

背景抑制直方图模型的连续自适应均值漂移跟踪算法

王旭东*^① 王屹炜^② 闫贺^①

^①(南京航空航天大学电子信息工程学院 南京 211106)

^②(中国航天科工集团八五一—研究所 南京 210007)

摘要: 针对传统连续自适应均值漂移(CAMshift)跟踪算法在建立目标颜色模型阶段容易包含大量背景颜色信息从而使跟踪效果变差的问题, 该文提出一种改进算法。利用混合高斯模型背景法(GMM)将原始图像分割成前景和背景的叠加, 在原始图像和背景图像上运动物体所在区域分别建立色调分量直方图, 利用背景图像的色调分量直方图计算原始图像中对应色调分量的权值, 抑制原始图像中与背景颜色相同的色调, 扩大前景与背景颜色的差异性。该方法通过对原始颜色模型中属于背景的色调进行抑制, 扩大了目标颜色模型的显著性, 提高了跟踪的准确性和稳定性, 目标定位的最大中心误差小于20%, 能够准确跟踪不发生丢失。

关键词: 目标跟踪; 背景抑制; 直方图; 色调; 连续自适应均值漂移跟踪算法

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2019)06-1480-08

DOI: 10.11999/JEIT180588

Continuously Adaptive Mean-shift Tracking Algorithm with Suppressed Background Histogram Model

WANG Xudong^① WANG Yiwei^② YAN He^①

^①(College of Electronic and Information Engineering Nanjing University of

Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

^②(8511 Institution of China Aerospace Science and Industry Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: For the deficiency of traditional Continuously Adaptive Mean-shift (CAMshift) tracking algorithm can easily contain a large number of color information which belongs to the background in the process of establishing the target color model, an improved algorithm is proposed. The original image is divided into foreground and background based on the Gaussian Mixture Model(GMM). In the original image and the background image, the histogram of the hue component is established. Hue histograms of the background image are used to calculate the weight of the hue component in the original image. The hues belonging to the background are suppressed and the color differences between foreground and background are expanded. Experiment shows that by suppressing the hue components belonging to the background, the saliency of the target color model is expanded. The accuracy and stability of the target recognition are improved. The ratio of the max deviation to the target is less than 20%, which ensures the target not to be lost.

Key words: Target tracking; Background suppression; Histogram; Hue; Continuously Adaptive Mean-shift (CAMshift) tracking algorithm

1 引言

随着视频监控技术的不断发展, 仅仅通过人眼对监控画面进行监视的方式已经不再适用, 人们希望将传统的被动监视变为主动监视^[1], 将监控中的事后分析变成事中分析和事前预警^[2], 将操作人员

从繁重的监控工作中解脱出来, 提高操作人员的视频辨别效率, 提高视频监控系统的智能化水平^[3]。

为了能够智能地对监控中发生的事情进行分析, 首先需要对画面中运动的目标做到准确的检测^[4], 并对待分析的目标做到持续的跟踪。目前主流的检测方法包括帧差分法、光流法、背景建模法等, 这其中混合高斯模型背景建模法(Mixed Gauss background Model, GMM)因其检测效果好且速度快而应用在Vs-start, W4等智能监控系统中^[5]。在跟踪算法中, 均值漂移(Meanshift)算法由于具有快

收稿日期: 2018-06-13; 改回日期: 2019-03-08; 网络出版: 2019-03-27

*通信作者: 王旭东 xudong@nuaa.edu.cn

基金项目: 航空基金(20182007001, 2017052015)

Foundation Items: Aviation fund (20182007001, 2017052015)

速匹配的特性且实时性好, 在目标识别领域得到了广泛的应用和深入研究, 但Meanshift算法不能及时对目标模型进行更新, 当目标在运动过程中发生翻转、缩放等变化时, Meanshift算法的跟踪性能就会明显下降。而连续自适应均值漂移(Continuously Adaptive Meanshift, CAMshift)算法由于能够自适应调整目标尺寸, 所以对目标的平移、旋转和缩放等变化都具有很好的适应性^[6-8]。不过, Meanshift算法和CAMshift算法都是以颜色直方图的形式建立目标模型, 因此它们都适用于目标与背景具有明确区别的目标跟踪系统中^[9-11]。

在建立被跟踪物体的直方图信息时, 不可避免会包含背景的颜色信息, 从而造成跟踪的不准确^[12]。为了解决这个问题, 传统方法是在基于颜色的跟踪模型中融合一些辅助特征, 尽管这些方法能够在一定程度上改善跟踪效果^[13], 但是计算待跟踪目标的边缘、纹理等辅助特征的同时会增加算法的时间复杂度, 同时这些辅助特征的提取过程中本身会存在偏差^[14], 从而导致算法跟踪性能的降低。大多数情况下, 待跟踪目标本身和背景的颜色信息会相似但不会完全相同^[15], 如果能够扩大前景与背景之间的差异性, 将最能反映运动目标的颜色信息用于CAMshift算法, 则能够在保证运算速度的同时提高跟踪效果。

基于此目的, 本文提出一种改进的CAMshift目标跟踪方法, 通过比较待跟踪区域与背景区域的色调差异, 计算待跟踪目标不同色调的权值, 基于加权的思想强化运动目标本身的色调特征, 弱化背景色调的作用, 减少背景对于跟踪效果的干扰。能在不增加其他辅助特征的情况下提高目标识别的准确性。

2 加权目标直方图模型的建立

相同的物体在不同的颜色空间域中有不同的表达形式, 在建立目标直方图模型阶段, 一般使用HSV空间的色调分量(H)作为数据集, 该分量具有对光照变化不敏感的特点, 假设需要被跟踪的目标在一个大小为 $I_1 \times I_2$ 的矩形框内, 该矩形框中每一个像素点的值为HSV空间域的色调值(H 分量), 色调取值的最大值为 H_{\max} (一般为360), 将 H_{\max} 等分成 m 个区间, 其中第 i 个区间表示为 m_i , 则通过式(1)计算色调的颜色直方图

$$h[m_i] = \sum_{i=0}^{I_2-1} \sum_{j=0}^{I_1-1} \begin{cases} 1, & H(i, j) \in m_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

在这个过程中, 传统方法对每一个色调区间都赋予相同的权值, 当选取的 $I_1 \times I_2$ 大小方框只含有

少量背景颜色信息时, 采用该直方图作为目标模型能够得到较好的跟踪效果, 但是目前主流的方法是首先通过运动目标检测算法提取前景物体的所在区域, 然后在该区域内进行颜色信息的提取, 这个过程中会出现提取区域内包含大量背景颜色信息的情况, 此时背景会对目标跟踪的过程产生极大的干扰, 导致跟踪丢失。

从时域上看, 大小为 $I_1 \times I_2$ 的矩形框内大部分时间会被背景所占有, 当运动目标移动到该位置处时, 可以看作是运动目标和背景的叠加状态, 如果对该背景区域本身按照上述方法完成颜色直方图的建立, 就能够得到该位置背景的颜色模型, 而最能代表待跟踪目标的颜色特征就是两个颜色模型中差异最大的地方。本文使用混合高斯模型背景法完成背景模型的建立, 在图像序列中对于包含背景的搜索区域 s_i 进行直方图的建立时, 设其直方图为 h_{b+f} , 其中一定包含属于背景的色调分量 h_b 。此时对不包含前景图像的背景图像中在相同的区域 s_i 建立直方图, 其中较高项一定是背景的色调分量 h_b , 如果能在 h_{b+f} 中将 h_b 消除, 就能够得到更加准确的前景图像的直方图信息, 具体思路如下:

(1) 首先在搜索框 s_i 建立包含前景与背景的直方图 h_{b+f} , 假设一共有 l 个色调区间;

(2) 利用混合高斯模型背景法得到背景, 并在相同区域 s_i 建立背景的直方图 h_b , 其中包含相同的 l 个色调区间;

(3) 对直方图 h_b , 按照式(2)计算每个色调区间的背景加权因子 τ_i , 其中 h_i 代表第 i 个区间的直方图统计值, i 的取值范围为 $\{1, 2, \dots, l\}$

$$\tau_i = 1 - h_i / \sum_{k=1}^l h_k \quad (2)$$

(4) 利用背景加权因子 τ_i 对直方图 h_{b+f} 按照式(3)进行加权, 从而减弱背景在 h_{b+f} 中的权值, 其中 $h_{b+f}[i]$ 代表直方图 h_{b+f} 中第 i 个区间的统计值, $h'_{b+f}[i]$ 为加权之后的新值。

$$h'_{b+f}[i] = \tau_i h_{b+f}[i] \quad (3)$$

3 基于目标加权直方图模型的CAMshift算法

上述目标加权直方图模型强化了显著性色调区在目标识别中的作用, 能够抑制背景区色调对目标识别的干扰, 利用上述直方图模型实现CAMshift目标跟踪, 可改善跟踪算法的性能, 具体的算法描述如下:

(1) 反向投影图的建立。利用加权目标直方图完成目标颜色模型的建立, 在得到颜色直方图后计

算反向投影图。设待检测图像中 (i, j) 处的色调值属于第 m_i 个色调区间。 P 为获得的反向投影图,按照式(4)完成反向投影的建立。

$$P(i, j) = \frac{255}{\max\{h[m_i]\}} h[m_i] \quad (4)$$

至此原色调图像就转化成了一幅灰度值图像,其中像素值越大的地方代表其为被跟踪物体的可能性越大;

(2) 对反向投影图 P 进行均值漂移迭代算法,假设选取的包含待跟踪目标的搜索窗大小为 s_i ,计算搜索窗内的0阶矩

$$M_{00} = \sum_{x_i} \sum_{y_i} I(x_i, y_i) \quad (5)$$

计算搜索窗内的1阶矩

$$\left. \begin{aligned} M_{01} &= \sum_{x_i} \sum_{y_i} y_i I(x_i, y_i) \\ M_{10} &= \sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i I(x_i, y_i) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

计算搜索窗内2阶矩的

$$\left. \begin{aligned} M_{20} &= \sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i^2 I(x_i, y_i) \\ M_{02} &= \sum_{x_i} \sum_{y_i} y_i^2 I(x_i, y_i) \\ M_{11} &= \sum_{x_i} \sum_{y_i} x_i y_i I(x_i, y_i) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

其中, $I(x_i, y_i)$ 是图像中坐标为 (x_i, y_i) 的位置处的像素值,其变化范围是搜索窗 s_i 的取值范围。计算搜索窗的质心 x_c 和 y_c

$$(x_c, y_c) = \left(\frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right) \quad (8)$$

在得到质心的坐标后,将搜索窗 s_i 向得到的质心移动,并调整搜索窗 s_i 的大小,建议将搜索窗 s_i 的宽设置为 $2\sqrt{M_{00}/256}$,搜索窗的长设置为 $2.4\sqrt{M_{00}/256}$ 。

如果搜索窗质心的移动距离小于固定的阈值 ε ,或者寻找质心的迭代次数达到最大值,则用当前搜索窗的大小与质心位置作为下一帧的搜索参数,如果不成立则回到(2)。从而完成在视频序列中对于运动目标的跟踪。在得到了待跟踪目标的位置之后,CAMshift算法可以利用一个椭圆将其标识出来,从而将物体从背景中突显出来,椭圆的长轴 l 和短轴 w 以及长轴与水平面之间小于 180° 的夹角 θ 可以通过式(9)计算得到

$$\left. \begin{aligned} l &= \sqrt{\left((a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2} \right) / 2} \\ w &= \sqrt{\left((a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2} \right) / 2} \\ \theta &= \frac{1}{2} \tan^{-1} (b / (a-c)) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其中,中间变量 a, b, c 通过求搜索框 s_i 内的2阶矩求得,其中 $a = M_{20}/M_{00} - x_c^2$, $b = 2(M_{11}/M_{00} - x_c y_c)$, $c = M_{02}/M_{00} - y_c^2$ 。

4 实验结果分析

4.1 直方图改进效果测试

利用OPENCV标准库中提供的测试视频car.avi对改进后直方图效果进行测试,视频图像的大小为 640×480 ,初始待跟踪物体所在区域大小为 108×60 。色调(0~180)被划分成16个区间,迭代阈值 ε 设为0.01,在VS2012环境下完成对比试验,选用的主机处理器为i5-4200u,主频为2.3 GHz,内存为8 G。

图1为色调分量直方图改进后的效果与改进前的对比,画面总像素为 640×480 。图1(a)为原始图像,小车在行驶过程中用一个红色的矩形框将其选中,设其框选的区域为 s ,包含6182个像素点。图1(b)为此时此刻利用混合高斯背景法对RGB颜色空间建模得到的背景图像。图1(c)为在图1(a)中的红色矩形方框内对于色调分量按式(1)建立的直方图,其中直方图的横坐标代表的是色调的区间,在OpenCV中将色调分量的取值范围设定为0~180,实验中将其分成了16个连续的区间,在直方图中为了直观显示,每个区间的颜色为该区间色调值对应到RGB域的颜色,直方图中的高代表落在这个区间内的色调数目统计值量化到0~255区间内的值。图1(d)为在背景中对相同区域 s 按照式(1)建立的直方图。图1(e)为利用式(2)、式(3)采用背景加权的方法得到的改进后的直方图。可以看出在此时刻由于初始区域 s 同时包含了待跟踪目标小车和背景,因此在图1(c)中包含了大量的背景颜色信息,该颜色模型不能准确表征待跟踪目标的特征,而图1(d)中由于区域 s 从时域上看大部分时间被背景覆盖,因此颜色直方图得到的最高项为背景的颜色特征。图1(e)为利用背景加权法生成的目标的颜色直方图,从中可以看出属于背景的颜色直方图被抑制,更加突出了属于目标本身的颜色特征。

图2中给出了利用不同直方图形成的反向投影图的对比。图2(a)为利用原始图像色调分量直方图

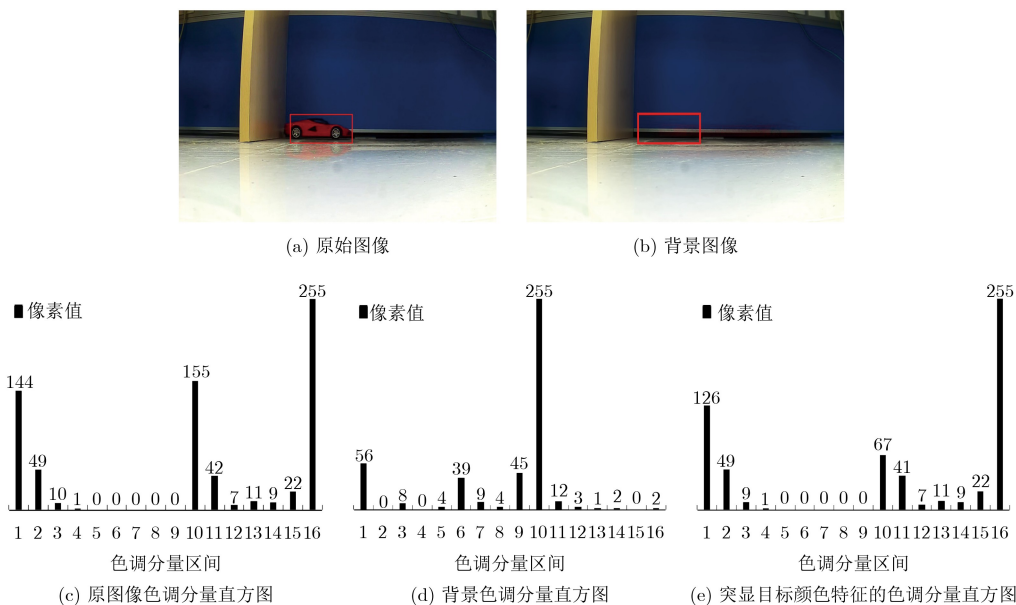


图1 色调分量直方图改进效果

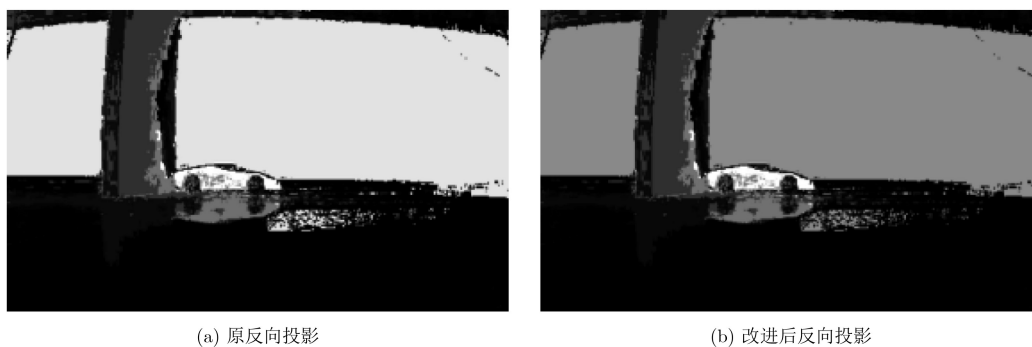


图2 本文算法得到反向投影图改进效果

形成的反向投影图。图2(b)为使用背景加权法改进后的色调分量直方图形成的反向投影图。反向投影图的形成就是将每个像素点中的像素值(色调值)用其在直方图中的统计值替换，并量化到0~255的区间内从而形成一张通过灰度值显示的概率图，该图中越亮的部分属于待跟踪目标的可能性越大，而后续Meanshift算法就是在这张概率图上找到均值漂移向量的局部最优解。可以看到图2(a)中背景区域明亮度比较高，这是由于原始直方图包含了大量的背景颜色信息。图2(b)中最亮的部分为需要被跟踪的小车，背景的灰度值明显低于待跟踪目标，这样更利于均值漂移向量往移动目标收敛。

4.2 跟踪效果测试

为了验证本文所提基于背景加权的CAMshift跟踪算法的有效性，选取一段无人机航拍的高速公路车辆行驶视频作为测试视频，该视频图像大小为640×480，画面中初始被跟踪目标车辆大小为118×70，如图3所示。图4为传统CAMshift算法的跟踪效果及反向投影图，图5为多特征融合的跟踪

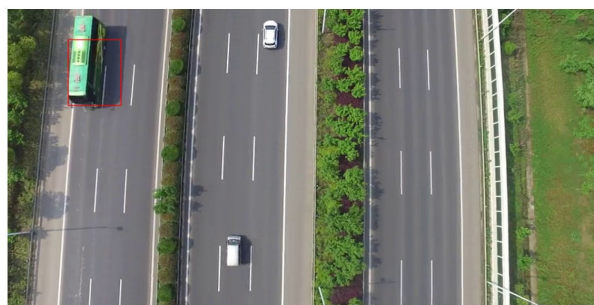


图3 跟踪目标模板

算法效果及反向投影图，图6为本文算法的跟踪效果及反向投影图。

采用传统CAMshift算法得到的跟踪效果以及反向投影结果如图4所示。

传统的CAMshift算法由于在建立目标颜色特征的过程中，搜索框内包含了大量的背景颜色信息，即建立的目标模型是车辆和背景颜色信息的叠加。对比图4(a1)和图4(b1)可以发现跟踪的过程中目标的定位偏差逐渐变大，红色搜索框逐渐向背景

偏移,并不断将背景的颜色信息迭代到跟踪颜色模型中,根据式(4)中反向投影图内像素点数值大小的定义可以看出,数值越大(255为白色)代表像素位置属于跟踪目标的概率越大,图4(a2)和图4(b2)内反向投影图中背景处的像素值大于待跟踪目标本身,导致最终跟踪失败。

图5为基于多特征融合的CAMshift目标跟踪方法的跟踪结果及相应的反向投影图。从实验结果可见,通过提取颜色及边缘两种特征,该算法抑制了背景的干扰,但融合了多特征信息的联合概率分布图中目标区的特征也被弱化,也就是反向概率投影图各处灰度值都不高,同样造成目标定位不准确,随着目标区的不断更新,背景对目标定位的干扰逐渐增强,最终导致跟踪失败。图6中给出了本文跟踪方法的跟踪结果及相应的反向投影图。

从跟踪效果可以看出,本文使用的跟踪算法能够在目标模型建立阶段包含较多背景颜色特征的情况下保证较好的跟踪效果。从反向投影图可以看

出,属于待跟踪目标本身的色调区间被突出,属于背景的色调特征被弱化,因此目标颜色模型更加能够代表待跟踪目标本身,与前面两种方法相比较,该方法的跟踪准确性与稳定性都得到较明显的提升。传统的CAMshift跟踪算法以颜色直方图为特征对目标进行跟踪,当目标受颜色相近的干扰物干扰或者遮挡的时候跟踪效果较差。多特征融合算法除了使用跟踪目标的颜色信息外,还会提取纹理、边缘等特征,并利用一定的融合策略提高跟踪的效率,但是额外的特征提取会增加算法的运算量,并且特征融合的策略如果选取不正确,反而会造成有用信息的丢失从而导致跟踪的失败。本文使用的基于背景抑制的CAMshift算法,通过在利用混合高斯模型得到的背景位置处进行背景颜色信息的提取,利用加权因子 τ_i 来减弱跟踪目标中颜色与背景相似的部分,提高了传统CAMshift算法在颜色相近情形下跟踪的准确性。

为了进一步验证跟踪效果,利用另一段图像大

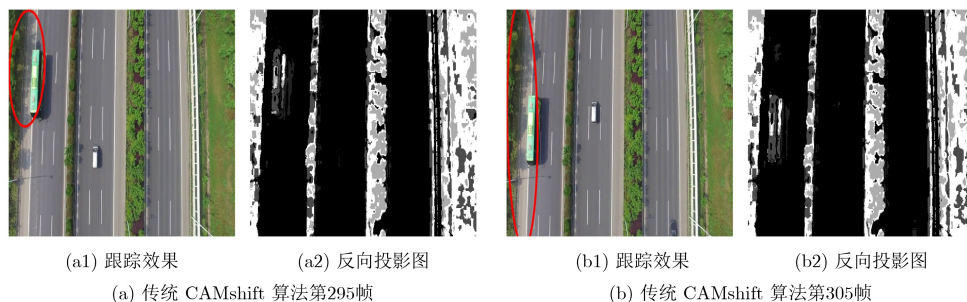


图4 传统CAMshift跟踪效果及反向投影图

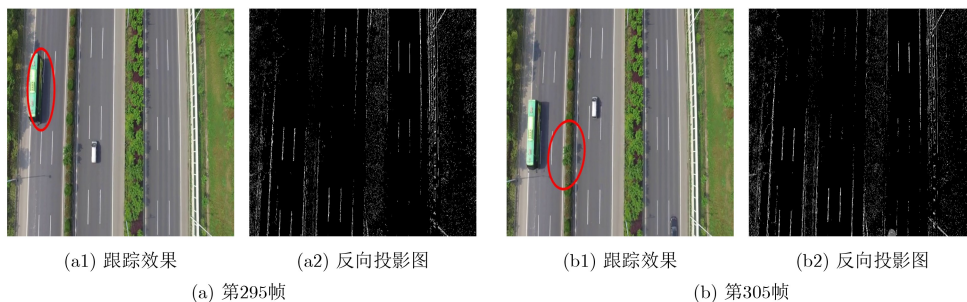


图5 多特征融合的CAMshift跟踪结果与反向投影图

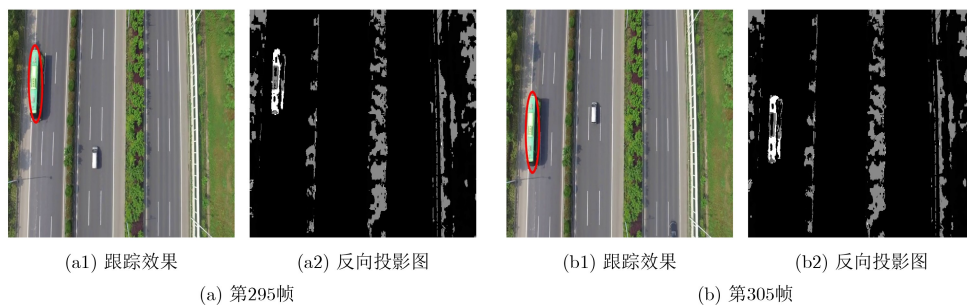


图6 本文算法跟踪结果与反向投影图

小为640×480且待跟踪目标与背景颜色较为相近的视频2进行3种算法的对比，其中色调(0~180)被划分成16个区间，CAMshift迭代阈值 ϵ 设为0.01。

从图7中可以看出，传统的CAMshift算法在建立颜色直方图的过程中容易包含较多背景的颜色信息，特别是待跟踪目标较小且与背景颜色较为接近的情况下难以取得较好的跟踪效果，图7(a1)虽然可以保持对目标的跟踪，但是反向投影图中背景的像素值(代表该位置属于跟踪目标的可能性)较大，因此通过均值漂移算法得到的搜索框的大小呈现上升趋势，从而更多的背景中的颜色信息被纳入到跟踪模型中，可以看到在图7(b2)中反向投影中背景的像素值要大于图7(a2)中像素值，结果表明在图7(b1)中跟踪发生了丢失。

图8中采用颜色与边缘两种特征完成对于目标的跟踪。从图8(a2)中而可以看出，通过使用跟踪目标的边缘信息，背景的像素值被大大减小，目标轮廓较为清晰，但是由于融合策略使用的是逻辑与

的关系，因此待跟踪目标内部的像素值也被减弱，虽然到了图8(b1)中仍然可以保持对目标的追踪，但是在图8(b2)反向投影中目标形状已经发生较大缺失，在目标较大的情形下容易被误判为多个物体从而发生跟踪的失败。

从图9中可以看出，本文算法通过弱化背景在跟踪目标颜色直方图中相似项的方法，提高了前景与背景的对对比度，在整个过程中都能取得较好的跟踪效果。为了分析本文算法的稳定和有效性，引入中心位置误差 d 的概念， $d = \sqrt{(l_x - l'_x)^2 + (l_y - l'_y)^2}$ ，其中 (l_x, l_y) 代表目标质心的真实位置， (l'_x, l'_y) 代表跟踪算法迭代得到的质心估计位置， d 数值越小说明算法的跟踪效果越稳定，图7—图9中3种算法的对比结果如图10所示。

从结果可以看出，传统CAMshift算法在背景和前景颜色接近的情况下容易发生目标的丢失。而多特征融合算法虽然能够保持较好的跟踪效果，但

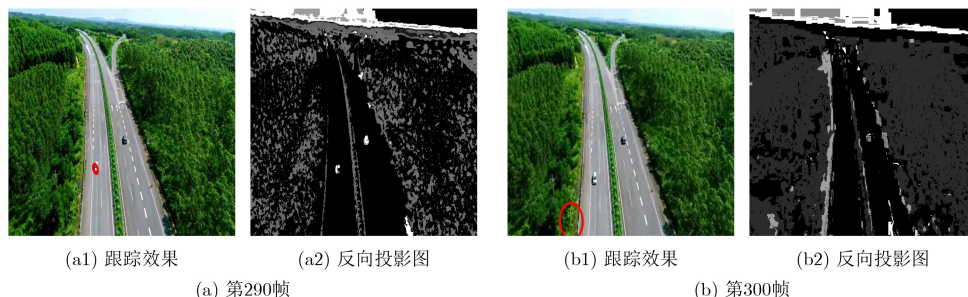


图7 传统CAMshift跟踪结果与反向投影图

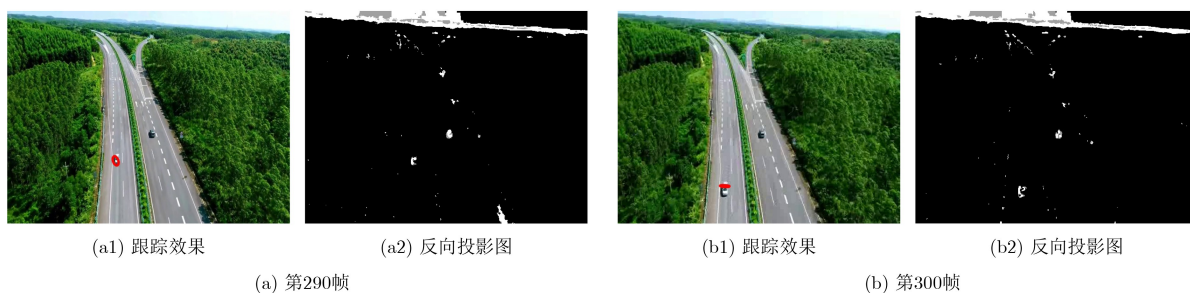


图8 多特征融合的Camshift跟踪结果与反向投影图

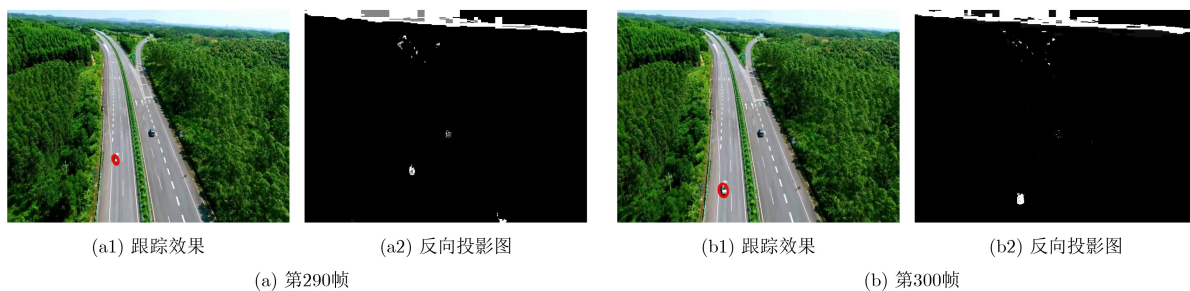


图9 本文算法跟踪结果与反向投影图

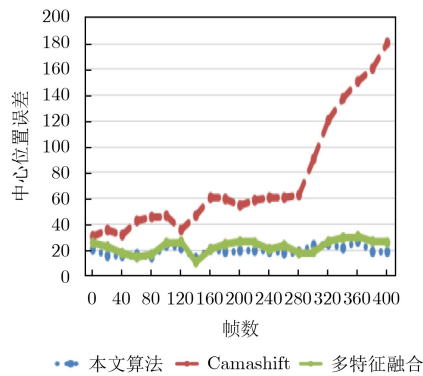


图10 中心位置误差对比

是由于算法增加了特征提取与特征融合策略的步骤,因此算法计算时间较长,同时图8中结果表明在跟踪大目标尺寸物体时,边缘特征与颜色特征的逻辑与容易发生目标内部的腐蚀现象。而本文算法与传统算法相比,中心位置误差 d 始终保持较低的数值,最大中心位置误差小于38,通过迭代得到的质心在运动目标实际质心周围20%范围内浮动,跟踪窗口能够较好地收敛到目标区域,可以保持较好的跟踪效果。

5 结论

本文提出一种基于背景抑制直方图模型的CAMshift跟踪算法。该算法将目标色调直方图看成运动目标本身颜色特征和背景颜色特征的叠加,通过混合高斯模型背景法将运动目标和背景分割开,同时对得到的背景的同区域建立色调直方图,通过抑制背景色调直方图中显著项在原直方图中占的权重,来扩大运动目标与背景之间的颜色差异,使得建立的运动目标颜色模型更加具有代表性。实验结果表明,该方法能够有效提高跟踪的准确性,同时增加的计算量在能够接受的程度内。算法的单帧运行时间小于40 ms,能够满足系统实时监控的要求。算法得到的质心在运动目标质心20%范围内浮动,能够满足长时间连续的跟踪要求。

参考文献

- [1] 黄凯奇, 陈晓棠, 康运锋, 等. 智能视频监控技术综述[J]. 计算机学报, 2015, 38(6): 1093–1118. doi: [10.11897/SP.J.1016.2015.01093](https://doi.org/10.11897/SP.J.1016.2015.01093).
HUANG Kaiqi, CHEN Xiaotang, KANG Yunfeng, et al. Intelligent visual surveillance: A review[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2015, 38(6): 1093–1118. doi: [10.11897/SP.J.1016.2015.01093](https://doi.org/10.11897/SP.J.1016.2015.01093).
- [2] TIAN Yumin, ZHENG Haihong, CHEN Qichao, et al. Surveillance video synopsis generation method via keeping important relationship among objects[J]. *IET Computer Vision*, 2016, 10(8): 868–872. doi: [10.1049/iet-cvi.2016.0128](https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2016.0128).
- [3] BELYAEV E, VINEL A, SURAK A, et al. Robust vehicle-to-infrastructure video transmission for road surveillance applications[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, 64(7): 2991–3003. doi: [10.1109/TVT.2014.2354376](https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2354376).
- [4] GARCÍA-MARTÍN A and MARTÍNEZ J M. People detection in surveillance: Classification and evaluation[J]. *IET Computer Vision*, 2015, 9(5): 779–788. doi: [10.1049/iet-cvi.2014.0148](https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2014.0148).
- [5] 李刚, 何小海, 张生军, 等. 改进的基于GMM的运动目标检测方法[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4738–4741. doi: [10.3969/j.issn.1001-3695.2011.12.090](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.12.090).
LI Gang, HE Xiaohai, ZHANG Shengjun, et al. Improved moving objects detection method based on GMM[J]. *Application Research of Computers*, 2011, 28(12): 4738–4741. doi: [10.3969/j.issn.1001-3695.2011.12.090](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.12.090).
- [6] 修春波, 魏世安. 显著性直方图模型的Camshift跟踪方法[J]. 光学精密工程, 2015, 23(6): 1749–1757. doi: [10.3788/OPE.20152306.1749](https://doi.org/10.3788/OPE.20152306.1749).
XIU Chunbo and WEI Shian. Camshift tracking with saliency histogram[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(6): 1749–1757. doi: [10.3788/OPE.20152306.1749](https://doi.org/10.3788/OPE.20152306.1749).
- [7] ZHOU Hailing, KONG Hui, WEI Lei, et al. Efficient road detection and tracking for unmanned aerial vehicle[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16(1): 297–309. doi: [10.1109/TITS.2014.2331353](https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2331353).
- [8] LAN Jinhui, JIANG Yaoliang, FAN Guoliang, et al. Real-time automatic obstacle detection method for traffic surveillance in urban traffic[J]. *Journal of Signal Processing Systems*, 2016, 82(3): 357–371. doi: [10.1007/s11265-015-1006-4](https://doi.org/10.1007/s11265-015-1006-4).
- [9] 刘嘉敏, 梁莹, 孙洪兴, 等. 融合检测和跟踪的实时人脸跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(11): 1473–1481. doi: [10.11834/jig.20151106](https://doi.org/10.11834/jig.20151106).
LIU Jiamin, LIANG Ying, SUN Hongxing, et al. Real-time face tracking based on detecting and tracking[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2015, 20(11): 1473–1481. doi: [10.11834/jig.20151106](https://doi.org/10.11834/jig.20151106).
- [10] HOCINE L, CAO Wei, DING Yong, et al. Adaptive learning rate GMM for moving object detection in outdoor surveillance for sudden illumination changes[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2016, 25(1): 145–151. doi: [10.15918/j.jbit1004-0579.201625.0121](https://doi.org/10.15918/j.jbit1004-0579.201625.0121).
- [11] KIM Y, HAN W, LEE Y H, et al. Object tracking and recognition based on reliability assessment of learning in mobile environments[J]. *Wireless Personal Communications*,

- 2017, 94(2): 267–282. doi: [10.1007/s11277-016-3292-y](https://doi.org/10.1007/s11277-016-3292-y).
- [12] 陈杏源, 郑烈心, 裴海龙. 基于Camshift和SURF的目标跟踪系统[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(4): 903–906. doi: [10.16208/j.issn1000-7024.2016.04.013](https://doi.org/10.16208/j.issn1000-7024.2016.04.013).
CHEN Xingyuan, ZHENG Liexin, and PEI Hailong. Object tracking system based on Camshift and SURF[J]. *Computer Engineering and Design*, 2016, 37(4): 903–906. doi: [10.16208/j.issn1000-7024.2016.04.013](https://doi.org/10.16208/j.issn1000-7024.2016.04.013).
- [13] LI Fuliang, ZHANG Ronghui, YOU Feng. Fast pedestrian detection and dynamic tracking for intelligent vehicles within V2V cooperative environment[J]. *IET Image Processing*, 2017, 11(10): 833–840. doi: [10.1049/iet-ipr.2016.0931](https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2016.0931).
- [14] 王玲玲, 裴东, 王全州. 一种改进的Camshift视频目标跟踪算法[J]. 激光与红外, 2015, 45(10): 1266–1271. doi: [10.3969/j.issn.1001-5078.2015.10.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5078.2015.10.024).
WANG Lingling, PEI Dong, and WANG Quanzhou. Video target tracking algorithm based on improved Camshift[J]. *Laser & Infrared*, 2015, 45(10): 1266–1271. doi: [10.3969/j.issn.1001-5078.2015.10.024](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5078.2015.10.024).
- [15] MORSHIDI M and TJAHHADI T. Gravity optimised particle filter for hand tracking[J]. *Pattern Recognition*, 2014, 47(1): 194–207. doi: [10.1016/j.patcog.2013.06.032](https://doi.org/10.1016/j.patcog.2013.06.032).
- 王旭东: 男, 1978年生, 博士, 副教授, 研究方向为信号与信息处理。
王屹炜: 男, 1992年生, 硕士生, 研究方向为图像处理与目标跟踪。
闫贺: 男, 1985年生, 博士, 讲师, 研究方向为广域运动目标监视。