

视角和旋转角变化时梯度方向直方图的转换

刘 清, 吴志刚, 郭建明, 李龙利

(武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 使用梯度方向直方图(HOG)来检测目标, 需要大量的, 有代表性的样本来训练分类器. 一个目标的HOG, 其特征在不同的摄像机视角和不同的光轴旋转角下, 并不相同. 因此, 使用不同视角下的混合样本集来训练分类器时, 目标检测的准确率受到样本噪声的影响将会降低. 基于摄像机成像的基本原理, 提出了一种转换算法, 可以把一个样本在某个视角下的HOG特征转换成另一个视角下的HOG特征. 这样既降低了分类器训练时需要采集的正负样本数量, 又提高了支持向量机(SVM)分类的准确性, 从而提高了目标检测的准确性. 大量目标检测实验结果表明本文提出的算法是有效的.

关键词: 目标检测; 视角; 旋转角; 梯度方向直方图HOG; 支持向量机

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

The conversion of histograms of oriented gradient in different vision-angle and rotation-angle

LIU Qing, WU Zhi-gang, GUO Jian-ming, LI Long-li

(School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430063, China)

Abstract: In applying the histograms of oriented gradient(HOG) to detect an object, we need a great number of representative image samples to train the classifier. Since the HOG characteristic changes in different vision-angle and different rotation-angle, the detection accuracy will be decreased if images of different vision-angle or rotation-angle are used to train the classifier. By the imaging principle of the camera, we develop an algorithm for converting the HOG characteristic in one vision-angle and rotation-angle to the HOG characteristic in another vision-angle and rotation-angle. Thus, the required number of positive and negative samples for training the classifier is reduced and the classification accuracy of the support-vector-machines(SVM) is raised, eventually resulting in an increase in the object detection accuracy and robustness. Many object-detection experimental results show that this conversion algorithm is effective. This indicates that the proposed algorithm is an efficient tool for HOG-based object detection in practical engineering projects.

Key words: object-detection; vision-angle; rotation-angle; histograms of oriented gradient; SVM

1 引言(Introduction)

在模式识别应用领域虽然有一些人脸、指纹等识别的研究成果^[1], 但人体检测却仍是计算机视觉应用中的核心问题. 由于光照、目标自身姿态的变化和目标颜色的多样性等影响, 人体这个目标在不同的场景中变化差异非常大, 所以导致了人体检测非常困难, 研究成果少. 随着模式识别研究的深入和应用的需求, 近年来文献中也出现了一些人体检测方法研究成果, 这些方法根据实现的途径可以分为两类: 第一类是基于局部模型的方法, 采取从部件到整体的途径, 如文献[2~4]的工作是这类方法中有代表性的成果. 第二类方法是基于单一检测窗口的方法, 在尺度和位置空间应用分类器判断所有的子图

像是否为目标. 如文献[5,6]的工作在该类方法中具有代表性.

2005年Dalal等人提出了一种性能优异的单一窗口人体检测方法^[7], 该方法是利用小块上的梯度方向直方图HOG(histograms of oriented gradient)来描述图像, 实验结果证明, 该描述方法结合支持向量机SVM(support vector machine)分类器可以有效地区分出人体和非人体. HOG&SVM检测器是通过对目标轮廓的统计性来增强目标检测的鲁棒性, 那么它就需要大量有代表性的正负样本来训练分类器, 因此样本的采集质量直接影响到了检测的准确性.

由于不同高度的固定摄像机的视角不同, 所以目标的轮廓会发生变化, 如果不考虑视角, 将各个

视角的正样本放在一起训练, 由于样本之间的差异性, 会影响SVM的分类性能. 但要实现规模化采集各个视角的样本又需要耗费大量的人力物力, 因此, 本文提出了一种视角直接转换算法, 通过针对某一视角下样本的梯度方向直方图进行换算, 从而推出另一视角下样本所对应的梯度的方向直方图, 进而用推算得出样本的HOG训练分类器, 能够进一步提高HOG检测的效果和鲁棒性, 也大大降低了所需的样本集的数量要求.

另外, 对于车辆等刚性目标的旋转角度问题, 这种刚性目标以不同的方位呈现在图像的时候, 由于其HOG特征变化更大, 会大大减弱检测器的性能. 所以论文也提出了针对这种旋转角对HOG的影响, 以及在不同旋转角下的HOG的变换.

2 问题建模(Modeling)

摄像机的视角有3个: α, β, γ , 其中 α 为水平旋转角, 影响目标图像水平方向梯度, 不影响目标图像垂直方向梯度, β 为俯仰角, 影响目标图像垂直方向梯度, 不影响目标图像水平方向梯度, γ 为绕光轴的旋转角, 同时影响目标图像水平方向和垂直方向梯度. 这3个视角对目标HOG的影响是不同的, 以下分别讨论.

2.1 俯仰角对HOG的影响(Influence of pitch angle on HOG)

高度为 H , 距离摄像机光心为 L 的目标, 在摄像机的俯仰角分别为 $\beta_1, 0$ (成像平面与水平地面的夹角)时, 应用摄像机线性模型即针孔模型, 其成像模型如图1所示.

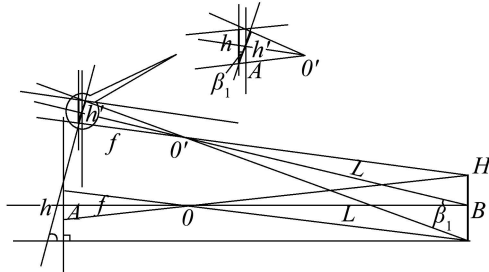


图1 摄像机成像的针孔模型

Fig. 1 Pinhole model of camera imaging

图1中 H 是人的高度, h 是摄像机平视下人体在图像上所成像的高度, h' 是摄像机的俯视角为 β_1 时人体在图像上所成像的高度, f 为摄像机的焦距. 由于一般认为目标离光心的距离 $L \gg f$, 经过仿射成像可以求得

$$h'(\beta_1) = h \cdot \cos \beta_1 = H \cdot (f/L) \cdot \cos \beta_1;$$

同理如果已知俯仰角 β_2 时目标在图像上的高度为 $h'(\beta_2) = h \cdot \cos \beta_2$, 得到不同视角下目标在图

像中的高度的系数比:

$$C(\beta_1, \beta_2) = \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}. \quad (1)$$

根据梯度定义, 图像中某点 (x, y) 的梯度大小和方向分别为:

$$\nabla(x, y) = \sqrt{d^2x + d^2y}, \quad \theta(x, y) = \arctan \frac{dy}{dx}. \quad (2)$$

摄像机俯仰角发生变化时, 其影响的是 y 方向的分量, 在足够近似意义下, 根据式(1)有

$$\Delta y' = C(\beta_1, \beta_2) \cdot \Delta y, \quad (3)$$

这样变化后的摄像机俯仰角 $\theta'(x, y)$ 为

$$\theta'(x, y) = \arctan(\tan[\theta(x, y)] \cdot \frac{1}{C(\beta_1, \beta_2)}), \quad (4)$$

则图像中某点 (x, y) 在俯仰角为 β_2 的梯度和俯仰角为 β_1 时的梯度的关系为:

$$\nabla_{\beta_1}(x, y) = \sqrt{d^2x + \tan^2 \theta(x, y) \cdot d^2x}, \quad (5)$$

$$\nabla_{\beta_2}(x, y) = \sqrt{d^2x + \frac{\tan^2 \theta(x, y)}{C^2(\beta_1, \beta_2)} \cdot d^2x}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nabla_{\beta_2}(x, y) \cdot \sqrt{(1 + \tan^2 \theta(x, y))} = \\ \nabla_{\beta_1}(x, y) \cdot \sqrt{(1 + \frac{\tan^2 \theta(x, y)}{C^2(\beta_1, \beta_2)})}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\nabla_{\beta_2}(x, y) = \nabla_{\beta_1}(x, y) \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{\tan^2 \theta(x, y)}{C^2(\beta_1, \beta_2)}}{1 + \tan^2 \theta(x, y)}}. \quad (8)$$

因此摄像机俯仰角发生变化时, 目标图像的梯度方向和梯度都会发生变化. 在HOG意义下, 在俯仰角 β_1 下图像点 (x, y) 在梯度方向 $\theta(x, y)$ 上的分量为 $\nabla_{\beta_1}(x, y)$, 在俯仰角 β_2 下变换为在梯度方向 $\theta'(x, y)$ 上的分量为 $\nabla_{\beta_2}(x, y)$. 通过在梯度方向上重采样, 得到的变换算法为

$$\begin{cases} P_{\beta_2}(\theta'(x, y)) = \\ P_{\beta_1}(\theta(x, y)) \cdot \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta'(x, y)}{1 + C^2(\beta_1, \beta_2) \tan^2 \theta'(x, y)}}, \\ \forall (x, y) \in \Phi. \end{cases} \quad (9)$$

式(9)中 Φ 满足 $\theta'(x, y) = \arctan\{\tan[\theta(x, y)] \cdot 1/(C(\beta_1, \beta_2))\}$, $P(\theta(x, y))$ 是HOG的概率密度.

梯度方向的值域实际上是 $[0, 2\pi)$, 提取HOG特征时, 视 $\theta(x, y) + \pi$ 和 $\theta(x, y)$ 为等同的梯度方向, 另外由于反正切函数的值域在 $[-\pi/2, \pi/2]$, 所以在实际处理中统计HOG时, 对于小于0的梯度方向都以加 π 处理, 这样HOG的定义域为 $[0, \pi)$, 本文将

每 $\pi/9$ 划分成一个bin, 得到9个bin.

这样, 相对于 β_1 , 如果 β_2 变大, 那么 $C(\beta_1, \beta_2)$ 小于1, $\theta'(x, y)$ 相对于 $\theta(x, y)$ 就变大, 对应到新的HOG的 $\nabla_{\beta_2}(x, y)$ 也较 $\nabla_{\beta_1}(x, y)$ 大, 那么在HOG上总体的梯度会向 $\pi/2$ 拢起, 如图2所示. 相反, 如果 β_2 变小, 那么 $C(\beta_1, \beta_2)$ 大于1, 这样 $\theta'(x, y)$ 相对于 $\theta(x, y)$ 变小, 对应到新的HOG的 $\nabla_{\beta_2}(x, y)$ 也较 $\nabla_{\beta_1}(x, y)$ 变小, 那么在HOG上总体的梯度会由 $\pi/2$ 向0和 π 拢起, 如图3所示.

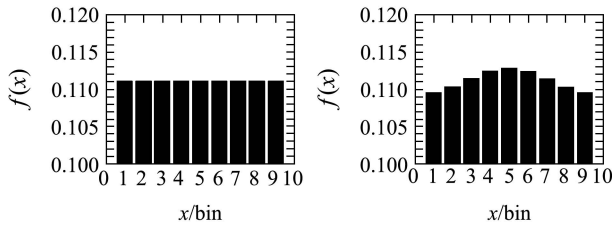


图2 俯仰角变大对HOG的影响

Fig. 2 HOG's change when pitching angle is largen

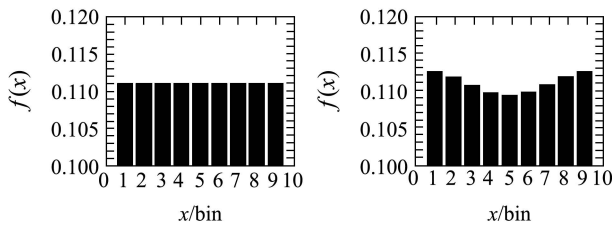


图3 俯仰角变小对HOG的影响

Fig. 3 HOG's change when pitching angle wane

图像按空间位置均匀的分成相邻的小块, 称为“cell”. 在统计的HOG特征时本文都是以cell来统计梯度方向直方图, 这样随着视角的变化, cell的大小(高度)也随 $C(\beta_1, \beta_2)$ 的变化而变化为

$$h'_{\text{cell}} = C(\beta_1, \beta_2) \cdot h_{\text{cell}}. \quad (10)$$

因此一旦摄像机的视角发生变化, 只需要对原先某一视角下的大量的HOG特征进行变换, 再进行离线的训练, 这样的检测器将会更加鲁棒.

2.2 目标旋转角对HOG的影响(Influence of rotation angle of object on HOG)

对人体的检测而言, 摄像机水平旋转角或者是目标旋转角 α , 其HOG变化不是很大, 但是对于刚性目标, 例如汽车其HOG变化就比较大, 所以必须考虑这个因素. 按照2.1节的推算方法对于 α 的变化, 在一定的范围内(不包括遮挡)梯度变换算法为

$$\nabla_{\alpha_2}(x, y) = \nabla_{\alpha_1}(x, y) \cdot \sqrt{\frac{1}{C^2(\alpha_1, \alpha_2) + \tan^2 \theta(x, y)}}, \quad (11)$$

$$P_{\alpha_2}(\theta'(x, y)) =$$

$$P_{\alpha_1}(\theta(x, y)) \cdot \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \theta'(x, y)}{C^2(\alpha_1, \alpha_2) + \tan^2 \theta'(x, y)}}. \quad (12)$$

$\forall (x, y) \in \Phi$, Φ 满足 $\theta'(x, y) = \arctan(\tan[\theta(x, y)] \cdot C(\alpha_1, \alpha_2))$, $P(\theta(x, y))$ 是HOG的概率密度.

2.3 光轴旋转角对HOG的影响(Influence of rotation angle of optical on HOG)

摄像机沿光心轴转了 γ 角度, 只需要在直方图进行循环移位 γ 操作即可, 因此光轴旋转角对HOG的影响如图4所示.

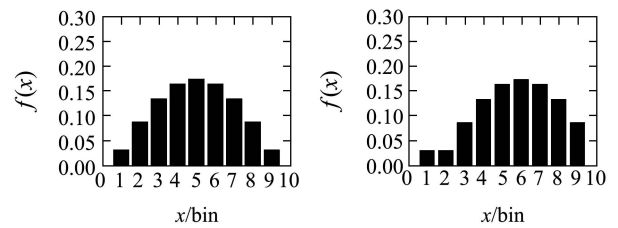


图4 光轴旋转角对HOG的影响

Fig. 4 HOG's change with change of rotation angle of optical

3 检测实验(Example of detection)

实验中训练数据包括正样本2480个人和其对应的镜像图像, 共计4960张正样本训练图像. 这些训练样本的拍摄视角基本相同, 也就是说俯仰角基本接近 0° . 2580张没有人的图像作为负样本. 测试数据包括已知视角的含有1694个人的656副 352×288 的图像, 以及412副背景照片的负样本, 其数据特点是视角、衣服、姿态和光照等变化大.

实验中, Dalal方法的模板大小用的是 64×128 , cell的大小为 8×8 , 将所有 7×15 个block的向量(36维)组合起来可得到3780维的向量. 采用本文提出的直接变换方法变换后cell的大小为 7×8 , block为 7×15 , 这样其所对应的模板大小就为 64×112 . 在实验中都采取了二范数对block内的直方图进行了归一化处理.

由于每个模板的cell的面积比原始的要小, 所以单个的检测框比Dalal的检测速度快, 但是对于同一副图而言, 其检测次数会比与Dalal的多, 所以在检测时间上相差无几.

图5是对数尺度下的DET(detection error trade-off)曲线, 即Miss Rate对FPPW的曲线. 由图5可以看出, FPPW低于 10^{-4} 时, 本文提出的方法的性能比Dalal的稍差, 当FPPW高于 10^{-4} 时, 本文提出的方法的性能比Dalal的要好. 而在实际应用中FPPW高于 10^{-4} 才是有意义, 因此引入本文提出的视角变换的HOG检测方法在实际的应用中就优于Dalal的方法.

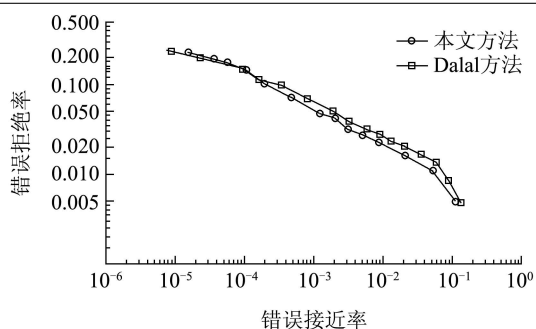


图5 本文方法与Dalal的方法性能比较

Fig. 5 comparison between Dalal algorithm and our method

图6和图7是直接采用Dalal方法与采用本文所提出的转换方法的HOG方法的一些检测结果. 图6是针对俯仰角有变化的检测结果; 图6(a)是未进行俯仰角变换的HOG检测结果, 可以看得出其中有部分的误报和漏报; 图6(b)是加入了本文转换算法的HOG检测结果, 其结果准确率有明显的改善. 图7主要是针对光轴旋转角有变化的检测结果; 由于光轴旋转角的变化使得Dalal算法的鲁棒性降低, 由图7(a)可见漏报的情况是显见的, 而图7(b)能够正确检测行人.



图6 俯仰角变化情况下的HOG检测结果

Fig. 6 The detection results of HOG algorithm with the change of pitching angle



图7 光轴旋转角变化情况下的HOG检测结果

Fig. 7 The detection results of HOG algorithm with the change of optical rotation angle

4 结语(Conclusion)

总结本文的工作和意义主要体现在以下方面:

1) 通过大量的目标检测实验可以看出, 采用Dalal提出的HOG方法进行目标检测时, 采用本文的转换算法后目标检测的准确性和鲁棒性比单纯使用Dalal方法明显地提高了.

2) 通过某个确定视角和目标旋转角下样本的HOG, 可以直接推算出另一个视角以及其他不同的目标旋转角所对应的HOG, 解决了实际工程中正负样本不足, 不能很好地训练SVM分类器的问题, 为HOG目标检测方法应用于实际工程中提供了一个有效的解决方案.

3) 本文提出的转换算法是假定目标离光心的距离 $L \gg f$ 时推导出来的, 它适用于室外的监控场景, 理论上适合于任意的视角和光轴旋转角. 但论文所开展的目标检测实验都是采集实际工程应用中的场景, 其视角也在一定的范围之内, 比如俯仰角一般是在 15° 到 45° 之间, 光轴旋转角在 0° 到 15° 之间, 目标旋转角对于人体这种非刚性的目标没有一个范围来定义它.

参考文献(References):

- [1] 付晓峰, 韦巍. 基于多尺度中心化二值模式的人脸表情识别[J]. 控制理论与应用, 2009, 26(6): 629 – 633.
(FU Xiaofeng, WEI wei. Facial expression recognition based on multi-scale centralized binary pattern[J]. *Control Theory & Applications*, 2009, 26(6): 629 – 633.)
- [2] MOHAN A, PAPAGEORGIOU C, POGGIO T. Example-Based object detection in images by components[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23(4): 349 – 361.
- [3] RONFARD R, SCHMID C, TRIGGS B. Learning to parse pictures of people[C] // *Proceedings of 6th European Conference on Computer Vision*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002: 700 – 714.
- [4] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C, ZISSERMAN A. Human detection based on a probabilistic assembly of robust part detectors[C] // *Proceedings of 8th European Conference on Computer Vision*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004: 69 – 82.
- [5] PAPAGEORGIOU C, POGGIO T. A trainable system for object detection[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 38(1): 15 – 33.
- [6] VIOLA P, JONES M. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance[C] // *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*. Los Angeles, USA: IEEE Computer Society, 2003: 734 – 741.
- [7] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[C] // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Los Angeles, USA: IEEE Computer Society, 2005: 886 – 893.

作者简介:

刘清 (1966—), 女, 教授, 目前研究方向为计算机实时控制和信息系统集成、智能控制技术、智能移动机器人, E-mail: qliu2000@163.com;

吴志刚 (1983—), 男, 硕士研究生, 目前研究方向为智能视频信息处理、图像处理, E-mail: wzg201@163.com;

郭建明 (1962—), 男, 副教授, 目前研究方向为计算机控制、智能系统, E-mail: jmguo62@163.com;

李龙利 (1986—), 男, 硕士研究生, 目前研究方向为智能机器人、图像处理, E-mail: lllilongli@163.com.