

基于高阶分形特征的海面运动目标检测方法

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:将高阶分形特征用于海面运动目标检测, 提取出用于区分运动目标和海杂波的新的分形特征——缝隙特征。实验表明利用缝隙特征进行海面运动目标检测, 可以取得较分形维检测更高的准确率。

关键词:高阶分形特征; 缝隙; 目标检测

中图分类号:TP751

文献标识码:A

Detection of Moving Target under Sea Background Based on High-order Fractal Feature

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

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

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

Abstract: The high-order fractal feature is employed to detection of moving target under sea background. The new fractal feature-lacunarity is used to identify moving target and sea clutter. The experiments show that higher detection accuracy of moving targets can be obtained by using lacunarity feature than by fractal dimension.

Key words: high-order fractal feature; lacunarity; target detection

1 引言

在海空背景的运动目标检测中, 海空背景和目标的表面完全不同, 但某种情况下却具有相同或相似的分形维数, 这时仅用分形维数来进行目标检测, 背景和目标就会混淆。B. B. Mandelbrot 在提出分形理论之初, 已经注意到分维的非普适性或非唯一性, 他建议研究缝隙作为分维的一个补充。缝隙值作为高阶分形特征, 近年来常用于图像分析中, 尤其是纹理图像^[1]和医疗图像^[2]的分析中。本文在探讨缝隙值特性的基础上, 利用它进行了海面运动目标的检测, 取得了良好的效果。

2 缝隙的概念及计算方法

在分形理论中, 我们常遇到诸如下面的表达式:

$$M(\varepsilon) = k\varepsilon^{d-D} \quad (1)$$

式中包含了两个参量, 即前项系数 k 和指数项 $(d-D)$, ε 为尺度。过去我们的注意力常集中在指数项(在分形理论中, 指数项常常是分形维数的表达式), 而忽略了对前项系数的研究。在双对数坐标系中, 指数项反映的是直线的斜率, 而前项系数的对数为直线的截距。直线是由斜率和截距共同决定的, 因此, 对一个分形集只研究它的分形维数是不全面的。分形维数只是指出了物体表面的不规则程度, 却没有描述表面起伏的快慢。缝隙与前项系数 k 是有关的。

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: hesihua1979@163.com

收稿日期: 2007-11-28; 修订日期: 2008-01-14

缝隙参数反映的是质量变化的快慢,实际中常用质量函数来反映缝隙量的大小^[3]。缝隙量定义式为:

$$\Lambda = E[(M/E(M) - 1)^2] \quad (2)$$

这里, M 是分形集的质量; $E(M)$ 是其期望值。式(2)反映的是分形集质量 M 的理论值与实际值的偏差。缝隙参数是一个二阶统计量,因此称缝隙参数是一个高阶分形特征。当用于纹理图像时,缝隙参数反映的是纹理的疏密程度。当纹理较密时,缝隙值小;当纹理较疏时,缝隙值大。由海岸线测量理论可知:分形集的密度与测量仪器的长度 L 有关,且服从 $M(L) = KL^D$, 因此,缝隙是 L 的函数。Voss 提出用概率分布 $P(m, L)$ 来计算缝隙量。 $P(m, L)$ 是有 m 个点在边长为 L 的盒子中的概率(盒子的中心可以是图像的任意点),对任意 L 值,有:

$$\sum_{m=1}^N P(m, L) = 1 \quad (3)$$

式中, N 是盒子中可能的最多点数。所以 $P(m, L)$ 包含了分形集合的质量分布平均信息,定义:

$$M(L) = \sum_{m=1}^N mP(m, L)$$

$$M^2(L) = \sum_{m=1}^N m^2 P(m, L)$$

定义缝隙量为:

$$\Lambda(L) = \frac{M^2(L) - [M(L)]^2}{[M(L)]^2} \quad (4)$$

从式(4)可以看出,质量分布越均匀, $\Lambda(L)$ 值越小;反之, $\Lambda(L)$ 值越大。对应于纹理图像,就是纹理越密集, $\Lambda(L)$ 越小;纹理越稀疏, $\Lambda(L)$ 值越大。随着 L 的增大(即盒子加大),分形集将均匀地分布在各个盒子中,因此 $\Lambda(L)$ 会减小,且 $\Lambda(L) \rightarrow 0$ 。当 L 较小时,由 $\Lambda(L)$ 随 L 的变化快慢可以看出纹理基元的大小,因为纹理基元较小时,盒子中的质量能较快地变得均匀。

3 基于分形维数的目标检测

目前,比较普遍的计算分形维数的方法是记盒维数法^[4]和地毯覆盖法^[5],在实际应用中比较常用的计算图像分维数的方法是地毯覆盖法(covering-blanket method),构造覆盖图像灰度表面的“毯子”,求得不同尺度下的表面面积,便可求得该灰度图像的分形维数。这种方法是 Mandelbrot 计算曲线长度方法的二维扩展。Cameraman 测试图 Sobel 算子与

分形维检测结果如图 1 所示。实际图像 Sobel 算子与分形维检测结果如图 2 所示。

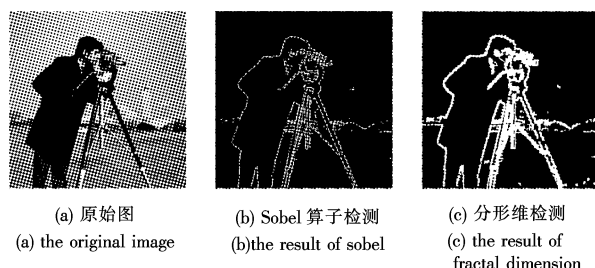


图 1 cameraman 测试图 Sobel 算子与分形维检测结果

Fig. 1 the cameraman test image detection result of sobel and fractal dimension

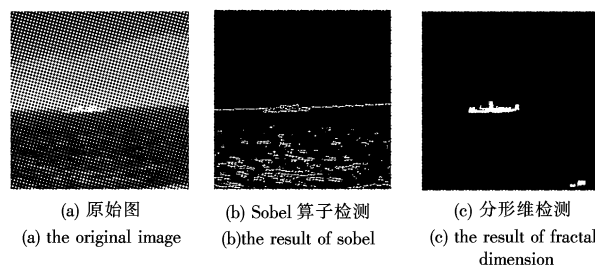


图 2 实际图像 Sobel 算子与分形维检测结果

Fig. 2 the real image detection result of sobel and fractal dimension

从图 1 中可以看出,对于 cameraman 测试图, Sobel 算子和分形维都可以有效的检测到目标。但在图 2 中,因为海空背景的复杂性, Sobel 算子检测结果不尽人意,分形维检测虽然可以检测到目标,但还是受到海杂波的影响。

4 基于分形维与缝隙的目标检测

因为海杂波图像的复杂性,在某种条件下,运动目标和海杂波的分形维十分相似,这时候目标和海杂波混淆,仅用分形维无法进行区分。海面运动目标的图像反映的是目标表面的灰度分布,尽管运动目标经传感器成像后图像灰度呈现一定的非均匀性,然而运动目标毕竟是人造物体,且是一种很光滑的几何流体,成像之后仍然带有人造物体的特性,近似成块状结构,因此可认为运动目标图像纹理基元较大。对于海杂波来说,无论对内部还是边缘都具有较细的纹理信息。因此,可以利用缝隙对运动目标和海杂波进行区分。

图 3 为分形维与缝隙检测结果。其中, (a1)、(a2)、(a3) 分别为信噪比为 40dB, 20dB, 10dB 的原始图像,利用 Sobel 算子检测得到 (b1)、(b2)、

(b3),分形维检测(fractal dimension detection,FDD)得到(c1)、(c2)、(c3),可以看到检测结果在信噪比越低的情况下受到海杂波的影响越大。(d1)、(d2)、(d3)是海面运动目标与海杂波的缝隙特征曲

线,上面的曲线代表运动目标区域的缝隙特征,下面的曲线代表海杂波区域的缝隙特征。

运动目标和海杂波在缝隙特征上存在明显差异,设定阈值,这里根据经验取最大方差的0.4,可以准确检测到运动目标。利用分形维和缝隙特征检测(fractal dimension and lacunarity detection,FDLD),得到(e1)、(e2)、(e3)。

从检测结果可以看出,即使在信噪比较低的情况下,海面运动目标均能被有效检测,并且目标的边缘基本不受外界环境的影响。

5 结 论

利用分形维和高阶分形特征——缝隙做为海面运动目标的识别特征,能有效消除海杂波对检测结果的影响,在不同信噪比情况下取得较好的检测结果。同时它不受到运动目标遮挡和旋转的影响,比传统依据目标形状和点线结构的方法具有更好的鲁棒性,实验结果证明了该方法的有效性。

参考文献:

- [1] C Allain, M Cloitre. Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets [J]. *Phys. Rev. A*, 1991, 44 (6): 61-65.
- [2] Andrew J E. Self-affinity and lacunarity of chromatin texture in benign and malignant breast epithelial cell nuclei [J]. *Phys. Rev. Lett*, 1998, 80(2): 41-46.
- [3] 杜干, 张守宏. 高阶分形特征在雷达信号检测中的应用 [J]. *电子学报*, 2000, 28(3): 90-92.
- [4] Nirupam Sarkar, B B Chaudhuri. An efficient differential box counting approach to compute fractal dimension of image [J]. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, 1994, 24(1): 34-48.
- [5] Peli T. Multiscale fractal theory and object characterization [J]. *J. Opt. Soc. Am A*, 1990, 7(6): 27-31.

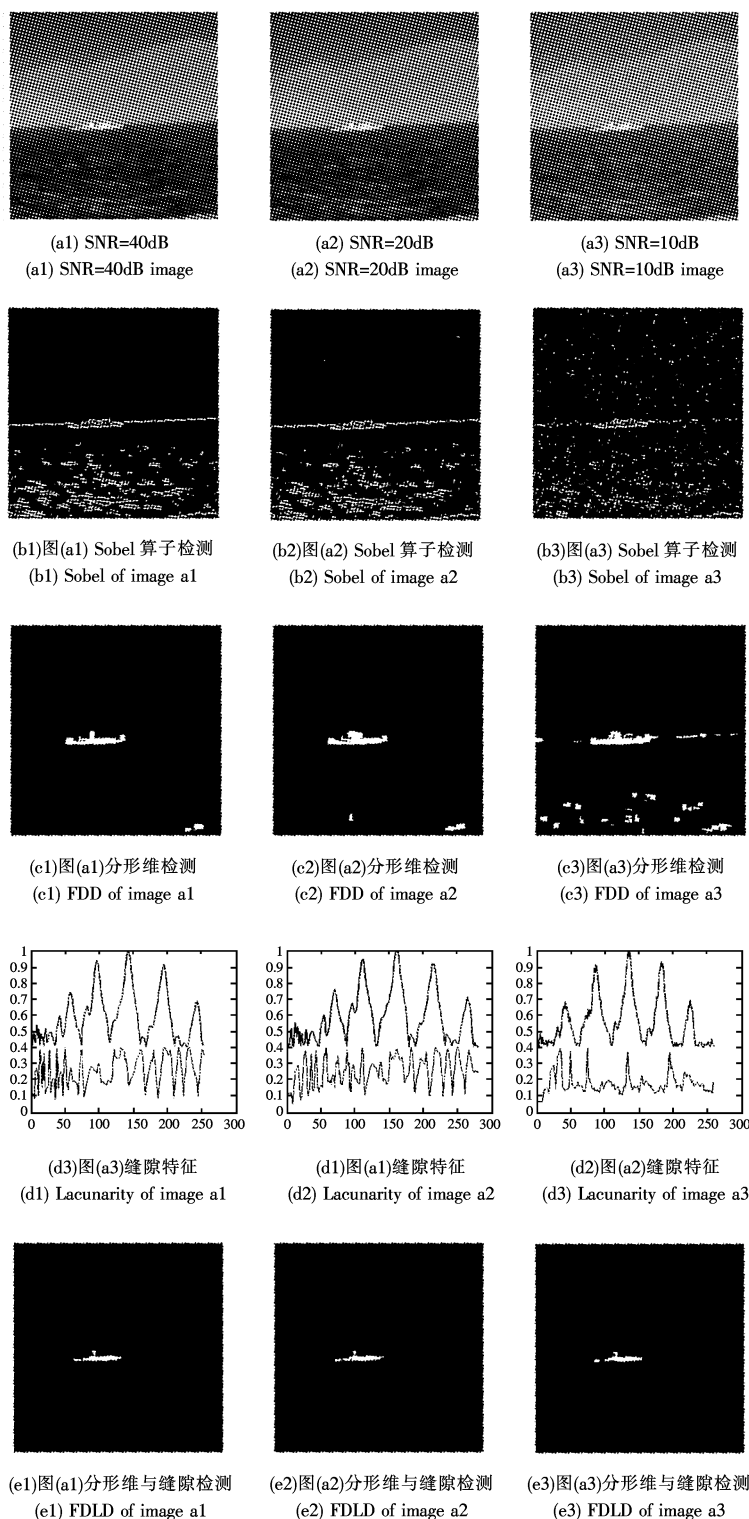


图3 分形维与缝隙检测结果

Fig. 3 fractal dimension and lacunarity detection result