

多特征融合匹配的多目标跟踪

闫辉,许廷发*,吴青青,徐磊,吴威

(北京理工大学光电学院光电成像技术与系统教育部重点实验室,北京100081)

摘要:针对复杂背景的视频图像多目标跟踪遮挡问题,提出了一种多特征融合匹配的多目标跟踪方法。基于自适应高斯混合背景模型重构和更新背景策略,实现当前帧背景减除和多目标检测;采用目标的颜色特征、质心位置、运动速度等特征进行融合匹配跟踪;最后,通过区域辅助判定策略将场景下的目标状态分为目标进入场景、目标退出场景、目标暂消、目标重现、目标融合和分裂5种状态,用质心预测方法和遮挡因子辅助匹配来提高匹配正确率。仿真实验结果表明:采用该方法跟踪同一目标和不同目标的相似度平均值分别为0.949 71和0.505 73,优于单一颜色特征信息匹配;目标遮挡结束后重新匹配相似度为0.972 83,实现了复杂背景下具有表面相似性的多目标实时跟踪。

关键词:多目标跟踪;高斯模型;多特征融合;质心预测;遮挡因子

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/CO.20130602.0163

Multi-object tracking based on multi-feature joint matching

YAN Hui, XU Ting-fa*, WU Qing-qing, XU Lei, WU Wei

(Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System of the Ministry of Education,
School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

* Corresponding author, E-mail: ciom_xtf1@bit.edu.cn

Abstract: In order to solve the occlusion problem in multi-object tracking for the complex background of a video image, an approach for the multi-object tracking based on multi-feature joint matching is presented. First, the adaptive Gaussian mixture background model is used for reconstructing and updating the background to achieve the background subtraction of current frame and multi-object detection. Then, the joint matching tracking is developed based on matching color characteristics, positions and objects velocities. Finally, the objects in the scene are divided into entering, exiting, temporarily disappear of the object, the re-emergence of the object and the merge and split of the object, and the predicted position and the occlusion factor of the object are used to improve the accuracy of multi-feature joint matching. Experimental results indicate that the similarities of the same object and the different objects are 0.949 71 and 0.505 73 respectively in the tracking with the proposed approach, which is better than that of matching with the color characteristics. Furthermore, the similarity of object is 0.972 83 after occlusion. The approach is satisfactory for real-time tracking of multi-object with appearance similarity in a complex environment.

Key words: multi-subject tracking; Gaussian background model; multi-feature joint matching; predicted position; occlusion factor

收稿日期:2012-11-17;修订日期:2013-01-13

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(科学仪器专项)(No. 61027002);国家973重点基础研究发展计划资助项目(No. 2009CB72400603);国家自然科学基金资助项目(No. 60972100)

1 引言

视频图像多目标跟踪在计算机视觉领域应用广泛,如视频监控、交通监控、客流量统计等^[1-3],目前对其展开的相应研究也较多。当背景较为简单,目标之间不存在严重遮挡等情况下,多目标跟踪可以取得较为理想的效果。但是在一些较为复杂和拥挤的环境下,目标表面的相似性、目标间的相互遮挡、目标的频繁消失和重现等都给视频多目标跟踪带来了很大困难。基于特征的跟踪算法在处理目标遮挡和多目标跟踪问题时具有良好的跟踪效果^[4-5],将多运动目标检测的思想引入多目标跟踪,结合多目标检测结果和目标的特征信息进行多目标的特征匹配跟踪不失为一种较好的思路,但是,单一特征对环境适应性较弱,受环境变化影响较大,不利于进行鲁棒跟踪,因此可以考虑采用多个特征进行匹配跟踪^[6-8]。

本文对视频图像进行多个运动目标的检测,采用目标的颜色特征、质心位置、运动速度进行融合匹配。对场景下的目标状态采用区域辅助判定方法,分为目标进入场景、目标退出场景、目标暂消、目标重新出现、目标融合和分裂5种状态,针对目标的暂消和重现以及目标的融合和分裂问题,采用质心预测和遮挡因子辅助匹配方法来提高匹配正确率。

2 自适应高斯模型的多目标检测

自适应背景混合模型的方法具有较好的鲁棒性和较小的计算量,本文采用自适应高斯混合背景模型来重构和更新背景^[9]。

利用建立的背景模型对每帧图像进行处理,得到包含多个前景目标的二值图像,对其采用金字塔方法进行图像分割,得到多个前景目标,即分割出的运动目标。

经过分割之后,获得的二值图像包含多个运动目标,反映在图像中就是图像中含有多个不连通的子区域,在此基础上,进行一系列的图像预处理,对图像进行平滑、膨胀、腐蚀等形态学处理以及联通区域分析,得到预处理后的运动目标。

在预处理的工程中,一些较大的图像噪声会被作为目标统计进来,为了得到更为准确的结果,要进行筛选判定,根据实际需要为目标区域面积设定一个阈值 T ,计算每个被视为目标区域的面积 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$,并规定:

$$O = \begin{cases} \text{目标}, S_n \geq T \\ \text{噪声}, S_n < T \end{cases} \quad (1)$$

将面积较小的区域当作噪声予以剔除,剩下的区域作为目标按照自上而下、从左到右进行标记识别并保存。

3 多特征匹配的多目标跟踪

3.1 跟踪过程中事件类型判定

在多目标跟踪过程中,固定遮挡物或者目标间的遮挡会使目标暂时消失和重新出现,目标数目的变化给稳定跟踪带来了很大困难。为了解决这一问题,本文采用区域辅助判定法确立跟踪过程中的事件判定原则。

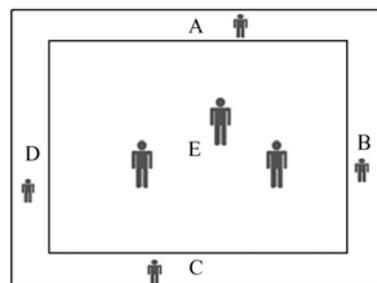


图1 跟踪场景区域划分

Fig. 1 Zoning in the tracking scene

如图1所示,对跟踪场景划分区域,绝大部分目标会从A、B、C、D 4个区域进入或者退出场景,因此将这4个区域定义为缓冲区,将中间区域E定义为跟踪区(缓冲区和跟踪区大小可以根据实际情况自己划定)。将跟踪过程中事件判定原则定义如下:

(1) 目标出现:第 i 帧图像中,在缓冲区出现的目标,认为目标进入场景。

(2) 目标消失:第 i 帧图像中,在缓冲区消失的目标,认为目标退出场景。

(3) 目标重现:在跟踪区域检测到的新目标,

认为旧目标重现。

(4) 目标暂消:在第 i 帧图像中,在跟踪区消失的目标,由于失检测或者遮挡暂时失去跟踪,并没有退出场景,认为目标的暂消。

(5) 目标融合和分裂:多个目标间开始出现遮挡,在检测结果中会出现包含多个目标的目标团块,将这个过程认为是多个目标的融合;当遮挡结束,目标团块重新分为多个目标时,认为是目标的分裂。

3.2 目标跟踪中的多特征匹配

在目标跟踪中,常用的特征信息有颜色特征、形状特征、运动特征、纹理特征等,例如 Nummiafo 等^[10]人利用目标的颜色信息对目标进行跟踪,Vignon 等^[11]人利用目标的形状信息来跟踪目标。由于多个目标之间具有相似性、跟踪场景较为复杂、目标的频繁暂消和重现等原因,单一的使用目标特征进行匹配跟踪会有很大的不稳定性,所以本文提出基于目标的颜色信息、位置信息和运动信息进行多特征融合联合匹配跟踪。

(1) 颜色特征相似度计算

$$S_{\text{cen}}(m | n) = 1 - \frac{\sqrt{(x_m^i - x_n^j)^2 + (y_m^i - y_n^j)^2}}{\text{MAX}(\sqrt{(x_m^i - x_n^j)^2 + (y_m^i - y_n^j)^2})} \quad (4)$$

$S_{\text{cen}}(m | n)$ 反映了第 m 帧的第 i 个目标质心位置 (x_m^i, y_m^i) 和 n 帧第 j 个目标质心位置 (x_n^j, y_n^j) 的相似程度。这两个目标质心点越靠近,相似度 $S_{\text{cen}}(m | n)$ 越趋近于 1 越大;这两个目标质心点位置为 m 帧目标和 n 帧目标中距离最远的时,相似

采用目标的颜色直方图信息作为颜色模型,假设第 m 帧目标 i 区域共有 A 个点, $h_m(m_i)$ 统计了此目标在 RGB 空间下的颜色分布。则对其归一化如下:

$$H_m(m_i) = \frac{h_m(m_i)}{A}, \quad (2)$$

这里将 $H_m(m_i)$ 作为 m 帧目标 i 的颜色信息模板。计算两个目标直方图分布的欧氏距离 $\text{Dist}(H_{m_i}, H_{n_j})$ 并进行归一化如下:

$$S_{\text{col}}(m_i | n_j) = 1 - \frac{\text{Dist}(H_{m_i}, H_{n_j})}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

这里将 $S_{\text{col}}(m_i | n_j)$ 作为两个目标模板间的颜色相似度,用以表示第 m 帧中目标 i 和第 n 帧中目标 j 颜色模型的匹配程度,当颜色相似度越大则表示两个目标越相近。

(2) 位置特征相似度计算

采用目标的质心位置为目标位置信息,即检测出的目标外接矩形的中心位置。定义质心相似度 $S_{\text{cen}}(m | n)$ 如下:

度 $S_{\text{cen}}(m | n)$ 为 0。

(3) 运动特征相似度计算

采用目标的速度作为目标的运动信息,定义运动特征相似度计算如下:

$$S_v(m | n) = 1 - \frac{\sqrt{(v_{x_m}^i - v_{x_n}^j)^2 + (v_{y_m}^i - v_{y_n}^j)^2}}{\text{MAX}(\sqrt{(v_{x_m}^i - v_{x_n}^j)^2 + (v_{y_m}^i - v_{y_n}^j)^2})} \quad (5)$$

$S_v(m | n)$ 反映了第 m 帧的第 i 个目标运动速度 $v_{x_m}^i, v_{y_m}^i$ 和第 n 帧第 j 个目标运动速度 $v_{x_n}^j, v_{y_n}^j$ 的差异。相似度越大,则表示两个目标越相近。在速度的计算上,规定以视频帧中自左至右和自下至上的运动为正,因此在计算中速度的正负代表着运动方向的不同,这样有利于更好地区分相对运动的两个人。

目标匹配相似度公式如下:

$$S(m_i | n_j) = \alpha \cdot S_{\text{col}}(m_i | n_j) + \beta \cdot S_{\text{cen}}(m | n) + (1 - \alpha - \beta) \cdot S_v(m | n) \quad (6)$$

$S(m_i | n_j)$ 即在跟踪中目标的匹配相似度,它的值越大说明目标为同一目标的可能性越大。在实际跟踪过程中,可以根据场景的不同和特征稳定性的不同对权值 α, β 进行调整,提高跟踪稳定性。

3.3 目标遮挡问题

目标的遮挡按照遮挡物的不同可以分为固定遮挡物的遮挡和目标间的遮挡;按照遮挡程度可以分为部分遮挡和完全遮挡,传统的算法不能很好地解决遮挡问题^[12]。本文对于目标间的遮挡,采用目标的融合和分裂思想,遮挡期间将相互遮挡的目标视为合并跟踪,分裂后重新匹配跟踪;目

标被固定物遮挡时,如完全遮挡则采用最小二乘法预测目标位置保持跟踪;未完全遮挡则利用剩余信息继续跟踪。

(1) 目标暂消

目标被完全遮挡时,无法通过检测算法检测出目标,也就丢失了目标信息,无法通过特征信息匹配进行跟踪。由于视频中的同一个目标在整个视频帧的运动趋势一般是不变的,可以根据目标的运动趋势预测目标新的位置^[13],维持跟踪轨迹,并对目标重新出现后的目标匹配跟踪进行辅助判定。本文采用最小二乘法拟合预测目标质心位置。

(x_{i-n}^i, y_{i-n}^i) 为 $t-n$ 时刻 i 目标质心点位置, (x_i^i, y_i^i) 为 t 时刻 i 目标质心点位置,根据这 n 个状态的目标质心位置拟合出 i 目标当前状态的运动趋势函数,如下式所示:

$$f(x) = a_0 + a_1x, \quad (7)$$

$$f(y) = b_0 + b_1y. \quad (8)$$

通过最小二乘法拟合可以得到质心运动趋势函数的系数 a_0, a_1, b_0, b_1 , 根据式(7)和(8),可以求出 t 时刻 i 目标质心的预测位置 (x_{i+1}^i, y_{i+1}^i) 。目标完全被遮挡时,可以采用此方法预测目标质心位置,并不断利用新预测到的目标位置更新运动趋势函数的参数 a_0, a_1, b_0, b_1 , 以保持持续预测跟踪。当遮挡过程结束目标重新出现时,将前一帧的目标预测质心位置辅助进行目标匹配,能够提高匹配精度。

(2) 目标重现

当多个目标出现遮挡时,将会被作为一个目标团块检测出来,即目标融合,目标的融合期间可以进行合并跟踪,当目标重新分裂为多个单一目标时分别与暂消前目标进行重新匹配。

目标重新出现进行特征匹配时,由于信息的不完整会造成匹配相似度降低,从而导致跟踪错误。为此,引入遮挡因子 R_t 来实现匹配阈值的自适应调节,提高目标的跟踪精度。

$$R_t = \begin{cases} \varepsilon^{-\tau}, & 0 < \tau < 1 \\ 1, & \tau = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

τ 作为遮挡程度的描述,由代表目标的外接矩形方框和两目标间的质心位置计算可得,无遮挡出现时 $\tau=0$,完全遮挡时 $\tau=1$ 。定义:

$$\tau = \frac{\text{未遮挡目标区域面积}}{\text{目标面积}}. \quad (10)$$

α 作为一个固定常数,根据实际情况自己设定。遮挡后目标情况中目标跟踪过程中的匹配过程如下:

$$S(m_c | n_z) = S_{\text{occ}}(m_c | n_z) R_t, \quad (11)$$

式中, m_c, n_z 分别为 m 帧暂消的目标和 n 帧重新出现的目标,经过遮挡因子的调整,相当于变相地降低了两者的匹配阈值,对于重新出现目标的和暂消目标的匹配成功率有一定程度的提高,能够在目标重新出现后以尽可能短的时间重新稳定跟踪。

3.4 目标跟踪算法流程

本文采用基于检测的跟踪,边检测边跟踪,算法流程如下:

步骤1:采用自适应高斯混合背景模型来重构背景。

步骤2:利用当前视频帧对背景帧进行相减,然后进行二值化操作,并进行图像平滑、形态学处理、联通区域分析等处理,得到当前帧检测出的 M 个目标。

步骤2:对检测出的 M 个目标建立目标模板,提取位置信息、运动信息和颜色特征。

步骤3:对比上一帧的目标个数,如果目标数发生变化,则按照上一节提出的跟踪过程中区域辅助判定法的判定原则,判定目标数目的增加或者减少在跟踪过程中的事件归属(新目标出现、目标消失、目标暂消、目标重新出现、目标的融合和分裂)。

步骤3.1:若出现新目标,则为之建立新的跟踪轨迹;若目标消失,将其对应的目标模板置空,删除跟踪轨迹。

步骤3.2:若目标暂消,保留对应的目标模板,采用质心预测公式推算目标质心位置,保持跟踪轨迹。

步骤3.3:若目标重现,与暂消目标进行匹配,采用遮挡因子辅助匹配。

步骤3.4:若目标融合,将其作为一个目标进行跟踪,分裂后分别匹配跟踪。

步骤4:进入下一帧,重新执行步骤2、3。

4 仿真实验和结果分析

本文实验数据来源于 IBM 人类视觉研究中心监视系统性能评价提供的户外视频序列,像素为 $384 \text{ pixel} \times 288 \text{ pixel}$ 。

4.1 自适应高斯混合背景模型的多目标检测

实验采用的视频中含有多个行人和车辆,建立自适应高斯背景模型,通过背景减除法提取运动目标。图 2 为背景减除后包含前景目标的二值

图像,从实验结果可以看出,除了前景目标,很多噪声点也被统计进来。在二值图像帧上进行阈值筛选,在试验中取阈值 $T = 140$,实验结果表明:视频帧中的运动车辆和行人均能被准确检测出来,图 3 给出了部分帧的检测结果,第 229 帧被树木遮挡住的车辆、第 402 帧刚刚进入画面的行人和从遮挡中出现一半的车辆、第 447 帧和 779 帧中大小不一的行人,均能准确检测出来,没有漏检测和错误检测。

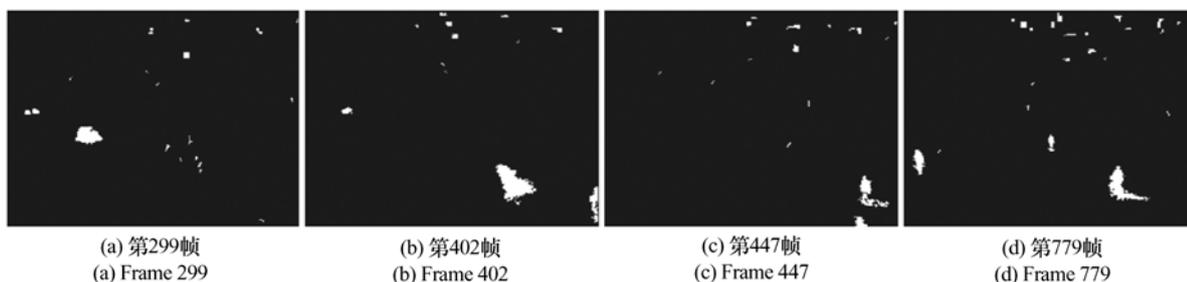


图 2 包含前景目标的二值图像

Fig. 2 Binary images containing foreground objects

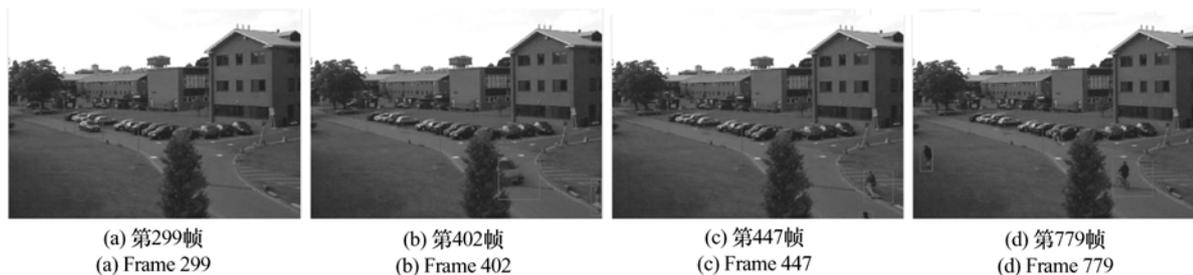


图 3 利用阈值 $T = 140$ 进行目标检测的结果

Fig. 3 Results of multi-object detection with $T = 140$

4.2 多特征融合匹配跟踪

视频中先后出现 3 个目标,包括目标进入场景、目标的暂消和重现等情况的发生,在跟踪中采用颜色直方图、质心信息、运动信息 3 个特征融合匹配,权重分别设为 0.6、0.3 和 0.1;图 4 为多特征融合匹配跟踪实际效果图,第 19 帧目标 2 进入跟踪区,在第 33 帧因为树木的遮挡发生了暂消,在第 56 帧重新出现,实验结果表明,多特征融合匹配跟踪方法能够实现目标的稳定跟踪。

为了对多特征融合匹配跟踪效果进行评价,将跟踪过程中多特征融合匹配相似度和较为常见

的颜色直方图匹配相似度进行比较。图 5(a)为目标 01 在第 57 帧和第 102 帧期间分别采用单一颜色信息和颜色、质心、速度多特征信息融合计算的相邻帧自身匹配相似度,两者平均值分别为 0.968 47 和 0.949 71;图 5(b)为在第 57 帧和第 102 帧期间分别采用单一颜色信息和颜色、质心、速度多特征信息融合计算的相邻帧目标 01 和目标 02 的匹配相似度,两者平均值分别为 0.80461 和 0.505 73。实验结果表明,多特征融合匹配跟踪算法在计算自身相似度时差别不大,但是在区分不同目标时具有较好的效果,明显优于单一颜



图4 多特征融合匹配跟踪效果图

Fig. 4 Examples of tracking results with multi-feature joint matching

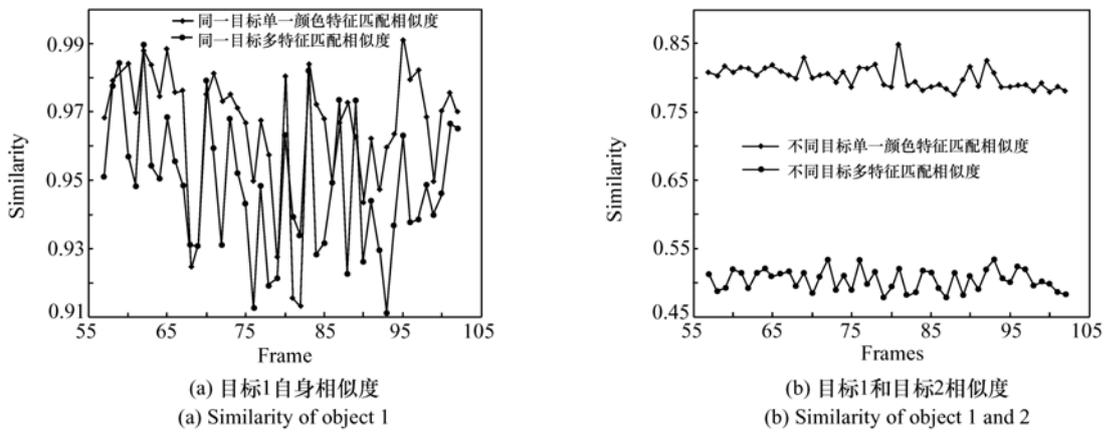


图5 多特征融合匹配跟踪和单一特征匹配跟踪相似度比较

Fig. 5 Similarity comparison of multi-feature matching track and single feature matching track

色特征信息匹配,特别适合于目标具有表面相似性的多目标跟踪。

4.3 目标遮挡实验

图6(a)为目标间的遮挡跟踪效果,采用目标

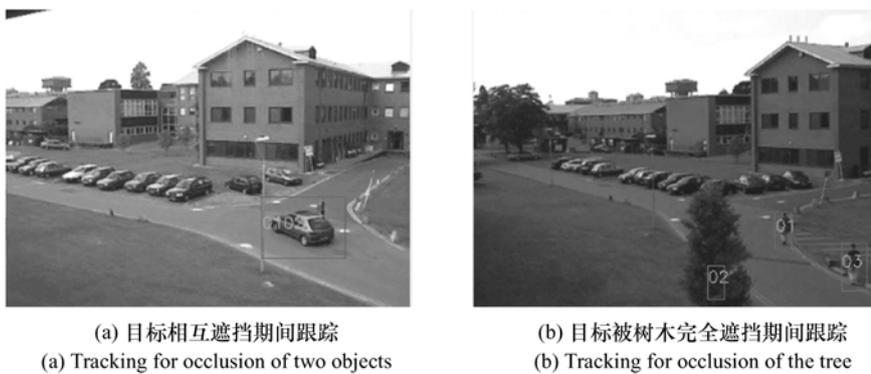


图6 遮挡期间跟踪效果图

Fig. 6 Examples of tracking results with occlusion

融合和分裂思想,遮挡期间将相互遮挡的目标 01 和目标 02 进行合并跟踪,分裂后重新匹配跟踪;图 6(b)中,目标 02 在第 33 帧被固定物完全遮挡发生了暂消,在第 56 帧重新出现,在目标 02 暂消期间采用最小二乘法预测目标 02 质心位置,保持跟踪,图 6(b)给出了采用最小二乘法预测法在第 48 帧的跟踪结果。

遮挡结束后目标的重新匹配跟踪精度尤为重要,在图 6(b)所属视频序列中,目标在第 56 帧重新出现后,由于目标依然有部分被遮挡,信息不完

整,且由于目标模板依然是完全遮挡前的目标,导致目标匹配相似度降低,容易出现目标的误判。试验中采用文中所述的遮挡因子辅助匹配跟踪调节匹配精度,在遮挡因子的计算中,取 ε 为 1.5,表 1 给出了在视频中目标 02 重新出现的第 56 帧未引入和引入遮挡因子的匹配相似度对比结果。可以看出,经过遮挡因子辅助匹配的相似度要高于未引入遮挡因子匹配前,对于目标重现后的跟踪匹配具有明显效果。

表 1 引入遮挡因子前后的匹配相似度

Tab. 1 Similarity comparison of tracking with occlusion factors

目标	匹配相似度	
	未引入遮挡因子	遮挡因子调节后
02	0.803 15	0.972 83

5 结 论

针对多目标跟踪中目标表面的相似性、目标间的相互遮挡、目标的频繁消失和重现等问题,采用基于检测的多特征融合匹配算法,将目标的颜色特征、质心特征、运动特征进行融合后进行匹配跟踪;将跟踪场景划分为缓冲区域和跟踪区域,对

场景中目标状态进行区分归类,避免因为目标的频繁消失和重现出现的跟踪错误概率;对于完全遮挡问题,采用了最小二乘法质心预测策略;对于遮挡后的目标重新匹配问题,一是采用质心预测提供质心位置,二是提出遮挡因子进行辅助匹配来提高匹配精度。采用 IBM 人类视觉研究中心监视系统性能评价提供的户外视频序列对以上算法性能进行评估,实验结果证明了算法的有效性。

参考文献:

- [1] 顾鑫,王海涛,汪凌峰,等.基于不确定性度量的多特征融合跟踪[J].自动化学报,2011,37(5):550-559.
GU X, WANG H T, WANG L F, et al. Fusing multiple features for object tracking based on uncertainty measurement[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2011, 37(5):550-559. (in Chinese)
- [2] 李安平.复杂环境下的视频目标跟踪算法研究[D].上海:上海交通大学,2006.
LI A P. Research oil tracking algorithm for visual target under complex environments[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2006. (in Chinese)
- [3] 郝志成,高文.多模跟踪技术在轮式侦察车图像处理器的应用[J].中国光学,2011,4(5):480-488.
HAO ZH CH, GAO W. Application of multi-pattern tracking technique in image processor of wheel type scout car[J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(5):480-488. (in Chinese)
- [4] HARINI V, PAUL S, NIKOS P. Robust target detection and tracking through integration of motion, color, and geometry [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2006, 103(2006):121-138.
- [5] 颜佳,吴敏渊.遮挡环境下采用在线 Boosting 的目标跟踪[J].光学精密工程,2012,20(2):439-446.
YAN J, WU M Y. On-line boosting based target tracking under occlusion[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(2):439-446. (in Chinese)
- [6] 胡江龙,方景龙,王大全.多目标跟踪算法在水质监测中的应用[J].机电工程,2012,39(5):613-615.
HU J L, FANG J L, WANG D Q. Water quality monitoring using multi-object tracking algorithm[J]. *J. Mechanical Elec-*

- trical Eng.*, 2012, 39(5):613-615. (in Chinese)
- [7] 王坤峰,李镇江,汤淑明. 基于多特征融合的视频交通数据采集方法[J]. 自动化学报, 2011, 37(3):322-330.
WANG K F, LI ZH J, TANG SH M. Visual traffic data collection approach based on multi-features fusion[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2011, 37(3):322-330. (in Chinese)
- [8] 丘文涛,赵建,刘杰. 结合区域分割的 SIFT 图像匹配方法[J]. 液晶与显示, 2012, 20(2):439-446.
QIU W T, ZHAO J, LIU J. Image matching algorithm combining SIFT with region segmentation[J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2012, 20(2):439-446. (in Chinese)
- [9] STAUFFER C, GRIMSON W. Learning patterns of activity using real-time tracking[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(8):747-757.
- [10] NUMMIAFO K, KOLLER-MEIER E, GOOL L V. Color features for tracking non-rigid objects[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2003, 29(3):345-355.
- [11] VIGNON D, LOVELL B C, ANDREWS R J. General purpose real-time object tracking using Hausdorff transforms[C]//9th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Anancy, France, July 1-6, 2002:1-6.
- [12] GARQI P. Robust multiple target tracking under occlusion using fragmented mean shift and Kalman filter[C]//2011 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSPP), Kerala, India, Feb 10-12, 2011:5171521.
- [13] PAPADAKIS N, BYGEAU A. Tracking with occlusions via graph cuts[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, 33(1):144-157.

作者简介:



闫辉(1986—),男,山东菏泽人,硕士研究生,2008年于北京航空航天大学获得学士学位,主要从事图像处理、目标跟踪等方面的研究。E-mail: yanhui17@sina.com



徐磊(1989—),男,山西忻州人,硕士研究生,2010年于长春理工大学获得学士学位,主要从事FPGA开发和图像融合方面的研究。E-mail: xulei2114@163.com



许廷发(1968—),男,黑龙江肇东人,博士,教授,博士生导师,1992年,2000年于东北师范大学获得学士、硕士学位,2004年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,2006于华南理工大学电子与信息学院完成博士后工作,主要从事光电成像探测与识别等方面的研究。E-mail: ciom_xtf1@bit.edu.cn



吴威(1988—),男,安徽六安人,硕士研究生,2010年于中北大学获得学士学位,主要从事电子稳像算法及硬件实现的研究。E-mail: wu3944387@163.com



吴青青(1986—),男,陕西安康人,硕士研究生,2009年于北京理工大学获得学士学位,主要从事目标检测与跟踪方面的研究。E-mail: wuqing3511380@163.com