

引用格式:王涛,徐子钦,高赞,等.采用相关性区域修正的背景感知相关滤波跟踪[J].微电子学与计算机,2021,38(7):54-59.
[WANG T, XU Z Q, GAO Y, et al. Correcting correlation region for background-aware correlation filter tracking [J].
Microelectronics & Computer, 2021, 38(7): 54-59.]

采用相关性区域修正的背景感知相关滤波跟踪

王 涛¹, 徐子钦¹, 高 赞¹, 张 晋²

(1 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650504;

2 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘 要: 相关滤波类跟踪算法采用循环矩阵生成训练样本进行相关性检测时会导致边界效应问题, 目标偏离检测区域中心位置越远, 边界效应问题越严重. 为解决上述问题, 在 BACF 算法基础上提出了基于相关性区域修正的背景感知相关滤波跟踪方法. 该方法针对灰度和彩色视频采用不同的多特征融合方式进行特征提取, 对于新视频帧采用边缘轮廓检测算法使其修正相关性检测区域的范围及中心位置, 使被跟踪目标的相关性检测区域更加合理, 让被跟踪目标尽可能的位于相关性检测区域的中心位置, 从而达到缓解边界效应的效果. 使用 OTB100 数据集进行验证, 结果表明改进后的算法有效促进了基础跟踪算法的精度和成功率性能.

关键词: 目标跟踪; 相关滤波; 多特征融合; 相关性区域修正

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2021)07-0054-06

Correcting correlation region for background-aware correlation filter tracking

WANG Tao¹, XU Ziqin¹, GAO Yun¹, ZHANG Jin²

(1 School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650504, China;

2 Kunming Institute of Physical, Kunming 650223, China)

Abstract: The boundary effect problem can be caused when the correlation filtering tracking algorithm uses the cyclic matrix to generate training samples for correlation detection. The farther the target is deviates the center of the detection area, the more serious the boundary effect problem will be. In order to solve the above problems, the method of correcting correlation region for background-aware correlation filter tracking based on BACF algorithm is proposed. The method uses different multi-feature fusion methods for feature extraction for grayscale and color videos. For new video frames, edge contour detection algorithms are used to correct the range and center position of the correlation detection area, so that the correlation detection area of the tracked target more reasonable, let the tracked target be located in the center of the correlation detection area as much as possible, so as to achieve the effect of alleviating the boundary effect. The experiment uses OTB100 data sets. The experimental results show that the improved algorithm effectively promotes the accuracy and success rate performance of the basic tracking algorithm.

Key words: object tracking; correlation filter; multi-feature fusion; correlation region correction

1 引言

视频目标跟踪即根据人工或自动标注的初始目标得到后续帧序列中该目标的运动轨迹,其在视频监控、人机交互、无人驾驶等领域有着广泛的应用.近些年目标跟踪技术已经取得了很大的进步,然而,由于实际复杂场景中光照变化、外观形变、局部遮挡、快速运动、运动模糊、背景混乱等多种因素的干扰,使得鲁棒的目标跟踪技术仍面临着诸多挑战.

文献[1-2]是使用多特征融合的相关滤波类算法,有利用 HOG 特征和颜色特征(CN)的互补优势进行特征融合,还有将深度特征(CNN)和手工特征(HOG、CN)进行融合,其浅层特征富含图像的轮廓、颜色及结构信息,深层特征富含语义和高级信息,提高了目标特征的代表能力.可见,多种互补特征的有效融合可以有效促进相关滤波跟踪算法的鲁棒性.

相关滤波类跟踪算法通过使用循环矩阵生成的训练样本进行相关性检测时会导致边界效应问题.具体来讲,如果被跟踪目标偏离相关性检测区域中心位置,移动到检测区域的边界甚至部分移出检测边界就会产生边界效应,从而影响相关性检测结果的准确性.文献[3-4]通过结合掩模矩阵和循环移位方法,裁剪真实样本用于滤波器的训练,在扩大检测范围的同时提高了训练样本的质量,缓解了原始循环移位导致的边界效应.

因此本文基于 BACF 算法,提出了一种采用相关性区域修正的背景感知相关滤波跟踪方法.在特征提取阶段针对不同的视频序列(彩色视频和灰度视频)使用了不同的多特征融合方式,以增强目标特征表示能力.在目标检测阶段,对于每一帧采用边缘轮廓检测方法得到类目标位置修正 BACF 算法需要扩大的相关性检测范围,并形成一个新的裁剪矩阵,不仅实现帧间检测范围和裁剪矩阵的自适应目标大小变化,且使得当前帧目标尽可能靠近相关性检测中心区域,并提高了训练样本的质量,以缓解边界效应问题.实验表明本文方法能够有效促进基础算法的鲁棒性.

2 BACF 相关滤波算法跟踪框架

相关滤波类跟踪方法为了解决稀疏采样造成的样本冗余问题,采用循环移位生成的样本替代密集

采样得到的样本.例如 KCF^[5]算法在目标周围区域采用循环移位采集正负样本,由于循环矩阵具有傅里叶变换对角化特性,故可以通过快速傅里叶变换减小求解计算量.相关滤波器的训练过程实质上是对使用循环移位样本的岭回归模型求解,如公式(1)所示.

$$E(h) = \frac{1}{2} \sum_j^D \|y(j) - h^T x[\Delta\tau_j]\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|h\|_2^2 \quad (1)$$

式中, D 是样本的数量, $y(j)$ 是第 j 个样本期望的相关响应, h 是需要训练的滤波器, h^T 表示 h 的转置, $[\Delta\tau_j]$ 是循环移位运算符, $\{x[\Delta\tau_1] \cdots x[\Delta\tau_D]\}$ 表示基于样本 x 生成的循环矩阵, λ 为正则化系数.

循环移位导致生成的训练样本质量严重下降,直接导致相关滤波类跟踪算法存在着一个固有缺陷即边界效应问题.循环移位生成的样本只有少量是正确的,大量样本都是虚拟样本,只要目标中心在边界附近或者目标中心出边界的样本都是错误的.区别于传统相关滤波跟踪方法采用正样本循环移位生成负样本,BACF^[3]算法针对边界效应问题提出使用真实移位产生负样本,生成的样本包括真实背景和更大的搜索区域.其将图像的相关性检测范围从 D 维扩展至更大的 C 维($C \gg D$),并在目标函数中引入一个由 0 和 1 组成的维度为 $D \times C$ 的二值矩阵 P ,用于从样本中裁剪中间的 D 个元素,其原理如公式(2)所示.

$$E(h) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^C \|y(j) - \sum_{k=1}^K h_k P x_k[\Delta\tau_j]\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \sum_{k=1}^K \|h_k\|_2^2 \quad (2)$$

式中, $x_k \in \mathbb{R}^C$ 和 $h_k \in \mathbb{R}^C$ 分别表示第 k 通道的图像和需要训练的滤波器, $y(j)$ 是第 j 个样本期望的相关响应, K 表示样本通道的数量, $P x_k[\Delta\tau_j]$ 相当于在循环移位的样本中裁剪一个较小的图像块.由于 P 矩阵可以预先计算, $P x_k$ 操作可以通过查找表实现, λ 为正则化系数.为了加速运算,公式(2)可以转换到频域快速求解.

3 本文方法

3.1 多特征融合

多特征融合算法在特征提取模块都将彩色视频和灰度视频统一对待,这两类视频在各种实际复杂

场景中具有不同的特性,统一的特征提取方法难以兼顾两种视频类型.因此,本文将对彩色视频和灰度视频分别采用不同的多特征融合方法,以增强目标特征表示能力.

现有特征中,灰度特征具有全局性,HOG 特征具有局部性,二者可以同时适用于彩色视频和灰度视频. CN 特征具有全局性,适用于彩色视频. IC 特征也具有全局性,适用于灰度视频,可以作为灰度特征的有益补充.因此,对于彩色视频,本文选取灰度特征、HOG 特征和 CN 特征;对于灰度视频,本文选取灰度特征、HOG 特征和 IC 特征.本文采用将多个特征联合成为一个强特征方式,将三种特征插值采样归一化到统一大小,再通过串联方式得到一个强特征向量,接着采用强特征向量对目标进行跟踪产生相关响应图.强特征向量可以表示为公式(3).

$$x = [x_{\text{RAW}}, x_{\text{HOG}}, x_{\text{CN}} \text{ or } x_{\text{IC}}] \quad (3)$$

式中,RAW, HOG, CN, IC 分别表示灰度特征、HOG 特征、CN 特征和 IC 特征.对于彩色视频使用 CN 特征,对于灰度视频则使用 IC 特征.

3.2 检测类目标位置

为了使得当前帧跟踪结果受到尽可能少的边界效应影响,希望当前帧目标尽可能靠近相关性检测中心区域并使 BACF 中的相关性检测范围实现自适应目标变化.在当前帧的限定范围内采用边缘轮廓检测 EdgeBoxes^[6]算法找到类目标的位置修正 BACF 算法的相关性检测范围及其中心位置,使相关性检测范围不再是固定的大小,实现每帧自适应调整,提高跟踪效果.

边缘轮廓检测 EdgeBoxes 算法,它是一种目标检测方法,采用边缘检测可以得到图像中包含的多个完整轮廓,评分最高的完整轮廓位置可以作为类目标位置.EdgeBoxes 算法的原始目标检测范围是整幅视频帧图像,为了减少相似目标干扰并降低计算复杂度,本文以上一帧跟踪结果位置为中心,将目标尺寸扩大三倍的区域作为目标检测区域.

首先,在目标检测区域内进行边缘检测(在此,限定其检测区域为目标大小的 3 倍,提高检测效率),将近乎在一条直线上的边缘点集合成一个边缘簇,依据公式(4)计算这些边缘簇之间的相似度.

$$a(s_i, s_j) = |\cos(\theta_i - \theta_{ij})\cos(\theta_j - \theta_{ij})|^\gamma \quad (4)$$

式中, $a(s_i, s_j)$ 表示两个边缘簇 s_i, s_j 之间的相似度,

θ_i, θ_j 表示边缘簇的平均方向, θ_{ij} 表示两个边缘簇的夹角, γ 用来调整相似度对方向变化的敏感性.在边缘簇集合中计算 s_i 是否完全包含在边界框 b 中的连续值 $w_b(s_i)$. 设 S_b 是重叠边界框 b 的边缘簇集合,所有的 $s_i \in S_b$, 计算 $w_b(s_i)$ 也就是寻找相似度最高的轮廓,其计算如公式(5)所示.

$$w_b(s_i) = 1 - \max_T \prod_j^{|T|-1} a(t_j, t_{j+1}) \quad (5)$$

式中, T 是长度为 $|T|$ 的边缘簇序列路径, $|T|$ 从边缘 $t_1 \in S_b$ 开始到 $t_{|T|} \in s_i$ 结束, $a(t_j, t_{j+1})$ 是相似度.进一步根据公式(6)可以对候选边界框 b 进行评分.

$$h_b = \frac{\sum_i w_b(s_i) m_i}{2(b_w + b_h)} \quad (6)$$

式中, b_w, b_h 是边界框的宽度和高度, m_i 是每个像素 i 的边缘强度.评分最高的边界框即完整轮廓位置就是 EdgeBoxes 算法得到的类目标位置.

3.3 修正相关性检测区域

通过分析发现无论是扩大检测区域还是叠加系数矩阵来缓解边界效应,当前帧跟踪目标大多数仍然偏离检测范围的中心位置,这将必然导致当前帧跟踪结果受到不同程度边界效应问题的影响,尤其是当前被跟踪目标偏离出检测范围的情况下将必然导致跟踪失败.此外 BACF 算法将相关性检测范围的维度进行了扩展,形成一个裁剪二值矩阵 $\mathbf{P}$,以提高训练样本的质量,从而缓解边界效应.但其中使用的固定大小相关性检测范围并不能很好的适应被跟踪目标的大小变化,反而会因为使用了扩大的相关性检测范围,而导致模板带有更多的背景干扰信息,影响模板的性能.因此,本文将采用自适应目标大小更新相关性检测范围 C 和中心位置,使得当前帧被跟踪目标尽可能靠近相关性检测中心区域,以缓解边界效应问题.

根据类目标位置修正相关性检测区域的原理如图 1 所示.令 $\text{EB}_t(x, y, w, h)$ 表示当前第 t 帧得到的类目标位置, $\text{Pos}_{t-1}(x, y, w, h)$ 表示上一帧跟踪结果位置,其中 x, y 表示目标左上角坐标, w, h 表示目标的宽和高.依据相关滤波跟踪框架,可以得到 $\text{EB}_t(x, y, w, h)$ 对应的相关性检测区域 A 和 $\text{Pos}_{t-1}(x, y, w, h)$ 对应的相关性检测区域 B , A 和 B 的外接矩形 C 作为修正后最终的相关性检测区域,此区域即为公式(3)中扩大的相关性检测范围,并

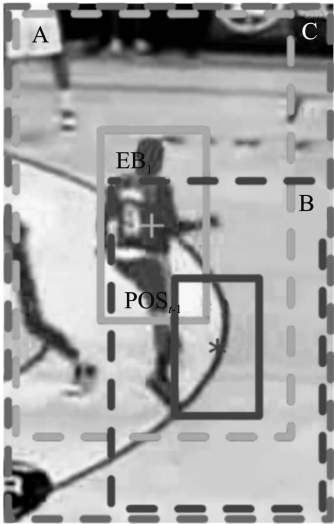


图 1 相关性检测区域修正原理

使其形成一个新的裁剪二值矩阵. 由于每帧的 A 和 B 都是根据目标大小而变化的,故 C 能达到自适应的目的. EdgeBoxes 算法检测到的类目标表明 $EB_x(x,y,w,h)$ 位置含有物体的评分最高即可能性最大,但是该类目标是否是被跟踪目标并不能定论,它只是可能的被跟踪目标,所以不能直接将其定为相关性检测区域. 其次从图 1 可以看出,相关性检测范围的中心从上一帧跟踪结果位置朝着类目标位置即可能的被跟踪目标位置偏移,相关性检测范围的中心转移到外接矩形的中心位置,可能的被跟踪目标也更靠近修正后的相关性检测范围的中心. 因此,该方法不仅扩大了相关性检测的范围,而且使得被跟踪目标尽可能靠近相关性检测区域的中心,并使 BACF 中的裁剪矩阵更加合理,减少边界效应的影响. 后续,根据相关滤波跟踪框架可以得到相关响应图及其最大值对应的跟踪结果位置.

4 实验

4.1 实验环境及对比算法

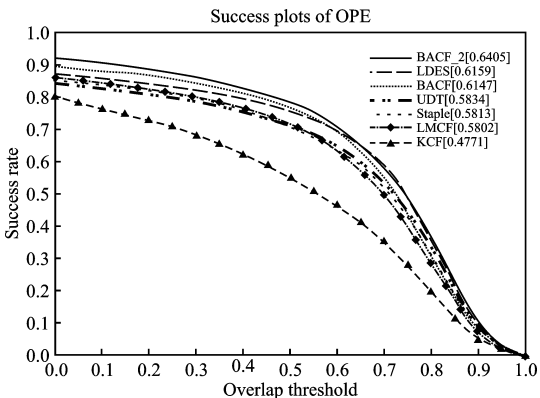
本文算法的硬件实验环境如下:CPU 型号为 Intel Core i7-6700、主频 3.4 GHz、内存 8 GB,软件开发平台为 MATLAB R2017a. 实验数据集采用目标跟踪领域公认的基准视频集 OTB100,OTB100 使用了 100 个视频序列;其涉及到 11 种挑战属性,且每个视频都具有多种挑战属性.

本文选取了近几年经典的目标跟踪算法作为对比算法,包含 BACF^[3]、LDES^[7]、UDT^[8]、Staple^[9]、LMCF^[10]、KCF^[5]等.

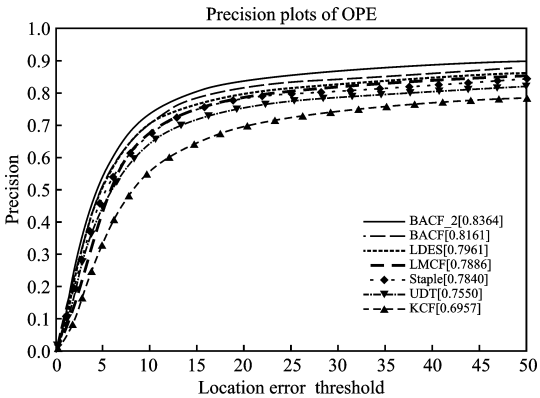
跟踪算法性能评价标准采用 OTB 实验平台提供的精度(Precision)和 AUC(Area Under Curve, 曲线下面积)标准. 其中精度是指目标中心位置误差小于设定的阈值(一般阈值设置为 20 像素)的帧数所占总帧数的百分比,而中心位置误差是算法预测的目标中心和真实的目标中心之间的距离. AUC 是指成功率曲线下面积,成功率是算法预测的目标跟踪框和目标真实框的重叠面积的比例大于设定的阈值的帧数占总帧数的百分比.

4.2 定量分析

如图 2 所示,本文改进的算法在 OTB100 中改进算法的综合 AUC 和 Precision 均高于五种对比算法,其综合 AUC 和 Precision 分别为 0.640 5 和 0.836 4,相较于基础算法 BACF 分别提高 2.58%和 2.03%. 由此可见,本文改进方法有效促进了相关滤波算法的总体跟踪性能.



(a) OTB100的AUC曲线对比图



(b) OTB100的Precision曲线对比图

图 2 与对比算法在 OTB100 的性能对比曲线

4.3 定性分析

为了更好的对比跟踪效果,图 3 最右列展示了本文算法 BACF_2 和原算法的部分视频和中心点像素误差(CLE)曲线,根据预测目标中心位置与真实位置的像素距离作为误差值,该值越大,说明误差

越大. 从图中可以看出本文改进的算法较贴近水平轴即本文方法跟踪结果与真实目标位置像素误差较小,说明本文方法能准确的跟踪复杂场景下的目标,跟踪结果更好的逼近真实的位置. 左列为本文算法与对比算法的跟踪效果定性对比,其具体对比分析如下介绍.

图 3 列出了 Basketball、Human3、Skating1 视频序列中部分帧的跟踪结果,其跟踪过程面临多种复杂的场景,在目标运动过程中伴随着遮挡、背景混乱、旋转、光照变化等多种复杂场景因素. 在 Basketball 视频中,被跟踪目标处于多种挑战属性下,但本文算法都能很好的跟上目标. 在 Human3 视频序列

中,尽管跟踪目标在后续帧中有多次被遮挡的情形,但也并没影响到本文方法改进的算法的跟踪效果,本文的方法在目标被遮挡后重新找回目标,保持了正确的跟踪. 在 Skating1 视频中,由于光照变化的影响,导致多个对比算法发生不同程度上的漂移,但本文算法在整个跟踪过程中均能跟上目标,本文算法的跟踪框也要比原算法更加贴切目标的真实大小,也就说本文方法改进的算法的跟踪结果更加准确. 由此可见,本文采用边缘轮廓检测方法能够有效的修正错误的跟踪结果,抑制边界效应的产生,克服了背景混乱对目标的扰乱.

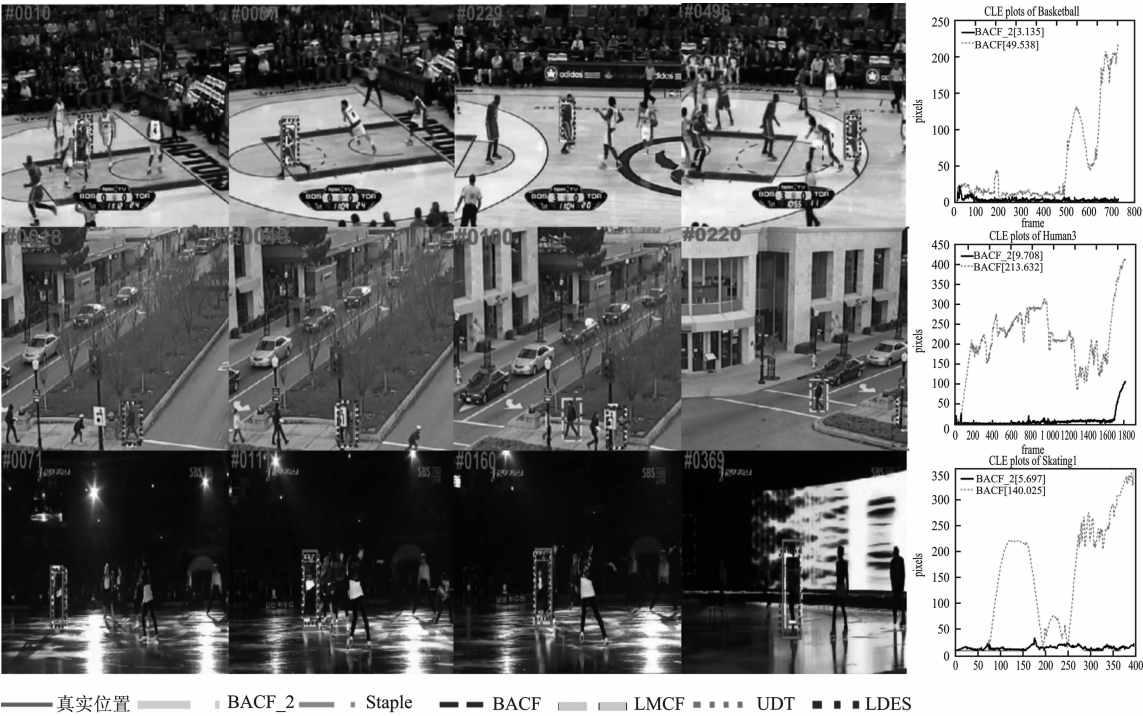


图 3 视频序列跟踪结果

5 结束语

本文针对相关滤波类固有的边界效应问题进行研究,基于 BACF 算法提出了一种相关性区域修正的背景感知相关滤波跟踪. 首先在特征提取阶段使用了多特征融合方法分别提取彩色视频序列和灰度视频的特征. 其次,本文使用边缘轮廓检测算法对类目标进行检测,根据类目标位置修正目标相关性检测区域的范围和中心位置,使相关性检测范围扩大并让被跟踪目标尽可能的位于检测区域中心位置,从而缓解边界效应的效果. 基于 OTB100 基准数据

集的实验表明,本文改进方法有效促进相关滤波类算法的跟踪性能.

参考文献:

[1] LI Y, ZHU J. A scale adaptive kernel correlation filter tracker with feature integration[C]//European Conference on Computer Vision. Cham: Springer, 2014: 254-265. DOI: 10.1007/978-3-319-16181-5_18.

[2] DANELLJAN M, BHAT G, KHAN F S, et al. ECO: efficient convolution operators for tracking [C]//Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Honolulu;

- IEEE, 2017: 6931-6939. DOI: 10.1109/CVPR.2017.733.
- [3] GALOOGAHI H K, FAGG A, LUCEY S. Learning background-aware correlation filters for visual tracking [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Venice, Italy: IEEE, 2017: 1135-1143. DOI: 10.1109/ICCV.2017.129.
- [4] GALOOGAHI H K, SIM T, LUCEY S. Correlation filters with limited boundaries[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Boston, USA: IEEE, 2015: 4630-4638. DOI: 10.1109/CVPR.2015.7299094.
- [5] 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. DOI: 10.1109/tpami.2014.2345390.
- [6] ZITNICK C L, DOLLAR P. Edge boxes: locating object proposals from edges[C]//Proceedings of the 13th European Conference on Computer Vision. Zurich, Switzerland: Springer, 2014: 391-405. DOI: 10.1007/978-3-319-10602-1_26.
- [7] LI Y, ZHU J K, HOI S C H, et al. Robust estimation of similarity transformation for visual object tracking [C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Honolulu Hawaii, USA: AIAA, 2019: 8666-8673. DOI: 10.1609/aaai.v33i01.33018666.
- [8] WANG N, SONG Y B, MA C, et al. Unsupervised deep tracking [C]//Proceedings of 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Long Beach: IEEE, 2019: 1308-1317. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00140.
- [9] BERTINETTO L, VALMADRE J, GOLODETZ S, et al. Staple: complementary learners for real-time tracking [C]//Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, USA: IEEE, 2016: 1401-1409. DOI: 10.1109/CVPR.2016.156.
- [10] WANG M M, LIU Y, HUANG Z Y. Large margin object tracking with circulant feature maps [C]//Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Honolulu, USA: IEEE, 2017: 4021-4029. DOI: 10.1109/CVPR.2017.510.

作者简介:

王涛 男,(1995-),硕士研究生.研究方向为视频目标跟踪.

徐子钦 女,(1995-),硕士研究生.研究方向为视频目标跟踪.

高赟(通讯作者) 女,(1980-),博士,副教授.研究方向为视频目标跟踪. E-mail:gausegao@163.com.

张晋 男,(1986-),高级工程师.研究方向为红外跟踪系统.