

文章编号 1004-924X(2015)10-2980-09

基于改进亮度变化函数实现红外图像中行人跟踪

郑超¹, 陈杰^{2*}, 陶会峰¹, 殷松峰¹, 杨星¹, 王一程¹

- (1. 解放军电子工程学院 脉冲功率激光技术国家重点实验室
红外与低温等离子体安徽省重点实验室, 安徽, 合肥, 230037;
2. 安徽建筑大学 电子与信息工程学院, 安徽, 合肥, 230037)

摘要: 由于基于亮度变化函数(IVF)的跟踪算法能高效跟踪前视红外图像中刚性目标但无法满足行人跟踪鲁棒性要求, 提出了一种新的基于多热点亮度变化函数的红外图像中行人跟踪算法。分析了分区域、多热点描述行人目标热信号的必要性, 利用改进的亮度变化函数在帧间目标窗口内定位热点, 建立目标窗口自适应更新机制解决尺度变化问题, 最后基于热点的运动特征描述剔除定位于背景的野值点。对复杂红外场景的跟踪实验结果表明, 由于在原始算法的基础上省去了模板匹配步骤及缩小了搜索对象的矩阵维数, 该算法获得了最优的实时性; 且多热点机制使该算法的鲁棒性优于多种其他视觉跟踪算法, 能够胜任存在遮挡、尺度变化、低对比度等干扰因素的前视红外图像中行人目标的跟踪。

关键词: 前视红外图像; 行人跟踪; 亮度变化函数; 运动特征

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152310.2980

Pedestrian tracking in FLIR imagery based on modified intensity variation function

ZHENG Chao¹, CHEN Jie^{2*}, TAO Hui-feng¹,
YIN Song-feng¹, YANG Xing¹, WANG Yi-cheng¹

- (1. *Key Laboratory of Infrared and Low Temperature Plasma of Anhui Province, State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;*
2. *Institute of Electronics and Information Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230037, China)*
** Corresponding author, E-mail: jdly1123@163.com*

Abstract: As tracking algorithms based on Intensity Variation Function(IVF) can track effectively rigid targets in Forward Look Infrared(FLIR) imagery, but can not satisfy the need of a pedestrian tracking for robustness, a novel pedestrian tracking algorithm based on modified IVF was proposed. The necessity of describing the thermal signatures of pedestrians with multiple hot spots in divided subregions was analyzed. Then, the hot spots were detected in a target window from frame to frame by the modified IVF and an adaptive update mechanism for a target window was established to solve the scale change. Finally, the motion feature descriptors based on hot spots were used to remove the

收稿日期: 2015-06-10; **修订日期:** 2015-08-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 61503394); 安徽省自然科学基金资助项目(No. 1408085QF131, No. 1508085QF121); 安徽高校自然科学研究重大项目(No. KJ2015ZD14)

outliers detected unaccurately in the background. Comparative experiments on challenging thermal scenes demonstrate that the proposed algorithm outperforms the state-of-the-art approaches in real-time performance by removing the template matching step of original algorithm and decreasing the matrix dimension of searching objects. Moreover, by better robustness against many visual tracking algorithms with the multiple hot spot strategy, it is suitable for the pedestrian tracking in FLIR imagery with the interference of occlusion, scale changed and lower contrast.

Key words: Forward Look Infrared imagery; pedestrian tracking; intensity variation function; motion feature

1 引言

作为行人行为识别的基础,行人目标跟踪是安防、车载辅助等计算机视觉应用系统的核心。利用红外前视成像不受光照条件干扰、全天候工作的优点,红外图像中的行人目标跟踪逐渐成为目标跟踪领域的热点。然而,由于红外图像具有低分辨率、低信噪比、易饱和、光晕干扰及缺乏纹理信息等缺陷,加之行人目标存在姿态变化、自遮挡、像素少等问题,红外图像中的行人目标跟踪也成为了目标跟踪领域的难点问题^[1-7]。

基于目标热点(通常在红外图像中,目标在局部区域满足高亮度特性,因此可以视作“热点”)的亮度变化在连续帧间改变微弱的假设,2005年,A. Bal 和 M. S. Alam 首次提出了亮度变化函数(Intensity Variation Function, IVF)的概念,并将其作为自动目标跟踪(Automatic Target Tracking, ATT)框架的目标预测部分,完成了对航空拍摄的前视红外图像中刚性目标的有效跟踪^[8]。相关研究人员后续做了许多改进,如通过引入遗传算法减少 IVF 运算的总次数^[9]、引入置信度阈值参数缩小模板匹配(Template Matching, TM)搜索的范围^[10]等来提高算法的执行效率;利用基于运动预测的 TM 启动机制和加权分析 IVF 和 TM 各自相关输出平面的极值点来提高在搜索空间定位的准确度^[11]。但将原始算法和上述改进算法应用于前视红外图像中行人目标跟踪时,效果均不理想。主要原因是:行人目标作为帧间变化剧烈的热信号,使用固定模板的 TM 机制很难有效探测目标,同时引入的误差经过逐帧积累,最终会导致跟踪偏离^[12]。为此,文献^[12]提出了在红外图像中的行人分块中多次采用 IVF 计算对应子区域的相关输出平面的思想,

然后将各自峰值点的中值定位为当前帧的位置,但由于野值点的存在,该方法同时也引入了误差,无法应对目标遮挡的干扰;文献^[13]在文献^[11]的基础上,提出搜索区域垂直方向收缩策略,避免了热点的剧烈运动,利用 IVF 递归探测热点解决了相关输出平面多峰值的问题,最后提出了一套基于 TM 的遮挡预测和应对机制,但是该算法由于基于启发式设计,存在参数设置多依赖于经验的缺陷。

本文根据前视红外图像中行人目标的特性,提出了基于 IVF 基本思想的行人目标跟踪算法。该算法在没有明显提高运算复杂度的前提下有较高的鲁棒性,可以实现对红外图像中行人的稳定跟踪。

2 ATT 框架

ATT 框架主要由 IVF、控制器和 TM 三部分组成,算法的框图如图 1 所示。

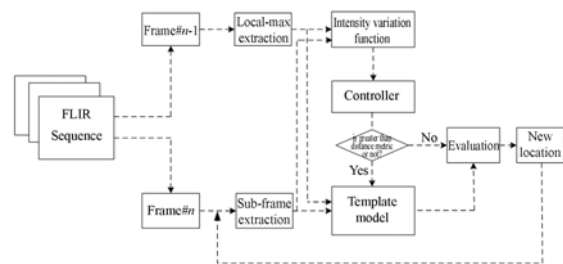


图 1 自动目标跟踪算法框图

Fig. 1 Block diagram of automatic target tracking algorithm

IVF 如公式(1)所示:

$$F^n(v, z) = \frac{1}{K \times L} \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^K |S^n(i+v, j+z) - \omega^{n-1}|, \quad (1)$$

其中: $K \times L$ 表示目标窗口大小, S^n 代表第 n 帧的搜索区域图像, ω^{n-1} 为第 $n-1$ 帧图像目标窗口中 $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$ 的局部灰度最大值, 其通过指数函数 $C_F(v, z)$ 可得到热点局部区域内帧间亮度变化映射平面, 该平面的峰值点即为目标所在的位置。

$$C_F(v, z) = e^{-\lambda F^n(v, z)}. \quad (2)$$

当热点的移动距离大于某一阈值时, 视作目标丢失, 随即启用 TM 机制, 重新定位目标。

3 适用于行人目标的改进 IVF 技术

基于上述分析, 本文保留了原始 IVF 具有较好实时性的优点, 研究了红外图像中行人热信号的多热点描述及鲁棒性改进策略, 使其不依赖于 TM 机制, 最终提出了基于多热点亮度变化函数 (Multiple Hot Spots-Intensity Variation Function, MHS-IVF) 的新型红外图像中行人跟踪算法。

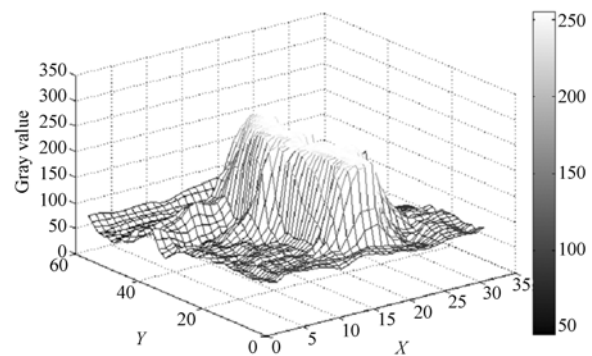
3.1 基本思想

根据行人目标的结构特点和温度分布特性, 可以在目标的多个子区域寻找局部极值点, 利用这些“热点”共同定位目标。此外, 行人目标在帧间的运动具有一定的连续性, 因此可以认为不同区域热点的帧间运动向量具有相对稳定性, 可以利用此稳定信息滤除误定位的野值点, 保证跟踪算法的鲁棒性。

3.2 算法的具体实现

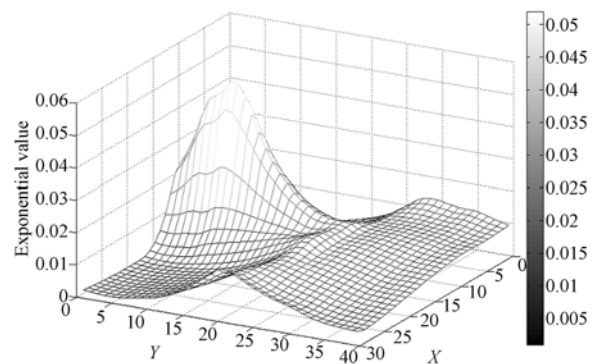
3.2.1 红外图像中行人热信号的多热点描述

图 2(a) 是前视红外图像中行人目标区域的灰度分布情况, 由于温度变化不明显, 导致图像亮度变化较小, 这说明目标区域的灰度值存在多个极值点。利用文献[8]中的 IVF 函数计算得到的相关输出平面如图 2(b) 所示, 顶部呈现一定的平滑现象, 很难找到单个的峰值点, 这说明由于行人目标的姿态变化和非刚性的特质使单个热点很难准确表征。因此, 本文提出的新算法中采取多区域、多热点来联合描述行人目标。考虑到将行人分为头和躯干两部分会使定位的热点过于集中, 不利于跟踪框的确定, 本文将红外行人目标按纵向分为头、上半身躯干和腿 3 个子区域, 由于裸露程度和衣服的材质在上述 3 块子区域之间的差异明显, 从而确保了区域之间红外信号的差异性和



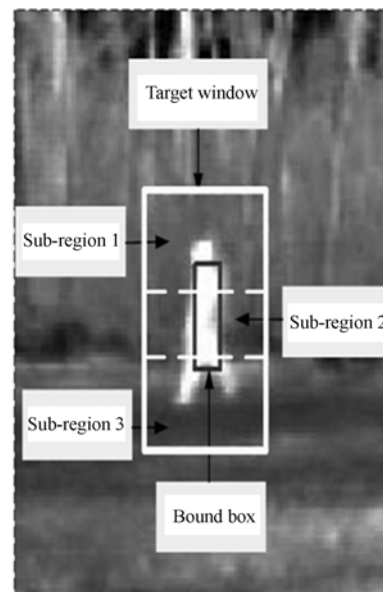
(a) 灰度的空间分布

(a) Spatial distribution of gray value



(b) 相关输出平面

(b) Correlation output plane



(c) 将目标划分为 3 个子区域

(c) Dividing target to three subregions

图 2 行人热信号分区域多热点描述

Fig. 2 Description of thermal signature of pedestrian with multiple hot spots in different subregions

区域内部的一致性;同时为了提高热点对目标整体的覆盖程度,设子区域 1、2、3 的面积比为 2:1:2,如图 2(c)所示,这是因为子区域 1 和 3 都包含更多背景部分,搜索获得的热点相对于子区域 2 较少。

3.2.2 利用改进的亮度变化函数实现子区域局部亮度极值点的帧间搜索

文献[8]中的跟踪对象是航空拍摄的刚体目标,因此目标窗口(Target Window, TW)仅包含十几个像素,而通常在 320×240 的 FLIR 图像中行人目标大概为 15×35 左右,如果用公式(1)计算,则迭代计算过程中矩阵的维数较大,计算效率下降明显。另外,有别于原算法中以单个热点位置定位目标的机制,新算法是通过局部热点的位置共同限定跟踪框的边界。因此本文将当前帧搜索子区域内 3×3 窗口与上一帧“热点”所在位置窗口灰度差值的绝对值之和用于改进的 IVF,如公式(3)所示:

$$FF_r^n(v, z) = \frac{1}{3 \times 3} \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 |S^n(i+v, j+z) - \omega_r^{n-1}|, \quad (3)$$

其中: ω_r^{n-1} 为第 $n-1$ 帧图像目标窗口中第 r 个子区域内 3 pixel×3 pixel 的局部亮度极值。为了避免噪声的影响和满足局部极值点数量和分布的散度要求,本文算法搜索相关输出平面所有高于阈值 Q 的点作为候选目标位置代替原始 IVF 算法搜索相关输出平面峰值点,如公式(4)所示:

$$(\hat{v}, \hat{z}) \in e^{-\lambda FF^n(v, z)} > Q, \quad (4)$$

其中阈值 Q 的确定依据是假设各帧之间同一子区域的 FF^n 函数的极小值呈高斯分布,再利用指数函数得到第 n 帧的阈值 Q 。

3.2.3 跟踪框的确定和目标窗口的更新准则

当行人目标上的热点确定以后,采用包含所有热点的最小矩形框(Bound Box, BB)作为目标的跟踪框,即:

$$\begin{aligned} BB_w &= \max(Y) - \min(Y) + \epsilon_w, \\ BB_h &= \max(X) - \min(X) + \epsilon_h, \end{aligned} \quad (5)$$

$$m_{r,n}^f = \sqrt{(x_{r,n}^f - \text{median}(X_r^{f-1}))^2 + (y_{r,n}^f - \text{median}(Y_r^{f-1}))^2} + \epsilon, \quad (8)$$

$$M_r^f = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N m_{r,n}^f, \quad (9)$$

$$d_{r,n}^f = \arccos((y_{r,n}^f - \text{median}(Y_r^{f-1}))/m_{r,n}^f), \quad (10)$$

引入正值 ϵ_w 和 ϵ_h 提高了 BB 框覆盖目标面积的比例,同时防止热点横坐标相同时, $BB_w=0$ 情况出现。为了适应目标的尺度变化,相应的 TW 也要随着 BB 的大小更新,目的是确保搜索到行人目标上热点数量的稳定性,避免因搜索区域过大导致计算复杂度增加,更新准则如公式(6)所示:

$$\begin{aligned} TW_w^{f+1} &= TW_w^f + \sigma_w \cdot (BB_w^f - BB_w^{f-1}) \\ TW_h^{f+1} &= TW_h^f + \sigma_h \cdot (BB_h^f - BB_h^{f-1}), \end{aligned} \quad (6)$$

其中: (TW_w^{f+1}, TW_h^{f+1}) 和 (TW_w^f, TW_h^f) 分别为下一帧和当前帧目标窗口的宽和高, (BB_w^{f-1}, BB_h^{f-1}) 和 (BB_w^f, BB_h^f) 分别为上一帧和当前帧跟踪框的宽和高,弹性因子 σ_w 和 σ_h 分别控制目标窗口的宽和高在帧间缩放变化的程度。

3.2.4 局部亮度极值点的运动信息获取及野值点剔除

由于在获取候选热点时,只利用目标的亮度信息,不可避免地会将背景中与目标热点灰度值近似的区域误认为是目标的热点,本文将之称之为野值点,从而导致跟踪框的漂移。本算法利用目标热点的运动信息将误定位的野值点剔除,具体步骤是:

(1)提取热点的运动信息。由于所有热点的 X 轴和 Y 轴坐标极值决定了跟踪框的垂直和水平方向边界,因此与行人目标运动方向相反的热点对跟踪框的确定会起到干扰作用,本算法通过比较前后两帧“热点”集中值的大小来判断目标在 X 轴和 Y 轴运动的正负方向,以沿 Y 轴方向的运动为例,如公式(7)所示:

$$\begin{aligned} &\text{if } \text{median}(Y^n) - \text{median}(Y^{n-1}) < 0 \text{ (沿 Y 轴负方向运动), 滤除所有满足} \\ &Y_i^n - \max(Y^{n-1}) \geq 0, i=1, 2, \dots, N \text{ 的热点} \\ &\text{else (沿 Y 轴正方向运动), 滤除所有满足} \\ &Y_i^n - \min(Y^{n-1}) \leq 0, i=1, 2, \dots, N \text{ 的热点} \end{aligned} \quad (7)$$

(2)在各子区域内,分别按照公式(8)~(11)提取同一子区域内热点在帧间运动向量的模和方向:

$$D_r^f = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N d_{r,n}^f, \quad (11)$$

其中: $m_{r,n}^f$ 和 $d_{r,n}^f$ 分别为第 f 帧图像子区域 r ($r=$

1,2,3)中第 n 个热点的运动向量的模和与方向向量 $(0, -1)$ 的夹角 θ , M_r^f 和 D_r^f 是对应的 N 个热点运动向量模和方向的均值, 并由此可计算得到前 k 帧图像中热点运动向量模和方向的均值 ($mean_M_r^k, mean_D_r^k$) 和方差 ($var_M_r^k, var_D_r^k$), $(x_{r,n}^f, y_{r,n}^f)$ 是第 f 帧图像中子区域 r 的第 n 个热点的坐标, (X_r^{f-1}, Y_r^{f-1}) 是第 $f-1$ 帧图像中子区域 r 的所有热点的坐标向量, ϵ 是极小的正值, 目的是避免式(10)中分母为 0, 计算热点运动向量的示意图如图 3 所示。

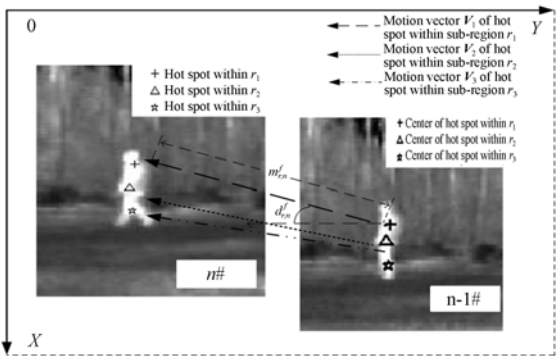


图 3 帧间某一热点的运动向量计算示意图

Fig. 3 Diagram of evaluating motion vector of a hot spot in consecutive frame

上的热点在帧间的运动满足高斯分布, 据此可以将不满足高斯分布的候选点认定为野值点。利用公式(8)、(10)计算每个候选热点的 $\hat{m}_{r,n}^f$ 和 $\hat{d}_{r,n}^f$, 然后判断公式(12)和(13)是否成立:

$$|\hat{m}_{r,n}^f - mean_M_r^{f-1}| / var_M_r^{f-1} > z_1, \quad (12)$$

$$|\hat{d}_{r,n}^f - mean_D_r^{f-1}| / var_D_r^{f-1} > z_2, \quad (13)$$

其中 $f=2, 3, \dots, K, z_1$ 和 z_2 分别是运动向量模和方向是否满足高斯分布的判断阈值, 当公式(12)和(13)任一成立时, 则判断该候选点为野值点, 将其剔除, 剩下的候选点则认为是目标的真实热点, 储存起来并用于计算当前帧热点运动向量的均值和方差。

综上所述, MHS-IVF 算法的框图如图 4 所示。

4 实验结果及分析

为了验证本文提出的 MHS-IVF 算法对红外图像中行人跟踪的有效性, 在 3.60 GHz CPU 的 PC 机上选用 Terravic Motion IR Database^[14] 中的 Outdoor House Surveillance 和 OTCBVS Benchmark Dataset^[15] 等红外图像数据库中的多组行人运动图像序列对包含原始 ATT 算法、文献[9]中的改进算法 (Prediction-based ATT, PATT) 以及综述文献[16]中提到的 5 种优秀的视觉跟踪算法 (算法的缩写与文献[16]一致, 代码由原文作者提供) 基于 Matlab2012a 和 C++ 的仿真结果进行对比测试, 各算法的参数设置与原文献中的一致, 本文提出的新算法中, 正值 ϵ_h 和 ϵ_w 均为 6; 弹性因子 α_w 和 α_h 分别为 0.8 和 0.6; 运动向量大小和方向的阈值参数 z_1 和 z_2 分别取 1 和 2; 极小正值 ϵ 取 0.01。

4.1 算法的实时性分析

跟踪算法的运行时间跟图像的分辨率和目标的大小有密切联系, 为了说明实时性, 选择所有算法都能正确跟踪的图像序列作为测试序列, 跟踪的图像序列参数如表 1 所示。

由于 ATT 算法的运算速度与阈值 D^* 密切相关, 经多次实验, S1 序列中设置 D^* 为 7, S2 序列中设置 D^* 为 5, S3 序列中设置 D^* 为 10, 所有算法稳定跟踪的运行速度如表 2 所示。

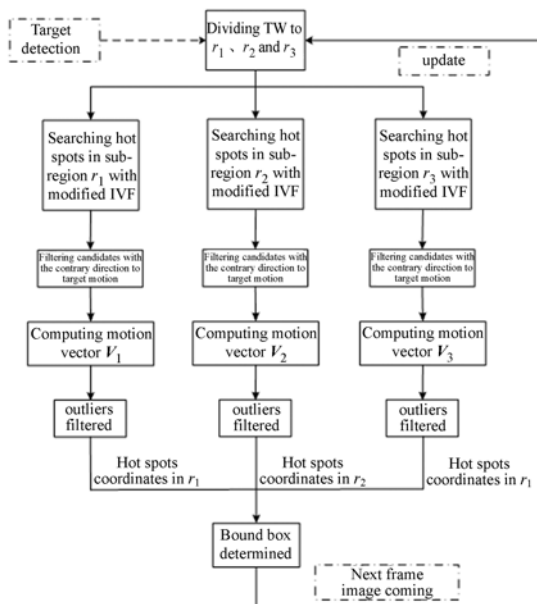


图 4 MHS-IVF 算法的框图

Fig. 4 Block diagram of MHS-IVF algorithm

(3) 剔除野值点。根据红外图像序列中行人目标的亮度分布特征和运动特性, 假设行人目标

表 1 测试跟踪速度的图像序列参数

Tab. 1 Parameters of image sequences for testing tracking speed




No.	Example	Length/f	Resolution	Size
S1		100	320×240	13×29
S2		135	320×240	26×46
S3		57	320×240	18×31

表 2 几种测试算法的平均跟踪速度

Tab. 2 Average tracking speed of tested algorithms

	S1	S2	S3
MHS-IVF(M)	78.9	70.5	73.1
ATT(M)	42.3($D^* = 7$)	35.3($D^* = 5$)	59.3($D^* = 10$)
PATT(M)	38.1	30.4	37.0
CT ^[17] (MC)	48.2	47.6	48.0
LOT ^[18] (M)	1.2	0.9	1.0
DFT ^[19] (M)	14.0	13.5	13.9
L1APG ^[20] (MC)	2.1	1.9	2.0
MTT ^[21] (M)	1.1	1	1.1

Note: M—Matlab; MC—Mixtrue of Matlab and C/C++ unit:frame/s

由于避免了模板匹配、减小了搜索对象的矩阵维度, MHS-IVF 算法比 ATT 算法的运算速率要快。而与视觉跟踪的典型算法相比, 由于本身 Matlab 执行效率要远慢于 C++, 更加凸显了新算法计算简单、实时性好的优势。

4.2 算法的鲁棒性分析

为了验证 MHS-IVF 算法对 ATT 算法的鲁棒性提升, 满足对行人目标的跟踪要求, 本文选择存在代表性干扰因素的图像序列进行跟踪。序列 S4(来自 Terravic Motion IR Database-Outdoor House Surveillance-irw01)中存在严重遮挡的情况, 两种算法定性的分析如图 5(a)~5(d)所示, 跟踪的对象是从右向左运动的行人目标, 在 50 frame 以前, $D^* = 7$ 的 ATT 算法能较好地跟踪目标, 由于受到左侧进入行人的干扰, 从 50 frame

开始, 两个目标距离很近, 由于 D^* 值较大, 未能启动 TM 机制, 导致跟踪框出现偏离, 即使重新设置 $D^* = 5$, 试图通过 TM 重新定位目标, 依然在第 79 frame 因为完全遮挡而丢失目标, 后续帧始终错误地跟踪向右运动的干扰对象。相反, MHS-IVF 算法中因为有野值点剔除机制, 当在搜索区域出现亮度近似的干扰背景时, 能有效剔除定位背景的热点, 确保跟踪的精度, 同时通过提取完全遮挡前目标的运动信息, 可在遮挡结束后迅速地重新定位目标, 继续稳定的跟踪。

序列 S5(来自 OTCBVS Benchmark Dataset)中存在目标尺度不断变化的情况, 两种算法跟踪结果的定性分析如图 5(e)~(h)所示。由图可知, 随着目标尺度的逐渐减小, 由于 ATT 算法的 TM 不具有尺度缩放机制, 导致背景所占比例逐渐增大, 每次 TM 引入的误差逐帧累积, 从第 1 frame~第 77 frame, TM 偏离逐渐增大, 到 150 frame 时, 已经完全丢失了目标。然而, 由于 MHS-IVF 算法的跟踪框是根据热点位置而定的, 因此会随着目标尺度的变化进行缩放, TM 更新机制的引入减小了热点定位到背景的概率, 因此能够持续稳定地跟踪目标。

序列 S6(来自 OTCBVS Benchmark Dataset)中背景建筑物由于受到长时间的日照而升温, 导致目标与背景的对比如较低, 两种算法跟踪结果的定性分析如图 5(i)~(l)所示, 对于 ATT 算法, 开始时设置 $D^* = 8$, 其能稳定跟踪目标, 到 55 帧时, 由于 D^* 值较大, 未能判断出跟踪框的偏离, 因此将其设置为 5, 并在第 56 frame 启动了 TM 机制, 随后可重新定位到目标。但随着目标的运动, 当其靠近从右边过来的其他行人目标时, 如在第 89 frame, 为了避免 TM 引入误差, 需要将 D^* 值提高到 11。上述过程说明 ATT 算法很难通过预先设定 D^* 值完成整个图像序列跟踪, 然而在线目标跟踪不可能实现 D^* 值的不断调整。而本文提出的 MHS-IVF 算法依靠多热点机制提高了鲁棒性, 在没有 TM 机制的情况下, 依然能完成对目标的持续跟踪。

为了进一步验证 MHS-IVF 算法的鲁棒性, 本文利用其与 4.1 节提到的 5 种典型的视觉跟踪算法同时跟踪图像序列 S4, S5 和 S6。将每一帧跟踪

框的中心与手动确定的目标中心位置的误差作为

定量评价算法鲁棒性的参数,结果如图 6 所示。

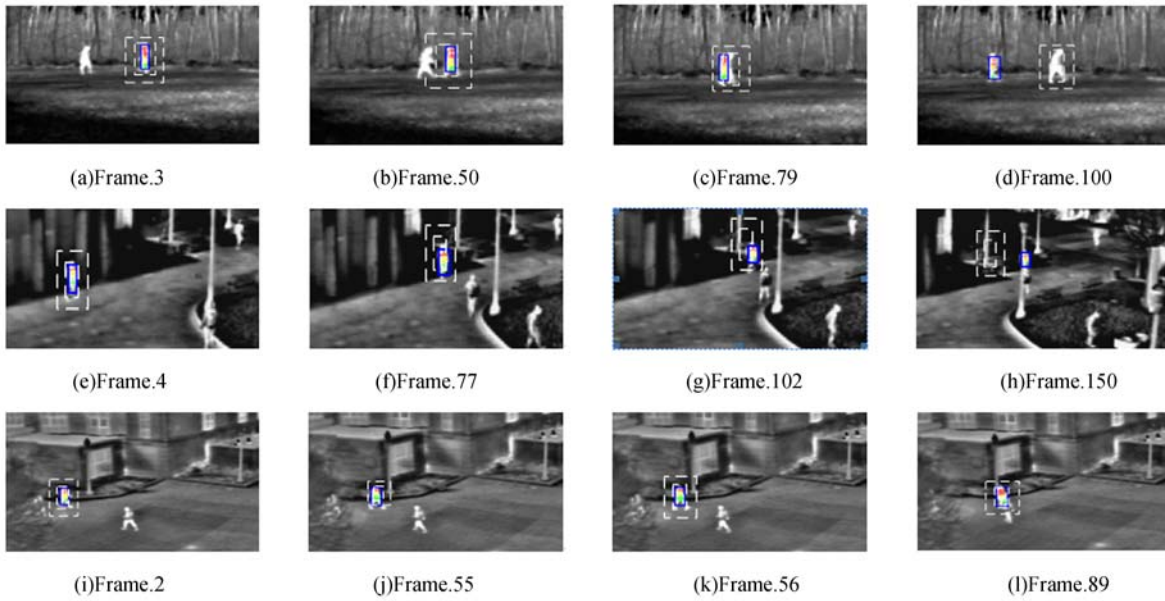


图 5 新算法与 ATT 算法跟踪结果的定性分析(实线框为本文算法的跟踪结果,内外虚线框分别为 ATT 算法的目标窗口和搜索区域)

Fig. 5 Qualitative analysis for tracking results of proposed algorithm compared with ATT algorithm(proposed algorithms identified by solid box , while inner dashed boxes corresponding to target window and outer ones correspond to subframe of ATT)

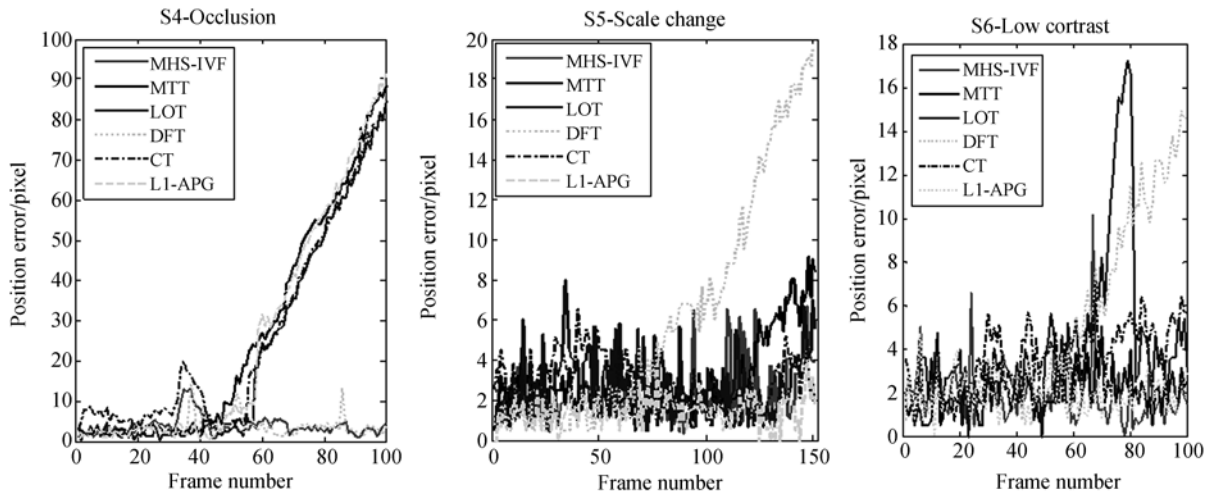


图 6 基于位置误差的 6 种跟踪算法性能定量比较

Fig. 6 Quantitative comparison of six tracking algorithms based on position errors

可见,针对存在尺度变化的 S5 和低对比度的 S6, MHS-IVF 的跟踪精度不低于参与对比的其他算法,而对于存在完全遮挡的 S4,多数算法因为目标被左边进入的行人(干扰对象)完全遮挡而丢掉原始目标后,错误地跟踪干扰对象,而 MHS-IVF 有效地利用了遮挡前提取的目标运动信息,

始终能正确地跟踪目标。

5 结 论

本文在继承 ATT 跟踪框架,利用 IVF 定位红外图像目标思想的基础上,通过分区域、多热点

联合描述行人目标,利用改进的 IVF 完成子区域热点在帧间运动的定位,并利用热点的运动特征滤除灰度接近背景区域的野值点,从而避免了对 TM 机制的依赖。在具有优良实时性的同时,大幅度提高了跟踪算法的鲁棒性,使其能够对存在

遮挡、尺度变化、低对比度等干扰因素的前视红外图像中的行人目标进行跟踪。下一步工作将主要研究鲁棒性好的行人目标运动特征提取和判别机制,提高算法在目标无规则大幅度运动或周围存在局部高亮背景等复杂环境下的跟踪精度。

参考文献:

- [1] 陈东成,朱明,高文,等. 在线加权多示例学习实时目标跟踪[J]. 光学精密工程, 2014, 22(6): 1661-1667.
CHEN D CH, ZHU M, GAO W, *et al.*. Real-time object tracking via online weighted multiple instance learning[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(6): 1661-1667. (in Chinese)
- [2] 龚俊亮,何昕,魏仲慧,等. 采用改进辅助粒子滤波的红外多目标跟踪[J]. 光学精密工程, 2012, 20(2):413-421.
GONG J L, HE X, WEI ZH H, *et al.*. Multiple infrared target tracking using improved auxiliary particle filter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(2):413-421. (in Chinese)
- [3] 王江涛,陈得宝,李素文,等. 在线自适应选择子空间的红外目标跟踪方法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(9): 2579-2583.
WANG J T, CHEN D B, LI S W, *et al.*. IR object tracking method via online adaptive subspace selection [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(9):2579-2583. (in Chinese)
- [4] 郭敬明,何昕,杨杰,等. 模板自适应的 Mean Shift 红外目标跟踪[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(4): 1087-1093.
GUO J M, HE X, YANG J, *et al.*. Infrared target tracking based on template adaptive Mean Shift[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4): 1087-1093. (in Chinese)
- [5] 赵文达,赵建,韩希珍,等. 基于变分偏微分方程的红外图像增强算法研究[J]. 液晶与显示, 2014, 29(2):281-285.
ZHAO W D, ZHAO J, HAN X ZH, *et al.*. Infrared image enhancement based on variational partial differential equations [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 281-285. (in Chinese)
- [6] 高文,朱明,刘剑,等. 基于 DSP+FPGA 框架的实时目标跟踪系统设计[J]. 液晶与显示, 2014, 29(4): 611-616.
GAO W, ZHU M, LIU J, *et al.*. Design of real-time target tracking system based on DSP + FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(4):611-616. (in Chinese)
- [7] 陈广秋,高印寒,段锦,等. 基于奇异值分解的 PCNN 红外与可见光图像融合[J]. 液晶与显示, 2015, 30(1):126-136.
CHEN G Q, GAO Y H, DUAN J, *et al.*. Fusion algorithm of infrared and visible images based on singular value decomposition and PCNN [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(1):126-136. (in Chinese)
- [8] BAI A, ALAM M S. Automatic target tracking in FLIR image sequences using intensity variation function and template modeling[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2005, 54(5): 1846-1852.
- [9] PARAVATI G, SANNA A, PRALIO B, *et al.*. A genetic algorithm for target tracking in FLIR video sequences using intensity variation function [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2009, 58(10): 3457-3467.
- [10] PARAVATI G, ESPOSITO S. Relevance-based template matching for tracking targets in FLIR imagery[J]. *Sensors*, 2014, 14(8): 14106-14130.
- [11] LAMBERTI F, SANNA A, PARAVATI G. Improving robustness of infrared target tracking algorithms based on template matching [J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*,

- 2011, 47(2): 1467-1480.
- [12] LAMBERTI F, SANNA A, PARAVATI G, *et al.*. IVF3: exploiting intensity variation function for high-performance pedestrian tracking in forward-looking infrared imagery [J]. *Optical Engineering*, 2014, 53(2): 023105-023105.
- [13] LAMBERTI F, SANTOMO R, SANNA A, *et al.*. Intensity variation function and template matching-based pedestrian tracking in infrared imagery with occlusion detection and recovery [J]. *Optical Engineering*, 2015, 54(3): 033106.
- [14] Terravic Outdoor House Surveillance IR Database (2014-05-20). <http://www.terravic.com/research/mot-ion.htm>.
- [15] OTCBVS Benchmark Dataset Collection [EB]. (2014-05-20). <http://www.cse.ohio-state.edu/otcbvs-bench/>.
- [16] WU Y, LIM J, YANG M H. Online object tracking: A benchmark [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2013*, 2013: 2411-2418.
- [17] ZHANG K, ZHANG L, YANG M H. Real-time compressive tracking [C]. *Computer Vision-EC-CV. Springer Berlin Heidelberg*, 2012: 864-877.
- [18] ORON S, BAR-HILLEL A, LEVI D, *et al.*. Locally orderless tracking [C]. *IEEE Conference on Computer and Pattern Recognition*, 2012: 1940-1947.
- [19] SEVILLA-LARA L, LEARNED-MILLER E. Distribution fields for tracking [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: 1910-1917.
- [20] BAO C, WU Y, LING H, *et al.*. Real time robust l_1 tracker using accelerated proximal gradient approach [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: 1830-1837.
- [21] ZHANG T, GHANEM B, LIU S, *et al.*. Robust visual tracking via multi-task sparse learning [C]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2012: 2042-2049.

作者简介:



郑超(1987—),男,四川峨眉山人,博士研究生,2010年、2013年于解放军电子工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail: zhengchao_eei@163.com

通信作者:



陈杰(1968—),男,安徽合肥人,教授,1991年于合肥工业大学获得学士学位,2001年于中国科学技术大学获得硕士学位,主要从事模式识别与智能控制方面的研究。E-mail: jdly1123@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)