

文章编号 1004-924X(2010)03-0764-07

改进的均值移位红外目标跟踪

侯晴宇¹, 张 伟¹, 武春风², 逯力红¹

(1. 哈尔滨工业大学 空间光学工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学 控制科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:提出了一种改进的均值移位红外目标跟踪算法,该算法融合了基于均值移位的梯度匹配搜索策略与基于特征分类的跟踪算法。以目标与局部背景灰度特征的似然比作为目标区域核直方图的权值,建立了改进的目标表征模型。以 Bhattacharyya 系数作为相似性度量,在均值移位框架下推导了应用该目标模型下移位向量的表达形式。同时,提出了基于跟踪复杂度估计的目标遮挡情况下的模型更新判别准则。实验结果表明,该算法能够提高目标像素灰度的移位权重,抑制背景干扰,对于低对比度红外目标的跟踪具有稳健的性能,在正确跟踪情况下平均 Bhattacharyya 系数保持在0.97以上。

关键词:信息处理;红外目标跟踪;均值移位;似然比

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Improved mean-shift based IR target tracking algorithm

HOU Qing-yu¹, ZHANG Wei¹, WU Chun-feng², LU Li-hong¹

(1. *Research Center for Space Optical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;*

2. *Department of Control Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

Abstract: An improved IR target tracking algorithm based on Mean Shift is proposed combined the mean-shift based gradient matched searching strategy with the feature-classification based tracking algorithm. An improved target representing model is set up by taking the likelihood ratio of gray level features of a target and a local background as a weighted value of the original kernel histogram of target area. The expression of mean-shift vector in this target model is deduced, when Bhattacharyya coefficients are regarded as the similarity measures. Meanwhile, the criterion of model updating based on tracking complexity estimation under target occlusion is presented. The experimental result indicates that the algorithm can improve the shift weight of target pixel gray level and can suppress the background interference, therefore the tracking performance of the low contrast IR target is robust and the average Bhattacharyya coefficients can keep above 0.97 in a correct tracking case.

Key words: information processing; IR target tracking; mean shift; likelihood ratio

1 引言

在视觉目标跟踪领域,均值移位算法是一种搜索与模板分布最相近模式的非参数方法。该方法以目标模板中像素的颜色作为特征构造核函数直方图模型,用同样的方法计算当前帧候选目标区域对应的核直方图,以两个直方图的相似性度量 Bhattacharyya 系数最大为原则,使搜索窗口沿密度增加最大的方向移动到目标的真实位置,实现目标跟踪。对于颜色和纹理特征较为丰富的可见光目标,这种算法显示了良好的性能^[1-2]。

相对于视觉目标跟踪,红外目标跟踪在红外成像制导、侦查预警等军事应用中具有重要的意义。目前,很多文献将均值移位算法应用于红外目标跟踪领域^[3-4]。在模板的建立上,仅仅依靠目标区域的强度二维分布特性还不足以对目标进行完整描述。因此,文献[3]应用高频滤波处理结果构建特征核直方图作为目标表征模型,文献[4]在文献[3]的基础上融合了目标的灰度和局部标准差特征,建立了综合表征模型,并通过加权线性融合二者的均值移位向量提高跟踪稳健性。但是在对上述两种算法进行的实测实验中发现,算法在目标与局部背景具有较好对比度时,目标跟踪精度较高,而对于复杂背景条件下的成像目标,经常造成跟踪失败。可以看出,仅仅通过多特征融合的目标表征方法并没有对复杂背景条件下的红外目标跟踪性能产生较大的提高,主要是因为复杂背景条件下目标相对于局部背景对比度较低,图像中目标与局部背景存在较大程度的特征重叠,均值移位梯度匹配过程容易错误收敛,导致算法发散。

为了解决低对比度红外目标的稳健跟踪问题,结合背景信息的自适应跟踪特征选择方法及目标表征方法也不断被提出^[5-8]。文献[6-8]将目标与背景的差异作为跟踪特征,此时目标跟踪在一幅中间图像上进行,这幅图像称为权重图像、似然比图像或置信图,图像中的像素值表征该像素属于背景或目标的概率。目标跟踪在每帧图像的中间图像上进行,采用均值移位或粒子滤波两种搜索策略在局部寻找最优模式作为匹配点。文献[9]在文献[6]的基础上采取了一种局部背景空间分块的方法,每一块与目标组成一对,根据扩展方

差比度量为每一对动态选择最有鉴别性的特征,并结合运动信息,再将这些特征融合成新的权重图像用于跟踪。文献[5]提出了改进的空间灰度混合高斯目标表征模型,模型中不仅考虑了目标区域的灰度空间分布信息,也充分考虑了背景信息对于相似性度量的影响,在跟踪过程有效地抑制了背景干扰。与基于模板的跟踪方法相对应,可以将这类方法称为基于特征分类的跟踪方法。

均值移位是一种基于梯度方向迭代的最优线性搜索策略,而基于目标灰度核直方图建模的均值移位跟踪算法具有对输入参数要求不高,对目标的边缘遮挡及一定程度的形变不敏感,对全局运动不敏感,具有良好实时性等优点。相对而言,基于特征分类的跟踪算法适用于目标和局部背景对比度较低的实际场景,具有较好的鲁棒性。因此,为了能够结合两类算法的优点,本文提出了一种基于似然比加权核直方图建模的改进均值移位红外目标跟踪算法。同时,文中还提出了基于跟踪复杂度估计的目标遮挡情况下的模型更新判别准则,提高了算法的自适应性能。

2 融合两类跟踪策略的目标跟踪

2.1 灰度核直方图目标表征模型

基于均值移位理论的目标跟踪算法有3个基本步骤^[1]:(1)建立目标灰度特征的核直方图作为目标表征模型;(2)测量目标模型和候选目标模型之间的相似性;(3)应用均值移位的梯度方向迭代搜索策略在当前帧中搜索目标的位置,实现目标跟踪。

灰度核直方图即为灰度的空间核密度估计。设参考帧中目标区域的中心为 y^* , 该区域包含 n 个像素,用 x_i^* ($i=1, \dots, n$) 表示。则灰度核直方图目标表征模型为:

$$q_u(y^*) = C_Q \sum_{i=1}^n k \left(\left\| \frac{y^* - x_i^*}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i^*) - u]$$

式中 $k(\cdot)$ 为 Epanechnikov 核函数的剖面函数; $\delta(\cdot)$ 是 Delta 函数; $b(x_i^*)$ 为像素 x_i^* 的灰度, u 为灰度的量化等级, $u=0, \dots, 255$; h 为核窗宽度; C_Q 是常量系数,使得 $\sum_{u=0}^{255} q_u(y^*) = 1$ 。

可见,灰度核直方图目标表征模型只考虑了目标区域灰度的空间核密度分布。在复杂背景条件

下,局部背景区域中包含大量与目标区域具有相同或相近灰度的像素。将目标灰度核直方图作为模板进行目标搜索匹配,容易受到这些灰度的干扰,算法易错误收敛。为了解决这个问题,提高模型对于目标与背景的分类能力,提出了基于灰度似然比加权核直方图的目标表征模型。

2.2 灰度似然比加权核直方图目标表征模型

利用“中心扩展”方法对目标和背景进行采样,如图 1 所示。小矩形里为目标,它周围的大矩形内的场景表示背景(目标除外)。令 $H_{obj}(u)$ 表示目标灰度的直方图, $H_{bg}(u)$ 表示局部背景灰度直方图,转化为离散概率密度为 $n_{obj}(u)$ 和 $n_{bg}(u)$,则灰度特征的特征似然比定义为^[6]:

$$L(u) = \frac{\max\{n_{obj}(u), \delta\}}{\max\{n_{bg}(u), \delta\}},$$

式中 δ 为一个小值(设置为 0.001),防止 $L(u)$ 出现零值。

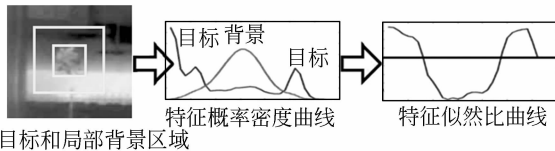


图 1 图像中目标、局部背景区域及灰度似然比曲线

Fig. 1 Target, local background area and likelihood ratio curve of gray level feature

定义目标区域的灰度似然比加权核直方图模型为:

$$\hat{q}_u(y^*) = C_T L_{y^*}(u) q_u(y^*), \quad (1)$$

式中 $L_{y^*}(u)$ 为以 y^* 为中心的目标区域的灰度似然比函数; C_T 是常量系数,使得 $\sum_{u=0}^{255} \hat{q}_u(y^*) = 1$ 。

同理,对于候选目标区域,像素集合为 $x_i (i=1, \dots, d)$,该区域中心位置设为 y ,则候选目标区域的灰度似然比加权核直方图模型表示为:

$$\hat{p}_u(y) = C_C L_y(u) p_u(y)$$

式中 C_C 是常量系数,使得 $\sum_{u=0}^{255} \hat{p}_u(y) = 1$; $p_u(y)$ 和 $L_y(u)$ 分别为以 y 为中心的候选目标区域的灰度核直方图以及灰度似然比函数,即

$$p_u(y) = C_p \sum_{i=1}^d k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(x_i) - u]$$

式中 C_p 是常量系数,使得 $\sum_{u=0}^{255} p_u(y) = 1$ 。

灰度似然比表征了灰度属于目标的可能性,

与局部背景相比,目标中概率大的灰度似然比值大,而局部背景中概率大的灰度似然比值小。将其融入到核直方图模型中,提高了目标中特有的灰度成分对于核直方图的贡献,进而提高了模型对于目标的表征能力,有利于跟踪中的模式匹配。

2.3 均值移位跟踪

通常,如下相似性度量被用于在当前帧中找到与目标模型最为相似的图像区域:

$$d(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{q}_u(y^*), \hat{p}_u(y)]}, \quad (2)$$

其中

$$\rho(y) = \rho[\hat{p}_u(y), \hat{q}_u(y^*)] = \sum_{u=0}^{255} \sqrt{\hat{q}_u(y^*) \hat{p}_u(y)}, \quad (3)$$

称为 Bhattacharyya 系数。显然,最小化式(2)等价于最大化式(3)。通常,当前帧中的目标搜索从上一帧中的匹配位置 y_0 处开始。因此以 y_0 为中心的候选目标区域的模型 $\{\hat{p}_u(y_0)\}_{u=0 \dots 255}$ 应当被先计算出来。对式(3)利用泰勒级数在 $\hat{p}_u(y_0)$ 处展开并略去高次项有:

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{255} \sqrt{\hat{q}_u(y^*) \hat{p}_u(y_0)} + \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{255} \hat{p}_u(y) \sqrt{\frac{\hat{q}_u(y^*)}{\hat{p}_u(y_0)}}.$$

此时,可得

$$\rho(y) \approx \frac{1}{2} \sum_{u=0}^{255} \sqrt{\hat{q}_u(y^*) \hat{p}_u(y_0)} + \frac{C_p \sqrt{C_C C_T}}{2} \sum_{i=1}^d w_i k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right), \quad (4)$$

其中

$$w_i = \sum_{u=0}^{255} \sqrt{L_{y^*}(u) L_y(u)} \sqrt{\frac{\hat{q}_u(y^*)}{\hat{p}_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u], \quad (5)$$

因为在连续帧间目标运动位移不会太大,因此有理由假设帧间满足 $L_{y^*}(u) \approx L_y(u)$,则式(5)转化为:

$$w_i = \sum_{u=0}^{255} L_{y^*}(u) \sqrt{\frac{\hat{q}_u(y^*)}{\hat{p}_u(y_0)}} \delta[b(x_i) - u], \quad (6)$$

由于式(4)中第一个子项和 y 无关,所以为了最大化式(3),式(4)中第二个子项应当被最大化。注意,第二个子项是在当前帧位置处利用加权的核函数估算的概率密度。这个概率密度的极值问题可以用 Mean-Shift 理论求得,即在匹配过程中利用下式将核函数中心从当前帧初始位置处不断移动到新的位置 y_1 处。

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^d x_i w_i}{\sum_{i=1}^d w_i}.$$

上述均值移位过程中,灰度似然比 $L_y^*(u)$ 越大,则 $\hat{q}_u(y^*)$ 越大。如式(3)所示,则灰度 u 对于 Bhattacharyya 系数的贡献就越大,即灰度为 u 的像素的移位越能够表征目标的移动,这点从式(6)也可以看出。如式(6)所示,候选目标区域中灰度的移位权重是原始均值移位算法得到的移位权重和灰度似然比的乘积。在移位过程中对于属于目标可能性大的灰度给予高移位权重,而对于属于局部背景可能性大的灰度给予低移位权重,这样就会在一定程度上限制目标与局部背景重叠灰度的移位,有效抑制背景干扰,提高复杂背景条件下

低对比度目标跟踪的稳健性。

3 目标表征模型自适应更新

上述红外目标跟踪算法中利用了改进的目标表征模型,提高了跟踪的稳健性。但是由于待跟踪目标的局部背景存在时变性,使得在参考帧确定的目标模型不可能在整个序列上都很好地刻画待跟踪的目标。因此在跟踪过程中,必须进行目标模型的更新,以此增强目标跟踪的自适应性能,图 2 为模型的更新原理。

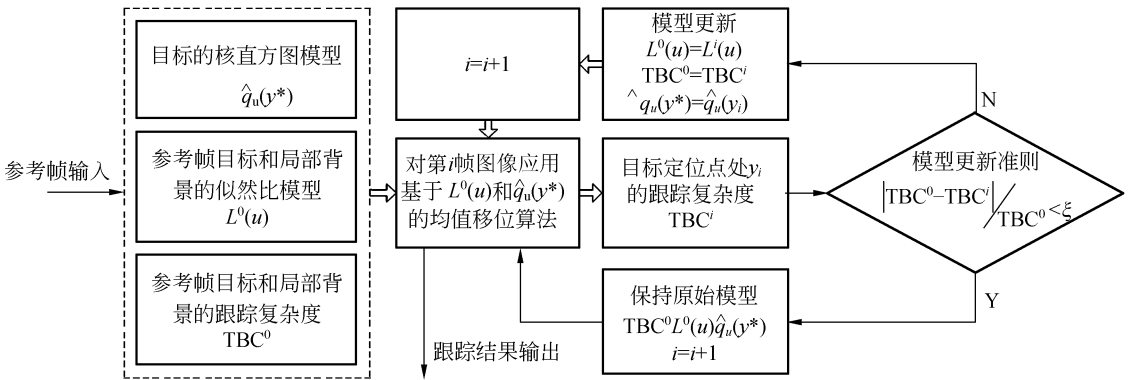


图 2 目标模型更新原理

Fig. 2 Updating scheme of target model

由于似然比是目标与局部背景灰度的函数,因此它随跟踪过程而改变。当局部背景的复杂程度变化较大时就需要更新目标模型用于下一帧的跟踪。本文采用目标与局部背景灰度概率分布交叠区的加权信息熵作为目标跟踪的复杂度指标^[10],利用帧间跟踪复杂度指标的变化作为模型更新的判别准则。即令参考帧的复杂度指标为 TBC^0 (Target background complexity):

$$TBC^0 = - \sum_{u=0}^{255} u \cdot r_u^0 \log r_u^0$$

式中 $r_u^0 = \min[n_{obj}^0(u), n_{bg}^0(u)]$, $n_{obj}^0(u)$ 与 $n_{bg}^0(u)$ 分别为参考帧中目标与局部背景灰度特征的概率密度函数,当 $r_u^0 = 0$ 时, $r_u^0 \log r_u^0 = 0$ 。

应用参考帧目标模型对后续帧图像进行目标跟踪,跟踪输出位置处的复杂度指标为 TBC^i ,如果 $|TBC^0 - TBC^i| / TBC^0 < \xi$ 不成立,则需要进行模型更新,其中 ξ 为设定的经验阈值,而后将更新后的模型用于下一帧的跟踪。

4 实验结果与分析

为了验证本文提出的红外目标跟踪算法的有效性和稳健性,对两个红外序列进行了目标跟踪实验。实验序列利用帧频为 25 Hz 的 160×120 非制冷微测辐射热计采集,目标分别是“骑车人”和“行进中汽车的局部”。两个实验都是在 Pentium IV 1.73 GHz 的 PC 机上采用 Matlab 7.0 软件平台实现。在图像序列第一帧用手动方式确定待跟踪的红外目标,并在 255 量化等级的灰度空间里进行目标模型和候选目标模型描述。

在“骑车人”序列中所跟踪的目标为“骑车人”,目标处于复杂背景干扰下。对该序列分别采用文献[1]和文献[4]的算法和本文算法进行比较实验。

为了体现本文提出的改进目标表征模型与文

献[1]和文献[4]采用的核直方图模型之间的差异,对第一帧图像中“骑车人”进行两种模型的计算,如图 3 所示。从图中可以看出,经过似然比加权改进的模型增大了目标区域中特有灰度的直方图数值,降低了与背景相似灰度的直方图数值,进一步提高了目标表征能力,从而提高了目标区域中像素的灰度对于 Bhattacharyya 系数的贡献,从原理上能够说明匹配跟踪过程中该模型具有抵抗背景干扰的能力。

图 4 给出了三种算法对于“骑车人”的跟踪结果,其中虚线圆框为本文算法的结果。发现前两种算法均丢失目标,而本文算法在整个序列中对目标均能稳健的跟踪。文献[1]提出了基于核直

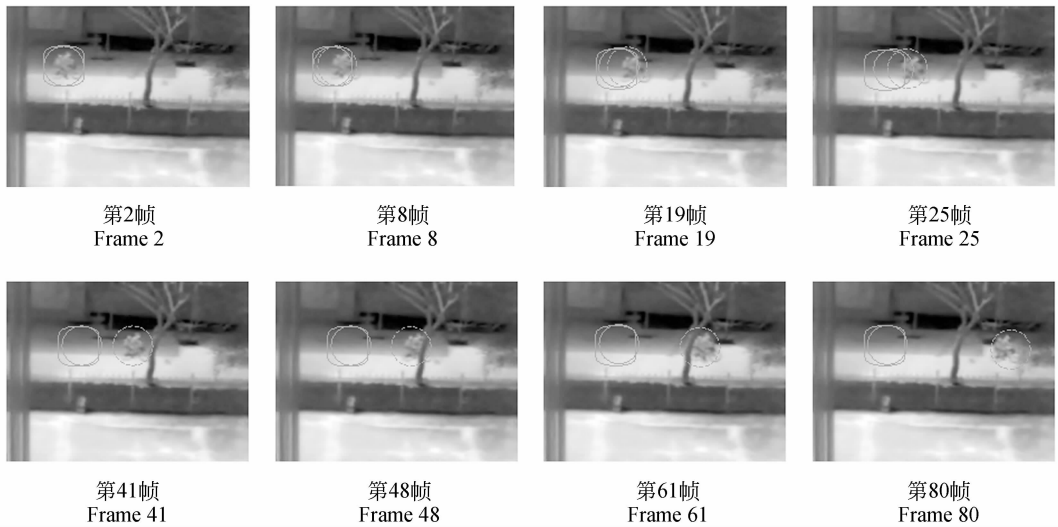


图 4 对“骑车人”视频进行原始均值移位算法的跟踪结果
Fig. 4 Tracking results for “cyclist” using proposed algorithm

方图的均值移位跟踪算法,文献[4]在此基础上针对红外目标跟踪提出了基于灰度和局部标准差综合表征模型的跟踪算法。但是从目标模型建立上,这两种算法没有本质区别,仍然是利用目标区域内部的像素特征(灰度或局部标准差)构建。因此,在目标与局部背景具有较大特征信息重叠的情况下,算法受背景干扰严重,经常造成跟踪失败,如图 4 所示。相对而言,本文提出的算法中构建的目标模型既考虑了目标区域的灰度特征信息,又融合了目标与局部背景的灰度特征分类信息,具有较高的抗背景干扰能力,在均值移位框架下应用该模型能够稳健跟踪低对比度红外目标。

图 5 给出了“骑车人”序列中目标模型与时序

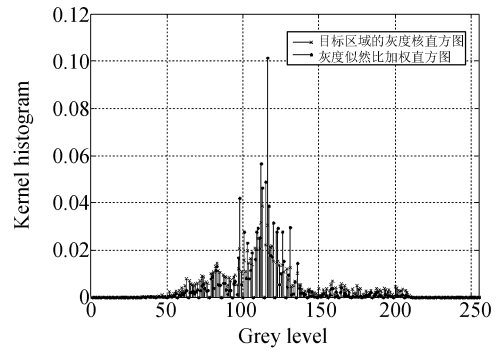


图 3 参考帧中目标的原始核直方图与似然比加权核直方图

Fig. 3 Original kernel histogram and likelihood ratio weighted kernel histogram for representing target

帧中目标位置处的模型间的 Bhattacharyya 系数

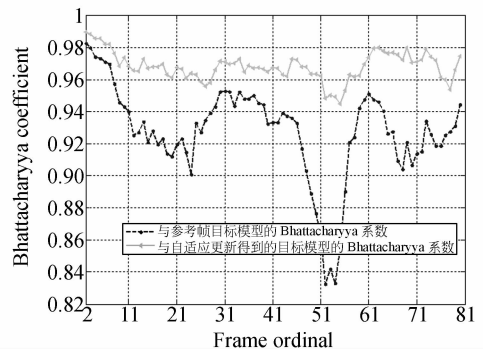


图 5 自适应模型更新提高 Bhattacharyya 系数
Fig. 5 Improving Bhattacharyya coefficients by adaptive model updating

曲线,其中下面一条曲线表示在似然比加权核直方图模型下,在视频序列中通过手动方式选择每帧图像中的目标,其模型与第一帧(参考帧)中的目标模型之间的 Bhattacharyya 系数。可以看出,由于局部背景的变化,待跟踪的目标模型发生较大变化,尤其在存在“树木”遮挡的情况下,目标模型严重退化,因此,模型更新是精确目标跟踪的必要手段。图 5 中上面一条曲线为利用本文提出的算法对“骑车人”应用正确跟踪过程中目标区域

的似然比加权核直方图与自适应更新得到的目标模型之间的 Bhattacharyya 系数曲线。从两条曲线的对比可以明显看出,在复杂背景干扰下以及存在障碍物遮挡时本文提出的模型更新方法具有较好的自适应性能,平均 Bhattacharyya 系数保持在 0.97 以上。

对第二个红外视频中“行进中汽车的局部”的跟踪结果如图 6 所示,算法能够有效跟踪目标区域,算法具有较强的鲁棒性。

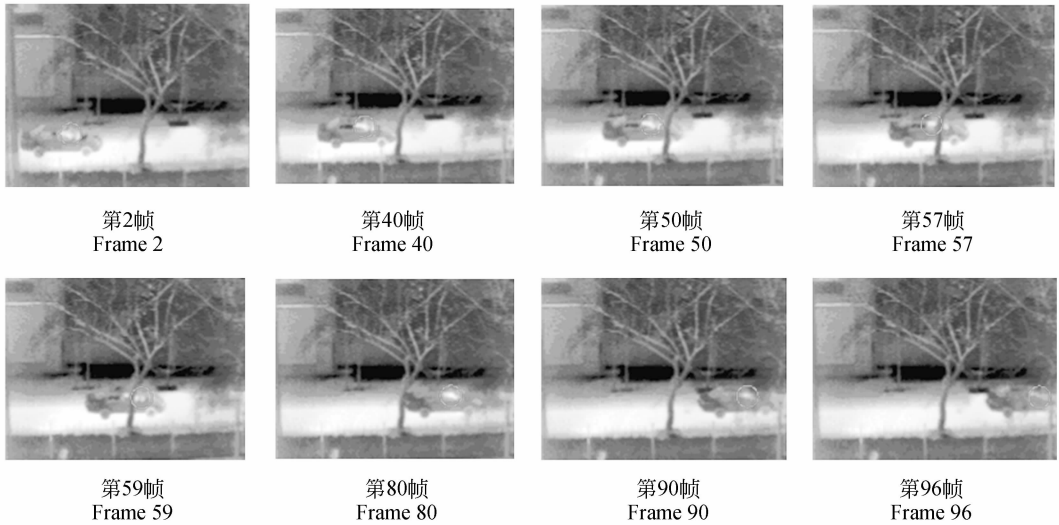


图 6 对“行进中汽车的局部”执行本文算法的跟踪结果

Fig. 6 Tracking results for “local area of moving car” using proposed algorithm

5 结 论

为了提高低对比度红外目标跟踪的稳健性,本文提出了基于改进目标模型的均值移位跟踪算法。在灰度核直方图目标表征模型的基础上通过似然比函数加权融入了局部背景信息,建立了改进的目标表征模型。应用该模型的均值移位跟踪算法能够提高目标像素灰度的移位权重,增强跟踪过程的抗背景干扰能力。同时,基于跟踪复杂

度判别的模型更新方法在复杂背景干扰下,尤其在目标遮挡情况下的目标跟踪中具有较强的自适应性能。实验结果表明,该算法是有效和稳健的。

本文算法针对低对比度红外目标跟踪而提出,利用焦平面获取的强度信息作为像素特征。但是,在复杂背景干扰下的视觉目标跟踪中也同样会出现目标与局部背景发生信息重叠的现象,将传感器获取的目标的颜色、强度信息与本文算法相结合将有效提高目标跟踪的性能。

参考文献:

- [1] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(5):564-577.
- [2] 孙中森, 孙俊喜, 宋建中, 等. 一种抗遮挡的运动

目标跟踪算法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(2): 267-271.

SUN ZH S, SUN J X, SONG J ZH, *et al.*. Anti-occlusion arithmetic for moving object tracking[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 267-271. (in Chinese)

- [3] 程建, 杨杰. 一种基于均值移位的红外目标跟踪新

- 方法[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(3): 231-235.
- CHEN J, YANG J. Novel infrared object tracking-method based on mean shift[J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2005, 24(3): 231-235. (in Chinese)
- [4] 李龙, 李俊山, 叶霞. 基于 mean Shift 算法的运动平台下红外目标跟踪[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(2): 229-232.
- LI L, LI J SH, YE X. Airborne infrared target tracking based on Mean Shift[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(2): 229-232. (in Chinese)
- [5] 王欢, 任明武, 杨静宇. 一种基于 smog 模型的红外目标跟踪新算法[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(4): 252-256.
- WANG H, REN M W, YANG J Y. New infrared object tracking algorithm based on SMOG model [J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2008, 27(4): 252-256. (in Chinese)
- [6] COLLINS R T, LIU Y, LEORDEANU M. Online selection of discriminative tracking features [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(10): 1631-1643.
- [7] CHEN H T, LIU T L, FUH C S. Probabilistic tracking with adaptive feature selection[C]. *International Conference on Pattern Recognition, Cambridge*, 2004: 736-739.
- [8] AVIDAN S. Ensemble tracking[C]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego*, 2005: 494-501.
- [9] YIN Z, COLLINS R. Spatial divide and conquer with motion cues for tracking through clutter[C]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York*, 2006: 570-577.
- [10] YANG L, YANG J, PENG N, *et al.*. Weighted information entropy: a method for estimating the complex degree of infrared images' backgrounds[C]. *Lecture Notes in Computer Science, Canada*, 2005: 215-222.

作者简介:



侯晴宇(1982—),男,黑龙江人,博士研究生,主要从事红外图像处理、红外目标检测与跟踪方面的研究。E-mail: houqingyu@126.com



张伟(1962—),男,黑龙江人,教授,博士生导师,主要从事空间光学与遥感等方面的研究。E-mail: wzhang@hit.edu.cn

武春风(1975—),男,黑龙江人,博士后,主要从事导航与制导等方面的研究。E-mail: startjb@sina.com

逯力红(1980—),女,河北人,博士研究生,主要从事合成孔径、光学系统在轨检测与装调方面的研究。E-mail: lixin0311@gmail.com

(本栏目编辑:白雨虹)