

文章编号: 1001-5078(2004)06-0481-03

基于小波和分形的海面红外小目标自动检测方法

王立地^{1,2}, 黄莎白¹, 史泽林¹

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:提出了一种基于小波与分形的红外小目标自动检测算法, 首先对原始图像进行小波分解, 计算其低频概貌图像的分形参数, 利用在不同纹理图像分形参数变化的特性, 检测出水天线的位置, 在水天线附近利用红外目标的灰度特性进行精细搜索, 最后确定目标所在的位置。实验表明该算法能有效地消除云层、海浪等杂波干扰, 适用于海空复杂背景下远距离红外船只目标的检测。

关键词:小波; 分形; 图像处理; 目标检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:**

Automatic Detection of the Infrared Small Sea Target Based on Wavelet and Fractal

WANG Li-di^{1,2}, HUANG Sha-bai¹, SHI Ze-lin¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An algorithm for the automatic detection of infrared small sea target based on wavelet and fractal is proposed. Firstly, the original image is decomposed to subimages. Secondly, by computing the fractal parameter of the low frequency subimage and using the variety of fractal parameter in different texture images, we can confirm the position of skyline. Lastly, considering infrared targets usually have high value of intensity, we can find the target by carefully search near the skyline. Experiments show that this algorithm is effective to eliminate the clutters of clouds and offing, and is suitable for the detection of remote infrared small target under the complicated background of sea and sky.

Key words: wavelet; fractal; image processing; target detection

1 引言

红外小目标自动检测是自动目标识别(ATR)领域的重要课题, 目标检测的准确与否对目标的跟踪和识别会产生直接影响。常用的红外小目标检测算法^[1]主要有基于单帧处理的方法、基于投影变换的方法、基于三维处理的方法、基于速度滤波的方法、基于相邻帧间图像匹配的方法等。

小波分析被认为是传统工具和方法的重大突破, 其良好的时-频特性以及多尺度多分辨率特性是研究精细结构的理想工具。而分形最突出的特点是在不同尺度下表现出的自相似性, 所以小波变换是分析分形问题的有力工具^[2]。结合小波与分形进行检测: 利用基于小波的分形进行特征提取方法^[3], 利用分形布朗运动和小波变换的特性去除海杂波干扰^[4], 利用多分辨率分析和分形特性在自然背景中检测人造目标^[5]等。

事实上, 在海空背景下进行红外小目标检测的

场合, 由于目标距离较远, 多呈现点状或斑点状, 其灰度纹理和结构信息大大减弱, 而且目标容易被海面杂波和云层干扰所淹没, 利用在整个视场中逐点搜索目标的方法很难克服噪声的干扰。本文根据海空背景下远距离小目标总是出现在水天线附近的特点^[6], 提出了一种利用小波与分形相结合的目标检测算法。首先利用小波分解, 再计算低频概貌子图像的分形参数, 利用分形参数检测出水天线的位置, 最后在水天线附近利用图像中红外目标的灰度特性进行精细搜索, 确定目标的准确位置。

2 图像的小波分解

一维信号连续小波变换的定义为^[2]:

基金项目: 中科院先进制造基地创新课题基金资助项目(F010408)。

作者简介: 王立地(1974-), 男, 博士研究生, 主要从事图像处理、模式识别方面的研究。Email: wld@sia.cn

收稿日期: 2004-04-12

设 $x(t)$ 为平方可积函数, 即 $x(t) \in L^2(R)$, (t) 为基本小波或母小波的函数, $x(t)$ 的小波变换为:

$$WT_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt = x(t), \quad a(t) \quad (1)$$

式中 $a > 0$, 为尺度因子, 其改变反映尺度伸缩; τ 为平移因子, 反映位移; $\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$ 为基本小波的位移与尺度伸缩, $*$ 表示取共轭。

考虑到 Harr 小波形式简单、易于实现, 支撑长度最短, 分解和重构计算复杂度低于其它小波, 边界不需要延拓, 且有很好的检测效果。本文采用 Harr 小波核对所研究图像进行多级小波分解。

小波变换将图像数据按不同分辨率分成子带图像, 每一层小波分解成四个子带, 即为垂直和水平方向均为低频、水平方向低频和垂直方向高频、水平方向高频和垂直方向低频、垂直和水平方向均为高频, 分别表示为 LL、LH、HL、HH。LL 子带反映概貌信号, 其余子带反映细节信号, 概貌信号又可以进一步分解成四个子带, 总的子带数为 $3K+1$, 其中 k 为分解的层数。图 1 为二次小波分解的示意图。图 2 为对实际红外图像进行小波分解得到的各个子带图像。

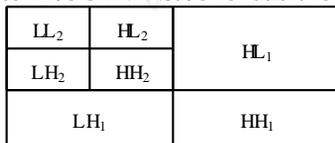
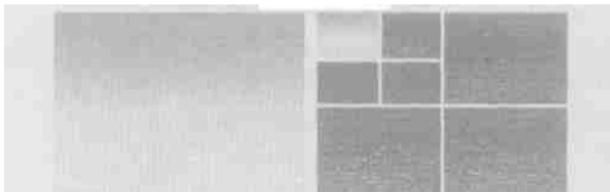


图 1 图像小波二次分解示意图



(a) 原图 (b) 二次分解后各子带图像

图 2 红外图像的小波分解图

利用小波变换的多分辨特性, 根据红外目标的大小及图像噪声的强弱, 对图像进行多尺度分解, 将图像的低频部分和高频部分分离, 图像中的小目标与噪声处于图像的高频部分, 而背景和较大的目标处于图像的低频部分。

3 分形布朗随机场

Mandelbrot 提出用分形布朗运动 (Fractional Brownian Motion—FBM) 来描述和分析许多自然现象和物理过程。Pentland 把 FBM 引入图像处理领域, 提出了分形布朗随机场 (FBRF), 证明了大多数自然景物表面所映射的灰度图像在一定尺度范围内满足各向同性的 FBRF, 并将 FBRF 作为自然景物图像的描述模型^[7,8]。

图像某一像素的灰度值用 $I(x, y)$ 表示, 用 r 表示该像素邻域内所有的像素点之间的距离,

I_r 表示在相应距离上的两像素点的灰度差值,

$E(|I_r|)$ 表示在 r 距离上像素灰度差的均值。若图像满足 FBRF, 有:

$$E(|I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|) = K(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2})^H \quad (2)$$

$$I_r = |I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|$$

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

则: $E(I_r) = K \cdot r^H$

两边取对数,

$$\text{Log}(E(I_r)) = H \cdot \text{Log}(r) + \text{const} \quad (3)$$

通过最小二乘法拟合数据点对 $\{\text{Log}(E(I_r)), \text{Log}(r)\}$, 拟合直线的斜率即为 H 值。对于二维图像, H 参数值反映分形图像表面的粗糙度, 与分形维数 D 的关系为:

$$D = 3 - H \quad (4)$$

对于 FBRF, $0 < H < 1$, H 参数发生奇异的位置说明了图像中不同纹理边缘的存在^[7~9]。海空背景的红外图像中的海面和天空可以看成两种不同纹理的图像, 而水天线即为两种不同纹理的边缘。事实上, 由于图像的模糊和杂波干扰, 使得远距离处的海空背景的分形特性的差异变小, 利用原始图像计算的 H 参数不能有效的检测出水天线的位置。基于这一问题, 本文提出了利用小波分解和分形特性相结合的检测算法。

4 结合小波与分形的红外小目标检测算法

对原始图像进行小波分解, 提取分解后的低频小波系数, 得到反映大尺度下的图像概貌信息, 对此图像求取分形参数, 相当于在大尺度下进行分形特性的分析, 从而加大远距离处的海空背景的分形特性的差异。另外, 计算分形参数时需要进行对数和直线拟合等运算, 比较耗时, 本算法中仅对低频子图像计算分形参数, 计算量为原始图像的 $1/(4^K)$, K 为小波分解的级数, 可以提高算法效率。利用分形参数的奇异性变化, 检测出水天线的位置。然后根据红外目标一般在图像中灰度能量较大的特点, 在水天线附近搜索目标, 达到目标检测的目的。算法的实现步骤如下。

(1) 对于原始图像 I_0 , 利用 Harr 小波进行小波分解, 根据图像大小, 分解级数可以为 2 或 3 级, 利用最后一级分解的低频系数, 得到低频子图像 I_L , 反映原始图像的概貌信息。

(2) 对低频图像 I_L 逐点像素计算分形参数 H , 得到反映其分形特性的 H 参数图像 I_H , 对图像 I_H 进行二值化处理 (阈值选取方法见第 5 节), 得到二值化图像 I_{LB} 。

(3) 对于二值化图像 I_{LB} 利用 Hough 变换, 找到最长直线 L_L 所在的位置, 即为低频图像中水天线所在位置。

(4) 根据对原始图像进行小波分解的级数, 计算出与直线 L_L 相对应的原始图像中此直线所在位

置,得到直线 L ,即为原始图像中水天线所在位置。

像的粗糙度高的情形相符合。

在第4节所描述的算法步骤(2)中,对图像 I_H 选取阈值的方法,文献[9]提出在图像边缘部分 H 参数会发生畸变,即出现 $H > 1$ 的情形。在实验中,我们采用选取阈值的方法是根据二值化后图像为灰度值为1的像素点数占整个图像 I_H 像素点数的 $1/M \sim 2/M$,其中 M 为图像 I_H 的行数,其他像素灰度均置为0。实验表明,采用此阈值选取策略能够更加有效地检测出水天线的位置。从所得二值图像 I_{LB} 可以看出, H 参数发生畸变的像素集中分布在海面和天空背景的边缘处,说明据此检测水天线的位置具有合理性。

6 结论

本文利用小波分析的多尺度分析特性和不同图像纹理分形参数的差异,结合两种分析方法的优点,提出了一种红外小目标自动检测算法,实验表明该算法具有较强的稳健性,在海杂波和云层干扰的场合能检测出水天线和目标所在的位置。

适用于海空复杂背景下远距离红外船只目标的检测。

参考文献:

- [1] 奚云. 红外告警技术[J]. 红外, 2002, (5): 10 - 14.
- [2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3] Espinal F, Huntsberger T, Jawerth B, et al. Wavelet-based fractal signature analysis for automatic target recognition[J]. Optical Engineering, 1998, 37(1): 166 - 174.
- [4] Chao Jung-Jae, Lin Chyi-Chyng. Sea clutter rejection in radar image using wavelets and fractals[A]. In: 1997 International Conference on Image Processing (ICIP 97) 3-Volume Set-Volume 2, Washington DC, 1997: 354 - 356.
- [5] Sun Huayan, Chen Xiaozhong. Fractal-based image target detection[A]. Jun Shen, Thomas J. eds. Object Detection, Classification, and Tracking Technologies, Proc. SPIE vol: 4554, 2001: 280 - 283.
- [6] 魏颖, 史泽林, 李成军, 等. 海空背景下红外小目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(002): 153 - 156.
- [7] Pentland A P. Fractal-Based Description of Natural Scenes[J]. IEEE Trans on pattern analysis and machine intelligence, 1984, 6: 661 - 674.
- [8] Pentland A P. Shading into texture[J]. Artificial Intelligence, 1986, 29: 147 - 170.
- [9] 薛东辉, 朱耀庭. 分形方法用于有噪图像边缘检测的研究[J]. 通信学报, 1996, 017(001): 7 - 11.

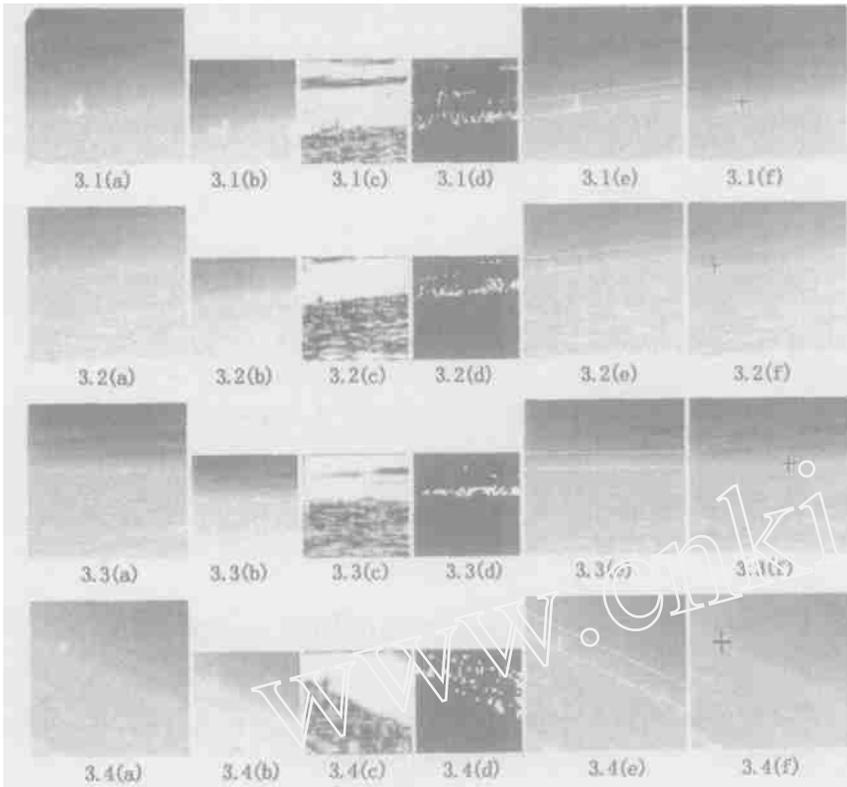


图3 基于小波与分形的红外小目标检测

(5)在原始图像中以直线 L 为中心,选取较小范围的带状区域,此区域即为目标可能存在的位置,在此区域内在行和列方向上滑动一个较小 $N \times N$ 窗口(N 可取 $6 \sim 15$),滑动步长可取为 $N/3 \sim N/2$,计算各个窗口内的灰度值总和,取其最大值即为目标所在窗口,进行目标定位。

5 实验结果

根据上述算法步骤,选取了一组目标大小变化、灰度变化和杂波影响情况下海空背景的红外图像进行了实验,原始图像大小为 600×400 。实验证明利用此算法能够有效地检测出 $20 \sim 600$ 像素的目标,准确定位目标所在的位置,单帧检测成功率在 95% 以上。图3是部分图像的检测结果,其中图3.1为目标较大的情形,目标大小约为 600 像素,图3.2为目标较小(大小约为 20 像素)且海杂波干扰较严重的情形,图3.3为目标模糊情形,图3.4为水天线倾斜的情形。图中(a)为原始图像 I_0 , (b)为小波分解得到的低频图像 I_L , (c)为根据低频图像计算 H 参数得到的图像 I_H , (d)为对图像 I_H 二值化之后的图像 I_{LB} , (e)根据水天线检测结果确定的目标潜在区域, (f)为目标检测结果。

由实验结果可以看出,由计算得到的 H 参数图像 I_H 可以看出,海面背景的 H 参数数值比天空背景的数值低,由式(4)可知,海面背景图像的分形维数比天空背景图像的分形维数高,这与海面背景图