

文章编号:1007-2780(2012)05-0692-05

基于复杂度和方向梯度的红外弱小目标检测方法

王 田^{1,2}, 刘伟宁^{1*}, 孙海江¹, 韩广良¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: wt65060323@126.com;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 为解决天空背景下红外弱小目标检测问题, 提出了一种基于图像复杂度和方向梯度的检测方法。利用信息熵对图像复杂度进行描述, 引入了图像方差和像素局部变化率对信息熵进行加权, 使云内部和云边界区域得到抑制。以复杂度为描述对象, 建立多级多方向梯度模型, 在背景局部复杂度高于目标复杂度的情况下, 仍能够有效分割出目标。实验证明, 该方法能够在复杂云背景情况下检测出弱小目标。

关键词: 图像处理; 弱小目标检测; 复杂度; 加权信息熵; 方向梯度

中图分类号: V529.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122705.0692

Detecting Algorithm of Infrared Small Dim Targets Based on Complexity and Orientation Gradient

WANG Tian^{1,2}, LIU Wei-ning^{1*}, SUN Hai-jiang¹, HAN Guang-liang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: wt65060323@126.com;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to solve the problem of detecting small dim targets in infrared images with the complicated air background, an improved algorithm based on image complexity and orientation gradient is put forward. The information entropy reflects the complexity of the image. The weighted information entropy with the variance and the change rate of local pixels suppresses both the inside and the edge of clouds. Since the image of the complexity is obtained, targets can be extracted by the means of multi-degree and multi-orientation gradient under the circumstance that the complexity of the background is higher than that of the targets. Experiments indicate that the algorithm can detect small dim targets effectively with complicated cloud background.

Key words: image processing; small dim targets detection; complexity; weighted information entropy; orientation gradient

1 引言

目前, 红外成像系统由于可全天候工作, 抗干扰能力强, 被动接收, 隐蔽性好等特点, 已被广泛

应用于精确制导, 火力控制, 侦查告警^[1]等多种军事作战系统。对于红外制导武器, 为了提高作用距离, 获得足够的反应时间, 要求尽可能早地发现目标。这就使弱小目标检测技术成为红外制导中

收稿日期: 2012-03-06; 修订日期: 2012-05-16

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61172111)

作者简介: 王田(1987—), 女, 辽宁锦州人, 硕士研究生, 主要从事图像处理, 目标检测与跟踪等方面的研究。

* 通讯联系人, E-mail: liu. weining@yahoo. com. cn

的关键技术问题。

由于大气热噪声,远距离传输,检测装置噪声等影响,红外制导中的导弹、飞机等目标通常表现为以下3个特点:第一,能量弱,即单帧图像的信噪比低;第二,分辨率低,即目标尺寸通常为几个至十几个像素;第三,结构和纹理特征不明显,即红外图像中的小目标通常表现为点目标。为了在红外图像中准确检测到弱小目标,各国学者已经进行了大量研究,并提出了多种算法,例如时间域处理方法,时域剖面滤波^[2];变换域处理方法,小波分析和加权信息熵^[3];空间域处理方法,中值滤波和形态学滤波^[4]。

本文在上述方法的基础上,结合实际情况中对经纬仪红外成像系统的要求,针对复杂云背景图像提出了一种基于复杂度和方向梯度的弱小目标检测方法。主要由以下两部分组成:首先是背景抑制,增强目标,提高信噪比。然后是图像分割,检测出目标。由于传统算法不能够充分地抑制背景,从而产生较高的虚警甚至丢失目标。针对复杂天空背景图像,采用图像方差和像素局部变化率加权信息熵,对图像复杂度进行描述,使云边缘和灰度高于目标的云区域得到抑制。然后建立多级多方向梯度模型,对目标和背景进行分割,使目标被准确地检测出来。

2 基于复杂度的背景抑制

复杂度用来描述图像内部的复杂程度,图像灰度变化越剧烈,相邻像素值变化越频繁,认为图像的复杂程度越高。目前已经提出了多种相关因子来对其进行描述,例如信息熵,边缘和纹理特征等等。

2.1 信息熵

熵的概念最早出现在热力学中,后来 Shannon 将这一概念引入到信息论。在进一步的研究中发现,图像中包含的信息量大小可以用来衡量图像的复杂程度,而信息熵正是图像信息量的有效量度。假设所有像素灰度的集合为 $S=(s_0, s_1, \dots, s_{N-1})$,各灰度值出现的概率为 $P=(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$,且满足条件式(1),

$$\sum_{i=0}^{N-1} p_i = 1, 0 \leq p_i \leq 1, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

则信息熵可定义为:

$$H(P) = - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \log p_i \quad (2)$$

其中:当 $p_i=0$ 时, $p_i \log p_i=0$ 。

2.2 图像方差和像素局部变化率加权信息熵

在云背景红外图像中,云边缘区域和高亮度的云中区域最容易对弱小目标的检测形成干扰,导致产生虚警,甚至丢失目标。因此对信息熵 H 进行加权,引入图像方差和像素局部变化率分别作为加权因子 A 和 B ,共同实现对复杂云背景的抑制。

图像方差描述了图像灰度变化的剧烈程度,将其作为权值 A ,使加权后的信息熵 H_A (如式 3) 对图像中的突变点更为敏感,即使得目标区得到增强。同时,云中区域由于灰度变化不大,而受到了抑制。但是,该权值引入的同时使得背景中灰度变化较大的云边缘区域得到增强,这为背景抑制带来了负面影响。

$$H_A(P) = \sum_{i=0}^{N-1} A_i p_i \log p_i = \sum_{i=0}^{N-1} (s_i - \bar{s})^2 p_i \log p_i \quad (3)$$

为对云边缘区域进行抑制,需要对该区域的灰度特征进行分析。云边缘区域的灰度直方图呈现出明显的双峰特性,这是由于云区域(记为 M)的像素灰度值较高,而净空区域(记为 N)的像素灰度值较低, M 与 N 的过渡就形成了云边缘。 M 与 N 交界处的灰度变化剧烈,使得权值 A 对该区域非常敏感,但是,在 M 或 N 的各自内部,灰度变化却较平缓,甚至出现相同灰度值。为描述这一特点,引入像素局部变化率这一概念,并以此作为权值 B ,来对云边缘进行抑制。

假设图像某一区域 R 的大小为 $U \times V$,那么该区域的像素局部变化率 B 可以表示为式(4)。

$$B = \frac{b}{U(V-1) + V(U-1)} \quad (4)$$

其中: b 为相邻像素间灰度发生变化的个数(当相邻像素灰度变化超过某一预定值时,认为发生了变化,该预定值取 1~3); $U(V-1) + V(U-1)$ 为总的相邻像素个数。将 B 作为权值,得到新的加权信息熵表达式为式(5)。

$$H_{AB}(P) = -B \sum_{i=0}^{N-1} A_i p_i \log p_i = -\frac{b}{U(V-1) + V(U-1)} \sum_{i=0}^{N-1} (s_i - \bar{s})^2 p_i \log p_i \quad (5)$$

权值 A 和 B 的引入对净空区和云中区域起到了非常明显的抑制作用,对云边缘区域也有一定的抑制效果,同时使目标区得到了增强。但是由于云边缘的灰度变化剧烈,权值 B 的作用是有限的。为了更有效地抑制云边缘,根据文献[5]提出的双模板复杂度图像作差的背景抑制方法,构造新的模板如图 1 所示。

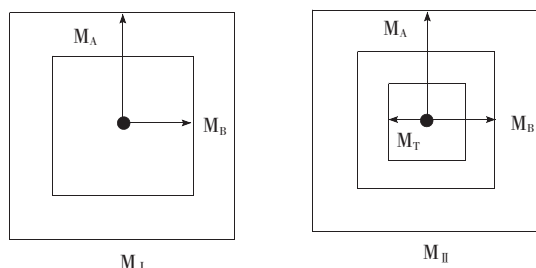


图 1 复杂度模板

Fig. 1 Complexity models

首先使用模板 M_I 计算图像复杂度,对 M_A 区域使用权值 A 进行加权,对 M_B 区域使用权值 B 进行加权,得到的加权信息熵为 $H_{AB I}$;然后使用模板 M_{II} 计算图像复杂度,对 M_A-M_T 区域使用权值 A 进行加权,对 M_B-M_T 区域使用权值 B 进

行加权,得到的加权信息熵为 $H_{AB II}$;最后两者作差,得到最终的复杂度表达式为:

$$H_{AB} = H_{AB I} - H_{AB II} \quad (6)$$

模板 M_{II} 在计算复杂度时,去掉了模板中心 M_T 区域的像素,这对于目标区域来说,突变消失,使得复杂度大大降低;而对于云边缘区域,仅仅中心部分的过渡区消失,对于复杂度的影响相对较小。因此,作差的结果,目标区的复杂度仍旧很高,但是云边缘区域的复杂度大大降低,即加强了对云边缘的抑制。如图 2 所示(a)为原图像;(b)为双模板作用下引入权值 A 后的复杂度图像,权值 A 使大面积和高亮度的云中区域得到了抑制,而仅采用双模板来对云边缘进行抑制,效果有限;(c)为双模板作用下引入权值 A 和 B 后的复杂度图像,权值 B 与双模板共同作用,使云边缘得到了抑制。为了便于观察,对复杂度图像进行了增强处理。

3 基于方向梯度的目标检测

3.1 多级多方向梯度

由于目标是图像中的突变,在复杂度图像中会形成局部高复杂度区,在各个方向均表现出梯度特性。而云背景经过抑制后,在复杂度图像中仅会残留少量的云边缘和局部起伏较大的云中区,而云边缘和局部起伏区仅能够在个别方向表现出梯度特性。根据这一特点,以图像复杂度为描述对象,利用多级多方向梯度来对目标进行分割。

多方向梯度实际包括了 360° 范围,在实际应用中,仅使用其中的水平和垂直方向梯度。构造梯度算子如下:

$$\nabla x_+ = |x(m, n+k) - x(m, n)| \quad (7)$$

$$\nabla x_- = |x(m, n-k) - x(m, n)| \quad (8)$$

$$\nabla y_+ = |x(m+k, n) - x(m, n)| \quad (9)$$

$$\nabla y_- = |x(m-k, n) - x(m, n)| \quad (10)$$

其中 $k=1, 2$, 当 k 值增加,梯度的级数也随之增加。

3.2 实现方法

(a)在复杂度图像中,计算梯度阈值 T ,以此作为对复杂度梯度变化的度量。

$$T = \bar{s} + \lambda(s_{\max} - \bar{s}) \quad (11)$$

其中, $\bar{s}$ 为图像复杂度的平均值, $s_{\max}$ 为图像复杂度的最大值, λ 为系数,约取 $1/4$ 。

(b)将计数器清零。取 $k=1$, 计算 4 个梯度算子,若 3 个及以上的梯度算子均超过阈值 T ,则计数器加 1。再取 $k=2$, 做同样处理。

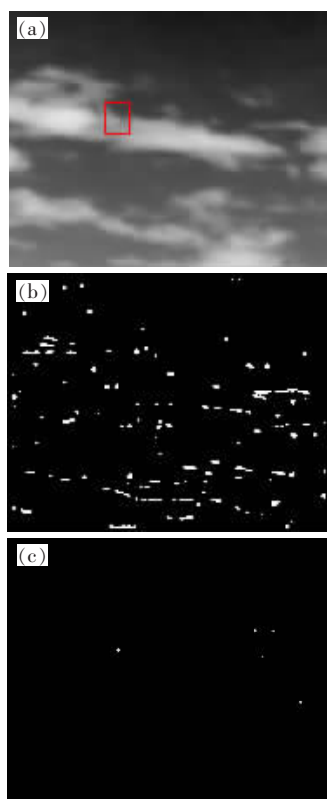


图 2 不同权值作用下的复杂度图像

Fig. 2 Differently weighted complexity images

(c)统计与分割。若计数器值大于 1,则认为该点为目标(置 255),否则,将该点剔除(置 0)。

与传统方法相比,基于多级多方向梯度的目标分割方法,在背景的复杂度与目标复杂度接近,甚至背景复杂度超出目标复杂度的情况下,仍能够准确地分割出目标。

图 3(a)中存在面积较大和局部亮度较高的云区域,并且包含纹理较复杂的云边缘。图 3(b)是经过本文方法背景抑制之后的复杂度图像,可以看出,大部分的云区域和云边缘得到了较好地抑制,仅残留少量疑似目标。这些疑似目标的形成是由于云的局部起伏过大,或者边缘较强,导致该部分的复杂度过高。图 3(c)是基于多级多方向梯度的目标检测结果。依据小目标的复杂度图像在各个方向都呈现梯度特性,而疑似目标仅在个别方向存在该特性这一区别,将目标准确地分割出来。即使在疑似目标的复杂度高于真实目标复杂度的情况下,仍能检测出目标。

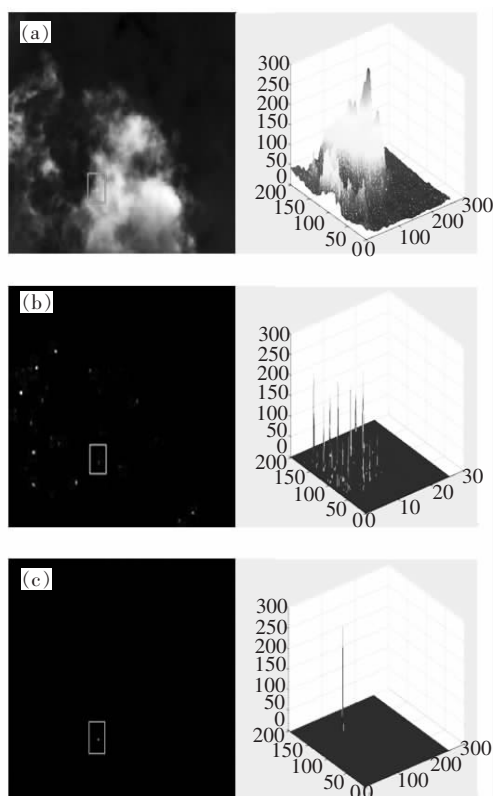


图 3 本文方法目标检测效果图

Fig. 3 Detecting targets with the algorithm in this paper

4 实验结果与分析

本实验的图像由经纬仪红外成像统拍摄。图

4 为不同背景抑制方法的效果对比图(为了便于观察,对背景抑制后的图像均进行了增强处理),其中(a)为双目标图像,(b)为加权信息熵背景抑制^[2]结果,(c)为改进的 Top-Hat 背景抑制^[3]结果,(d)为本文方法背景抑制结果。

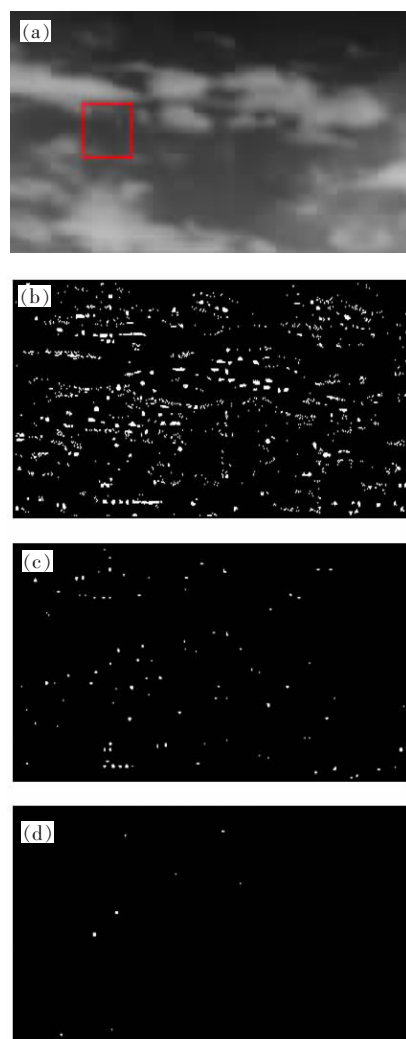


图 4 背景抑制效果图

Fig. 4 Results for background suppression

选择使用背景抑制前后的信噪比以及信噪比增益来客观描述背景抑制的效果,定义信噪比如下:

$$R = (m_{\max} - m_{\text{aver}}) / \sigma \quad (12)$$

其中, $m_{\max}$ 为目标区的最大灰度, m_{aver} 为图像平均灰度, σ 为图像的标准差。信噪比增益可以表示为:

$$G_{\text{SNR}} = R_{\text{out}} / R_{\text{in}} \quad (13)$$

其中, R_{out} 为背景抑制后的图像信噪比, R_{in} 为源图像的信噪比。由图 4 和表 1 可以看出,本文方法

表 1 背景去除效果客观评价
Table 1 Objective evaluation for background suppression

图像	R_{in}	R_{out}	G_{SNR}
(b)	0.20	82.83	414.15
(c)	0.20	114.64	573.20
(d)	0.20	146.19	730.95

对复杂云背景的抑制在视觉上和指标上都取得了较好的效果。

为验证多级多方向梯度方法对目标检测的有效性,对复杂云背景红外图像序列进行检测。如图 5 所示,检测结果证明,该方法能够在背景复杂且信噪比极低的情况下,检测到弱小目标。

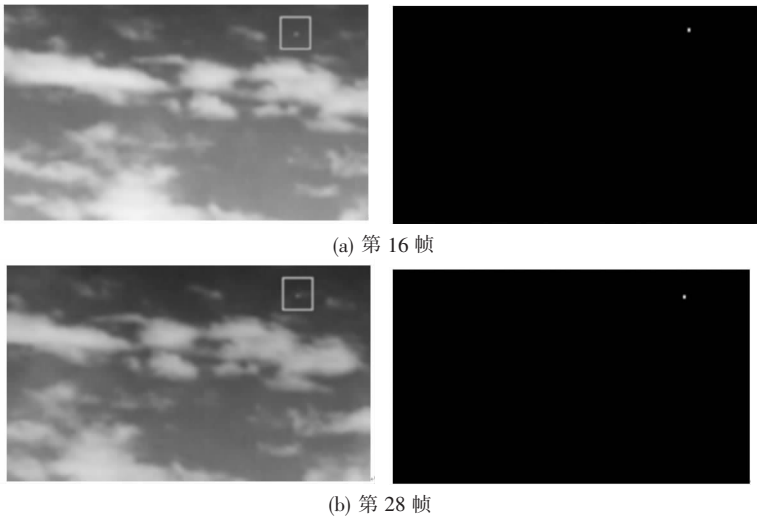


图 5 红外图像序列检测效果
Fig. 5 Detecting targets in infrared image sequences

5 结 论

提出了一种基于图像复杂度和方向梯度的弱小目标检测方法。利用图像方差和像素局部变化率加权信息熵,描述图像复杂度,对复杂背景进行

抑制。在背景抑制基础上,对复杂度图像进行基于多级多方向梯度的目标检测。通过经纬仪红外成像系统实际拍摄的图像验证,本文方法能够在信噪比低至 0.2 的云背景图像中,准确地检测弱小目标。

参 考 文 献:

[1] 秦翰林,周慧鑫,刘群昌,等. 采用多尺度隐式马尔可夫模型的红外图像背景抑制 [J]. 光学精密工程,2011,19(8): 1950-1956.

[2] 王博. 红外序列图像中运动弱小目标时域检测方法 [D]. 西安:西安电子科技大学,2010.

[3] 张朝亮,汉江红,姜春良. 基于 SIFT 和加权信息熵的红外小目标检测 [J]. 光电工程,2010,37(11):19-25.

[4] Jiang Feng, Jin Minhui, Song Liquan. Small infrared target detection algorithm based on mathematical morphology [C]//*SPIE International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging*, Beijing, China; SPIE, 2011: 81934L(1-7).

[5] 李欣,赵亦工,郭伟. 基于复杂度的自适应门限弱小目标检测方法 [J]. 光子学报,2009, 38(8):2144-2149.

[6] 靳永亮,王延杰,丁南南,等. 改进的红外弱小目标检测方法 [J]. 液晶与显示,2011, 26(4):555-560.

[7] Chen Jinling, Zhang Jiming, Deng Linming, *et al.* Detection of weak and small infrared targets under complicated background [C]//*SPIE 5th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies*, Dalian, China; SPIE, 2010;765823(1-7).

[8] 姚杰. 复杂背景中红外小目标的检测算法研究 [D]. 南京:南京航空航天大学,2010.

[9] 高振宇,杨晓梅,龚剑明. 图像复杂度描述方法研究 [J]. 中国图像图形学报,2010, 15(1):129-135.