),Cell的形状由具体区域划分方式而定。设定方向度量标准,根据梯度幅值和方向对Cell中每个像素在直方图上进行加权投影,得到图像局部特征描述向量。

受局部光照强度变化的影响,将Cell直方图直接堆叠后的特征描述效果不理想,需要将Cell聚合到更大的图像块(Block)中并归一化,得到最后的HOG特征。

通常块的归一化方式有4个,常用的公式如下:

$$L_2\text{-norm: } \mathbf{v} \leftarrow \frac{\mathbf{v}}{\sqrt{\|\mathbf{v}\|_2^2 + \varepsilon^2}} \quad (2)$$

式中: \mathbf{v} 是归一化前的特征向量; $\|\mathbf{v}\|_k$ 表示 \mathbf{v} 的 k 范数; ε 表示接近0的常数参量。

为了体现像素对包含该像素的各个Block直方图的贡献度,对梯度幅值作方位线性插值分配不同的统计权重。实验表明,Block之间互有重叠有效提高了人体检测的准确率,但是过高的重叠度对特征性能提升并不明显,反而会增加计算量,降低效率。

2 基于主方向的旋转不变HOG

HOG特征的提取可简单划分为以下4个步骤:

- (1) Gamma校正和颜色空间标准化;
- (2) 计算图像梯度;
- (3) 构建梯度直方图;

(4) 归一化梯度直方图,如图1虚线下方所示。当图像旋转后,各块对应的图像区域以及各像素的绝对方向都发生了改变,特征向量也随之改变,因此HOG特征不具有旋转不变性。本文基于传统HOG特征算法,

在统计构建梯度直方图之前,根据图像梯度信息提取主方向,并将主方向归一化至参考方向,使之对旋转具有不变性,改进算法如图1虚线上方所示。

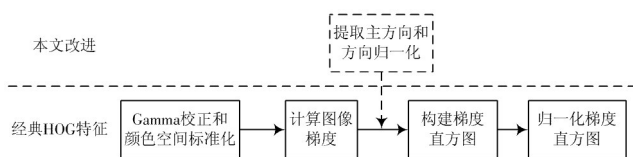


图1 HOG特征及其改进算法流程

2.1 主方向提取

HOG特征具有良好的性能,源于图像中的目标轮廓和结构信息在梯度信息的统计量上有高度的特异性和稳定性,但是其特征的构造方式使之并不具有旋转不变性。文本提出了一种改进思路:进一步提炼梯度信息,得到图像的梯度主方向,将其旋转至标准参考方向再统计局部方向直方图得到HOG特征。假定依据上文提供的方法已经得到图像每一像素的梯度幅值和方向,需要将梯度方向分成 N 等分,以每个像素的幅值为权重,对角度作线性插值,统计图片在各个方向上的累计权重,取权重最高值的方向为该图像块的主方向,并根据主方向将图像块旋转至参考方向。为了保证图像主方向提取的有效统计区域对于旋转不变,采用圆形窗口。分别以48和72两种不同的方向度量对同一张图像进行主方向提取并归一化方向,处理结果如图2所示。

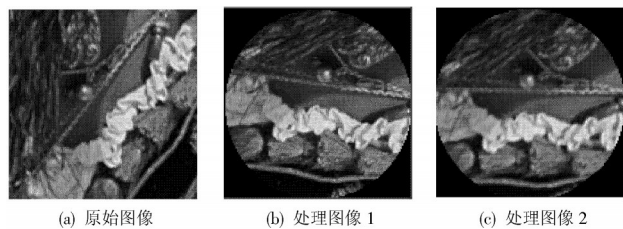


图2 主方向提取的度量误差

从结果可以看出,提取的主方向存在一定的度量误差,需要对梯度的选择问题进行研究。

表1 各分辨率效果对比

方向数量	6	12	24	36	48	72	120
正确率 /%	29.8	70.1	87.5	91.2	92.5	94.5	93.1

用仿真图像集对多种分辨率选择作了对比实验,实验结果如表1所示,实验时允许的误差范围为 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$,由于HOG特征在小角度差异的情况下依旧具有描述不变性,因此极高分辨率参数情况下对于特征旋转不变性的性能提升并不明显,同时抗噪性减弱,并占用更多系统资源,因此通常选择度量区间48~72即可。

2.2 相似性度量优化

在实现了HOG特征提取之后,可以由此进行图像

匹配。为了计算两个特征向量的距离,就需要引入相似性度量问题。相似性度量问题是图像匹配的重要研究内容,合适的相似性度量算法不仅可以提高图像匹配的准确度,同时可以减少计算时间,提高效率。通常采用相似距离来度量相似度,常见的相似距离,如欧式距离、马氏距离、余弦距离等。相似距离计算简单、效率高,但适用范围较小。由于HOG特征的组合方式,当图像出现平移的情况时,每个Block对应的图像区域会发生改变,因此简单的相似距离匹配并不理想。

本文的思路是首先进行局部区域的匹配,并优化局部相似性度量算法,降低图像平移带来的影响,再放大到整个图像平面,统计局部相似比。具体实现是将各个Block特征向量为基本匹配单元,计算与待匹配图像中对应Block及其邻域Block特征向量的相似距离,如图3所示。

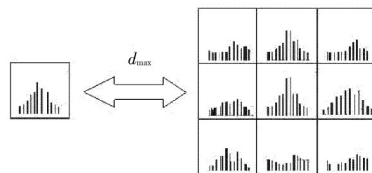


图3 局部Block相似性度量

相似距离 d 采用余弦距离,如式(3)所示:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (3)$$

设阈值为 T_{ω} ,当存在某一最大相似度大于预定阈值 T_{ω} 时,表示该Block区域相似,最后全局统计相似块所占比例,判定公式如下:

$$T = \frac{o(A \cap B)}{o(A)} = \frac{o(A \cap B)}{o(B)} \quad (4)$$

假设 A, B 分别代表两图像以Block为基元的块特征向量集合, $o(K)$ 为 K 集合中元素的数量,显然 $o(A) = o(B)$ 。当 T 大于阈值 T_{θ} 时则判定图像匹配。

3 实验与结果分析

3.1 实验环境

实验环境:硬件环境为 Inter[®] Pentium[®] 4 CPU,主频 2.93 GHz,1 GB 内存 PC 兼容机,软件环境为 Microsoft Visual Studio 2008。测试图像为包含正负样本各 100 幅仿真图像集,正样本为存在光照强度与角度差异的匹配图像。图像尺寸为 128×128 像素,如图4所示。

3.2 阈值参数选取

阈值参数 T_{ω} 和 T_{θ} 的取值是影响图像匹配准确率

的重要因素,因此对阈值的选择作了对比实验,结果如图5所示,其中横坐标表示阈值 T_0 的取值,各曲线表示取不同阈值 T_0 得到的实验结果。可以看出,准确率随着阈值的增大呈单峰状变化。低阈值的低准确率主要是由相似度判定下限低导致的负样本误匹配;而高阈值的低准确率主要是由相似度判定上限高导致的正样本漏匹配。因此,在阈值选择上,尽量选取0.8~0.85之间的数以保证最优匹配效果。实验分析表明,漏匹配在很大程度上是由于主方向的提取错误导致的,少部分存在于图像间相位差过大的情况中。

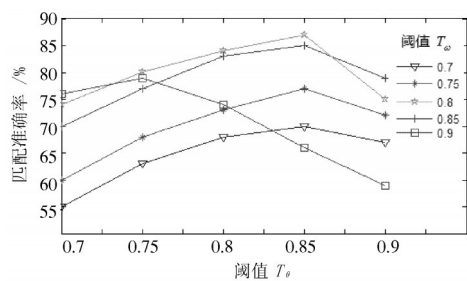


图5 不同参数对匹配效果的影响

3.3 对比实验

将本文提出的改进算法与传统HOG特征在图像匹配实验方面进行了对比实验。实验中,扫描窗口均为128×128,Block重叠程度为8个像素。

匹配性能方面:正样本匹配实验结果(如图4所示)显示,利用本文提出的特征进行图像匹配,其正确率对角度差异表现出很强的稳定性,而正确率的微小波动是由于主方向提取误差导致的,如何进一步保证主方向的精确性是接下去要研究的内容,而传统的HOG特征在图像存在明显角度差异的时候匹配效果不理想,如图6所示。实验证明本文提出的特征具有较好的旋转不变性。

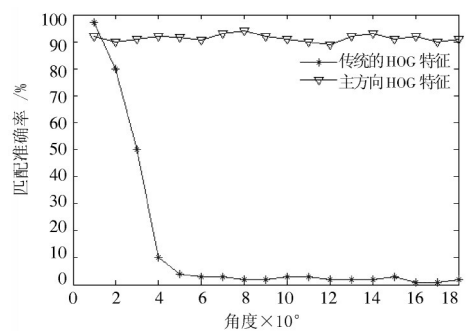


图6 传统HOG特征的角度差异图片匹配效果对比

耗时方面:耗时结果如表2所示,结果显示本文提出的改进算法在耗时上相比传统HOG有所增加,但考虑到本文算法在旋转图像匹配性能的显著提高,这样的

耗时代价是值得的。

表2 与传统HOG特征的平均计算耗时对比

特征提取算法	本文改进HOG	传统HOG
平均耗时/ms	47	16

4 结 语

本文方法通过统计图像全局的梯度方向信息,得到梯度主方向,并以此作为参考方向对图像进行方向归一化,提取图像的HOG特征,使之具有较好的旋转不变性。图像匹配的实验结果表明,在图像存在角度差异的情况下,本文算法具有良好的匹配效果,总体性能明显优于传统的HOG特征。

参 考 文 献

[1] LOWE D. Object recognition from local scale-invariant features [C]// Proceedings of the 7th the IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra: IEEE, 1999: 1150-1157.

[2] LOWE D. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer, 2004, 11(60): 91-110.

[3] BAY H, TUYTELAARS T, ESS A. Speeded up robust features (SURF) [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.

[4] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection [C]// Proceedings of 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego: IEEE, 2005: 886-893.

[5] ZHU QIANG, AVIDAN S, MEI Y, et al. Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients [C]// Proceedings of 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S.l.]: IEEE, 2006: 1491-1498.

[6] BOSH A, ZISSERMAN A, MUNOZ X. Representing shape with a spatial pyramid Kernel [C]// Proceedings of the 6th ACM International Conference on Image and Video Retrieval. New York, USA: ACM Press, 2007: 1091-1096.

[7] FELZENSZWALB P. A discriminatively trained, multiscale, deformable part model [C]// Proceedings of the 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, AK: IEEE, 2008: 1-8.

[8] FELZENSZWALB P. Object detection with discriminatively trained part based models [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(9): 1627-1645.

(下转第90页)

持寄存器是否为空,当该位为1时,表明允许发送新位。

3.2 GPRS软件设计

GPRS模块主要使用AT指令实现短信的发送功能。本系统采用SIMCOM公司的SIM300模块,该模块支持2种模式的文本模式短信信息:GSM DEFAULT 7-BIT模式和UCS2模式。

GSM DEFAULT 7-BIT模式采用ASCII码表上所能查询到的字符表示短信内容,即字符模式;UCS2模式是以UNICODE码的形式来编码短信内容,即汉字模式。由于倾角数据信息可以使用ASCII字符表示,并且GSM DEFAULT 7-BIT模式在实现时实时性较好,因此本设计采用GSM DEFAULT 7-BIT模式来表示短信内容。图5是GRPS控制流程图^[6-7]。

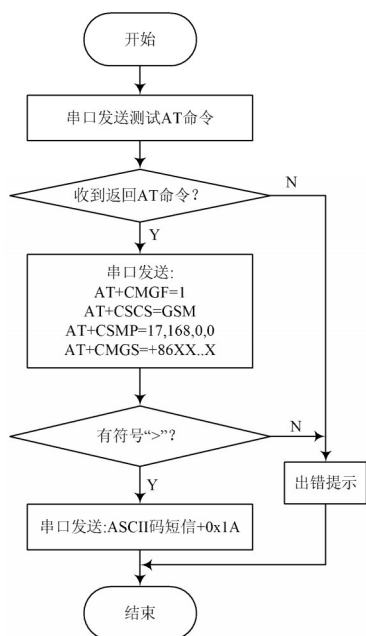


图5 GRPS控制流程图

作者简介:姜志鹏(1978—),男,江苏金坛人,讲师,硕士。主要从事信息处理与嵌入式系统研究工作。

阎浩(1980—),男,江苏沛县人,副教授,硕士。主要从事传感网研究工作。

姚健东(1985—),男,江苏南京人,讲师,硕士。主要从事嵌入式系统研究工作。

(上接第87页)

[9] 芮挺,曹鹏,张金林,等.基于高斯混合建模的多尺度HOG行人头肩特征检测[J].山东科技大学学报:自然科学版,2013,32(2):90-93.

[10] 霍亚松,张锦.非重叠低维度梯度方向直方图[J].模式识别与人工智能,2014,27(3):242-247.

作者简介:罗滨(1990—),男,浙江建德人,在读硕士研究生。研究方向为图形图像处理。

朱长仁(1968—),男,浙江淳安人,副教授。研究方向为图像分析理解、遥感图像智能解译、信息融合。

任云(1990—),男,湖北公安人,在读博士研究生。研究方向为图形图像处理。

倾角数据的短信格式为:倾角编号(2 B)+倾角数值(4 B)+纬度信息(7 B)+经度信息(7 B)+时间信息(14 B),其中倾角数值精确到小数点后一位。

4 结 语

本文设计的倾角监测终端,基于TI公司的DSP芯片,外部扩展了GPS与GPRS模块,能够实现监测点地理定位与无线数据传输。基于该系统,既能充分利用DSP快速地计算功能,实时地分析户外设备的倾角,也能基于无线网络实时地将各监测点的倾角数据传往监控中心统一分析和处理,大大提高了监测速度,降低了监测成本。

参 考 文 献

- [1] 戴明桢,周建江.TMS320C54x DSP结构、原理及应用[M].2版.北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [2] Analog Device. ADXL213 Datasheet [EB/OL]. [2014-10-31]. <http://www.alldatasheet.com>.
- [3] 姜志鹏,李国华,吴功栋,等.基于DSP的数字声级计硬件设计[J].金陵科技学院学报,2009,25(2):25-26.
- [4] Texas Instruments. TL16C550 datasheet [R]. USA: Texas Instruments, 1996.
- [5] 戴玮,胡仁杰.TL16C550芯片在串行通信中的应用[J].电气电子教学学报,2003,25(4):41-44.
- [6] 吴丽华,李砾,赵舒,等.基于SIM300的远程心电监护系统的设计与开发[J].哈尔滨理工大学学报,2010,15(1):112-115.
- [7] SIM Technology. SIM300 Hardware and Software Specification [EB/OL]. [2011-06-13]. <http://www.wenku.baidu.com>.
- [8] 任肖丽,陈佳喜,王骥.基于GPRS技术在线环境监测系统的研究[J].现代电子技术,2015,38(4):60-62.

[11] 吴博.HOG特征红外图像匹配技术研究[D].武汉:华中科技大学,2011.

[12] 汤彪,左峥嵘,李明.基于旋转不变HOG特征的图像匹配算法[EB/OL].[2013-01-24].<http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201301-1025>.