

doi: 10.3788/gzxb20144305.0510003

带宽自适应的均值漂移红外目标跟踪算法

王寿峰, 白俊奇

(中国电子科技集团第二十八研究所, 南京 210007)

摘 要: 当目标尺度发生变化时, 传统均值漂移跟踪因窗口尺寸不变导致跟踪目标丢失. 为解决该问题, 提出一种带宽自适应的均值漂移跟踪算法. 该算法在均值漂移框架下提取目标的形状特征, 根据目标形状变化自适应的修正核函数带宽, 并更新目标模板. 实验结果表明, 改进算法能很好地适应尺寸变化的目标, 能有效提高红外目标的跟踪准确度.

关键词: 红外; 图像处理; 均值漂移; 海面目标; 目标跟踪; 带宽; 形状特征; 自适应

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)05-0510003-3

Bandwidth-adaptive Mean Shift Infrared Target Tracking Algorithm

WANG Shou-feng, BAI Jun-qi

(The 28th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210007, China)

Abstract: For the fixed-bandwidth windows, the tracking target will be lost in traditional mean shift algorithm with target scale changed. To solve this problem, an adaptive-bandwidth mean shift tracking algorithm was proposed. The shape features were extracted under the algorithm in the framework of mean shift, the bandwidth was adjusted adaptively based on target shape motions, and the target template was updated. Experimental results indicate that the proposed algorithm can track the target with scale changed and improve the target tracking precision effectively.

Key words: Infrared; Image processing; Mean shift; Sea targets; Target tracking; Bandwidth; Shape characteristics; Adaptive

OCIS Codes: 100.4999; 100.2000; 110.3080

0 引言

目标跟踪技术^[1-8]是红外成像制导、侦查预警等军事领域的关键技术. 由于红外成像只具有灰度信息, 容易受气候、周围环境的影响, 因此, 红外目标跟踪算法需要较强稳健性以及复杂噪声的适应性. 在图像处理领域, 目标跟踪分为模板匹配法、光流法^[9]和帧间相关法几大类. 模板匹配法运算量大, 影响目标跟踪的效率; 光流法在强杂波背景下稳健性差; 帧间相关法对信噪比低红外目标的跟踪准确度不高.

近年来, 为了解决目标模型建立困难和复杂噪声的影响, 提出一种非参量估计的均值漂移(Mean Shift)跟踪算法. 它具有抗噪性能好, 对目标旋转、变形和背

景运动不敏感, 运算速度快的特点, 非常适合于红外目标跟踪. Comaniciu 等^[10]提出目标外观描述以及跟踪定位方法, 将均值漂移应用于目标跟踪领域. Polat 等^[11]提出结合运动特征和颜色特征的跟踪算法, 不能很好解决相似颜色背景干扰的问题. Wang 等^[12,13]提出结合颜色和边缘特征的跟踪方法, 然而两种特征权重分配比例影响了算法的鲁棒性. Comaniciu 等^[5]采用正负 10% 增量试探法对核函数带宽进行修正, Bhattacharyya 系数决定最佳核函数带宽. 增量试探法能较好地跟踪尺寸逐渐缩小的目标, 当目标尺寸增大超出跟踪窗口时容易跟踪失败.

针对传统均值漂移算法中当目标尺寸明显变化时, 跟踪准确度容易产生偏差甚至跟踪失败的不足, 本

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61101199)资助

第一作者: 王寿峰(1968-), 男, 高工, 主要研究方向为雷达/红外探测、空管监视等领域的数据处理与信号处理. Email: wangshoufeng@yahoo.com.cn

通讯作者: 白俊奇(1982-), 男, 工程师, 博士, 主要研究方向为光电图像处理、目标检测与跟踪. Email: baijunqi168@aliyun.com

收稿日期: 2013-07-23; 录用日期: 2013-09-26

<http://www.photon.ac.cn>

文将目标形状特征和核函数带宽自适应调整相结合,通过提取目标的形状特征,根据目标形状变化自适应修正核函数带宽,最后更新目标模板.实验结果表明,改进算法有效提高了红外目标的跟踪准确度.

1 均值漂移模型

1.1 目标模型

设目标区域中心是 y_0 , 目标在图像中的像素位置以 $\{x_i\}_{i=1\dots n}$ 表示. 则目标模型的概率密度估计可表示为

$$q_u = C \sum_{i=1}^n k \left[\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right] \delta[b(x_i) - u] \quad (1)$$

式中, $k(\cdot)$ 是核函数的轮廓函数, h 是核函数带宽, $\delta(\cdot)$ 是 Delta 函数, 函数 $b(x_i)$ 是位于 x_i 的像素向灰度索引的映像, C 是归一化系数, 应用条件 $\sum_{u=1}^m q_u = 1$ 可得

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left[\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right]} \quad (2)$$

1.2 候选模型

将图像中可能包含运动目标的区域, 称为候选区域, 中心坐标是 y . 候选区域中的像素用 $\{x_i\}_{i=1\dots n}$ 表示, 对候选区域的描述称为目标候选模型, 候选模型的特征值 $u=1\dots m$, 其概率密度为

$$p_u(y) = C_h \sum_{i=1}^n k \left[\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right] \delta[b(x_i) - u] \quad (3)$$

式中, C_h 表达式为

$$C_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left[\left\| \frac{y_0 - x_i}{h} \right\|^2 \right]} \quad (4)$$

1.3 相似性函数

选用 Bhattacharyya 系数作为相似性函数, Bhattacharyya 系数的表达式为

$$\rho(p, q) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(y) \cdot q_u} \quad (5)$$

式中, $\rho(p, q)$ 的值越大表示两个模型越相似, $0 \leq \rho(p, q) \leq 1$. 在当前帧, 通过计算不同候选区域计算得到的候选模型, 使得相似性函数值最大的候选区域, 即表示当前帧中目标的位置.

2 带宽自适应均值漂移跟踪算法

2.1 目标形状特征提取

采用基于区域灰度差的生长方法提取目标形状特征, 主要步骤为:

1) 给定初始种子像素;

2) 以种子像素为中心检查邻域像素, 将邻域像素逐个与种子像素比较, 如果灰度差小于预先确定的阈值, 则将它们合并;

3) 以新合并的像素为中心, 返回到步骤 2), 检查新像素的邻域, 直到区域不能进一步扩张, 则结束生长过程;

4) 提取目标形状.

2.2 核函数带宽更新

传统均值漂移模型中, 核函数带宽 h 固定不变, 假设跟踪窗口初始高度和初始宽度分别是 H_0 和 W_0 , 则核函数带宽 h 表达式为

$$h = \sqrt{(H_0/2)^2 + (W_0/2)^2} \quad (6)$$

由于目标尺寸实时变化, 核函数带宽 h 应随目标尺寸实时更新. 当前帧图像跟踪窗口的高度 H 和宽度 W 表达式为

$$H = \lambda \cdot |\text{Obj}_{\text{down}} - \text{Obj}_{\text{up}}| + (1 - \lambda) \cdot H_{\text{pre}} \quad (7)$$

$$W = \lambda \cdot |\text{Obj}_{\text{right}} - \text{Obj}_{\text{left}}| + (1 - \lambda) \cdot W_{\text{pre}} \quad (8)$$

式中, Obj_{left} 、 $\text{Obj}_{\text{right}}$ 、 Obj_{up} 和 Obj_{down} 分别是目标区域最左边、最右边、最上边和最下边位置(目标区域利用 2.1 节提取); H_{pre} 和 W_{pre} 分别是上一帧图像跟踪窗口的高度和宽度, λ 是调节系数 ($0 \leq \lambda \leq 1$), 当 $\lambda = 0$ 时算法的跟踪窗口退化为传统均值漂移模型, 即 $H = H_{\text{pre}} = H_0$, $W = W_{\text{pre}} = W_0$, 当 $\lambda = 1$ 时算法的跟踪窗口完全由当前帧决定, 即 $H = |\text{Obj}_{\text{down}} - \text{Obj}_{\text{up}}|$, $W = |\text{Obj}_{\text{right}} - \text{Obj}_{\text{left}}|$.

因此, 核函数带宽更新表达式为

$$h = \sqrt{(H/2)^2 + (W/2)^2} \quad (9)$$

2.3 目标位置预测

第 k 帧, 目标在 x 、 y 方向预测位置 X_k 和 Y_k 表达式分别为

$$X_k = X_{k-1} + v_x \cdot t \quad (10)$$

$$Y_k = Y_{k-1} + v_y \cdot t \quad (11)$$

式中, v_x 和 v_y 分别表示目标在第 $k-1$ 帧时 x 和 y 方向的速度, 这里用相邻几帧的平均速度近似, t 是相邻帧的时间间隔.

2.4 跟踪算法具体步骤

带宽自适应的均值漂移红外目标跟踪算法步骤为:

1) 初始化跟踪窗口的位置和大小;

2) 以目标预测位置为中心开窗(若图像为第一帧, 则目标预测位置是初始化跟踪窗口的位置);

3) 计算当前帧跟踪窗口尺寸, 更新核函数带宽;

4) 利用新的核函数带宽跟踪目标, 更新目标模板;

5) 预测目标在下一帧图像的位置;

6) 判断跟踪是否结束, 若未结束返回步骤 2), 否则跟踪算法停止.

3 实验结果

实验利用实际红外图像序列对跟踪算法进行仿真. 红外图像序列源于 FLIR 公司 640×480 非制冷探测器, 帧频 9 Hz, 14bit 数字图像. 实验中基于灰度差的

区域生长,灰度阈值取值是 20,更新核函数带宽中的调节参量取值是 0.1.图 1 是传统均值漂移算法的海面目标跟踪结果,跟踪过程中核函数带宽保持不变.从图 1 中看出,目标跟踪位置受目标尺寸影响明显,从图 1 (a),(b)的目标跟踪窗口内漂移到(c),(d)的目标跟踪窗口外.图 2 是本文提出的带宽自适应的均值漂移算法的海面目标跟踪结果,跟踪过程中核函数带宽随目标形状自适应调整.从图 2 中看出,跟踪的目标位置始终在目标跟踪窗口内.

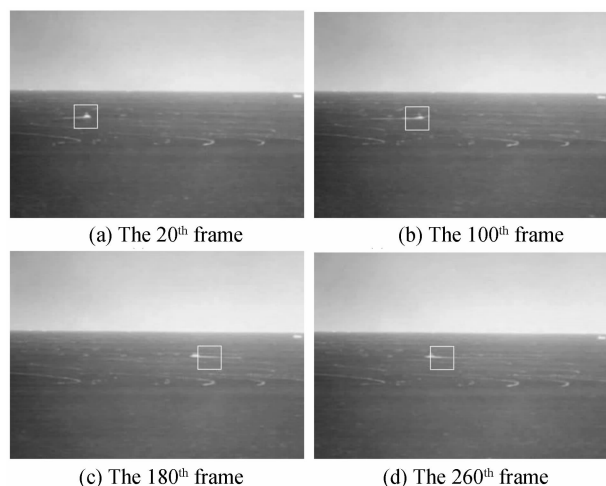


图 1 传统均值漂移跟踪

Fig. 1 Traditional mean-shift tracking

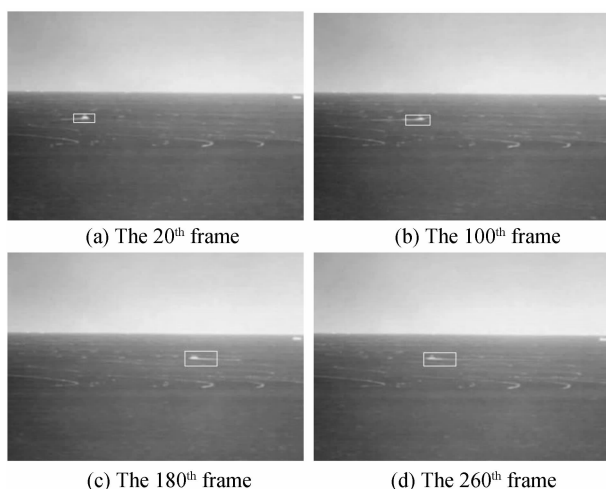


图 2 带宽自适应的均值漂移跟踪

Fig. 2 Bandwidth-adaptive mean shift tracking

4 结论

本文提出了一种带宽自适应的均值漂移红外目标跟踪算法.算法在均值漂移框架下提取目标的形状特征,根据目标形状变化自适应修正核函数带宽,最后更新目标模板.实验结果表明,改进算法能很好地适应尺寸变化目标,有效提高红外目标的跟踪准确度.

参考文献

- [1] CHENG Jian, ZHOU Yue. Infrared object tracking based on particle filters [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2006, **25**(2): 113-117.
程建,周越.基于粒子滤波的红外目标跟踪[J].红外与毫米波学报,2006,**25**(2):113-117.
- [2] LING Jian-guo, LIU Er-qi, YANG Jie, et al. Approach of infrared small target motion prediction and tracking based on filter[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2005, **24**(5): 366-369.
凌建国,刘尔琦,杨杰,等.基于滤波器的红外小目标运动预测和跟踪方法[J].红外与毫米波学报,2005,**24**(5):366-369.
- [3] SHI Hai-hua, XIANG Wei. Object tracking using improved meanshift algorithm combined with kalman filter on independent visual robotic fish[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, **333**: 1030-1033.
- [4] Paul Rui. A new fuzzy based algorithm for solving stereo vagueness in detecting and tracking people[J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2012, **53**(4): 693-708.
- [5] LI Yun-dong, ZHAO wei-gang. Adaptive updating of kernel band-width for mean-shift tracking [J]. *Journal of Computational Information Systems*, 2012, **22**(8): 9569-9579.
- [6] YU Chun-yan, WU li-qiao, LI Jian-ming. A background reconstruction algorithm based on pixel sequence pattern classification[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(7): 1036-1045.
余春艳,吴立峭,李建明.基于像素序列型态的适应性背景重构算法[J].光子学报,2011,**40**(7):1036-1045.
- [7] ZHAO Gao-peng, BO Yu-ming. Pyramid mean shift tracking algorithm based on adaptive feature selection [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(1): 154-160.
赵高鹏,薄煜明.基于特征自适应选择的金字塔均值漂移跟踪方法[J].光子学报,2011,**40**(1):154-160.
- [8] WANG Ming-jia, WU Zhi-guo, HAN Guang-liang, et al. Mean shift object tracking of adaptive tracking window[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(1): 67-71.
王明佳,武治国,韩广良,等.自适应窗口选取的 Mean shift 目标跟踪[J].光子学报,2012,**41**(1):67-71.
- [9] LI Xi-ying, NI Guo-qiang. A new tracking method for IR targets[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2002, **31**(2): 189-193.
李熙莹,倪国强.红外图像的光流计算[J].光电工程,2002,**31**(2):189-193.
- [10] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-based object tracking[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(5): 564-577.
- [11] POLAT E. Anonparametric adptive tracking algorithm based on multiple feature distributions[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2006, **8**(6): 1156-1163.
- [12] WANG J Q, YAGI Y. Integrating shape and color features for adaptive real-time object tracking [C]. Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Biomimetics. Kunming: IEEE Ras, 2006: 1-6.
- [13] WEI Kun, ZHAO Yong-qiang, PAN Quan, et al. IR target tracking based on mean shift and partide filter[J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2008, **19**(2): 213-217.
魏坤,赵永强,潘泉,等.基于均值漂移和粒子滤波的红外目标跟踪[J].光电子激光,2008,**19**(2):213-217.