

基于 Mean Shift 的目标跟踪算法性能比较研究

苏永钢,唐 晨,程佳佳,谷 帆
(天津大学电子信息工程学院,天津 300072)

摘 要:针对目前尚未有对基于 Mean Shift 的各类目标跟踪算法在同一数据集下进行性能比较这一问题,选取了七种具有代表性的基于 Mean Shift 的目标跟踪算法,分别从算法时效性、跟踪成功率和跟踪精确度三个方面对算法在 25 段包括多种复杂场景的图像序列上的性能进行了仿真实验比较。实验结果给出了算法在不同评价指标以及不同图像场景下的性能表现。由实验得出的结论可以为基于 Mean Shift 的目标跟踪算法的进一步优化改进提供参考。

关键词:目标跟踪;算法比较;时效性;成功率;精确度

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.03.026

Performance evaluation of target tracking algorithms based on mean shift

SU Yong-gang, TANG Chen, CHENG Jia-jia, GU Fan

(School of Electronic Information Engineering, School of Science, University of Tianjin, Tianjin 300072, China)

Abstract: For the problem that there has not been the performance evaluation for kinds of target tracking algorithms based on mean shift under the same data sets, seven representative target tracking algorithms based on mean shift are selected to be evaluated in this paper. The tracking performance is evaluated experimentally on 25 video fragments involving kinds of complex scenes from time-efficiency, success rate and precision. Experiment result shows tracking performances are given under different evaluation indexes and different scenes. The conclusion will provide a reference for the optimization and improvement of target tracking algorithms based on mean shift in the future.

Key words: object tracking; comparison of algorithms; time-efficiency; success rate; precision

1 引 言

目标跟踪作为当前众多应用领域(如智能视频监控、人机交互、卫星侦察等)^[1]中一项不可或缺的关键技术,近年来得到了研究者的广泛关注,成为当前的研究热点之一。在众多目标跟踪算法中,基于 Mean Shift 的跟踪算法凭借算法时效性好、鲁棒性强和易于实现等优点,更是得到了研究者的青睐。近年来,针对 Mean Shift 跟踪算法的研究取得了很大

进展,涌现了大量优秀的改进算法,如边界约束 Mean Shift 跟踪算法^[2]等。对跟踪算法的性能进行合适、客观的评价比较,可以更好地把握算法改进和研究的方向,促进对算法的优化。

目前,针对目标跟踪算法性能比较研究的文献较少。樊祥等人采用基于层次分析的评价方法,对自适应阈值分割^[3]等跟踪算法在红外图像序列中的性能表现进行了比较研究^[4]。Smeulders 等人对

基金项目:国家自然科学基金面上项目(No. 61177007)资助。

作者简介:苏永钢(1986-),男,博士研究生,主要研究方向为目标跟踪,图像分析。E-mail: ygsu0726@163.com。

通讯作者:唐 晨(1963-),女,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为光信息处理,图像分析与处理。E-mail: tangchen@tju.edu.cn

收稿日期:2015-06-01; **修订日期:**2015-06-13

TLD 等跟踪算法进行了实验比较,并对算法的优缺点进行了系统分析^[5]。Wu 等人对 Struck 等跟踪算法进行了实验比较,通过对实验结果的分析,作者给出了算法性能优劣的对比结论^[6]。针对跟踪算法性能评价比较的方法仍在不断完善,参与比较的跟踪算法也日趋增多。然而,目前尚未有对基于 Mean Shift 的各类目标跟踪算法进行实验比较研究的文献报道。针对这一问题,本文选取了七种具有代表性的基于 Mean Shift 的跟踪算法,即经典算法(MST)^[7]、尺度自适应算法(ASMST)^[7]、背景加权直方图算法(BWH)^[7]、背景加权直方图修正算法(CBWH)^[8]、联合颜色纹理直方图算法(JCTH)^[9]、尺度方向自适应算法(SOAMST)^[10]、期望最大化算法(EMST)^[11],并在 25 段图像序列上对算法的时效性、跟踪成功率和跟踪精确度进行了实验比较分析。

2 评价指标和数据集

2.1 算法时效性

算法的时效性直接影响了算法的实际工程应用,如果算法时效性较差,即便在其他方面性能优异,也不可能在工程上得到实际应用。诸如智能视频监控、人机交互等应用领域对跟踪算法的时效性都有严格的要求。因此,将时效性作为算法性能表现的一个评价指标是有必要的。本文将算法每秒可以处理的图像帧数(FPS)作为算法时效性好坏的评价标准,即算法每秒处理的图像帧数越多,说明算法的时效性越好。

2.2 跟踪成功率

文献[12]将跟踪成功率定义为能够连续跟踪的图像帧数与图像总帧数的比值,这样定义的跟踪成功率虽然在一定程度上可以反映算法的性能表现,但这是一种比较粗糙的方法,在某些情况下(比如算法在跟丢目标若干帧后又恢复了对目标的正确跟踪)并不能反映算法的真实性能。针对跟踪成功率这样定义的不足,本文对其进行了重新定义。本文采用逐帧分析的方法,如果图像帧满足 PASCAL 判据^[13],即满足:

$$\frac{|T^i \cap GT^i|}{|T^i \cup GT^i|} \geq 0.5 \quad (1)$$

就认为算法在此帧图像中对目标是成功跟踪的。其中, T^i 表示算法给出的目标跟踪框, GT^i 表示对目标标注的真实跟踪框。 $\cap$ 表示这两种跟踪框的重合部分,即交集; $\cup$ 表示这两种跟踪框的并集。若总帧数为 N 的一段图像序列中满足式(1)的图像帧数为 n ,则跟踪成功率定义为:

$$R = n/N \quad (2)$$

2.3 跟踪精确度

大多数文献(如文献[14]、[15])采用算法预测的目标位置与目标真实位置的距离作为算法跟踪精确度的判断标准,距离越小,说明精确度越高。但是,文献[14]、[15]中采用的这些方法并不对目标跟丢情况进行判断排除,而在目标跟丢情况下计算偏差距离是没有意义的,因此这些方法在此情况下不能准确反映算法的跟踪精确度。针对这些方法的不足,本文采用逐帧分析的方法,在图像序列中只计算满足式(1)的图像帧中算法预测的目标中心与目标真实中心之间的平均偏差距离。该距离定义如下:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{ii})^2 + (y_i - y_{ii})^2} \quad (3)$$

其中, n 为满足式(1)的图像帧数; x_i 和 y_i 为算法给出的目标中心的坐标位置; x_{ii} 和 y_{ii} 为目标中心的真实坐标位置。

根据算法预测的目标中心与目标真实中心之间的平均偏差距离,可以将算法在第 j 段图像序列上的跟踪精确度定义为:

$$P_j = D_{jk} / \sum D_{jk} \quad (4)$$

其中, D_{jk} 为算法 K (K 为本文选用的七种跟踪算法中的一种)在第 j 段图像序列上的平均偏差距离, $\sum D_{jk}$ 为七种算法在第 j 段图像序列上平均偏差距离之和。 P_j 值越小,表明算法的跟踪精确度越高,反之,表明算法的跟踪精确度越低。

2.4 数据集

大多数发表的文献对跟踪算法进行性能比较时使用的图像序列数量较少,如文献[16]仅采用五段较短的图像序列对算法进行性能比较。在数量较少的图像序列上对算法的性能进行比较得出的结论是不太客观的。为了较为客观地比较这七种算法的性能,本文采用的图像序列共 25 段,包括 9185 帧图片;图像场景中包括背景杂波、目标形变、快速运动、光照变化、目标遮挡、尺度变化等影响算法性能的因素。

3 实验结果分析

对于每段图像序列,测试七种算法的性能时,选取的初始帧和初始目标区域保持一致。本文选用的七种算法均为 Matlab 语言实现,算法运行环境如下:软件为 Matlab7.12,处理器为 Intel core - i3 (3.30 GHz),内存为 2 GB。

3.1 时效性

比较算法的时效性即算法运行速度时,在每段图像序列上运行算法程序十次,取十次结果的平均值作为算法的运行速度。表1给出了算法在25段图像序列上运行速度的最大(小)值及平均值。

表1 七种算法在25段图像序列上的运行速度(f/s)

Tab.1 Speed of seven trackers on 25 image sequences (f/s)

算法	最大值	最小值	平均值
MST	70.56	13.76	45.20
ASMST	6.34	0.85	2.14
BWH	55.57	20.75	35.44
CBWH	55.56	17.07	35.90
JCTH	55.93	4.54	12.71
SOAMST	20.27	2.28	11.12
EMST	10.86	1.45	3.54

表1表明,MST算法的时效性最好,CBWH和BWH算法次之,而其余四种算法的时效性较差。JCTH算法由于需要额外计算LBP特征,因此算法处理速度较慢;SOAMST和EMST算法由于需要求解协方差矩阵,故时效性较差;ASMST算法由于需要独立运行三次Mean Shift跟踪算法,因此处理速度最慢。

3.2 跟踪成功率和精确度

比较算法的跟踪成功率和精确度时,在每段图像序列上分别运行算法程序三次,取三次结果的平均值作为算法的跟踪成功率和精确度。图1(a)和图1(b)分别给出了算法在25段图像序列上的跟踪成功率和精确度。图2(a)~(f)和图3(a)~(f)分别给出了算法在背景杂波、目标形变、快速运动、光照变化、目标遮挡、尺度变化等图像场景中的跟踪成功率和精确度。

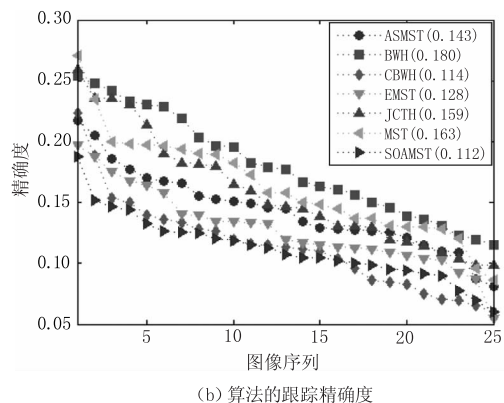
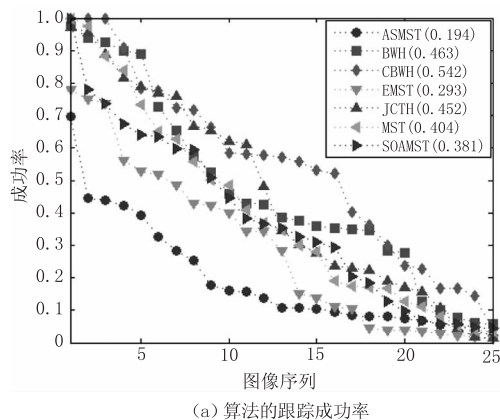


图1 七种算法在25段图像序列上的跟踪成功率和精确度。

对于每种算法,图中显示的是其在25段图像序列上跟踪成功率(精确度)经降序排列后的结果。

Fig.1 The success rate & precision of seven trackers on 25 image sequences. Sequences (x-axis) are sorted by the success rate (precision) of each tracker in descending order

图1(a)表明,在25段图像序列上CBWH算法的跟踪成功率最高,BWH、JCTH、MST、SOAMST算法次之,ASMST算法最低。而图1(b)则表明,SOAMST算法的跟踪精确度最高,CBWH、EMST、ASMST算法次之,而JCTH、MST、BWH算法较低。

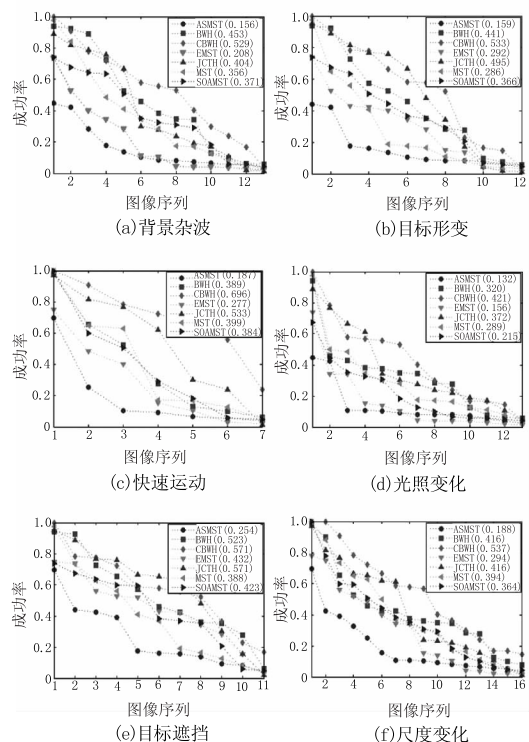


图2 七种算法在六种图像场景中的跟踪成功率,图中显示的是每种算法在相关图像序列上跟踪成功率经降序排列后的结果。

Fig.2 The success rate of seven trackers in six complex scenes. Sequences (x-axis) are sorted by the success rate of each tracker in descending order

图 2(a) ~ (f) 表明,在六种图像场景中 CBWH 算法的跟踪成功率都保持最高,JCTH、BWH 算法次之,而 ASMST 算法则最低。除目标遮挡情况外,EMST 算法的跟踪成功率都是仅高于 ASMST 算法而低于其他算法。MST 和 SOAMST 算法在大多数图像场景中的跟踪成功率介于 EMST 算法和 JCTH、BWH 算法之间。相对于其他图像场景,在光照变化情况下,大多数算法的跟踪成功率都较低。

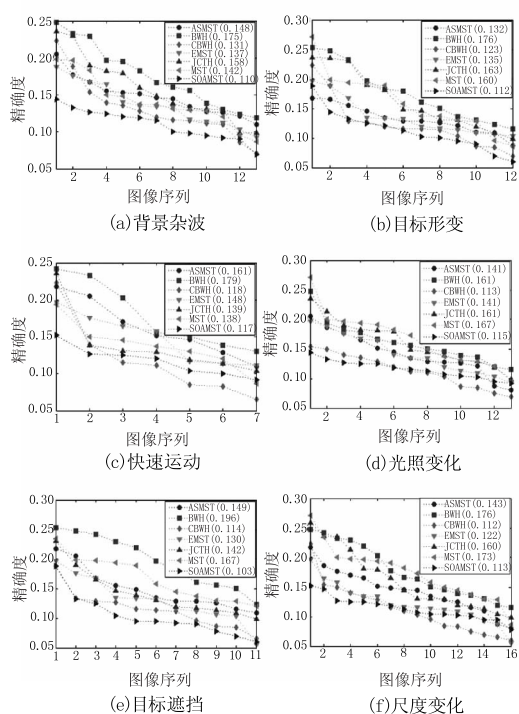


图 3 七种算法在六种图像场景中的跟踪精确度,图中显示的是每种算法在相关图像序列上精确度经降序排列后的结果。

Fig. 3 Precision of seven trackers in six complex scenes. Sequences (x-axis) are sorted by precision of each tracker in descending order

图 3(a) ~ (f) 表明,除光照变化和尺度变化图像场景外,SOAMST 算法的跟踪精确度都保持最高,CBWH 算法次之;而在这两种图像场景中,CBWH 算法的跟踪精确度最高,SOAMST 算法次之。除光照变化图像场景外,BWH 算法的跟踪精确度均为最低;而在光照变化图像场景中,MST 算法的跟踪精确度最低。ASMST、EMST 和 JCTH 算法在六种图像场景中的精确度居中。

综上所述,MST 算法的时效性最好,在各种图像场景中 CBWH 算法的跟踪成功率最高,而 SOAMST 算法在大多数图像场景中的跟踪精确度保

持最高。综合考虑时效性、成功率和精确度这三个评价指标,CBWH 算法的性能表现最好,而 ASMST 算法的表现最差。此外,BWH 算法在跟踪精确度这一评价指标上的表现较差。值得注意的是,对于光照变化这一图像场景,大多数算法的跟踪成功率都较低,说明大多数算法无法有效处理光照变化这一影响算法性能的场景因素。

4 结束语

针对一些文献中定义的跟踪成功率和精确度的不足,本文对其进行了修正。以修正过的跟踪成功率和精确度以及算法时效性为评价指标,对七种具有代表性的 Mean Shift 跟踪算法在 25 段包含复杂场景因素的图像序列上的性能表现进行了实验比较,并对实验结果进行了分析。由实验结果得到的相关结论可以为 Mean Shift 跟踪算法的进一步优化改进提供参考。

参考文献:

- [1] Yilmaz A, Javed O, Shah M. Object tracking: a survey [J]. ACM Computing Surveys, 2006, 38(4): 1-45.
- [2] GUO Yongcai, WANG Kun, GAO Chao. Infrared pedestrian target tracking based on KDE with boundary constraint [J]. Laser & Infrared, 2014, 44(10): 1169-1173. (in Chinese)
郭永彩,王琨,高潮. 边界约束的核密度估计红外人体目标跟踪方法 [J]. 激光与红外, 2014, 44(10): 1169-1173.
- [3] XUE Fengting, PENG Dingxiang. Adaptive threshold algorithm in IR tracking system [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(4): 386-388. (in Chinese)
薛丰廷,彭鼎祥. 红外跟踪系统中的自适应阈值分割 [J]. 激光与红外, 2008, 38(4): 386-388.
- [4] FAN Xiang, FANG Yiqiang, CHENG Zhengdong, et al. Performance evaluation for tracking algorithm based on AHP [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2013, 33(2): 101-105. (in Chinese)
樊祥,方义强,程正东,等. 基于 AHP 的跟踪算法性能评价研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2013, 33(2): 101-105.
- [5] Smeulders A W M, Chu D M, Cucchiara R, et al. Visual tracking: an experimental survey [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014, 36(7): 1442-1468.

- [6] Wu Yi, Lim J, Yang Ming-hsuan. Online object tracking: a benchmark [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2013: 2411 – 2418.
- [7] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564 – 577.
- [8] Ning Jifeng, Zhang Lei, Zhang D, et al. Robust mean shift tracking with corrected background-weighted histogram [J]. IET Computer Vision, 2012, 6(1): 62 – 69.
- [9] Ning Jifeng, Zhang Lei, Zhang D, et al. Robust object tracking using joint color-texture histogram [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2009, 23(7): 1245 – 1263.
- [10] Ning Jifeng, Zhang Lei, Zhang D, et al. Scale and orientation adaptive mean shift tracking [J]. IET Computer Vision, 2012, 6(1): 52 – 61.
- [11] Zivkovic Z, Kröse B. An EM-like algorithm for color-histogram-based object tracking [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004: I – 798 – I – 803.
- [12] Askar Hamdulla, WANG Baozhu. PDAF based on CFAR performance comparative research in tracking dim point moving target technology [J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(3): 168 – 171. (in Chinese)
- 艾斯卡尔·艾木都拉, 王保柱. 恒虚警率 PDAF 的弱点状目标跟踪技术性能分析 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(3): 168 – 171.
- [13] Everingham M, Gool L V, Williams C K I, et al. The pascal visual object classes (VOC) challenge [J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 88(2): 303 – 338.
- [14] LI Pengfei, CHEN Chaowu, LI Xiaofeng. An overview for performance evaluation of intelligent video algorithms [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(2): 352 – 260. (in Chinese)
- 李鹏飞, 陈朝武, 李晓峰. 智能视频算法评估综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(2): 352 – 260.
- [15] Cilia A. Object tracking using cluster of elastically linked feature trackers [J]. Journal of Electronic Imaging, 2008, 17(2): 023019 – 1 – 023019 – 11.
- [16] Hu Jwu-sheng, Juan Chung-wei, Wang Jyun-ji. A spatial-color mean-shift object tracking algorithm with scale and orientation estimation [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29: 2165 – 2173.