

## 基于双步相关滤波的目标跟踪算法

葛宝义, 左宪章, 胡永江, 张 岩

(陆军工程大学(石家庄校区) 无人机工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 针对目标跟踪中因目标遮挡、目标出视野导致的跟踪失败问题, 为提高相关滤波目标跟踪算法的鲁棒性, 提出了一种基于双步相关滤波的目标跟踪算法。首先根据方向梯度直方图特征不同单元大小目标表征的特点, 提出双步相关滤波目标跟踪框架, 在提高目标跟踪精度的同时保证了跟踪速度; 然后融合多种目标特征, 来获得目标更加全面的特征表征, 以提高目标跟踪的鲁棒性; 最后提出基于目标跟踪置信度指标的目标模板自适应更新策略, 来解决目标遮挡时目标模板被污染的问题。实验在 OTB100 标准目标跟踪数据集上进行验证, 通过与其他跟踪算法进行比较结果表明, 该算法与其中最优跟踪算法相比, 目标跟踪精度提升 6.0%, 目标跟踪成功率提升 5.5%, 平均跟踪速度为 27.4 fps, 保证了目标跟踪的实时性。实际目标跟踪应用中, 在目标严重遮挡等情况下, 该算法仍然可以对目标进行稳定精确地跟踪。

**关键词:** 目标跟踪; 双步相关滤波; 特征融合; 置信度; 自适应

**中图分类号:** TP391.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201847.1226004

## Object tracking algorithm based on two-step correlation filter

Ge Baoyi, Zuo Xianzhang, Hu Yongjiang, Zhang Yan

(Department of UAV Engineering, Army Engineering University of PLA Shijiazhuang Campus, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of tracking failure caused by object occlusion and out of view in object tracking, a two-step correlation filter for object tracking algorithm was proposed to advance the robustness of the object tracking via correlation filter. Firstly, according to the characteristics of different cell size of histogram of oriented gradient (HOG) feature, a two-step correlation filter object tracking framework was presented, which can improve the tracking accuracy and simultaneously ensure the tracking speed. Then, fusing multiple object features and obtaining more characteristic representation comprehensively were to promote the robustness of object tracking. Finally, an object template adaptive updating strategy was proposed based on the object tracking confidence index, which was to solve the problem that the object template was contaminated when the target was occluded. The experiment was validated on the OTB100 standard object tracking dataset. The results of comparison with other tracking algorithms show that the tracking accuracy is improved by 6.0% and the tracking success rate is increased by 5.5% in comparison with the optimal tracking algorithm, and the average tracking speed is

收稿日期: 2018-07-18; 修订日期: 2018-08-28

基金项目: 国家自然科学基金(51307183)

作者简介: 葛宝义(1994-), 男, 硕士生, 主要从事计算机视觉目标跟踪方面的研究。Email: boyge500@163.com

导师简介: 左宪章(1963-), 男, 教授, 硕士生导师, 硕士, 主要从事故障诊断与无损检测方面的研究。Email: zxzhang@163.com

27.4 fps, which ensures the real-time performance of object tracking. In the application of actual object tracking, the algorithm can still track the target stably and accurately in the case of severe occlusion.

Key words: object tracking; two-step correlation filter; feature fusion; confidence; adaptive

## 0 引言

目标跟踪是根据已知目标的图像位置预测确定目标在下一帧中的图像位置,进而达到目标持续跟踪的过程。由于目标跟踪具有光照变化、尺度变化、遮挡、形变、运动模糊、快速运动、旋转、超出视野、背景干扰、低分辨率等问题,以及目标信息较少,对目标的建模难度较大的问题导致目标跟踪困难。相关滤波目标跟踪方法作为一种判别式跟踪方法,其具有超高的跟踪速度和较强的跟踪鲁棒性,因此对相关滤波目标跟踪算法进行研究对目标实时性跟踪、提高跟踪鲁棒性具有重要意义。

国外学者对该领域进行了深入的研究: Bolme 等<sup>[1]</sup>提出最小化输出均方误差(Minimum Output Sum of Squared Error, MOSSE)方法,首次将相关滤波应用到目标跟踪中,该方法跟踪速度达到 669 fps,且跟踪鲁棒性较好,受到广泛关注。Henriques 等<sup>[2]</sup>提出核相关滤波(Kernelized Correlation Filters, KCF)目标跟踪方法。用循环矩阵性质将相关滤波训练采样过程等价于循环移位操作,来完成模型训练的密集采样,并采用核函数方法,该方法极大地提高了相关滤波目标跟踪的鲁棒性。Bibi 等<sup>[3]</sup>提出自适应多尺度核相关滤波(Scale Adaptive Kernel Correlation Filter, SAMF)方法。通过构建目标尺度池估计目标尺度变化。解决了目标尺寸的变化问题,但尺度池设置有限,对于目标尺度变化不敏感。Danelljan 等<sup>[4]</sup>提出尺度空间判别跟踪(Discriminative Scale Space Tracking,

DSST)方法。通过额外的一维尺度相关滤波器判别目标尺度变化。该方法简单高效,对目标尺度变化估计精确。马超等<sup>[5]</sup>提出分层卷积特征目标跟踪(Hierarchical Convolutional Features for Visual Tracking, HCFT)方法,通过卷积神经网络来提取目标鲁棒性更高的目标特征。刘婷等<sup>[6]</sup>提出自适应分块目标跟踪(Real-Time Part-Based Tracking via Adaptive Correlation Filters, RPAC)方法,通过将目标分解为局部目标,对局部目标分别进行相关滤波跟踪,然后结合分块信息作为最终跟踪结果。但目标分块模型较为复杂,一些情况下目标跟踪的鲁棒性不高。

上述算法针对相关滤波目标跟踪算法进行了创新与改进,但仍存在以下问题:目标跟踪的精度和鲁棒性有待提高;对目标遮挡的处理以及发生遮挡时的模板更新问题有待优化。针对以上问题,文中提出一种基于双步相关滤波的目标跟踪算法。首先提出双步相关滤波目标跟踪框架,其次融合多种目标特征获得目标更加全面的特征表征,再次提出基于目标跟踪置信度指标的目标模板自适应更新策略,最后在标准数据集上进行了实验验证及实际系统应用验证。

## 1 双步相关滤波目标跟踪框架

相关滤波目标跟踪算法通过已知目标训练滤波器模板,在目标跟踪过程中搜索与滤波器模板相关度最大的目标区域,即为目标位置。文中基于相关滤波跟踪算法提出一种基于双步相关滤波的目标跟踪方法,算法框架如图 1 所示,具体流程如下。

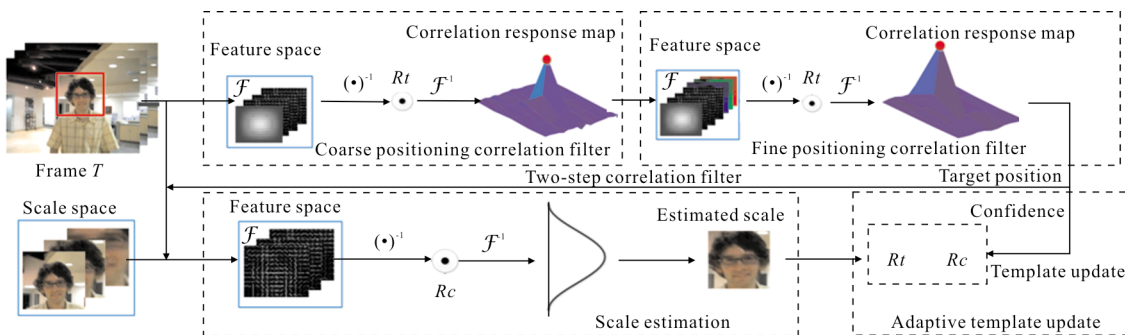


图 1 双步相关滤波目标跟踪流程图

Fig.1 Flow of two-step correlation filter for object tracking

步骤 1: 训练目标跟踪模板。根据目标在图像的位置提取目标图像块特征, 采用相关滤波方法训练目标滤波器模板。

步骤 2: 双步相关滤波器。在下一帧图像目标范围提取目标特征, 采用双步相关滤波器确定目标图像位置。

步骤 3: 目标尺度估计。在双步相关滤波器确定的目标位置提取目标尺度池特征, 采用一维相关滤波器估计目标尺度。

步骤 4: 模板更新。根据目标跟踪置信度结果, 自适应更新目标模板。

步骤 5: 目标跟踪。继续步骤 1~步骤 4, 直至目标跟踪结束。

## 2 双步相关滤波

方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradients, HOG)特征是一种物体检测特征描述子, 通过计算图像的梯度直方图来描述物体的表现特征。由于其包含图像的局部信息和全局信息, 对目标的特征描述准确, 并且不受光照的影响, 同时特征计算速度快, 因此在物体检测识别和目标跟踪领域得到广泛应用<sup>[7]</sup>。

如图 2 所示, 图 2(a)为标准数据集中某一帧目标图像, 图 2(b)左侧为在不同单元(Cell)大小提取的目标 HOG 特征可视化图, 图 2(b)右侧为根据不同 HOG 单元大小目标特征重构出的目标图像。由图 2(b)不同单元重构图像可以看出, 单元越大, 图像细节信息越少, 而图像语义信息越丰富; 反之, 则图像的细节信息越丰富, 图像的语义信息越少, 同时单元越大目标特征计算越快。类似于卷积神经网络提取目标特征<sup>[8]</sup>, 不同于神经网络, HOG 特征提取需要的参数少, 计算速度快。

图像的语义信息对目标位置的变化描述较好, 而图像的细节信息可完成目标位置的精确定位。文中通过精定位与粗定位结合跟踪策略来提高目标跟踪的鲁棒性, 同时大单元 HOG 特征计算量较小, 跟

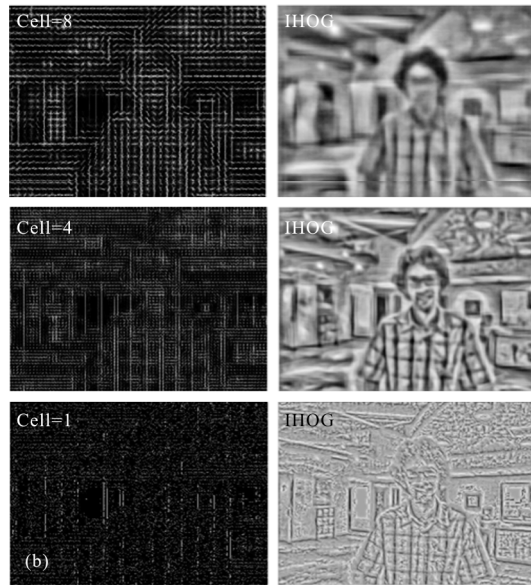


图 2 HOG 特征

Fig.2 HOG features

踪速度损失较小, 能够保证目标跟踪的实时性。基于 HOG 特征的双步相关滤波器目标跟踪步骤如下。

步骤 1: 训练滤波器模板。提取目标特征, 通过构造目标损失函数使得目标响应与目标函数风险最小化来训练跟踪滤波器模板:

$$\varepsilon = \min_{\mathbf{H}} \sum_i |\mathbf{F}_i \odot \mathbf{H}^H - \mathbf{G}_i|^2 \quad (1)$$

式中:  $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{f})$  为目标特征傅里叶变换;  $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\mathbf{h})$  为滤波模板傅里叶变换; 上标 H 表示矩阵复数共轭转置;  $\mathbf{G}$  为目标响应;  $\odot$  为对应元素相乘操作。

由上式可得封闭解  $\bar{\mathbf{H}}$ :

$$\bar{\mathbf{H}} = \frac{\sum_i \mathbf{G}_i^H \odot \mathbf{F}_i^*}{\sum_i \mathbf{F}_i^H \odot \mathbf{F}_i} = \frac{\mathbf{A}_i}{\mathbf{B}_i} \quad (2)$$

步骤 2: 目标粗定位。提取目标大单元 HOG 特征, 通过目标图像的语义信息确定目标的大致区域。搜索与模板响应的最大值作为目标预测位置输出, 完成目标粗定位:

$$\mathbf{y} = \mathbf{f}^{-1} \left( \frac{\sum_{l=1}^d \mathbf{A}^{Hl} \odot \mathbf{F}^l}{\mathbf{B} + \lambda} \right) \quad (3)$$

式中:  $\mathbf{f}^{-1}$  为傅里叶反变换;  $d$  为特征通道数。

步骤 3: 目标精定位。提取目标小单元 HOG 融合特征, 通过目标图像的细节融合信息, 搜索与模板

响应的最大值作为目标预测位置输出,同公式(3),精确定位目标的图像位置。

### 3 特征融合

MOSSE 相关滤波目标跟踪方法采用灰度特征作为目标特征描述子进行目标跟踪,但灰度特征易受噪声以及光照等环境因素影响,因此跟踪鲁棒性较低。其后学者使用 HOG 特征作为目标跟踪特征提取算法,HOG 特征由于其对目标梯度信息的表示、对目标细节的刻画、同时其对光照等因素不敏感而受到广泛应用,目标跟踪鲁棒性较高。

颜色(Color Name, CN)特征在目标识别和检测领域已经得到广泛应用,并取得很好的效果。参考文献[9]将 CN 特征应用到目标跟踪中,在基于颜色目标跟踪方面取得不错的效果。将目标 RGB(红、绿、蓝)颜色特征映射为黑、蓝、棕、灰、绿、橙、粉、紫、红、白和黄 11 种颜色的多通道颜色特征,较 RGB 三原色特征对目标的表征能力更强,而且具有一定的光学不变性。

单一特征对目标特征的表征不完备,因此基于特征融合的目标跟踪方法较单一特征具有更高的鲁棒性<sup>[10]</sup>。文中采用 HOG 特征与 CN 特征融合的跟踪方法,由于 CN 特征对目标具有一定的形变不变性,并且在目标模糊时仍具有一定的判别能力,因此颜色特征对于目标的表现特性描述与 HOG 特征对目标细节的刻画相补充,对目标的描述更为完备。文中方法特征融合策略如下。

步骤 1: 目标粗定位阶段提取目标 8×8 单元块 31 维 HOG 特征,通过 HOG 特征语义信息粗定位目标图像位置。

步骤 2: 目标精定位阶段提取目标 1×1 单元块 31 维 HOG 特征和将图像 RGB 映射的 11 维 CN 特征融合为 42 维融合特征,通过融合表征精确定位目标图像位置。

步骤 3: 目标尺度估计提取目标 4×4 单元块 31 维 HOG 特征,通过目标纹理信息的最大响应估计目标尺度变化。

### 4 自适应模板更新

#### 4.1 目标跟踪置信度

在目标跟踪过程中,经常会出现目标被遮挡或

出视野等问题,而标准相关滤波跟踪方法,目标模板在跟踪过程中实时更新,因此当目标框被遮挡后,目标模板会因为学习到遮挡信息而受到干扰,导致模型漂移,最终跟踪失败。

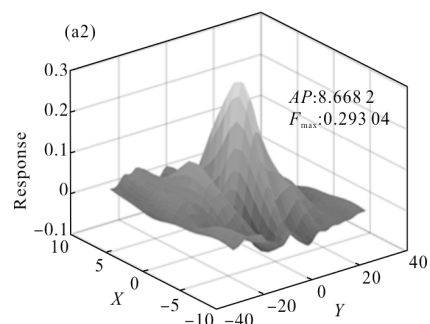
对目标跟踪结果进行评判,根据跟踪置信度自适应更新滤波模板是一种简单有效的处理目标遮挡模型漂移的策略<sup>[11]</sup>。当目标跟踪结果较好时,实时更新滤波模板以满足目标形变的需要,而当目标跟踪物体被遮挡或出视野的情况下,保存目标模板,待目标恢复后继续进行跟踪并更新目标模板,在避免模型漂移的同时可以在一定程度上减少计算量,提高跟踪速度。

参考文献[11-12]将最大响应值作为目标跟踪置信度指标,但当目标被遮挡如图 3 所示(KCF 跟踪结果)情况,跟踪最大响应值依然有较高的响应,而此时最大响应值处不是目标位置,模型发生漂移。因此将最大响应值作为目标跟踪置信度指标具有较大的局限性。文中提出一种新的跟踪置信度指标 AP (Average Peak),如公式(4)所示:

$$AP = \frac{|G_{\max}|}{\text{mean}(\sum_{\omega,k} |G_{\omega,k} - G_{\text{avr}}|)} \quad (4)$$

式中: $G_{\max}/G_{\text{avr}}$ 分别表示目标响应最大值和均值; $G_{\omega,k}$ 为不同点的目标响应值。

如图 3(a)所示,当目标发生遮挡时,目标响应波动较大,AP=8.668 2 值较低,目标响应最大值  $F_{\max} =$



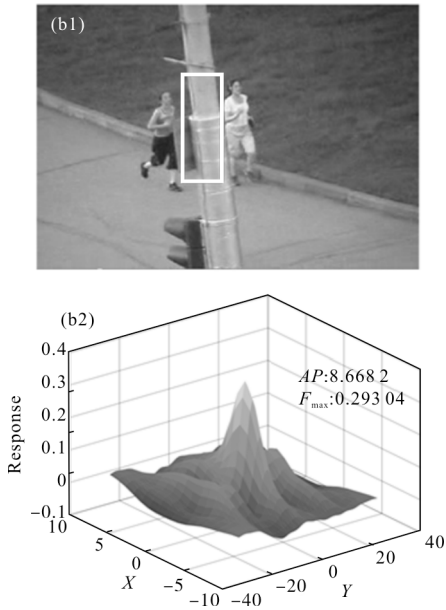


图 3 Jogging 2 跟踪响应置信度

Fig.3 Response confidence of Jogging 2 tracking

0.293 减小不明显。如图 4 所示,目标被遮挡后,目标响应最大值  $F_{max}=0.186$  减小,  $AP=10.122$  值较低,而当目标正常跟踪时,目标响应值最大值  $F_{max}=0.444$

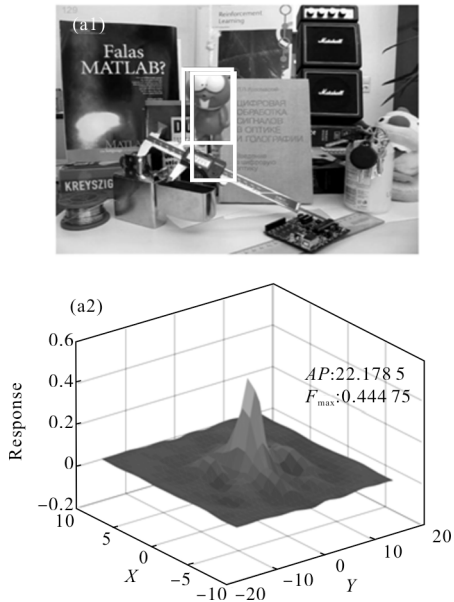


图 4 Lemming 跟踪响应置信度

Fig.4 Response confidence of Lemming tracking

较大,波动较小,  $AP=22.179$  值较大。因此  $AP$  值可以很好地作为目标发生遮挡的判断指标。

#### 4.2 模板更新策略

目标跟踪过程中需要对模板进行更新来适应目标变化。为减少计算量,降低噪声等影响,常采用如下模板更新策略:

$$A_i = \eta G_i^H \odot F_i^* + (1 - \eta) A_{i-1} \quad (5)$$

$$B_i = \eta F_i^H \odot F_i^* + (1 - \eta) B_{i-1} \quad (6)$$

式中:  $\eta$  为模板更新速率;  $A$ 、 $B$  参数同公式(2)。

而目标跟踪的置信度阈值需要人为根据经验设定为固定值,因此导致在不同场景中置信度阈值的适应性下降,而且固定阈值不能满足多种跟踪情况。文中提出一种自适应置信度阈值方法,在不同的跟踪场景下可自适应确定模板更新阈值,跟踪鲁棒性更强。阈值设定如下式:

$$shd = (1 - \kappa) \cdot shd + \kappa \cdot AP \quad (7)$$

式中:  $shd$  为模板更新阈值;  $\kappa$  为阈值更新率;  $AP$  为置信度指标。

$$update = \begin{cases} 1 & \text{if } AP > \gamma \cdot shd \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $\gamma$  为目标置信度因子,其余参数同公式(7)。

在新一帧目标跟踪后计算当前帧的置信度指标,不同于参考文献[13]将跟踪过程中的均值作为阈值,文中策略大大降低了计算量,并且结合了当前跟踪置信度与原始跟踪置信度信息,跟踪鲁棒性更强。同时采用阈值更新策略可以在一定程度上减少模板计算和更新次数,加快目标跟踪速度。文中模板自适应更新步骤如下。

步骤 1: 根据目标精定位响应生成目标响应图。

步骤 2: 由目标响应图, 根据公式(4)计算目标跟踪置信度。

步骤 3: 由目标跟踪置信度, 根据公式(7)更新模板更新置信度阈值, 目标跟踪首帧阈值设置为 0。

步骤 4: 由模板更新置信度阈值, 根据公式(8)模板更新策略, 由公式(5)、(6)自适应更新目标跟踪滤波器模板。

## 5 实验

### 5.1 实验设置

(1) 实验平台参数: 系统为 64 位 Windows 7 旗舰版, 编程环境为 MATLAB 2017a, 处理器为 Intel 酷睿 i5, 主频为 2.3 GHz, 内存为 8 G。

(2) 实验数据集: 为保证客观性, 实验在 OTB100<sup>[14]</sup> 标准数据集上进行。OTB100 是目前公开的应用广泛的标准跟踪数据集, 它是在 OTB50 标准数据集的基础上扩展得到的 100 个跟踪目标图像数据。数据集中每个数据目标对象包含尺度变化、背景干扰等部分影响因素, 是对目标跟踪算法对跟踪鲁棒性较为全面的评价标准数据集。OTB100 标准数据集较 OTB50 包含场景更丰富, 一些场景的目标变化更大, 环境因素对跟踪算法的影响更大, 对目标跟踪算法的鲁棒性和精度要求更高, 是对算法的广适性的客观评价的标准数据集。

(3) 实验对象: 采用对比实验方法, 除文中算法外, 另设置一些近几年提出的优秀算法进行对比, 如: KCF<sup>[2]</sup>、DSST<sup>[4]</sup>、MIL<sup>[15]</sup>、TLD<sup>[16]</sup>、STRUCK<sup>[17]</sup>等。

(4) 实验参数设置: 目标粗定位目标图像块扩展大小为 2.6, 目标精定位目标图像块扩展大小为 2, 模板更新率  $\eta$  为 0.02, 阈值更新率  $\kappa$  为 0.1, 目标置信度因子  $\gamma$  为 0.7, 目标尺度估计方法同参考文献[18], 其余参数同参考文献[4]。

#### (5) 评估准则

指标 1: 目标跟踪成功率。目标跟踪的成功率通过跟踪边界框的重叠率来评估, 实验中计算重叠率大于给定阈值的成功帧的数量:

$$S = \frac{|R_t \cap R_a|}{|R_t \cup R_a|} \quad (9)$$

式中:  $R_t$ 、 $R_a$  分别表示算法目标跟踪框与真实目标框。S 越大则表示正确率越高。

指标 2: 目标跟踪精度。目标跟踪精度通过计算目标框与跟踪框中心距离来衡量, 距离越小精度越高。

$$\Delta = |D_b - D_t| \quad (10)$$

式中:  $D_b$ 、 $D_t$  分别表示目标跟踪标准数据集目标中心位置和跟踪算法跟踪目标中心位置。

指标 3: 时间鲁棒性。时间鲁棒性评估(Temporal Robustness Evaluation, TRE) 通过将数据集中每个目标数据分为 20 段, 给予目标不同初始帧的 20 次跟踪结果作为最终跟踪成绩。为目标跟踪初始化不同跟踪初始帧, 防止初始化对跟踪结果的影响, 更能反映跟踪算法的鲁棒性。实验中使用曲线下面积(Area Under Curve, AUC)来说明目标跟踪的指标数据。

指标 4: 目标跟踪速度。实验中采用每秒处理帧数(fps)作为目标跟踪速度评价指标。具体通过计算每个实验数据跟踪过程中所用时间, 取平均作为 fps 指标, 公式如下:

$$fps = \frac{F_{ra}}{T} \quad (11)$$

式中:  $F_{ra}$  为跟踪数据总帧数; T 为跟踪过程总耗时。

指标 5: 通过客观观察目标跟踪算法在标准数据集上各个数据的实际跟踪效果, 将目标跟踪算法对目标的跟踪效果作为定性分析评价指标。

#### (6) 实验过程

1) 对标准数据集 OTB100 上的 100 个跟踪对象进行实验, 分别将每个跟踪数据分为 20 段, 以降低目标初始化对跟踪算法的影响。

针对每个跟踪对象的跟踪难点因素进行分类统计, 得到每种跟踪算法在不同情况下的跟踪指标数据以及综合平均数据作为最终结果。

2) 将文中方法进行实际场景跟踪实验, 验证算法实际应用效果。

## 5.2 实验结果与分析

### 5.2.1 OTB100 目标跟踪实验

实验对比结果如图 5-7 和表 1 所示, 实验结果分析如下:

(1) 图 5 为文中算法及对比算法在 OTB100 标准数据集上的部分跟踪实验结果, OUR 表示仅采用 HOG 特征的跟踪结果, OUR\_CN 表示采用 HOG 与 CN 特征融合的跟踪结果。从图 5 中可以看出, 在目

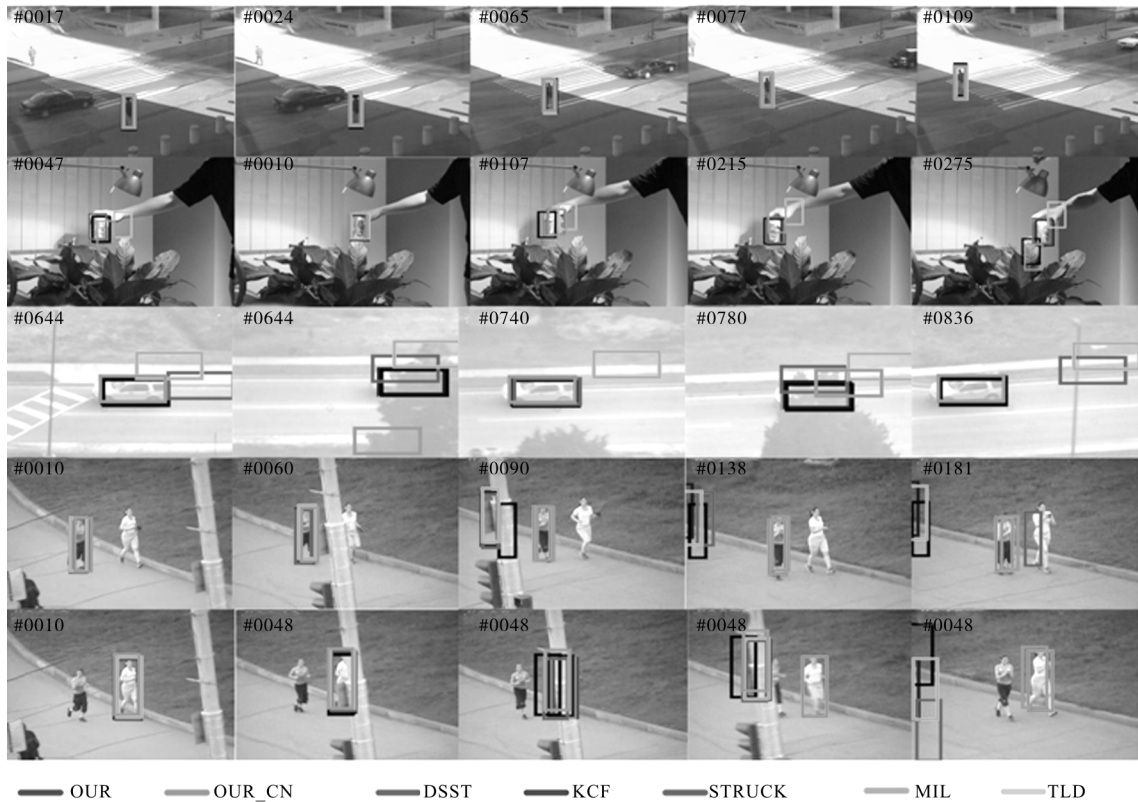


图 5 实验结果

Fig.5 Experimental results

标发生形变、背景变化等情况下,文中方法可以较好地 对目标进行跟踪。在目标发生部分或全部遮挡时,如图 5 中第 2~5 个视频序列,文中算法仍然能够继续对目标进行跟踪。

(2) 图 6 为目标跟踪标准数据集上所有跟踪结果综合评价 指标统计图。由图中数据可得出如下结论:

1) 由跟踪数据 OUR 可以看出,基于单特征的双步相关滤波算法目标跟踪精度较 KCF 提高 3.9%,较 DSST 提高 4.8%,跟踪成功率较 KCF 提高 3.0%,较 DSST 提高 6.3%,较其他目标跟踪算法提升明显。文中基于双步相关滤波目标跟踪算法可以有效

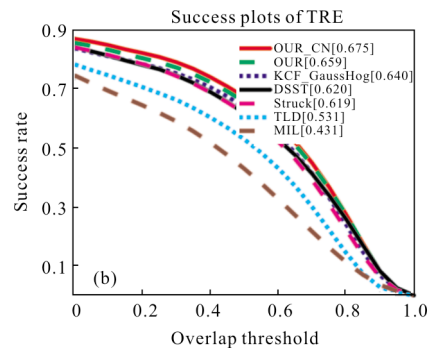


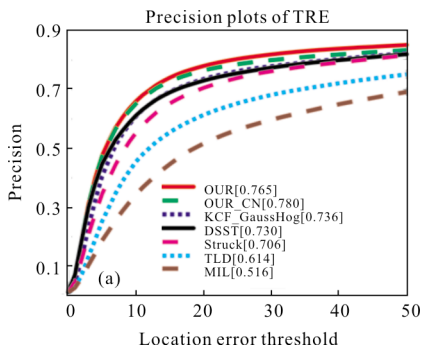
图 6 综合评价指标对比图

Fig.6 Comprehensive evaluation index comparison

地提高跟踪的总体精度和鲁棒性。

2) 由跟踪数据 OUR\_CN 可以看出,基于 HOG 和 CN 特征融合算法的跟踪精度较 KCF 提高 6.0%,较 DSST 提高 6.9%,跟踪成功率较 KCF 提高 5.5%,较 DSST 提高 8.9%,较其他目标跟踪算法指标提升明显。融合多种特征的跟踪算法较单一特征对目标的表征更强,在跟踪过程中对目标与背景分辨能力更强,跟踪精度与鲁棒性更高。

(3) 图 7 为实验在标准数据集所有实验数据,按



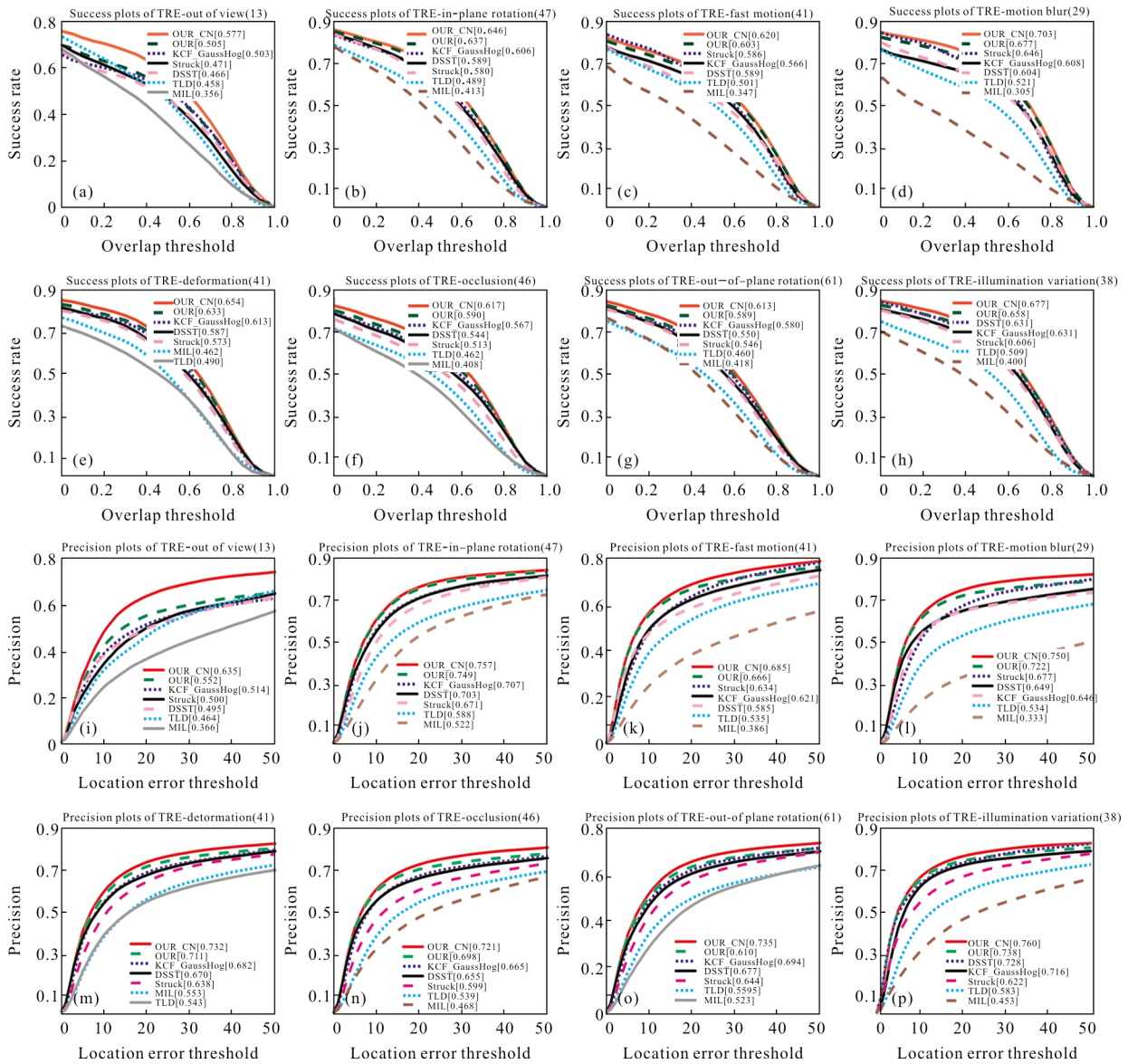


图 7 分类统计评价指标数据  
Fig.7 Classification statistics of evaluation indicators

照不同目标变化因素分类统计的评价指标数据。由图中数据可得出如下结论：

1) 文中方法较其他方法在旋转、快速运动、运动模糊、形变、光照变化等情况下的跟踪精度和成功率均有提升。文中算法可有效提高目标跟踪的精度和成功率。

2) 在遮挡情况下，跟踪精度较 KCF 提高 8.4%，较 DSST 提高 10.1%，跟踪成功率较 KCF 提高 8.8%，较 DSST 提高 13.4%。目标出视野情况下较 KCF 跟踪精度提高 23.5%，较 DSST 提高 28.2%，跟踪成功率较 KCF 提高 14.7%，较 DSST 提高 23.8%。

由于采用目标跟踪置信度模板更新策略，能够较好地避免遮挡以及目标出视野等造成的模型漂移问题，较大地提升了目标跟踪在这些情况下的跟踪精度和成功率。

(4) 表 1 为文中算法及对比算法实验跟踪结果指标统计数据，可以看出，文中算法在 OTB100 数据集上目标跟踪精度与成功率较其他跟踪算法均有较大提升。文中算法目标跟踪平均速度为 27.4 fps，由于采用大范围目标粗定位与目标精定位方法相结合双步相关滤波策略，在提高目标跟踪精度的同时保证了目标跟踪的实时性。



表 1 实验评价指标统计表

Tab.1 Experimental evaluation index statistics

	Success rate	Precision rate	fps
OUR_CN	0.675	0.780	27.4
OUR	0.659	0.765	30.6
DSST	0.620	0.730	32.8
KCF	0.640	0.736	175.6
STRUCK	0.619	0.706	20.2
TLD	0.531	0.614	28.1
MIL	0.431	0.516	38.1

5.2.2 系统实际应用目标跟踪实验

图 8 所示为文中系统实际应用目标跟踪结果图,其中图 8(a)为行人跟踪,目标发生形变、旋转、部

分遮挡等跟踪难点问题;图 8(b)为非机动车辆跟踪,目标发生形变、部分遮挡、严重背景干扰、低分辨率等跟踪难点问题;图 8(c)为机动车辆跟踪,目标发生旋转、部分遮挡、出视野、严重背景干扰等跟踪难点问题;图 8(d)为行人跟踪,目标发生形变、旋转、部分遮挡、出视野以及跟踪目标较小等跟踪难点问题。从图中可以看出,文中方法在实际系统应用中可以对图 8(a)~(d)等难点问题目标跟踪情况进行较好的跟踪。双步相关滤波目标跟踪在提高跟踪精度的同时保证了跟踪的速度,采用置信度模板更新方式可以有效解决目标遮挡时的模型污染问题,采用特征融合方法可以有效解决目标背景干扰等问题,提高跟踪鲁棒性,实现对目标的精确和鲁棒的跟踪。



图 8 目标跟踪实际应用结果

Fig.8 Practical application of object tracking

6 结 论

文中对相关滤波目标跟踪算法进行研究,提出一种基于双步相关滤波的目标跟踪方法,并通过实验验证文中方法提高了目标跟踪的精度和鲁棒性,得到如下结论:

- (1) 文中提出双步滤波目标跟踪方法,提高了目标跟踪的鲁棒性和精度,同时保持了跟踪的速度。
- (2) 通过融合 HOG 与 CN 特征,进一步提高了跟踪的鲁棒性。
- (3) 在模板更新阶段,提出基于目标跟踪置信度

指标的自适应模板更新策略,有效解决了目标被遮挡时造成的模板被污染问题。

(4) 文中算法跟踪平均速度为 27 fps,能够满足目标跟踪算法的实时性要求。

(5) 从系统实际应用目标跟踪结果来看,文中算法可以对目标发生遮挡、目标形变和收到背景干扰等情况下进行快速精确的跟踪,算法具有实际应用价值。

由于相关滤波是基于模板类跟踪算法,对于目标快速形变情况跟踪效果不好,今后可针对目标快速变形问题做进一步研究。另外,可利用深度学习特征进一步提高目标跟踪的精度。

## 参考文献:

- [1] Bolme D S, Beveridge J R, Draper B A, et al. Visual object tracking using adaptive correlation filters [C]//Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2010: 2544-2550.
- [2] Henriques J F, Caseiro R, Martins P, et al. High-speed tracking with kernelized correlation filters [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(3): 583-596.
- [3] Li Y, Zhu J. A scale adaptive kernel correlation filter tracker with feature integration [C]//European Conference on Computer Vision, 2014: 254-265.
- [4] Danelljan M, Häger G, Khan F S. Accurate scale estimation for robust visual tracking [C]//British Machine Vision Conference, 2014: 65.1-65.11.
- [5] Ma C, Huang J B, Yang X, et al. Hierarchical convolutional features for visual tracking [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2015: 3074-3082.
- [6] Liu T, Wang G, Yang Q. Real-time part-based visual tracking via adaptive correlation filters [C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015: 4902-4912.
- [7] Zhang Difei, Zhang Jinsuo, Yao Keming, et al. Infrared ship-target recognition based on SVM classification [J]. Infrared and Laser Engineering, 2016, 45(1): 0104004. (in Chinese)
- [8] Luo Haibo, Xu Lingyun, Hui Bin, et al. Status and prospect of target tracking based on deep learning [J]. Infrared and Laser Engineering, 2017, 46(5): 0502002. (in Chinese)
- [9] Danelljan M, Shahbaz K F, Felsberg M, et al. Adaptive color attributes for real-time visual tracking [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014: 1090-1097.
- [10] Jiang Shan, Zhang Rui, Han Guangliang, et al. Moving object tracking based on multi-feature fusion in the complex background gray image[J]. Chinese Optics, 2016, 9(3): 320-328. (in Chinese)
- [11] Wang Wei, Wang Chunping, Li Jun, et al. Correlation filter tracking based on feature fusing and model adaptive updating [J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(8): 2059-2066. (in Chinese)
- [12] Yang Dedong, Cai Yuzhu, Mao Ning, et al. Long-term object tracking based on kernelized correlation filters [J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(8): 2037-2049. (in Chinese)
- [13] Wang M, Liu Y, Huang Z. Large margin object tracking with circulant feature maps [C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017: 21-26.
- [14] Wu Y, Lim J, Yang M H. Object tracking benchmark [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2015, 37(9): 1834-1848.
- [15] Babenko B, Yang M H, Belongie S. Visual tracking with online multiple instance learning [C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 983-990.
- [16] Kalal Z, Matas J, Mikolajczyk K. P-N learning: Bootstrapping binary classifiers by structural constraints [C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2010: 49-56.
- [17] Hare S, Saffari A, Torr P H S. Struck: Structured output tracking with kernels [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2016, 38(10): 2096-2109.
- [18] Zhang Lei, Wang Yanjie, Sun Honghai, et al. Adaptive scale object tracking with kernelized correlation filters [J]. Optics and Precision Engineering, 2016, 24(2): 448-459. (in Chinese)