

采用灰度加权核函数的动态背景运动目标检测算法

王鲁平, 张路平, 韩建涛

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院 ATR 实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 针对动态图像序列中的运动目标检测存在的运算速度慢、虚警率高等问题, 提出了一种基于灰度加权核函数的检测算法。算法首先利用图像中的平均梯度最大块实现了图像序列的快速配准, 然后将图像分为 32×32 的子块, 分别计算每一子块图像的灰度加权核函数(GWK), 利用 bhattacharyya 系数作为配准后图像对应子块 GWK 函数的相似性度量, 确认灰度加权核函数发生变化的子块, 进而完成图像中的运动目标检测。实验结果表明, 基于灰度核函数的运动目标检测算法运行速度快, 可以有效抑制图像配准误差以及灰度起伏的影响, 实时实现运动目标检测, 具有较好的实时性和鲁棒性。

关键词: 运动目标检测; 灰度加权核函数; 动态背景

中图分类号: TP919.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)12-3453-05

Detecting algorithm of moving target in dynamic background based on gray-weighted kernel function

Wang Luping, Zhang Luping, Han Jiantao

(School of Electronics Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A new detecting algorithm based on gray-weighted kernel function was proposed to solve the problem of low running rate and high false alarm within the moving target detection (MTD) in dynamic series of image. This algorithm firstly realized image sequence registration by using the biggest gradient block, then divided the image into 32×32 sub-images. It could calculate gray-weighted kernel function for every sub-image and detect changing of gray-weighted kernel function by using Bhattacharyya coefficient as similarity principle for every sub-image. The moving target could be detected in sub-image which gray-weighted kernel function has changed. The testing result shows that the algorithm with better performance of real-time and robustness can detect the moving target in real-time and suppress the influence due to image registration error and gray fluctuation effectively.

Key words: moving target detection; kernel function; dynamic background

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-05-12

基金项目: 国防重点实验室基金(9140C80030212ZS9301); 国家青年科学基金(61101185)

作者简介: 王鲁平(1974-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事图像自动目标检测与跟踪方面的研究。Email: wangluping405@sina.com

0 引言

所谓运动目标检测就是在序列图像中实时地检测感兴趣的运动目标并提取其运动参数的图像处理过程。根据视觉平台的运动情况,运动目标检测又分为静态背景下运动检测和动态背景下运动检测。静态背景下的运动目标检测主要应用于安全监控、智能交通等民用领域。动态背景下的运动目标检测技术则广泛应用于机载光电系统、视觉导航和导弹制导等军用领域^[1]。目前主要的研究思路有以下两种:(1)利用光流法^[2]通过图像灰度梯度不变或者亮度恒定的约束条件来检测运动目标,但图像光流计算复杂耗时,除非有特殊的硬件支持,否则很难实现实时检测,这一缺点导致光流算法在实际应用中很受限制。(2)采用序列图像配准方法完成动态序列图像的静态化,然后采用帧间差分法完成运动目标检出。2005年,美国中央佛罗里达大学计算机视觉实验室开发了基于 MATLAB 的 COCOA 系统,用于处理无人驾驶飞机低空航拍视频图像的目标检测与跟踪问题^[3]利用图像配准方法完成动态序列图像的静态化,然后采用帧间差分法完成运动目标检出。2005年,美国中央佛罗里达大学计算机视觉实验室开发了基于 MATLAB 的 COCOA 系统,用于处理无人驾驶飞机低空航拍视频图像的目标检测与跟踪问题。Amir Averbuch 和 Yosi Keller 提出了基于梯度的运动估计法^[4],减少了运动估计的运算量。VSAM 提出了一种自适应背景差分与帧间差分相结合的算法,快速有效地实现了运动目标的检测^[5]。

从目前的研究情况看,序列图像配准算法存在着运算量大和运动参数估计偏差大两个主要问题。而帧间差分法对运动估计的精确度依赖非常大,特别是复杂场景下,运动估计误差将导致大量的虚警。为此本文首先采用基于梯度最大点的块匹配算法实现动态图像序列的粗匹配,然后分块计算图像的核函数,根据前后两帧核函数的变化完成运动目标检测。采用这一算法可以降低后续目标检测对序列图像配准误差的敏感性,有效地提高算法的实时性和鲁棒性。

1 基于平均梯度最大块的动态序列配准算法

对于动态序列图像而言,由于平台自身的运动

导致相邻两帧图像之间存在着平移、旋转、缩放以及透视变化。假定前一帧的像素点坐标位置为 (x_{i-1}, y_{i-1}) ,后一帧图像与之对应的像素点位置为 (x_i, y_i) ,则前后两帧之间的仿射变换模型如公式(1)所示:

$$\begin{pmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: K 为图像缩放参数; θ 为旋转角度; $\Delta x, \Delta y$ 为图像平移参数。

当运动平台不发生大的机动时,相邻两帧图像之间运动可以认为是一个缓慢变化的过程^[6]。所以相邻两帧之间缩放比率 $K \approx 1, \theta \approx 0$,进而得到 $\cos\theta \approx 1, \sin\theta \approx 0$ 。故公式(1)可以近似简化为:

$$\begin{pmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (2)$$

公式(2)表明:在视觉平台不发生大的变化情况下,可以假定相邻两帧图像之间仅存在平移运动。这样虽然会造成前后两帧配准存在较大的误差,但采用这一运动模型会大大减少运算量,便于整个目标检测过程的实时实现。

采用块匹配的方法来计算公式 2 中的 $\Delta x, \Delta y$ 。理论上图像灰度变化越大的区域,图像匹配的准确性及匹配精度越高^[6],所以应选择图像灰度变化较大的区域进行块匹配以保证序列的配准精度。数字图像的梯度场反映的正是图像中每一点灰度的变化情况,采用 Roberts 梯度来计算图像的每一点梯度场:

$$\Delta f(x, y) = |f(x, y) - f(x+1, y+1)| + |f(x+1, y) - f(x, y+1)| \quad (3)$$

将图像分为 32×32 的小块,分别计算每一块的平均梯度 \bar{g} ,选取使 \bar{g} 最大的小块进行块匹配运算,综合考虑平台的运动速度和运算量,块匹配的搜索区域大小设定为 64×64 。图 1 给出了利用平均梯度最大块进行动态序列配准的试验结果。

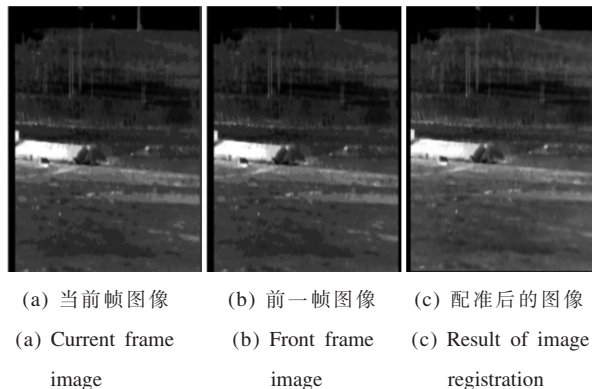


图 1 基于梯度最大点进行动态序列配准的试验结果

Fig.1 Image sequence registration based on maximal grad point

2 基于灰度加权核函数的运动目标检测

完成图像序列的动态配准之后,目前能够实时实现的运动检测算法有 Gaussian 背景减除法和帧间差分法,高斯背景减除法需要对背景进行学习和建模,因此在实时系统中往往会由于背景模型的学习造成检测结果的滞后,因此在实时系统里帧间差分法是目前最为常用的运动检测算法。进行帧间差分运算时,由于图像配准的误差和像素帧间的灰度起伏,会使差分图像存在较大的灰度残留,从而对运动目标的检测形成干扰,影响检测效果。为解决这一问题,文中引入灰度加权核函数刻画相邻两帧图像之间的相似度。

对于灰度图像来说,一般采用灰度直方图表示图像的灰度分布特征,但直方图不包含图像的空间分布特征。为更好地刻画相邻两幅图像的相似性,文中利用包含有连续空间信息的核函数与灰度直方图相结合,建立可以表示空间灰度分布的图像特征向量。令 $\{x_i^*\}_{i=1 \dots n}$ 表示图像指定区域归一化的像素位置坐标,区域中心为 y , n 为区域中像素的个数。 $b(x_i^*)$ 表示在坐标 x_i^* 处的像素灰度对应的灰度区间, $u=1 \dots m$ 表示 m 个灰度区间。那么指定区域图像的特征矢量表示为:

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

式中: C 是归一化系数;

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\|x_i^*\|^2)} \quad (5)$$

δ 是 Kronecker delta 函数:

$$\delta(a) = \begin{cases} 1 & \text{若 } a=0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$k(x)$ 表示灰度空间分布的核函数,常用的核函数有平台核函数和高斯核函数。一般来说,探测器光学系统成像时的点扩展函数(PSF)是符合高斯分布的^[7],因此采用高斯核函数,更为符合图像本身的分布特性,如公式(7)所示:

$$k(x) = \exp(-\|x\|^2) \quad (7)$$

由于采用基于灰度加权的核函数来刻画图像的特征矢量 \hat{q}_u ,它反映的是图像区域的整体灰度分布,个别像素的灰度变化不会对 \hat{q}_u 造成大的影响,因此这一特征矢量可以有效避免由于帧间配准和灰度起伏引起的误差。

采用 bhattacharyya 系数作为前后两帧图像对应区域相似度的工具,即对每个图像区域计算一个相似值 $\rho_i, i=1 \dots N_s$,

$$\rho^j = [\hat{p}(i), \hat{q}] \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(i) \hat{q}_u} \quad i=1 \dots N_s \quad (8)$$

式中: $\hat{p}_u(i)$ 为前一帧图像区域对应的特征向量; \hat{q}_u 为后一帧图像区域对应的特征向量, m 为特征向量的维度。 $\rho^j \in [0, 1]$, 其值越大表示相似度越高。当 ρ^j 小于某个门限值时,则图像前后两帧区域发生了大变化,换句话说可以认为该区域存在运动目标,确认运动目标区域后,通过简单分割即可实现运动目标检测过程。

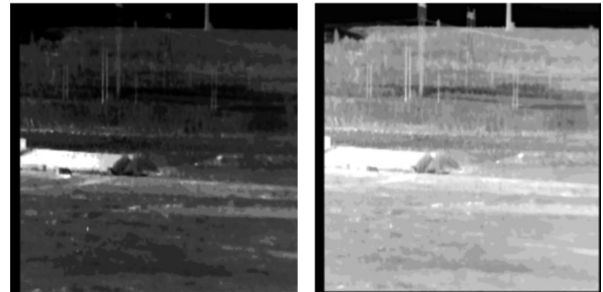
门限选择采用自适应方法,即通过计算所有图像子块的平均 $\bar{\rho}$ 和方差 ρ_σ , 利用公式(9)实现门限的计算:

$$\text{Thresh} = \bar{\rho} + K \rho_\sigma \quad (9)$$

3 实验结果

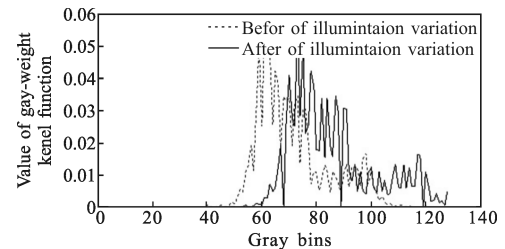
为验证文中提出的基于灰度加权核函数运动目标检测算法的效果,选用 PC 2.27 GHz 2 G 内存作为实验平台,算法采用 VC6.0 实现,测试图像大小为 640×388 , 进行如下三组实验。

实验一 对光照变化后的两幅图像进行对比实验,分别取其中心的 32×32 小块计算其 \hat{q}_u , 如图 2 所示。



(a) 光照变化前的图像 (b) 光照变化后的图像

(a) Image before illumination variation (b) Image after illumination variation



(c) 前后两幅图像的灰度加权核函数值

(c) Value of gray-weighted kernel function for two images

图 2 光照变化前后的灰度加权核函数对比

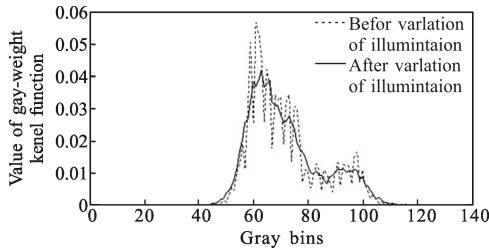
Fig.2 Contrast of gray-weight kernel function after illumination variation

从图 2(c)可以看出,光照变化前后,图像灰度加权核函数仅仅发生了水平迁移,其空间分布特征接近一致。因此采用图像灰度加权核函数作为图像特征进行运动目标检测时,可以有效克服由于光照变化等原因引起的灰度起伏的影响。

实验二 考虑到实时实现的需要,文中算法中采用了低精度的图像配准模型,相邻两幅图像的配准误差可以近似认为是叠加图像上的随机噪声,因此对原始图像叠加高斯随机噪声($m=0, \sigma=0.5$)进行对比实验,分别取其中心 32×32 小块计算图像灰度加权核函数,如图 3 所示。



(a) 加噪前的图像 (b) 加噪后的图像
(a) Image before adding noise (b) Image after adding noise



(c) 前后两幅图像的灰度加权核函数值
(c) Value of gray-weighted kernel function for two images

图 3 加噪前后的灰度加权核函数对比

Fig.3 Contrast of gray-weighted kernel function before and after adding noise

从图 3(c)可以看出,加噪声前后图像灰度加权核函数的形状比较类似,其 *bhattacharyya* 系数比较小。因此,采用图像灰度加权核函数作为图像特征进行运动目标检测时,可以有效克服由于配准误差等原因引起的随机噪声的影响。

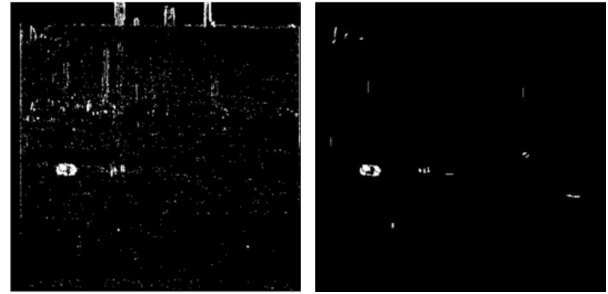
实验三 分别利用帧间直接差分法和文中提出的算法对配准前后的图像进行运动目标检测,计算结果如图 4 所示。

进行运动目标检测时,当图像配准误差较大或

存在光照变化时,直接进行背景减除时,会在运算结果中形成大片的图像残留,如图 4(c)所示,使得难以区分真实目标和配准残差,从而造成检测结果中虚警较多。利用文中提供的算法进行运算时,由于采用灰度空间分布核函数作为特征进行比对,可以有效克服配准误差及光照变化的影响,只提取由于目标运动而引起变化的区域,如图 4(d)所示,其检测结果更为准确,虚警率更低。



(a) 当前帧图像 (b) 图像配准结果
(a) Current frame image (b) Result of image registration



(c) 帧间差分算法的结果 (d) 采用文中算法的检测结果
(c) Result of frame difference algorithm (d) Result of presented algorithm

图 4 帧间直接差分法与文中算法的对比实验结果

Fig.4 Contrast between gray-weighted kernel function algorithm and frame difference algorithm

4 结 论

针对地面背景中的运动目标检测问题,为克服传统算法对图像序列配准精度的依赖,文中利用相邻两帧图像对应区域的图像灰度加权核函数的变化进行运动目标检测。实验结果表明,文中所提出的算法可以有效抑制图像配准误差,克服光照、噪声等影响,达到比较理想的检测效果。同时提出的算法可以支持低精度图像配准模型,因此算法速度快,实时性好,能够满足运动目标实时检测的需求。

参考文献:

- [1] Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R S. Moving target detection and classification from real-time video[R]. In Proceedings of IEEE WACV98, 1998, 778-783.
- [2] Barron J, Fleet D, Beauchemin S. Performance of optical flow techniques[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1994, 12(1): 43-77.
- [3] Mikolajczyk K, Schmid C. Indexing based on scale invariant interest points[C]//Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001: 525-531.
- [4] Yosi K, Amir A. Fast gradient methods based on global motion estimation for video compression[J]. *IEEE Trans on Circuits System Video Technol*, 2003, 13(4): 300-309.
- [5] Collins R A. System for video surveillance and monitoring: VSAM final report.Carnegie mellon university technical report[R]. CMU-RI-TR-00-1 2, 2000.
- [6] Luo Jun. Application and implementation of moving estimate in image stabilation and matching [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2007.
- [7] Li Jicheng. Research of infrared small target detecting technology in clutter background [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 1998.
- [8] Li Long, Li Junshan, Ye Xia. Airborne infrared target tracking based on Mean Shift [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(2): 229-230. (in Chinese)