

一种由粗到精的大视场弱小目标检测方法

田毅龙 周伟 王卫华 张银福

(国防科学技术大学 ATR 国家重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘要 大视场的红外图像,由于分辨率高,对图像实现像素级处理很难满足实时性要求。针对大视场特定背景下的低空目标,提出一种由粗到精的检测方法。先将图像分块,计算分块图像熵值,组成熵值矩阵进行熵值分割,区分背景区域,得到所需求的目标可能出现的区域,完成粗检测;然后用 Top-hat 形态滤波法对所得区域进行精检测,得到检测目标。实测数据证明,该方法能在检测弱小目标的同时大大减少计算量,较好地满足了大视场下弱小目标的实时检测、处理需求。

关键词 成像系统;红外图像;大视场;弱小目标;实时检测

中图分类号 TN219 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP50.011104

A Method of Dim and Small Target Detection in Large Field-of-View from Coarse to Fine

Tian Yilong Zhou Wei Wang Weihua Zhang Yinfu

(ATR National Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract Infrared image of large field-of-view (FOV) has high resolution, so it is very difficult to process the image in real time by pixel. In order to solve this problem, a method of detection from coarse to fine is put forward to detect the small flying target in a special low-altitude background. We divide image into pieces and compute the entropy, so that the entropy's segmentation can be performed, complete the background classification and acquire the target area, it's coarse detection. Then according to top-hat filtering, the dim and small target is detected. The experimental result shows that this method can detect the dim and small target in large FOV more efficiently and accomplish real-time detection.

Key words imaging systems; infrared image; large field-of-view; dim and small target; real-time detection

OCIS codes 110.3080; 120.1880

1 引言

红外成像具有很强的抗干扰能力、很高的探测灵敏度及空间分辨力,能探测远程小目标并鉴别跟踪多目标。如今,随着红外技术的提高和发展,目标的红外辐射强度和面积大幅减少,红外探测视场较以前大大增加,大视场红外成像探测系统因其能够 360°的全方位搜索目标而备受关注,弱小目标检测也因其实用性成为研究热点。然而,在大视场巨大数据量及弱小目标要求的探测灵敏度和精度下,硬件设备的更新已经远远不能满足目标检测的计算速度要求,在现有计算速度受限的硬件条件下,大视场下弱小目标的检测成为新的重点和难点^[1]。因此,探索和研究在大视场下如何更高效、准确、实时地检测与跟踪红外弱小目标,改进和推出新的理论势在必行。

目前国内外有关大视场弱小目标检测的报道文献甚少,国外已经逐步加大投资力度,国内也有相关研究单位展开研究,如中国船舶重工集团公司 717 所、中国科学院上海技术物理研究所、国防科学技术大学 ATR 国家重点实验室等都在针对特定背景大视场积极研制弱小目标探测系统。在算法上,现有的算法主要是针

收稿日期: 2012-08-03; 收到修改稿日期: 2012-10-10; 网络出版日期: 2012-11-27

基金项目: 十二五国防预研基金(51303080202-2)资助课题。

作者简介: 田毅龙(1988—),男,硕士研究生,主要从事红外目标探测方面的研究。E-mail: 359441525@qq.com

导师简介: 张银福(1953—),男,硕士,高级研究员,主要从事目标精确制导方面的研究。

对弱小目标检测的,应用较多的有小波变换法^[2]、形态学 Top-hat 滤波法^[3]和基于序列图像的能量累积法^[4]等。这些算法有一定适用性,但在大视场下有其局限性,大视场的数据量巨大、处理时间长是其关键所在。文献[5]中提出了一种根据能量阵变化的“由粗到精”的检测方法,但这种方法需要多幅样本,并且要求很高的灵敏度,可靠性不高。因此本文针对特定低空大视场背景,提出一种在图像分块的前提下,基于熵分割的由粗到精的检测方法。实测数据证明该方法能较好地实现低空大视场背景下弱小目标的实时检测。

2 图像分块下熵的分割

大视场图像由于图像大、分辨率高,在满足弱小目标要求的像素级处理条件时,难以满足数据处理的实时性要求。例如对于分辨率达到 288 pixel×12500 pixel 的图像,若整幅都像素级处理,则难以满足系统检测的实时需求。但如果对图像进行分块,在分成的小块图像中找出可能存在目标的那一小块,再对该小块图像进行弱小目标的精检测,那么可以大大节省计算资源,剔除不存在目标区域的冗余计算量,减少计算时间,实现目标检测的实时性。在这种思想的指导下,本文针对特定低空大视场背景,提出一种基于熵的分割方法,找出低空飞行目标可能存在的空域,排除复杂的地面背景区域,实现第一步的粗检测。

2.1 图像分块

图像分块在很多地方都有应用,其目的通常是减少计算量,方便下一步更精细的工作。分块的方法主要有两种:1)没有重叠区域的图像分块;2)有重叠区域的图像分块。

本文采用第二种分块方法,这是为了防止目标处于两个或三个相邻小块图像之间,造成检测不准、漏检和虚警等影响。由于弱小目标成像面积小,辐射强度弱,在图像中往往不超过 30 pixel×30 pixel,并且容易淹没在噪声干扰中,不易被检测出来,所以分块重叠区域要求超过 30 pixel。分块方法如图 1 所示。图中浅色区域为非重叠区域,深色区域为重叠区域,重叠区域要求大于 30 pixel,图像分块的边界线按照深色区域和浅色区域的组合边界线来划分。这样保证目标在某个分块的小块图像中,不至于漏检、误检等。

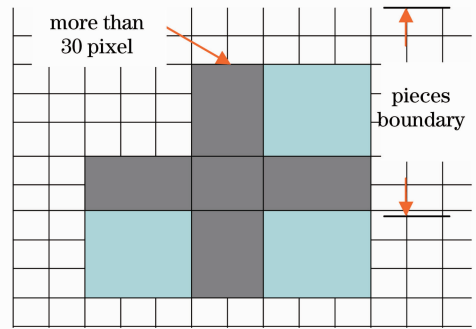


图 1 图像分块

Fig. 1 Image pieces divided

2.2 图像熵的分割

2.2.1 图像熵的表示

对于数字化的图像,每一个像素都处于一个灰度范围内,如 0~255;对于一幅图像,其复杂度则是对图像中灰度值分布情况及灰度值变化程度的反映,它体现了一片领域内图像灰度值的离散程度。

图像熵将图像的灰度信息及灰度分布特性结合在了一起,反映了图像的灰度信息分布及离散程度^{6~8}。对于红外图像,如果其背景越复杂,灰度值起伏越多,则图像的熵越大;相反,背景越平坦,灰度值起伏越少,则图像熵越小。

设图像的灰度集合为 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$, 图像灰度概率为 (p_1, p_2, \dots, p_n) ; $N(\omega_i)$ 为灰度为 ω_i 的像素数, N_{sum} 为所有像素数,则有

$$p_i = \frac{N(\omega_i)}{N_{\text{sum}}}, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (2)$$

由此,图像熵用公式表示为

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \lg p_i. \quad (3)$$

2.2.2 图像熵的分割

通过上述图像分块的描述,将图像分成小块,用(3)式计算分块图像的熵值。如果该小块图像中背景复

杂,灰度分布起伏较多,那么该小块图像熵较大;如果背景简单,灰度分布平坦,那么该小块图像熵较小。根据这种规律,将熵值按照每小块图像在整个大视场图像的位置排列,组成一个二维矩阵,矩阵的元素为对应位置分块图像的熵,元素值为熵值,如图2所示。

为了实现图像弱小目标的粗检测,找出目标可能出现的感兴趣区域(ROI),将熵值组成的二维矩阵进行阈值分割。在这种特定的大视场低空背景下,天空区域较为干净平坦,地面区域则背景丰富多变,因此当某分块图像熵值大于阈值时,则该块图像背景复杂,灰度分布层次多,可判断为地面背景,飞行目标不会出现在该区域;若熵值小于阈值,则该小块图像的背景较为简单,灰度分布较为平坦,可判断为空域背景,飞行目标可能出现在该区域。这样,在精检测过程中可以有选择地进行检测,避免不必要的计算。

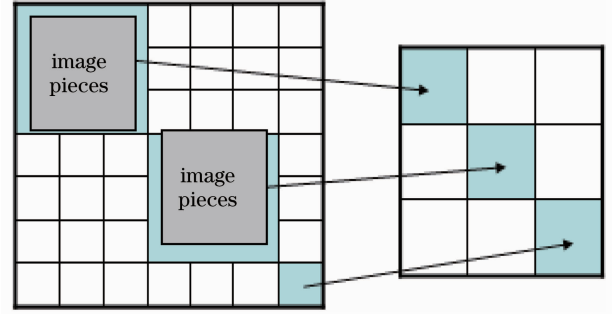


图2 熵值矩阵的形成

Fig. 2 Formation of the entropy's matrix

阈值求取方法为

$$T = u + kq, \quad (4)$$

式中 T 为熵的分割阈值, u 为分块图像的灰度均值, q 为该小块图像灰度均方差, 系数 k 通常取 $4 \sim 9$, 本文中取 6 。若分块图像熵值小于阈值, 则对该块小图像进行弱小目标精检测; 若大于阈值, 则排除该区域, 不进行精检测。

2.3 形态学滤波

经过上述粗检测后, 得到可进行精检测的区域。形态滤波背景抑制效果相对其他算法较好, 能有效抵抗背景边缘及噪声的干扰, 因此在此区域采用 Top-hat 形态滤波法^[9,10], 滤出弱小目标, 得到检测结果。在本文中, 由于弱小目标面积较小, 选取 $10 \text{ pixel} \times 10 \text{ pixel}$ 模板作为结构元素。其滤波过程如下。

形态学基本运算分为膨胀和腐蚀, 本文用结构元素 b 对分块图像 f 进行膨胀:

$$(f \otimes b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x), (t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}, \quad (5)$$

式中 \otimes 为膨胀, D_b, D_f 分别为 b 和 f 的定义域, 其形式与二维卷积相似, 结果用最大值代替了卷积求和, 用加法代替了卷积乘积。同样, 也用结构元素 b 对分块图像 f 进行腐蚀:

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}. \quad (6)$$

式中 \ominus 为腐蚀, 形态学组合运算具有较好的工程效果, 通过这两步基本运算组合, 对分块图像进行运算, 得到分块图像的背景估计:

$$f \circ b = (f \ominus b) \otimes b. \quad (7)$$

式中 \circ 为开运算, 再用原分块图像与背景估计差分, 得到背景抑制后的图像:

$$f_{\text{top}} = f - f \circ b. \quad (8)$$

这样背景被抑制, 目标得以增强。最后通过(4)式在局部模板范围内选取阈值, T 为阈值, u 为局部灰度均值, q 为局部方差, k 为系数, 通过多次试验, 在本文中取 4 , 这样对差值后图像进行阈值分割, 得到大视场下单帧检测的弱小目标。

3 实验结果分析

通过上节描述的算法过程, 对一组大视场弱小目标图像在 CPU 主频为 2.70 GHz 、内存为 1.96 GB 的电脑用 Matlab2008b 版软件仿真进行检测, 选取其中第 50 帧图像作为原图, 大小为 $280 \text{ pixel} \times 12500 \text{ pixel}$, 其中有一个弱小飞机目标。

用图像分块将其分成 $40 \text{ pixel} \times 100 \text{ pixel}$ 的小块图像, 为了防止漏检、虚警等, 对每块图像从右、下两个方向各拓展 30 pixel , 最右边和最左边分块图像不拓展, 计算每块小图像的熵, 得到 7×125 的二维熵值矩阵, 用(4)式计算熵值矩阵阈值, 对整个矩阵进行阈值分割, 得到可精检测的飞行目标空域, 再通过 Top-hat 滤波精检测, 得到检测目标。其实验结果如图3所示。根据熵值矩阵分割后图像可见, 熵值较大的地面背景区基本被提取

出来,黑色区域被判断为飞行目标可能出现的空域背景区。这样为后面只在可能空域进行的精检测提供了很好的基础,节省了计算资源。经过精检测的背景抑制后,只需通过在精检测区域的阈值分割便可检测出目标。

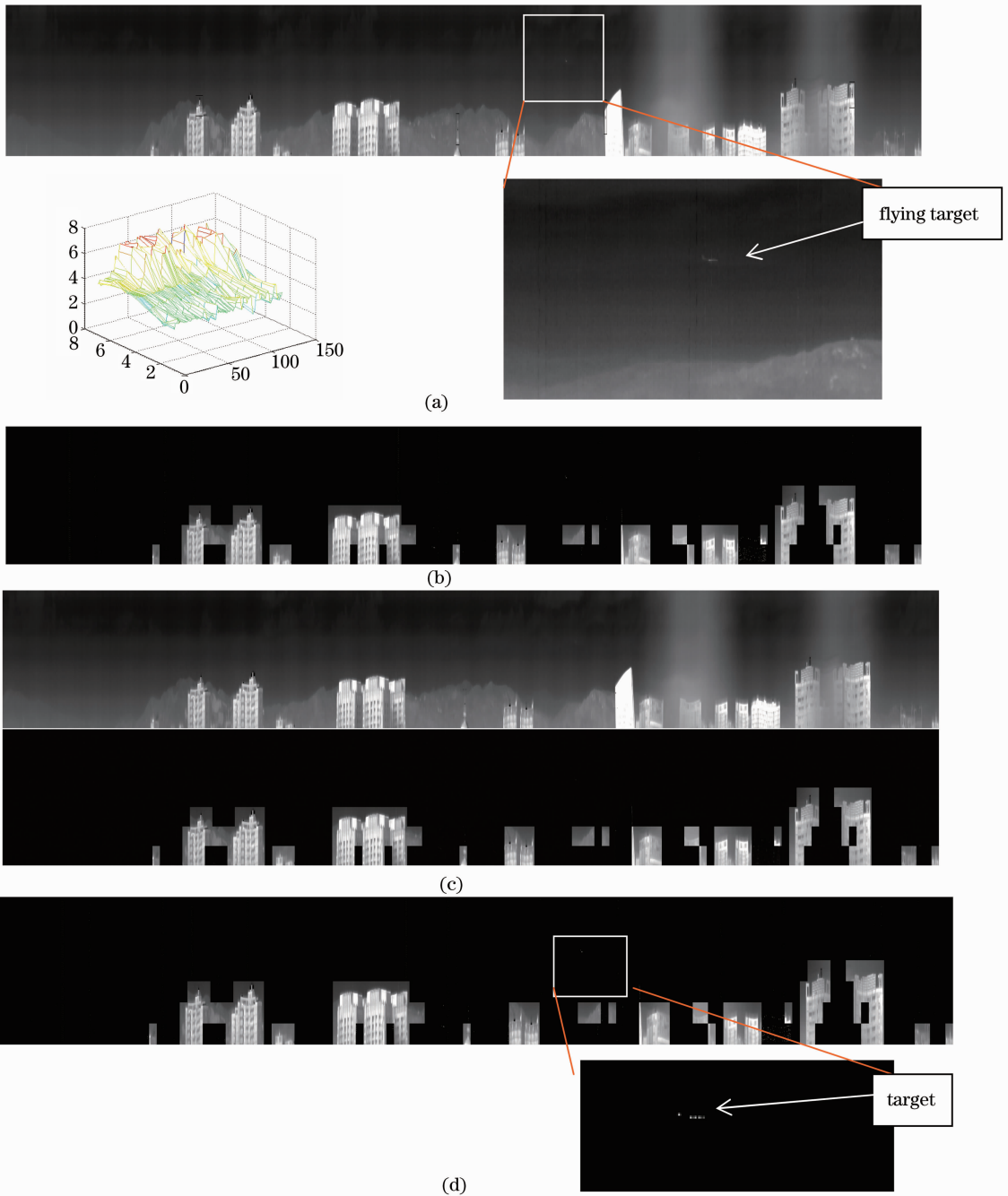


图 3 (a) 原图、分块熵值矩阵分布及小目标区域放大图;(b)熵值矩阵分割后图像;(c) Top-hat 滤波背景及熵值分割后背景抑制图像;(d)最终检测结果图及小目标区域检测结果放大图

Fig.3 (a) Original image, entropy's matrix and the amplified image of small target's area; (b) entropy's matrix segmentation image; (c) top-hat filtering background and the image with background suppressed after filtering; (d) finally detected image and amplified image of the small target's area

以上是用本文算法得出的检测结果。下面再用单一的形态滤波法对图像进行整幅检测处理,其结果如图 4 所示。

在检测效果上可以看出本文方法在目标检测上的优越性和准确性。下面再采用常用的局部概率法、形态滤波法以及本文方法对图像目标进行实时性检测。表 1 是三者在上述硬件条件下检测的实时性效果对比。



图4 纯形态学滤波背景抑制图及区域放大图、纯形态学滤波检测结果图及小目标区域检测结果放大图

Fig. 4 Image with background suppressed after pure top-hat filtering, detected result of filtering by pure morphological method and amplified images of small target's area

表1 三种算法检测实时性效果对比

Table 1 Real-time effect of detection by three methods

Detection method	Time for the 50th frame's	Time for the 60th frame's	Time for the 70th frame's
	detection /s	detection /s	detection /s
Local probability method	60.9562	63.3247	62.8978
Pure morphology method	52.2935	56.6652	55.7658
Method of this paper	25.8940	25.9871	23.8575

对比以上三种算法结果,可见本文算法不仅找出了飞行小目标可能出现的空域区域,较好地剔除了地面复杂背景对检测的干扰,降低了虚警率,同时节省了花在目标不可能出现区域的计算资源,检测速度提高50%,实时性得到较大增强,能较好地满足该特定大视场低空背景下弱小目标的实时检测需求。

4 结 论

红外大视场弱小目标检测技术的研究已成为红外目标探测领域研究的必然趋势。针对特定大视场低空背景的飞行目标,提出了一种由粗到精的检测方法,通过分块及阈值分割,找出了感兴趣的飞行空域,剔除了地面复杂背景的干扰,再通过 Top-hat 滤波法进行兴趣区域精检测,得到检测目标结果。该方法在一定程度上解决了大视场弱小目标检测的实时性需求问题,检测速度提升了50%。同时,该方法针对的是有地面景物背景的大视场低空目标,还可改进其自适应性,使其适用于不同环境。

参 考 文 献

- Zhou Jin, Wu Qinzhang. A real-time dim target detection algorithm in large field and deep sky[J]. *Optical Technique*, 2006, **32**(1): 134~140
周 进, 吴钦章. 深空大视场弱小目标的实时检测方法[J]. *光学技术*, 2006, **32**(1): 134~140
- Sun Guodong, Ji Shupeng, Zhou Zhen. Dim small IR sea target detection based on wavelet and context model[J]. *Infrared Technology*, 2010, **32**(2): 97~100
孙国栋, 吉书鹏, 周 桢. 基于小波和 Context 模型的海面红外弱小目标检测[J]. *红外技术*, 2010, **32**(2): 97~100
- Zhang Yigang, Cao Yang, Xiang Xuezhai. IR small target detection based on morphological top-hat filter[J]. *Computer Measurement & Control*, 2011, **19**(6): 1269~1272
张毅刚, 曹 阳, 项学智. 基于形态学 Top-hat 滤波的红外小目标检测[J]. *计算机测量与控制*, 2011, **19**(6): 1269~1272

- 4 Zeng Ming. Research on DLM Point Target Real-Time Detection in Complicated Background[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2006
曾 明. 复杂背景条件下红外弱小点目标实时检测技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006
- 5 Yang Lei, Yang Jie, Ling Jianguo. Real-time method for detecting multi-small targets in infrared large sight field[J]. *Infrared Millim. Waves.*, 2006, **25**(5): 377~381
杨 磊, 杨 杰, 凌建国. 一种红外大视场环境下的多小目标实时检测方法红外[J]. 红外与毫米波学报, 2006, **25**(5): 377~381
- 6 Qin Jian, Chen Qian, Qian Weixian. A detection algorithm for dim and small infrared target based on the classification of the background[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, **38**(1): 24~33
秦 剑, 陈 钱, 钱惟贤. 基于背景分类的弱小目标检测算法[J]. 光电工程, 2011, **38**(1): 24~33
- 7 Gao Xin, Wang Jianli, Tang Jia. Mobile telescope with large FOV for searching and tracking low-orbit micro-satellites and space debris [J]. *Chinese Optics*, 2011, **4**(2): 124~128
高 昕, 王建立, 唐 嘉. 低轨微小卫星及小碎片搜索/跟踪机动式大视场光电望远镜[J]. 中国光学, 2011, **4**(2): 124~128
- 8 Guihua Peng, He Chen. Infrared small target detection under complex background [C]. ICTM 2010, 2010, 218~220
- 9 Li Zhenzhen, Wei Honggang. The algorithm of star extraction based on mathematical morphology in the bright-background [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, **38**(2): 23~27
李真真, 魏宏刚. 亮背景下形态学星点目标提取算法[J]. 光电工程, 2011, **38**(2): 23~27
- 10 Feng Qu. Design of real-time small target detection system for infrared image based on FPGA [C]. 2010 International Conference on Optics Photonics and Energy Engineering, 2010, **1**: 9~13