

复杂背景下人体检测算法^①

孙宏国^{1,2}, 李天然³, 蒲宝明², 张全发^{1,2}, 王慧静^{1,2}

¹(中国科学院 研究生院, 北京 100049)

²(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

³(南京师范大学 地理科学学院, 南京 210023)

摘要: 静态图像的人体识别技术在实际视频监控场景中, 面临背景复杂、图像分辨率低、光照影响和噪声干扰等问题, 这些多变性以及可能发生的遮挡给单一图像中的人体识别技术提出了挑战. 设计和实现一种复杂背景下的人体检测算法, 基于 HOG 人体检测算法, 使用积分直方图计算 HOG 特征, 并用级联 SVM 分类器对样本进行训练. 实验结果表明, 该算法在复杂视频监控场景中进行人体检测比其它人体检测算法具有更高的准确率和更快的检测速度.

关键词: 视频监控; 人体检测; HOG; SVM

Human Detection Algorithm in Complex Background

SUN Hong-Guo¹, LI Tian-Ran³, PU Bao-Ming², ZHANG Quan-Fa^{1,2}, WANG Hui-Jing^{1,2}

¹(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

³(Nanjing Normal University, College of Geographical Science, Nanjing 210023, China)

Abstract: Human detection under static background may be not suitable to video surveillance which is of complex background, low resolution, small target and noise jamming. All these polytropes and possible occlusion that pose new challenges for us to recognize human after motion detection in single image. For this reason, this article design and implement an human detection algorithm using integral histogram instead of HOG under complex background based on HOG human detection algorithm. Then the cascade SVM is adopted in my experiment to train the sample. Experiment showed that the algorithm has higher precision and faster speed than other algorithm under video surveillance with complex background.

Key words: video surveillance; human detection; HOG; SVM

作为计算机视觉研究领域的重要组成部分, 人体检测研究具有广阔的应用前景与重要的理论研究意义, 其成果可广泛应用于智能视频监控、自动控制、人机交互和视频检索等系统中^[1]. 人体检测面临的难题主要有图像中人体姿态各异、面貌和服装各异、背景复杂、光照不均匀、遮挡以及人体尺寸各异等等^[2]. 比较经典的人体检测算法是 Dalal 等人^[3]提出的类 SIFT^[4](Scale-Invariance Feature Transform, SIFT)的基于方向梯度直方图(Histograms of Oriented Gradient,

HOG)描述子的人体检测算法, 它是一种性能优异的单一窗口人体检测方法. 本文考虑复杂背景的视频监控场景, 基于 HOG 算法, 设计和实现一种复杂背景下的人体检测算法. 实验表明, 本文算法可以提高复杂监控场景中人体检测的准确率, 并且具有较快的检测速度.

1 算法概述

本文基于 HOG 人体检测算法, 利用梯度方向积分

① 收稿时间:2012-09-26;收到修改稿时间:2012-11-18

图像替代梯度方向直方图来避免图像梯度的重复计算, 选取级联 SVM 分类器进行训练分类, 对于监控场景进行背景建模, 在准确提取运动目标后进行人体检测. 算法总体设计框架如图 1 所示. 人体检测和分类器训练部分在 2.1 及 2.2.2 节描述, 这是算法的核心部分; 运动检测、运动区域分割及校正部分在 2.2.1 节描述, 这是进行人体检测的基础; 2.3 节主要针对于复杂背景做一些必要的图像处理, 是算法不可缺少的部分.

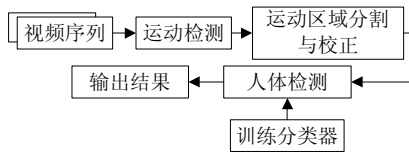


图 1 算法总体流程图

1.1 HOG 算法原理

HOG 人体检测算法如图 2 所示, 将每个检测窗口按照滑动方式均匀分块, 即图中的 Block, 相邻块间存在 1/2 的重叠区域, 则每个检测窗口有 105 个块, 每块包含 2×2 个相邻且不重叠的 cell. 计算每个 cell 内 9 个方向(无符号梯度空间范围 0~180°, 每 20° 划分一个方向)的方向梯度直方图(即 HOG, 本文用梯度方向积分直方图代替), 整个检测窗口共产生 3780 维向量, 最后将所有检测窗口产生的特征向量输入 SVM 进行人体与非人体的训练分类.

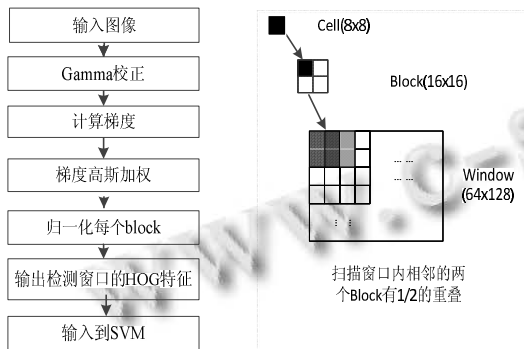


图 2 HOG 检测流程及示意图

1.2 积分直方图的计算方法

本文使用积分直方图替代方梯度方向直方图. Fatih Porikli^[5]提出了一种快速提取积分直方图的算法. 该算法利用数据点的空间布局, 从源点开始沿着给定的扫描线遍历剩余的点, 递归计算得到积分直方图. 其中每经过一个点, 更新当前 bin 的值, 最后通过简单

的计算可以获取任意目标区域的直方图. 对于一个的灰度图像, 在二维笛卡尔空间内, 从左上方开始的波前扫描可如公式(1)所示:

$$H(x_1, x_2, b) = H(x_1 - 1, x_2, b) + H(x_1, x_2 - 1, b) - H(x_1 - 1, x_2 - 1, b) + Q(f(x_1, x_2)) \quad (1)$$

扫描方式如图 3 所示. 黄色表示已遍历过的点, 对于每一步, 当前的 $H(x_1, x_2, b)$ 由 3 部分积分直方图的值 ($H(x_1 - 1, x_2, b)$, $H(x_1, x_2 - 1, b)$ 及 $H(x_1 - 1, x_2 - 1, b)$) 以及累加的 bin 值 ($Q(f(x_1, x_2))$, 图中紫色部分) 计算而得.

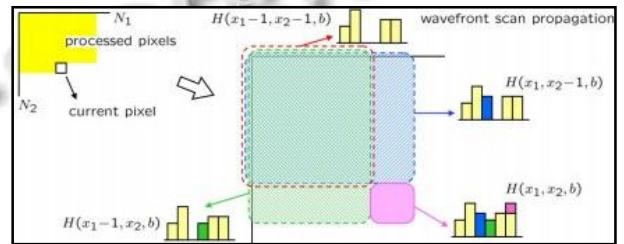


图 3 波前扫描计算积分直方图

2 算法设计与实现

2.1 训练分类器

基于分类的人体检测框架可以分成两个部分, 训练和检测. 通过训练可以创建一个二值分类器, 用于区分图像中的某个区域(或窗口)是否为所检测的目标. 再通过对测试图像中的检测区域进行密集的扫描, 并利用分类器对扫描结果进行决策. 最后将所有决策融合成最终的检测结果^[6].

SVM 分类器可以对人体与非人体进行有效的区分, 缺点是速度慢, 很难满足实际监控场景中实时需求. 因此本文使用级联 SVM 分类器. 具体训练过程如下^[7]:

①输入所需参数. 包括每级的特征参数(cell 的大小 $w_i \times h_i$ 和两类的权重 W_{pi} 、 W_{ni})、最低检测率 d_{min} 、级数 l 和误检率要求 f_{min} . 正样本集 \mathbf{P} 与负样本集 \mathbf{N} (不含人体的训练集).

②当级联数目 $i=0$, 初始化所有参数. 设置第 i 级的检测率为 $d_i=1$, 误检率为 $f_i=1$, 整个级联分类器的误检率为 $\hat{f}_i=1$.

③增加级联数目使 $i=i+1$, 计算该级参数. 根据当前级的参数 $w_i \times h_i$ 以及 W_{pi} 、 W_{ni} 训练生成 SVM 分类器, 调整阈值使检测率 d_i 满足 $d_i \geq d_{min}$, 在训练样本上测试第 i 级分类器的误检率 f_i .

④测试误检率 f_i 和级联分类器数目 i . 当前总共 i 级级联分类器的误检率为 $\hat{f}_i = \hat{f}_{i-1} \times f_i$, 若 $\hat{f}_i < \hat{f}_{\min}$ 或 $i \geq l$, 结束训练; 否则转到步骤③.

⑤清空负样本集, 扫描背景图像(不含人体的图像), 将识别错误的子图像进行聚类, 样本数目最多的一类作为负样本集, 回到③继续训练.

2.2 人体检测

人体检测阶段一般包含两个步骤: 运动区域分割和运动目标识别. 运动区域分割的目的是从图像中分离出可能包含运动人体的窗口区域, 用来做进一步验证, 以提高检测的速度. 运动目标识别是对得到的运动区域进行检测, 判断其中是否包含人体, 它的性能决定了整个算法的精度和鲁棒性^[8].

首先利用自适应的运动人体检测^[9]从视频序列中检测出运动目标, 然后选取合适的特征, 将计算后的特征向量输入训练好的分类器中, 进行人体与非人体的区分检测. 本文采用将运动人体动态信息与特征提取相结合的方式, 来提高计算速度.

2.2.1 运动区域分割

通过背景差分法确定运动目标所在的区域, 然后在该区域进行人体检测, 这样就避免了搜索全帧图像带来的低效率. 本文采用一种简单的自适应背景模型. 其主要思想是把前 100 帧图像的均值作为背景模型, 通过将当前帧分成多个互不重叠的宏块与背景图像对应区域做差, 对于当前帧第 k 块的更新策略如公式(2)所示:

$$B_k(x, y) = \begin{cases} B_k(x, y) & D_k(x, y) < \lambda \\ \alpha I_k(x, y) + (1 - \alpha) B_k(x, y) & D_k(x, y) \geq \lambda \end{cases} \quad (2)$$

其中 $B_k(x, y)$ 为背景帧第 k 块的像素值, $I_k(x, y)$ 为当前帧第 k 块的像素值, λ 为衡量当前帧和背景帧差的阈值, 根据实验获取, $D_k(x, y)$ 为当前帧与背景帧差. α 为学习率, 反映背景帧对变化的响应, α 越小, 背景帧对变化的响应越慢, 即前景的变化越不会影响背景, 反之相反. 当 n 超过 50 帧时, 可得到较稳定背景模型.

基于上述背景模型检测出运动目标后, 对运动目标进行形态学处理, 然后进行区域分割, 将面积小的除掉, 不完整的区域进行连接. 经过处理的区域作为运动区域进行目标识别和特征提取.

2.2.2 运动目标识别

对区域分割阶段得到的运动区域进行目标检测, 如果该区域小于计算积分直方图特征的检测窗口大

小, 进行放大处理, 算法流程如下:

①选取 128×64 的窗口, 计算积分直方图, 得到特征向量.

②将特征向量输入经过训练后的分类器, 分类器会输出检测结果: 有或者没有人体.

③变换区域分割阶段得到的区域尺度, 若所有尺度检测完毕, 则转到④, 否则返回步骤①.

④将检测到的人体用矩形框圈出, 显示至屏幕. 若没检测到人体, 则转入处理下一个分割区域, 直到所有分割区域都处理完毕.

2.3 复杂背景的处理方法

2.3.1 前景与背景灰度相近的处理

当前景与背景灰度相近时, 检测到的运动目标出现空洞. 在这种情况下, 定义如下函数^[10]:

$$\begin{cases} f(a, b) = 1 - \frac{2\sqrt{(a+1)+(b+1)} \cdot 2\sqrt{(256-a)+(256-b)}}{(a+1)+(b+1) \cdot (256-a)+(256-b)} \\ 0 \leq f(a, b) < 1, 0 \leq a(x, y), b(x, y) \leq 255 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $a(x, y)$ 为当前帧在 (x, y) 处的像素值, $b(x, y)$ 为背景帧在 (x, y) 处的像素值. 从函数 $f(a, b)$ 可以看出, 若 (x, y) 为背景点, 则 $f(a, b) = 0$, 且 $f(a, b)$ 呈分散分布特点; 若 (x, y) 为前景点, 则 $f(a, b) \geq 0$, 且 $f(a, b)$ 呈集中分布特点. 求出 $f(a, b)$ 集中分布的范围, 即为运动区域分布的范围, 对在运动区域分割阶段得到的运动区域做二值化处理时参考 $f(a, b)$ 分布的范围, 即可得到相对完整的区域, 然后再对该完整区域进行形态学处理以及区域校正处理.

2.3.2 光照不均匀处理

光照变化可分为光照的缓慢变化和快速变化. 在照度不均匀消除方法中, 仅仅考虑在一个域(空域或频)上进行不均匀照度消除, 必然会在另一个域上产生误差^[11]. 因此本文使用基于小波变换的照度不均匀消除技术, 它同时考虑了空域和频域的情况, 具有计算量少和误差小的优点. 算法流程图如下图所示:

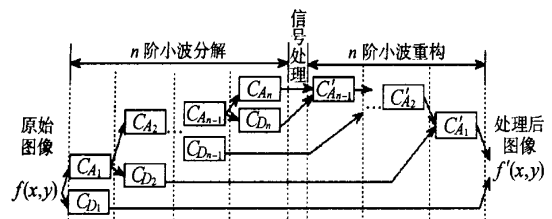


图 4 基于小波变换的不均匀照度校正流程图

对原图像 $f(x,y)$ 进行 n 次 ($n=5$) 小波分解, 对分解后的信号进行处理: 衰减近似分量, 增强细节分量, 如令 $C_n = 0$. 再对处理过的信号进行 n 阶小波重构, 最后得到照度校正后的图像 $f'(x,y)$. 采用该匀光技术的优点是经过匀光后的每张图像的光照 都比较均匀, 即不会出现明显的暗区与亮区, 缺点是实时性较差. 在光照不均匀的情况下, 可由监控人员手动选择该算法进行匀光处理, 以时间代价来换取检测效果.

3 实验分析

实验选取 INRIAPerson 数据集, 该数据集背景、光照、服饰、姿态等变化更加复杂, 检测难度更大, 训练集由 1208 张含人体的正样本图像, 以及 1218 张不含人体的负样本图像组成; 测试集由 288 张正样本图像和 453 张负样本图像组成. 对 INRIAPerson 数据集进行训练与检测后, 对收集的数据进行检测, 检测结果与 HOG 算法进行对比. 在 INRIAPerson 数据集的检测效果如图 5(a)所示.



图 5 INRIAPerson 数据集及收集数据集检测效果

收集的数据数据集具有分辨率低, 光照不均匀等特点. 经过本文算法中式(3)以及匀光处理后的前景与背景相减结果, 人体轮廓清晰完整, 为下一步运动区域的提取及分割奠定了基础. 图 5(b)含有叠加人体的干扰, (c)和(d)分别为直立、挖掘姿态. 检测效果如图 5(e)-(g)所示. 实验中, HOG 检测算法分别使用了线性核函数和 RBF 核函数的 SVM 分类器, 本文算法使用了级联 SVM 分类器, 并用积分直方图代替梯度直方图的计算. 将每窗口的误检率逐渐增大时, 本文算法(级联分类器)检测错误率要低于 HOG 算法(线性核函数的 SVM 分类器). 如图 6 所示:

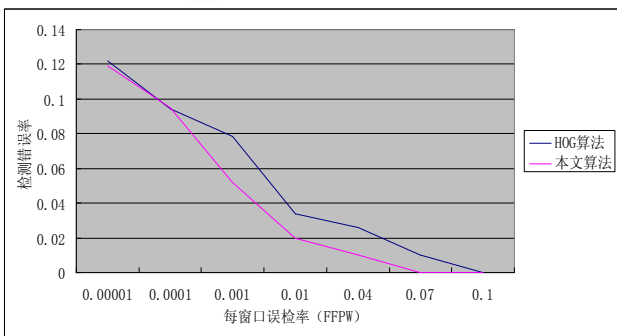


图 6 算法检测数据错误率比较

表 1 是使用 HOG 检测原算法和本文算法进行训练与检测后的数据对比. 对比的内容包括图像的平均检测时间以及在 10-4FPPW(false positive per window)条件下的检测正确率. 可以看出, 从检测结果以及检测时间上, 本文算法都优于前者. 其中在检测时间上, 本文算法最快可达到 27.342ms 一帧, 最慢为 99.727ms 一帧. 在同样分辨率的情况, 本文算法优于 HOG 算法. 算法的不足是, 随着运动目标的静止而最终融入背景, 结合运动信息检测算法将失效, 而基于静态图像的 HOG 检测算法将发挥很大的优势.

表 1 人体检测算法对比

效率比较		HOG 算法 ^[2]	本文算法
平均检测时间	线性-SVM 分类器	563.443ms	---
	RBF-SVM 分类器	549.620ms	---
	级联-SVM 分类器	---	56.816ms
正确率	INRIAPerson 数据	87.8%	88.3%
	收集数据	76.64%	85.47%

4 结语

本文介绍了 HOG 人体检测算法, 并针对 HOG 算法的不足, 利用梯度方向积分图替代梯度方向直方图来避免图像梯度的重复计算, 选取级联 SVM 分类器进行训练分类, 以用于复杂背景下的人体检测. 本文评测了不同分类器下的人体检测算法的性能; 结合运动信息显著提升了检测算法的性能. 经过合理的算法组合后, 算法对于复杂背景的鲁棒性更好, 检测的准确率也有显著的提高. 遮挡鲁棒的以及适应不同姿态的人体检测算法是下一步研究的重点.

参考文献

- 1 Poppe R. A survey on vision-based human action recognition. Image and Vision Computing, Elsevier B.V., 2010,28(6):976-990.
- 2 Dalal N. Finding People in Images and Videos[Ph.D. Thesis]. France: the French National Institute for Research in Computer Science and Control, 2006.
- 3 Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego, CA, June 20-25, 2005.
- 4 Lowe DG. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.

(下转第 120 页)

实现相贯曲线轨迹和速度的控制. 控制系统提供了友好的人机交互, 可以在焊接过程中对焊接工艺参数(焊接电流、焊接电压、焊接速度)进行微调. 采用软件和硬件相结合的二级插补算法, 所需原始数据少、算法简单、插补精度高, 便于控制进给速度, 能够节约插补运算所需的时间.

3 结语

本文通过构建空间相贯曲线方程, 采用两级插补算法, 实现了相贯曲线的精确轨迹控制和加工速度控制. 实验仿真结果验证了算法的轨迹控制准确性和速度控制稳定性, 具有广泛的应用前景.

参考文献

- 1 Gao YF, Zhang H, Mao ZW. Coordinate control of broken-line welding seam tracking for wheeled robot. *Trans. of the China Welding Institution*, 2008,29(5):33-37.
- 2 吕燕. 马鞍型曲线焊枪位姿数控系统的研究与开发. 济南: 山东大学, 2009.
- 3 宋金虎. 我国焊接机器人的应用与研究现状. *电焊机*, 2009, 39(4):18-20.
- 4 万忠华, 卫国强, 于福鑫. 低成本仿形自动焊接机的研制. *机电工程技术*, 2010, (1):46-48.
- 5 Kong M, Lin T, Chen SB. Present situation and recent development of intelligent robot welding technology. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2008(8):40-43.
- 6 李爱国, 王文标, 吴德烽. 柔性再制造测量机器人建模. *大连海事大学学报*, 2010, 36(3):72-75.
- 7 金建新. 机床 CNC 系统中任意空间曲线的可控步长插补方法. *机械工程学报*, 2000, 36(4):95-97.
- 8 郭义杰, 项占琴. 多面形非圆曲面数控磨削加工实时插补方法研究. *中国机械工程*, 2004, 15(8):728-730.
- 9 Park J, Nam S, Yang MY. Development of a real-time trajectory generator for NURBS interpolation based on the two-stage interpolation method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, 26(4):359-365.
- 10 Zhang XH, Yu D, Hong HT, ed. Research on Smooth Compression Interpolation Algorithm in CNC Machining. *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 47(5): 156-169.
- 11 张忠厚, 李文娟, 刘强. 锅炉封头相贯线接缝自动焊机的研制. *焊接学报*, 1999, 20(12):114-118.
- 12 邓东芳. 用形数结合的方法求作正交椭球与椭圆锥相贯线的投影. *武汉科技大学学报*, 2000, 23(2):150-152.
- 13 李树揖. 异径圆管相贯线数学模型的建立与应用. *起重运输机械*, 2005, 2(7):51-52.
- 14 霍孟友, 王新刚, 尹萍. 自动焊接相贯线接缝的实时插补控制算法与仿真. *焊接学报*, 2006, 27(11):37-40.
- 15 王攀峰. 相贯线切割机器人作业单元关键技术研究. 天津: 天津大学, 2008.
- 16 Yan L, Xincheng T, Qing X & P Bo. Four-axis interpolation algorithm for saddle type curve automated welding. *Trans China Welding Instn*, 2009, 30:81-84.
- 17 Li HT, Tian XC. A Novel CNC Interpolation Algorithm for Saddle Curve. *Advanced Materials Research*, 2011, 219-220: 239-242.
- 18 Yi XL, Tian XC. A Novel Trajectory Control Algorithm for Intersection Seam Automated Welding. *Advanced Materials Research*, 2011, 219-220:284-287.
- 19 Tian XC, Deng XH. Curve Fitting Approach of Saddle-Shaped Curve for Automated Welding/Cutting. *Advanced Materials Research*, 2011, 211-212:935-938.
- 5 Porikli F. Integral Histogram: A Fast Way to Extract Histograms in Cartesian Spaces. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005, 1(2):829-836.
- 6 周柯. 基于 HOG 特征的图像人体检测技术的研究与实现. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- 7 李同治, 丁小青, 王先进. 利用级联 SVM 的人体检测方法. *中国图像图形学报*, 2008, 13(3):566-570.
- 8 程广涛, 陈雪, 郭照庄. 基于 HOG 特征行人视觉检测方法. *传感器与微系统*, 2011, 30(7):68-71.
- 9 卢岩, 戴明, 姜磊, 李仕. 自适应人体运动目标精检测. *计算机系统应用*, 2011, 20(5):162-166.
- 10 Wang JYA, Adelson EH. Representing moving images with layers. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1994, 3(5):625-638.
- 11 徐春广, 郑军, 肖定国, 理华, 黄卉. 数字图像中照度不均匀校正技术研究. *北京理工大学学报*, 2003, 23(3):285-290.

(上接 137 页)