

利用 HOG-LBP 自适应融合特征 实现禁令交通标志检测

陈 龙^{1,3} 潘志敏^{1,2} 毛庆洲^{1,2} 李清泉^{4,1}

(1 武汉大学时空数据智能获取技术与应用教育部工程研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(3 武汉大学电子信息学院,武汉市珞珈山,430072)

(4 时空信息智能感知与服务深圳市重点实验室,深圳市南海大道 3688 号,518060)

摘 要:针对禁令交通标志牌提出了一种基于 HOG-LBP 自适应融合特征的交通标志检测方法,将标志图片等分为多个不重叠的块,每块内将加权后的 HOG 和 LBP 特征进行串行融合作为最终特征,其中每类特征权值由块内梯度幅值决定,融合后的特征采用 SVM 进行分类器训练,并将训练结果用于交通标志检测。实验结果表明,基于 HOG-LBP 自适应融合特征的效果优于基于单独 HOG、LBP 特征和简单 HOG-LBP 融合特征的效果。

关键词:HOG-LBP 特征融合;交通标志检测;无人驾驶

中图分类号:U491.116

智能交通标志识别分为两步:标志的检测即定位和交通标志的分类。检测是分类的基础,同时也是识别中的难点。已有的检测方法大致可以分为:基于几何形状、色彩特征的方法和基于机器学习的方法。基于色彩特征的方法易于实现,但由于光照、视角的原因,算法不够稳定,如基于 RGB^[1-2]的方法容易受光线的影响,产生一些部分的 RGB 数值偏高而一些部分的数值偏低的现象,使检测结果极不稳定;基于几何形状包括标志边缘特征^[3]的方法,模板匹配^[4]简单而又快速,但由于局部遮挡以及图像旋转情况的存在而可靠性低。遗传算法^[5]常用于形状检测,可能收敛过早或陷入局部收敛极限点。近年来,还出现了模糊理论^[6]、FFT^[7]等这些方法大多都是基于连通性的检测方法,而在实际图像中,兴趣区域的连通性不佳以及局部破损会直接影响检测效果。

基于稳定特征结合分类器的机器学习方法逐渐成为一种更为可靠的方式^[8-9],基于此,本文根据交通标志的特点,提出了一种基于 HOG-LBP (histograms of oriented gradients-local binary

patterns)自适应融合特征的交通标志检测方法。

1 HOG-LBP 自适应融合特征

HOG 特征^[9]的主要思想是在一幅图像中,局部目标的表象和形状能够被梯度或边缘的方向密度分布很好地描述。局部二进制模式^[10](亦称 LBP 算子)首先由芬兰科学家 Ojala 等提出,其缺点是 LBP 方法的窗口大小固定,且与图像内容无关,这导致了 LBP 在纹理基元特征的提取上出现误差,难以适应不同粗糙度和尺度纹理的要求。

融合^[11]一般分为三个层次:数据层融合、特征层融合以及决策层融合。本文主要关注特征层的融合,即由分立的多个特征集产生新融合的特征集,新的融合的特征集将用于最后的分类。

现有的特征层融合策略一般可分为串行融合和并行融合。假定 A 和 B 是定义在同一样本空间 Ω 上的两个特征空间。对任意样本 $\xi \in \Omega$,对应的两个特征向量为 $\alpha \in A$ 和 $\beta \in B$ 。串行融合后的特征矩阵 $\gamma = (\alpha, \theta \beta)$ 或 $\gamma = (\theta \alpha, \beta)$,其中 θ 为权重

收稿日期:2012-12-11。

项目来源:国家 973 计划资助项目(2010CB732100);湖北省自然科学基金资助项目(2010CDB08407)。

系数。若 α 为 N 维, β 为 M 维, 则 γ 的维数等于 $(N+M)$ 维。串行融合后, 所有样本的特征矩阵都是 $(N+M)$ 维。并行融合后的特征矩阵 $\gamma = \alpha + i\beta$ 或 $\gamma = \alpha\alpha + i\beta$ 。当 α 和 β 的维数不相等时, 则将维数较低的补 0, 直至二者维数相等, 并行融合后的特征矩阵 γ 的维数为 $\max(N, M)$ 。

串行融合特征矩阵的维数为两个特征矩阵的维数之和, 维数大幅增加会提高特征矩阵的信息冗余度, 不利于后续的训练分类器及交通标志检测; 并行融合虽在矩阵维数上没有增加, 但是特征矩阵的元素为复数, 大部分分类器(如支持向量机)不能处理复数, 这给分类带来极大不便。

为了有效地表征交通标志信息的同时保证特征矩阵的维数不增加, 本文提出了基于 HOG 和 LBP 的自适应权重融合方法。由于 HOG 特征对形状边缘有很好的描述能力, 但当背景有较多噪声边缘时, HOG 的描述能力变弱, 在这一点上, 用标准 LBP 模式能有效地滤除噪声。另外, 如图 1 所示, 圆圈边缘部分颜色信息突出, 基于以上原因, 将样本分割为 $n \times n$ 块, 本文取 $n=4$ 。



图 1 自适应权重融合模板

Fig. 1 Adaptive-weighted Fusion Template

将交通标志划分为 16 个块, 在交通标志边缘部分的块(如块 2、3)HOG 特征的权重大; 而在标号为 6、7、10、11 的块, LBP 特征的权重大; 在 1、4、13、16 块, HOG 特征和 LBP 特征的权重相当。另外, 在交通标志边缘的块上统计浅色像素点在当前块的像素比例, 以此为颜色特征, 这个颜色特征仅一维, 并将这一维颜色信息先与 HOG 特征矩阵进行串行融合。这样就充分利用了交通标志的形状信息和色彩信息, 同时还用 LBP 特征滤除了背景的噪声边缘。融合后的特征矩阵维数为 179, 相对于简单融合的方式, 特征矩阵维数有所降低, 达到了在较低维数下准确表征交通标志的特征信息的目的。

三种特征采用自适应权重融合方式, 各个特征的权重值由每块的梯度直方图决定, 根据每块的梯度直方图自动调整每块的权重系数, 具体算

子为:

$$\text{Feature}(i) = (1 - a_i) \cdot \text{LBP} + a_i \cdot \text{HOG} \quad (1)$$

式中, a_i 表示第 i 块的权重系数, $a_i = |\text{gradient}_i| / \max(\text{gradient}_{\text{all}})$ 。

相比较, 本文所提的融合方法有两方面的优势: ① 它可以从最初的多特征集中导出最具有分辨能力的信息参与融合; ② 它能消除来自有鲜明区别的特征集之间的冗余信息, 使实时做出后续决定成为可能。自适应融合方法能获得有利于最后分类决定的最有效且维数最低的特征向量集。

2 实验结果及分析

本文实验平台为 MATLAB 2010b, 计算机配置为 Intel(R)Core(TM)2 Duo CPU, 主频为 2.26 GHz, 内存为 1.96 GB。实验数据是由武汉大学智能车顶部的车载模拟摄像头得到的, 分辨率为 400×300 , 正负样本如图 2 所示, 样本集中包含了不同天气条件、不同视角以及不同分辨率下拍摄的交通标志, 充分表现了现实交通场景中的各类情况。每个实验都采用相同的正负样本各 500 幅用于训练分类器, 相同的正负样本各 1 260 幅用于检测。本文所有特征分别用 SVM (support vector machine) 分类器和 Adaboost 分类器进行训练, SVM 分类器训练时, 采用遗传算法的参数寻优方法得到最优参数。

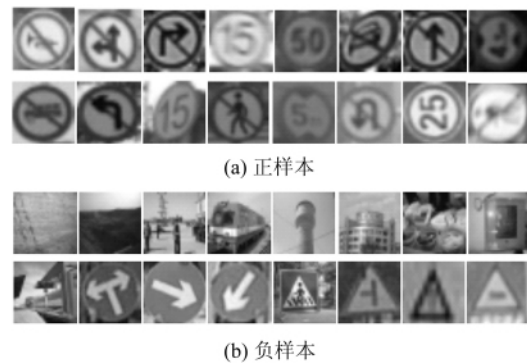


图 2 实验数据正负样本

Fig. 2 Test Data of Positive and Negative Samples

本文针对禁令交通标志, 对 HOG 特征计算梯度算子进行优化。为得到较好的效果, 分别用一维中心、一维非中心、一维立方修正、两个 2×2 对角、两个 3×3 Sobel 算子(表 1)计算梯度, 并查看各自对应的误检率, 所得到的各个误检率结果如表 2 所示。由实验结果表 1 及图 3 可见, 针对禁令交通标志, 3×3 Sobel 算子的效果最好。

用 HOG 特征、LBP 特征、HOG-LBP 简单融

表 1 HOG 特征梯度算子实验

Tab.1 Test of HOG Feature's Gradient Operator

模板类型	操作矩阵	误检率/%
一维中心	$[-1, 0, 1]$	14.94
一维非中心	$[-1, 1]$	10.00
一维立方修正	$[1, -8, -8, -1]$	18.51
2×2 对角(1)	$[0, 1; -1, 0]$	20.66
2×2 对角(2)	$[-1, 0; 0, 1]$	20.32
3×3 Sobel(1)	$[-1, -2, -1; 0, 0, 0; 1, 2, 1]$	7.46
3×3 Sobel(2)	$[-1, -\sqrt{2}, -1; 0, 0, 0; 1, \sqrt{2}, 1]$	7.46

合特征以及本文提出的自适应权重融合特征分别结合 SVM 分类器和 Adaboost 分类器进行实验, 实验结果如表 2 所示, 其 ROC 曲线如图 3 所示。

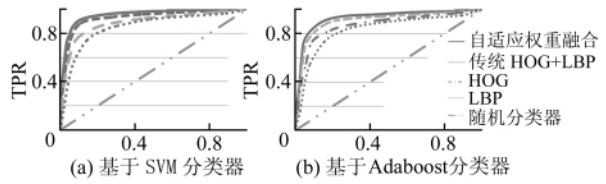


图 3 不同分类器检测结果 ROC 曲线

Fig. 3 ROC Curves of Different Classifier Results

表 2 SVM 分类器与 Adaboost 分类器实验结果表

Tab.2 Test Results of SVM Classifier and Adaboost Classifier

特征	SVM				Adaboost			
	HOG	LBP	HOG-LBP	本文方法	HOG	LBP	HOG-LBP	本文方法
耗时/s	0.30	0.14	1.65	54.00	38.8	17.5	66.4	144.00
误检率/%	2.85	9.21	1.9	1.9	3.57	7.14	3.09	3.09
虚检率/%	12.06	7.3	11.75	6.66	12.87	17.61	13.11	10.95
错误率/%	7.46	8.26	6.825	4.28	8.22	12.39	8.10	7.02

分析表 2 可知, 采用 SVM 分类器进行训练, HOG-LBP 简单融合特征与 HOG 特征、LBP 特征相比, 能有效地降低误检率, 其误检率分别从 2.85%、9.21% 降至 1.9%; 但虚检率降低的幅度有限, 与 HOG 特征相比, HOG-LBP 简单融合特征的虚检率从 12.06% 降至 11.75%, 而与 LBP 特征相比, 却从 7.3% 升高到 11.75%; 而本文方法能有效地降低虚检率和误检率, 与 HOG 特征和 LBP 特征相比, 其误检率分别从 2.85%、9.21% 降至 1.9%, 虚检率分别从 12.06%、7.3% 降至 6.66%, 这比 HOG-LBP 简单融合特征低 5.09%。本文方法的总耗时比其他三种长, 其原因在于特征提取较其他三种方法复杂, 平均每幅图片耗时为 0.02 s, 但这足以能满足实时性要求。另外, 从图 3(a) 可看出, 本文自适应权重融合特征的 ROC 曲线下面积最大, HOG-LBP 简单融合

方法次之, HOG 特征、LBP 特征再次之。分析表 2 及图 3(b) 可知, 与 HOG 特征和 LBP 特征相比, 本文自适应融合特征不同程度上降低了虚检率和误检率, 与 HOG-LBP 简单融合相比, 其虚检率降低了 2.16%, 这都表明本文自适应融合特征优于其他三种特征。

基于本文所提出的 HOG-LBP 特征, 结合 SVM 分类器, 对自然场景图像进行多尺度遍历后的识别效果如图 4 所示, 其中图 4(a)、图 4(b) 都进行了较为准确的多目标检测, 图 4(a) 中上方标志有部分遮挡也可检测出, 而对于图 4(c) 和图 4(d) 中存在严重遮挡和重度模糊的情况下, 本算法失效了。通过这些实验结果可以看出, 本算法对于各种复杂背景下的多目标不同种交通标志检测都有比较理想的效果。但在一些过多遮挡和能见度极低的情况下, 本文算法会失效。

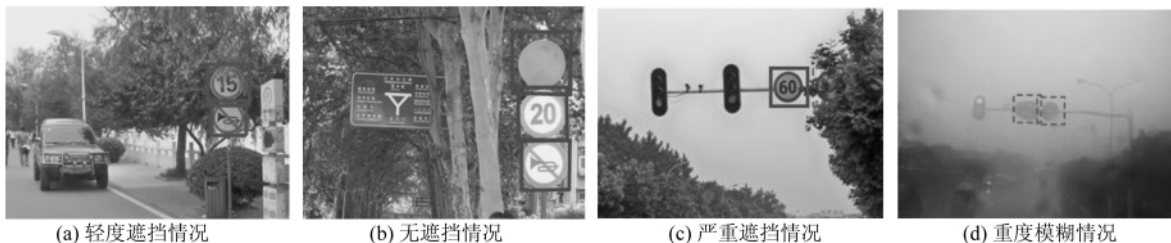


图 4 实景检测结果

Fig. 4 Imaging Test Results

3 结 语

本文提出了一种基于 HOG-LBP 自适应特征

融合禁令交通标志的检测方法, 自适应权重融合方法有效地结合了 HOG、LBP 特征以及一维颜色特征, 不仅准确地表征了交通标志信息, 而且使特征矩阵的维数较低, 减小了融合后特征矩阵的

冗余度,保证了系统的实时性。对 2 520 幅图的检测结果表明,用 SVM 分类器实验的误检率为 1.9%,虚检率为 6.66%,错误率为 4.28%。

参 考 文 献

- [1] 孙光明,王晶. 自然背景中交通标志的检测与识别[J]. 北京工业大学学报,2010,36(10):1 337-1 343
- [2] 李宁,陈彬. 数字图像处理在道路交通数据采集中的应用研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,31(9):773-776
- [3] 徐迪红,唐炉亮. 基于颜色和标志边缘特征的交通标志检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2008,33(4):433-436
- [4] Broggi A, Cerri P, Medici P, et al. Real Time Road Signs Recognition[C]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, 2007
- [5] Aoyagi Y, Asakura T. A Study on Traffic Sign Recognition in Scene Image Using Genetic Algorithms and Neural Networks[C]. The 22nd IEEE Int Conf Ind Electron, Control Instrum, Taipei, China,1996
- [6] Fleyeh H. Traffic Sign Recognition by Fuzzy Sets [C]. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Netherlands, 1994
- [7] Gil P, Maldonado S, Gómez H, et al. Traffic Sign Shape Classification and Localization Based on the Normalized FFT of the Signature of Blobs and 2D Homographies [J]. Signal Processing, 2008, 88(12): 2 943-2 945
- [8] 甘玲,朱江. 扩展 Haar 特征检测人眼的方法[J]. 电子科技大学学报,2010,39(2):247-250
- [9] Dalal N, Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection[C]. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), San Diego, 2005
- [10] Zhang Guangcheng, Huang Xiangsheng, Li S Z, et al. Boosting Local Binary Pattern (LBP)-Based Face Recognition[C]. The 5th Chinese Conference on Biometric Recognition, Guangzhou, China, 2004
- [11] Yang Jian, Yang Jingyu, Zhong D, et al. Feature Fusion: Parallel Strategy vs Serial Strategy [J]. Pattern Recognition, 2003,36(6):1 369-1 381

第一作者简介:陈龙,博士生,研究方向为图像处理、机器视觉、智能车和智能交通系统。
E-mail:lchen@whu.edu.cn

HOG-LBP Adaptable Fused Features Based Method for Forbidden Traffic Signs Detection

CHEN Long^{1,3} PAN Zhimin^{1,2} MAO Qingzhou^{1,2} LI Qingquan^{4,1}

(1 Engineering Research Center for Spatio-temporal Data Smart Acquisition and Application, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 School of Electronic Information, Wuhan University, LuoJia Hill, Wuhan 430072, China)

(4 Shenzhen Key Laboratory of Spatial-temporal Smart Sensing and Services, 3688 Nanhai Avenue, Shenzhen 518060, China)

Abstract: This paper presents a novel approach of detecting forbidden traffic signs. In this approach, a HOG-LBP (histograms of oriented gradients-local binary patterns) adaptable fused feature is proposed. The traffic sign image is cut into several non-overlapping blocks, in each block, the HOG and LBP features are weighted serial fused based on each block's gradient value. Then to get classifier which is used in detecting forbidden traffic signs, SVM (support vector machine) is used in training features. The experimental results show that proposed fusion feature is more effective and feasible than HOG, LBP and simple serial fused HOG-LBP feature.

Key words: HOG-LBP fusion feature; traffic sign detection; intelligent vehicle

About the first author: CHEN Long, Ph. D candidate, majors in image processing, machine vision, intelligent vehicle and intelligent transportation system.

E-mail: lchen@whu.edu.cn