

文章编号:1004-4213(2011)05-0764-5

一种利用十字窗口识别红外弱小目标的新方法

万明^{1,2}, 张凤鸣¹, 雷洪利¹, 糕真福¹

(1 空军工程大学 工程学院, 西安 710038)

(2 沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)

摘 要:为有效地识别红外图像中的弱小目标,在分析传统识别方法的基础上,提出了一种利用十字窗口识别红外弱小目标的新方法.该方法在待识别点上、下、左、右四个方向以目标大小选取四个参考点构造十字形识别窗口,根据待识别点与参考点之间的灰度梯度识别该像素点是否为目标像素.该方法无需预测背景,可以在低信噪比、强度变化剧烈的图像中获得较高的识别率与较低的虚警率.实验结果表明了该算法的有效性.

关键词:十字窗口;目标识别;红外弱小目标

中图分类号:TP75

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114005.0764

0 引言

复杂背景下的红外弱小目标识别是红外搜索与跟踪系统设计的关键技术之一.红外弱小目标具有信噪比低、目标像素少、缺乏结构纹理特征、易受杂波干扰等特点.红外目标通常孤立于背景,在灰度分布上表现出奇异性,其识别从图像分析的观点看是判断图像中的孤立奇异点.目前,针对红外弱小目标识别,国内外众多学者提出了许多有实际意义的识别算法,如针对单帧图像的 Top-Hat 滤波算法^[1]、小波变换算法^[2]、行均值相减算法^[3]、二维最小均方滤波器算法^[4]等,以及针对图像序列的最小一乘算法^[5]、非参量统计算法^[6]、Power-Law 检测器算法^[7]、粒子滤波算法^[8]等.然而许多算法或者对目标或背景有特殊要求,或者在计算量方面有待改善才能满足实际工程应用的可靠性、实时性需求.

本文提出了一种简单实用的识别方法.该方法以目标像素和背景像素的灰度差为基础,通过十字形识别窗口构造目标像素点识别算法.这种方法构造简单、计算量小,同时又可在强度变化剧烈的背景下有效识别目标.

1 红外图像中的弱小目标识别

红外弱小目标是指与背景灰度对比度较低,且几何尺寸较小的目标.红外图像中弱小运动目标在

成像面上可能只有一个或几个像素的大小,通常认为不大于 6×6 个 pixel^2 ,或总像素个数不超过 30 个^[9].目标的几何尺寸小到无法提取任何形状信息,通常只是一个亮点或亮斑.

红外图像可以认为是由目标、背景和噪声三要素组成,即

$$f(x, y, n) = f_B(x, y, n) + f_T(x, y, n) + f_N(x, y, n) \quad (1)$$

式中: $f_B(x, y, n)$ 、 $f_T(x, y, n)$ 、 $f_N(x, y, n)$ 分别表示背景、目标和噪声; (x, y) 表示像素点坐标; n 为图像帧序号.

从式(1)可以看出,要从红外图像中提取目标像素,必须消除背景及噪声的影响.

1.1 背景预测或消除

红外图像的背景通常认为在空域上具有相关性,在时域上具有稳定性,在频域上占据图像的低频部分.而目标通常认为在空域上与背景无关,且在频域上占据图像的高频部分.基于以上认知,可以从图像中直接滤除背景,也可先预测背景,再通过计算残差图像消除背景.

对于前一类方法,可以采用多种滤波器消除背景.目前已提出了多种算法,常用的算法有中值滤波、形态学滤波、高通滤波等.中值滤波算法具有边缘保护特性,并可有效滤除高频噪声,但易使图像模糊,降低图像的对比度;形态学滤波算法也可有效滤

第一作者:万明(1979—),男,讲师,博士,主要研究方向为数字信号处理、目标识别与跟踪. Email: afwanming@163.com

收稿日期:2010-12-08;修回日期:2011-02-25

除图像的高频噪声,凸显图像的“奇异点”,但是结构元素的选取相对比较复杂,普适性不高;高通滤波器可以使图像及目标边缘锐化,通过改变局部比例来扩大对比度,有利于后续的目标轨迹搜索^[1],但锐化的图像边缘会影响最终目标的识别,造成虚警率较高,同时会造成目标中心像素点的丢失。

背景预测方法又分为两类:一类是利用单帧图像的空域相关性进行预测;另一种则利用图像帧序列的时域相关性进行预测。

对于单帧图像,一般做法是使用一个预测窗扫描整幅图像,即

$$f_B(x, y, n) = \sum_i \sum_j \omega(i, j) f(x+i, y+j, n) \quad (2)$$

式中: $\omega(i, j)$ 为预测窗各像素点的值,预测窗一般选择为圆形或正方形。例如对于边长为 $N(\geq 3)$ 的奇数的正方形预测窗,可采用最简单的方式^[10]

$$\omega(i, j) = (N \times N)^{-1} \quad (3)$$

或者

$$\omega(i, j) = \frac{\sqrt{i^2 + j^2}}{\sum_{i=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \sum_{j=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \sqrt{i^2 + j^2}} \quad (4)$$

利用图像帧序列时域相关性的背景预测算法一般仅适用于凝视系统,此时认为相邻图像的背景变化较小,前一帧图像即为下一帧图像的背景,即

$$f_B(x, y, n) = f(x, y, n-1) \quad (5)$$

这种背景预测算法可消除大部分图像背景,对于图像中的建筑物等固定物体具有较好的滤除作用,但是对于云层等移动物体的边缘难以消除。同时,当目标在成像图中移动较小或不变时,将造成目标像素点的部分甚至是完全丢失。

1.2 噪声消除

消除了背景的影响,剩下的工作只需要进一步消除噪声的影响。一般认为主要的噪声分量来源于红外热像仪本身,且服从高斯分布^[11]。设消除背景后的残差图像为

$$f_D(x, y, n) = f(x, y, n) - f_B(x, y, n) \quad (6)$$

则可采用阈值分割方法区分噪声和目标:

$$f_R(x, y, n) = \begin{cases} 1, & f_D(x, y, n) \geq Th \\ 0, & f_D(x, y, n) < Th \end{cases} \quad (7)$$

式中: $f_R(x, y, n)$ 表示二值化的目标识别结果图像;Th为分割阈值,通常采用图像的均值和标准差来构造自适应阈值,即

$$Th = I_n + K\sigma_n \quad (8)$$

式中: I_n 为图像 $f_D(x, y, n)$ 的均值; σ_n 为标准差,可以在使用前对其值进行标定,或采用自适应方法从图像 $f_D(x, y, n)$ 计算得出; K 为常量,可根据经验确定。 K 的值越小,目标识别率越高但虚警率也

高,反之则虚警率和识别率越低。由概率论基本知识,高斯随机变量主要分布在以均值为中心的 3σ 范围内。因此,通常取 $K \geq 3$,此时可滤除绝大部分图像噪声。

2 十字梯度弱小目标识别算法

经典的基于背景的弱小目标识别算法中,有的需要用滤波器扫描整幅图像,有的需要先预测背景再计算残差图像,有的需要计算整幅图像的均值和标准差,其计算量均较大,限制了目标识别的处理速度;有的算法在消除背景的同时,也会造成目标像素点的部分丢失;有的算法在预测背景过程中,不仅突出了目标像素,同时也突出了背景像素,造成较高的虚警率。本文给出一种简单、快速、实用的基于十字识别窗口的弱小目标识别算法,能够克服以上问题,同时获得较好的识别效果。

2.1 基本原理

算法的基本原理是:对于红外图像中可识别的弱小目标,其灰度值与目标周围局部背景的灰度值具有显著差别,若当前像素点与周围像素点之间的梯度值均较大,说明该像素点为图像中的“奇异点”,则可认为该像素点为目标像素点,反之则认为是背景像素点。

2.2 检测算法

根据算法的基本原理,可构造如图1所示的十字形识别窗口,其中: C 为当前要识别的像素点; U 、 D 、 L 、 R 分别为十字窗口的上、下、左、右顶点; M 为当前像素点与十字顶端像素点之间的距离,四个方向距离相同。

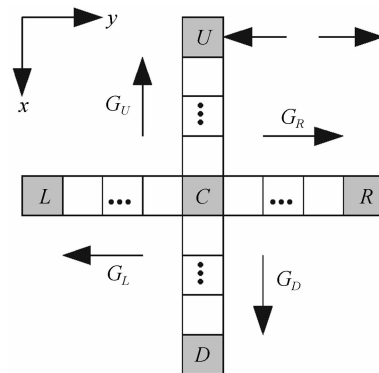


图1 十字目标识别窗口

Fig. 1 Cross window for target detection

记四个方向上的梯度值为

$$G_U = f(x, y, n) - f(x - M, y, n)$$

$$G_D = f(x, y, n) - f(x + M, y, n)$$

$$G_L = f(x, y, n) - f(x, y - M, n)$$

$$G_R = f(x, y, n) - f(x, y + M, n) \quad (9)$$

对于红外图像中的弱小目标,其背景通常包括

云、山、海面、船只、建筑物等. 这些背景在红外图像中通常占据较多的像素, 其成像面远大于目标的成像面. 因此, 可以从上、下、左、右四个方向上, 以略大于目标像素宽度的跨度(对应于 M 的值, 根据红外弱小目标像素值不大于 6×6 的定义, 可取 $M = 6$) 检测图像灰度值的变化梯度.

此时可能出现四种情况:

1) 若 G_U, G_D, G_L, G_R 至少有一个为负值, 说明 C 点像素灰度小于某个方向上的灰度, 可认为该像素点为背景点;

2) 若 G_U, G_D, G_L, G_R 均为正值且较小, 说明 C 点是图像中的突点但突起的幅度较小, 此时可认为 C 点及 U, D, L, R 属于同一个背景物体, C 也可认作背景像素;

3) 若 G_U, G_D, G_L, G_R 均为正值且至少有一个较大而其余较小, 则可认为 C 点处于某较大背景物体的边缘, 或接近边缘, 此时 C 也被认作背景像素;

4) 若 G_U, G_D, G_L, G_R 均为正值且均较大, 说明 C 点是图像中的突点且突起的幅度较大, 此时可认为该点为目标像素点.

根据以上判断, 可构造目标像素点提取算法

$$f_R(x, y, n) = \begin{cases} 1, & \min\{G_U, G_D, G_L, G_R\} \geq Th \\ 0, & \min\{G_U, G_D, G_L, G_R\} < Th \end{cases} \quad (10)$$

式中: Th 为分割阈值, 对于 8 位灰度图像取值范围为 $0 \sim 255$. Th 值越小, 则目标目标识别率和虚警率越高; 反之则识别率和虚警率越低.

3 实验结果与分析

本文研究的实验图像为红外热像仪拍摄的尺寸为 $200 \times 300 \text{ pixel}^2$, 帧频为 24 Hz, 数据为 8 位的红外图像. 为说明本文算法的有效性, 后续实验将本文算法的实验结果与式(5)~(8)所对应的经典算法的实验结果作比较, 算法中图像像素值的取值范围均为 $0 \sim 255$.

图 2 为云层中的目标识别, 图中有 1 个目标. 其中图 2(a)为原始图像中的一帧, 可以看到图中碎云较多, 且云层与空背景之间的灰度变化较为强烈, 图中背景像素值范围为 $99 \sim 220$, 目标的最大像素值为 248. 如式(5)以前一帧图像作为预测背景识别目标, 如式(6)和(7)计算残差图像和分割结果, 图 2(b)为相邻两帧的残差图像, 图 2(c)为 $K=3$ 时自适应阈值分割的结果. 可以看到由于碎云移动的影响, 识别结果的虚警率较高. 图 2(d)为采用本文算法, 如式(9)和(10)($M=6, Th=25$)计算得到的目标像素, 可有效抑制和去除碎云移动的影响, 从而保证识别结果的准确性.

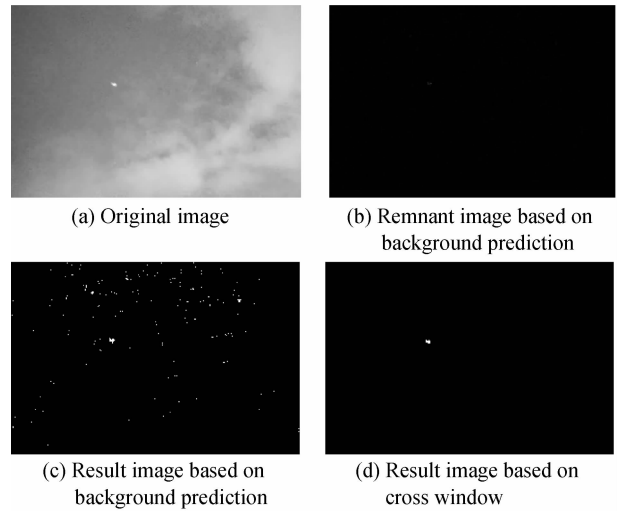


图 2 云层中的目标识别

Fig. 2 Target detection in the cloud background

图 3 为强背景环境中的目标识别, 图中有 4 个目标. 图 3(a)为原始图像中的一帧, 其背景为海面, 山和较多的船只, 图中背景像素值范围为 $32 \sim 173$, 4 个目标的最大像素值分别为 228、101、203、197. 采用相同的背景预测方法, 残差图像和识别结果分别如图 3(b)和(c), 可见残差图像中山、船只边缘的强度较高, 甚至超过了目标像素, 其边缘出现在了结果图上, 造成较高的虚警. 采用本文算法($M=6, Th=25$)结果如图 3(d), 对山和船只的强干扰可有效去除, 从而保证了识别结果的准确性.

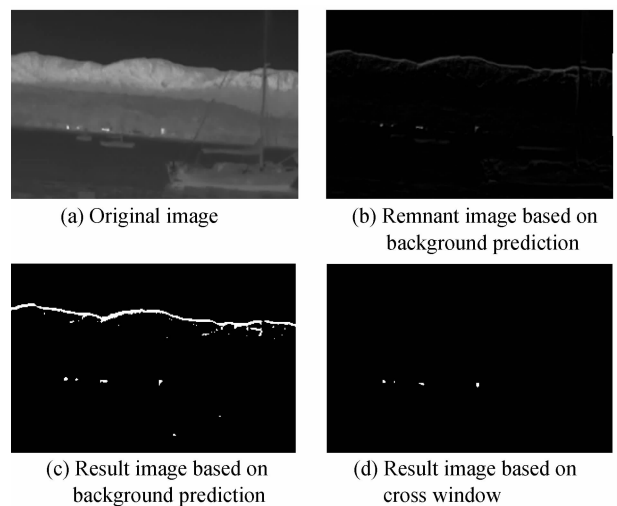


图 3 强背景环境中的目标识别

Fig. 3 Target detection in strong background

图 4 为海空复杂背景中的目标识别, 图中有 1 个空中目标. 图 4(a)为原始图像中的一帧, 图中背景像素值范围为 $32 \sim 182$, 目标的最大像素值为 111. 采用相同的背景预测方法, 残差图像和识别结果分别如图 4(b)和(c), 可见残差图像中船只边缘的强度较高, 甚至超过了目标, 其边缘出现在了结果图上. 采用本文方法结果如图 4(d), 准确识别出了

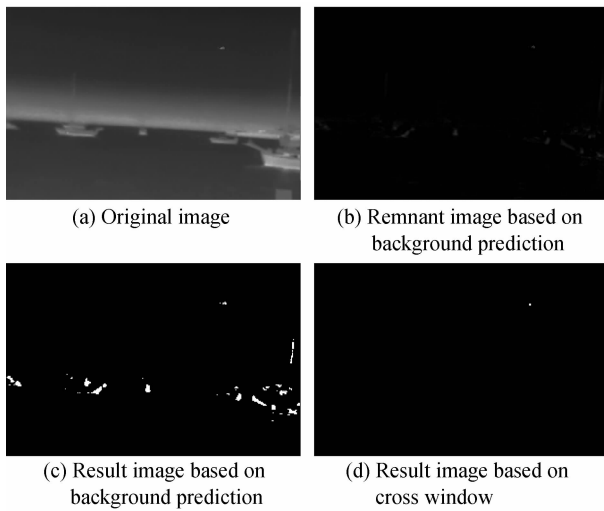


图4 海空复杂背景中的目标识别

Fig. 4 Target detection in the sea and the sky background weak small target.

4 结论

从目标与背景灰度值的空间无关性出发,利用目标与背景的像素差识别弱小目标是红外图像中弱小目标识别的有效方法.由于红外图像的背景有时是很复杂的,例如不同区域云层灰度的强烈变化、地面复杂背景以及人造物红外辐射的干扰等等,在这种情况下进行弱小目标的识别是较为困难的.

本文将红外弱小目标作为识别对象,同时所研究的红外目标为单极性的,即其灰度值高于周围背景,在这一前提下提出了一种在局部构造十字窗口的目标识别方法,能够有效解决复杂背景下弱小目标识别困难的问题,避免大区域缓慢背景的影响,在保证较高识别率的同时,有效解决了传统背景预测方法计算量大、虚警率高的问题,实验结果证实了这一点.

参考文献

- [1] SU Xiu-qin, LIANG Jin-feng, LU Tao, *et al.* IR target detection & tracking algorithm based on sea-sky background [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5): 1309-1312.
苏秀琴, 梁金峰, 陆陶, 等. 海天复杂背景下红外目标的检测跟踪算法[J]. *光子学报*, 2009, **38**(5): 1309-1312.
- [2] WANG Wen-long, HAN Bao-jun, ZHANG Hong-ping. A new algorithm of small target detection for infrared image in background of sea and sky[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(3): 725-728.

王文龙, 韩保君, 张红萍. 一种海空背景下红外弱小目标检测新算法[J]. *光子学报*, 2009, **38**(3): 725-728.

- [3] XU Kai-yu, FENG De-ying. A method for detecting small infrared targets in the sea or sky [J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2009, **30**(9): 996-1000.
许开宇, 冯德瀛. 海空背景下红外弱小目标检测方法[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2009, **30**(9): 996-1000.
- [4] CAO Yuan, YANG Jie, LIU Rui-ming. Detecting infrared small target by using TDLMS filter based on neighborhood analysis [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2009, **28**(3): 235-240.
曹原, 杨杰, 刘瑞明. 基于邻域分析 TDLMS 滤波器的红外弱小目标检测[J]. *红外与毫米波学报*, 2009, **28**(3): 235-240.
- [5] WU Yi-quan, WU Wen-yi, LUO Zi-juan. Infrared small target detection based on least absolute deviation and genetic algorithm [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2009, **31**(3): 575-578.
吴一全, 吴文怡, 罗子娟. 基于最小一乘和遗传算法的红外弱小目标检测[J]. *系统工程与电子技术*, 2009, **31**(3): 575-578.
- [6] GUO Wei, ZHAO Yi-gong, XIE Zhen-hua, *et al.* New method for cloud description and dim small infrared target detection based on nonparametric statistics [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2008, **27**(5): 383-388.
郭伟, 赵亦工, 谢振华, 等. 基于非参量统计的云层背景描述与红外弱小目标检测[J]. *红外与毫米波学报*, 2008, **27**(5): 383-388.
- [7] WU Bin, JI Hong-bing, GUO Hui. New detection algorithm for a small moving target in the infrared image [J]. *Journal of Xidian University*, 2009, **36**(1): 116-121.
武斌, 姬红兵, 郭辉. 一种新的红外弱小运动目标检测算法[J]. *西安电子科技大学学报*, 2009, **36**(1): 116-121.
- [8] YANG Jin, YANG Jie, WANG Fang-lin. An improved algorithm for multiple infrared targets tracking [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2009, **43**(3): 437-442.
杨进, 杨杰, 王芳林. 一种改进的红外多目标跟踪算法[J]. *上海交通大学学报*, 2009, **43**(3): 437-442.
- [9] WU Bin. Research on the detection of small and dim targets in infrared images [D]. Xi'an: Xidian University, 2008, **12**: 15-16.
武斌. 红外弱小目标检测技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008, **12**: 15-16.
- [10] XU Jun, XIANG Jian-hua, LIANG Chang-hong. Small target detection based on maximum background model in IR images [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(12): 1483-1486.
徐军, 向建华, 梁昌洪. 最大化背景模型用于检测红外图像中的弱小目标[J]. *光子学报*, 2002, **31**(12): 1483-1486.
- [11] RIED M J. *Optical design fundamentals for infrared systems* [M]. 2nd ed. Washington: SPIE Press, 2001.

A Novel Detection Method of Infrared Dim and Small Target Based on Cross Window

WAN Ming^{1,2}, ZHANG Feng-ming¹, LEI Hong-li¹, ZHUO Zhen-fu¹

(1 *Institute of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China*)

(2 *Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Shenyang 110035, China*)

Abstract: To detect dim and small target in infrared image, a novel method based on cross window was presented through analyzing traditional methods. The method constructed cross detection window with up, down, left and right reference points around candidate detected point according to the size of target. Based on the grads gradient between candidate detected point and reference points, the points belong to target can be identified. The method does not need background prediction, and achieves higher detection probability and lower false alarm probability in infrared image with low signal noise ratio and strong background. Experimental results show the validity of the method.

Key words: Cross window; Target detection; Infrared dim and small target