

基于 SIFT 验证的 Mean Shift 跟踪运动目标新算法

王智军¹, 王建华²

(1. 赤峰学院计算机与信息工程学院, 内蒙古 赤峰 024000; 2. 白求恩医务士官学校, 石家庄 050000)

摘要: Mean Shift 算法具有良好的实时性, 但是由于其缺乏有效的目标模板更新机制而易陷入局部最大值。在经典 Mean Shift 算法的基础上, 结合 SIFT 特征匹配提出一种新算法, 实现快速移动和遮挡等复杂情况下的目标连续跟踪, 既保证了算法的实时性, 又弥补了 Mean Shift 算法的不足。针对运动车辆目标快速运动和遮挡情况进行实验, 并与其他算法进行比较。结果表明, 新方法有效解决了目标遮挡和快速移动等情况下的跟踪问题, 对于复杂条件下的运动车辆目标跟踪, 既保证一定的实时性又具有很好的鲁棒性。

关键词: 目标跟踪; Mean Shift; SIFT 特征; 特征验证

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2016)11-0093-04

A New Mean Shift Algorithm Based on SIFT Verification for Moving Object Tracking

WANG Zhi-jun¹, WANG Jian-hua²

(1. The College of Computer and Information Engineering, Chifeng University, Chifeng 024000, China;
2. Bethune Medical College, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Mean Shift algorithm works well locally and is used to track the objects with low speed. But the algorithm is easy to fall into local maximum due to lack of appropriate target model updating mechanism. In this paper, a new Mean Shift algorithm based on SIFT Verification is proposed, which can be used for tracking the occluded object moving at high speed. The proposed algorithm can compensate for the shortcoming of the Mean Shift while keeping fine real-time performance. Tests were made to the scenes of occluded vehicle moving at high speed with comparison to the traditional algorithms. The experimental results show that the proposed algorithm can effectively track an object under the complex condition with fine real-time performance and high robustness.

Key words: object tracking; Mean Shift; SIFT features; feature verification

0 引言

在智能交通系统、视频监控、人工智能、目标识别和国防领域中, 运动目标跟踪一直是很具有挑战性的问题。文献[1]基于密度估计的方法, 提出了 Mean Shift 算法, 由于它在目标特征提取和匹配方面的高效性, 近年来广泛应用于目标跟踪领域。但是, 由于其基本原理是利用颜色直方图模型来描述目标模型, 当被跟踪的目标移动速度太快, 或者被其他物体遮挡时, 算法非常容易跟踪失败, 因此有不少学者结合其他算法对其进行改进, 从而适应复杂环境下的运动目标跟踪。

文献[2]引入粒子滤波器对目标的运动轨迹进行预测, 为 Mean Shift 算法提供候选区域; 文献[3]引入小波分析来跟踪运动的卫星、车辆、行人和其他目标; 文献[4-6]利用 Mean Shift 算法在复杂背景下跟踪红外目标及实现方面也取得了很好的效果。这些工作都表明了 Mean Shift 算法在跟踪运动目标方面的有效性, 但这些算法需要目标运动规律的先验信息, 当缺少目标运动方式的信息时, 改进的算法就不能可靠地工作了, 而且 Mean Shift 算法判断跟踪效果的准则是其 Bhattacharyya 系数, 当系数值较大时, 只能说明目标模板与候选模板的颜色直方图分布较为接近, 但是并不是真正说明候选模板就是目标, 上述改进算法并没有改变这个基本原理。尺度不变特征变换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) 算法^[4]是一种在图像中进

收稿日期: 2015-06-15

修回日期: 2016-07-03

作者简介: 王智军(1972—), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士, 副教授, 研究方向为计算机视觉。

行全局搜索的算法, SIFT 特征具有很好的旋转、尺度、仿射、光照不变性。因此相对于传统的局部搜索, 尤其在寻找遮挡目标时有明显的优势。文献[7]中详细叙述了 SIFT 算法的实现, 并且将其应用于图像检索中; 文献[8]将 SIFT 匹配算法和 SVM 算法结合起来在多车辆场景中实现了目标识别和跟踪; 文献[9]提出了一种基于核局部不变映射的尺度不变特征转换特征描述算法, 鲁棒性和计算性都有很大提高。这些算法在目标处于遮挡、旋转、光照变化的情况中都可以很好地处理跟踪问题。文献[10]利用 SIFT 特征匹配的方法进行目标跟踪, 取得了较好的结果。但是在实际跟踪中, 存在全局空间特征点提取、匹配耗时长的缺点, 严重制约了算法的实时性。

综上, 本文结合 SIFT 算法的优点, 针对被遮挡的快速移动目标稳定跟踪进行研究, 提出一种新的 Mean Shift 算法用来跟踪时被遮挡的快速移动目标。避免仅用 Bhattacharyya 系数决定跟踪效果, 能保证跟踪的鲁棒性, 特别是当目标被与其颜色接近的其他物体遮挡时。

1 相关研究

在传统 Mean Shift 跟踪算法的基础上, 利用 SIFT 特征匹配更新目标模板的方法取得了很好的效果。很多学者都研究了这两种算法的集成。文献[11]根据目标模板 SIFT 特征矢量匹配结果和 CamShift 算法估计结果, 分别得到两个候选模板, 再进行自适应转换 SIFT 和 CamShift 算法跟踪, 但是在决定跟踪目标的位置时, 其本质上仍然采用了 Bhattacharyya 系数作为目标的唯一确定参数。文献[12]利用 SIFT 对相邻两帧的目标附近区域进行匹配, 增强了传统 Mean Shift 算法的鲁棒性和跟踪窗口的准确性。但是由于几乎每一帧都要进行 SIFT 特征提取, 耗费大量时间, 实时性不好。文献[13]在传统 Mean Shift 算法跟踪失败时, 根据目标模板与候选图像的 SIFT 特征集合匹配结果, 纠正候选区域的范围, 但是由于其目标模板没有更新机制, 目标模板和候选区域的 SIFT 特征匹配成功点的数量太少, 而使匹配失败。

2 算法理论基础

1) Mean Shift 算法。

Mean Shift 算法是由文献[14]在关于概率密度梯度函数的估计中提出来的, 其最初含义是偏移的均值向量, 本质上是一个梯度下降算法, 该算法迭代收敛到相似性函数的局部极大值点。但随着 Mean Shift 理论的发展, 其发生了变化, 文献[1]将 Mean Shift 算法应用于目标跟踪领域, 用颜色概率直方图分布建立目标

模型, 根据当前位置的均值平移向量, 在邻近区域内搜索匹配度最高的区域作为新的目标位置, 然后以此为新的起始点继续移动, 直到满足一定的条件而结束。该算法不需要进行全局性质的穷尽搜索, 实时性强, 在基于图像处理的目标跟踪中得到广泛应用。具体实现过程可以参考文献[1]。

2) SIFT 理论。

SIFT 算法^[7]由英属哥伦比亚大学 LOWE D G 教授于 1999 年提出, 2004 年加以完善, 用来探测与描述图像中的局部特征, 它在不同的空间尺度中寻找极值点, 并提取出其位置、尺度和旋转不变量。SIFT 算法查找到的特征点是一些十分突出, 而且不会因光照、仿射变换和噪声等因素而变化的点。基于 SIFT 特征点匹配的目标跟踪算法, 一般可分为两个阶段: 第一阶段是图像 SIFT 局部特征点的提取; 第二阶段是不同图像之间特征点的匹配。具体实现过程可参考文献[7]。

分析这两种跟踪算法的原理可知, 经典 Mean Shift 算法跟踪失败、导致目标丢失的主要原因是缺少有效的目标模板更新机制, 单一的目标确认参数和局部搜索机制。而 SIFT 特征是基于目标物体上的一些局部外观的兴趣点, 与图像的大小和旋转无关, 对于光线、噪声、微小视角改变的容忍度也相当高。当跟踪性能由于目标的自身状态、场景所处的环境和成像器材的成像特性等因素影响时, SIFT 特征能够在一定程度上解决目标旋转、尺度、光照、遮挡等因素的影响。

3 新算法

为了解决遮挡对目标跟踪效果的影响, 新算法的主要思想包括 Mean Shift 跟踪和 SIFT 匹配验证两点。当 Mean Shift 跟踪得到目标区域后, 利用 SIFT 特征向量匹配验证跟踪目标的准确性, 避免跟踪错误。以下是新算法的详细实现步骤。

首先在输入的第一帧图像中手动选择要跟踪的运动目标, 形成初始目标模板, 并计算提取其 SIFT 特征向量。整个算法主要流程如图 1 所示。

1) 利用 Mean Shift 算法进行实时跟踪; 2) 根据候选模板的 SIFT 特征匹配度判断跟踪效果, 如果高于设定阈值, 表明 Mean Shift 跟踪准确, 下一帧继续使用 Mean Shift 跟踪目标; 如果低于设定阈值, 表明 Mean Shift 跟踪错误, 下一帧停止 Mean Shift 跟踪目标, 改用 SIFT 全局匹配定位目标; 3) 根据 SIFT 匹配定位结果计算运动目标的转换系数矩阵 H , 进而确定跟踪窗口, 更新跟踪位置和目标模板; 4) 基于新的目标模板, 继续采用 Mean Shift 跟踪; 5) 重复以上步骤, 持续跟踪下去。

其中, 步骤 3) 中的目标转换系数矩阵 H 的计算是

一个关键的要点。转换系数描述了目标的形体变化,如平移、旋转和缩放等。

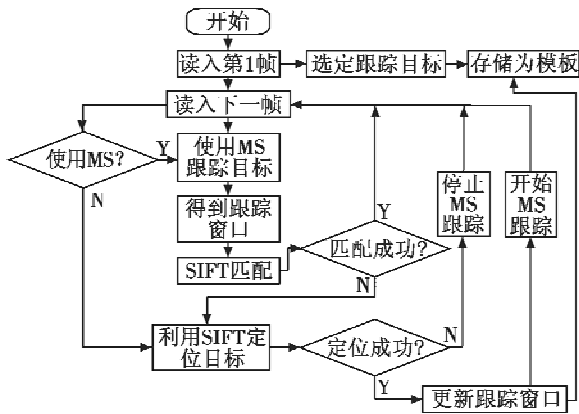


图 1 新算法流程图

Fig. 1 The flow chart of the proposed algorithm

假设 I_1 和 I_2 是包含目标的两帧图像,它们之间的转换关系为

$$I_2 = H \times I_1 \quad (1)$$

矩阵 H 可以很清楚地描述目标的外形变化,因此获取新的目标模板,必须可靠准确地计算转换矩阵 H 。

对 H 的确定可以由 SIFT 匹配成功特征向量对应的点之间的几何关系得到。图 2 展示了 SIFT 特征匹配点的例子。

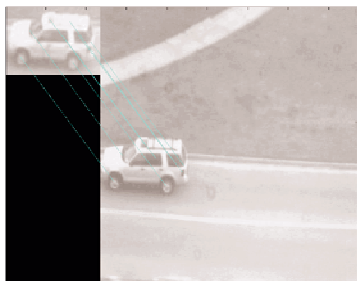


图 2 SIFT 特征点匹配结果

Fig. 2 The matching result of SIFT points in two images

假设 P 和 P' 分别为原目标模板和新图像帧中匹配成功的特征向量点的坐标集合,即 $P = \{(x_i, y_i), i = 1, \dots, N\}$ 和 $P' = \{(x'_i, y'_i), i = 1, \dots, N\}$,其中, N 为匹配成功的特征向量点数量。

求出转换系数矩阵 H 后,就可以得到新的跟踪窗口和目标模板,即

$$\begin{cases} x'_i = x_i \rho_x + t_x \\ y'_i = y_i \rho_y + t_y \end{cases} \quad (2)$$

但是这种优化算法过程复杂、耗时长,而在很多实际应用中,目标的跟踪窗口并不需要完全匹配目标的形状,经常是采用一个矩形窗口即可满足要求,因此采用简化算法计算新的跟踪窗口信息。简化算法认为原目标模板和新目标模板均为矩形,它们之间的关系简化为

线性关系式(2),通过匹配特征点的最大坐标值,求得缩放尺度,进而求得平移参数。

4 实验结果与分析

为了验证新算法的性能,编写了 Matlab 程序进行测试,测试的硬件环境为 Intel® Core™ i3-2120, 3.30 GHz PC 计算机。选择了一段图像序列,包括了运动车辆目标直行、进入树丛遮挡区域的场景。车辆目标从第 115 帧开始进入树丛,直至第 175 帧重新出现;从第 270 帧开始又进入树丛,直至第 294 帧又重新出现。图像尺寸为 320 像素 \times 240 像素,初始目标模板尺寸为 117 像素 \times 59 像素。新算法中的颜色直方图选用 RGB 空间,每个通道分为 16 份。验证用的 SIFT 匹配数量的判断阈值为 2,定位用的 SIFT 匹配数量阈值为 5。为了更好地表明新算法性能,对照算法选择了经典的 Mean Shift 算法^[1-2]。图 3 所示为两种算法的跟踪结果。

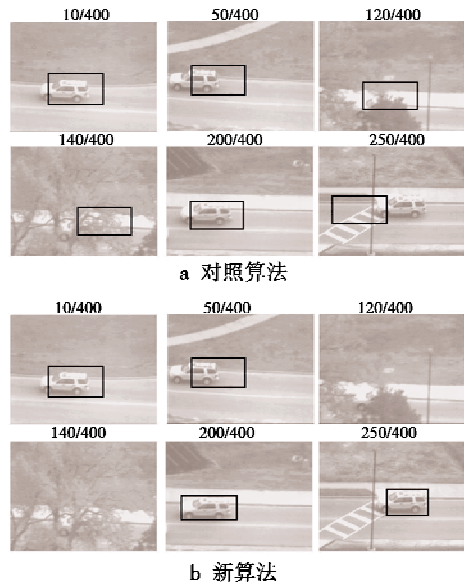


图 3 算法的跟踪结果对比

Fig. 3 The tracking results of the algorithms

从图 3 可以看出,在第 120 帧和第 140 帧时目标完全被遮挡,但是 Mean Shift 算法还是显示跟踪成功,而新算法中的 SIFT 验证则准确地给出目标已丢失的结果。当目标重新出现时,新算法利用 SIFT 匹配定位到目标,成功跟踪;而 Mean Shift 算法已经跟踪偏移,这是因为 Mean Shift 算法仅在上一帧跟踪位置的邻近区域寻找最优点,当目标远离这个邻近区域时,就会发生偏移现象。

图 4 比较了两种算法下的 Bhattacharyya 系数。由图 4 可以看出,新算法的系数比对照算法的系数普遍要高。新算法中, Bhattacharyya 系数为 0,表明对应图像帧中的目标丢失,此时目标已经完全被树丛遮挡,而对照算法却不能识别出这种情形,仍然给出 Bhatta-

charyya 系数值。在跟踪精度方面,新算法的跟踪误差也比对照算法要小,详细见表 1。表 1 中,跟踪误差定义为跟踪窗口矩形中心点的几何距离,单位是像素,标准值为手工标注得到。

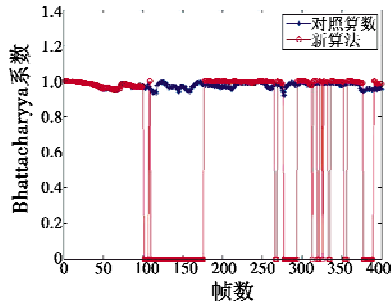


图 4 Bhattacharyya 系数比较

Fig. 4 The comparison of Bhattacharyya coefficients

表 1 跟踪误差比较

Table 1 The comparison of tracking error

帧数	新算法跟踪误差/像素	对照算法跟踪误差/像素
10	24	20
50	48	42
140	(目标丢失)	61
200	9	24
240	24	85
280	(目标丢失)	43

5 结论

在智能交通、计算机视觉、视频监控等领域中,快速运动目标的跟踪是一个重要问题。但是实际中,有很多因素影响跟踪效果,如光照、尺寸、拐弯、遮挡等。这些因素造成了跟踪的复杂性,SIFT 特征向量在一定程度上对于以上因素具有不变性,因此与常用跟踪方法结合取得了较好的效果。本文提出了一个利用 SIFT 特征向量验证 Mean Shift 算法跟踪窗口的方法,并通过实际交通视频实验,在跟踪准确度上得到了很大提高。从实验中还发现,LOWE 提出的 SIFT 算法针对车辆目标而言,特征向量不够丰富,未来可以考虑改进 SIFT 算法中的局部特征及其向量表示,以更准确地表达车辆目标。

参考文献

[1] COMANICIU D, MEER P. Mean Shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.

[2] GAO T, LIU Z G, GAO W C, et al. Moving vehicle tracking based on SIFT active particle choosing [J]. Advances in Neuro-Information Processing, 2009, 5507: 695-702.

[3] HAN P C, DU J P, LI Q P, et al. A two-stage object tracking method based on curvelet transform and Mean Shift algorithm [C]// IEEE International Symposium on Industri-

al Electronics (ISIE), 2013: 1-5.

- [4] 王铭明,陈涛,王建立,等. Mean-Shift 跟踪算法及其在光电跟踪系统中的应用 [J]. 中国光学, 2014, 7(2): 332-338. (WANG M M, CHEN T, WANG J L, et al. Mean-Shift tracking algorithm and its application in optoelectronic tracking system [J]. Chinese Journal of Optics, 2014, 7(2): 332-338.)
- [5] 杨一帆,田雁,杨帆,等. 基于改进 Mean-Shift 算法的红外小目标跟踪 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43(7): 2164-2169. (YANG Y F, TIAN Y, YANG F, et al. Tracking of infrared small-target based on improved Mean-Shift algorithm [J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, 43(7): 2164-2169.)
- [6] 原银忠,肖宏,郑耀锋,等. 基于 Meanshift 算法的实时目标跟踪系统 [J]. 电子技术与软件工程, 2014(12): 166-168. (YUAN Y Z, XIAO H, ZHENG Y F, et al. A real-time target tracking system based on Meanshift algorithm [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2014(12): 166-168.)
- [7] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [8] QIAN Z M, YANG J K, DUAN L X. Multiclass vehicle tracking based on local feature [C]//Proceedings of Chinese Intelligent Automation Conference, 2013: 137-144.
- [9] 周理,毕笃彦,何林远,等. SIFT 与核局部不变映射结合的特征描述算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(2): 382-389. (ZHOU L, BI D Y, HE L Y, et al. Novel feature-describing algorithm based on combination of SIFT and kernel locality preserving projection [J]. Systems Engineering and Electronics, 2014, 36(2): 382-389.)
- [10] ZHAO X Q, FEI Q, GENG Q B. Vision based ground target tracking for rotor UAV [C]//The 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), 2013: 1907-1911.
- [11] WANG Z H, HONG K C. A new method for robust object tracking system based on scale invariant feature transform and camshift [C]//Proceedings of the ACM Research in Applied Computation Symposium, 2012: 132-136.
- [12] MA X, CHENG Y M, HAO S, et al. Multi-degree-of-freedom Mean-Shift robust tracking algorithm based on SIFT [C]//IEEE the 32nd Control Conference (CCC), 2013: 4007-4011.
- [13] YANG X Y, YIN H P, CHAI Y. An improved moving target tracking algorithm based on Meanshift [J]. Journal of Computational Information Systems, 2012, 8(1): 39-46.
- [14] FUKUNAGA, K, HOSTETLER L. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.