

文章编号: 2095-4980(2022)06-0618-08

基于多模板匹配的双模型自适应相关滤波跟踪算法

张 博, 裴宇驰, 黄慧敏

(长沙师范学院 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410100)

摘 要: 为有效提升目标跟踪的精确度和实时性, 设计了基于多模板匹配的双模型自适应相关滤波跟踪算法。对多模板匹配模型与核相关滤波跟踪模型参数进行初始化处理: 多模板匹配模型选取得分函数作为模板与候选样本间匹配准则, 通过候选样本得分获取最佳目标, 更新多模板后, 通过形变多样相似性实现多模板匹配; 核相关滤波跟踪模型利用所采集目标样本数据建立循环矩阵, 通过训练核化岭回归分类器获取核相关滤波器, 并获取响应置信图, 再利用响应置信图获取下一帧图像目标位置。通过自适应融合策略获取两个模型所估计目标位置, 再采用金字塔尺度估计策略估计目标尺度变化, 通过不断更新各模型参数实现目标精准跟踪。实验结果表明, 在目标受遮挡或旋转、光照变化等复杂环境下, 该算法的中心跟踪误差均低于 15 dpi, 平均跟踪精确度均高于 98%, 且目标定位时间低于 100 ms, 说明该算法在跟踪精确度和实时性上具有明显的应用优势。

关键词: 多模板匹配; 双模型; 滤波跟踪; 岭回归分类; 响应置信图

中图分类号: TN911.72

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2021116

Dual-model adaptive correlation filter tracking algorithm based on multi-template matching

ZHANG Bo, PEI Yuchi, HUAN Huimin

(College of Information Science and Engineering, Changsha Normal University, Changsha Hunan 410100, China)

Abstract: In order to effectively improve the accuracy and real-time performance of target tracking, a dual-model adaptive correlation filtering tracking algorithm based on multi-template matching is designed in this study. The parameters of the multi-template matching model and the kernel-related filtering tracking model are initialized firstly. Among them, the multi-template matching model takes the score function as the matching criterion between the template and the candidate sample, obtains the best target through the candidate sample score, and realizes the multi-template matching through the deformation and diversity similarity after updating the multi-template. The kernel correlation filter tracking model uses the collected target sample data to establish a circulant matrix, obtains the kernel correlation filter and the response confidence map by training the core ridge regression classifier. Then the target position of the next frame of image is obtained by using the response confidence map. An adaptive fusion strategy is adopted to obtain the estimated target position of the two models, and then the pyramid scale estimation strategy is employed to estimate the target scale change. Accurate target tracking is achieved by continuously updating each model parameter. The experimental results show that the center tracking error of the algorithm is lower than 15 dpi, the average tracking accuracy is higher than 98%, and the target positioning time is less than 100 ms in complex environments such as target occlusion or rotation and illumination changes. The above results indicate that the algorithm bears obvious application advantages in tracking accuracy and real-time performance.

Keywords: multiple template matching; dual-model; filter tracking; ridge regression classification; response confidence map

收稿日期: 2021-03-15; 修回日期: 2021-05-26

基金项目: 教育部中国高校产学研创新基金资助项目(2020ITA05028); 教育部产学合作协同育人资助项目(201901014024); 湖南省普通高等学校教学改革研究资助项目(HNJG-2021-1195); 湖南省社会科学成果评审委员会一般资助项目(sskl202219)

视频图像是人们了解客观世界的重要方式，随着电子科技以及互联网技术高速发展，图像处理作为方便而实用的技术引起各领域研究学者重视。目标跟踪是计算机视觉领域极为重要的技术，已广泛用于军事、交通、医学等众多领域中。目标跟踪依据所给定目标在视频中的初始位置，精准预测与跟踪目标运动状态。目标跟踪主要包括主动跟踪与被动跟踪两部分，视频中的目标跟踪为被动跟踪的重要部分。从视频中跟踪目标具有直观性强、精确度高以及隐蔽性强的优势。但视频背景极为复杂，存在光照变化、遮挡、目标快速运动等情况，为目标跟踪增加了难度。

为提升目标跟踪精确度，众多学者对目标跟踪算法做出大量研究。目前，应用于目标跟踪领域的主流算法有粒子滤波算法、相关滤波算法等。黄健等提出一种基于核相关滤波的视觉跟踪算法^[1]，可实现视频中目标有效跟踪，但跟踪精确度较差；王艳川等提出基于双模型融合的自适应目标跟踪算法^[2]，可实现在不同复杂环境下对目标的良好跟踪，但算法复杂性较高，实时性较差；王任华等提出基于自适应多模型联合的目标跟踪算法^[3]，可有效提升目标跟踪实时性，但不同模型对精确度影响较大，当其中一个模型受外界影响时，容易导致目标跟踪精确度降低；孟球与李诚新提出双特征模型核相关滤波目标跟踪算法^[4]，可有效提升目标跟踪精准性，但未考虑不同目标背景的复杂性，复杂背景下目标跟踪精确度较差；胡昭华等提出基于时间感知和自适应空间正则化的相关滤波跟踪算法^[5]，可实现目标精准跟踪，有效解决模型退化在跟踪过程中的问题，提升了跟踪性能，并解决了复杂环境下目标跟踪问题，但算法的运行速度较低，实时性较差；陈智等提出自适应特征融合的多尺度相关滤波目标跟踪算法^[6]，可有效解决复杂背景情况下尺度变化导致的目标跟踪失败问题，适用于尺度变化情况下快速运动状态的目标跟踪，具有较高的鲁棒性，但跟踪成功率仅为54.2%；谭舒昆等提出基于高斯尺度空间的核相关滤波目标跟踪算法^[7]，可实现目标有效跟踪，但该算法误跟踪率较高；冯棊等提出了基于子空间和直方图的多记忆自适应相关滤波目标跟踪算法^[8]，该算法具有较高的抗背景干扰以及抗遮挡能力，但其跟踪实时性较差；常敏等提出了基于自适应特征融合和模型更新的相关滤波跟踪^[9]算法，可有效解决存在目标遮挡以及背景干扰导致跟踪失败的问题，但对于旋转运动目标的跟踪性能较差；郝少华等提出了基于候选区域检测的核相关目标跟踪算法^[10]，在目标跟踪失败时仍可通过快速搜寻获取目标的精准位置，具有较高的整体跟踪性能，但其在尺度变化情况下的跟踪适应性较差。

基于上述算法的优势及缺陷，本文基于多模板匹配设计了新的双模型自适应相关滤波跟踪算法。该算法利用多模板匹配模型自适应获取待跟踪目标的姿态改变及尺寸变化，从根本上提升目标跟踪精确度；然后将其与核相关滤波跟踪模型相结合，通过更新目标尺度以及各模型系数实现目标实时跟踪。将该算法与目前主流的跟踪算法对比，通过实验结果验证该算法在目标存在形变、旋转以及光照等复杂背景变化情况下，均具有较高的跟踪鲁棒性以及跟踪精确度。

1 双模型自适应相关滤波跟踪算法设计

1.1 多模板匹配模型

1.1.1 匹配准则

假设 I_i 表示视频中存在的可视图像块，从 I_i 中所提取特征用 $x_i^i = \mathbf{R}^d$ 表示，其中， d 表示所提取特征维数。模板与候选样本 x 间的匹配程度利用得分函数衡量，利用线性组合得分函数 $f(\cdot)$ 计算样本的加权核函数：

$$f(x) = \sum_{i=1}^N u_i \langle x^i, x \rangle_k \quad (1)$$

式中： u_i 表示核函数 i 的系数， $\mathbf{u} = [u_1, u_2, \dots, u_N]^T \in \mathbf{R}^N$ ； x^i 为支持样本。

多模板匹配模型的匹配准则确定由以下两部分组成：

- 1) 利用粒子滤波算法获取数量为 M 的状态向量 $\mathbf{B}_i = [b_i^1, b_i^2, \dots, b_i^M]$ 以及其样本集合 X_i ， b 表示状态变量；
- 2) 通过得分函数 $f(\cdot)$ 获取最佳状态变量。

1.1.2 样本采集

模板集对目标跟踪性能影响较高，样本选择决定模板更新情况。假设 $A = \{A^+, A^-\}$ 表示给定支持样本集合，其中 A^+ 表示正样本集合， A^- 表示负样本集合。在模板更新以及目标描述过程中，正样本变化较为重要^[11]，因此需将正样本与负样本的作用叠加，再通过增加约束相关系数构造采集模板，约束条件如下：

$$\sigma(x^i) u_i > 0, \forall x^i \in A \quad (2)$$

式中: $\sigma(x^i) = \begin{cases} 1 & x^i \text{ 为正样本} \\ -1 & x^i \text{ 为负样本} \end{cases}$ 。

将式(2)代入式(1)中, 将标准化内积核视为核函数:

$$f(x) = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^N \sigma(x^i) |u_i| \langle x^i, x \rangle \quad (3)$$

当视频图像帧数为 $t-1$ 时, 用 $A_{t-1} = \{x^1, x^2, \dots, x^{N_{t-1}}\}$ 与 $y_{t-1} = \{y^1, y^2, \dots, y^{N_{t-1}}\}$ 表示支持样本集合以及相应真解。视频图像帧数为 t 时, 在估计状态 b 周围采集样本 $A_t = \{x^1, x^2, \dots, x^N\} \in \mathbf{R}^{d \times N}$, 数量为 N , 并计算各样本 $x_i^i \in A_t$ 真实值:

$$s(x_i^i) = \text{overlap}(b, Z(x_i^i)) \quad (4)$$

式中: $\text{overlap}(\cdot)$ 为重叠率; $Z(x_i^i)$ 为样本 x_i^i 的状态变量。

假设存在样本 x 以及真实输出 y 于候选样本集合 \hat{A}_t 内, 需要样本得分与真实输出较为接近^[12], 综合考虑候选样本集合内全部样本, 得到样本采集目标函数为:

$$C = \min_u \left\{ \sum_{i=1}^{N_{t-1}+N_t} \left(y_i^i - \sum_{j=1}^{N_{t-1}+N_t} \sigma(x_j^j) |u_j| \langle x_j^j, x_i^i \rangle \right)^2 \right\} \quad (5)$$

将式(5)视为多模板匹配模型样本采集的目标函数, 利用该公式获取具有代表性的样本, 提升目标跟踪精准性。

1.1.3 模板更新

设定跟踪阈值 θ , 跟踪结果得分高于所设阈值时, 从中选取训练样本数量为 N_t 建立新模板; 跟踪结果得分低于所设阈值时, 将该样本舍弃, 另选取样本建立新模板。

更新模板 h :

$$h = Au \times e \quad (6)$$

式中: u 表示更新系数; e 表示得分函数。以得分函数为匹配准则, 通过获取候选样本得分完成搜索, 再通过搜索获取最佳目标更新模板^[13]。

1.1.4 形变多样相似性多模板匹配

通过形变多样相似性对更新后的多模板展开匹配。设存在匹配模板图像对应点集 $P = \{p_i\}_{i=1}^E$ 与图像目标对应点集 $Q = \{q_j\}_{j=1}^B$, $p_i, q_j \in \mathbf{R}^d$, i, j 与 E, B 分别表示点集的点序数以及相应点集总点数, 图像目标在模板中最近邻为:

$$R_{\text{EE}}(q, P) = \operatorname{argmin}_{p \in P} d(q, p) \quad (7)$$

式中 $d(q, p)$ 与 $R_{\text{EE}}(q, P)$ 分别表示距离函数以及点 q 在点集 P 内的最近邻。

形变多样相似性计算目的是获取模板图像与目标图像内最近邻多样性数量:

$$\psi_{\text{DS}}^{\text{a} \rightarrow \text{p}} = \frac{|R_{\text{EE}}(q_j, P) \times p_i|}{\min\{E, B\}} \quad (8)$$

根据式(8)可获取目标图像与模板图像的相似性, 将目标形变加入以上计算中, 提升模板匹配性能。

用 a 与 l 分别表示外观模型以及空间位置坐标, 可得点集 P 内外观模型最近邻为:

$$p_i = R_{\text{EE}}^a(q_j, P) = \operatorname{argmin}_{p \in P} d(q_j^a, p^a) \quad (9)$$

式中 $d(q_j^a, p^a)$ 为外观模型距离, 点集 P 内 $q \in Q$ 的最近邻匹配多样性数量为:

$$\zeta(p_i) = |q \times R_{\text{EE}}^a(q_j, P)| \quad (10)$$

可得

$$\Psi_{\frac{Q}{q \rightarrow P}}^{\text{DDS}} = \frac{\sum_{q_j \in Q} \frac{1}{r_j + 1} \exp\left\{1 - \zeta \left[R_{\text{EE}}^a(q_j, P) \right]\right\}}{\min\{E, B\}} \quad (11)$$

式中 $r_j = d(q_j', p_i')$ 。通过以上过程完成多模板匹配。

1.2 核相关滤波跟踪模型

核相关滤波跟踪模型的具体运行过程为：采集目标样本数据；利用所采集目标样本数据建立循环矩阵；利用循环矩阵训练核化岭回归分类器，获取核相关滤波器。目标跟踪过程中，通过核相关滤波器获取响应置信图，下一帧图像目标位置利用响应置信图获取。

1.2.1 岭回归分类器

设 x_i 与 y_i 分别为第 i 个输入样本以及其对应标签，样本与标签间平方误差为：

$$v = \min_w \sum_i \left(f_{\text{ker}}(x_i) - y_i \right)^2 + \lambda \omega^2 \quad (12)$$

式中：第一项与第二项分别表示经验风险以及正则化项； λ 表示正则化系数，可调节第一项与第二项关系； ω 表示不同项的权重。

建立样本与标签间平方误差最小的目标函数：

$$f_{\text{ker}}(X) = \omega^T X \quad (13)$$

获取分类器权重的闭式解为：

$$\omega = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T y \quad (14)$$

式中 X 与 y 分别表示训练样本集以及相应标签集。

将埃尔米特变换(Hermite Transform)用于训练样本过程中，便于频域中处理样本，可得

$$X^H = (X^*)^T \quad (15)$$

$$\omega = (X^H X + \lambda I)^{-1} X^H y \quad (16)$$

通过向量范数运算以及点乘运算求解核相关滤波方程，将多特征融合引入求解中，输入数量为 p 的特征通道，可得特征向量分别为 $X = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ 与 $Z = [z_1, z_2, \dots, z_p]$ ，引入高斯核函数可得

$$\zeta^{xz} = \exp\left(-\frac{1}{\sigma^2} - 2F^{-1}(X+Z)\right) \quad (17)$$

式中 σ 为核函数参数。

1.2.2 响应置信图

在获取待测目标区域测试集的基础上，将其发送至目标函数 $f_{\text{ker}}(z)$ 中，可得

$$f_{\text{ker}}(z) = C(\zeta^{xz}) \alpha \quad (18)$$

式中 α 为帧的权重。

充分考虑循环矩阵性质，可得

$$\hat{f}_{\text{ker}}(z) = \zeta^{xz} \times \alpha \quad (19)$$

将离散傅里叶逆变换用于 $\hat{f}_{\text{ker}}(z)$ 中获取响应置信图 $f_{\text{ker}}(z)$ ，依据相关滤波原理可知，目前帧目标位置即为最大值位置^[14]。

实时更新目标模板以及权重矩阵，便于适应跟踪过程中目标变化：

$$\alpha_t = \mu_{\text{ker}} \lambda + (1 - \mu_{\text{ker}}) \alpha_{t-1} \quad (20)$$

$$x_t = \mu_{\text{ker}} \lambda + (1 - \mu_{\text{ker}}) x_{t-1} \quad (21)$$

式中： μ_{ker} 为学习参数； α_{t-1} 为上一帧的权重； α_t 为目前帧更新后的权重； x_{t-1} 为上一帧目标模板； x_t 为目前帧更新后的目标模板； λ 为目前帧目标的离散傅里叶变换值。

1.3 双模型自适应相关滤波跟踪

基于多模板匹配的双模型自适应相关滤波跟踪算法总体结构如图 1 所示。算法主要包括样本初始化、位置估计、尺度估计以及模型更新 4 部分，各部分具体运行过程如下：

1) 初始化

确定各模型的各项参数，将第一帧图像输入，并确定目标位置。

2) 位置估计

利用自适应融合策略获取 2 个模型所估计目标位置。

3) 尺度估计

采用金字塔尺度估计策略估计目标尺度变化，提升跟踪过程中目标尺度变化的自适应性。利用尺度核相关滤波器实施目标尺度变换，尺度金字塔在上一帧目标跟踪位置实施采样^[15]，将所采样子图通过线性插值变换，实施固定尺度变换获取训练样本，将岭回归分类器通过训练样本的方向梯度直方图特征实施训练，对应尺度即为所输出最大响应位置。

设 S 与 γ 分别表示金字塔层数及尺度因子，将目标大小与 γ^i 相乘即为采样子图大小， $i \in \left\{ -\frac{S-1}{2}, \dots, \frac{S-1}{2} \right\}$ 。可得系数公式：

$$\alpha_s = \frac{y_s}{\zeta_s^{xx} + \lambda} \quad (22)$$

式中： ζ_s 为输入核函数后训练样本所获取矩阵， ζ_s^{xx} 为核函数矩阵 ζ_s 的第一行； y_s 为对应标签的离散傅里叶变换。

用 z_s 表示当前帧训练样本，可得输出响应为：

$$f_{\text{scale}}(z_s) = \zeta_s^{zx} \times \alpha_s \quad (23)$$

更新策略如下：

$$\alpha_{s,t} = \mu \frac{y_s}{\zeta_{s,t}^{xx} + \lambda} + (1-\mu) \alpha_{s,t-1} \quad (24)$$

$$x_{s,t} = \mu_{\text{scale}} x_s + (1-\mu_{\text{scale}}) x_{s,t-1} \quad (25)$$

式中： μ_{scale} 为学习参数； $\alpha_{s,t-1}$ 表示上一帧分类器系数； $\alpha_{s,t}$ 为目前帧更新后的分类器系数； $x_{s,t-1}$ 为上一帧训练样本； $x_{s,t}$ 为目前帧更新后的训练样本。

4) 更新模型。利用所更新各模型最终参数获取目标最终位置，实现目标精准跟踪。

2 实验结果分析

2.1 实验环境

实验以 Matlab 2019 为操作平台，采用处理器为 i7-7700、内存为 8G 的计算机进行实验。选取 OTB-2018 数据集内的 5 个子集作为实验对象，该数据集子集内包含交通、航空、医疗等众多视频场景，具有较高的目标跟踪评价性能。

为更直观地分析本文算法目标跟踪性能，将本文算法与其他 6 种主流算法相比较，6 种主流算法分别为双特征模型算法、时间感知算法、多尺度算法、高斯尺度空间算法、多记忆自适应算法、候选区域检测算法。

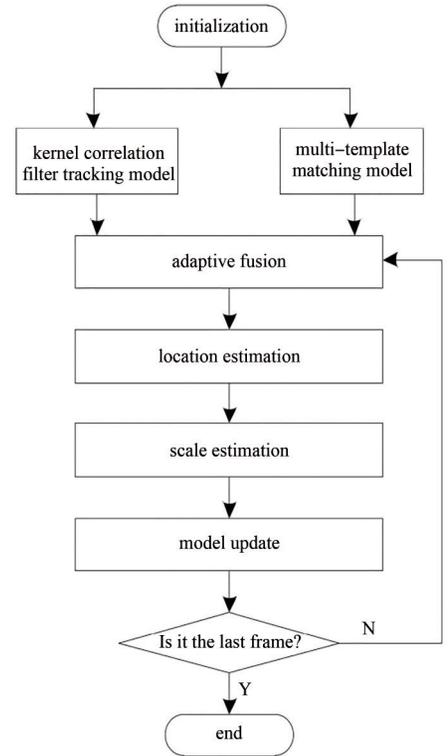


Fig.1 Overall structure of the algorithm
图 1 算法总体结构图

2.2 定性分析

中心误差指所跟踪目标的中心点位置与实际目标中心点位置的直线距离。中心误差处于 20~30 dpi 之间时，说明存在跟踪漂移情况；中心误差大于 30 dpi 时，表明跟踪未成功。通过不同算法跟踪目标的中心误差，定性分析各算法的跟踪成功率。采用不同算法跟踪 5 个子集内 8 个目标在受到遮挡、目标旋转、光照变化 3 种情况下的中心误差，统计结果如图 2 所示。

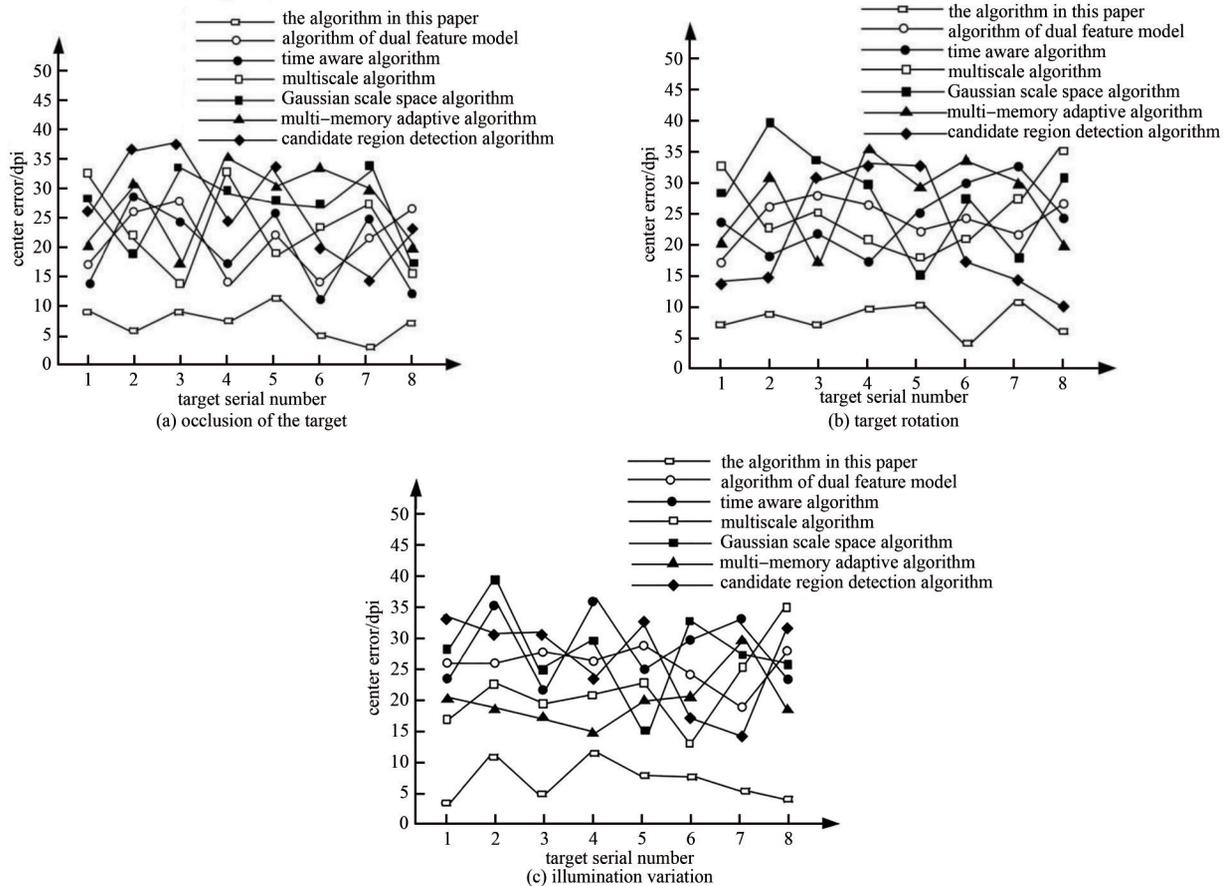


Fig.2 Center error comparison of different methods
图 2 不同方法中心误差对比

从图 2 可知，采用本文算法跟踪 5 个子集内的 8 个目标在受到遮挡、目标旋转、光照变化 3 种情况下，其中中心跟踪误差均低于 15 dpi，说明采用本文算法跟踪目标未出现偏移情况，目标跟踪全部成功；其他 6 种算法均出现目标跟踪偏移以及目标跟踪失败情况，目标跟踪的中心误差明显高于本文算法。上述结果说明本文算法具有较高的跟踪性能，可有效解决复杂情况下目标跟踪失败问题。

2.3 定量分析

采用本文算法以及其他 6 种主流算法跟踪复杂背景下 5 个子集内目标的平均跟踪精确度，统计结果如表 1 所示。从表 1 可知，采用本文算法跟踪不同复杂环境情况下的目标，平均跟踪精确度均高于 98%，这主要是因为本文算法将多模板匹配模型与核相关滤波跟踪模型相结合，可有效提升目标跟踪精准性。本文算法相比于其他 6 种主流算法的跟踪精确度具有明显提升，可有效解决目标受遮挡、目标旋转以及光照变化等复杂情况下的目标跟踪失败情况，提升算法跟踪稳健性。

采用本文算法以及其他 6 种算法跟踪目标在光照变化、尺度变化、平面外旋转、背景杂乱等不同属性下的平均定位时间，通过平均定位时间衡量各算法的时间复杂度，统计结果如表 2 所示。

从表 2 可知，采用本文算法跟踪不同复杂背景下目标，对目标的定位时间均少于 100 ms；其他 6 种主流算法对目标进行定位的耗时均多于 200 ms。上述实验结果有效说明了本文算法跟踪不同复杂背景下目标的时间明显少于另外 6 种算法，本文算法可在较短时间内快速定位目标，具有较高的跟踪实时性。产生这一结果的主要原因在于本文算法通过多模板匹配模型良好提升目标与背景的分类能力，可快速从复杂背景中区分出待跟踪目标，

从而提升了跟踪性能。

表 1 不同算法平均跟踪精确度对比(单位:%)

Table1 Comparison of average tracking accuracy of different algorithms(unit:%)

	algorithm	subset 1	subset 2	subset 3	subset 4	subset 5
target occlusion	the algorithm in this paper	98.5	99.4	98.1	98.6	98.5
	algorithm of dual feature model	96.5	96.2	95.4	94.5	93.5
	time aware algorithm	91.5	95.6	93.5	94.5	95.4
	multiscale algorithm	92.5	93.5	94.4	95.6	94.1
	Gaussian scale space algorithm	93.5	94.5	95.8	95.3	91.5
	multi-memory adaptive algorithm	91.2	93.5	94.3	92.6	92.4
	candidate region detection algorithm	92.6	93.5	94.4	95.4	96.5
target rotation	the algorithm in this paper	99.1	98.5	98.4	98.3	99.4
	algorithm of dual feature model	93.5	91.5	92.4	93.5	94.5
	time aware algorithm	94.2	92.5	93.4	92.8	91.5
	multiscale algorithm	94.5	93.5	92.5	91.5	93.5
	Gaussian scale space algorithm	95.6	96.1	92.5	93.5	93.4
	multi-memory adaptive algorithm	92.8	93.5	94.5	95.3	95.4
changes in light	candidate region detection algorithm	91.5	92.6	96.5	95.7	91.5
	the algorithm in this paper	98.6	99.3	98.7	98.2	98.4
	algorithm of dual feature model	91.5	90.5	91.5	92.4	92.5
	time aware algorithm	93.5	94.5	95.8	96.2	94.5
	multiscale algorithm	91.5	94.5	93.5	92.5	95.3
	Gaussian scale space algorithm	92.5	92.3	96.5	95.7	95.1
	multi-memory adaptive algorithm	92.6	96.5	94.5	92.5	93.1
candidate region detection algorithm	91.4	92.8	93.5	94.8	95.4	

表 2 不同算法时间复杂度分析(单位:ms)

Table2 Time complexity analysis of different algorithms(unit:ms)

attribute	the algorithm in	algorithm of dual	time aware	multiscale	Gaussian scale	multi-memory	candidate region
	this paper	feature model	algorithm	algorithm	space algorithm	adaptive algorithm	detection algorithm
light change	86	285	274	368	518	596	487
out of plane rotation	91	345	395	425	658	614	608
in plane rotation	58	216	462	584	369	584	496
occlusion	76	235	485	615	348	436	585
scale change	83	287	365	578	526	385	517
fuzzy change	79	265	285	536	418	645	396
deformation	68	248	325	492	635	285	475
fast motion	91	396	248	385	574	341	561
out of sight	85	324	295	296	592	352	439
low resolution	93	315	264	341	463	385	584
background clutter	84	327	285	396	485	347	625

3 结论

本研究基于多模板匹配设计了一种双模型自适应相关滤波跟踪算法,将多模板匹配模型与核相关滤波跟踪模型相结合,通过自适应动态融合机制提升双模型跟踪自适应性,有效避免目标跟踪受到众多干扰情况。同时,该算法利用多模板匹配模型提升视觉目标跟踪精准性,具有较高的跟踪质量。尽管所研究算法在目标跟踪中取得良好成就,但并未深入研究多目标跟踪,未来可将多目标跟踪作为主要研究方向,以期计算机视觉领域提供更多的理论支持。

参考文献:

- [1] 黄健,郭志波,林科军.一种基于核相关滤波的视觉跟踪算法[J].计算机学报,2018,41(2):240-243.(HUANG Jian, GUO Zhibo, LIN Kejun. Visual tracking algorithm based on kernelized correlation filter[J]. Computer Science, 2018,41(2):240-243.)
- [2] 王艳川,黄海,李邵梅,等.基于双模型融合的自适应目标跟踪算法[J].计算机应用研究,2017,34(12):3828-3833.(WANG Yanchuan, HUANG Hai, LI Shaomei, et al. Adaptive target tracking algorithm based on fusion of two models[J]. Application Research of Computers, 2017,34(12):3828-3833.)
- [3] 王任华,沈剑宇,蒋敏.基于自适应多模型联合的目标跟踪算法[J].计算机工程,2019,45(8):266-274.(WANG Renhua, SHEN Jianyu, JIANG Min. Target tracking algorithm based on adaptive multi-model joint[J]. Computer Engineering, 2019,45(8):266-274.)

- [4] 孟录,李诚新. 双特征模型核相关滤波目标跟踪算法[J]. 中国图象图形学报, 2019,24(12):2183-2199. (MENG Lu,LI Chengxin. Kernel correlation filtering algorithm based on a dual-feature model[J]. Journal of Image and Graphics, 2019,24(12): 2183-2199.)
- [5] 胡昭华,韩庆,李奇. 基于时间感知和自适应空间正则化的相关滤波跟踪算法[J]. 光学学报, 2020,40(3):131-140. (HU Zhaohua, HAN Qing,LI Qi. Correlation filter tracking algorithm based on temporal awareness and adaptive spatial regularization[J]. Acta Optica Sinica, 2020,40(3):131-140.)
- [6] 陈智,柳培忠,骆炎民,等. 自适应特征融合的多尺度相关滤波目标跟踪算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018,30(11): 88-98. (CHEN Zhi,LIU Peizhong,LUO Yanmin,et al. Multi-scale correlation filter tracking algorithm based on adaptive feature fusion[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018,30(11):88-98.)
- [7] 谭舒昆,刘云鹏,李义翠. 基于高斯尺度空间的核相关滤波目标跟踪算法[J]. 计算机工程与应用, 2017,53(1):29-33,141. (TAN Shukun,LIU Yunpeng,LI Yicui. Improved kernel correlation filter tracking with Gaussian scale space[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(1):29-33,141.)
- [8] 冯隼,吴小俊,徐天阳. 基于子空间和直方图的多记忆自适应相关滤波目标跟踪算法[J]. 模式识别与人工智能, 2018,31(7): 612-624. (FENG Fei,WU Xiaojun,XU Tianyang. Object tracking with multiple memory learning and adaptive correlation filter based on subspace and histogram[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2018,31(7):612-624.)
- [9] 常敏,沈凯,张学典,等. 自适应特征融合和模型更新的相关滤波跟踪[J]. 光学学报, 2019,39(9):236-244. (CHANG Min,SHEN Kai,ZHANG Xuedian,et al. Correlation filter tracking based on adaptive feature fusion and model updating[J]. Acta Optica Sinica, 2019,39(9):236-244.)
- [10] 郝少华,谢正光,王晓晶. 基于候选区域检测的核相关目标跟踪算法[J]. 电视技术, 2018,42(7):13-19,24. (HAO Shaohua,XIE Zhengguang, WANG Xiaojing. Kernel correlation target tracking algorithm based on candidate area detection[J]. Video Engineering, 2018,42(7):13-19,24.)
- [11] 毛宁,杨德东,李勇,等. 基于形变多样相似性的空间正则化相关滤波跟踪[J]. 光学学报, 2019,39(4):263-273. (MAO Ning, YANG Dedong,LI Yong,et al. Spatial regularization correlation filtering tracking via deformable diversity similarity[J]. Acta Optica Sinica, 2019,39(4):263-273.)
- [12] 许乐灵,胡石. 一种引导滤波自适应双阈值优化边缘检测算法[J]. 南京理工大学学报, 2018,42(2):177-182. (XU Leling,HU Shi. Adaptive double threshold modified edge detection algorithm for boot filtering[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2018,42(2):177-182.)
- [13] 张继文,梁桐,张淑平. 实验小鼠运动参数的模板匹配及粒子滤波提取方法[J]. 自动化学报, 2018,44(1):25-34. (ZHANG Jiwen,LIANG Tong,ZHANG Shuping. An extraction algorithm for motion parameters of a laboratory mouse by model matching and particle filtering[J]. Acta Automatica Sinica, 2018,44(1):25-34.)
- [14] 刘芳,黄光伟,路丽霞,等. 自适应模板更新的鲁棒目标跟踪算法[J]. 计算机科学与探索, 2019,13(1):83-96. (LIU Fang, HUANG Guangwei,LU Lixia,et al. Robust target tracking algorithm for adaptive template updating[J]. Journal of Frontiers of Computer Science & Technology, 2019,13(1):83-96.)
- [15] 周牧,刘仪瑶,杨小龙,等. 基于Wi-Fi即时定位与映射像素模板匹配的室内运动地图构建与定位[J]. 电子与信息学报, 2018, 40(5):1050-1058. (ZHOU Mu,LIU Yiyao,YANG Xiaolong,et al. Indoor mobility map construction and localization based on Wi-Fi simultaneous localization and mapping pixel template matching[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2018,40 (5):1050-1058.)

作者简介:

张 博(1980-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要研究方向为智能感知与控制、目标检测与跟踪. email: 2992130909@qq.com.

黄慧敏(1992-), 男, 学士, 助教, 主要研究方向为目标检测与跟踪.

裴宇驰(1990-), 男, 硕士, 助教, 主要研究方向为模式识别.