

适用于遮挡车辆检测的子块带权模板匹配方法^{*}

李璟, 刘怀愚[†], 洪留荣

(淮北师范大学 计算机科学与技术学院, 安徽 淮北 235000)

摘要: 针对多车辆跟踪过程中的遮挡问题, 提出一种基于梯度方向直方图的子块带权模板匹配方法。该方法先对目标分块, 并提取每块的梯度方向直方图, 然后利用核函数为各块赋予不同权值, 并采用子块带权特征匹配度量方法计算目标模型与搜索窗的匹配度, 进而获取最佳匹配。最后将该方法应用于多车辆跟踪过程中的遮挡车辆跟踪与检测。实验表明, 该方法具有良好的精确度和鲁棒性。

关键词: 梯度方向直方图; 模板匹配; 遮挡; 车辆检测; 智能交通

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)07-2751-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.096

Subblock-weighted template matching method applied to overlapped vehicle detection

LI Jing, LIU Huai-yu[†], HONG Liu-rong

(School of Computer Science & Technology, Huaibei Normal University, Huaibei Anhui 235000, China)

Abstract: To solve the occlusion problem in tracking of multiple vehicles, this paper proposed a subblock-weighted template matching method based on histograms of oriented gradients, which first divided the object into blocks and extracted histograms of oriented gradients for each block. By weighting different blocks into different grades using kernel function, this method calculated the similarity between the target model and the searching window based on the subblock-weighted feature matching degree measurement method, hereby, obtained the best matching region with the maximum calculation result. Finally, this paper used this method to tracking of the overlapped vehicle in multi-vehicle tracking process. The experiment result shows that this method embodies higher accuracy and robustness.

Key words: histograms of oriented gradients; template matching; occlusion; vehicle detection; intelligent transportation

0 引言

基于视频的车辆检测与跟踪是目前智能交通系统中的研究热点之一。在研究过程中发现, 会有多种因素影响检测与跟踪的准确性, 车辆间的相互遮挡便是其中的一个重要因素。对遮挡车辆的检测就是不断获取目标车辆在下一帧图像中的对应信息, 目前主要有基于特征匹配和基于运动状态估计两种方法。基于特征匹配的方法是利用运动目标的颜色、边缘、角点、梯度方向直方图、面积等信息^[1-4], 采用局部特征匹配、全局特征匹配或加权特征匹配的方法在图像中搜索与上一帧目标车辆匹配的区域; 运动估计方法如 Kalman 滤波器方法等^[5]是通过预测目标的速度、面积变化、加速度等信息估计目标在下一帧的位置。

本文提出了一种新的基于梯度方向直方图的模板匹配方法。该方法将目标模板分块, 提取各子块的梯度方向直方图作为特征, 并采用核加权的方法为中心区域子块赋予较高权值, 为边缘子块赋予较低权值, 利用子块带权特征匹配度量方法计算出搜索窗与目标模板的相似程度, 从而实现匹配。实验结

果表明, 将该方法用于基于数据关联矩阵的多车辆跟踪过程中, 可以较好地实现对遮挡目标的检测与跟踪。

1 分块梯度方向直方图的模板匹配

1.1 分块梯度方向直方图

梯度方向直方图描述的是区域内各像素点的灰度梯度幅值在各梯度方向区间上的统计特征。与颜色、形状和纹理特征相比, 梯度方向直方图对光照条件变化和局部形变具有一定鲁棒性。为了能够实现部分遮挡情况下的目标匹配, 本文采用区域分块的方法, 对目标区域的每一子块分别提取梯度方向直方图, 为保证特征尺度不变性, 子块大小与目标区域大小成正比。

设目标区域为 L , 首先将 L 划分为 $k \times k$ 个子块, 然后对每个子块的各像素分别求梯度幅值和梯度方向。将图像在坐标 (x, y) 处的像素灰度值记为 $L(x, y)$, 则坐标 (x, y) 处的梯度幅值和梯度方向公式分别为

$$\begin{aligned} p(x, y) &= [(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + \\ &\quad (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2]^{1/2} \\ \theta(x, y) &= \text{atan}[(L(x, y+1) - L(x, y-1)) / \end{aligned} \quad (1)$$

收稿日期: 2011-12-26; 修回日期: 2012-02-05 基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金资助项目(KJ2011B142, KJ2011A251, KJ2011Z330)

作者简介: 李璟(1979-), 女, 安徽蒙城人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为数字图像处理; 刘怀愚(1979-), 男(通信作者), 安徽淮北人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为数字图像处理(hbant@163.com); 洪留荣(1969-), 男, 安徽宿松人, 副教授, 硕士, 博士, 主要研究方向为模式识别与图像处理。

$$(L(x+1, y) - L(x-1, y)) \quad (2)$$

其中: $\theta(x, y)$ 的取值范围为 $[0, 2\pi]$ 。

将梯度方向平均分成 U 个梯度方向区间, 以像素点的梯度方向作为分量, 以梯度幅值作为量化值, 建立各子块的梯度方向直方图。将各子块的梯度方向直方图记为 $q^v = [q_1^v, \dots, q_u^v, \dots, q_U^v]$, 其中 v 为子块编号, 每个分量 q_u^v 表示第 v 个子块的梯度直方图在第 u 个梯度方向区间的取值。 q_u^v 的计算式为

$$q_u^v = Q^v \sum_{i=1}^n p(X_i) \delta[o(X_i) - u] \quad (3)$$

$$Q^v = \left(\sum_{i=1}^n p(X_i) \right)^{-1} \quad (4)$$

其中: n 为子块中像素点个数; X_i 为子块中第 i 个像素点的坐标, 即 $X_i = [x_i, y_i]$; $\delta(\cdot)$ 为 Kronecker Delta 函数; $p(X_i)$ 为式(1)所示的梯度幅值函数; $o(X_i)$ 是利用式(2)求得的梯度方向 $\theta(X_i)$ 对应的梯度方向区间号; Q^v 为直方图的归一化系数。

1.2 子块带权特征匹配度

在模板匹配算法中, 判定目标模板与搜索窗口之间的特征匹配程度是模板匹配算法的重要步骤, 目前常用的特征匹配方法有欧式距离法和最大距离近邻法(maximum close distance, MCD)。欧式距离法用目标模板和搜索窗口内所有特征点的欧氏距离之和衡量特征匹配程度, 不适用于遮挡情况下的特征匹配; 而最大距离近邻法用目标模板与搜索窗口的相似特征点个数比例(匹配完整度)衡量特征匹配程度, 并未考虑相似特征点之间的相似程度。

本文结合欧式距离法与最大距离近邻法的优点, 提出一种子块带权特征匹配度量方法。该方法在对目标模板和搜索窗进行分块的基础上, 利用匹配完整度与匹配区域归一化欧式距离加权的方法计算特征匹配度。为了降低目标模板和搜索窗边界噪声的影响, 利用高斯核函数为每一个子块赋予不同的权值, 使得中心区域的各子块权值较大, 而边缘区域的各子块权值较小。该方法既能显著降低遮挡造成的匹配误差, 又充分考虑了目标模板与搜索窗之间的特征相似程度。

设目标模板为 T , 搜索窗为 S , 将目标模板和搜索窗按相同的方法分为 $k \times k$ 个子块, 则 $T = \{t^v | v = 1, \dots, k \times k\}$, $S = \{s^v | v = 1, \dots, k \times k\}$, 其中 t^v 和 s^v 分别为 T 和 S 的特征向量。目标模板与搜索窗的子块带权特征匹配度定义为

$$\text{sim}(T, S) = w_1 \frac{|G|}{|H|} + w_2 (1 - \text{Ssd}(T, S)) \quad (5)$$

其中:

$$|G| = \sum_{v=1}^{k \times k} R(t^v, s^v) \quad (6)$$

$$R(t^v, s^v) = \begin{cases} k \left(\frac{\|X_v - X_0\|}{h} \right) & \text{if } D(t^v, s^v) < \theta \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$|H| = \sum_{v=1}^{k \times k} k \left(\frac{\|X_v - X_0\|}{h} \right) \quad (8)$$

$$\text{Ssd}(T, S) = \frac{1}{C} \sum_{v \in G} k \left(\frac{\|X_v - X_0\|}{h} \right) D(t^v, s^v) \quad (9)$$

其中, w_1, w_2 分别为赋予匹配完整度和匹配区域归一化欧式距离的权值; G 是目标模板和搜索窗中对应子块的特征向量欧氏距离小于阈值 θ 的子块集合, $|G|$ 是该集合中的子块数目加权和; H 是目标模板中子块的集合, $|H|$ 是该集合中子块数目加权和; $D(t^v, s^v)$ 为目标模板子块 t^v 与搜索窗子块 s^v 的欧氏距离; $k(\cdot)$ 为高斯核函数, 其尺度为 h ; X_v 为第 v 个子块的中心位置坐标, 即 $X_v = [x_v, y_v]$; X_0 为目标模板/搜索窗的中心位置

坐标, 即 $X_0 = [x_0, y_0]$; C 为归一化系数, 其取值与特征向量中特征的取值和特征数有关。

式(5)为两项的加权和, 其中第一项是相似子块加权数目与所有子块加权数目的比例, 反映的是匹配完整度; 第二项是相似子块的归一化欧式距离加权和, 反映相似子块的相似程度。

1.3 基于梯度方向直方图子块带权模板匹配方法

基于梯度方向直方图子块带权模板匹配就是以梯度方向直方图作为特征, 以子块带权特征匹配度为匹配度量方法, 在待检测区域内查找与目标模板最佳匹配的搜索窗, 其匹配方法如下:

a) 将目标模板分为 $k \times k$ 个子块, 并利用式(3)(4)计算出各子块的梯度方向直方图, 记为 $\text{HOG}_T = \{t^v | v = 1, \dots, k \times k\}$ 。

b) 从待检测区域左上角开始, 以从左到右、自上而下的顺序按步长 step 逐个提取与目标模板大小相等的搜索窗, 并进行以下操作:

(a) 利用式(3)(4)计算搜索窗各子块的梯度方向直方图特征, 记为 $\text{HOG}_{S_i} = \{s_i^v | v = 1, \dots, k \times k\}$ 。

(b) 利用式(5)计算 HOG_T 与 HOG_{S_i} 的子块带权特征匹配度 $\text{sim}(\text{HOG}_T, \text{HOG}_{S_i})$ 。

c) 取与目标模板匹配度最大的搜索窗为目标模板的最佳匹配。

2 遮挡情况下的车辆检测方法

为验证上述算法的有效性, 本文在基于数据关联矩阵的多目标跟踪算法^[6]中引入上述的子块带权模板匹配方法进行遮挡和粘连车辆的匹配与分割。由于基于数据关联矩阵的多目标跟踪算法不是本文的主要研究内容, 因此下面给出的算法步骤中并未对其进行展开介绍。

a) 采用改进的道路背景提取和更新算法^[7]进行道路背景生成与更新。为了降低车辆阴影对检测效果的影响, 提高运动目标区域提取的精度, 采用基于多特征融合的运动车辆阴影消除方法^[8]消除运动目标阴影, 获取运动目标区域。为方便表述, 将当前帧获取的运动目标区域记为 $C = \{C_i | i = 1, \dots, N\}$, 前一帧获取的运动目标区域记为 $P' = \{P'_j | j = 1, \dots, M\}$, 将通过 Kalman 滤波得到的当前帧运动目标预测区域记为 $P = \{P_j | j = 1, \dots, M\}$ 。

b) 建立运动目标预测区域 P 与当前帧运动目标区域 C 的匹配矩阵 $T = \{T_{mn} | m = 1, \dots, M; n = 1, \dots, N\}$, 矩阵 T 的元素 T_{mn} 用于存储预测区域 P_m 与当前帧运动目标区域 C_n 的匹配度。

c) 将预测区域 P 与当前帧运动目标区域 C 中各区域的面积、形变代价参数以及它们之间的中心距离等参数代入匹配代价函数, 求出匹配度并填入匹配矩阵 T 。

d) 按行、列分别遍历矩阵 T , 并根据不同的匹配情况分别作出如下处理:

(a) 当一个预测区域与零个当前帧运动目标区域匹配时, 根据预测区域在图像中的位置, 将对应的运动目标区域记为暂时丢失或离开场景。

(b) 当一个当前帧运动目标区域与零个预测区域匹配时, 将该当前帧运动目标区域记为新增目标区域。

(c) 当一个预测区域与一个当前帧运动目标区域匹配时,

记为成功匹配,并用当前帧运动目标区域更新对应运动目标区域。

(d) 当一个预测区域与多个当前帧运动目标区域匹配时,视为背景遮挡造成的运动目标区域分裂。将这些当前帧运动目标区域合并,并利用合并后的区域信息更新对应运动目标区域的信息。

(e) 当多个预测区域与同一个当前帧运动目标区域匹配时,视为发生了多目标遮挡和粘连。此时以每个预测区域对应的运动目标区域为目标模板,以当前帧运动目标区域为搜索区域,采用本文提出的子块带权模板匹配方法进行遮挡和粘连车辆的匹配与分割。

3 实验和结果分析

为了将本文算法与文献[2,3]的算法进行对比分析,采用 Intel Core 2 1.66 GHz 的处理器,2 GB 内存的计算机系统,在 OpenCV & VC++ 环境下编程实现算法,测试视频选取一段在晴天环境下拍摄的道路车辆视频序列,视频图像大小为 252×189 。

在视频的第 20~40 帧有一辆车通过一段建筑物阴影区域,图 1 为各种算法对视频序列第 20~40 帧的检测结果。由检测结果可知,由于本文和文献[2]的算法均采用梯度方向直方图作为运动目标区域的特征,因此对光照条件变化的适应性较好,检测结果不受光照和阴影的影响。而文献[3]采用灰度直方图作为运动目标区域的特征,当检测目标的光照条件发生较大变化时,目标区域的灰度直方图特征也会产生较大变化,因此造成了 30 帧时的检测误差和 40 帧时的目标丢失。

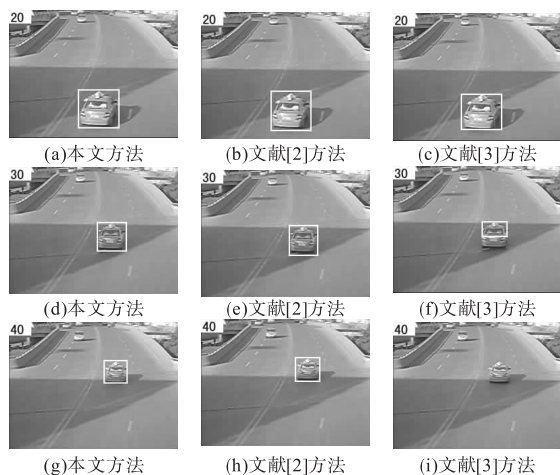


图1 光照条件变化时的检测结果

在视频的第 380~430 帧存在车辆相互遮挡的情况,图 2 为各种算法对视频序列第 380~430 帧的检测结果(为使图像显示更清楚,图 2 中第 430 帧的图像是放大的局部图像)。在第 380 帧时,还未出现运动目标的相互遮挡,此时各算法的检测效果良好;在第 410 帧时,两运动目标虽然出现了小范围的遮挡,但并未对各算法产生太大的影响,各算法的检测效果良好;在第 430 帧时,两运动目标出现较大范围的遮挡,且其灰度因环境影响也发生了一些变化,此时本文的方法依然能够准确地进行运动目标的检测和分割,而文献[2,3]的方法均出现了被遮挡车辆丢失的情况。

通过上述实验可知,本文方法和文献[2]的方法对光照条件鲁棒性较好,而文献[3]的方法受外界环境影响较大,当光

照条件发生变化时容易产生较大误差甚至目标丢失。三种方法在运动目标出现小范围遮挡时均能正确地进行检测,当遮挡范围较大时,本文方法结合基于数据关联矩阵的多目标跟踪算法依然能正确检测被遮挡的运动目标,而文献[2,3]的方法均出现了漏检。另外,本文的方法是在分块的基础上为不同块赋予不同权值,块内各像素点权值相同,而文献[2]的方法则是各块权值相同,块内利用高斯核函数加权对各像素点赋予不同的权值,因此文献[2]方法的时间复杂度较大,本文方法每帧的平均处理时间为 27.6 ms,而文献[2]方法每帧的平均处理时间为 36.8 ms。

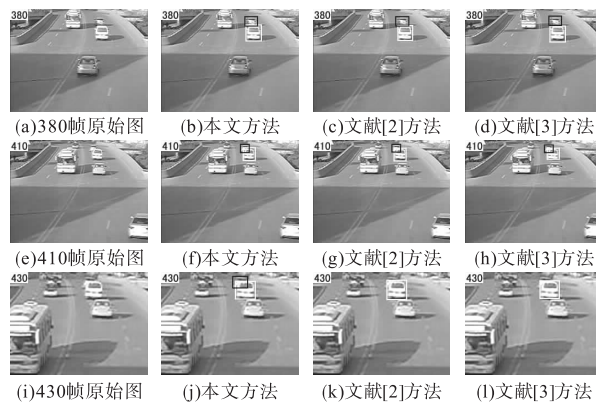


图2 存在遮挡时的检测结果

4 结束语

在运动目标检测的过程中,遮挡往往造成检测结果出现误差甚至漏检。本文在基于数据关联矩阵的多目标跟踪过程中引入基于梯度方向直方图的子块带权模板匹配方法进行遮挡目标的检测。该方法采用梯度方向直方图作为运动目标的特征,使得算法对光照条件变化具有良好的鲁棒性。在分块的基础上通过为每块赋予不同的权值,并结合子块带权特征匹配度量方法,既避免了遮挡造成的匹配误差,又充分考虑了目标模板与搜索窗之间的特征相似程度。实验表明,使用该方法进行遮挡目标检测效果良好。

参考文献:

- [1] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//Proc of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005:886-893.
- [2] 贾慧星,章毓晋. 基于梯度方向直方图特征的多核跟踪[J]. 自动化学报, 2009, 35(10): 1283-1289.
- [3] 徐萧萧,王智灵,吴亮,等. 多物体遮挡情况下的视觉跟踪算法[J]. 控制与决策, 2010, 25(2): 291-294.
- [4] 马增强,杨绍普,马新娜. 一种改进的基于轮廓特征拐点的遮挡车辆分离方法[J]. 北京交通大学学报, 2010, 22(4): 64-68.
- [5] VEERARAGHAVAN H, SCHRATER P, PAPANIKOLOPOULOS N. Switching Kalman filter-based approach for tracking and event detection at traffic intersection[C]//Proc of IEEE International Symposium on Intelligent Control. 2005:1167-1172.
- [6] 汤义,刘伟铭,柏柯嘉. 基于数据关联矩阵的多目标跟踪算法[J]. 计算机工程, 2010, 34(5): 158-161.
- [7] 李璟,刘怀恩,洪留荣. 改进的道路背景提取和更新算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(5): 1266-1267.
- [8] 刘怀恩,李璟,洪留荣. 基于多特征融合的运动车辆阴影消除方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(13): 156-159.