

# 基于 HOG 特征和机器学习的工程车辆检测<sup>①</sup>

张全发<sup>1,2</sup>, 蒲宝明<sup>2</sup>, 李天然<sup>3</sup>, 孙宏国<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院研究生院, 北京 100049)

<sup>2</sup>(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

<sup>3</sup>(南京师范大学 地理科学学院, 南京 210023)

**摘要:** 针对智能监控在露天矿区中的应用, 提出了一种在大场景、远距离、多角度的环境下自动识别工程车辆的算法. 该算法利用梯度方向直方图特征(HOG)作为图像描述, 并结合支持向量机(SVM)训练分类器的方法, 实现图像中工程车辆的检测. 为提高检测效率和准确度, 采用 Hough 变换直线检测的方法提取包含目标的区域. 实验表明, 算法能够在较大分辨率的复杂图像中识别出检测目标, 有较高的准确度, 对于实验中不同的环境具有较强的鲁棒性.

**关键词:** 车辆检测; 梯度方向直方图; 支持向量机; Hough 变换; 智能监控

## Vehicles Detection Based on Histograms of Oriented Gradients and Machine Learning

ZHANG Quan-Fa<sup>1,2</sup>, PU Bao-Ming<sup>2</sup>, LI Tian-Ran<sup>3</sup>, SUN Hong-Guo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>2</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

<sup>3</sup>(College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** We propose a vehicle detection algorithm for Intelligent Surveillance used in open pit area. The algorithm detects vehicle in the image using Histograms of Oriented Gradients features (HOG) as the image description, combined with support vector machine (SVM) classifier training. In order to improve the detection efficiency and accuracy, Hough transform line detection method to extract the region that contains the target to reduce the search range. The experiments show that the algorithm can be able to recognition the target in complex images, with high degree of accuracy, robustness for the different environments of the experiment.

**Key words:** vehicles detection; HOG; SVM; hough transform; intelligent surveillance

随着数字图像技术的不断发展, 计算机视觉已经应用在各个领域, 其中最为突出的是在智能交通和智能监控中的应用; 而目标检测是智能系统中最重要也是最基本的一步. 在现实的场景中往往以能够运动的人或车辆做为检测目标.

车辆的检测识别, 在智能交通系统中有较多的实例研究<sup>[3,4]</sup>, 大多以车辆的局部特征作为主要的识别标准<sup>[3]</sup>. 目前对于车辆的检测主要采用特征提取结合机器学习的方法, 方法主要针对特种环境下的车辆识别, 适应性较差. 文献[5]介绍一种基于类 Haar 和 AdaBoost 分类器的车辆识别算法, 算法应用在图像特种较明显的场景时才

能保证较高的准确率; 文献[6]采用基于 SIFT 的车辆检测算法, 主要应用在具有明显特种的图像中, 对大小和旋转变化有较好的适用性; 较为突出的是 HOG 特征结合 SVM 的方法<sup>[7]</sup>在车辆检测中的应用, 可应用于不同的场景中, 算法的不足是需要大量的运算.

露天矿区监控的主要检测目标是挖掘机等工程车辆, 而且监控范围较大, 距离较远. 根据这一特征, 我们选用对车辆进行整体描述的 HOG 特征结合线性的 SVM 训练分类器进行车辆的检测. 同时本文提出一种 Hough 变换直线检测提取目标区域的方法, 减小运算量, 提高准确度. 实验表明本文算法对现场图像进行

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-12-13;收到修改稿时间:2013-01-07

目标检测中,在正确率和速度方面都有较好的表现。

## 1 算法概述

算法主要包括两大模块,支持向量机的分类器训练模块和根据分类器对于目标的检测模块。其中对图像的描述采用方向梯度直方图(HOG)描述;为提高检测效率和准确度,首先对图像进行前期处理并采用 Hough 变换直线检测提取出包含目标的区域。算法的流程图如图 1 所示。

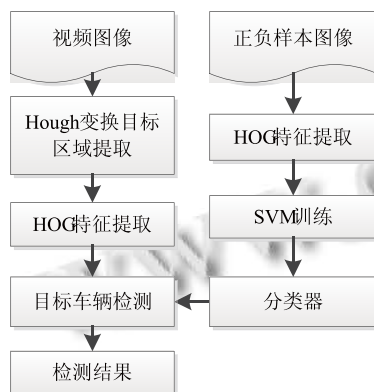


图 1 算法的流程图

## 2 基于Hough变换的目标区域提取

在大尺寸复杂环境的图像中检测目标,准确度和实时性很难保证。本文采用 Hough 变换直线检测的方法,在图像中提取出包含目标的子区域。在区域提取之前要对图像进行预处理,去除噪声;之后提取图像的边缘得到二值图像;对二值图像进行 Hough 变换直线检测,并找出连通直线的区域。

### 2.1 图像预处理

由于摄像机本身的不足和自然环境的复杂性,现场获取的图像包含有很多不利于目标检测的因素,我们统称为噪声。为减少噪声对检测结果的影响,在检测之前往往对图像做一些预处理操作。

常用的预处理包括,图像变换、图像增强和图像恢复。本文使用灰度变换,均值滤波和数学形态学的方法<sup>[8]</sup>突出目标的边缘信息。

### 2.2 Hough 变换直线检测

Hough 变换由 Paul 于 1962 年提出<sup>[9]</sup>,最初主要用于检测图像中的直线。主要思想是将图像中的一点变换到参数空间中的一条曲线或一个曲面,而具有同一参数特征的点经过变换后在参数空间中相交,通过判

断交点的积累程度来完成特征曲线的检测<sup>[10]</sup>。

对于图像空间 X-Y,共线的点(x,y)用方程描述为:

$$y = ax + b \quad (1)$$

其中 a 为直线的斜率, b 为截距,同时式(1)可以改写为

$$b = -ax + y \quad (2)$$

式(2)可以看作参数空间 A-B 中的一条直线方程,其中 x 为斜率, y 为截距。

从(1)与(2)可以看出,图像空间中的点(x,y)对应参数空间中的一条直线,而参数空间中的点(a,b)同样对应图像空间中一条直线。图像空间中一条直线上的不同点对应参数空间中的不同直线,形成了从图像空间到参数空间一对多的映射。如图 2 所示,(a)为图形空间中共线的点,(b)为参数空间对应于图形空间中的直线。



(a) 图像空间的点

(b) 参数空间中的直线

图 2 图像空间与参数空间映射关系

针对在 x-y 坐标系中垂直于 x 轴的直线斜率为无穷大的情况,本文使用 Duda 和 Hart 提出的直线极坐标方程<sup>[11]</sup>,将 x-y 坐标系映射到  $\theta$ - $\rho$  极坐标系

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3)$$

由式(3)可以看出图像空间(直角坐标系)中的一个点(x,y)对应参数空间(极坐标系)中的一条曲线,图像空间中共线的不同点映射到参数空间中的不同曲线相交于一点。对参数空间离散化,将  $\theta$ - $\rho$  参数平面量化为二维网格;其中  $-\pi \leq \theta \leq \pi$ ,  $R \leq \rho \leq R$  (R 为图像中点距离原点的最大值)。采用投票机制对于图像中的像素点(x,y)映射到  $\theta$ - $\rho$  坐标系中,计算不同  $\theta$  对应的  $\rho$  值并在对应的网格中投票。最后,对参数空间中二维网格求峰值,所得的峰值对应图像空间中的直线。

边缘检测有很多中方式,本文采用了最常用的自适应 Canny 算子。针对包含边缘的二值图像,采用 Hough 变换直线检测;并用矩形圈出直线连通的区域,工程车辆在背景图像中有明显的边缘,而且边缘之间存在交点;根据这一特性,可得出目标车辆一定存在于边缘直线连通的区域内。

### 3 目标检测

HOG 在人和物的检测中已得到广泛的应用, 采用 HOG 描述有很多的优点, 比如, 去光线干扰、降低维度、在更高层次上描述图像. 统计学习是机器学习中常用的方法, 而且对于具有一定特征的目标有较好的检测效果, 本文使用支持向量机训练线性分类器, 并使用得到的检测算子在目标区域中查找目标车辆.

#### 3.1 HOG 特征提取

梯度方向直方图(HOG)特征在 Lowe 提出 SIFT 特征<sup>[13]</sup>后得到了广泛的应用. 2005 年, Dalai 和 Triggs 在 SIFT 的基础上提出密集和相互重叠的特征描述方法对图像进行描述, 并结合 SVM 的分类器训练, 在人体检测中具有很高的正确率和鲁棒性<sup>[1]</sup>.

对于 HOG 特征的提取, 本文采用 Dalai 等<sup>[1]</sup>提出的方法. 首先计算图像中各像素的梯度(边缘)和方向. 将图像按空间位置以小块划分, 小块作为最小的单位称为细胞(cell), 每个小块包含  $8 \times 8$  的像素. 把梯度方向(无符号)  $0-180^\circ$  分为 9 个方向块, 每个方向块的范围为  $20^\circ$ ;  $8 \times 8$  像素梯度方向投影到 9 个方向块内, 形成 9 维的特征向量作为细胞的值. 投影是采用加权投票的方式, 这个权值是根据该像素点的梯度幅度计算出来. 大块(block)表示相邻的  $2 \times 2$  cell. 一个大块(block)中包含  $36(4 \times 9)$  维的特征向量, 其中相邻大块之间是相互重地的, 步长按照小块的大小行进. 以  $80 \times 80$  像素的图像为例, 根据步长为 8 个像素, 图像包含  $9 \times 9$  个大块, 转化为 HOG 特征描述为一个  $2916(9 \times 9 \times 36)$  维的向量.

为了提高性能, 在块内进行对比度归一化; 所采用的方法是: 先计算各直方图在这个区间(block)中的密度, 然后根据这个密度对区间中的各个细胞单元做归一化.

$$V \rightarrow V / \sqrt{\|V\|^2 + \varepsilon^2} \quad (4)$$

式(4)给出了归一化的方程式,  $V$  代表向量;  $\varepsilon$  为一较小的常数, 为了防止分母为零. 通过这个归一化后, 能对光照变化和阴影获得更好的效果.

HOG 的优点在于其表示的是边缘(梯度)的结构特征, 因此可以描述局部的形状信息, 对于大图像中的小目标的描述更准确; 位置和方向空间的量化一定程度上抑制平移和旋转带来的影响; 采取在局部区域归一化直方图, 可以部分抵消光照带来的影响. 本文的主要工作是在 HOG 特征描述的基础上展开的.

#### 3.2 分类器训练

传统的基于图像特征要素分析检测的方法, 由于其适应性较差, 正在被统计学习的方法所取代. 支持向量机(SVM)<sup>[2]</sup>作为机器学习中较热门的研究方法, 在解决小样本非线性及高维模式识别问题中具有许多特有的优势. 结合 HOG 的特征和检测速度的要求选用线性的 SVM 训练分类器.

样本的选取对于训练的结果具有决定性的作用, 有效样本的数量越大, 结果越接近真实情况. 考虑环境的差异行较大, 本文在监控现场截取了包含工程车辆(挖掘机)的图像, 转换为相同大小的图像集作为训练的正图像, 再选取一定数量没有目标车辆的图像作为负图像. 提取图像的 HOG 特征向量作为支持向量机的输入数据, 进行分类器训练, 得到分类器后将分类器转化为能直接用于图像检测的检测算子.  $80 \times 80$  像素的训练图像集合, 最后得到的检测算子将是一个 2917 维的向量, 可直接用于目标检测.

#### 3.3 区域内的目标检测

通过 Hough 变换直线检测得到的连通区域, 是离散的、大小不同的图像区域, 作为子图像. 根据车辆的实际尺寸和大小去除明显不符合要求的子图像, 得到粗略处理的子图像集.

采用检测算子在图像中进行目标检测, 首先对经过预处理后的图像提取 HOG 特征用于图像描述. 然后, 使用检测算子以滑动窗口的形式在图像中检测目标. 为减少重复运算、提高效率, 在提取 HOG 特征的计算中, 本文采用整体一次性计算的方式, 即一次性计算出所有子图像的 HOG 特征向量, 并保存. 此种方法只用到了一次的特征提取, 之后根据需要查找. 检测算子使用的是支持向量机训练的检测向量, 通过滑动窗口的形式对子图像进行目标检测.

训练样本图像和待检测的图像在提取 HOG 特征的时候需采用相同的参数才能保证一致性. 检测窗口的大小是由检测算子决定的, 区域子图像的至少能包含一个检测窗口才能进行比对. 不同尺度的目标检测采用放大检测算子的方法, 多次对图像进行扫描.

### 4 实验分析

检测速度和准确率是数字图像处理算法评测中两个较重要的标准, 实验主要针对本文算法在现场环境中此两项的结果进行评测.

实验环境: 硬件采用 AMD Athlon X2 主频 2.81GHz 的处理器, 2GB 内存. 软件平台使用的是微软 Windows XP 操作系统, 开发平台为 Microsoft Visual Studio; 同时程序在实现的过程中调用了 Opencv2.3 图像库中的函数.

实验步骤: 在监控现场的视频序列中提取图像作为图像源, 实验采用大小为  $640 \times 480$  像素的图像, 摄像机距离目标 240m; 在图像中截取包含挖掘机车辆的 230 张小图像, 并转换为  $80 \times 80$  像素的图像作为正样本, 同样截取 210 张不包含目标的小图像作为负图像. 为样本提取 HOG 特征, 作为线性 SVM 的输入, 通过 Opencv 函数库中给出的 SVM 训练得到分类器, 根据得到的参数转化成为检测算子的形式. HOG 特征提取参数我们选用 cell 为  $8 \times 8$ , block 为  $16 \times 16$ , 步长为  $8 \times 8$ , 最后得到检测算子为 2917 维的向量.

实验选取了两不同场景的 50 图像, 对算法进行测试, 对经过区域提取和直接检测两种方法进行了对比, 如图 3 所示给出采用本文的方法分步检测结果.

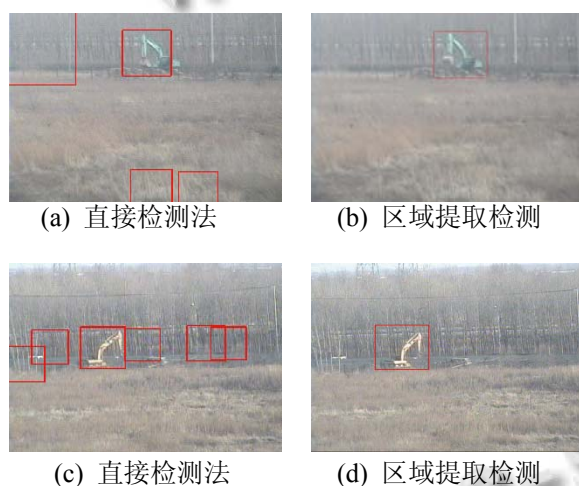


图 3 两种方法的检测结果对比

作为对比分别实现基于 Haar 和 AdaBoost 分类器检查算法、高斯背景区域提取算法、基于 HOG 和 SVM 直接检查算法; 表 1 给出了每种算法的结果.

表 1 直接检测和区域提取后检测的结果

检查算法	平均用时(ms)	正确率
Haar 特种检测	74	56.7%
HOG 特征直接检查	3387	61.7%
高斯背景区域提取	586	68.4%
本文算法	119	75.5%

根据图 3 和表 1 所示结果可以得出, 使用检测算

子直接对整幅图像进行检测, 不仅耗时长, 而且正确率较低; 采用本文算法, 先提取目标区域再进行目标检测有较好的效果. 在实验中发现, 增加相关环境样本的数量, 能够提高正确率.

## 5 结语

针对智能监控的实际应用, 本文提出一种基于 HOG 特征和支持向量机的算法; 为提高速度和准确率采用了 Hough 变换直线检测的方法, 首先提取出目标区域, 以减小检测范围. 根据本文算法, 训练出用于挖掘机检测的分类器; 并对实际的图像进行检测. 实验表明所提出的算法在保证正确率的情况下具有较快的速度. 为机器学习在智能监控中的应用提供了一个参照实例.

## 参考文献

- 1 Dalal T. Histogram of oriented gradient for human detection. Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005: 886-893.
- 2 Vapnik V. The nature of statistical learning theory. Springer Verlag, 1995.
- 3 黄灿. 基于局部特征的车辆识别[硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- 4 李波. 基于图像分析的车辆识别与跟踪若干关键技术研究[博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- 5 文学志, 方巍, 郑钰辉. 一种基于类 Haar 特征和改进 AdaBoost 分类器的车辆识别算法. 电子学报, 2011, 39(5): 1121-1126.
- 6 Dlagnekow L. Video-based car surveillance: license plate, make, and model recognition. San Diego: University of California at San Diego, 2005.
- 7 李修志, 吴键, 催志明, 陈建明. 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别算法. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 387-392.
- 8 林学闻, 王宏. 计算机视觉: 一种现代方法. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 9 Hough PVC. Method and means for Recognizing Complex Patterns. U.S. Patent. NO.3069654, 1962.2.
- 10 杨全银. 基于 Hough 变换的图像形状特征检测[硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2009.
- 11 Duda RO, Hart PE. Use of Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures, Graphics and Image Processing. Comm. ACM, 1972, 15: 11-15.
- 12 Lowe DG. Distinctive image features from scale invariant keyPoints. International Journal of Computer Vision, 2004, (6): 90-110.