

数学形态学在紫外目标检测中的应用

赵玉环¹, 王 勤¹, 张利伟¹, 闫 丰²

ZHAO Yu-huan¹, WANG Qin¹, ZHANG Li-wei¹, YAN Feng²

1. 河南理工大学 物理化学学院, 河南 焦作 454000

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

1. School of Physics and Chemistry, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

E-mail: yhz0505@163.com

ZHAO Yu-huan, WANG Qin, ZHANG Li-wei et al. Mathematical morphology application in real-time detection of target in solar blind ultraviolet image. Computer Engineering and Applications 2009 45(29) 220-222.

Abstract: The ultraviolet technology in China is developed lately and a little research news about ultraviolet image processing is reported. According to recent research, small target detecting in the solar blind ultraviolet image of the ultraviolet imaging and detecting system is studied deeply. Based on the mathematical morphology and image difference, a method for target extraction of the solar blind ultraviolet image is presented. Firstly, the noise of original image is suppressed by open processing. Then the image sequences are simulated by absolute difference of adaptive threshold for detecting latent target. Results of simulated experiment demonstrate that the method can not only suppress the disturbance by the background and noise but also effectively detect the small target of the solar ultraviolet image.

Key words: ultraviolet image; morphology; difference image; target detection

摘 要: 由于我国的紫外成像探测技术起步较晚、技术较为落后, 有关紫外图像处理方面的研究报道很少。在以往相关研究工作的基础上, 针对紫外成像探测系统的日盲紫外小目标图像序列, 设计了一种基于数学形态学和图像差分相结合的空间小目标提取方法。首先对原始图像进行灰度形态开运算处理, 以减弱噪声和突出目标, 然后采用自适应阈值算法对图像序列进行绝对差分运算; 从而检测出潜在的目标。实验表明, 该算法既能去除背景和噪声干扰, 又可有效地检测出图像中的小目标。

关键词: 紫外图像; 形态学; 差分图像; 目标检测

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.29.066 **文章编号:** 1002-8331(2009)29-0220-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.41

1 引言

早在 20 世纪 60 年代国外就已经对紫外辐射理论进行了大量的研究, 掌握了紫外波段的大气传输特性, 开发了大气传输计算程序。而 20 世纪 80 年代末, 紫外技术的研究取得了突破性进展, 从非成像型发展到成像型, 紫外探测成像技术^[1]在各个领域得到了较为广泛的应用。在战略战防方面主要有紫外告警系统、紫外火控目标瞄准系统等; 在民用领域的一个重要应用就是检测和定位电晕放电^[2]。都是利用对“日盲区”的紫外目标特点而进行目标检测的^[3]。因为“日盲区”内的太阳光等紫外辐射的能量极其有限, 如果出现目标的“日盲区”紫外辐射, 那么就能在微弱的背景下检测出紫外信号。

所谓目标检测, 即读入图像, 去噪, 分割, 提取目标的整个过程。而检测的目的是从背景中分割出潜在的目标, 实时、可靠地检测出威胁目标对于紫外成像探测系统的作用是不言而喻的。目前

对于运动点目标的检测常通过两步进行: (1) 对单帧图像进行预处理, 使背景得到抑制, 找到候选目标点; (2) 利用这些为数不多的候选目标点进行图像序列分析, 根据目标像素在图像序列中运动的连续性和轨迹的一致性原则, 采用目前许多成熟的算法, 例如光流法、动态规划法、差分法等, 剔除虚假点, 筛选出真正的目标点。为了减少序列检测中潜在目标点的数目, 要求单帧检测虚警点尽可能少, 且计算简单。因此, 单帧图像的检测是基础, 至关重要。

紫外探测成像技术虽已比较成熟, 但“日盲区”紫外成像探测系统中目标检测的算法相关文献比较少。因此, 鉴于对“日盲”紫外图像特点研究的基础^[4]以及数学形态学在红外目标检测中的应用^[5-6], 又探讨和研究了基于数学形态学的紫外目标检测。

2 目标检测算法总框图

目标检测的目的就是从噪声干扰中检测出潜在目标, 因此

基金项目: 河南理工大学博士基金资助项目(No.2009-92)。

作者简介: 赵玉环(1980-), 女, 讲师, 博士, 主研方向为紫外信息的处理; 王勤(1979-), 女, 讲师, 博士, 主研方向为现代光学测量技术; 张利伟(1979-), 男, 讲师, 博士, 主研方向为光与物质的相互作用、光子晶体; 闫丰(1977-), 男, 副研究员, 博士, 主研方向为紫外信息的融合。

收稿日期: 2009-04-15 修回日期: 2009-05-19

首先对紫外序列图像进行适当地预处理,然后采用形态学开运算滤波处理,以去除噪声和干扰。接下来,对连续相邻的两帧图像进行绝对差分以获得差分图像。最后,进行自适应阈值计算,阈值选择对后续处理有重要影响。阈值过高,可能丢失真正的目标信息,阈值过低,将造成较高的虚惊率。根据紫外图像的特点,采用了自适应阈值法对差分图像进行分割,获得了目标的运动信息,从而检测出紫外目标。检测算法原理图如图1所示。

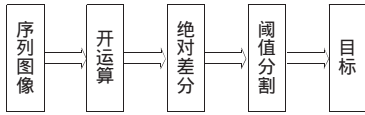


图1 检测算法原理图

3 数学形态学基础

数学形态学是一种基于集合论的图像处理方法,其基本思想是利用一个结构元素(structuring element)作为探针去探测图像,从中提取出需要的信息,从而达到图像分析的目的。灰度形态学是数学形态学的一个分支,它将处理对象由集合拓展为函数,保留了大量的灰度信息。其基本运算包括膨胀、腐蚀、开闭运算等。设 $f(x, y)$ 是输入图像, $b(x, y)$ 是结构元素, Z 表示实整数的集合, $\{x, y\}$ 是来自 $Z \times Z$ 的整数。

3.1 腐蚀

用结构元素 b 对灰度图像 f 的腐蚀运算定义为 $f \ominus b$,用公式表示为:

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x, t+y) \in D_f, (x, y) \in D_b\} \quad (1)$$

式(1)中, D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。因为腐蚀运算是在结构元素定义的邻域中选择 $f-b$ 的最小值,故在比结构元素小的区域中的明亮细节将被减少或去除,减少或去除的程度将取决于所选结构元素的值和形状。总体上,腐蚀运算可以去除图像中的孤立噪声点和边界上的微小突起,同时会使输出图像趋向比输入图像暗。

3.2 膨胀

用结构元素 b 对灰度图像 f 的膨胀运算定义为 $f \oplus b$,用公式表示为:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x, t-y) \in D_f, (x, y) \in D_b\} \quad (2)$$

式(2)中, D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域。由于膨胀运算是在结构元素定义的邻域中选择 $f+b$ 的最大值,故在比结构元素小的区域中的黑色细节将被减少或去除,减少或去除的程度同样取决于所选结构元素的值和形状。膨胀运算的结果是,填补空洞,并填平边界上不平滑的凹坑部分。同时,膨胀运算会使输出图像趋向比输入图像亮。

3.3 开运算和闭运算

在基本的形态学操作中,腐蚀和膨胀运算很少单独使用,一般是将二者结合,从而得到开运算和闭运算。因为开运算和闭运算对所保留和去除特征的灰度值影响很小,故它们可用于对几何特征的定量研究^[7]。

结构元素 b 对灰度图像 f 作开运算的定义为:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (3)$$

由式(3)可知,开运算是先用结构元素 b 对图像 f 进行简单的腐蚀操作,而后用 b 对得到的结果进行膨胀操作。对一幅图像进行开运算可消除图中的孤岛或尖峰等过亮的点。

类似的结构元素 b 对图像 f 作闭运算定义为:

$$f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (4)$$

由式(4)可知,闭运算是先用结构元素 b 对图像 f 进行简单的膨胀操作,而后用 b 对得到的结果进行腐蚀操作。闭运算能够填平目标上的小裂缝,选择合适的结构元素能够剔除图像中的暗噪声,同时保留较大的亮区特征不变。

这里,对灰度图像的开运算作一个简单的几何解释,如图2所示。假设一个灰度图像函数 $f(x, y)$,用球型结构元素 b 对 f 进行运算。图中(a)是把灰度图像简化为连续函数的剖面线;(b)为结构元素 b 对图像进行开运算处理;(c)为开运算处理结果,可以看到所有小于结构元素的波峰值,尖锐度都减小了。

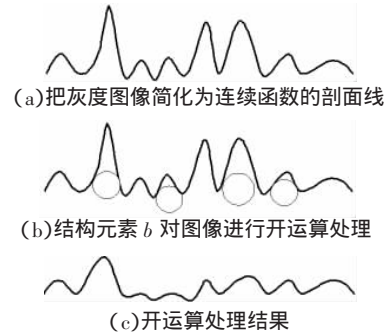


图2 开运算的几何解释

在实际应用过程中,开运算经常用于去除比结构元素小的图像噪声及干扰,保留图像灰度值和较大的背景,并且算法易于硬件实现。正是开运算的这个特性,使其十分适合“日盲”紫外图像的滤波和目标检测。因为待处理的紫外图像的噪声大多都较小,使用灰度形态开运算处理后的图像可以去除高亮点噪声,同时提高了目标和噪声的对比度,从而有利于后续目标检测与分割。数学形态学降噪的效果主要取决于两个因素即结构元素的大小和形状,小于结构元素的噪声基本上都被滤掉,较大的目标会被保留,并且得到膨胀。基于紫外目标为弥散圆斑的特点,使用圆形结构元素处理紫外图像的效果最佳。

4 图像差分和阈值分割

检测图像之间变化的最简单方法就是直接比较相邻两帧图像对应像素点的灰度值,图像差分法就是依靠判断相邻两帧图像之间的显著差异来检测运动的目标,是一种图像序列运动分析的基本方法。此算法硬件实现方便,处理实时性强。对于紫外凝视成像探测,探测系统是静止的,短时视场内的背景也是相对静止的,而目标却是连续运动的。在这样的条件下,对相邻两帧图像进行绝对差分,即可获得目标的运动信息,突出可能的候选目标。

设输入的图像序列为:

$$F = \{f_k(x, y) \mid x \in N, y \in M, k=1, 2, 3, \dots\} \quad (5)$$

式中, (x, y) 为二维视场 $(N \times M)$ 上一点的坐标, $f_k(x, y)$ 为第 k 帧图像中 (x, y) 点的灰度值, k 为图像序列帧号。

经相邻帧图像实时相减可得绝对差分图像序列 G :

$$G = \{g_k(x, y) \mid x \in N, y \in M, k=1, 2, 3, \dots\} \quad (6)$$

$$G_k(x, y) = \begin{cases} 255 & |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| \geq T \\ 0 & |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| < T \end{cases} \quad (7)$$

式中,阈值 T 的取值对结果的影响至关重要。这里采用自适应阈值分割法选择 T 的取值,公式表达如下:

$$T(k) = m(k) + \alpha \cdot \text{SNR} \cdot \sigma(k) \quad (8)$$

式中, $m(k)$ 为序列图像中第 k 帧的灰度均值, $\sigma(k)$ 为第 k 帧的

灰度标准差, SNR 为图像信噪比, α 为加权系数, 一般选择 0.6~0.9 能够取得较好的效果^[8]。

图像信噪比此处定义为图像的最大信噪比, 如公式(9)所示:

$$SNR = \frac{\max(k) - m(k)}{\sigma(k)} \quad (9)$$

式中 $\max(k)$ 为序列图像中第 k 帧的最大灰度值; $m(k)$ 为第 k 帧的灰度均值; $\sigma(k)$ 为第 k 帧的灰度标准差。

5 算法仿真

因目前国内对于“日盲”紫外成像探测技术的研究还只限于系统结构的介绍与分析, 而在“日盲”紫外图像处理方面的研究几乎为空白。因而可利用的紫外图像少之又少, 而且没有紫外小目标序列图像。究其原因主要如下: 一方面自然界几乎很少存在 280 nm 附近的紫外辐射源, 而实际采集远距离火箭尾焰等紫外目标图像无论在技术还是资金上都很难实现。鉴于此, 在应用光学国家重点实验室里, 利用紫外 ICCD 相机拍摄了 MCP 增益水平为 92% 的 720(H)×576(V) 像素的噪声序列图像。然后, 以此噪声图像序列为背景, 范围在 15×15 像素的仿真点目标以最大 1 像素/帧沿直线运动, 并把检测算法应用到目标图像序列中进行了算法的仿真。图 3 和图 4 分别为仿真点目标图像与点目标的三维示意图, 图 5 为含有目标的原始图像序列中的任意连续 4 幅图像, 图 6 是对预处理的图像序列进行开运算后的结果, 图 7 则是进行差分分和自适应阈值分割后, 目标检测的结果。



图 3 点目标图像

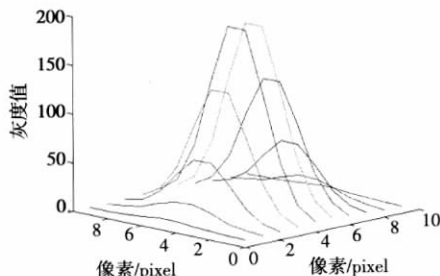


图 4 点目标的三维示意图

由仿真效果可知, 基于数学形态学的紫外目标检测算法有效抑制了紫外图像中的噪声, 提高了图像的信噪比, 增强了目标, 弱化了噪声。并能较好地检测出紫外运动目标, 稳定性好,



图 5 原始图像序列中的任意连续 4 幅图像

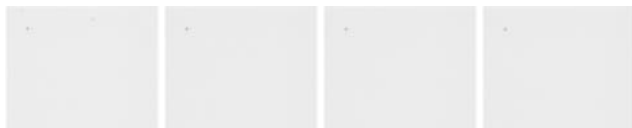


图 6 开运算处理的结果

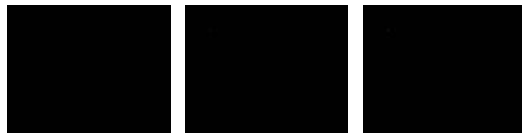


图 7 差分运算的结果

算法简单有效, 兼顾了紫外成像探测系统的实时性与可靠性要求。但同时也应看到, 该算法对紫外图像视频信息的利用还不够充分, 如果利用更多帧图像的信息, 则检测效果将会有进一步提高。

参考文献:

- [1] 腾鹤松. 紫外成像技术及其应用[J]. 光电子技术, 2001, 21(1): 294-297.
- [2] 隋晓杰, 宋守信. 高压输电线路电晕放电分析[J]. 电力建设, 2006, 27(3): 37-38.
- [3] 胡绍华, 冷锋, 卢峰. 紫外告警技术综述[J]. 舰船电子对抗, 2005, 28(1): 12-15.
- [4] 赵玉环, 闫丰, 于子江, 等. 日盲紫外图像的降噪[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(23): 77-79.
- [5] 汪洋, 郑亲波, 张钧屏. 基于数学形态学的红外图像小目标检测[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(1): 28-31.
- [6] 过润秋, 张颖, 林晓春. 基于形态滤波的红外小目标检测方法[J]. 激光与红外, 2005, 35(6): 451-453.
- [7] 董鸿燕, 李吉成, 沈振康. 基于形态滤波和顺序滤波的小目标检测[J]. 红外技术, 2004, 26(1): 21-24.
- [8] 赵玉环, 闫丰, 隋永新, 等. 紫外序列图像中目标的提取[J]. 光电工程, 2007, 34(11): 21-24.
- [9] Carlson G E, Halijak C A. Approximation of fractional capacitors $(1/s)^{1/n}$ by a regular Newton process[J]. IRE Trans Circuit Theory CT, 1964, 11(2): 210-213.
- [10] Diethelm K, Ford N J, Freed A D. A predictor-corrector approach for the numerical solution of fractional differential equations[J]. Nonli Dynam, 2002, 29(1-4): 3-22.
- [11] Diethelm K, Ford N J, Freed A D. Detailed error analysis for a fractional Adams method[J]. Numer Algo, 2004, 36(1): 31-52.
- [12] Lü J, Chen G, Yu X, et al. Design and analysis of multi-scroll chaotic attractors from saturated function series[J]. IEEE Trans on Circ & Syst I, 2004, 51(12): 2476-2490.
- [13] Matignon D. Stability results for fractional differential equations with applications to control processing[C]//Computational Engineering in Systems and Application Multiconference, Lille, France, 1996: 963-968.
- [14] 张成芬, 高金峰, 徐磊. 分数阶 Liu 系统与分数阶统一系统中的混沌现象及二者的异结构同步[J]. 物理学报, 2007, 56(9): 5124-5130.
- [15] Deng W H, Li C P. The evolution of chaotic dynamics for fractional unified system[J]. Phys Lett A, 2008, 372(4): 401-407.

(上接 204 页)

- [3] Lu J G. Chaotic dynamics of the fractional-order Lü system and its synchronization[J]. Phys Lett A, 2006, 354(4): 305-311.
- [4] Li C G, Chen G R. Chaos and hyperchaos in the fractional-order Rössler equations[J]. Phys A, 2004, 341(1): 55-61.
- [5] Tavazoei M S, Haeri M. Unreliability of frequency-domain approximation in recognizing chaos in fractional-order systems[J]. IET Signal Proc, 2007, 1(4): 171-181.
- [6] Lu J G, Chen G R. A note on the fractional order Chen system[J]. Chaos Soli & Frac, 2006, 27(3): 685-688.
- [7] Lu J G. Chaotic dynamics of the fractional order Lu system and its synchronization[J]. Phys Lett A, 2006, 354(4): 305-311.
- [8] Podlubny I. Fractional differential equations[M]. New York: Academic Press, 1999.
- [9] Carlson G E, Halijak C A. Approximation of fractional capacitors $(1/s)^{1/n}$ by a regular Newton process[J]. IRE Trans Circuit Theory CT, 1964, 11(2): 210-213.