

文章编号: 2095-4980(2015)02-0240-05

基于 Mean Shift 的变尺度快速运动目标自适应跟踪算法

杨志菊¹, 刘宝华²

(1.辽宁葫芦岛 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125000; 2. 海军航空兵学院, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 为了实现对变尺度快速运动目标的良好跟踪, 在对传统 Mean Shift 跟踪算法改进的基础上, 提出了一种运动目标自适应跟踪算法。该算法首先采用目标区域的像素点空域加权后的彩色图像作为初始帧目标模板, 目标的真实位置利用 Mean Shift 算法迭代求得, 从而实现对快速运动目标的空间定位, 然后将相邻帧的目标采用尺度不变特征变换(SIFT)算子进行特征匹配, 根据目标的缩放因子实时更新下一帧的核带宽, 修正算法跟踪窗口的尺寸, 以适应目标尺度的变化, 从而实现对快速运动目标的尺度定位。最后, 通过实验表明, 与传统的 Mean Shift 跟踪算法相比, 该算法的跟踪准确率达到 97% 以上, 能够实现对变尺度快速运动目标的精确跟踪。

关键词: Mean Shift 算法; 目标跟踪; 自适应跟踪算法; 特征匹配

中图分类号: TN391.41

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201502.0240

Auto-adaptive tracking algorithm for fast moving target with variable scale based on Mean Shift

YANG Zhiju¹, LIU Baohua²

(1. Unit 92941 of PLA, Huludao Liaoning 125000, China; 2. Institute of Naval Aviation, Huludao Liaoning 125001, China)

Abstract: An auto-adaptive tracking algorithm for fast moving target is put forward based on the improved traditional Mean Shift tracking algorithm, in order to achieve good tracking of fast moving target with variable scale. This algorithm firstly adopts the color image constituted by the pixels of target region with spatial weighting as initial frame object template, and the true position of target is obtained by the iteration of Mean Shift algorithm, therefore the spatial localization of fast moving target is realized. Then the features of adjacent frame targets are matched by Scale Invariant Feature Transform(SIFT) operator; the kernel bandwidth of next frame is updated in real time according to the scaling factor of target; the tracking window size of the algorithm is amended, which can adapt to the variable scales of the target, so the scale localization of fast moving target is achieved. Finally, the experiments demonstrate that compared with the traditional Mean Shift tracking algorithm, the tracking accuracy rate of the algorithm is above 97%, and the algorithm can accurately track the fast moving target with variable scales.

Key words: Mean Shift algorithm; target tracking; auto-adaptive tracking algorithm; characteristics matching

在视频序列中实现对运动目标的有效跟踪, 一直是计算机图形学的重要研究方向^[1]。Mean Shift算法^[2]作为一种经典的视频跟踪算法, 一直被广泛地应用于计算机视觉领域。在传统的Mean Shift算法中, 其核带宽决定了算法迭代的样本数, 且影响目标跟踪窗口的大小。由于在跟踪过程中, 传统的Mean Shift算法的核带宽是不变的, 所以, 该算法在跟踪变尺度快速运动目标时, 会导致较大的目标定位误差。文献[3]对Mean Shift算法的核带宽进行 $\pm 10\%$ 的增量修正, 但是由于巴氏系数^[4]的相似性度量会在较小跟踪窗口中达到局部最大, 因此, 这种改进的Mean Shift算法在跟踪尺度变大的运动目标时, 核带宽反而会变小, 导致跟踪不到目标的真实位置, 跟踪误差较大。为了更好地跟踪变尺度快速运动目标, 对传统的Mean Shift算法进行改进, 提出一种适用于尺度可变的快速运动目标的自适应跟踪算法。该算法根据目标缩放因子, 自适应选取Mean Shift算法的核带宽, 完成快速运动目

标的尺度定位。通过特征匹配,实时确定迭代的中心位置,算出目标的缩放因子,从而有效跟踪变尺度的快速运动目标。

1 变尺度快速运动目标自适应跟踪算法

传统 Mean Shift 算法的主要思想是:首先,在起始帧采用人工选择运动目标,确定目标搜索窗口;其次,计算当前帧对应窗口的核直方图分布和搜索窗口的核直方图分布;最后,比较这 2 个核直方图分布,确保 2 个分布的相似度最大,并沿密度增加的方向移动搜索窗口,得到运动目标的真实位置。具体的算法过程参见文献[5],这里不再赘述。

传统 Mean Shift 算法存在以下不足^[6]: 1) 传统 Mean Shift 算法在运动目标跟踪过程中搜索窗口的宽度始终保持不变,若运动目标在视场中的尺度发生变化,将会导致无法准确跟踪目标; 2) 如果目标快速运动,在相邻 2 帧间的目标区域没有重叠区域,采用传统 Mean Shift 算法将会导致算法收敛于背景中与目标特征相似的区域,而不是真正的运动目标。因此,为了准确跟踪变尺度快速运动目标,在对传统 Mean Shift 算法进行修正的基础上,提出一种变尺度快速运动目标自适应跟踪算法,该算法首先采用目标区域的像素点空域加权后的彩色图像作为初始帧目标模板,目标的真实位置利用 Mean Shift 算法迭代求得,从而实现快速运动目标的空间定位,然后将相邻帧的目标采用尺度不变特征变换(SIFT)算子^[7]进行特征匹配,根据目标的缩放因子实时更新下一帧的核带宽,修正算法跟踪窗口的尺寸,以适应目标尺度的变化,从而实现快速运动目标的尺度定位。

1.1 目标空间定位

基于空域加权的目標空间定位过程为:第1步,对初始帧目标区域和候选目标区域进行空域加权核密度估计;第2步,建立相似性函数,衡量候选目标区域与初始帧目标区域的相似度;第3步,求解相似性函数的最大值,得到目标初始位置向当前位置转移的 Mean Shift 向量,反复迭代计算 Mean Shift 向量,最终收敛于目标的真实位置,完成对快速运动目标的自适应跟踪。

1.1.1 目标的空域估计

设在第 i 帧包含目标的区域内像素为 (x_i, \mathbf{u}_i) , $i=1,2,\dots,m$; 在第 j 帧可能包含目标的区域内像素为 (y_j, \mathbf{v}_j) , $j=1,2,\dots,n$ 。其中, $\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_j$ 为像素的特征向量, x_i, y_j 为像素坐标。考虑到在跟踪过程中图像有可能受到遮挡,所以根据各个像素与目标中心的距离远近,赋予不同的权重,离目标中心越近的像素,赋予的权重值越大。用 σ 表示核带宽,采用 Epanetchnikov 核函数^[8]进行空域加权,得到目标在第 i 帧和第 j 帧中心的空域加权核密度估计分别为:

$$p_x(x_i, \mathbf{u}_i) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(1 - \left\| \frac{x_i - x}{\sigma} \right\|^2\right) k(\|\mathbf{u}_i - \mathbf{u}\|^2) \quad (1)$$

$$p_y(y_j, \mathbf{v}_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(1 - \left\| \frac{y_j - y}{\sigma} \right\|^2\right) k(\|\mathbf{v}_j - \mathbf{v}\|^2) \quad (2)$$

式中: $k(\bullet)$ 为核函数; \mathbf{u}, \mathbf{v} 为向量的特征值。

1.1.2 相似性函数

为了降低算法的复杂度,建立第 i 帧和第 j 帧的空域加权核密度估计的相似性函数如下:

$$J_{i,j} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(1 - \left\| \frac{(y_j - y) - (x_i - x)}{\sigma} \right\|^2\right) k\left(\left\| \frac{\mathbf{u}_i - \mathbf{v}_j}{h} \right\|^2\right) \quad (3)$$

式中: $k(\bullet)$ 为核函数; h 表示该核函数的核带宽。

1.1.3 Mean Shift 向量

为了得到第 i 帧向第 j 帧转移的 Mean Shift 向量,对式(3)求梯度:

$$\nabla J(y) = \frac{2}{mn\sigma^2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ((y_j - y) - (x_i - x)) k\left(\left\| \frac{\mathbf{u}_i - \mathbf{v}_j}{h} \right\|^2\right) \quad (4)$$

通过求解式(4),得到目标位置的 Mean Shift 向量 $\hat{\mathbf{y}}_1$ 为:

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_j - x_i) k\left(\left\|\frac{u_i - v_j}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k\left(\left\|\frac{u_i - v_j}{h}\right\|^2\right)} + x \quad (5)$$

反复迭代计算该Mean Shift向量，最终得到目标的真实位置。

1.2 目标尺度定位

传统Mean Shift算法跟踪变尺度快速运动目标时，会导致空间和尺度定位偏差，而且在Mean Shift向量迭代过程中，算法往往收敛于与目标特征相似的背景区域中，导致跟踪失败。因此，在对变尺度快速运动目标跟踪过程中，需要根据目标尺度的变化，建立缩放因子，自适应选取Mean Shift算法的核带宽，完成目标的尺度定位。本文通过特征匹配的方法建立目标缩放因子，并确定迭代的初始中心位置。

1.2.1 自适应核带宽更新

在目标跟踪过程中，可用平移与伸缩方式表示目标在相邻2帧间的运动，假设目标在相邻的第*i*帧和第*j*帧的位置分别为 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ ，在*x*、*y*方向上的平移参数分别用 D_x 和 D_y 表示，*x*、*y*方向上的尺度变化可以用缩放因子 S_x 和 S_y 表示，则目标在相邻2帧的位置可以用式(6)表示：

$$\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & D_x \\ 0 & S_y & D_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

为了准确跟踪变尺度运动目标，利用目标的缩放因子 S_x 和 S_y ，在跟踪过程中实时更新第*j*帧的核带宽 σ_j ：

$$\sigma_j = \sigma_i \max(S_x, S_y) \quad (7)$$

1.2.2 尺度定位过程

首先，根据当前帧图像中目标的2个特征点，确定算法迭代的初始位置；然后，利用目标的缩放因子实时更新下一帧的核带宽，修正算法跟踪窗口的尺寸，以适应目标尺度的变化，从而实现对变尺度快速运动目标的准确跟踪。尺度定位的具体过程如下：

第1步，选取图像序列中相邻的2帧图像，在前一帧图像中选定跟踪目标，确定初始跟踪窗口，初步确定运动目标关键特征点的尺度和位置。

第2步，通过函数拟合，进一步精确确定运动目标的关键点尺度和位置。同时，剔除图像中不稳定的边缘响应点和对比度较低的关键特征点，提高算法抗噪声的能力，增强算法的稳健性。

第3步，根据运动目标关键特征点邻域像素的梯度方向的分布特性，确定每个关键特征点的方向参数。

第4步，生成运动目标关键特征点的特征向量并进行向量匹配，选择最佳的匹配阈值，得到2对特征点。

第5步，根据第4步求得的2对特征点的坐标，分别计算运动目标在水平和垂直方向上的缩放因子。

第6步，利用目标的缩放因子，实时更新下一帧图像的核带宽。

第7步，计算下一帧2个特征点之间的中心坐标，将其作为下一步迭代的初始位置。

重复上面的步骤，直到跟踪结束。

2 实验结果与分析

将本文的变尺度快速运动目标自适应跟踪算法在Windows XP系统下用Matlab7.3编程，算法中各参数的配置情况如表1所示，并将本文的算法与传统Mean Shift算法、文献[3]的修正Mean Shift算法一起对靶场试验任务中变尺度、快速运动导弹的视频序列进行了跟踪测试，测试目标为快速飞行中的导弹，测试分尺度变小和尺度变大2种情况。

1) 快速运动目标尺度变小的测试结果

选取海上靶场导弹发射试验的视频数据作为测试对象，测试结果如图1所示。图1(a)是采用传统Mean Shift算法时，固定核带宽，初始迭代位置未经特征匹配更新的跟踪结果；图1(b)是采用传统Mean Shift算法时，固定核带宽，初始迭代位置经过特征

表1 本文算法的参数设置

matching threshold	kernel bandwidth	permissible error	maximum number of iterations
0.8	18.0	0.1	20

匹配更新的跟踪结果;图1(c)是采用文献[3]的修正 Mean Shift算法的跟踪结果;图1(d)是采用本文算法的跟踪结果。从图1(a)、图1(b)的跟踪结果来看,由于传统Mean Shift算法在跟踪目标的过程中核带宽固定不变,所以不能实现对尺度变小目标的精确跟踪。从图1(c)的跟踪结果来看,文献[3]的修正 Mean Shift算法可实现对尺度变小的运动目标的良好跟踪,这是由于该算法始终选择较小的巴氏距离所对应的核带宽作为最佳核带宽,巴氏系数的相似性度量会在较小跟踪窗口中达到局部最大,所以能够实现尺度变小的快速运动目标的良好跟踪。从图1(d)的跟踪结果来看,本文的自适应跟踪算法在跟踪过程中能够及时调整算法的核带宽以适应目标的尺度变化,从而实现对目标的准确跟踪。

2) 快速运动目标尺度变大的测试结果

选取导弹再入大气层的运动视频图像数据作为测试对象,测试的结果如图2所示。图2(a)是采用传统Mean Shift算法时,固定核带宽,初始迭代位置未经特征匹配更新的跟踪结果;图2(b)是采用传统Mean Shift算法时,固定核带宽,初始迭代位置经过特征匹配更新的跟踪结果;图2(c)是采用文献[3]的修正Mean Shift算法的跟踪结果;图2(d)是采用本文算法的跟踪结果。从跟踪测试的结果看,在图2(a)中,由于目标快速运动,在相邻2帧中没有目标的重叠区域,且初始迭代位置未经特征匹配更新,从而导致传统Mean Shift跟踪算法收敛于图像背景中与运动目标特征较为相似的区域,引起跟踪失败。在图2(b)中,由于传统Mean Shift跟踪算法在跟踪过程中核带宽固定不变,所以在跟踪尺度不断变大的运动目标时,跟踪窗口淹没于视频序列中,产生了尺度定位偏差。在图2(c)中,文献[3]的跟踪算法虽然对传统Mean Shift算法的核带宽进行了修正,但是它仅提供3种较为固定的核带宽,在跟踪尺度变大的快速运动目标时,由于选择的核带宽与目标的实际尺度不匹配,导致随着目标尺度的增大而跟踪窗口反而缩小的现象,跟踪效果不理想。在图2(d)中,本文的自适应跟踪算法首先对目标进行空域加权定位,然后根据目标的缩放因子,在跟踪的过程中能够根据目标的尺度实时修正算法的核带宽,确保跟踪窗口根据目标的尺度变化不断调整,从而实现对尺度变大的快速运动目标的快速、准确跟踪。

为了进一步检验本文算法的准确性和实时性,利用本文算法、Mean Shift算法、修正Mean Shift算法对某次导弹发射试验进行目标跟踪,视频序列共900帧,3种算法的准确性测试结果如表2所示。

表 2 3 种算法的准确性测试结果

Table2 Accuracy test results of three algorithms

items	proposed algorithm	Mean Shift algorithm	modified Mean Shift algorithm
video sequence/frame	900.00	900.00	900.00
correctly tracking/frame	875.00	584.00	725.00
correct ratio of tracking/%	97.22	64.89	80.56
falsely discovering target/frame	11.00	187.00	90.00
false alarm ratio/%	1.22	20.78	10.00
wrong judgment without target/frame	14.00	129.00	85.00
omission alarm ratio/%	1.56	14.33	9.44

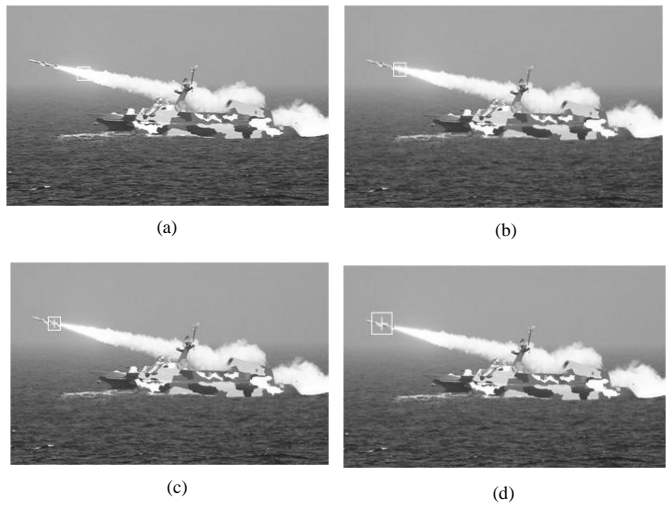


Fig.1 Fast moving target tracking test results of smaller scale
图 1 快速运动目标尺度变小的跟踪测试结果

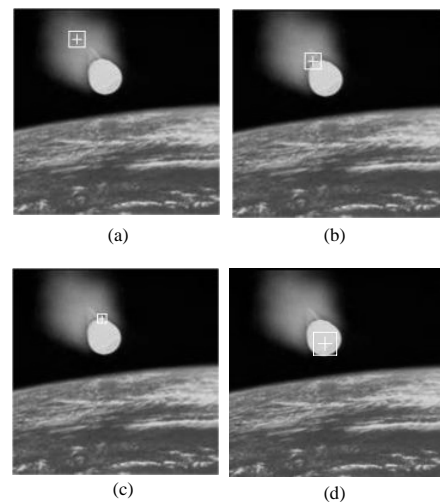


Fig.2 Fast moving target tracking test results of larger scale
图 2 快速运动目标尺度变大的跟踪测试结果

由表2可见,与Mean Shift算法、修正Mean Shift算法相比,本文的算法在跟踪变尺度快速运动目标时,具有跟踪准确率高、虚警与漏警率低等优点。经过多次靶场导弹试验任务验证,本文的算法完全满足靶场导弹跟踪的实时性要求。

3 结论

传统的Mean Shift算法由于在目标跟踪中核带宽固定不变,所以在跟踪变尺度快速运动目标时,会产生目标定位的尺度偏差和空间位置偏差,严重时算法收敛于图像背景中与目标特征相似的区域中,导致整个算法的跟踪失败。本文的自适应跟踪算法与传统的Mean Shift算法相比,虽然计算量有所增加,但是由于它能够在跟踪过程中根据目标的尺度变化,实时调整算法的核带宽大小,确保跟踪窗口始终与目标一致,从而实现对变尺度快速运动目标的准确跟踪,经过多次导弹试验检验,本文的算法是可行的、有效的。

参考文献:

- [1] 黄石磊,陈书立,刘驰,等. 基于视觉感知的运动目标跟踪算法[J]. 计算机应用研究, 2013,30(7):2199-2201. (HUANG Shilei, CHEN Shuli, LIU Chi, et al. Moving object tracking algorithm based on visual perception mechanism[J]. Journal of Computer Application Research, 2013,30(7):2199-2201.)
- [2] 张宝峰,李翠,朱均超,等. 一种改进的 Mean-shift 算法在运动目标跟踪系统中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2013,21(2):502-505. (ZHANG Baofeng, LI Cui, ZHU Junchao, et al. Application of an improved mean-shift algorithm on moving target tracking system[J]. Computer Measurement and Control, 2013,21(2):502-505.)
- [3] 陈胜蓝,龙永红,赵序勇. 核带宽自适应的均值偏移跟踪算法[J]. 湖南工业大学学报, 2012,26(2):87-92. (CHEN Shenglan, LONG Yonghong, ZHAO Xuyong. Mean-Shift tracking algorithm based on adaptive kernel band width[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012,26(2):87-92.)
- [4] 朱明清,王智灵,陈宗海. 基于改进 Bhattacharyya 系数的粒子滤波视觉跟踪算法[J]. 控制与决策, 2012,27(10):1579-1583. (ZHU Mingqing, WANG Zhiling, CHEN Zonghai. Modified Bhattacharyya coefficient for particle filter visual tracking[J]. Control and Decision, 2012(10):1579-1583.)
- [5] 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 Chunbo, LU Shaolei, REN Xiao. Improved Mean Shift tracking algorithm based on differential information[J]. Systems Engineering and Electronics, 2014,36(5):1004-1009.)
- [6] 胡波. 基于改进 Mean Shift 算法的实时视频目标跟踪[J]. 光子学报, 2012,41(4):461-465. (HU Bo. A real-time video target tracking based on modified Mean Shift algorithm[J]. ACTA Photonica Sinica, 2012,41(4):461-465.)
- [7] 周丽芬. 基于 SIFT 的图像匹配算法[J]. 计算机与现代化, 2014(7):57-59. (ZHOU Lifen. Image matching algorithm based on SIFT[J]. Computer and Modernization, 2014(7):57-59.)
- [8] 王国良,刘金国. 基于粒子滤波的多自由度运动目标跟踪[J]. 光学精密工程, 2011,19(4):864-869. (WANG Guoliang, LIU Jinguo. Moving object tracking with multi-degree-of-freedom based on particle filters[J]. Optics and Precision Engineering, 2011,19(4):864-869.)

作者简介:



杨志菊(1972-),女,辽宁省葫芦岛市人,硕士,高级工程师,主要从事计算机仿真技术和信息管理等方面的研究. email:hldyangzhiju@126.com.

刘宝华(1971-),男,河北省遵化市人,硕士,副教授,主要从事计算机仿真技术和信息作战等方面的研究.