

文章编号 1004-924X(2015)06-1749-09

## 显著性直方图模型的 Camshift 跟踪方法

修春波<sup>1,2\*</sup>, 魏世安<sup>1</sup>

- (1. 天津工业大学 电气工程与自动化学院, 天津 300387;
2. 天津工业大学 电工电能新技术天津市重点实验室, 天津 300387)

**摘要:**针对在复杂背景下跟踪运动目标的要求,建立了目标的显著性直方图模型,提出了改进的连续自适应均值漂移(Camshift)跟踪方法。通过比较目标区与背景区的色调差异,计算目标不同色调等级的显著性值;基于加权的方式强化显著性色调在目标识别过程中的作用,弱化非显著性色调的作用,从而抑制背景区对目标识别的干扰。利用加权直方图模型反向投影,建立了跟踪图像的概率投影图,利用均值漂移方法完成目标跟踪任务。将该方法分别应用于标准测试库视频图像的跟踪以及实际运动目标的跟踪实验中并与传统方法进行了比较。结果显示,该方法能够利用显著性色调很好地将目标从背景中区分出来,在计算量增加不多、且满足电视跟踪系统实时性要求的情况下,提高了目标识别的准确性和稳定性,目标定位的最大偏差与被跟踪目标区的尺寸比小于 25%,能够确保被跟踪目标不丢失。

**关键词:**目标跟踪;显著性;直方图;色调;Camshift 跟踪

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152306.1749

## Camshift tracking with saliency histogram

XIU Chun-bo<sup>1,2\*</sup>, WEI Shi-an<sup>1</sup>

- (1. School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin polytechnic University, Tianjin 300387, China;
  2. Tianjin City Key Laboratory of Advanced Electrical Engineering and Energy Technology, Tianjin polytechnic University, Tianjin 300387, China)
- \* Corresponding author, E-mail: xiuchunbo@tjpu.edu.cn

**Abstract:** According to the target tracking requirements in complex backgrounds, an improved Continuously Adaptive Meanshift(Camshift) tracking method was proposed by modeling a saliency histogram of the target. The saliency values of different hues in the target area were calculated by comparing the difference between the target and the background area. The weighted histogram was used to strengthen the roles of the saliency hues and weaken the roles of the non-saliency hues, by which the interference from the background was restrained. By using the back projection of the weighted histogram, the probability projection image of the tracking image was obtained by the back projection, then the target tracking task was completed by mean shift method. The proposed method was applied to an actual target in tracking experiments and that in the video of the standard test

**收稿日期:**2015-01-20;**修订日期:**2015-03-12.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(No. 61203302);天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目(No. 14JCYBJC18900)

libraries and obtained results were compared with that of traditional methods. The simulation results show that the target is easily recognized from the background by the saliency hues, and the accuracy and the stability of the target recognition are improved with satisfied real time ability and without too much computation cost. The ratio of the max deviation to the size of the target is less than 25%, which ensures the target not to be lost.

**Key words:** target tracking; saliency; histogram; hue; Camshift tracking

## 1 引言

运动目标的识别与跟踪在工业生产、智能交通、国防军事以及监控系统等诸多领域都有着广泛的应用价值<sup>[1-4]</sup>。由于目标运动的随机性和背景的复杂性,准确地进行目标识别与跟踪仍然是目前机器视觉领域的研究热点<sup>[5-8]</sup>。目标跟踪中的复杂背景并不是指背景内容复杂,而是指背景区中含有与目标相似的区域,这些区域对目标识别会产生较大的干扰,从而增加了目标识别与定位的困难。

在跟踪系统中,一般对目标识别的实时性有着严格的要求,从而导致计算量较大的识别与跟踪方法受当前计算机运算速度的限制而无法应用于实际跟踪系统中。而计算量较小的跟踪方法由于对目标模型描述不够准确,经常会出现目标丢失的现象。鉴于这种情况,均值漂移(Meanshift)算法由于具有快速匹配的特性,在目标识别领域得到了广泛的应用和深入研究<sup>[9-10]</sup>。但Meanshift算法不能及时对目标模型进行更新,这样,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。连续自适应的Meanshift(Continuously Adaptive Meanshift, Camshift)跟踪方法由于能够自适应调整目标尺寸,因此能够较好地克服Meanshift跟踪方法存在的缺点,对目标的平移、旋转和缩放等变化都具有很好的适应性<sup>[11-13]</sup>。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<sup>[14]</sup>。当背景复杂时,背景中与目标相似的区域会对目标定位结果造成严重影响,甚至导致跟踪失败,这严重限制了该跟踪方法的适用范围。一种常用的改进思路是在跟踪模型中融合一些辅助特征,利用目标与背景辅助特征的不同来提高目标识别与定位的准确性<sup>[15]</sup>。常用的辅助特征有边缘特征、纹

理特征等<sup>[16-17]</sup>。尽管这类改进方法能够在一定程度上改善跟踪性能,但由于每种辅助特征的提取都需要一定的计算量,因此所融合的辅助特征种类越多,跟踪算法的计算量也就越大。另外,过多的辅助特征还可能造成目标识别过程中出现信息冗余,从而干扰识别与定位的准确性。

一般情况下,当选定目标本身的信息较为丰富时,即使背景与目标较为相似,目标区中仍然存在部分与背景具有较大差异的色彩区域,这些区域可看作目标的显著区,充分利用显著区的色彩信息有利于提高目标识别的准确性。基于此,本文提出一种改进的Camshift跟踪方法,采用加权的色调(hue)直方图建立目标模型,突出显著性色调在识别目标过程中的作用,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

Camshift算法一般选择HSV颜色空间中的H(色调)分量建立直方图模型,以便减小光照的影响。将色调特征划分为 $m$ 个等级,设目标各像素的位置坐标为 $\{(x_i, y_i)\}$ ,  $i=1, 2, \dots, s$ ,其对应的色调特征值为 $b(x_i, y_i)$ ,传统Camshift算法所构建的色调特征直方图模型为 $\mathbf{q} = \{q_u\}$ ,  $u=1, 2, \dots, m$ :

$$q_u = \sum_{i=1}^s \delta[b(x_i, y_i) - u]. \quad (1)$$

该直方图模型中各等级的色调所起的作用均相同,当背景中不含有目标所具有的色调特征时,也就是目标能够从背景中显著地区分出来时,采用该直方图作为目标模型能够获得很好的跟踪效果;但当背景中的某个等级的色调与目标中某个等级的色调相似时,背景将会对目标识别产生极大的干扰,严重影响目标定位的准确性,甚至导致跟踪目标丢失。

一般情况下,如果目标不是单一颜色,则目标中会包含多个色调等级,这其中通常仅会有一个

或几个等级的色度区易受到背景色调的干扰,换句话说,目标中会存在部分等级的色调区显著地不同于背景色调,这些色调可用作识别目标的显著特征,强化这些显著特征在识别过程中的作用就会改善目标识别的准确性。为此,本文采用显著性加权直方图建立目标模型。

首先,在跟踪图像中将目标区向四周扩展一定的范围,扩展出的范围称为背景区,对背景区像素的色调同样划分为  $m$  个等级,设背景区中各像素的坐标位置为  $\{(x_i, y_i)\}, i=1, 2, \dots, t$ , 其对应的色调特征值为  $b'(x_i, y_i)$ , 则可建立背景区色调直方图模型  $\mathbf{p} = \{p_u\}, u=1, 2, \dots, m$ :

$$p_u = \sum_{i=1}^t \delta[b'(x_i, y_i) - u]. \quad (2)$$

其次,通过对比背景区与目标区的直方图特征,确定出目标的显著色调区。色调等级  $u$  的显著性衡量指标定义为  $h_u$ :

$$h_u = 1 - \frac{p_u}{\sum_{r=1}^m p_r}. \quad (3)$$

最后,确定目标直方图不同色调等级的权值系数  $w_u$  为:

$$w_u = h_u \cdot \exp\left[-\frac{(h_u - 1)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (4)$$

其中:  $\sigma$  为加权尺度参数,  $\sigma$  越小, 越能突出显著色度特征的作用, 也就是对非显著性的色度特征抑制越明显。

由此得到目标加权直方图模型为  $\mathbf{q}' = \{q'_u\}, u=1, 2, \dots, m$ :

$$q'_u = w_u \cdot q_u = h_u \cdot \exp\left[-\frac{(h_u - 1)^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \sum_{i=1}^s \delta[b(x_i, y_i) - u]. \quad (5)$$

### 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, 能够抑制与目标相似的背景区对目标识别的干扰, 利用上述加权直方图模型实现 Camshift 目标跟踪, 可改善跟踪算法的性能, 具体的算法描述如下:

Step 1: 建立目标区的直方图模型  $\mathbf{q} = \{q_u\}, u=1, 2, \dots, m$ 。

Step 2: 将目标区向四周扩展 0.1 倍的边长,

成为背景区, 建立背景区的直方图模型  $\mathbf{p} = \{p_u\}, u=1, 2, \dots, m$ 。

Step 3: 利用式(3)计算不同等级色调区的显著性, 并根据式(5)建立目标的加权直方图模型  $\mathbf{q}' = \{q'_u\}, u=1, 2, \dots, m$ 。

Step 4: 根据目标的色调加权直方图模型进行反向投影, 建立起跟踪图像的概率投影图。设点  $(x, y)$  为跟踪图像中色调特征值为  $u$  的像素点的位置坐标, 则该点的概率投影图的灰度值  $p(x, y)$  为:

$$p(x, y) = \left\lfloor \frac{q_u}{\max\{q_i \mid i=1, 2, \dots, m\}} \times 255 \right\rfloor, \quad (6)$$

其中:  $\lfloor \cdot \rfloor$  为取整操作。概率投影图的灰度值为 0 ~ 255, 白色像素点的灰度值为 255。

Step 5: 根据反向投影图的灰度值, 计算搜索窗的零阶矩和一阶矩:

$$M_{00} = \sum_x \sum_y p(x, y), \quad (7)$$

$$M_{10} = \sum_x \sum_y xp(x, y), \quad (8)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y yp(x, y). \quad (9)$$

Step 6: 计算搜索窗的质心位置  $(x_c, y_c)$ :

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad (10)$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}. \quad (11)$$

Step 7: 对搜索窗口的边长进行自适应调整:

$$s = 2 \sqrt{M_{00}/256}. \quad (12)$$

移动搜索窗的中心漂移到质心位置, 如果漂移距离大于设定阈值, 则重复 Step 5 ~ Step 7, 直到漂移距离小于设定阈值。

Step 8: 计算搜索窗的二阶矩:

$$M_{11} = \sum_x \sum_y xy p(x, y), \quad (13)$$

$$M_{20} = \sum_x \sum_y x^2 p(x, y), \quad (14)$$

$$M_{02} = \sum_x \sum_y y^2 p(x, y). \quad (15)$$

自适应更新跟踪目标区的方向和大小:

$$L = \sqrt{\frac{(a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}}, \quad (16)$$

$$W = \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}}, \quad (17)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left\{\frac{b}{a-c}\right\}, \quad (18)$$

其中:

$$a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2, \quad (19)$$

$$b = 2 \left[ \frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c \right], \quad (20)$$

$$c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2. \quad (21)$$

Step 9: 返回 Step 1 重新确定目标区, 并重建目标的加权直方图模型, 实现对下一帧图像的目标识别与跟踪。

从上述跟踪过程可以看出, 当目标运动使目标所处的背景不断变化时, 选定的背景区也不断变化, 这样, 不同色调的显著性也会发生变化, 因此所建立的加权目标直方图模型的权值也得到不断调整, 目标直方图模型也得到了及时更新, 从而能够适应不同背景情况下目标识别与跟踪的要求。也就是说, 在识别与跟踪过程中, 始终能够保证当前显著性的色调在识别过程中起主要作用, 从而弱化了非显著性色调的作用, 有效地抑制了背景区对目标识别的干扰, 提高了目标识别与跟踪的性能。

## 4 实验结果分析

### 4.1 标准测试视频目标跟踪

首先对 PETS2000 标准测试库中的 test. mov 视频中的运动车辆进行目标跟踪对比实验, 视频图像大小为  $480 \times 360$ , 初始被跟踪目标区大小为  $58 \times 36$ , 跟踪方法分别选用标准 Camshift 跟踪方法、基于多特征融合的 Camshift 跟踪方法<sup>[17]</sup>和本文方法。色调划分等级  $m=64$ , 加权尺度参数  $\sigma=0.1$ , 在 VS2010 环境下进行对比实验, 计算机处理器为 i5-480M, 主频为 2.66GHz, 内存为 2G。

图 1(彩图见期刊电子版)中红色圈内的车辆为首帧图像中选定的被跟踪目标区。该车辆的颜色与路面的颜色以及背景中其他车辆的颜色相似, 因此背景会对目标识别与跟踪的结果产生较大干扰。



图 1 跟踪目标区

Fig. 1 Target area in the first frame

图 2(彩图见期刊电子版)为采用基本 Camshift 方法对视频中选定目标的跟踪结果及对应的反向概率投影图。其中反向投影图中白色像素点表示的灰度值高(灰度值为 255), 亦即高概率像素点, 跟踪图像中的红圈表示确定出的目标区, 图中的白色十字线表示目标区的中心位置。



(a)第 5 帧

(a) The 5th frame



(b)第 69 帧

(b) The 69th frame



(c)第 107 帧

(c) The 107th frame



(d)第 145 帧

(d) The 145th frame

图 2 基本 Camshift 跟踪结果及反向投影图

Fig. 2 Tracking results and back projection images of basic Camshift method

从概率投影图可见,由于被跟踪目标中含有大量与背景一致的色调特征,因此,目标与背景混在一起,很难将目标从背景中区分出来,而随着目标区域的更新,越来越多的背景区域被划分到目标区中,进一步恶化了目标模型的准确性,导致后期跟踪(如图 2(c、d))反向投影图中的目标区的像素灰度值并不大,最终导致目标跟踪失败。因此采用基本 Camshift 跟踪方法的跟踪效果很不好,目标在跟踪开始不久就很快丢失。

采用多特征融合的 Camshift 目标跟踪方法所得跟踪结果和对应的反向投影图如图 3(彩图见期刊电子版)所示。

由反向投影图可见,与基本 Camshift 跟踪方法相比,多特征融合的 Camshift 方法利用辅助特征能够对很多背景区进行有效抑制,例如,由于道路的辅助特征(边缘、纹理等)与目标区的辅助特征不同,因此,作为背景的道路得到了很好的抑制,如概率投影图中背景区的大部分颜色为黑色或灰色区,但背景区中的其他车辆的辅助特征与被跟踪目标的辅助特征相似,其所造成的干扰不能很好地被抑制,对目标定位会产生严重干扰,影响目标定位的准确性,从而导致目标区中包含了部分背景区,当目标模板被更新后,这些被错误包含进来的背景区的辅助特征对实际目标的辅助特征产生了干扰,从而导致跟踪目标的反向投影概率变小,由此进一步恶化了跟踪效果,最终导致跟踪失败。



(c)第 107 帧

(c)The 107th frame



(d)第 145 帧

(d)The 145th frame

图 3 多特征融合的 Camshift 跟踪结果及反向投影图

Fig. 3 Tracking results and back projection images of Camshift method based on multi-feature fusion

图 4(彩图见期刊电子版)为采用本文方法得到的目标跟踪结果和对应的反向投影图。



(a)第 5 帧

(a)The 5th frame



(a)第 5 帧

(a)The 5th frame



(b)第 69 帧

(b)The 69th frame



(b)第 69 帧

(b)The 69th frame



(c)第 107 帧

(c)The 107th frame



(d)第 145 帧

(d)The 145th frame

图 4 本文方法跟踪结果及反向投影图

Fig. 4 Tracking results and back projection images of proposed method

由实验结果可见,本文方法由于突出了跟踪目标自身的显著性色调的作用,因此反向投影图中目标区的概率值很高,即目标区的白色像素很多,且很集中,而背景区中的大部分像素为黑色或灰色区,因此,大部分背景区的干扰得到了有效抑制,而作为背景的其他车辆虽然也有白色区,但白色像素数量不多,且较为分散,因此对目标识别的准确性影响较小。由跟踪实验结果可见,通过强化显著性色调的作用,提高了目标识别与定位的准确性,改善了跟踪的稳定性。

#### 4.2 实际运动目标跟踪

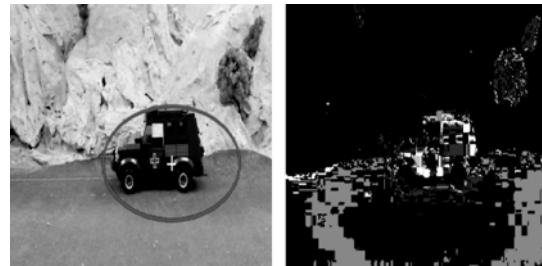
采用上述 3 种方法在同样的开发环境下对复杂背景中的实际运动目标进行跟踪,视频图像大小为  $640 \times 360$ ,初始被跟踪目标区大小为  $204 \times 104$ ,色调划分等级  $m = 64$ ,加权尺度参数  $\sigma = 0.1$ 。首帧图像中选定的目标区如图 5(彩图见期刊电子版)所示。



图 5 跟踪目标区

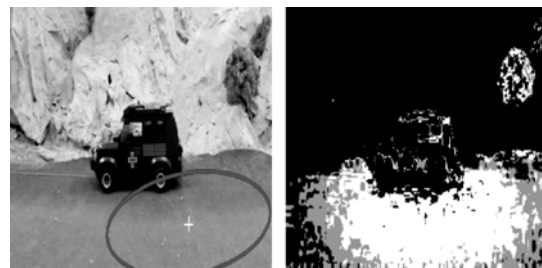
Fig. 5 Target area in the first frame

采用基本 Camshift 跟踪方法所得跟踪结果及相应的反向投影图如图 6 所示。



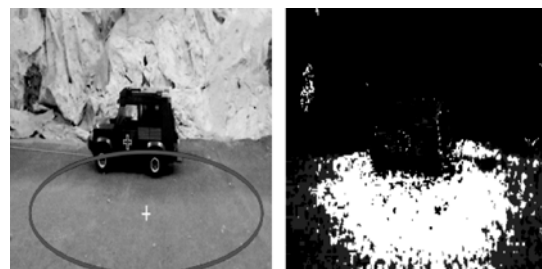
(a)第 8 帧

(a)The 8th frame



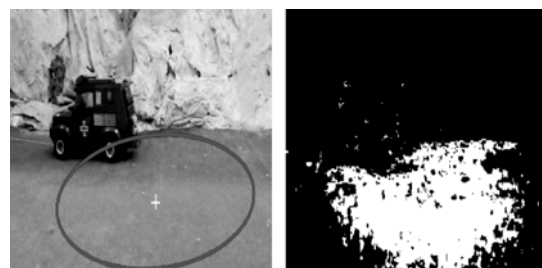
(b)第 100 帧

(b)The 100th frame



(c)第 226 帧

(c)The 226th frame



(d)第 321 帧

(d)The 321th frame

图 6 基本 Camshift 跟踪结果及反向投影图

Fig. 6 Tracking results and back projection images of basic Camshift method

由于被跟踪车辆与背景中的草地和树的颜色相似,因此该背景对于被跟踪车辆属于复杂背景,基本 Camshift 方法不适用于这种场景。从实验

结果可见,开始跟踪不久,目标的定位偏差就较大,目标区中包含了背景中的草地,经过反向投影后,背景对目标识别的干扰逐渐严重,最终导致目标跟踪失败。

图 7 给出了基于多特征融合的 Camshift 目标跟踪方法的跟踪结果及相应的反向投影图。

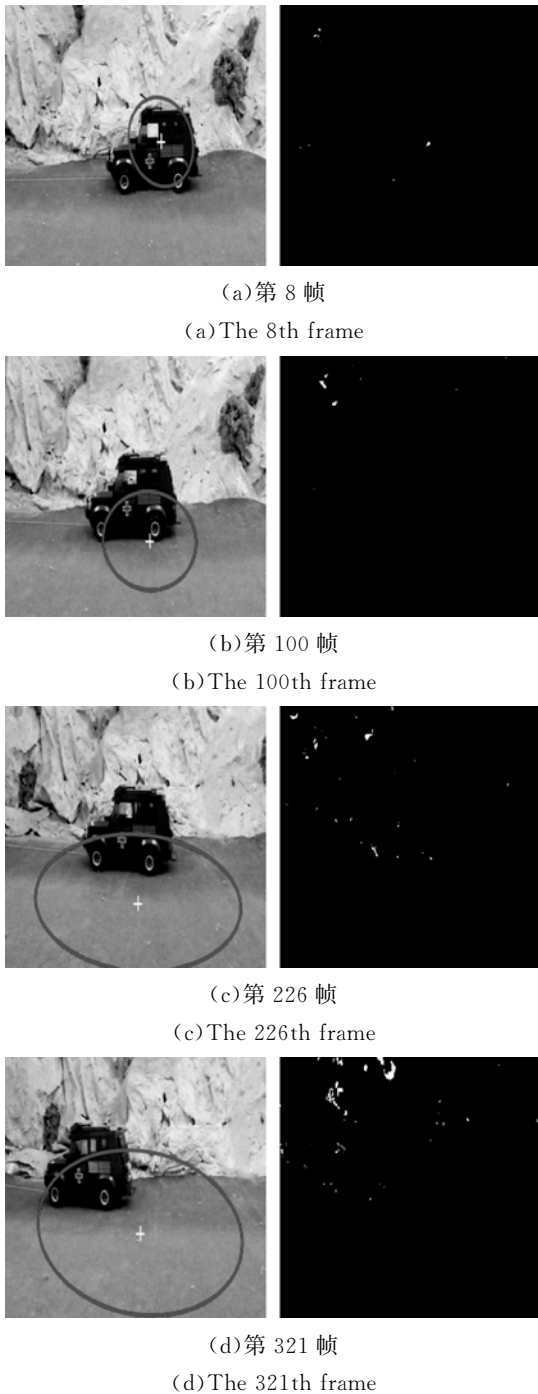


图 7 多特征融合的 Camshift 跟踪结果及反向投影图  
Fig. 7 Tracking results and back projection images of Camshift method based on multi-feature fusion

从实验结果可见,该方法加权融合了颜色、边缘及纹理等多种特征,从而有效抑制了背景干扰,但融合了多特征信息的联合概率分布图也弱化了目标区的特征,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 8 给出了本文方法的跟踪结果及相应的反向投影图。

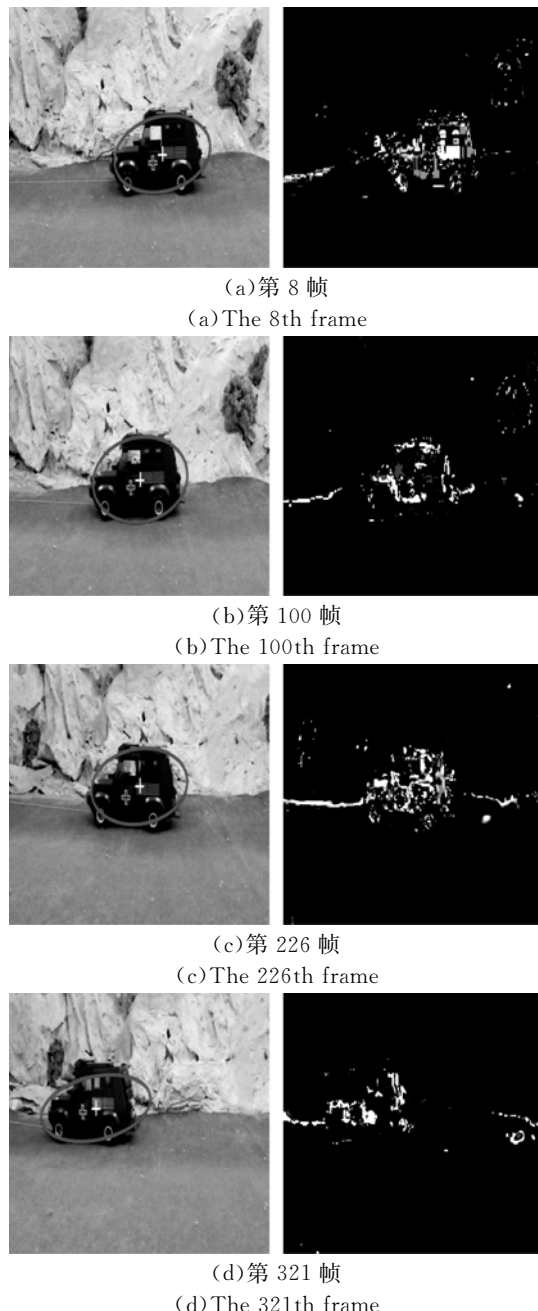


图 8 本文方法跟踪结果及反向投影图  
Fig. 8 Tracking results and back projection images of proposed method

从跟踪图像的反向概率投影图可见,由于本文方法突出了目标中显著性色调区的作用,因此,抑制了目标中与背景相似的色调特征,由此减弱了背景对目标识别与跟踪过程中的干扰,增强了目标区内显著性色调特征在识别与跟踪过程中的作用,在反向投影图上表现为白色的像素点主要集中在被跟踪的目标区上。因此,与前两种方法相比,本文方法识别与跟踪的准确性和稳定性都得到了明显提升。

#### 4.3 跟踪性能分析

上述目标跟踪实验的运算时间对比如表 1 所示。

表 1 单帧跟踪运算时间

Tab. 1 Tracking computation time of single frame (ms)

实验	基本 Camshift	多特征融合 Camshift	本文方法
测试视频跟踪	13.7	26.8	17.4
运动目标跟踪	14.3	29.5	19.1

由跟踪运算时间可见,基本 Camshift 方法由于机理简单,运算量少,因此运算时间最短,多特征融合的 Camshift 方法由于需要提取跟踪图像中的辅助特征,因此计算量增加很多,运算时间最长。而本文方法与基本 Camshift 方法相比仅增加了目标色调显著性的计算,并不需要提取其他的辅助特征,因此,计算量虽然有所增加,但增加并不大。另外,上述 3 种跟踪方法都能在 40 ms 内完成单帧图像的跟踪实验,因此都能满足电视跟踪系统实时性的要求。

上述 3 种方法中本文方法能够完成整个跟踪过程,表 2 给出了本文方法的跟踪精度指标。

表 2 本文方法跟踪精度指标

Tab. 2 Tracking accuracy of the proposed method (pixel)

实验	平均横向 偏差	最大横向 偏差	平均纵向 偏差	最大纵向 偏差
测试视频跟踪	8.2	11	3.2	5
运动目标跟踪	7.1	13	6.0	10

表 2 中,横(纵)向偏差是指跟踪方法确定出的目标区的中心位置与被跟踪目标区实际中心位置横(纵)坐标之间偏差的绝对值。由实验结果可见,横向与纵向跟踪的平均偏差均小于 10 pixel,而最大偏差均小于 15 pixel,也就是说,定位出的目标中心始终位于被跟踪目标区内,且最大偏差与被跟踪目标区的尺寸比小于 25%,能够确保跟踪目标不丢失。

## 5 结 论

本文提出了一种基于目标加权直方图模型的 Camshift 跟踪方法。该方法通过将目标直方图与背景直方图进行对比,确定出目标中的显著性色调区,并对不同显著性的色调确定不同的加权系数。根据显著性越大的色调,其加权系数也越大,建立了目标的加权直方图模型,实现了 Camshift 目标跟踪,并通过弱化非显著性色调在目标识别中的作用抑制了背景对目标识别与跟踪过程的干扰。仿真实验结果表明,该方法能够有效改善目标跟踪性能,可使 Camshift 跟踪方法适用于较复杂的跟踪场景中,提高跟踪结果的稳定性,且增加的计算量不大。算法的运算时间小于 40 ms,能够满足电视跟踪系统实时性的要求;跟踪平均偏差小于 10 pixel,最大偏差小于 15 pixel,最大偏差小于被跟踪目标尺寸的 25%,能够实现目标的长时间有效跟踪。

#### 参考文献:

- [1] MORSHIDIM, TJAHJADI T. Gravity optimised particle filter for hand tracking [J]. *Pattern Recognition*, 2014, 47 (1): 194-207.
- [2] 李一芒,何昕,魏仲慧,等. 采用降维技术的红外目标检测与识别[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(5): 1297-1303.
- LI Y M, HE X, WEI ZH H, *et al.*. Infrared target

detection and recognition using dimension reduction technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21 (5): 1297-1303. (in Chinese)

- [3] 孙晓燕,常发亮. 梯度特征稀疏表示目标跟踪[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(12): 3191-3197.
- SUN X Y, CHANG F L. Object tracking based on sparse representation of gradient feature [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(12): 3191-3197. (in Chinese)
- [4] 黄伟国,顾超,朱忠奎. 用于目标识别的 PAC-SC 形

- 状匹配算法[J]. 光学精密工程, 2013, 21(8): 2103-2110.
- HUANG W G, GU CH, ZHU ZH K. PAC-SC shape matching for object recognition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(8):2103-2110. (in Chinese)
- [5] BELAROUSSI R, MILGRAM M. A comparative study on face detection and tracking algorithms [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(8): 7158-7164.
- [6] SHEN C F, LIN X Y, SHI Y C. Moving object tracking under varying illumination conditions [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(14): 1632-1643.
- [7] 修春波,魏世安,万蓉凤. 二维联合特征模型的自适应均值漂移目标跟踪[J]. 光电子·激光, 2015, 26(2):342-351.
- XIU CH B, WEI SH A, WAN R F. CamShift target tracking based on two-dimensional joint characteristic [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2015, 26(2): 342-351. (in Chinese)
- [8] KARASULUB, KORUKOGLU S. Moving object detection and tracking by using annealed background subtraction method in videos: Performance optimization [J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(1): 33-43.
- [9] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking [J]. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(5): 564-577.
- [10] WANG J, YAGI Y. Integrating color and shape-texture features for adaptive real-time object tracking [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 2(17): 235-240.
- [11] BRADSKI G R. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface [J]. *Intel Technology Journal*, 1998, 2(2): 1-15.
- [12] YIN M H, ZHANG J, SUN H G, *et al.*. Multi-cue-based CamShift guided particle filter tracking [J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(5): 6313-6318.
- [13] WANG Z W, YANG X K, XU Y, *et al.*. Cam-Shift guided particle filter for visual tracking [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(4): 407-413.
- [14] MUNOZ-SALINASR, AGUIRRE E, GARCIA-SILVENTE M, GONZALEZ A. A multiple object tracking approach that combines colour and depth information using a confidence measure [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29(10): 1504-1514.
- [15] 修春波,卢少磊,任晓. 基于微分信息融合的 Mean Shift 改进跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(5):1004-1009.
- XIU CH B, LU SH L, REN X. Improved Mean Shift tracking algorithm based on differential information [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2014, 36(5): 1004-1009. (in Chinese)
- [16] 云霄,肖刚. 基于 Camshift 的多特征自适应融合船舶跟踪算法[J]. 光电工程, 2011, 38(5): 52-58.
- YUN X, XIAO G. Camshift ship tracking algorithm based on multi-feature adaptive fusion [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, 38(5): 52-58. (in Chinese)
- [17] 林建华,刘党辉,邵显奎. 多特征融合的 Camshift 算法及其进一步改进[J]. 计算机应用, 2012, 32(10): 2814-2816.
- LIN J H, LIU D H, SHAO X K. Multi-feature fusion Camshift algorithm and its further improvement [J]. *Journal of Computer Applications*, 2012, 32(10): 2814-2816. (in Chinese)

#### 作者简介:



修春波(1978—),男,黑龙江肇州人,博士,副教授,2000年、2005年于北京理工大学分别获得学士、博士学位,主要从事人工神经网络及目标识别方面的研究。E-mail: xiuchunbo@tjpu.edu.cn



魏世安(1990—),男,河北沧州人,硕士,2013年于衡水学院获得学士学位,主要从事机器视觉与目标检测方面的研究。E-mail:514672802@qq.com