

· 光电探测 ·

基于多方向梯度和形态学算法的红外弱小目标检测

李 飞, 张雷雷

(92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘 要:受多种因素的影响,通常获得的红外图像信噪比低、对比度差,为目标的提取带来一定的困难。在分析弱小目标方向梯度的基础上,结合形态学算法,提出一种新的红外弱小目标检测算法。首先在待检测点四邻域方向上选取4个参考点,根据该方向待检测点与参考点之间的多级梯度特征,确定出潜在目标;然后利用结构元可调节的特性,选择合适的结构元素,通过形态学处理,剔除噪声点并最终确定出目标。实验表明,该算法计算简单,无需预测背景,可在低信噪比图像中有效检测弱小目标。

关键词:形态学;结构元素;梯度;目标检测

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-05-0038-04

Small Infrared Target Detection Based on Multi-direction Gradient and Morphology Algorithm

LI Fei, ZHANG Lei-lei

(92941 Army Unit, Huludao 125001, China)

Abstract: Influenced by many factors, the obtained Infrared images usually have a low signal-to-noise ratio (SNR) and contrast, which brings a certain difficulty to target extraction. Based on analyzing the direction gradient of the target, with morphology algorithm, a new detection algorithm of small Infrared targets is introduced. Firstly, four reference points at the direction of four neighbor domain of the tested point are chosen. The potential targets are determined according to multi-level gradient feature between the tested point and the reference point at the direction. And then, the adjustable feature of structure element is used to choose appropriate structure element. Finally, through morphology processing, noise points are eliminated and the target is determined. The algorithm has simple calculation and in no need of predicting background. Experimental results show that small targets can be detected effectively in low signal-to-noise ratio (SNR) images.

Key words: morphology; structure elements; gradient; target detection

红外成像系统是被动的红外系统^[1]。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^[2]等特点,已被广泛应用于侦查、监视、探测^[3]等多种系统。然而在远距离情况下,由于探测器接收到的目标信号很弱,目标较小而背景和噪声在视场中所占比例较大,所以图像信噪比很低,对比度差,红外图像的背景主要是大面积缓慢变化的低频成分^[4]。红外弱小目标检测算法是图像处理领域的热点问题^[5]。

在不同成像背景下,红外图像呈现出的非均匀性也不相同,同时随着隐身技术的发展,目标的红外辐射相应的大幅度减小,因此对红外弱小目标的检测技术显得尤为重要^[6]。对于弱小目标的提取,各国学者已经进行了大量研究并提出多种算法,例如时间域处理方法、变换域处理方法、空间域处理方法、中值滤波和形态学滤波^[7]。有人提出使用多帧叠加的方法增大信噪比^[8],也有人提出在帧叠加之前先进行中值滤波^[9],这些方法各

收稿日期:2014-09-09

作者简介:李飞(1987-),男,辽宁葫芦岛人,助理工程师,研究方向为信息处理与测试;张雷雷(1988-),男,河北石家庄人,助理工程师,研究方向为信息处理与制导控制。

有优缺点,并在不断改进和完善。文中分析实际应用中的需求,提出一种基于多级方向梯度和形态学的弱小目标检测方法。

1 多级多方向梯度目标检测

通常,红外图像可认为是由目标、背景和噪声三部分组成,红外图像中弱小目标在成像面上可能只是一个或几个像素,通常总像素数不大于30个^[10-12],目标的几何尺寸小到无法提取任何形状信息。红外图像中大部分区域是灰度变化缓慢的背景部分,目标是图像中的突变,在各个方向均表现出梯度特性。多方向梯度包括360°范围,在实际处理图像时,取当前像素水平方向梯度和垂直方向梯度。构造梯度算子如下

$$\Delta x^+ = |x(m, n+l) - x(m, n)| \quad (1)$$

$$\Delta x^- = |x(m, n-l) - x(m, n)| \quad (2)$$

$$\Delta y^+ = |x(m+l, n) - x(m, n)| \quad (3)$$

$$\Delta y^- = |x(m-l, n) - x(m, n)| \quad (4)$$

其中, $l=1, 2, \dots, k$, 由于弱小目标通常不大于 6×6 个像素,故取 $k=6$,当 l 值增大,梯度的级数也随之增大。 Δx^+ 、 Δx^- 、 Δy^+ 、 Δy^- 的计算结果可能出现以下几种情况:

(1) Δx^+ 、 Δx^- 、 Δy^+ 、 Δy^- 均较小,说明被检测点处于图像中较平坦区域,可认为该像素点为背景像素点;(2) Δx^+ 、 Δx^- 、 Δy^+ 、 Δy^- 部分较小,另一部分较大,说明被检测点处于背景物体边缘,此时也可认为该像素为背景像素点;(3) Δx^+ 、 Δx^- 、 Δy^+ 、 Δy^- 均较大,说明被检测点是图像中的凸起,此时可认为该像素为目标像素或噪声像素。

根据上述分析,设定合理的阈值,即可在多级多方向梯度检测中确定出潜在目标区域。

由于噪声点也具有多方向梯度特性,此潜在目标区域中包含噪声点和目标点,需运用形态学算法进一步提取目标。

2 形态学目标提取

数学形态学是一种非线性滤波,应用于图像和模式识别领域,其理论基础深,综合了多门学科知识,但其原理却比较简单,主要体现逻辑推理和严谨的数学演绎。数学形态学提供的强大工具可用来解

决图像处理中的问题。

2.1 膨胀

膨胀是在二值图像中“加长”或“变粗”的操作。这种特殊的方式和变粗的程度由一个称为结构元素的集合控制。数学上,膨胀定义为集合运算, A 、 B 为 Z^2 中的集合, \emptyset 为空集, \hat{B} 为 B 的映像, A 被 B 膨胀,记为 $A \oplus B$,定义为

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (5)$$

式(5)是以 B 关于它的原点的映像,并且以 x 对映像进行平移为基础的。 B 对 A 的膨胀是所有位移 x 的集合,这样, \hat{B} 对 A 至少有一个元素是重叠的。根据这种解释,以上定义可以等价变成

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \subseteq A\} \quad (6)$$

2.2 腐蚀

腐蚀是在二值图像中“收缩”或“细化”的操作。如膨胀中一样,收缩的方式和程度由结构元素控制。腐蚀的数学定义与膨胀相似, A 被 B 腐蚀,记为 $A \ominus B$,定义为

$$A \ominus B = \{x | (\hat{B})_x \subseteq A\} \quad (7)$$

也就是说, A 被 B 腐蚀的结果为所有使 B 被 x 平移后包含于 A 的点 x 的集合。

膨胀和腐蚀是与数学形态学紧密相连的两个基本运算,一个运算是相对于目标的操作;而另一个是相对于背景的操作。

2.3 开运算和闭运算

开运算和闭运算是除膨胀和腐蚀以外的两个比较重要的形态学运算。开运算一般能平滑图像的轮廓,消弱狭窄的部分,多用于去除暗背景上比结构元素更小的明亮细节。闭运算也是平滑图像的轮廓,与开运算相反,它一般融合窄的缺口和细长的弯口,去掉小洞,多用于去除亮背景上比结构元素更小的暗细节。

设 A 是原始图像, B 为结构元素,则 A 被结构元素 B 做开运算记为 $A \circ B$,定义为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (8)$$

可以看出, B 对 A 开运算就是 A 被 B 腐蚀后的结果再被 B 膨胀。

同样, A 被结构元素 B 做闭运算记为 $A \cdot B$,定

义为

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (9)$$

换句话说, B 对 A 闭运算就是 A 被 B 膨胀后的结果再被 B 腐蚀。

2.4 灰度级形态学

几乎所有的二值形态学运算都可以扩展到灰度级形态学, 主要介绍膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。设 $f(x, y)$ 为输入图像, $b(x, y)$ 为结构元素, 其中 (x, y) 为图像平面空间的坐标点; f 为 (x, y) 点的灰度值; b 为 (x, y) 的结构函数值; D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域, 上述四种运算的表达式为^[13]

(1) 膨胀的表达式为

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y)\} \quad (10)$$

其中, $[(s-x, t-y)] \in D_f$; $(x, y) \in D_b$ 。

(2) 腐蚀的表达式为

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y)\} \quad (11)$$

其中, $[(s+x, t+y)] \in D_f$; $(x, y) \in D_b$ 。

(3) 开运算的表达式为

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (12)$$

(4) 闭运算的表达式为

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b \quad (13)$$

2.5 实现方法

潜在目标区域同时存在目标及噪声点, 根据形态学结构元素可调节的特性, 在分析目标形状大小的前提下, 调节结构元素, 利用形态学运算, 可有效去除噪声点, 分离出目标。具体实现如下: 对多级多方向梯度处理后的红外图像中的目标进行分析, 获得目标所占像素大小, 设置结构元素大小, 使其大于噪声点所占像素几何尺寸大小, 同时小于红外目标所占像素几何尺寸大小, 利用开运算可去除噪声点而保留目标。

3 实验结果及分析

依据上述方法步骤, 对红外仿真图像进行目标提取, 结果如图1、图2所示。其中图1为仿真得到的原始红外图像, 图2为文中算法处理后的图像。可以看出, 原始红外图像中, 由于天空背景和云层的影响, 目标处信噪比极低, 几乎完全淹没在云层

背景中, 经文中算法处理, 目标区域信噪比得到改善, 目标能够从背景中凸显出来, 获得较好的提取效果。

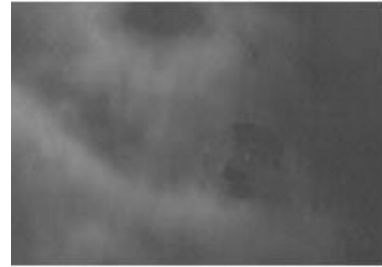


图1 原始红外图像



图2 目标提取图像

4 结论

红外弱小目标的检测一直是红外图像处理领域的难点和热点问题, 在探测、监视、跟踪系统中发挥着重要作用。实际拍摄到的红外图像中, 大部分是灰度变化缓慢的低频背景成分, 通常目标在局部图像中是能量高于背景的部分, 通过研究红外图像特点, 分别构造垂直正、负、水平正、负四个方向上的梯度算子, 并分析弱小目标方向梯度特性, 设定合理阈值确定出潜在目标区, 减小待检测区域; 然后利用形态学算法, 合理设计结构元, 提出一种新的红外弱小目标检测算法。对仿真红外图像进行处理表明, 该方法计算简单, 对于低信噪比红外图像的目标提取具有较好的效果。

参考文献

- [1] 郭晟男, 付跃刚, 刘智颖, 等. 红外搜索跟踪系统中的双波段共孔径光学设计[J]. 光电技术应用, 2013, 28(6): 35-39.
- [2] 王田, 刘伟宁, 孙海江, 等. 基于复杂梯度和方向梯度的红外弱小目标检测方法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(5): 692-696.

- [3] 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.
- [4] 王铎,韩艳丽,张健,等.基于形态学的白天近红外星目标检测[J].光电技术应用,2012,27(5):52-55.
- [5] 张路,张志勇,肖山竹,等.基于多向背景预测的红外弱小目标检测[J].信号处理,2010,26(11):1646-1651.
- [6] 邹志峰,张艳红,张健.基于海空背景的红外图像处理算法研究[J].红外技术,2011,33(2):108-122.
- [7] JIANG Feng, JIN Min-hui, SONG Li-quan. Small Infrared target detection algorithm based on mathematical morphology. SPIE International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging[C]// Beijing, China: SPIE, 2011: 81934L(1-7).
- [8] 王勇,汪建业.低信噪比图像中目标检测提取方法[J].大气与环境光学学报,2008,3(3):228-233.
- [9] 李青,田国昌,汪建业.低信噪比下星光点目标的检测[J].大气与环境光学学报,2008,3(1):77-80.
- [10] 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,2008:15-21.
- [11] 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.
- [12] 吴一全,尹丹艳.基于FLS-SVM背景预测的红外弱小目标检测[J].光学学报,2010(10):2806-2811
- [13] 康令州,陈福深,王德胜,等.基于形态学算法的红外图像小目标检测方法研究[J].光电工程,2010,37(11):26-31.

(上接第10页)

- [7] 陈世夏,王翠珍,吴凌燕.频分制红外遥控开关电路的设计[J].现代电子技术,2010,33(20):46-48.
- [8] 陈彦霖.红外学习遥控器设计与实现[J].中国教育技术装备,2013(18):54-56.
- [9] 李修池,赵灿,鞠标,等.基于ATmega128的多功能红外遥控器的研究与应用[J].现代科学仪器,2013(004):142-144.
- [10] 孙宇祥.基于单片机及Delphi的红外遥控编码分析[J].电脑编程技巧与维护,2012(9):22-24.
- [11] 方科亚,俞民华.基于HT49R30的红外遥控器设计与应用[J].信息与电脑(理论版),2011,1:052.
- [12] 曹帅,刘纯天.基于Zigbee与红外遥控技术的家居无线控制网络设计[J].机电产品开发与创新,2010(1):149-151.
- [13] 杨叶珍.常用红外遥控信号传输协议详解[J].电子报,2006(13):1-7.
- [14] 许永乐.智能遥控技术的研究与实现探微[J].厦门科技,2013,4:015.
- [15] 王光法.浅析传感器在智能遥控器上的应用[J].计算机光盘软件与应用,2013,16(16):310-311.
- [16] 张涛.一种手机红外遥控功能的实现装置[P].中国:200920208507.0,2010-05-19.
- [17] 张锟.基于Android手机的智能遥控器设计[J].网友世界,2012(9):39-41.
- [18] 赵子骁,曾元希.基于Android平台智能手机的学习型红外遥控器设计[J].电子制作,2013,15:037.
- [19] 南洋.利用手机红外遥控多个设备的系统[P].中国:201310150855.8,2013-09-04.
- [20] 王宝忠,张科.基于ZigBee的可学习型红外遥控的设计[J].科学技术与工程,2013(1):179-182.
- [21] 郑俊波,苏成悦,何榕礼,等.Android终端及FPGA控制的智能家居系统[J].微型机与应用,2014,5:030.
- [22] 康祥喆.浅谈我国智能家居的现状与发展趋势[J].中国科技信息,2014(8).
- [23] 刘昆,马汉博,屈剑刚.手机实现红外遥控的方法及装置[P].中国:201210414987.2,2013-02-13.
- [24] 张昌璇.用于手机USB OTG的供电开关电源芯片设计[D].合肥:合肥工业大学,2007.
- [25] 英杰.手机统一耳机接口标准[J].互联网天地,2009(9):73-73.
- [26] 展翌娜.被小觑的3.5mm耳机插口新征途[J].电脑爱好者,2014(9):100-101.
- [27] 赵昌健,苏佳琪.一种红外遥控信号发射器[P].中国:201320021834.1,2013-01-16.
- [28] 王晨阳,唐景华,傅全权,等.freedom万能遥控器[J].物联网技术,2014,4(1):16-17.
- [29] 刘拿,杨红官,程亚奇,等.数字降噪耳机中自适应滤波器的设计实现[J].微计算机信息,2010,20:086.
- [30] 李海.有源降噪耳机算法研究[D].天津:天津大学,2010.
- [31] 飞兆半导体.音频插孔检测芯片令多按键遥控耳机功能更多样[J].中国电子商情(基础电子),2014(3):27-31.