

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **11**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012 年 11 月 第 17 卷 第 11 期(总第 199 期)

目 次

综述

数字图像合成技术综述 吴昊, 徐丹(1333)

图像处理和编码

基于群稀疏的结构化字典学习 郭景峰, 李贤(1347)

SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码 喻莉, 张军涛, 邓慧萍, 向森, 周鹏, 左雯, 王宁(1353)

统计量移位的鲁棒无损图像信息隐藏 李晓博, 周詮(1359)

伪造图像典型篡改操作的检测 左菊仙, 刘本永(1367)

图像分析和识别

融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪 范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武(1376)

海面温度栅格图的锋面提取与矢量化 崔雪森, 周为峰, 王栋, 张胜茂(1384)

交通场景中车辆的运动检测与阴影消除 王彬, 冯远静, 郭海峰, 张贵军(1391)

基于随机点积图的图像标注改善算法 孙登第, 罗斌, 郭玉堂(1400)

图像理解和计算机视觉

有监督子空间建模和稀疏表示的场景分类 段菲, 章毓晋(1409)

对立色 LBP 模型的目标跟踪 张炯, 宁纪锋, 颜永丰, 于伟(1418)

计算机图形学

联合骨架与边界特征的平面形状分解..... 蒋建国, 周丹凤, 郝世杰, 郭艳蓉, 詹曙(1425)

屏幕空间自适应的地形 Tessellation 绘制 张兵强, 张立民, 艾祖亮, 张建廷(1431)

遥感图像处理

SAR 图像稀疏优化滤波 杨萌, 张弓(1439)

分段线性动态矩匹配条带去除..... 秦雁, 邓孺孺, 何颖清, 陈蕾, 陈启东(1444)

基于 Harris 角点和 SIFT 描述符的高分辨率遥感影像匹配算法 陈梦婷, 闫冬梅, 王刚(1453)

第八届图像图形技术与应用学术会议征文通知 (1460)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊) 第 17 卷 第 11 期 2012 年 11 月 16 日出版

主管单位	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院遥感应用研究所 中国图象图形学学会 北京应用物理与计算数学研究所	Sponsored by	Institute of Remote Sensing Application, CAS China Society of Image and Graphics Institute of Applied Physics and Computational Mathematics
主 编	李小文	Chief editor	LI Xiaowen
编辑出版	《中国图象图形学报》编辑出版委员会 北京 9718 信箱 邮编 100101 电子信箱:jig@irsa. ac. cn 电话:010-64807995 010-82614429 网 址:www. cjig. cn	Editor , Publisher	Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics (P. O. Box 9718 ,Beijing 100101 ,China) E-mail:jig@irsa. ac. cn
印刷装订	北京北林印刷厂	Distributed by	Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
广告经营许可证	京朝工商广字第 0346 号	Domestic	All Local Post Offices in China
总 发 行	北京报刊发行局	Foreign	China International Book Trading Corporation (P. O. Box 399 ,Beijing 100044 ,China)
订 购	全国各地邮局	Printed by	Beijing Beilin Printing House
国外发行	中国国际图书贸易总公司 (中国国际书店) (北京 399 信箱 邮编 100044)		

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)11-1376-08

论文引用格式: 范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武. 融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(11): 1376-1383.

融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪

范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武

河海大学计算机与信息学院, 南京 210098

摘要: 由于红外图像对比度低、色彩信息匮乏且灰度级动态范围小, 基于红外成像的目标跟踪一直是本领域研究的难点和重点。提出了一种融合灰度核直方图和 SURF(speeded up robust features)特征的红外目标跟踪算法。在首帧采用灰度核直方图和 SURF 特征分别描述目标模板, 在以后每帧中利用均值漂移算法快速找到局部最优解。考虑到灰度直方图特征信息量少, 跟踪误差逐渐累积, 采用改进的 SURF 特征点匹配算法估算当前帧目标尺度和中心位置, 及时修正累积误差, 避免跟踪窗口漂移且能自适应调整跟踪窗口大小, 此外更新目标模板, 最终准确跟踪目标。真实场景实验结果表明, 本文算法在目标外观发生较大尺度变化、周边具有相似表现物体时能稳定跟踪目标, 具有很强的稳健性, 且满足实时性要求。

关键词: 红外目标跟踪; 核直方图; SURF 特征; 均值漂移

Infrared object tracking based on gray and SURF features fusion

Fan Xinnan, Ding Penghua, Liu Junding, Zhang Xuewu

College of Computer and information, Hohai University, Nanjing 210098, China

Abstract: Because of the low contrast, lack of color, and low dynamic range of infrared images, the object tracking based on infrared imaging is rather difficult. An infrared object tracking algorithm is proposed by integrating the gray kernel histogram and SURF (speeded up robust features) features. An object template is represented by gray kernel histogram and SURF features in the first frame. The Mean Shift algorithm is used to find the suboptimal position rapidly in the next frame. Because the gray histogram contains less information, the tracking error is accumulated. Then, the improved SURF feature matching algorithm is used to estimate the size and center point of the current frame. The cumulative errors are amended to avoid the tracking window drifting gradually away from the object and the size of tracking window can be self-adapted. Finally, the object template is updated. Experimental results on real situations demonstrate that the proposed algorithm can track objects well in real-time even when the appearance changes and similar apparents are existing around the targets.

Key words: infrared object tracking; kernel histogram; speeded-up robust features (SURF); Mean Shift

0 引言

基于序列图像的红外目标跟踪是计算机视觉领域研究的重要内容之一, 它在视频监控、无人机侦

察、红外成像制导等领域都具有广泛的应用。红外图像不受光照和光影等因素影响, 相对于光学图像具有对比度低、背景杂波强、信噪比低等特点^[1], 极大地增加了对目标稳健跟踪的难度。常见的红外目标跟踪算法有: 模板匹配法、粒子滤波^[2]、均值漂

收稿日期: 2012-02-13; 修回日期: 2012-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(60972101); 江苏省输配电装备技术重点实验室建设项目(BM2009704); 江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人课题资助

第一作者简介: 范新南(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 2009年于河海大学获水信息学专业博士学位, 主要从事数字图像处理和智能信息系统方面的研究。E-mail: fansxn@126.com

移^[3]以及多种算法融合^[4-5]等方法。模板匹配法简单易行,但其基于空间穷搜索跟踪效率不高;粒子滤波是一种基于 Bayes 估计的滤波跟踪方法,可实现在非高斯非线性状态下的目标跟踪,但存在粒子退化现象及计算量大、实时性差等局限性;均值漂移算法采用灰度核直方图进行建模和匹配,计算速度快,能够实时跟踪目标,在非刚性目标跟踪中得到广泛应用。图像特征的提取和选择是目标跟踪的关键问题,上述红外目标跟踪算法大多采用单一的灰度直方图^[6]、边缘^[7]、局部特征点^[8]等特征来描述目标,这种仅依赖单一特征的方法很难适应复杂场景的红外目标跟踪。目前,融合或整合多特征的目标跟踪研究在光学图像中讨论较多^[9]。例如,文献[10]采用 SURF(speeded up robust features)特征匹配点对计算相邻帧间的尺度变化因子来调节基于颜色特征的均值漂移算法中的核带宽,从而改变跟踪窗口大小。然而,红外图像对比度低,色彩信息匮乏且灰度级动态范围小,因此融合多特征来描述红外目标的方法为深入解决红外目标跟踪之难点和问题提供新思路。

灰度直方图特征计算简单,对目标旋转姿态变化不敏感,但所含信息量少,虽然可以较快匹配到局部最优解,但不可避免地产生累积误差,往往导致跟踪窗口漂移目标。而 SURF 特征^[11]具有对图像平移、旋转、缩放、光照等保持不变性,能精确描述目标结构和纹理,在图像配准领域得到广泛应用,但当目标较小或纹理单一时无法获得充足的特征点或者匹配的特征点对数几乎为零,这就无法确定目标位置导致跟踪失败^[12-14]。

融合灰度直方图计算简单和 SURF 特征具有较强描述能力的优点,提出一种新的红外目标跟踪算法。该算法首先利用基于灰度核直方图的均值漂移算法进行初定位,然后利用改进的 SURF 特征点匹配算法再次估算目标尺度和中心位置,自适应选择较优的结果作为当前帧的跟踪结果。实验结果表明,本文算法能够解决跟踪过程中误差累积、窗口漂移等问题,且能自适应调整跟踪窗口大小,当目标尺寸较小时也能实时、稳健地跟踪目标。

1 目标特征提取与描述

红外图像与光学图像相比不同之处在于其像素值反映的是场景中物体热辐射强度,红外图像普遍

存在目标与背景对比度低,缺乏色彩信息和突出的外形轮廓。采用具有计算简单且稳定性好的灰度直方图特征和具有较强分辨能力的 SURF 特征来描述目标,在初始帧中采用手工选定包含目标的矩形区域作为目标跟踪区域,对该区域提取特征并建立目标模板模型。

1.1 灰度特征提取与目标描述

采用目标跟踪窗口中核函数加权下的灰度直方图分布来描述目标。定义目标模板模型 $\hat{q}$ 为

$$\hat{q} = \{\hat{q}_u\}_{u=1,\dots,m}, \sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1 \quad (1)$$

则候选目标模型为

$$\hat{p}(y) = \{\hat{p}_u(y)\}_{u=1,\dots,m}, \sum_{u=1}^m \hat{p}_u = 1 \quad (2)$$

式中, $\hat{q}_u, \hat{p}_u$ 分别为目标模板和候选目标灰度核直方图概率密度分布, m 为直方图灰度量化等级。在目标模板模型和候选目标模型中,第 u 级概率密度分别为

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k(\|x_i^*\|^2) \delta[b(x_i^*) - u] \quad (3)$$

$$\hat{p}_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} k\left(\left\|\frac{y - x_i}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u] \quad (4)$$

式中, C 和 C_h 为归一化系数, $k(\cdot)$ 为 Epanechnikov 核函数, $\delta(\cdot)$ 是 Delta 函数, $b(x_i)$ 为像素 x_i 的灰度, u 为直方图量化等级数, h 为核函数带宽。

1.2 SURF 特征提取与目标描述

SURF 特征是一种基于尺度空间的,对图像平移、旋转、缩放、光照等保持不变性的图像局部不变特征,由于采用盒状滤波和积分图像,计算速度比 SIFT 特征^[15]快了近 4 倍,而其性能与 SIFT 不相上下^[16],因此其可以较好地描述目标结构和纹理信息,且具有较好的实时性。

SURF 特征提取过程^[11]:采用盒状滤波器代替二阶高斯滤波,在原始图像上,通过不断增加盒状滤波器的窗口尺寸,且使用积分图像加速卷积以提高计算速度,构建不同尺度的图像金字塔。盒状滤波与图像进行卷积后在 x 方向、 y 方向和 xy 方向滤波估计值分别为 D_{xx} 、 D_{yy} 和 D_{xy} ,进而求出 Hessian 矩阵的近似行列式表达式为

$$\det(H) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (5)$$

接着对金字塔每一层中相邻图像相减得到差分尺度空间,通过 Hessian 矩阵得到极值点后,对该空间中每个点与其相邻尺度及同尺度 $3 \times 3 \times 3$ 的立体

邻域内的所有点进行非极大值抑制,只有是最大或者最小的极值点才能作为候选特征点,然后在图像空间与尺度空间进行插值运算,获得稳定特征点的位置及其尺度值。

为了保证旋转不变性,在以特征点为圆心, $6s$ (s 为特征点所在的尺度值) 为半径的圆形邻域内,分别计算 x 轴和 y 轴方向边长为 $4s$ 的 Haar 小波响应,使用积分图像进行快速滤波,并用高斯函数 ($\sigma = 2s$) 对这些小波响应进行加权,使得越靠近特征点的响应贡献越大,远离特征点的响应贡献越小。在 60° 的范围内滑动方向窗口,计算窗口内的水平和垂直响应之和,选择方向窗口内最长的那个方向向量作为该特征点的主方向。

选定主方向后,以特征点为中心建立一个 $20s \times 20s$ 的正方形区域,再将该区域分成 4×4 的子区域,在每个子区域内以 5×5 的大小进行采样,沿着相对于主方向水平和垂直方向计算 Haar 小波响应 dx 和 dy ,用高斯函数 ($\sigma = 3.3s$) 对此小波响应进行加权,以增加其对几何变形和位置误差的鲁棒性,然后计算加权小波响应值和响应值的绝对值之和,结果组成一个 4 维向量,记作 $V = \{ \sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy| \}$, 对每个特征点形成 $(4 \times 4) \times 4 = 64$ 维的描述向量,最后进行描述向量的归一化,使其对光照具有一定的鲁棒性。

根据以上 SURF 特征提取方法,在起始帧目标区域内提取 SURF 特征点作为初始特征模板,每个 SURF 特征包括特征点位置和特征向量信息,接着在下一帧图像中提取候选目标的 SURF 特征。本文假设目标随时间的变化是渐进的,即不考虑目标快速移动的情况。目标在运动过程中可能发生尺度变化、形变等,为了尽可能提取出目标的全部特征,将当前帧的特征提取窗口扩大至上帧跟踪窗口外 10% 范围处,这些特征点信息便描述了目标表现。

2 目标跟踪算法

2.1 基于灰度核直方图的目标定位

在当前帧中定位目标位置即以上帧目标位置 y_0 为中心,在其邻域内迭代寻找最优的 y ,使以它为中心的候选目标密度函数 $\hat{p}_u(y)$ 和目标模板密度函数 $\hat{q}_u$ 最相似。采用有效且常用的相似性度量 Bhattacharyya

系数来度量目标模型和候选模型之间的匹配程度,目标和候选目标的相似性度量函数为

$$\rho(y) = \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \frac{\sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}}{\sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}} \quad (6)$$

其值范围为 $(0, 1)$, 值越大表示两者相似性越大。

使用均值漂移算法在当前帧邻域内迭代寻找 Bhattacharyya 系数最大值。将式(6)在 y_0 点处泰勒展开,并把式(4)代入,整理得

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] \approx \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \frac{\sqrt{\hat{p}_u(y_0) \hat{q}_u}}{\sqrt{\hat{p}_u(y_0) \hat{q}_u}} + \frac{C_h}{2} \sum_{i=1}^n w_i k \left(\left\| \frac{y - x_i}{h} \right\|^2 \right) \quad (7)$$

式中,加权因子 w_i 为

$$w_i = \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i) - u] \frac{\sqrt{\hat{q}_u}}{\sqrt{\hat{p}_u(y_0)}} \quad (8)$$

要使 $\rho(y)$ 最大化,也即要使式(7)右边第二项最大化,该项表示当前帧中 y 位置处使用 $k(x)$ 计算的密度估计,只是多了加权值 w_i 。使用 Mean Shift 过程寻找邻域内与目标模板相似度最大的候选目标中心坐标

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)}{\sum_{i=1}^{n_h} w_i g \left(\left\| \frac{\hat{y}_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i}{\sum_{i=1}^{n_h} w_i} \quad (9)$$

式中, $g(x) = -k'(x)$, $k'(x)$ 为对 $k(x)$ 的求导,迭代过程即不断计算式(9)使得 Bhattacharyya 系数最大,记该最大系数为 BH_MS ,找到目标新的中心位置,停止迭代。

2.2 基于 SURF 特征匹配的目标定位

首先获得第 1 帧 ($k = 1$) 初始目标的位置参数,包括目标中心位置 (x_o^{k-1}, y_o^{k-1}) 和跟踪窗口尺度 (S_x^{k-1}, S_y^{k-1}) 信息,将当前帧提取出的 N 个特征点与模板特征点进行匹配,采用特征点特征向量的欧氏距离作为两特征点的相似性判定度量。假设目标随时间的变化是渐进的,即相邻帧中目标的移动位移较小,这样由当前帧匹配的特征点估计目标中心位置为 (x_o^k, y_o^k) ,利用匹配点的分散度估计窗口尺度为 (S_x^k, S_y^k) ,即

$$(x_o^k, y_o^k) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N x_i^k}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N y_i^k}{N} \right) \quad (10)$$

$$(S_x^k, S_y^k) = (\max |x_i^k - x_o^k|, \max |y_i^k - y_o^k|) \quad (11)$$

使用以上方法一般可以直接估计目标中心位置,但在实际跟踪过程中,往往会出现有效特征点只分布在目标部分区域上,且当提取的特征点较少时,定位效果并不准确。但由于本文跟踪算法结合了 Mean Shift 跟踪算法,利用目标与模板之间的 Bhattacharyya 系数自动选择较优的结果做为当前帧跟踪结果,有效克服了该方法的缺陷。

在当前帧跟踪算法处理结束后,需要更新模板特征库中的特征点信息,包括增加和删除特征点,如果模板特征库中的一个特征点在连续几帧中都未得到匹配,则认为该点在下一帧中再次出现的概率为 0,应将其从特征库中删除;在获得新目标位置后,需要增加新的特征点以反映目标的变化,为了防止加入背景特征点,只将匹配特征点最小矩形框内的新特征点加入到模板特征库中,以保证匹配的稳定性。

2.3 改进的特征点匹配方法

传统的特征点匹配方法具体过程如下:取其中一幅图像的某个特征点,并找出其与另一幅图像中欧氏距离最近的前两个特征点,如果最近距离除以次近距离小于某个匹配阈值,则认为这对特征点匹

配成功。两特征点的欧氏距离定义为

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{64} (x_{i1} - x_{i2})^2} \quad (12)$$

式中, x_{i1}, x_{i2} 表示特征点描述子第 i 维元素值。

实验中发现,传统匹配方法存在一定错配率,如图 1(a) 中相邻两帧图像所示, A 和 A', B 和 B' 是两对错配点,可以通过降低匹配阈值来减少错配率,但特征点个数也相应减少,大大影响目标定位的准确性。考虑到视频序列图像相邻帧中目标的移动位移较小,提出一种改进的去错配的方法:在搜索出图像 A 中某一特征点 F_1 与图像 B 中最近的特征点 F_2 后,计算最近次近距离比值,若小于阈值 T ,这时再判断这两点在 x 方向和 y 方向的偏移是否小于 t 个像素(本文取 t 为 15),若小于则认为这两对特征点匹配成功,否则,匹配失败,效果如图 1(b) 所示。

表 1 是对图 1 中图像进行匹配实验的结果,可以得出:1)前后帧提取的特征点个数与匹配阈值无关,分别为 37 和 33 个;2)当匹配阈值小于一定值时(本实验为 0.1),匹配成功的对数极少(为 3 对),这



(a) 传统匹配算法



(b) 改进匹配算法

图 1 传统算法和改进算法匹配效果图

Fig. 1 The matching results of traditional and improvement algorithm

表 1 不同阈值下传统算法和改进算法匹配情况

Table 1 Results of traditional and improved matching algorithm under different thresholds

匹配阈值	相邻帧间匹配的特征点对数	传统匹配算法	改进匹配算法
		正确/错误匹配对数	正确/错误匹配对数
0.1	37/33	3/0	3/0
0.3	37/33	16/0	16/0
0.65	37/33	26/3	23/0

样就无法根据匹配点对估计目标位置和尺度,造成跟踪失败;3)随着匹配阈值增大,匹配成功对数越多,但错配对数也增大,本实验当匹配阈值达到 0.65 时,成功匹配对数为 26 对,错配对数为 3 对,改进匹配算法成功去除错配对数,降低了错配率。

2.4 跟踪算法流程

结合灰度直方图计算简单和 SURF 特征精确定位的优点,提出了一种新的红外目标跟踪算法。该算法首先利用均值漂移算法进行快速定位,然后利用改进的 SURF 特征点匹配算法再次估算目标位置和尺度,自适应选择较优的结果作为当前帧的跟踪结果。该算法具体步骤如下:

1)在初始帧中采用手工选定包含目标的矩形区域作为目标跟踪模板,计算模板的灰度核直方图特征和 SURF 特征;

2)对接下来每一帧采用基于灰度核直方图的均值漂移算法搜索新帧目标中心位置,尺度不变,计算该区域和模板之间的 Bhattacharyya 系数,记为 BH_MS ;

3)在新帧中提取 SURF 特征点,根据改进的特征点匹配算法,得到匹配点对,估计当前帧目标位置和尺度,并计算该区域的颜色核直方图,进而计算得出其和模板颜色核直方图之间的 Bhattacharyya 系数,记为 BH_SURF 。

4)Bhattacharyya 系数的值反映了该特征跟踪的准确程度。若 $BH_SURF > BH_MS$,则用 SURF 算法的跟踪结果作为本帧跟踪结果,并更新模板颜色核直方图,从而可以改变目标的核宽窗大小;若 $BH_SURF \leq BH_MS$,则用 Mean Shift 跟踪结果作为目标新的位置。

当目标较小、纹理单一或形变较大时,提取的 SURF 特征点个数或匹配点对数较少,这时不能再用来准确描述目标的运动信息。此时,目标的灰度信息成为主导特征,通过判断提取出的 SURF 特征点个数和匹配点个数自适应地选择基于灰度特征的均值漂移算法的跟踪结果作为当前帧跟踪结果,

可以有效避免 SURF 算法的不稳定问题。

SURF 特征点的分散度可以估计目标尺度的变化,但当模板较小或形变较大时,提取的特征点较少,单纯利用 SURF 跟踪算法来估计目标位置会出现跟踪不稳定问题;而基于灰度核直方图特征的均值漂移算法通过迭代寻找局部最优解避免了全局范围搜索,但是由于红外图像目标和背景对比度低,且跟踪窗口大小固定不变,使得误差逐渐累积,跟踪窗口漂移,导致跟踪失败。本文算法融合这两种特征,既防止 Mean Shift 算法的漂移问题又能解决 SURF 跟踪算法不稳定的问题,还能自适应更新窗口尺寸大小。

3 实验结果与分析

为了验证提出的红外目标跟踪算法的有效性和稳定性,对学校视频监控系统下拍摄的两组红外视频序列进行跟踪实验,视频大小为 352×288 ,帧频为 25Hz。电脑配置为: Celeron (R) CPU 3.06 GHz, 2 G 内存, Window XP 系统,算法实现采用 C++ 语言结合 OpenCV2.0 库编写,编译环境为 Visual Studio 2005,实验跟踪结果用白色矩形框表示。

视频序列 1 为实验楼过道内监控视频,使用其中的 200 帧对目标发生较大尺度变化和周边出现表观相似的情况进行跟踪测试,图 2 和图 3 分别为基于灰度核直方图的 Mean Shift 算法和本文算法。从图 2 中可以看到目标人物在颜色相近的墙体边走过时,误差逐渐累积,在第 41 帧目标矩形逐渐偏离目标发生漂移,第 80 帧中目标矩形已经完全脱离了目标,跟踪错误。从图 3 中可以看到本文算法由于在目标尺度发生变化时能够及时更新跟踪窗口大小,窗口尺寸随着目标大小变化而变化,较准确地定位目标位置,有效避免了跟踪窗口漂移,如图 3(b) — (d) 所示。跟踪结果表明本文算法能有效跟踪上目标。

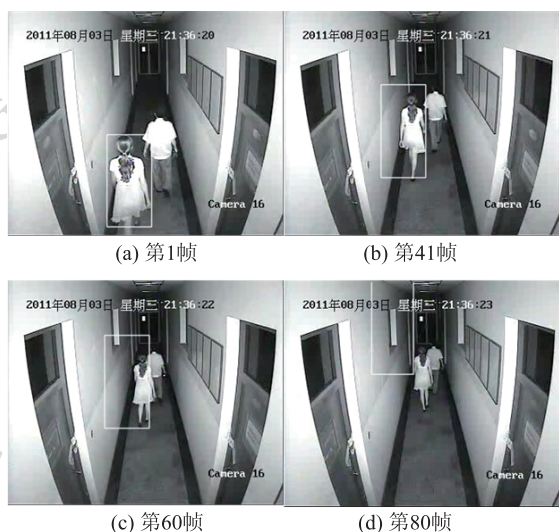


图 2 Mean Shift 算法跟踪结果

Fig. 2 Results of Mean Shift algorithm



图 3 本文算法跟踪结果

Fig. 3 Results of the proposed algorithm

视频序列 2 为校园内主干道监控视频,选取其中 200 帧来测试本文算法。图 4 和图 5 分别为 Mean Shift 算法和本文算法跟踪效果图。从图中可以看出人体在行走过程中尺度发生了较大变化,Mean Shift 算法由于采用了固定核宽窗,不能及时更新窗口大小,定位不准确,如图 4(d) 所示。本文算法采用基于 SURF 和灰度核直方图特征相结合的跟踪方法,当目标尺度发生明显变化后,由于 SURF 特征对目标尺度变化、平移、旋转等具有不变性,能有效地描述目标,定位效果更准确,跟踪窗口大小得到及时更新,如图 5(c)(d) 所示,这时及时更新目标

模板可以解决传统 Mean Shift 不能有效调整窗口尺度的缺点。实验中发现,目标在运动过程中会发生较大形变(如图 5(b) 所示)或目标太小,纹理单一(如图 5(d) 所示),出现匹配点和提取的特征点几乎为零的情况,这时便无法利用 SURF 匹配估计目标位置,而本文算法由于结合两种特征,这种情况下利用灰度特征来估计当前帧目标位置,增强了跟踪算法的稳定性。

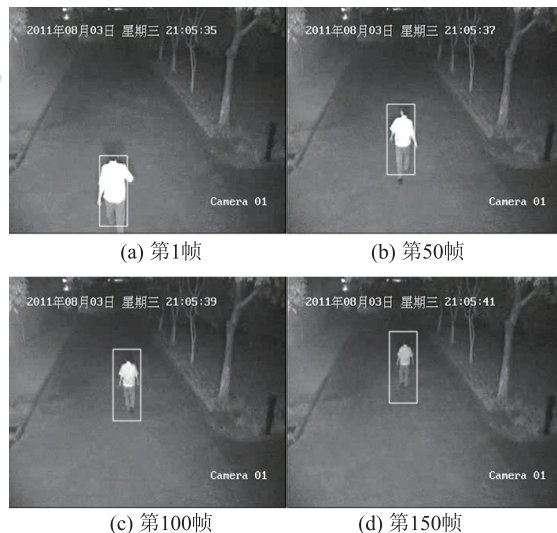


图 4 Mean Shift 算法跟踪效果

Fig. 4 Results of Mean Shift algorithm

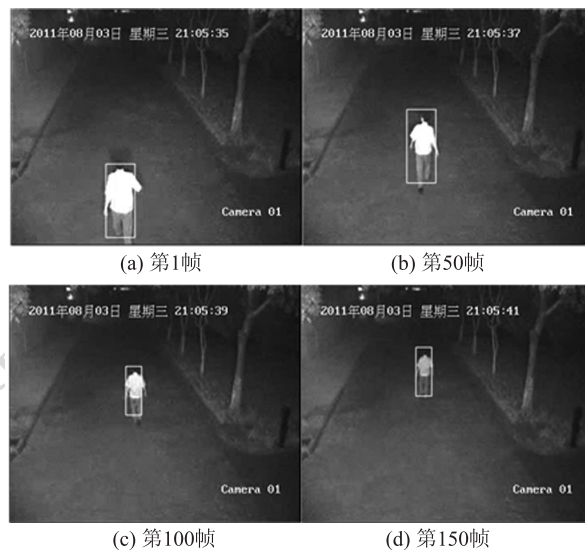


图 5 本文算法跟踪效果

Fig. 5 Results of the proposed algorithm

图 6 为序列 1 的跟踪误差对比图,从图 6 可以看出本文算法误差较小,这是因为运用 SURF 特征来描述目标,精确定位修正目标位置,防止跟踪窗口

漂移。本文算法提取 SURF 特征点需要占用一定的计算时间,序列 1 平均每帧计算时间为 39.25 ms,序列 2 为 35.48 ms,相比 Mean Shift 算法计算代价高,但获得了更好的稳定性和准确性,且完全满足跟踪实时性的要求。

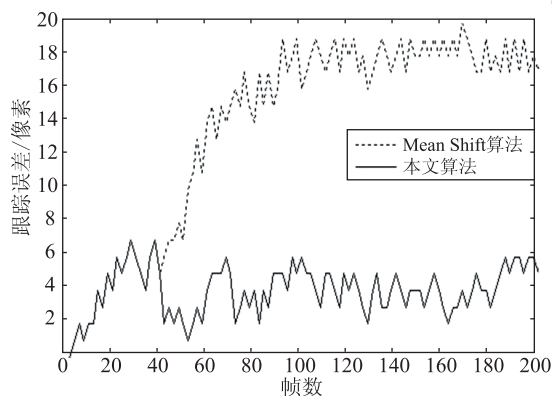


图 6 序列 1 跟踪误差

Fig. 6 Tracking error

文献[10]在理想状态下可以解决目标尺度变化的跟踪问题,但在实际运用中仍然存在一些问题有待解决。当出现目标较小或纹理单一的情况,提取出的 SURF 特征点较少或匹配的特征点对数近似为零,这样也导致该算法无法顺利执行。而本文方法在出现这种情况后,采用基于灰度特征的均值漂移的跟踪结果作为当前帧结果,能有效避免 SURF 算法的不稳定问题。且该文对相邻帧的匹配点对进行了 $2 \times C_N^2$ 次计算求 X 轴和 Y 轴方向上的尺度因子,其计算时间比本文相对多些。经过反复实验验证,本文算法在目标外观发生较大形变、尺度变化、周边具有相似物体时能稳定跟踪目标,具有较强的稳健性,且基本满足实时跟踪的要求。

4 结 论

针对红外目标跟踪提出了一种新的跟踪算法,该算法融合了灰度特征计算简单和 SURF 特征精确定位的特点。首先根据灰度核直方图特征,利用 Mean Shift 算法快速定位目标,然后利用改进的 SURF 特征点匹配算法再次估算目标尺度和中心位置,从而修正了因 Mean Shift 算法仅使用信息量少的灰度直方图作为特征造成的累积误差,避免了跟踪窗口漂移,且能自适应变化跟踪窗口大

小,最后及时更新目标模板特征库。实验结果表明,本文算法在红外目标发生较大尺度变化、周边具有表现相似目标时具有很好的稳健性,且满足实时跟踪的要求。

参考文献 (References)

- [1] Zhang H, Zhao B J, Tang L B, et al. Infrared object tracking based on adaptive multi-features integration[J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(5): 1291-1296. [张辉, 赵保军, 唐林波, 等. 基于自适应多特征整合的红外目标跟踪[J]. 光学学报, 2010, 30(5): 1291-1296.]
- [2] Xia L M, Zhang L C. Object tracking based on adaptive particle filter[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(1): 112-117. [夏利民, 张良春. 基于自适应粒子滤波器的物体跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(1): 112-117.]
- [3] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-575.
- [4] Guan Z Q, Chen Q, Qian W X, et al. Infrared target tracking algorithm based on algorithm fusion[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(5): 860-865. [管志强, 陈钱, 钱惟贤, 等. 一种基于算法融合的红外目标跟踪方法[J]. 光学学报, 2008, 28(5): 860-865.]
- [5] Wang X, Tang Z M. An improved camshift-based particle filter algorithm for real-time target tracking[J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(10): 1057-1514. [王鑫, 唐振民. 一种改进的基于 Camshift 的粒子滤波实时目标跟踪算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1057-1514.]
- [6] Hou Q Y, Zhang W, Wu C F, et al. Improved mean-shift based IR target tracking algorithm[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(3): 764-770. [侯晴宇, 张伟, 武春风, 等. 改进的均值移位红外目标跟踪[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 764-770.]
- [7] Gao G W, Liu S Q, Qin H L. Robustness-tracking algorithm for the infrared target under complex background noise[J]. Journal of Xidian University, 2010, 37(6): 1099-1102. [高国旺, 刘上乾, 秦翰林. 强背景噪声下红外目标的鲁棒性跟踪算法[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2010, 37(6): 1099-1102.]
- [8] Liu Y, Wang J D, Li P. A feature point tracking method based on the combination of SIFT algorithm and KLT matching algorithm[J]. Journal of Astronautics, 2011, 32(7): 1618-1625. [刘玉, 王敬东, 李鹏. 一种基于 SIFT 和 KLT 相结合的特征点跟踪方法研究[J]. 宇航学报, 2011, 32(7): 1618-1625.]
- [9] Wang Y Z, Liang Y, Zhao C H, et al. Kernel-based tracking based on adaptive fusion of multiple cues[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(4): 393-399. [王永忠, 梁彦, 赵春晖, 等.]

- 基于多特征自适应融合的核跟踪方法[J]. 自动化学报, 2008,34(4):393-399.]
- [10] Zhang J, Fang J, Lu J. Mean-Shift algorithm integrating with SURF for tracking[C]// Proceedings of IEEE Seventh International Conference on Natural Computation. Shanghai, China: IEEE, 2011,2:960-963.
- [11] Herbert B, Andreas E, Tinne T, et al. Speeded-Up robust features(SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008,110:346-359.
- [12] Werner K, Martin K. Interest point based tracking[C]// Proceedings of IEEE 20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul, Turkey: IEEE, 2010:3549-3552.
- [13] He W, Takayoshi Y, Lu H T, et al. SURF tracking[C]// Proceedings of IEEE 12th International Conference on Computer vision. Kyoto, Japan: IEEE, 2009: 1586-1592.
- [14] Duy-Nguyen T, Chen W C, Natasha G, et al. SURFTrac: efficient tracking and continuous object recognition using Local Feature descriptors[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami, FL: IEEE, 2009: 2937-2944.
- [15] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [16] Luo J, Oubong G. A comparison of SIFT, PCA-SIFT and SURF [J]. International Journal of Image Processing, 2009,3(4): 143-152.