

基于背景估计的红外图像杂波抑制方法研究

孙新德, 薄树奎, 李玲玲

(郑州航空工业管理学院计算机科学与技术系, 河南 郑州 450015)

摘要:背景估计是背景杂波抑制和图像增强的重要方法,在低信噪比红外目标检测技术研究中备受青睐。提出了一种改进的形态滤波背景估计新方法。首先通过图像局部熵计算和分析建立了结构元素尺度与局部熵的对应关系,在目标特征分析的基础上对结构元素形状进行优化,然后采用形态滤波估计图像背景,实现背景杂波抑制和图像增强。仿真实验结果表明了算法是有效的。

关键词:背景估计;杂波抑制;形态滤波;图像熵

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Study of infrared image clutter suppression based on background estimation

SUN Xin-de, BO Shu-kui, LI Ling-ling

(Department of Computer Science and Application, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Background estimation is one of the most effective method in clutter suppression and image enhancement. It is widely used in infrared target detection. In this paper, we propose a new background estimation method with improved morphological filter. At first we compute the local image entropy and establish the relationship between the structural elements and local entropy. We choose the shape of structural elements based on target characteristics analysis. Then we do the background estimation by using morphological filter for clutter suppression and image enhancement. Simulation results show that the algorithm is effective.

Key words: background estimation; clutter suppression; morphological filter; image entropy

1 引言

红外自动目标识别是当前智能化信息处理的前沿关键技术,其研究势头十分活跃。由于红外图像是通过红外成像设备对目标和背景的红外辐射特性进行区分而形成的一种灰度图像,与可见光图像相比具有目标边缘模糊、对比度低灰度的特点,所以低信噪比检测技术是实现红外自动目标识别的重要基础和根本前提。远距离的红外点目标因缺乏必要的形状、纹理和结构信息,视特征尚不明显,所以红外目标检测处理中必须同时注重目标特性分析和背景杂波抑制的研究。对背景杂波抑制的方法主要有两大类,一是背景帧间对消处理,二是背景估计。在红

外运动目标的检测中,背景估计方法更具潜力,研究异常活跃,正成为红外目标检测技术的一大研究热点^[1-2]。

背景估计技术主要侧重于红外目标、背景的模式特征与时空分布参数的研究。常用的背景估计方法主要包括线性预测估计、非线性均值滤波、模板卷积滤波和形态滤波等。形态滤波以其优越的性能受

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 41001235);航空科学基金项目(No. 20095155008)资助。

作者简介:孙新德(1966-),男,硕士,副教授,从事计算机学科的教学与科研工作,主要研究方向为数字水印与数字图像处理技术。
E-mail: sunxinde@zzia.edu.cn

收稿日期:2010-10-15; **修订日期:**2011-01-13

到很多研究者的关注。

形态滤波运算过程可分解为形态变换和结构元选择两个基本问题。为改善滤波性能,可以从改进形态变换和优选结构元两方面加以研究。在形态学基本算子优化方面学界已经取得了有价值的成果^[3-4]。有学者尝试用遗传算法和学习算法对结构元素进行优化,但是效果并不理想^[5]。所以在实际应用中怎样确定合适的结构元素的问题仍然未能得到解决。

事实上,噪声分布和噪声大小都是随机的,因此不可能找到一个具有普适性的固定的结构元素。一个最好的解决方案就是在滤波过程中根据所处理像素的局部特征自适应地调整结构元素的形状和大小。鉴于此,本文提出了根据图像局部信息熵对结构元素尺度动态调整的新思路,并将这一方法应用于红外图像的背景估计和杂波抑制之中。

2 基于形态滤波的红外图像背景估计

2.1 形态滤波背景估计原理

灰度图像所形成的视觉感受主要由光照亮度的明、暗变化所引起。可视目标的显现主要有两种情形:①周围环境为暗背景反衬出明亮的视觉目标;②周围环境为亮背景反衬出低暗的视觉目标。所以基于形态滤波的背景估计可以有两种不同的表达式^[6]。

设输入图像为:

$$F = \{ (x, f(x)) \mid x \in P, P \in E_2 \}$$

扁平结构元素为:

$B = \{ (x, 0) \mid x \in S, S \in E_2 \}$,其中, x 为图像平面空间坐标; $f(x)$ 为 x 点的图像灰度值,则利用灰度形态学运算中的开、闭组合滤波对图像背景 $z(x)$ 估计和对目标 $d_{\text{tag}}(x)$ 计算的公式如下:

暗视背景(亮目标):

$$\begin{aligned} z_{\text{dak}}(x) &= \min \{ [(F \circ B) \cdot B](x), f(x) \} \\ d_{\text{dak}}(x) &= f(x) - z_{\text{dak}}(x) \end{aligned} \quad (1)$$

明视背景(暗目标):

$$\begin{aligned} z_{\text{bri}}(x) &= \min \{ [(F \cdot B) \circ B](x), f(x) \} \\ d_{\text{tag}}(x) &= z_{\text{bri}}(x) - f(x) \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 改进的形态滤波背景估计

按照式(1)估计图像背景时,影响估计效果的关键是结构元素选取。选择结构元素必须遵守三个原则^[7]:①相似性原则。结构元素的形状与噪声图像形状应尽可能地相似。②覆盖性原则。结构元素的尺寸应大于噪声图像的尺寸,但应小于非噪

声图像的尺寸。③组合性原则。对于复杂的输入图像应选择组合的结构元素,但在组合结构元素时应根据不同的图像特性和运算方式选取不同的组合顺序。

本文对形态滤波的改进主要有两个方面。

(1) 根据噪声特征选择结构元素形状

在红外小目标检测应用中,图像由目标、背景和噪声组成。背景一般变化缓慢,噪声多为椒盐噪声^[8],目标常是无几何形状无纹理信息、大小只有几个像素的斑点。在采用形态滤波估计背景时,理想目标就是通过开运算尽可能把噪声和目标完全去掉。根据结构元素选择的相似性原则,对红外图像背景估计时可以选择圆形结构元素。

(2) 根据图像局部熵自适应调整结构元素尺度

不同大小的结构元素进行图像滤波效果是不一样的。一般来说小尺寸的结构元素去噪声能力弱,但能保存好的边缘细节,大尺寸的结构元素去除噪声能力强,但所检测的边缘较粗。因此,对一幅图像进行形态滤波时要想实现消噪和保留目标边缘信息,最好的方法是采用多尺度结构元素,或者采用尺度随图像局部特性自适应变化的结构元素。

(a) 图像局部熵定义

设 $f(x, y)$ 为一幅具有 k 个灰度级的图像,其中第 i ($i \in 1, \dots, k$)级灰度出现的概率为 p_i ,则它所含的熵(信息量)为:

$$I(i) = p_i \log \left(\frac{1}{p_i} \right) = -p_i \log p_i \quad (3)$$

整幅图像的熵为:

$$H = \sum_{i=0}^{k-1} I(i) = - \sum_{i=0}^{k-1} p_i \log p_i \quad (4)$$

且 $p_i = 0$ 时 $p_i \log p_i = 0$ 。

由图像熵 H 的定义可以知道,熵 H 代表了图像中的信息量,且熵函数具有这样的性质:当 k 个 p_i 相等时,熵有最大值;图像中的灰度概率分布越模糊,范围越大,越难以判断,熵值越大。

如果把图像中某一个特定区域的熵称之为图像局部熵,那么公式(4)也可计算图像局部熵。通常一幅图像是由背景杂波、小目标和噪声组成,图像中各个区域的灰度分布是不一样的。因此,如果把一幅实际图像划分成若干块,则各个块的灰度分布一般不相同,各个块的熵也不相同。只有背景的块其灰度变化范围小,分布相对集中,熵值较小;含有噪声或小目标的块,由于灰度变换比较剧烈,分布较广,熵值较大。这样就可以根据每一块图像熵值的

大小选择不同尺度的结构元素进行形态滤波,从而估计出每一图像块的背景,再经过重构可以拼接出完整的图像背景,实现整幅图像背景的有效估计。

(b) 构建结构元素尺度与图像局域熵的对应关系

设对一幅图像背景估计时使用了 N_{se} 个结构元素,某一个结构元素的尺度为 SE_i ,最大值 SE_{max} ,最小值 SE_{min} ;图像共划分 N_h 个块,块的熵值用 H_i 表示,共计有 N_h 个熵值,其中最大熵值为 H_{max} ,最小熵值 H_{min} ,即熵值区间为 $[H_{min}, H_{max}]$ 。把熵值区间划分成 N_{se} 个子区间,一个子区间对应一个结构元素尺度,即熵值位于某一子区间的所有图像块将使用同一尺度的结构元素进行背景估计。熵值子区间与结构元素尺度之间的对应关系如图 1 所示。

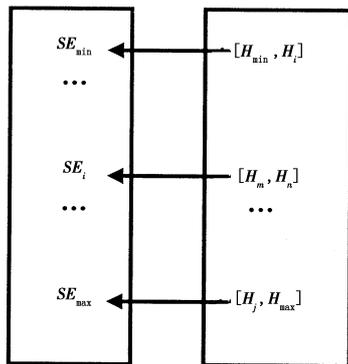


图 1 结构元素与熵值子区间的对应关系

每一图像块有确定的熵值,从而有确定的子区间,则对应唯一的结构元素尺度。这样就实现了形态滤波过程中结构元素随图像局部特征自适应变化。

3 基于改进形态滤波的图像增强算法

基于改进形态滤波的背景杂波抑制与图像增强的过程如图 2 所示,其步骤如下:

- (1) 把图像进行分块。块的尺度要大于目标斑。
- (2) 根据目标和噪声特性选择合适的结构元素形状。

(3) 计算每一块图像的熵,划分出若干熵值子区间,使子区间数目与结构元素数目相一致,建立结构元素尺度与图像块的对应关系。

(4) 运用不同大小结构元素的形态滤波估计每一个图像块的背景,然后拼接出整幅图像的背景。

(5) 把原图像减去估计的背景图像得到背景抑制图像。

- (6) 图像增强处理。

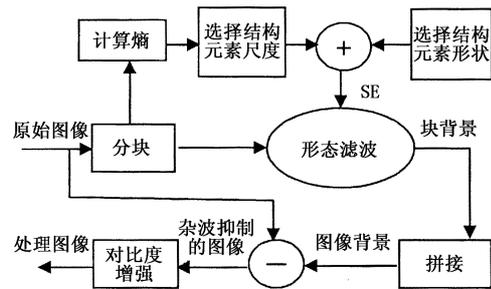


图 2 图像杂波抑制与对比度增强的算法流程

把图像背景杂波抑制以后,为了进一步提高图像的对比度,采用式(5)定义的灰度增强公式^[9]进行增强。

$$G(x, y) = \frac{f(x, y)^2}{\max(f) - \min(f)} \quad (5)$$

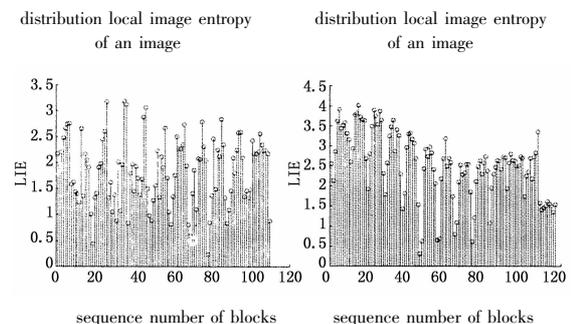
式中, $G(x, y)$ 为对比度增强后的图像灰度值; $f(x, y)$ 为背景抑制后的图像灰度值; $\max(f)$ 为图像的最大灰度值; $\min(f)$ 为图像最小灰度值。由于背景的灰度值较低,在对比度增强的过程中背景的灰度值被压缩得很小,甚至可以被忽略,而目标的灰度值接近最大值,因此几乎保持不变。经过这种处理,图像中的目标和背景灰度值相差很大,对比度进一步增强,为后继处理提供了很大的空间。

按照本文方法,红外图像中的目标和椒盐噪声同时得到增强,靠阈值选取去除噪声变得不可能。所幸的是,目前的红外图像都是序列图像,通过时空特征分析可以把噪声与目标区分开。

4 仿真实验

4.1 图像局部熵分布特性研究实验

两幅图像背景和噪声接近但是噪声状况不同。从图 3 可以看出,一幅图像当中不同块的熵一般是不同的,局部熵随块序号有一定的分布;并且不同图像的局部熵的分布特性不一样。所以,采用局部熵对一幅图像中的块进行分类,不同类型的块采用不同的结构元素进行背景估计是可行的。



(a) 图像 1 的局部熵分布 (b) 图像 2 的局部熵分布

图 3 局部熵分布特性实验结果

4.2 背景杂波抑制与图像增强算法实验

本实验分别采用主观和客观两种标准评价算法对图像背景杂波抑制和图相增强的效果。主观评价是通过观察比较处理前后的图像进行效果评价;客观评价则是采用标准偏差。标准偏差定义如下^[10]:

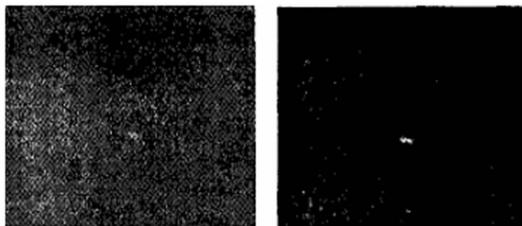
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{k-1} (i - \bar{i})^2 p(i)} \quad (6)$$

其中, $p(i)$ 表示一阶直方图概率; k 表示图像总的灰度级数; $\bar{i} = \sum_{i=0}^{k-1} ip(i)$ 为图像的灰度平均值。标准偏差较大的图像, 其对比度也较高。本文实验中, 由于研究的是红外小目标, 将用目标邻域标准偏差来客观评价图像增强效果, 以增加评价的准确性。

实验中, 图像分块大小为 16×16 ; 结构元素为圆形, 大小随图像局部熵变化; 邻域大小为目标的 2~3 倍。实验选取了天空、地面、海空三种典型背景类型的红外小目标图像进行算法性能测试, 测试结果如下:

(a) 天空背景图像的测试结果

两幅红外图像中的目标均为穿越云层中的飞机。图像 1 大小为 196×144 , 目标大小约 5×10 ; 图像 2 大小 113×97 , 目标大小 3×5 。实验测试结果如图 4 和表 1 所示。实验结果说明经过本文算法处理后, 目标邻域标准差大幅度提升, 红外图像背景和杂波被很好地抑制, 目标对比度和清晰度得到显著提高。



(a) 图像 1 处理前后比较



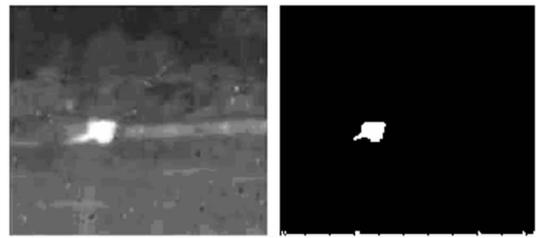
(b) 图像 2 处理前后比较

图 4 天空背景图像测试结果

(b) 地面背景图像的测试结果

图像 3 是飞机落地时的红外图像, 图像 3 大小为 168×148 , 飞机目标大小 11×16 , 背景由天空、大地、树木和红外噪声组成。由图 5 和表 1 所示的实验结果可以看出, 本文算法对地面背景红外图像的

背景杂波抑制依然有效。

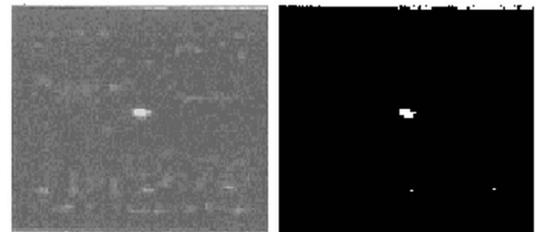


图像 3 处理前后比较

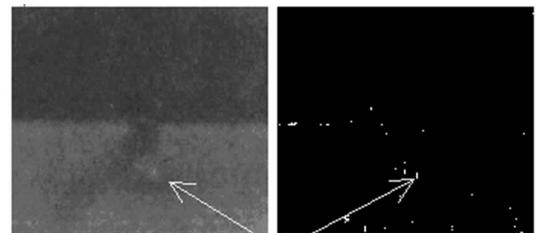
图 5 地面背景图像的实验结果

(c) 海空背景图像的测试结果

图像 4 和图像 5 是海空背景下的水上目标红外图像。图像 4 大小 144×110 , 目标大小 4×10 ; 图像 5 大小 230×156 , 目标大小 5×3 。如图 6 和表 1 所示的实验结果说明本文算法也可用于海空背景红外图像预处理时的背景杂波抑制。



(a) 图像 4 处理前后比较



目标

(b) 图像 5 处理前后比较

图 6 海空图像的实验结果

在图 4 和图 6 所显示的处理后图像中, 除目标斑点以外还有其他一些斑点。这些斑点可能是椒盐噪声、目标干扰等。如何把这些伪目标斑点去掉是作者下一步的工作重点。

表 1 目标邻域标准偏差比较

图像类型	目标位置	目标邻域大小	σ (处理前)	σ (处理后)
图像 1	(85, 102)	10×20	44.70	55.58
图像 2	(61, 57)	10×10	14.76	60.56
图像 3	(82, 58)	30×40	56.56	88.26
图像 4	(51, 72)	10×20	34.55	85.35
图像 5	(112, 125)	10×10	11.65	65.06

5 结束语

自适应背景估计是实现低信噪比红外目标自动

检测的有效途径。本文通过图像局部熵的计算和红外图像特征分析改进了传统的形态滤波算法,提出了背景估计新方法。仿真实验结果证明该方法可以有效实现背景抑制和图像增强。本文提出的背景估计方法也可用于一般图像的背景抑制和消噪。

参考文献:

- [1] Cafer C E, Silverman J, Mooney J M. Optimization of point target tracking filters[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 2000, 36(1): 15-25.
- [2] Zhang Yanfeng, He Peikun, Zhang Hui. Infrared target detection using degenerate decision tree[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(9): 1017-1022. (in Chinese)
张彦峰, 何佩琨, 张辉. 基于蜕化决策树的红外目标检测[J]. 激光与红外, 2010, 40(9): 1017-1022.
- [3] Sinha D, Dougherty E R. Fuzzy mathematical morphology[J]. Communication and Image and Representation, 1992, 3(3): 286-302.
- [4] Harvey Neal R, Marshall Stephen. The use of genetic algorithms in morphological filter design[J]. Signal Processing Image Communication, 1996, 8(1): 55-72.
- [5] Xie Kefu, Zhou Xinyi, Xu Guangping. Morphology filtering inspired by quantum collapsing[J]. Journal of Image and Graphic, 2009, 14(5): 967-972. (in Chinese)
谢可夫, 周心一, 许光平. 量子衍生坍塌形态学滤波[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 967-972.
- [6] Yu Nong, Wu Changyong, Tang Xinyi, et al. Adaptive background perception algorithm for infrared target detection[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(2): 200-204. (in Chinese)
余农, 吴常泳, 汤心溢, 等. 红外目标检测的自适应背景感知算法[J]. 电子学报, 2005, 33(2): 200-204.
- [7] Zhang Huangqun, Yu Shenglin, Bai Yingang. Selected principle for structuring element in image denoising based on mathematical morphology[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2008, 23(s): 81-83. (in Chinese)
张黄群, 于盛林, 白银刚. 形态学图像去噪中结构元素选取原则[J]. 数据采集与处理, 2008, 23(s): 81-83.
- [8] Zhou Qianjin, Feng Liang, Wang Ya. Analysis and improved preprocessing method of space noise in infrared image[J]. Journal of Applied Optics, 2007, 28(4): 426-430. (in Chinese)
邹前进, 冯亮, 汪亚. 红外图像空间噪声分析和预处理方法改进[J]. 应用光学, 2007, 28(4): 426-430.
- [9] Liu Yunhe, Si Xicai, Jiao Shuhong, et al. Study of detection algorithm for infrared small target[J]. Journal of Projectiles Rockets Missiles and Guidance, 2008, 28(1): 53-56. (in Chinese)
刘云鹤, 司锡才, 焦淑红, 等. 单帧红外小目标检测算法研究[J]. 火箭与制导学报, 2008, 28(1): 53-56.
- [10] Han Chongzhao, Zhu Hongyan, Duan Zhansheng, et al. Multisource information fusion[M]. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 2006. (in Chinese)
韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜, 等. 多源信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.