

·测试与试验·

分形维光电目标检测方法研究

何四华^{1,2}, 杨绍清¹, 石爱国¹, 李天伟¹

(1. 海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018; 2. 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 基于光学图像的目标自动检测与识别是一个研究热点, 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特征差别非常明显. 因此, 提出了一种分形维的光电目标检测方法. 实验证明, 给出的目标检测方法结果稳定, 优于边缘检测、阈值分割检测, 是一种非常有效的方法.

关键词: 分形维; 光电系统; 目标检测

中图分类号: TN911.23

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0047-04

Research on Electro-Optical Targets Detection Method Based on Fractal Dimension

HE Si-hua^{1,2}, YANG Shao-qing¹, SHI Ai-guo¹, LI Tian-wei¹

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

2. 92493 Army Unit, Huludao 125001, China)

Abstract: Automatic detection and recognition of targets bases on optical images is a hot point of research. Fractal theory provides a new technical way. Because the difference of fractal dimension between artificial target and natural background is obvious, an electro-optical target detection method based on fractal dimension is proposed. Experiment proved that the given results obtained by the targets detecting method are stable and superior to the edge detection method and the threshold segment method, and it is an effective detection method.

Key words: fractal dimension; electro-optical system; target detection

基于光学图像的目标自动检测与识别已经成为研究热点, 常用的目标检测方法主要有阈值分割法^[1]和边缘检测法^[2]. 海浪、云层是常见的基本背景, 它们的灰度变化非常复杂. 特别是在恶劣的气象条件下, 目标与背景的灰度对比度低, 使得阈值分割法和边缘检测法难以得到满意的检测结果^[3].

众多研究表明^[4-6], 海浪、云层等自然背景具有分形特征, 而舰船、飞机、车辆等人造目标不具有分形特性, 因此利用目标与背景之间分形特性的差异能够检测与识别目标.

1 图像的分形维提取

差分盒计数法是由 Sarkar 和 Chaudhuri 提出的^[7,8]一种计算分形维的方法, 该方法改善了以往分形维计算不稳定的问题, 提高了目标检测稳定性. 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. 差分盒计数法具有计算复杂度低的特点, 因此, 采用差分盒计数法来提取图像的分形维.

设 $f(x, y)$ 是一幅最大灰度级为 G 、大小为 $M \times$

收稿日期: 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(60572160)

作者简介: 何四华(1979-), 男, 湖北天门人, 海军大连舰艇学院交通信息工程及控制专业博士研究生, 主要研究方向为混沌信号分析、图像处理、目标检测与识别等.

M 的灰度图像.计算该图像计盒维数的步骤如下:

(1)首先将二维图像看成是三维空间 $\{x, y, z\}$ 中的一个曲面, (x, y) 表示二维空间 $\{x, y\}$ 平面内的位置, z 轴表示 (x, y) 处图像的灰度 $f(x, y)$. 图 1 是一幅 36×70 的灰度图像, 图 2 则为图 1 所示图像所对应的三维空间中的一个曲面.

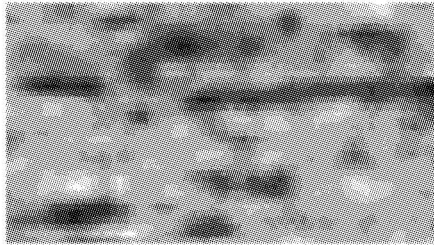


图 1 灰度图像

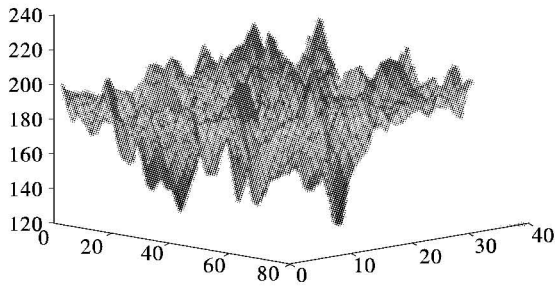


图 2 灰度图像对应的曲面

(2)将二维空间 $\{x, y\}$ 分成大小为 $e \times e$ 的格子, 并用 $e \times e \times r$ 的盒子去覆盖灰度曲面, 其中 $r = (G \times e) / M$. 设第 (i, j) 个格子 $g_e(i, j)$ 中的最大与最小的灰度级分别为 $u_e(i, j)$ 和 $b_e(i, j)$, 令 $d_e = u_e(i, j) - b_e(i, j)$, 则可以得到总的盒子数为

$$N(e) = \sum_{i,j} \text{ceil}[d_e(i, j)/r] = \sum_{i,j} \text{ceil}[M \cdot d_e(i, j)/(e \cdot G)] \quad (1)$$

式中, ceil 表示取整运算, $\text{ceil}[h]$ 的结果为大于或等于 h 的最小整数.

对于每一幅图像来说, 由于 G, e, M 是固定的, 所以在用 $e \times e$ 的格子对图像进行分割时, 图像的边界处可能有小于 $e \times e$ 格子的区域, 对于这种情况的处理方法是把这些区域中图像的灰度设定为 0.

(3)不断地改变格子的大小 e , 可以得到与 e 对应的一系列的盒子数 $N(e)$, 利用最小二乘法对 $\log(N(e))$ 相对 $-\log(e)$ 进行拟合, 则所得曲线的斜率为分形维 D , 曲线的截距为 a .

$$\log(N(e)) = D \log(1/e) + a \quad (2)$$

实际上, 格子大小 e 代表了计算图像分形维的尺度, 尺度的选择通常有一最佳范围. 尺度太小用于拟和的点对很少, 计算误差大; 尺度太大, 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.

设 $e_{\min} \leq e \leq e_{\max}$, 则 e_{\min}, e_{\max} 可通过式(3)获得

$$e_{\min} = M^{1/3} \\ \text{ceil}[M/e_{\max}] + 1 \leq \text{ceil}[M/(e_{\max} - 1)] \quad (3)$$

2 图像分形目标检测算法

分形目标检测算法分为图像预处理、图像分块、分形维计算、目标判定和区域生长 5 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 $W \times H$ 的图像, 首先均匀地分割成 Q 个 $M \times M$ 大小的子图像块序列.

(3) 分形维计算. 然后对每个子图像块求其分形维数 $D(k)$, 由于目标存在的子图像块的分形维相对于其他背景子图像块的分形维存在着较大的差值, 利用这一点可以将目标子图像块提取出来.

(4) 目标判定. 定义指标函数 J 为

$$J = \alpha \cdot \max_{1 \leq k \leq Q} \left[|D(k) - \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q D(q)| \right] \quad (4)$$

其中, $k = 1, 2, \dots, Q, 0 \leq \alpha \leq 1$. 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很光滑的, 呈现出较低的分形维, 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; 同时, 在人造物体和自然背景交界处, 一般具有较强的边缘, 从而导致很高的分形维. 因此, 当 $D(k) \geq J$ 时, 判定为目标边缘. 对于理想图像, 判定系数 $\alpha = 1$, 此时计算出 $D(k)$ 最大的子图像块就是目标最有可能出现的区域. 但是多点强噪声也可能对 $D(k)$ 有较大的贡献, 因此在实际应用中需要设定判定系数 α , 根据大量实验, $\alpha = 0.8$ 即能保证目标检测的稳定性, 又能有效消除噪声的干扰.

(5) 区域生长. 舰船、飞机、车辆等人造目标结构稳定, 表现为连续子图像块具有很高分形维. 因此, 分形维检测后选取面积最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。

3 实验与分析

按照上述算法,取 $M=8$, $\alpha=0.8$,对不同条件下的分辨率为 256×256 的 2 类图像进行目标检测,检测结果如图 3 所示。图 3a 为原始灰度图像,包括不均匀的海空背景和舰船目标;图 3b 为最大类间方差 (Otsu) 阈值分割方法的检测结果,除了舰船目标外还包括大量海浪;图 3c 为经典的 Sobel 边缘检测算法的检测结果,也包括大量海浪;图 3d 为分形维检测结果,检测结果中包括较完整的目标信号,与图 3b、图 3c 相比较,图 3d 海浪的影响大大减少;图 3e 为区域生长结果,目标区域被准确检测。

比较图 3 的检测结果可以看出,分形维检测方法与区域分割法和边缘检测法相比较,能有效消除海杂波的干扰,对准确检测与识别目标具有十分重要的意义。它不受人造目标的运动姿态、速度、灰度

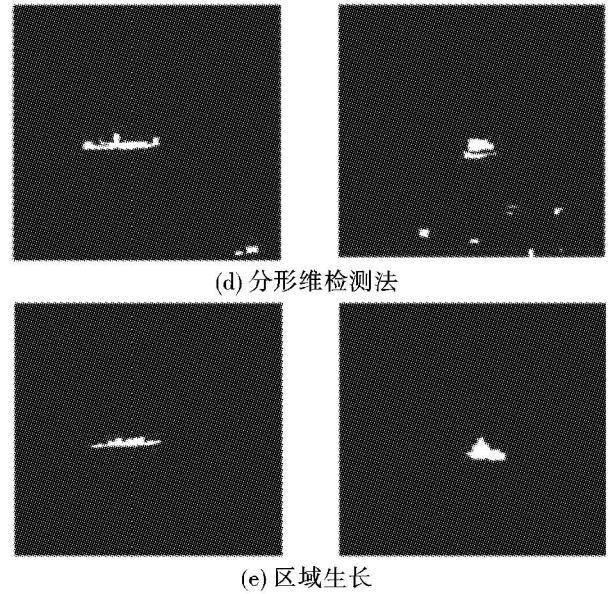


图 3 目标检测方法比较

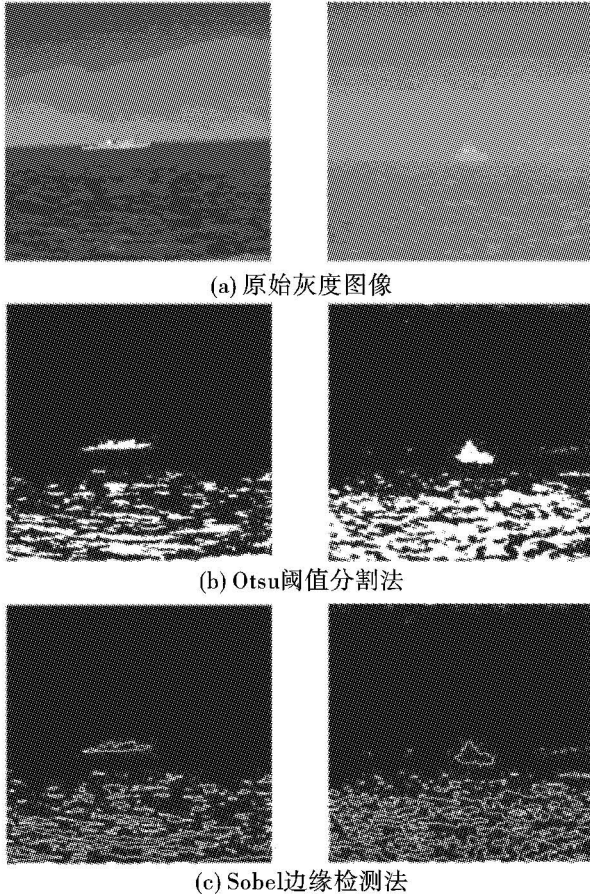
极性变化等因素的影响,对不均匀自然背景中的不同目标均可得到较好的结果,是一种性能较为优良的目标检测方法。

4 结 论

从自然背景中检测出人造目标,具有非常重要的价值,现有的方法都具有各自的局限性。提出了一种基于分形维的目标检测方法,用于区分自然背景与人造目标。由实验结果很容易看出用这种方法计算的目标区域和背景区域的分形特征差别非常明显,有利于很准确地检测出目标,为用分形方法检测复杂背景下目标开辟了一条可行的途径,具有重要的研究意义。

参考文献

- [1] J P Fan, K Y David, K E Ahmed, et al. Automatic image segmentation by integrating color edge extraction and seeded region growing[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1454-1466.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Pentland. Fractal - based description of natural scenes



(a) 原始灰度图像

(b) Otsu 阈值分割法

(c) Sobel 边缘检测法

- [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1984, 6: 661 - 684.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] N Sarkar, B B Chaudhuri. An efficient approach to estimate fractal dimension of textural Images [J]. Pattern Recognition, 1992, 23(9): 1035 - 1041.
- [8] B B Chaudhuri, S Nirupam. Texture segmentation using fractal dimension [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1995, 17(1): 72 - 77.

(上接第 31 页)

(1) 涂层厚度应为雷达波中心频率的介质波长的 $1/4$, 该频率称为谐振点, 具有最大吸收率.

(2) 涂层应有较高的电、磁损耗及适当的介电常数和磁导率. 涂层的磁导率和磁损耗越大, 吸收曲线的频宽也越大.

(3) 电磁波在涂层界面上的反射波强度应满足干涉后完全抵消的条件, 否则谐振点的吸收率将会下降, 吸收曲线变得平坦.

要增加介质的吸波性能, 必须提高 $\mu r''$ 和 $\epsilon r''$. 增加极化损耗和磁化损耗, 同时要满足阻抗匹配条件. 对单一组元吸收介质, 阻抗匹配和强吸收很难同时满足, 满足 $\mu r = \epsilon r$ 的材料很难找到. 只有将多元材料复合, 使电磁参数可调, 才能在尽可能满足匹配条件下提高材料吸收损耗性能. 尽管提高介质电导率是增大损耗的重要手段, 但当电导率达到金属所具有的电导率时, 反射系数接近 1, 将远离匹配. 金属作为吸收剂一般以细粉状态复合到聚合物基体中, 整体不呈现金属特性. 据分析, 存在一个合适的电导率, 可使材料的回波率最低. 而对于吸收剂和聚合物复合体系而言, 通过调整吸波材料的成份、组成、结构及非均匀性等, 可最大限度地进行电磁谱频率响应特性调控, 实现阻抗匹配, 从而设计宽频带隐身材料.

红外隐身涂层的存在无疑增加了涂层的厚度, 使吸波材料的谐振点向低频方向移动. 同时改变雷达波在红外隐身涂料表面的反射与原涂层的前界面的反射, 破坏原吸波材料电磁干涉的能量条件, 使部分反射有可能无法抵消. 这些影响都与红外涂层的介电常数有关. 此外, 若红外低辐射涂层为非铁磁性, 红外涂层过厚会造成雷达吸收频宽变窄.

以往试验表明, 在雷达吸波材料的上面涂敷一层红外涂料, 在一定的厚度范围内, 可以同时兼顾 2 种性能, 且雷达波吸收性能基本保持不变, 只是随红

外涂层厚度增加, 谐振峰向低频平移, 同时也能保证原涂层的红外辐射性能不变. 一般只要红外低发射率涂层厚度达 $20 \mu\text{m}$, 便能覆盖整个高辐射表面, 而使法向总发射率值趋于一个稳定值, 而涂层厚度在 $20 \sim 100 \mu\text{m}$ 时, 法向总发射率基本没有什么变化.

兼顾红外雷达复合隐身涂层现均为多层结构. 一般可从 3 层涂层结构设计考虑: 电磁损耗层为底层, 中间层是阻抗匹配层 1, 面层是阻抗匹配层 2, 同时它也是红外隐身涂层. 国外曾提出的一种由反热红外探测的面漆加反雷达探测的底漆构成的隐身材料就是一个简单而典型的例子. 国外还有一种形式类似但结构更为复杂的 7 层复合材料. 研制这类多频段兼容隐身材料的关键运用传输线理论进行涂层复合设计是使表层材料具有良好的频率选择特性.

3 结 论

从吸收频带宽、质量轻、厚度薄、物理机械性能好等方面, 对国外的新型红外雷达兼容隐身材料和复合涂层技术和发展方向进行了初步的探讨. 实际上, 隐身材料种类繁多, 不同的应用目标和应用环境可选用不同的材料, 如导电炭黑、铁氧体和羰基铁粉等. 作为对于各种类型的目标隐身防护, 传统的及各种新型吸收剂材料的应用仍在不断发展, 而且其应用技术的不断创新为未来多功能、多频谱隐身材料的进一步研究奠定了基础.

参考文献

- [1] 马格林. 红外和雷达复合隐身材料——掺杂氧化物半导体[J]. 红外技术, 2003, 25(4): 77 - 80.
- [2] 邢丽英. 隐身材料[M]. 化学工业出版社, 2004: 94 - 95, 99, 109.
- [3] 张晓光. 纳米复合材料及其在隐身技术中的应用[J]. 光电技术应用, 2004, 19(2): 4 - 8.