

·信号与信息处理·

基于环带结构的形态学红外目标检测方法

陈 勇^{1,2}, 严高师¹, 余 锋²

(1.电子科技大学, 四川 成都 610054; 2.63891部队, 河南 洛阳 471003)

摘要:传统的形态学检测采用扁平结构元素,将红外目标作为孤立点处理,未考虑真实红外弱小目标的成像特征,针对这一问题,设计了基于环带结构的形态学红外目标检测方法,对传统的Top-Hat算法进行了改进,并利用真实的红外目标图像,对改进算法进行了仿真处理。处理结果表明,该算法与传统形态学方法相比,具有更好的复杂背景抑制作用。

关键词:环带结构;形态学;红外目标;Top-Hat算子

中图分类号:O434.12;TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-04-0045-04

Detection Method for Infrared Target Based on Morphology with Girdle Structure

CHEN Yong^{1,2}, YAN Gao-shi¹, YU Feng²

(1. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

2. 63891 Army Unit, Luoyang 471003, China)

Abstract: Flat structure factors are used in traditional morphology detection. In the process, infrared targets are regarded as isolated points without considering imaging characteristics of real, small and weak infrared targets. According to the problem, detection methods for infrared targets based on morphology with girdle structure are designed and traditional Top-Hat algorithm is improved. The improved algorithm is simulated by using real infrared target images. The results show that the algorithm has better suppression action in complex background comparing with traditional morphology methods.

Key words: girdle structure; morphology; infrared target; Top-Hat arithmetic

红外系统探测的空中目标所能显示的往往是几个像素组成的目标,无结构信息和形状信息^[1],加上背景复杂,目标的领域信噪比很小,对它的检测十分困难。国内外学者和研究人员进行了广泛而深入的研究,提出了许多有实际意义的检测算法。数学形态学以集合理论为基础,在数字图像分析中具有很大的优势。基于形态学的数字图像滤波不但可以有效地抑制背景杂波和噪声,还可以不丢失目标的信息^[2],受到研究者的青睐。在对图像进行形态学滤波的过程中,结构元素的选择是一个非常重要的环节,直接关系到处理结果。传统的形态学,一般采用扁平结构元素,但由于红外弱小目标成像并非理想的

几何点,而是一个具有一定面积的衍射斑,在目标和背景之间存在着灰度过渡区,将目标的八连通区域作为背景进行计算不太合理^[3]。为此针对红外弱小目标的成像特征,设计了一种环带的结构元素,使得在进行形态学滤波时,目标像点周围的邻域点不参与计算,更真实的感知背景信息,进行背景估计和目标检测。

1 灰度图像的形态学滤波基本原理

形态学处理图像的基本思想是^[4]:利用结构元素对信号进行“探测”,保留主要形状,删除不相干形状

(如噪声,毛刺)。其基本操作包括腐蚀运算和膨胀运算。

(1) 腐蚀运算

用结构元素函数 $b(x, y)$ 对输入图像函数 $f(x, y)$ 进行腐蚀运算可表示为 $(f \ominus b)(s, t)$, 定义为

$$(f \ominus b)(s, t) = \min \left\{ \begin{array}{l} f(s+x, t+y) - \\ b(x, y) \mid (s+x, t+y) \in D_f; x, y \in D_b \end{array} \right\} \quad (1)$$

式中, D_f 和 D_b 分别表示 $f(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 的定义域, x 和 y 必须在结构元素 $b(x, y)$ 的定义域之内, 而平移参数 $s+x$ 和 $t+y$ 要求在 $f(x, y)$ 的定义域内。式(1)很类似二维卷积运算, 只不过用最小运算代替了相关运算中的求和(或积分), 并以相减代替相关运算的乘积, 结构元素可看成卷积运算中的滤波窗口。

(2) 膨胀运算

灰度膨胀运算是灰度腐蚀运算的对偶运算, 用结构元素函数 $b(x, y)$ 对输入图像函数 $f(x, y)$ 进行膨胀运算可表示为 $f \oplus b$, 其定义为

$$(f \oplus b)(s, t) = \max \left\{ \begin{array}{l} f(s-x, t-y) + \\ b(x, y) \mid (s-x, t-y) \in D_f; x, y \in D_b \end{array} \right\} \quad (2)$$

式中, 与腐蚀运算相同, D_f 和 D_b 分别表示 $f(x, y)$ 和 $b(x, y)$ 的定义域, x 和 y 必须在结构元素 $b(x, y)$ 的定义域之内, 而平移参数 $s-x$ 和 $t-y$ 要求在 $f(x, y)$ 的定义域内。

从形态学的腐蚀和膨胀运算定义可以看出, 结构元素的选取对最终图像的处理结果至关重要。因为腐蚀运算是以结构元素 $f(x) - f(b)$ 的最小值为基础的, 而膨胀运算是以结构元素 $f(x) + f(b)$ 的最大值为基础。如果结构元素的值均为正, 腐蚀运算输出图像比输入图像暗, 而膨胀运算与之相反, 输出图像比输入图像亮; 如果输入图像的细节(腐蚀运算为亮细节, 膨胀运算为暗细节)的结构尺寸小于结构元素, 则其视觉效果会被削弱, 削弱的程度取决于结构元素的形状和幅值。

2 改进的形态学处理方法

经典的数学形态学一般采用扁平结构元素, 认为目标为一孤立像点, 与背景之间不存在过渡区域,

但实际红外弱小目标成像并非为一个理想的几何像点, 而是由光的衍射效应和像差形成的一个衍射斑, 表现为在目标位置呈现为一个“凸包”。在目标出现位置的八连通区域的灰度值介于目标与背景之间, 如图1所示。

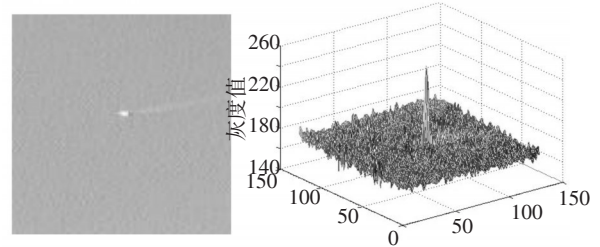


图1 红外目标灰度的空间分布图

把八连通区域划分为目标区域或者背景区域都不合理, 所以此时若采用传统的扁平结构元素, 将目标出现位置的八连通区域作为背景像素值参与运算, 没有充分考虑到形态学滤波应用于红外图像弱小目标检测的应用背景, 往往不能达到预期的检测结果。

针对经典形态学滤波应用于红外弱小目标检测的不足和缺陷, 对经典的形态学改进, 可以在形态学运算和结构元素选取两个方面^[5]进行, 文中主要是在结构元素选取上进行优化。考虑到红外弱小目标的成像特征, 设计一种环带的结构元素, 即这一结构元素由内外两部分组成: 内部结构元素 b_i 和外部结构元素 b_e , 满足 $b_i < b_e$, 则环带结构元素定义为

$$b = b_e - b_i \quad (3)$$

即相当于从外部结构元素覆盖区域中挖空内部结构元素覆盖区域, 余下的一个环带结构, 环带结构元素示意图如图2所示。其中像素点 X_0 为目标像素点。

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Y_{16}				Y_6
Y_{15}		X_0		Y_7
Y_{14}				Y_8
Y_{13}	Y_{12}	Y_{11}	Y_{10}	Y_9

图2 环带结构元素示意图

该种环带结构元素的优点在于: 选取参与计算的是外部的16个像素点值, 而对内部的8个像素点进行保护, 也即将目标与背景的过渡区域不参与计算, 从而充分考虑了红外弱小目标的成像特征。

利用优化的环带结构元素对整幅图像逐像素点进行改进的形态学腐蚀处理, 可以得到腐蚀后的图

像。然后选用扁平结构元素对所得到的腐蚀后图像进行传统的膨胀操作,恢复腐蚀操作造成的灰度平移和定义域的缩小。

$$I_1 = ((I \ominus b) \oplus A)(x) \quad (4)$$

将式(3)代入式(4),根据形态学运算的性质可以得到

$$I_1 = ((I \ominus b_e) \oplus A \cap (I \ominus b_i^c) \oplus A)(x) \quad (5)$$

式中, $b_i^c = -b_i$, 为 b_i 的补集。根据式(5),利用改进的形态学方法对图像进行处理时,可以分别对内、外环的结构元素进行处理,取交集得到。

Top-Hat算子具有高通滤波器的特点,可以检测出图像中的峰,从而可用于检测空中背景下的红外弱小目标,传统的Top-Hat算子^[4]定义为

$$TH_{F,b}(x) = (F - F \circ B)(x) = (F - (F \ominus B) \oplus B)(x) \quad (6)$$

利用改进的环带结构元素,对Top-Hat形态学算子进行修正可以得到

$$TH_{I,b}(x) = I(x) - I_1(x) = (I - (I \ominus b) \oplus A)(x) \quad (7)$$

3 计算仿真及结果分析

根据结构元素选取的相似性原则^[6],对弱小目标红外图像背景估计选择内外环均为圆形的结构元素,针对实验红外图像进行形态学处理,得到如图3所示的处理结果。

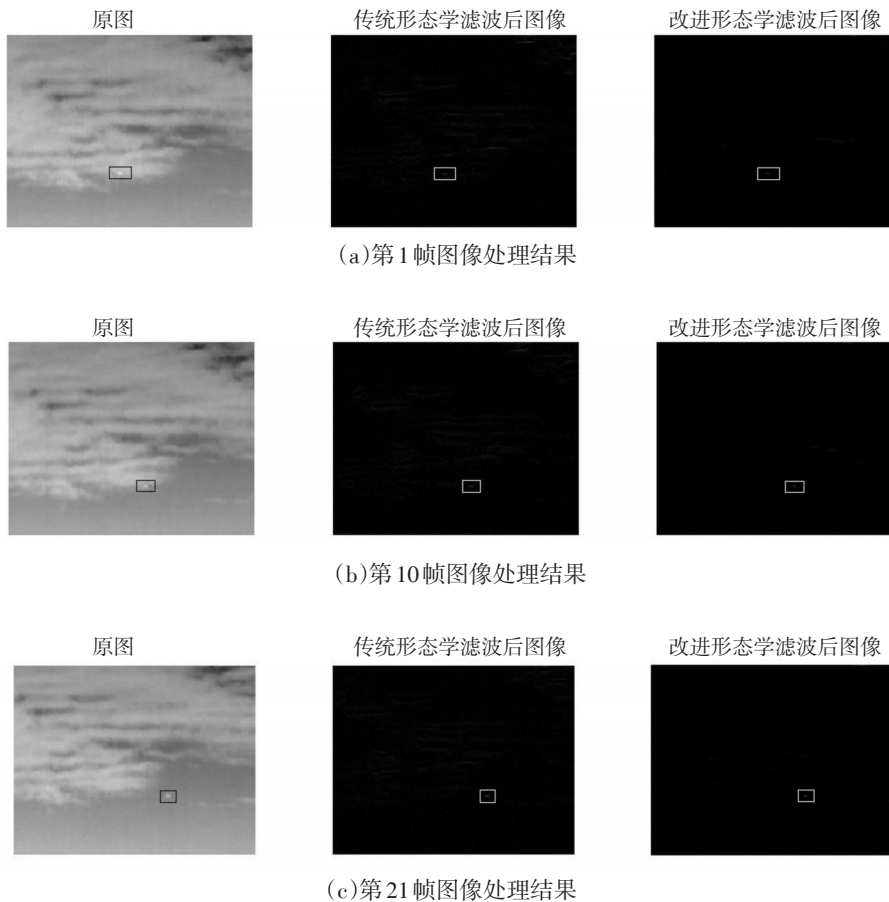


图3 红外图像处理结果

图3中左边第一列为截取的视频原图像,第二列为采用传统形态学方法处理的结果,第三列为环带形态学方法处理结果,图3中的方框为目标位置。实验结果表明,形态学方法可以有效地滤除背景,经过处理目标得到明显增强,与传统形态学方法相比,文

中设计的环带结构元素的形态学红外目标处理方法具有更好的背景杂波抑制效果。

为了定量评价处理结果,利用图像的信噪比进行比较。图像信噪比^[7]定义为

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{I_t - I_b}{\sigma} \right) \quad (8)$$

式中, I_t 为目标点灰度, 计算中取该点附近 10×10 邻域范围内的灰度最大值作为目标点的灰度值。 I_b 为背景灰度, σ 为噪声的标准差。

利用式(8), 对图3中的各红外图像的信噪比进行计算, 结果如表1所示。

表1 图像信噪比较

图像	信噪比		
	原图	传统形态学方法	文中形态学方法
图3a	3.0	6.0	7.0
图3b	3.0	10.0	11.8
图3c	3.0	12.0	15.1

表1中给出的结果表明, 图像经过文中算法的处理后可以获得较大的信噪比, 再次证明了所提出的环带结构形态学处理方法比传统形态学方法在背景杂波抑制方面更为有效, 可为后续的目标检测提供保证。

4 结束语

文中在分析红外弱小目标成像特征和几何形态学原理的基础上, 设计了基于环带结构的形态学红

外目标检测方法, 对传统的Top-Hat算法进行了改进, 提高了复杂背景杂波的抑制效果, 基于真实红外图像的处理结果验证了本方法的有效性。但文中算法针对的是单帧红外图像, 未考虑目标的临近飞行所带来的目标成像区域增大问题, 需要进一步考虑随目标面积变化的结构元素尺度的大小自适应性问题。

参考文献

- [1] Cafer C E, Silveanna J, Mooney J M. Optimization of point target tracking filters[J]. IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, 2008, 36(1):15-25.
- [2] 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.
- [3] 朱金标. 低信噪比红外图像弱小目标检测研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [4] 徐杰. 数字图像处理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2009.
- [5] 蔡阳, 林再平, 周一宇. 基于形态学滤波的红外弱小目标背景抑制[J]. 电子信息对抗技术, 2012, 27(6):38-41.
- [6] 孙新德, 方桂珍, 李玲玲, 等. 联合形态滤波和MRF模型的红外弱小目标检测[J]. 计算机工程, 2012, 38(14):153-156.
- [7] 王学伟, 王春歆, 张玉叶. 点目标图像信噪比计算方法[J]. 电光与控制, 2010, 17(1):18-21.
- [8] 曹俊诚. 太赫兹辐射源与探测器研究进展[J]. 功能材料与器件学报, 2003(2):111-117.
- [9] 李雅卓, 李向军, 洪治. 基于太赫兹时域光谱的半导体材料参数测量[J]. 半导体技术, 2008(12):1074-1077.
- [10] Ebbesen T W, Lezec H J, Ghaemi H F, et al. Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays[J]. Nature, 1998, 391(6668): 667-669.
- [11] Hsieh C F, Lai Y C, Pan R P, et al. Polarizing terahertz waves with nomadic liquid crystals [J]. Opt. Lett., 2008, 33(1): 1174-1176.
- [12] Awasthi S K, Srivastava A, Maaviya U, et al. Wide-angle broadband plate polarizer in Terahertz frequency region[J]. Solid State Commun., 2008, 146(11): 506-509.
- [13] Yamada I, Takano K, Hangyo M, et al. Terahertz wire grid polarizes with micrometer pitch Al gratings [J]. Opt. Lett., 2009, 34(3): 274-276.
- [14] Sun L, Lv Z H, Wu W, et al. Double grating polarizer for Terahertz radiation with high extinction ratio [J]. Appl. Opt., 2010, 49(10): 2066-2071.
- [15] J W Yao, C Y Zhang, H Y Liu, et al. High spatial frequency periodic structures induced on metal surface by femtosecond laser pulses [J]. Opt. Express, 2012, 20 (2): 905-911.
- [16] Ruan Z, Qiu M. Enhanced transmission through periodic arrays of subwavelength holes: the role of localized waveguide resonances[J]. Phys. Rev. Lett., 2006, 96 (23): 233901-4.

(上接第36页)