

文章编号:1001-9081(2010)06-1613-03

基于分形与小波的图像 ROI 自动提取算法

吴志强, 吴乐华, 袁宝峰

(重庆通信学院 信号与信息处理实验室, 重庆 400035)

(wzq76@126.com)

摘要:针对分形应用于人造目标作为感兴趣区域的检测中,单一分形特征检测效果不好及计算量大的问题,提出了一种基于分形和小波相结合的图像感兴趣区域提取算法。首先对图像进行小波分解,然后综合利用低频子图像的分形截距特征和拟合误差特征,得到一个新的有效的分形特征参数,从而检测获得低频子图像的感兴趣区域,最后根据原始图像与子图像的坐标对应关系,得到原始图像的感兴趣区域。实验结果表明,该算法能够有效地检测图像感兴趣区域,并且检测速度快。

关键词:图像识别;感兴趣区域;目标检测;分形特征;小波变换

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Algorithm for detection of ROI based on fractal and wavelet

WU Zhi-qiang, WU Le-hua, YUAN Bao-feng

(Signal and Information Processing Laboratory, Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China)

Abstract: Concerning the poor performance and high computation complexity of a single fractal feature applied in detecting Region Of Interest (ROI) of man-made objects, an algorithm for detection of ROI based on fractal and wavelet was proposed. Firstly, the original image was decomposed to sub-images. Secondly, new fractal feature of low frequency sub-image was computed utilizing fractal intercept feature and fractal fitting error, thus ROI of low frequency sub-image could be gained. Finally, ROI of original image was obtained using the relationship between original image coordinates and sub-image coordinates. The experimental results show that the algorithm proposed has very good effect in detecting ROI of image and reducing computational complexity.

Key words: image recognition; Region Of Interest (ROI); target detection; fractal feature; wavelet transform

0 引言

在新一代静态图像压缩标准 JPEG2000 中提出了感兴趣区域 (Region Of Interest, ROI) 编码技术^[1]。ROI 编码技术能够确保在低码率条件下,所关心的区域仍然具有较好的质量,在满足图像应用的同时,提高了整幅图像的压缩比。在 ROI 编码之前,必须将 ROI 分割出来。在远程监控等应用场合,由于人工不便参与 ROI 提取,因此,研究 ROI 的自动检测就十分必要。目前 ROI 自动检测的算法有:基于图像分割的 ROI 自动检测^[2-4],基于人眼视觉显著性的 ROI 自动检测^[5-7],其中 GBVS 算法^[7]是比经典的自底向上的 ROI 自动检测算法更优秀的方法。

在很多应用场合,感兴趣区域是人造目标,需要将其从自然景物中提取出来。对于这类感兴趣区域提取,由于复杂自然背景对目标的干扰,基于图像分割的 ROI 检测方法不能有效提取 ROI,而基于视觉特性的方法是从人眼特性出发,检测所得 ROI,并不一定是我们所需要的目标。Pentland 等众多学者的研究表明:大部分自然景物表面所映射成的灰度图像与人造目标具有不同的分形特征,根据分形特征上的差异就可将两者区分开,同时分形特征大小与人眼视觉注意区域有一定的关系^[8],分形为这类感兴趣区域的提取开辟了新途径。

小波可以实现信号的多分辨率分析。分形则是不同尺度下具有自相似性的一类形体,小波分析总是从远到近观测形体,具有放大和移位的功能,这与分形的本质是一致的^[9],小

波与分形相结合是图像处理强有力的工具。本文提出的算法通过小波分解得到低频子带图像,求取低频子图像的分形特征,得到子图像的 ROI,然后根据原始图像与子图像的坐标对应关系,提取原图像的 ROI,实验结果表明本文算法能够有效提取 ROI,并且有效地减少计算时间。

1 图像的小波分解及小波基选择

1.1 图像的小波分解

基于小波多分辨率分析的图像分解算法的基本思想是:在选定合适的小波基的基础上,对图像进行二维小波分解。

设 $c_{l,n}^{j+1}$ 是二维图像 $f(x, y)$ 在分辨率 $j+1$ 上的近似表示,则 $c_{l,n}^{j+1}$ 的小波分解公式为^[10]:

$$\begin{cases} c_{k,m}^j = \sum_{l,n} h_{l-2k} h_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \\ d_{k,m}^{j,1} = \sum_{l,n} h_{l-2k} g_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \\ d_{k,m}^{j,2} = \sum_{l,n} g_{l-2k} h_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \\ d_{k,m}^{j,3} = \sum_{l,n} g_{l-2k} g_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \end{cases} \quad (1)$$

图像经小波变换后分解为不同分辨率上的子图像,每一级小波变换,原始图像被分解为 4 个子带图像, $c_{k,m}^j$ 、 $d_{k,m}^{j,1}$ 、 $d_{k,m}^{j,2}$ 和 $d_{k,m}^{j,3}$ 分别代表了原始图像的低频子图像、水平方向高频子图像、垂直方向高频子图像和对角线方向高频子图像。图像的能量集中在低频子图像,图像的其他子图像反映了图像中的

收稿日期:2009-12-07;修回日期:2010-01-27。

作者简介: 吴志强(1986-),男,山西忻州人,硕士,主要研究方向:目标分割、图像处理; 吴乐华(1965-),女,浙江诸暨人,教授,主要研究方向:图像处理、视频编码、模式识别; 袁宝峰(1985-),男,重庆人,硕士,主要研究方向:模式识别、图像处理。

高频信息,对应于图像的轮廓和噪声点。

1.2 小波基选择

本文中,图像小波分解是计算子图像分形特征的前期步骤,所以小波基的选择就显得非常重要。Manian 等人分别用 Harr 基、Daubechies 规范正交基和双正交小波基 3 种基函数对图像纹理分割效果比较,结果在纹理分类中 Daubechies 规范正交基表现最好,Harr 基次之,双正交小波基表现最差。由此认为,基函数的对称性对纹理分类结果影响不大,而正交性和紧支撑则可能是必须的^[11]。同时,文献[11]指出:针对纹理图像,选用 Harr 小波和 Daubechies 小波作为小波基,求取的差分盒子小波维并没有太大的差别。

图像分形特征大小与人类视觉对图像表面纹理粗糙程度的感知是一致的,分形特征大则图像表面越粗糙;反之图像表面越光滑,分形特征实际上是一种纹理描述。本文也进行了用 Harr 基、Daubechies 规范正交基和双正交小波基 3 种基函数对图像进行小波分解,从而求得低频子图像的分形特征实验,从低频子图像分形特征质量来看,实验结果与 Manian 的论述一致,而且在求取分形特征方面,用 Harr 基和 Daubechies 规范正交基效果相当,均优于双正交小波基。鉴于 Haar 小波具有最短的支撑长度,易于实现,计算简单,并且在小波变换时不需要边界延拓,具有很好的检测效果,本文采用 Haar 小波对图像进行分解。

2 图像分形特征计算

2.1 分形布朗随机场

由分形布朗运动模型推广而来的分形布朗随机场模型是计算图像分形维数的一种重要的模型,其定义如下^[3]。

在某概率空间上,指数为 $H(0 < H < 1)$ 的随机过程 $X(t)$,满足:

- 1) 以概率 1 有 $X(0) = 0$,且 $X(t)$ 为 t 的连续函数;
- 2) 对任何 $t \geq 0$ 和 $\Delta r > 0$,增量 $X(t + \Delta r) - X(t)$ 服从均值为 0,方差是 Δr^{2H} 的正态分布,即

$$P(X(t + \Delta r) - X(t) \leq x) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} (\Delta r)^{-\frac{1}{2H}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{u^2}{2(\Delta r)^{2H}}\right) du \quad (2)$$

其中 $P()$ 为其概率密度函数。

2.2 图像的分形特征计算

设图像用 I 表示,某一像素点的灰度值用 $I(i, j)$ 表示,据分形布朗随机场模型的性质有:

$$E(|I(i + \Delta i, j + \Delta j) - I(i, j)|) = k \cdot \left(\sqrt{(\Delta i)^2 + (\Delta j)^2}\right)^H \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{令 } I_{\Delta r} &= |I(i + \Delta i, j + \Delta j) - I(i, j)| \\ \Delta r &= \sqrt{(\Delta i)^2 + (\Delta j)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

则 $E(I_{\Delta r}) = k \cdot \Delta r^H$

在实际计算中, $E(I_{\Delta r})$ 由下式得到:

$$E(I_{\Delta r}) = \text{Num}^{-1} \sum_{(\Delta i, \Delta j) \in AT_{\Delta r}(i, j)} |I(i + \Delta i, j + \Delta j) - I(i, j)| \quad (5)$$

$$AT_{\Delta r}(i, j) = \{(\Delta i, \Delta j) \mid \sqrt{\Delta i^2 + \Delta j^2} = \Delta r\} \quad (6)$$

其中:Num 是矩形滑窗内距离当前像素点 $I(i, j)$ 为 Δr 时的像素点个数; (i, j) 为滑窗中心点的坐标。若选择 5×5 滑窗,邻域各点到当前点的距离 Δr 及不同距离对应像素点的个数的数据对为:

$$\Delta r = \{1, \sqrt{2}, 2, \sqrt{5}, \sqrt{8}\}$$

$$\text{Num} = \{4, 4, 4, 8, 4\}$$

对式(4)两边取对数可得:

$$\log(E(I_{\Delta r})) = H \cdot \log(\Delta r) + c \quad (7)$$

由式(7)可见,只要求出 $E(I_{\Delta r})$ 和 Δr 数据对,然后用最小二乘法估算出斜率 H 和截距 c 。

在分形特征计算时需要考虑滑窗大小的选择,文献[12]指出:用小窗口计算图像分形特征时,误差较大;用大窗口计算所得分形特征中,目标与背景的边缘模糊,并且计算量会显著增加,增大了目标分割的难度。所以本文选择 5×5 的中等大小窗口,力求得到效果较好的分形特征。

对于二维图像, H 反映了图像表面的粗糙程度,现有的文献已经对 H 参数进行了深入的研究,从式(7)也可看出, c 为用最小二乘法估算出的直线截距,称为图像的截距特征,该参数反映了图像表面变化的快慢。在图像不同区域的交界处,截距特征值较大,在图像的平坦区域,截距特征值较小。在实际应用中,由于图像的局部可能不符合分形模型,所以用最小二乘法对图像拟合计算分形特征时,总是存在一定的误差,拟合误差大小反映了图像符合分形模型的程度。借鉴文献[13]用地毯法计算分形特征中,对于分形拟合误差的定义,本文定义了基于分形随机场计算分形特征参数的拟合误差:

$$e = \sum_{\Delta r} |\log(E(I_{\Delta r})) - H \cdot \log(\Delta r) - c|^2 \quad (8)$$

研究发现,含有人造目标的图像,其截距特征图中,自然背景与一造目标均具有较大的截距特征值,两者的边缘处具有截距特征图中最大的截距特征值;在其拟合误差特征图中,同样两者的边缘处具有拟合误差特征图中最大的拟合误差值,但是在截距特征图与拟合误差特征图中,边缘信息均不够突出,所以单独利用截距特征或拟合误差特征,不能很好地区分自然背景和人造目标,都得不到好的 ROI 检测效果,若将截距特征以及拟合误差特征相结合,在人造目标与自然背景的边缘处具有更大的特征值,而在图像其他区域具有较小的特征值,这样目标与背景就有更好的区分度,更利于 ROI 检测。基于此,本文将截距特征和分形拟合误差结合起来定义一个新的分形参数 F :

$$F = k_1 \cdot c + k_2 \cdot e \quad (9)$$

其中: k_1 和 k_2 是截距特征和分形拟合误差的加权系数。 F 参数继承了截距特征与拟合误差的优点。由于在很多应用场合中,图像中的 ROI 是人造目标,在 ROI 与图像背景区域的边缘处, F 参数值较大,而在图像的平坦区域, F 参数值较小,根据 F 参数的大小就可以确定图像的兴趣区域。

3 本文算法

将原始图像经 Haar 小波二级或三级分解后,得到图像的低频子带图像,该子图像可以看作原始图像的近似。对子带图像求取分形参数 F ,此时的计算量为直接对原始图像计算分形参数的 $1/(4^k)$ (k 为小波分解的级数)^[14],计算量大大降低。根据分形参数 F 的大小,便可得到子图像的 ROI,再根据原始图像和低频子图像的坐标对应关系,得到原始图像的 ROI。算法的具体步骤如下:

1) 用 Haar 小波对图像进行二级分解,提取图像的低频系数,得到图像的低频子图像;

2) 选择 5×5 的滑窗,按照 2.2 节中的方法计算截距特征 c 和拟合误差 e ,并对其归一化,然后据式(9)得到子图像的分形参数 F ;

3) 对分形参数 F 归一化处理,用最大类间方差法得到分形参数特征图的分割阈值,对 F 图进行二值化处理,并对目标

区域进行填充,得到子图像的 ROI;

4)根据小波变化中,原始图像和子图像的坐标对应关系,得到原始图像的 ROI 坐标,从而得到原始图像的 ROI。

上述阈值分割并填充得到子图像的 ROI 时,可能存在一些非目标的噪声点,可以利用关于目标的先验知识,去除这些假目标。

4 实验结果及分析

本文选用 1024×743 大小的单目标坦克(图 1(a))和 360×304 的多目标飞机(图 2(a))做测试。硬件平台为 P4 CPU 2.80 GHz,内存 256 MB,算法用 Matlab 7.1 仿真实现。实验中, k_1 和 k_2 分别选为 2 和 1。



图1 单目标图及 ROI 检测结果

图 1(a)中,感兴趣区域是处于战场环境中的坦克,地面的不规则以及恶劣的战场环境都对 ROI 的提取造成了极大的干扰。图 1(b)是通过将原图像二级小波变换,并根据式(8)计算所得低频子图像的分形特征 F 图,由图可见,本文所定义的 F 参数特征图中 ROI 与背景的灰度对比度大,轮廓清晰,有利于 ROI 分割。图 1(c)是图 1(b)经最大类间方差法阈值处理,并对二值化图像填充的结果,此时已经得到了图像的 ROI。图 1(d)是根据填充图,在低频子图像中框定了 ROI 的矩形区域图,根据坐标对应关系即可得到原始图像的 ROI(如图 1(e))。图 1(f)是 GBVS 算法得到的 ROI 检测结果,它不能够得到目标坦克的全貌,同时 ROI 中包含了部分背景区域。文献[15]中算法是利用增强分形特征进行目标检测,图 1(g)是该算法检测结果。从结果来看,本文算法优于 GBVS 算法和文献[15]算法。

在图 2(a)中,ROI 是天空中的飞机,虽然 ROI 与背景的对比如较大,但是目标较多也给 ROI 的准确定位带来了困

难。仿真的结果也表明本文算法计算得到的 F 特征图效果较好,本文算法能够有效地提取图像 ROI。

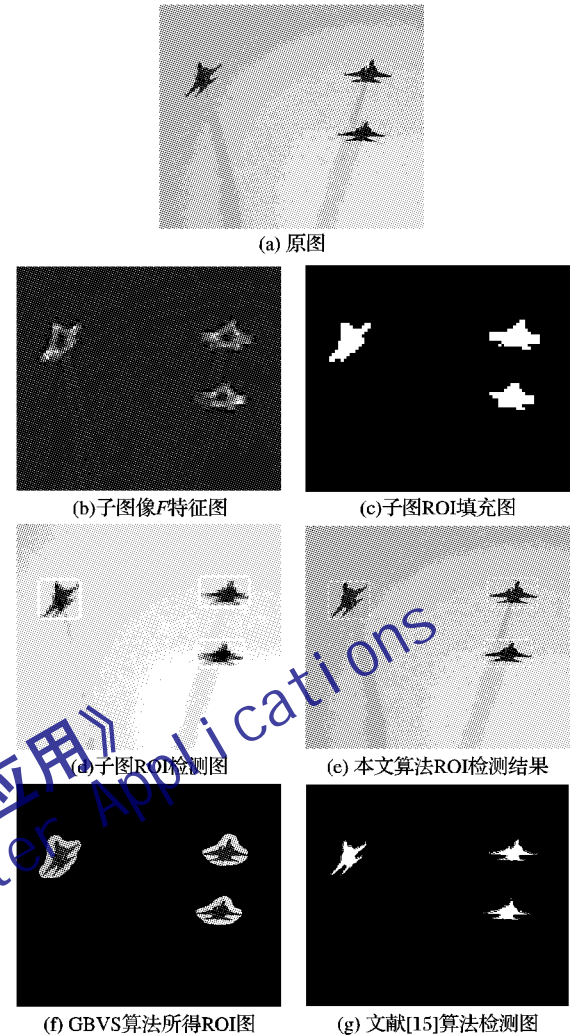


图2 多目标图及 ROI 检测结果

表 2 是本文算法与 GBVS 算法、文献[15]中算法的运行时间对比,本文算法的运行时间包括图像小波变换,计算低频子图像的 F 特征图,得到子图像 ROI 以及原始图像 ROI 所用的时间。从表 2 中可以看出,本文算法已经具有明显的优势。

大量的仿真实验表明,本文算法能够有效地提取图像 ROI,并且算法实现时间很短,但是算法中新的分形特征 F 计算时,涉及到分形截距与分形拟合误差加权系数 k_1 和 k_2 的确定,当 k_1 和 k_2 比值为 $1 \sim 2$ 时,计算所得分形特征效果较好。

表2 3种不同算法的运算时间对比

图像	本文算法	GBVS 算法	文献[15]算法
图 1(a)	3.42	36.00	229.72
图 2(a)	0.71	32.00	28.27

5 结语

本文将分形和小波相结合,定义了新的分形特征参数 F ,通过实验验证了 F 图中,背景与目标区分度好,有利于 ROI 提取,并且通过提取小波域中低频子图像 ROI 以及坐标映射得到原图 ROI,既缩短了 ROI 的检测时间,同时又为图像变换域编码奠定了基础,节省了编码的时间。但是本文算法中 F 参数的计算是通过加权求和实现的,不同类型的图像,采用相

(下转第 1618 页)

算法B需一次将所有游程找出,然后进行比较判断,而本文算法在进行判断的同时找出了游程,比算法B更加节省了内存占用。

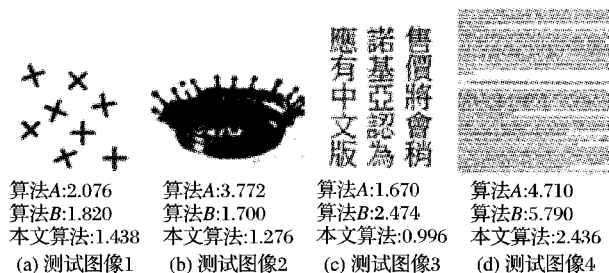


图4 二值图像连通区域标记算法结果比较

4 结语

本文提出了基于游程递归的连通区域标记算法。实验结果表明,本算法与已有算法相比,具有较快的执行速度,可以满足实时性的需要。目前,本算法已经应用于施工现场的多目标跟踪系统中,可以实现运动目标(如车辆、施工人员)的实时跟踪。

参考文献:

- [1] SHEN Q N, AN X H. A target tracking system for applications in hydraulic engineering [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(1): 343-347.
- [2] 喻杰, 许化溪. 一种易于实现的适于细胞图像连通区域的标记算法[J]. 江苏大学学报: 医学版, 2005, 15(2): 152-155.
- [3] 陈柏生. 一种二值图像连通区域标记的新方法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(25): 46-47.
- [4] SUZUKI K, HORIBA I, SUGIE N. Linear-time connected-component labeling based on sequential local operations[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2003, 89(1): 1-23.
- [5] WU K, OTOO E, SHOSHANI A. Optimizing connected component labeling algorithms [C]// Proceedings of the SPIE Conference on Medical Imaging. San Diego: The International Society for Optical Engineering, 2005: 1965-1976.
- [6] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A linear-time two-scan labeling algorithm [C]// IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2007: 241-244.
- [7] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. An efficient first-scan method for label-equivalence-based labeling algorithms[J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 31(1): 28-35.
- [8] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K, et al. Fast connected-component labelling [J]. Pattern Recognition, 2009, 42(9): 1977-1987.
- [9] WU K, OTOO E, SUZUKI K. Two strategies to speed up connected component labeling algorithms [EB/OL]. [2008-10-10]. <http://www.escholarship.org/uc/item/5pc9s496?display=all>.
- [10] WU K, OTOO E, SUZUKI K. Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms [J]. Pattern Analysis and Applications, 2009, 12(2): 117-135.
- [11] AIZAWA K, TANAKA S, MOTOMURA K, et al. Algorithms for connected component labeling based on quadrees [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2009, 19(2): 158-166.
- [12] 高红波, 王卫星. 一种二值图像连通区域标记的新算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(11): 2776-2778.
- [13] 蔡世界, 于强. 基于游程编码的连通区域标记算法优化及应用[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3150-3153.
- [14] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A run-based two-scan labeling algorithm [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2008, 17(5): 749-756.
- [15] 张二虎, 冯江. Blob分析中基于游程链的连通区域标记[J]. 应用科学学报, 2008, 26(5): 536-540.
- [16] HE L, CHAO Y Y, SUZUKI K. A run-based one-scan labeling algorithm [C]// Proceedings of the 6th International Conference on Image Analysis and Recognition. Berlin: Springer, 2009: 93-102.
- [17] CHANG F, CHEN C J, LU C J. A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing [J]. Technique Computer Vision and Image Understanding, 2004, 93(2): 206-220.

(上接第1615页)

同加权系数所得F图的效果不同,如何选定自适应的加权系数,更利于ROI的提取,这也是进一步研究要解决的问题。

参考文献:

- [1] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 (ITU-SC8), ISO/IEC FCD 15444-1, JPEG2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0 [S]. ISO, 2000.
- [2] 张坤华, 杨烜. 基于分形特征的复杂背景下扩展目标检测[J]. 强激光与粒子束, 2009, 21(2): 217-220.
- [3] 董文明, 吴乐华, 姜德雷. 基于分形特征参数的目标边缘检测算法[J]. 光电工程, 2009, 36(6): 21-25.
- [4] 田杰, 陈杰, 张宇河. 基于小波变换及分形特征的目标检测与识别[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(1): 95-99.
- [5] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E, et al. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [6] ITTI L, KOCH C. Computational modeling of visual attention [J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-230.
- [7] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency [EB/OL]. [2009-10-10]. <http://papers.klab.caltech.edu/300/1/543.pdf>.
- [8] NAGAI M, OYAMA-HIGA M, MIAO T. Relationship between image gaze location and fractal dimension [C]// IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Montreal: IEEE Press, 2007.
- [9] 赵健, 潘建寿, 陈光会. 小波分形结合在图像处理中的应用研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(1): 29-30.
- [10] 谢永华, 傅德胜, 任卫华. 一种基于小波变换的图像分形编码压缩算法的研究[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 840-842.
- [11] 高岚, 朱波华, 张卉. 基于分形小波理论的纹理分割研究[J]. 交通与计算机, 2008, 26(6): 96-99.
- [12] NOVIANTO S, GUIMARAES L, SUZUKI Y, et al. Multiwindowed approach to the optimum estimation of the local fractal dimension for natural image segmentation [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Kobe, Japan: IEEE Press, 1999, 3: 222-226.
- [13] 赵亦工, 朱红. 自然背景中人造目标的自适应检测[J]. 电子学报, 1996, 24(4): 17-20.
- [14] 王立地, 黄莎白, 史泽林. 基于小波和分形的海面红外小目标自动检测方法[J]. 激光与红外, 2004, 34(6): 481-483.
- [15] 黄斌, 彭真明, 张启衡. 基于增强分形特征的人造目标检测[J]. 光电工程, 2006, 33(10): 9-12.