

基于分形维与拟合误差的光电目标检测方法

何四华¹, 杨绍清², 石爱国¹, 李天伟¹

(1. 海军大连舰艇学院航海系, 辽宁 大连 116018; 2. 海军大连舰艇学院信息与通信工程系, 辽宁 大连 116018)

摘要:对光电目标进行自动检测与识别是导弹末端智能制导的一项关键技术,分形理论的出现为解决这个问题提供了新的技术途径。自然背景与人造目标所在区域的分形维与拟合误差特征差别非常明显,因此,提出了一种分形维与拟合误差的光电目标检测方法。实验证明,对于光电目标检测,给出方法的检测结果稳定,优于边缘检测、阈值分割和单一分形维检测的结果,是一种非常有前途的方法。

关键词:光电目标;分形维;拟合误差;目标检测

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Electro-optical Targets Detection Based on Fractal Dimension and Fractal Fitting Error

HE Si-hua¹, YANG Shao-qing², SHI Ai-guo¹, LI Tian-wei¹

(1. Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China;

2. Department of Information Engineering, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Automatic detection and recognition of electro-optical targets is a key technology in the intelligent missile terminal guidance. Fractal theory provides a new technical way. Because the difference of fractal dimension and fractal fitting error between artificial target and natural background is obvious, this paper proposes an electro-optical target detection method based on fractal dimension and fractal fitting error. Experimental results show that the proposed method can detect targets stable, is superior to the edge detection method, the threshold segment method and the single fractal dimension method, and is a promising detection method of the electro-optical target.

Key words: electro-optical target; fractal dimension; fractal fitting error; target detection

1 引言

随着光电传感器的广泛应用,光电目标的信息处理技术也越来越重要,特别是光电目标自动检测与识别技术已成为光电目标信息处理中的一项十分重要的关键技术。传统的边缘检测和阈值分割目标检测与跟踪方法难以满足高技术条件下信息战的需要,寻找新的目标检测与识别方法仍然是一项迫切而艰巨的工作。

自然背景图像是不光滑和不规则的,无法用经典的几何理论加以描述,但是近年来发展的分形几何为描述这种不光滑性和不规则性提供了很好的理论基础和研究手段^[1-2]。海浪、云层、起伏的山峦等许多的自然景观都具有混沌、分形特征,而舰艇、飞机、坦克等人造目标不具有混沌和分形特性,因此利

用目标与背景之间混沌、分形特性的差异将能够检测与识别目标,目前,国内外对这一问题已开展了较多的研究^[3-6],但在分形维计算的稳定性、尺度选择等许多方面仍需要进行进一步的研究。

本文应用分形维与拟合误差对光电海空图像目标进行检测,利用自然背景与人造目标分形维与拟合误差的差异确定目标所在区域。图像实验可以看出该方法检测效果优于边缘检测、阈值分割和单一分形维检测,具有一定的理论意义和实际应用价值。

基金项目:国家自然科学基金(No. 60572160)资助。

作者简介:何四华(1979-),男,博士研究生,主要研究方向是交通信息工程及控制。E-mail:sihua.he@163.com

收稿日期:2008-07-07

2 分形维与拟合误差

基于分形特征的人造目标的检测常用的有三种分形特征^[7],一是分维数特征,它描述了实际数据的粗糙程度;二是分形截距特征,它表明实际数据变化的快慢程度;三是分形模型拟合误差特征,它表明实际数据能否用分形模型加以描述。分形拟合误差大,说明它偏离分形模型远,这个值太大的时候就不能用分形模型来处理了。由前面可知自然背景符合分形模型,而人造目标不符合分形模型,因此包含人造目标的区域的分形拟合误差势必大于自然背景区域,因而分形拟合误差较大的区域有可能就是目标所在区域。

提取这三种特征的方法很多,比较常用的是在空间域对灰度图像直接计算提取分形特征。一种是peleg的 ε -毯覆盖(Blanket-covering)算法^[8],另一种是差分计盒(differential box counting, DBC)算法^[9]。由于基于分形模型的目标检测技术计算量较大,实时系统研制的关键是解决计算量大的问题。分析表明,同样尺寸的图像区域计算,采用差分计盒法要比毯子覆盖法少花一半以上的时间。

本文采用Sarkar和Chaudhuri共同提出的DBC分形维计算方法,计算出二维灰度图像的分形特征。根据Sarkar和Chaudhuri的理论,一幅图像中给定窗口内的分数维的计算如下:

$$D = -\log N_r / \log(r) \quad (1)$$

式中, $r > 0$, N_r 表示半径为 r 的闭球覆盖图像所需最少的球数; D 为窗口内图像的分形集的分数维。考虑尺寸大小为 $M \times M$ 个像素的图像,按比例缩小到一个值 S , $1 < S \leq M/2$,且 S 为一整数。这样就有一个对尺度 r 的估计,尺度 r 为:

$$r = M/S \quad (2)$$

把二维图像看成一个 (x, y, z) 的三维空间, (x, y) 表示二维坐标, z 为图像像素的灰度值。这样 (x, y) 空间被分割成大小为 $S \times S$ 的方格,在每个方格上堆叠一系列底为 $S \times S$ 的盒子,盒子的高度 h 可通过图像总灰度级 G 计算得到,即 $[G/h] = [M/S]$ 。从下往上将每个盒子赋予标号 $1, 2, 3, \dots$,检查第 (i, j) 个格子图像灰度的最大值和最小值分别落入哪一个盒子中,假设最大值落入 I 中,最小值落入 K 中,则有 $n_r = I - K + 1$ 。计算每一个格子,则有:

$$N_r = \sum_y n_r(i, j) \quad (3)$$

这样,通过每一个尺度 r 计算出对应的 N_r 。用最小二乘法对 $\log(N_r)$ 和 $\log(1/r)$ 其进行拟合求取,则所得曲线的斜率为分数维 D ,曲线的截距为 a ,可以得到:

$$\log(N_r) = D \log(1/r) + a \quad (4)$$

分形拟合误差 E 的计算如下所示:

$$E = \sum_{r=1}^{r_{\max}} \{ \log(N_r) - D \log(1/r) - a \}^2 \quad (5)$$

在计算分数维时,需要考虑子图像窗口的选择和计算分数维尺度的选择。窗口子图像尺寸太小用于拟和的点对很少,计算误差大;若窗口子图像尺寸太大,则目标边缘像素和图像区域的其他像素混合,影响目标的选取,计算时间长。通过实验,子图像的大小一般取 $M = 7 \sim 15$ 为佳。

3 分形维与拟合误差的目标检测算法

分形维与拟合误差的目标检测算法分为图像预处理、图像分块、分形维与拟合误差提取、目标判定和区域生长五个步骤进行,具体如下:

(1) 图像预处理。对图像进行中值滤波,消除噪声的干扰。

(2) 图像分块。对于一幅大小为 $W \times W$ 的图像,首先均匀地分割成 Q 个大 $M \times M$ 小的子图像序列。

(3) 分形维与拟合误差提取。对每个子图像按照式(1)和式(5)提取分形维数 $D(k)$ 和拟合误差 $E(k)$,由于目标存在的子图像的分形维与拟合误差相对于其他背景子图像存在着较大的差值,利用这一点可以将目标子图像提取出来。

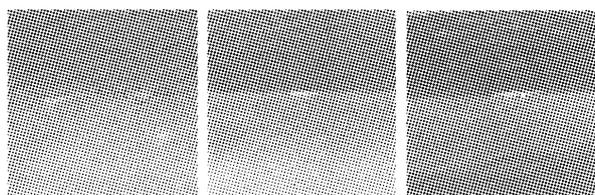
(4) 目标判定。判断区域内人造目标的一般规则为:人造目标内部各个组成部分的表面通常是相当光滑的,呈现出较低的分形维与拟合误差,而自然背景往往具有相对粗糙的表面,反映出较大的分形维与拟合误差;同时,在人造物体和自然背景的交界处,一般具有较强的边缘,从而导致很高的分形维与拟合误差。指定分形维阈值 T_D 和拟合误差阈值 T_E ,当 $D(k) \geq T_D$ 并且 $E(k) \geq T_E$ 时,判定为目标边缘。根据大量实验, $T_D = 0.8 \times \max(D)$, $T_E = 0.5 \times \max(D)$ 即能保证目标检测的稳定性,又能有效消除海面的干扰。

(5) 区域生长。分形维与拟合误差检测结果,受到噪声干扰,目标区域并不完整,需要通过区域生长获得完整的目标区域。舰船、飞机、导弹等人造目标结构稳定,表现为连续子图像具有很高分形维与拟合误差。因此,选取面积较大的区域作为目标的潜在区域,计算区域的质心,获取目标潜在种子点,对原始灰度图像进行区域生长得到目标区域。

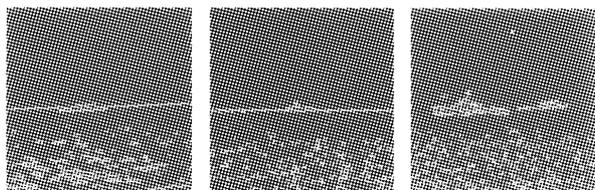
4 实验与分析

按照本文算法,取 $M = 10$,对不同条件下的分辨率为 256×256 的三类图像进行目标检测,检测结果如图1所示。图1(a)为三类可见光灰度图像,不均

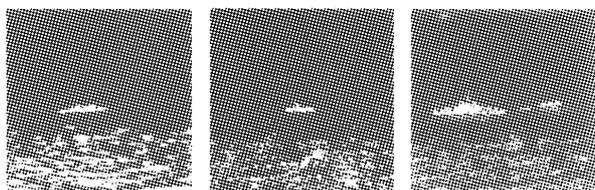
匀的海空背景,目标包括1个或2个;图1(b)为经典的 Sobel 边缘检测算法的检测结果,除了舰船目标外还包括水天线和大量海浪;图1(c)为最大类间方差(Otsu)阈值分割方法的检测结果,也包括大量海浪;图1(d)为单一分形维检测结果;图1(e)为分形维与拟合误差检测结果,显然,图1(e)海浪的影响比图1(d)少,并且图1(e)检测结果主要集中在目标边缘,这与人造物体边缘具有很高的分形维与拟合误差的结论相吻合;图1(f)为区域生长结果,目标区域被准确检测。



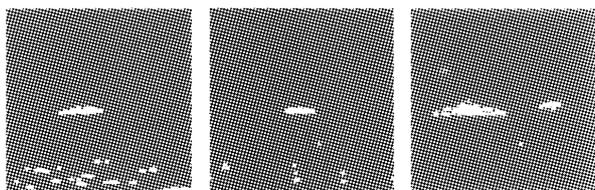
(a) 原始灰度图像



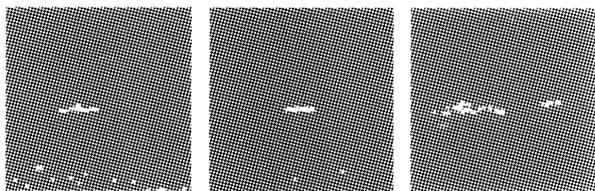
(b) Sobel 边缘检测结果



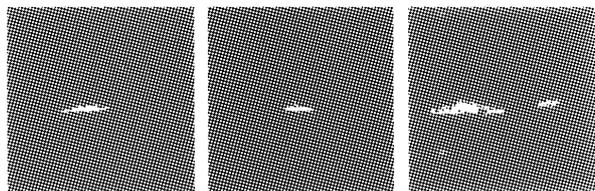
(c) Otsu 阈值分割结果



(d) 单一分形维检测结果



(e) 分形维与拟合误差检测结果



(f) 区域生长结果

图1 目标检测结果比较

从图1的检测结果比较可以看出,分形维与拟合误差的检测结果优于边缘检测、区域分割和单一分形维检测的结果。该方法相当于给目标检测加了双重保险,可以有效降低误检率。它不受人造目标的运动姿态、速度、灰度极性变化等因素的影响,对不均匀自然背景中的不同目标均可得到较好的结果,还可用于多目标检测,是一种性能较为优良的目标检测方法。

5 结论

从自然背景中检测出人造目标,在军事领域中具有非常广泛的用途,现有的方法都具有各自的局限性。本文提出了一种分形维与拟合误差的光电目标检测方法,由实验结果我们很容易看出用这种方法计算的目标所在区域和背景所在区域的特征差别非常明显,有利于准确地检测出目标,是一种很不错的算法。当前的分形技术主要集中在对单帧图像的表面分形特征的研究上,人造目标与自然背景的分形特征差异不仅体现在表面的光滑程度不同,还体现在轮廓等的光滑程度不同,因此,要想充分发挥和体现分形检测的思想,还有许多工作要做。

参考文献:

- [1] 孙霞,吴自勤. 分形原理及其应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003.
- [2] 宣益民,韩玉阁,蔡兰波. 地面目标与背景的红外特征[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [3] Fan J P, David K Y, Ahmed K E, et al. Automatic image segmentation by integrating color edge extraction and seeded region growing[J]. IEEE Trans. On Image Processing, 2001, 10(10): 1454 - 1466.
- [4] 张坤华,王敬儒,张启衡. 复杂背景下扩展目标的分割算法研究[J]. 红外与毫米波学报, 2002, 21(3): 233 - 237.
- [5] 雍杨,王敬儒,张启衡. 复杂背景下运动目标分割算法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(12): 2014 - 2015.
- [6] Chaudhuri B B, Nirupam S. Texture segmentation using fractal dimension[J]. IEEE Tran on Pattern Analysis Mach. Intel, 1995, 17(1): 72 - 77.
- [7] Keller J, Crownover R, Chen R. Characteristics of nature scenes related to the fractal dimension[J]. IEEE Trans on PAMI, 1987, 9(5): 621 - 627.
- [8] Peleg J, Nato R, Harley R, et al. Multiple resolution textures analysis and classification[J]. IEEE Trans on PAMI, 1985, 6(4): 518 - 523.
- [9] Sarkar N, Chaudhuri. An efficient approach to estimate fractal dimension of texture images[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(9): 1035 - 1041.