

基于背景直方图的 Staple 目标跟踪算法

孟令军, 尚桠朝

(中北大学 电子测试技术国防科技重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 针对 Staple 算法在由于相机运动出现模糊情况下跟踪精度下降的问题, 提出一种基于背景权重直方图的改进 Staple 目标跟踪算法。首先, 针对传统颜色直方图忽略空间性的问题, 提出对直方图引入位置权重; 其次, 利用背景区域颜色直方图抑制背景信息对目标区域直方图的影响, 提出引入背景权重直方图, 并完成直方图分类器的构建。该算法在 OTB2015 测试集上与其他 5 个先进算法进行实验比较, 结果表明在距离精度和成功率上总体效果相对 Staple 分别提升了 3.7% 和 2%。

关键词: 背景权重直方图; 目标跟踪; Staple; 运动模糊; 相关滤波

中图分类号: TN98; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201258

中文引用格式: 孟令军, 尚桠朝. 基于背景直方图的 Staple 目标跟踪算法[J]. 电子技术应用, 2021, 47(9): 20–24, 38.

英文引用格式: Meng Lingjun, Shang Yachao. Staple object tracking based on background-weight histogram[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(9): 20–24, 38.

Staple object tracking based on background-weight histogram

Meng Lingjun, Shang Yachao

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Focusing on the problem that the tracking accuracy of Staple tracker is reduced due to blurring of camera motion, an improved Staple tracker base on background-weight histogram is proposed. Firstly, aiming at the problem of ignoring the spatiality of the traditional histogram, it is proposed to add position to the histogram. Furthermore, making full use of the color histogram of the background area, the influence of the background information on the histogram of the target area is suppressed, this paper proposes to introduce the background-weight histogram, and completes the construction of the histogram classifier. Experiment is made on OTB2015 benchmark for comparing the proposed tracker with other 5 state-of-the-art trackers. The results show that the proposed tracker has 3.7% and 2% improvement in distance accuracy and success rate respectively.

Key words: background-weight histogram; object tracking; Staple; motion blur; correlation filter

0 引言

目标跟踪作为计算机视觉的重要组成部分, 在视频监控、军事应用、人机交互、无人驾驶^[1]等领域都有广泛的应用。目标跟踪算法利用首帧目标位置对目标进行建模, 在后续帧实现目标位置的定位。由于在目标跟踪过程中会出现目标遮挡、尺度变化、形变等, 使得目标跟踪的效果受到极大挑战^[2]。

相关滤波作为目标跟踪领域的一大热点, 受到广大学者的广泛关注^[3]。2010 年, Bolme 提出的 MOSSE 算法首次将相关滤波应用到目标跟踪领域, 获得了每秒数百帧的运行速度和相当高的准确率^[4]。Henriques 提出 CSK 算法将循环矩阵应用到相关滤波算法提升样本的多样性^[5]。2014 年, Hebroiques 将单通道的灰度特征扩展到多通道的梯度直方图(HOG), 并通过核技巧将特征映射到高维空间提出 KCF 算法^[6]。Danelljan 提出 DSST 算法引入尺度金字塔并训练一个一维相关滤波器来检测目标

的尺度^[7]。Li 等提出 SAMF 算法将梯度直方图(HOG)和颜色名(CN)特征进行融合并实现多尺度检测, 有效提升跟踪精度, 在许多算法中均有应用^[8]。Bertinetto 等人提出 Staple 算法将颜色直方图分类器应用到相关滤波, 提升了跟踪效果^[9]。2019 年, 戴伟聪等引入局部敏感直方图用于 Staple 算法的分类器, 提出一种改进的 Staple 算法^[10]。

本文针对 Staple 算法使用直方图分类器, 忽略直方图特征的空间性和没有充分利用背景信息, 提出基于背景权重直方图的 Staple 算法, 不同位置的相同 RGB 值的像素给予不同的权重, 同时利用背景区域的直方图生成抑制因子, 抑制在目标直方图中的背景直方图部分, 从而实现目标的准确跟踪。

1 跟踪算法

1.1 相关滤波器

相关滤波器可以使用一个岭回归方程^[11]求解获得,

对于一个 d 维特征组成的样本 x , 可以通过最小化式(1)来获得一个 d 维的相关滤波器 f , 即:

$$\varepsilon = \left| \left| g - \sum_{i=1}^d f^i * x^i \right| \right|^2 + \lambda \sum_{i=1}^d ||f^i||^2 \quad (1)$$

式中, g 表示相关滤波器需要的输出, 是一个高斯函数; $*$ 表示循环相关; λ 是正则化系数, 用于防止过拟合。

最小化式(1), 转换到频域计算可以得到滤波器 f 在频域的表达式:

$$F^l = \frac{\bar{G}X^l}{\sum_{k=1}^d \bar{X^k} X^k + \lambda} \quad l=1, \dots, d \quad (2)$$

式中, 大写字母表示对应的离散傅里叶变换, $\bar{X^k}$ 表示 X^k 对应的共轭。在跟踪过程中, 以 t 时刻的新样本 x_t 分别更新滤波器 F^l 的分子 A_{t-1}^l 和分母 B_{t-1}^l 得到 t 时刻的 A_t^l 和 B_t^l :

$$\begin{cases} A_t^l = (1-\eta)A_{t-1}^l + \eta \bar{G}F_t^l \\ B_t^l = (1-\eta)B_{t-1}^l + \eta \sum_{k=1}^d \bar{F}_t^k F_t^k \end{cases} \quad (3)$$

式中, η 是一个常数学习率。在第 t 帧, 将滤波器作用在样本 Z 上可以得到确定目标位置的响应, 其在频域的表达式为:

$$Y_t = \frac{\sum_{l=1}^d \bar{A}_{t-1}^l Z_t^l}{B_{t-1}^l + \lambda} \quad (4)$$

在第 t 帧, 目标的位置通过获取 $R_{cf}^t = \Gamma^{-1}\{Y_t\}$ 的最大值可获得, Γ^{-1} 表示傅里叶逆变换。

1.2 直方图特征

直方图分类器通过利用统计的方法实现分类目的。然而在目标跟踪中, 距离目标中心越远, 其作为目标的概率越小; 同时在一些跟踪场景会出现目标和背景直方图相似的情况。针对这两点, 通过引入权重背景直方图提升分类器的鲁棒性。

首先将目标区域图像根据距离中心位置的远近, 给予不同的权重, 如下式:

$$w_{ij}^o = 1 - (((w-x_c)/m)^2 + ((j-y_c)/n)^2) \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (5)$$

式中, m 、 n 分别表示目标的长和宽, w_{ij}^o 表示目标像素 x_{ij} 位置的权重, x_c 、 y_c 表示目标的中心位置。完成权重分配, 然后计算目标区域的权重直方图。

$$H^o(b) = C \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q(x_{ij}, w_{ij}^o, b) \quad b=1, \dots, \text{bins} \quad (6)$$

式中, $H^o(b)$ 表示目标区域图像 X 的权重直方图, C 为归一化系数, b 为通道数。

背景区域同样进行加权, 越接近目标边界的部分成为目标一部分的概率也更大, 对背景加权。

$$\begin{aligned} w_{ij}^B &= ((i-x_c)/a)^2 + ((j-y_c)/b)^2 \\ &\quad i=1, \dots, a-m/2, a-m, \dots, a; j=i, \dots, b-n/2, b-n, \\ &\quad \dots, b \end{aligned} \quad (7)$$

式中, a 、 b 分别表示背景(包含目标区域)的长和宽, w_{ij}^B 表示背景区域图像的权值。

计算背景的权重直方图:

$$H^B(b) = B \sum_i \sum_j Q(x_{ij}, w_{ij}^B, b) \quad (8)$$

式中, $H^B(b)$ 表示背景区域图像 B 的权重直方图, B 为归一化系数。

1.3 背景权重直方图

为了增强背景和目标区域的区分度, 抑制背景中与目标相同颜色像素对跟踪效果的影响, 使用背景区域的直方图对目标区域的直方图进行修正, $H^B = \{n_b | b=1, \dots, \text{bins}\}$ 和 $H^o = \{n_b | b=1, \dots, \text{bins}\}$ 分别表示目标和背景的权重直方图。提取背景直方图最小值 n^* , 定义修正系数。

$$v_b = \min(n^* / H^B(b), b) \quad b=1, \dots, \text{bins} \quad (9)$$

利用修正系数对目标权重直方图进行修正, 可得背景权重直方图为:

$$H^o'(b) = H^o(b) v_b \quad b=1, \dots, \text{bins} \quad (10)$$

原图、传统直方图和背景权重直方图训练分类器在原图上概率图如图 1 所示。背景权重直方图对背景杂斑的抑制效果明显, 同时目标区域和背景区域对比明显。

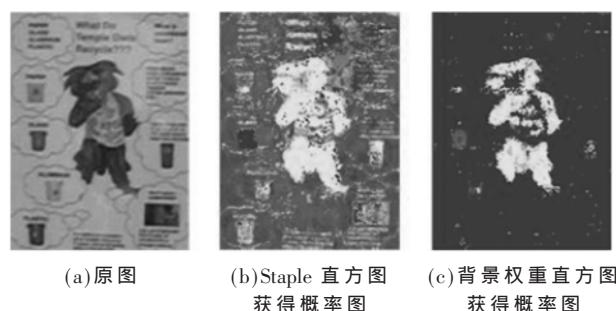


图 1 原图、传统直方图和背景权重直方图获得的概率图

直方图分类器求解, 直方图分类器 β 可以通过最小化如下损失函数求得, 即:

$$\begin{aligned} t_{hist}(\Psi, p, \beta) &= \\ \sum_{j=1}^{\text{bins}} [\frac{H^o'(j)}{|O|} (\beta^j - 1)^2 + \frac{H^B(j)}{|B|} (\beta^j)^2] &+ \lambda_{hist} \sum_{j=1}^{\text{nbins}} |\beta^j|^2 \end{aligned} \quad (11)$$

式中, p 表示标签目标区域为 1, 背景区域为 0; Ψ 表示目标和背景图像中提取的颜色直方图特征; $|O|$ 和 $|B|$ 分别表示目标区域和背景区域的像素总数。 $H^o(j)$ 和 $H^B(j)$ 分别表示在目标区域直方图和背景区域直方图第 j 个直方柱的值。上式中问题的解为:

$$\beta^j = \frac{\rho^j(O)}{\rho^j(O) + \rho^j(B) + \lambda_{hist}} \quad (12)$$

其中, $\rho^j(O) = H^o(j) / |O|$ 表示目标直方图中第 j 个直方柱

的值与目标区域元素数目的比值。利用 β_t^j 可以获得待检测区域图像中每个像素属于目标的概率, 即像素级概率图 P 。对概率图进行积分图计算, 积分图每个位置 (x, y) 处元素的意义表示输入图像所有该位置左上角元素之和, 即:

$$II(x_1, y_1) = \sum_{x < x_1, y < y_1} I(x, y) \quad (13)$$

可获得用于目标定位的直方图响应图 R_{hist} , 即:

$$\begin{aligned} R_{\text{hist}}(x, y) &= (II(x, y) + II(x+w, y+h) - II(x+w, y) - \\ &\quad II(x, y+h)) / (wh) \end{aligned} \quad (14)$$

式中, w 、 h 分别表示搜索框的长和宽, 然后以固定的学习率 η_{hist} 对直方图模型进行更新:

$$\begin{cases} \rho_t(O) = (1 - \eta_{\text{hist}})\rho_{t-1}(O) + \eta_{\text{hist}}\rho_t(O) \\ \rho_t(B) = (1 - \eta_{\text{hist}})\rho_{t-1}(B) + \eta_{\text{hist}}\rho_t(B) \end{cases} \quad (15)$$

最后将相关滤波模型和直方图模型得到的响应进行加权融合, 得到确定目标位置的响应图, 即:

$$R = \delta R_{\text{cf}} + (1 - \delta)R_{\text{hist}} \quad (16)$$

其中, δ 为融合因子。响应图的最大值位置就是目标的位置。整个算法流程如下:

(1) 训练阶段: 在第 t 帧图像的目标中心位置 pos_t 提取目标区域的 HOG 特征 x_t 并计算相关滤波器 H ; 然后更新相关滤波器的分子 A_{t-1}^l 和分母 B_{t-1} , 得到 t 时刻的 A_t^l 和 B_t ; 另外提取目标区域和背景区域的权重直方图 H^o 和 H^b , 利用式(12)求解直方图模型, 并更新得到最终跟踪模型 β_t 。

(2) 跟踪阶段: 在第 $t+1$ 帧图像中 pos_t 位置提取目标区域 HOG 特征, 利用式(4)获得相关滤波的响应 R_{cf} , 再提取 pos_t 位置处与上一帧目标大小一致的区域的直方图, 将直方图与模型 β_t 进行映射得到图像的像素概率图 P_t , 再利用式子(14)求得直方图的响应图 R_{hist} , 最后将两种响应根据式(16)融合, 融合后响应值最大的位置就是目标的中心位置 pos_t 。

2 实验结果与分析

本次算法的实验平台为 MATLAB2016a, 计算机参数

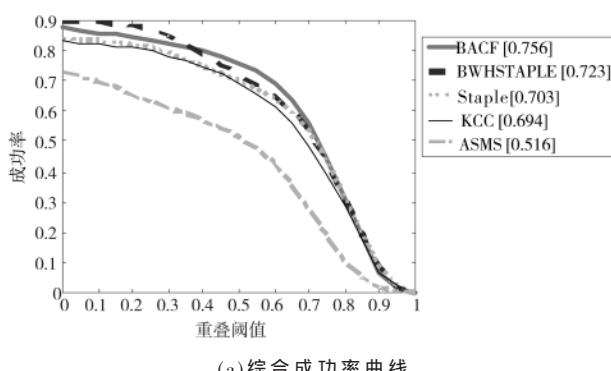
为 i5-2320cpu@3.00 GHz, 8 GB RAM。实验参数和 Staple 算法一致, 将本文算法(BWHSTAPLE)与 Staple、KCC^[12]、BACF^[13]、ASMS^[14]算法进行实验比较, 实验的数据集为 OTB2015^[15]中的 65 个视频序列, 其中包含光照、运动模糊、遮挡和形变等属性。

2.1 定量分析

此次实验使用的评价指标为距离精度(Distance Precision, DP)和准确率(Overlap Score, OS), 距离精度指中心误差 $E_{\text{cde}} = \sqrt{(x - x_g)^2 + (y - y_g)^2}$ 小于阈值的帧数占总帧数的比例, 其中, (x, y) 为算法跟踪到的目标的位置, (x_g, y_g) 表示人工标注的目标的位置。准确率是重叠率 $\text{op} = (S \cap S_g) / (S \cup S_g)$ 大于阈值的帧数占总帧数的比例, 其中 S 和 S_g 分别表示算法跟踪到的目标框和人工标注的目标框, 在本次实验选用 20 和 0.5 分别作为距离精度和准确率的阈值。实验结果如图 2 所示, 图 2 左右两边分别为算法对测试集的综合实验准确率曲线和距离精度曲线, 可以看出 BWHSTAPLE 在距离精度上为所有对比算法最高, 准确率为第二高, 相比 Staple 算法分别提升 3.7% 和 2%。图 3~图 5 则分别表示 5 种算法应对背景杂乱、运动模糊和快速运动挑战时跟踪的准确率和距离精度, 实验曲线显示, BWHSTAPLE 算法在 Staple 算法的基础上有所提升。

2.2 定性分析

为进一步显示算法的跟踪效果, 提取在 5 种算法在测试集中的一些典型跟踪结果进行分析, 如图 6 所示。在序列 Bluowl 中, 由于相机快速晃动, 导致目标图像出现模糊, 在 166 帧、394 帧, BACF、Staple 和 KCC 算法分别都出现跟踪丢失, 只有 BWHSTAPLE 和 ASMS 算法可以持续跟踪, 在 629 帧仍然可以稳定跟踪; 在序列 Couple 中, 同样由于相机晃动, 使得目标快速移动, 导致 ASMS 算法和 Staple 算法出现跟踪丢失, BACF、KCC 和 BWHSTAPLE 可以稳定跟踪; 在 Deer 序列中, 目标后面背景出现杂波, 同时目标快速移动导致除 BWHATSPLE 和 ASMS 算法外其他算法都出现了目标跟踪丢失的现象; 在 Panda 序列中, 目标翻转, 背景杂波使得 KCC、ASMS 和 Staple 算法先



(a) 综合成功率曲线

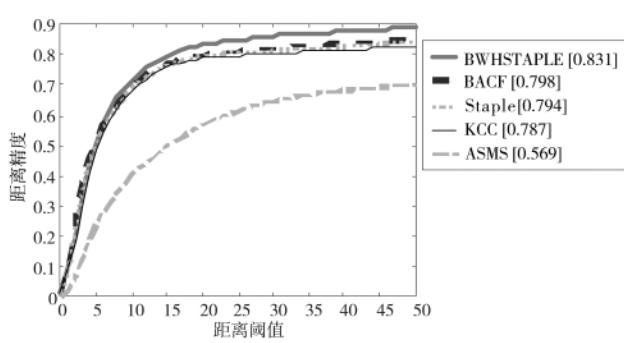


图 2 5 种算法综合距离精度和成功率曲线图

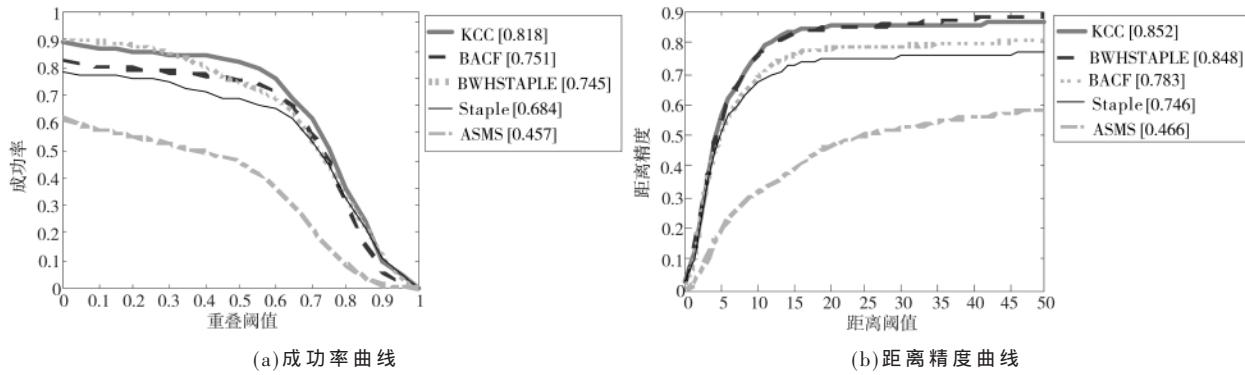


图 3 5 种算法背景杂波属性成功率和距离精度曲线图

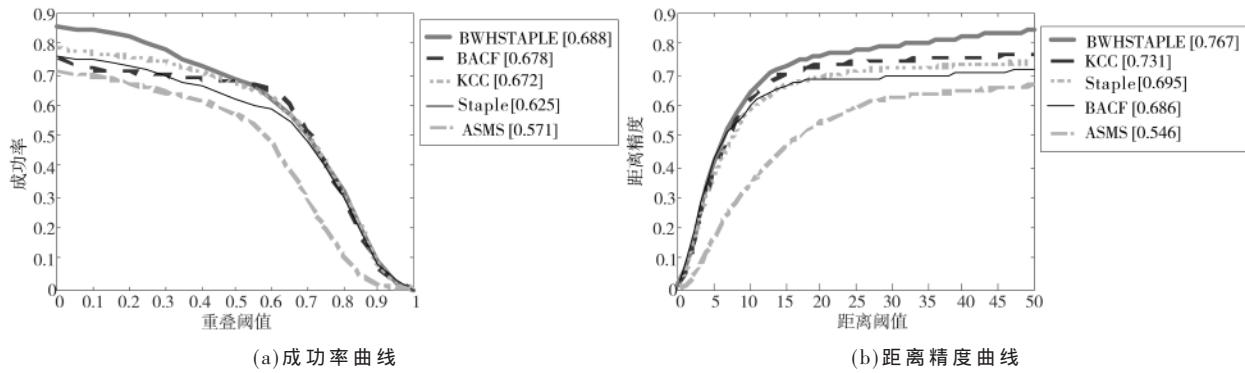


图 4 5 种算法运动模糊属性成功率和距离精度曲线图

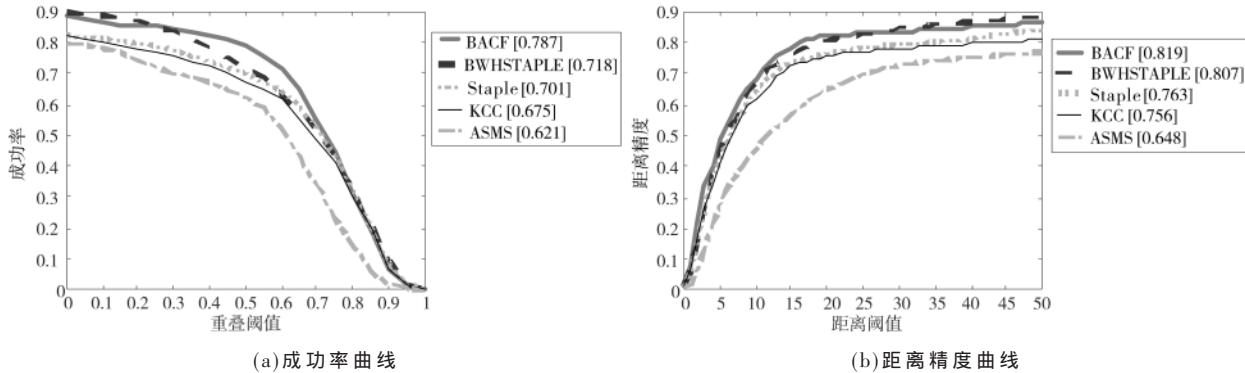


图 5 5 种算法快速移动属性成功率和距离精度曲线图

后丢失目标，只有 BACF 和 BWHSTAPLE 算法继续跟踪目标。在 Shaking 出现目标背景杂，目标与背景相似以及局部遮挡，使得依赖颜色直方图的 ASMS 算法和没有背景抑制的 Staple 算法出现目标丢失的现象。

3 结论

本文以 Staple 目标跟踪算法为框架，针对传统直方图忽略特征的空间性和原算法对与背景区域直方图利用的不充分等问题，首先，对与目标区域加入位置权重，在位置权重的基础上再进行直方图的统计，然后利用背景区域的直方图计算抑制因子，抑制在目标直方图中和背景直方图相似性大的部分。该策略可以很好地应对目标跟踪过程出现背景杂波、运动模糊和快速移动。在 OTB2015 数据集上实验表明，本文算法距离精度和成功

率相较 Staple 算法分别提升了 3.7% 和 2%。

参考文献

- [1] BROWN M , FUNKE J , ERLIEN S , et al. Safe driving envelopes for path tracking in autonomous vehicles[J]. Control Engineering Practice , 2017 , 61 (APR) : 307–316.
- [2] 罗海波, 许凌云, 惠斌, 等. 基于深度学习的目标跟踪方法研究现状与展望[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(5): 14–20.
- [3] 孟碌, 李诚新. 近年目标跟踪算法短评——相关滤波与深度学习[J]. 中国图象图形学报, 2019, 24(7): 1011–1016.
- [4] BOLME D S, BEVERIDGE J R, DRAPER B A, et al. Vision object tracking using adaptive correlation filters[C]//IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition ,

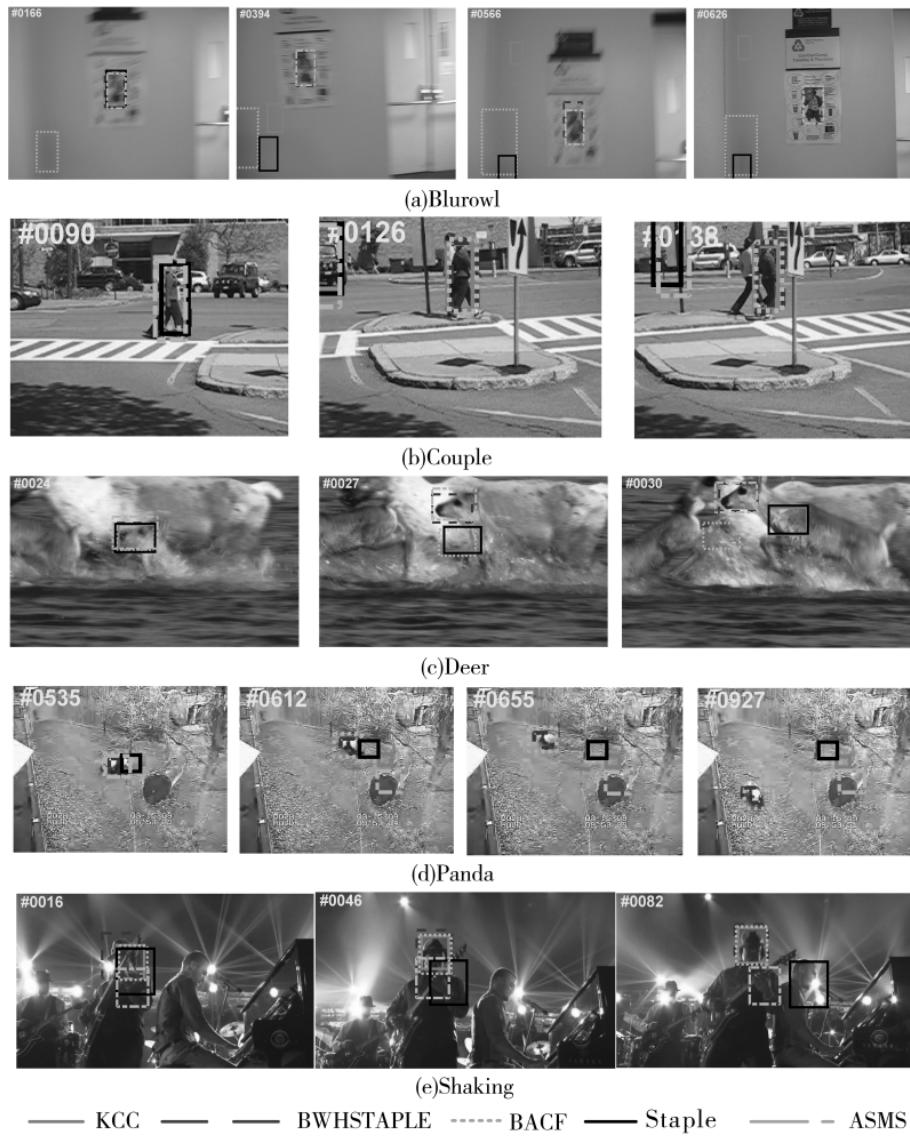


图 6 5 种算法在 5 个视频序列中跟踪效果对比图

- 2010 : 2544–2550.
- [5] HENRIQUES J F , RUI C , MARTINS P , et al . Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels [C]// European Conference on Computer Vision , 2012 : 702–715 .
 - [6] HENRIQUES J F , RUI C , MARTINS P , et al . High-speed tracking with kernelized correlation filters [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence , 2015 , 37(3) : 583–596 .
 - [7] DANELIJAN M , HAGER G , KHAN F S , et al . Discriminative scale space tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 2017 , 39(8) : 1561–1575 .
 - [8] LI Y , Zhu Jianke . A scale adaptive kernel correlation filters tracker with feature integration [C]// Proceedings of European Conference on Computer Vision . Berlin , Germany : Springer , 2014 : 254–265 .
 - [9] BERTINETTO L , VALMADRE J , GOLODETZS . Staple : com-

- plementary learners for real-time tracking [C]// Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition . Washington D.C , USA : IEEE Press , 2016 : 1401–1409 .
- [10] 戴伟聪 , 金龙旭 , 李国宁 . 基于 Staple 算法改进的目标跟踪算法 [J]. 电光与控制 , 2019 , 26(26) : 12–17 , 39 .
- [11] RIFKIN R , YEO G , POGGIO T . Regularized least-squares classification [J]. Nato Science Series Sub Series III Computer and Systems Sciences , 2003 , 190 : 131–154 .
- [12] WANG C , ZHANG L , XIE L , et al . Kernel cross correlator [C]// Proceeding of American Association for Artificial Intelligence . New Orleans , 2018 : 4179–4186 .
- [13] KIANI G H , FAGG A . Learning backgroundaware correlation filters for visual tracking [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision . Washington D.C , USA : IEEE Press , 2017 : 1135–1143 .

(下转第 38 页)

Medical Engineering , 2014 , 61(5) : 1436–1447.

- [4] 张丹, 李佳蔚. 探索思维的力量探索思维的力量: 脑机接口研究现状与展望[J]. 科技导报, 2017, 35(9): 62–67.
- [5] WOLPAW J R, MCFARLAND D J, NEAT G W, et al. An EEG-based brain-computer interface for cursor control[J]. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology , 1991 , 78(3): 252–259.
- [6] MCFARLAND D J, SARNACKI W A, WOLPAW J R. Electroencephalographic(EEG) control of three-dimensional movement(Article)[J]. Journal of Neural Engineering , 2010 , 7 (3): 036007.
- [7] PFURTSCHELLER G, BRUNNER C, SCHLÖGL A, et al. Mu rhythm(de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks[J]. NeuroImage , 2006 , 31 : 153–159.
- [8] 张莉. 表面肌电信号模式识别及其运动分析[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [9] 黄思娟, 吴效明. 基于 Mu/Beta 节律想象运动脑电信号特征的提取[J]. 中国组织工程研究与临床康复 , 2010(43): 8061–8064.
- [10] 林文通. 基于运动想象 EEG 信号的特征提取研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.
- [11] 明东, 王坤, 何峰, 等. 想象动作诱发生理信息检测及其应用研究: 回顾与展望[J]. 仪器仪表学报 , 2014(9):

1921–1931.

- [12] 王晓旭. 多任务运动想象脑电信号分类算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [13] PFURTSCHELLER G, ARANIBAR A. Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG[J]. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology , 1977 , 42(6): 817–826.
- [14] 周仲兴, 明东, 朱誉环, 等. 基于扩展 Informax ICA 的站起想象动作脑电特征提取[J]. 仪器仪表学报 , 2009(3): 459–464.
- [15] 李立亭. 基于共空间模式的四类运动想象脑电信号分类方法[J]. 仪器仪表用户 , 2016 , 23(5): 12–14.
- [16] 李明爱, 王蕊, 郝冬梅. 想象左右手运动的脑电特征提取及分类研究[J]. 中国生物医学工程学报 , 2009(2): 166–170, 176.

(收稿日期: 2020-12-22)

作者简介:

张莉(1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 本科实验实践教学、信号处理与模式识别。

王凯瑞(1999-), 男, 本科, 主要研究方向: 电气工程及其自动化。

李杨(1997-), 男, 本科, 主要研究方向: 电气工程及其自动化。



扫码下载电子文档

(上接第 24 页)

- [14] VOJIR T, NOSKOVAL J, MATAS J. Robust scale adaptive mean-shift for tracking[J]. Pattern Recognition Letters , 2014 , 49(3): 250–258.
- [15] WU Y, LIM J, YANG M H, et al. Object tracking benchmark[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 2015 , 37(9): 1834–1848.

(收稿日期: 2020-12-29)

作者简介:

孟令军(1969-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 目标跟踪、数字图像处理、嵌入式系统设计。

尚桠朝(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 目标跟踪、图像处理。



扫码下载电子文档

(上接第 29 页)

- biomedical applications[C]//2019 Devices for Intergrated Circuit , DOI : 10.1109/DEVIL.2019.8783626.
- [11] YOON Y, ROH H, LEE H, et al. A 0.6-V 540-nW delta-sigma modulator for biomedical sensors[J]. Analog Integrated Circuits and Signal Processing , 2013 , 75(2): 323–327.

(收稿日期: 2021-02-14)

作者简介:

刘铭扬(1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 数模

混合集成电路设计。

王小松(1981-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 模拟/射频/混合 CMOS 集成电路与模块、面向物联网应用的射频技术。

刘昱(1975-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为: 高性能模拟/射频 CMOS 集成电路、硅基毫米波集成电路、超低功耗短距离无线通信系统、高精度低功耗传感电路、物联网相关技术及医疗电子系统集成技术。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所